

**Munkagödrök és Földművek
Víztelenítése**



**Magyar Mérnöki Kamara
Kiadványsorozata 62.**

Munkagödrök és Földművek Víztelenítése

**MMK FAP azonosító:
2020/104-GT**

Budapest, 2020. szeptember

A sorozat szerkesztője:
NAGY GYULA
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozatának gondozásában, a 2020. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

Szerzők:

Fellegi Zsóka

Karafa Balázs

Koch Edina

Kovács Gábor

Murinkó Gergő

Tóth Gergely József

Lektorálta:

Szilvágyi László

Kiadó:

Magyar Mérnöki Kamara
1117 Budapest, Szerémi út 4.
info@mmk.hu, www.mmk.hu

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezető	7
2. Munkateretek víztelenítésének tervezése	9
2.1. Talajvízszint szabályozások tervezési folyamata	9
2.1.1. Előkészítő fázis követelményei	10
2.1.2. Engedélyezési fázis követelményei	11
2.1.3. Kivitelezési fázis követelményei	14
2.2. A víztelenítések tervezéséhez szükséges alapadatok	15
2.2.1. Talajrétegződés	16
2.2.2. A szivárgási tényező meghatározása	17
2.2.3. Talajvízszint meghatározása	30
2.2.4. Talajvíz kémiai és biológiai összetevői	32
2.3. Tervezési módszerek áttekintése	33
2.3.1. Hagyományos elméletek	34
2.3.2. Víztelenítési feladatok modellezése	43
2.4. Talajvíz és stabilitás	53
2.4.1. Rézsú állékonyság	54
2.4.2. Fenék stabilitás	55
2.5. A víztelenítési mód megválasztása	60
3. Földművek víztelenítése	63
3.1. Felszíni víztelenítés	64
3.2. Felszín alatti víztelenítés	69
3.3. Földművek építés közbeni víztelenítése	73
3.4. Földmű szélesítése és a földmű felső rész víztelenítése	74
3.5. Földmű alépítményének víztelenítése	75
4. Víztelenítési technológiák	79
4.1. Nyíltvíztartás	79
4.2. Vízkizárás	81
4.2.1. Oldalzárás	82
4.2.2. Fenékszárás	83
4.2.3. Levegő túlnyomás	85
4.3. Talajvízszint-szabályozás	85

4.3.1.	Szűrőkutak.....	87
4.3.2.	Vákuumkutak.....	88
4.3.3.	Mélykutak.....	90
4.3.4.	Egyéb talajvízszintszabályzó módszerek.....	91
4.4.	Talajfagyasztás.....	94
4.5.	Szivattyúk.....	97
5.	Monitoring rendszerek, fenntartás és karbantartás	101
5.1.	Ideiglenes víztelenítő rendszerek	101
5.1.1.	Monitoring	101
5.1.2.	Fenntartás és karbantartás	101
5.2.	Végleges víztelenítő rendszerek	102
5.2.1.	Monitoring	102
5.2.2.	Fenntartás és karbantartás	103
5.3.	Környezetvédelem.....	103
6.	Alkalmazási példák.....	105
6.1.	Mélykutas víztelenítés	105
6.2.	Vákuumkutas víztelenítés	107
6.3.	Bevágásban tervezett autópálya víztelenítésének tervezése	110
6.4.	Ideiglenes víztelenítő rendszerek – teszttvékenység.....	112
6.5.	Ideiglenes víztelenítő rendszerek - megvalósult víztelenítő rendszer	117
7.	Irodalomjegyzék.....	122

1. Bevezető

Városi környezetben a korábban kedvezőtlennek ítélt területek beépítésének igénye egyre nő. Ezek gyakran éppen a magas talajvízszint miatt maradtak üresen, mivel az befolyásolja a szerkezetválasztást, a kivitelezést, az építmény hosszú távú fenntartását, karbantartását, illetve a teljes projektköltséget is. Hasonló tendencia mutatkozik a közlekedési pályák építésével kapcsolatban is. Egyre inkább terjed az a szemlélet, hogy közlekedjünk ott, ahol mást nem lehet csinálni.

A különböző rendeltetésű mélyépítményeket rendszerint a kialakult talajvízszint alatt kell megépíteni, ami az építési körülményeket megnehezíti, sok esetben – talajvízszint szabályozás nélkül – az építést lehetetlenné teszi. A kivitelezéshez száraz munkatérre van szükség, így a munkatereket vízteleníteni kell. A munkatér víztelenítése a mélyépítési munkálatok végrehajthatóságának egyik alapfeltétele.

A munkagödrök víztelenítését rendszerint igen változatos és szabálytalan rétegződésű talajokban kell végrehajtani, ahol az ezekből eredő helyspecifikus folyamatokat nem lehet előre figyelembe venni. Ezért a munkagödör víztelenítések kivitelezésénél számos kockázattal (pl. rézsúmegfolyás, buzgárosodás, vízbetörés, stb.) számolni kell, ami a mélyépítési feladatoknál sok esetben előfordul, ezért ezeket a kockázatokat megfelelő elővigyázatossággal szükséges kezelni, pl. leterhelő kavicsréteg, tartalék szivattyú vagy áramforrás, folyamatos felügyelet.

Víztelenítésre a közlekedési pályák földműveinek esetében építés közben és végleges állapotban tartósan is szükség van, hogy megvédjük a földműveket a víznyomástól, a vízmozgás hatásaitól, lehetővé tegyük a földmű használatát, illetve a munkavégzést. A földművek állapotát és élettartalmát alapvetően a víztelenítési rendszerek befolyásolják, melyeket úgy kell megtervezni és megépíteni, hogy azok az átadást követően a fenntartás során csak tisztítást igényeljenek.

A mélyépítési feladatokhoz kapcsolódó víztelenítés, mint feladatrész legyen az akár ideiglenes, akár végleges, általában nem egy önálló feladatrész, hanem a komplex mélyépítési szerkezet része, így az előkészítése, tervezése szorosan kapcsolódik az egész szerkezethez. Mivel ez a kapcsolódás olyan szoros, hogy az nagy mértékben befolyásolja már a koncepciót is, rendkívül fontos, hogy már a tervezés kezdeti fázisában megfelelő információ álljon rendelkezésre a víztelenítési koncepcióterv kidolgozásához, ami kellő mértékben elősegíti a szerkezet megvalósulását, s biztosítja annak megfelelő működését a tervezett élettartam alatt.

A földművek és egyéb mérnöki szerkezetek tönkremenetele nagyon nagy százalékában a talajvíz jelenlétére, vagy azzal összefüggő eseményekre vezethető vissza. Ilyen lehet például egy hidraulikus talajtörés, a túlzott mértékű süllyedés vagy egy rézsúkárosodás. De a mélyépítési szerkezetre ható igénybevételek jelentős része is a talajvíz hatásából ered. Ezért a talajvíz alatti munkák minden esetben nagy mértékű kockázatot hordoznak magukban.

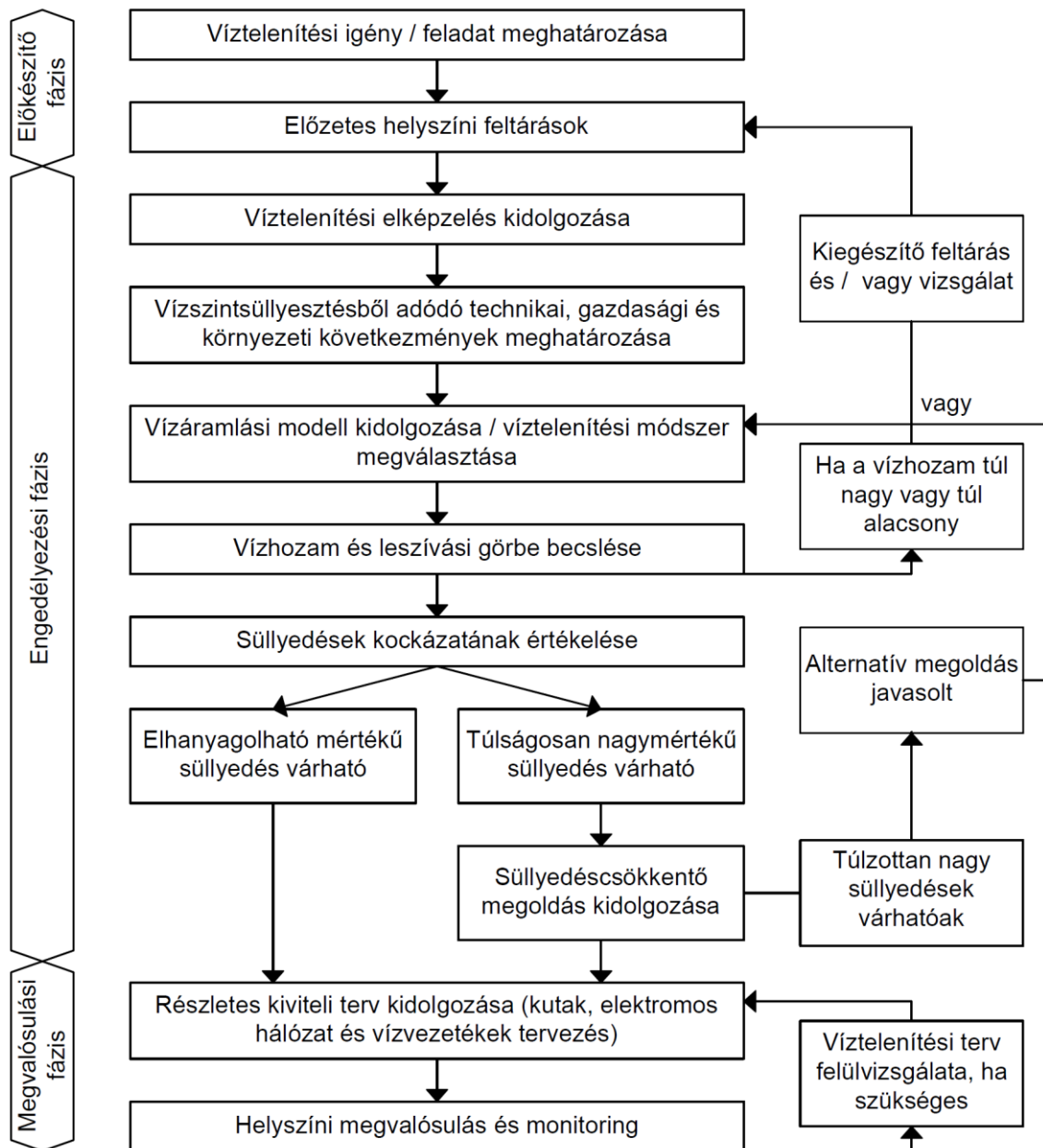
A talajvízzel kapcsolatos problémák elemzéséhez, megoldásához ma már számos technológia, eszköz, módszer áll rendelkezésre, melyek folyamatosan fejlődnek. Az útmutató célja a munkaterek és földművek építés közbeni és végleges állapotban szükséges víztelenítési lehetőségeinek bemutatása. Egyrészt a korszerű, illetve a manapság használatos technológiák áttekintése, másrészt a tervezés, modellezés eszköztárának áttekintése, figyelembe véve az EC7 irányelveit és a szakterületen jelenleg is használatos szabványokat, előírásokat.

A téma aktualitását jelzi az egyre nagyobb és mélyebb munkaterek kialakítása és az ezzel kapcsolatosan felmerülő víztelenítési igények, valamint a nagyszámú közlekedési pálya építése és azok ideiglenes és végleges víztelenítésének igénye.

2. Munkateretek víztelenítésének tervezése

2.1. Talajvízszint szabályozások tervezési folyamata

Jelen fejezet a tervezés lépéseit és a különböző tervfázisok elvárható tartalmi követelményeit foglalja össze. A 2.1. ábra a tervezés általános folyamatát mutatja be.



2.1. ábra. A tervezés általános folyamata [Forrás: Szerzők]

A víztelenítési feladatot is tartalmazó tervezési dokumentum tartalma minden tervfázisban eltérő, de kellően alaposnak kell lennie, hogy a következő fázis

dokumentációjának alapjául szolgáljon. Tehát egy talajvizsgálati jelentésnek ki kell térnie a víztelenítés tervezéséhez szükséges összes bemenő paraméterre, legalább olyan szinten, hogy a geotechnikai tervezési beszámoló készítéséhez elegendő információt szolgáltatasson. De pl. megengedhető, hogy a kutak szűrőzésének tervezése további kiegészítő feltárások / vizsgálatok elvégzését indokolja.

A szerkezetek megvalósulásainak az egyes fázisai általában a következők:

- Előkészítő fázis (Pl. Talajvizsgálati jelentés, koncepcióterv, tenderterv stb.)
- Engedélyezési fázis (Pl. Engedélyezési terv)
- Kivitelezési fázis (Pl. Kiviteli terv, Technológiai Utasítás / Mintavételi és Minősítési Terv)

Habár ezek a fázisok nem minden esetben vállnak el élesen a megvalósítás alatt, s néhány esetben a vonatkozó dokumentumok is erős átfedést mutatnak, a gondolatmenet egyértelműen adoptálható az egyes dokumentumokra, ezzel is segítve a következő fázis sikerességét és a munkamenet gördülékeny előrehaladását.

2.1.1. Előkészítő fázis követelményei

Víztelenítési igény / feladat meghatározása

A víztelenítési igény meghatározása, mindig a tervezett szerkezet talajvíz alá kerülő méreteitől és a geológiai körülményektől függ. Ez a feladatrész szinte az összes tervfejezet része kell legyen, s általában elegendő szövegesen néhány bekezdésben bemutatni a víztelenítési feladatot és annak a mértékét. Ezek ismeretében már következtetni lehet a feladat bonyolultságára. Nem várható el egyetlen egyértelmű megoldás kidolgozása, de javaslatot kell adni a víztelenítési módszerre, illetve meg kell jelölni a víztelenítés várható kockázatait.

A víztelenítési igény meghatározása kiemelten fontos az előkészítő fázisban (feltárási terv, talajvizsgálati jelentés), hiszen általában ekkor még nem áll rendelkezésre a tervdokumentáció, sőt sok esetben még egy vázlat terv sem.

Előzetes helyszíni feltárások és értékelésük

A talajvizsgálati jelentés elkészítéséhez célszerű a következő adatok beszerzése:

- talajvízre utaló jelek;
- a talajvízszint időbeli ingadozásának adatai a feltárási munka alatt, a fúrólukokban, valamint a terepi munka befejezése után a talajvízszint-észlelő berendezésekben tett észlelések alapján;

- amennyiben rendelkezésre áll, a környéken létesített talajvízszint figyelő kutak adatsorai;
- vízvezető és kvázi vízzáró rétegsorok adatai;
- talaj- és talajvízminták eredményei (feladattípustól függő paraméterek, pl. betonszabvány, környezetvédelem előírásai.)

A feltárások és a helyszíni bejárások során gyűjtött információk értékelését követően a következőket kell megadni:

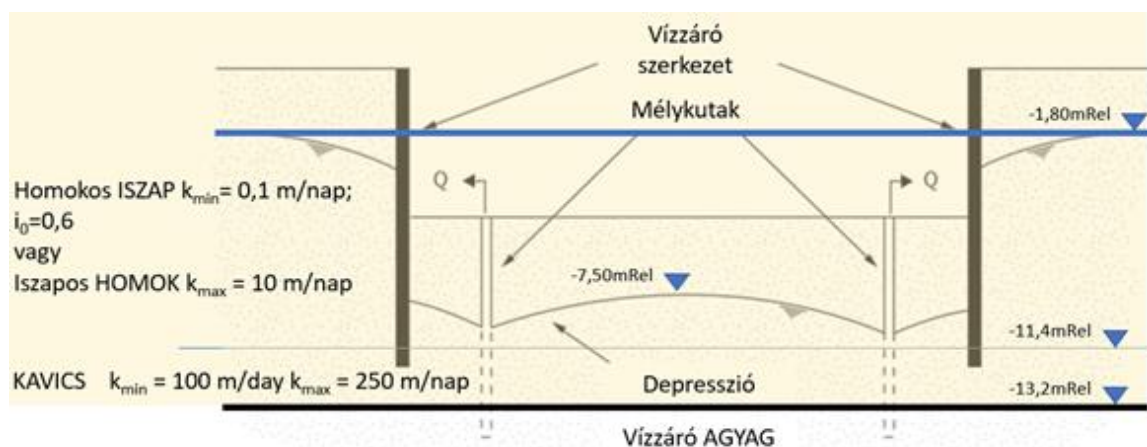
- a releváns talajvízszintet,
- a rétegek vízvezető képességének kategóriába sorolását (e-ÚT 06.02.11),
- a talajvízzel érintkező betonszerkezetek esetén a környezeti kitéti osztály besorolását.

Különös gonddal kell eljárni akkor, ha a víztelenítési feladat állandó jellegű, a tervezett építmény egész élettartama alatti fenntartást igényel.

2.1.2. Engedélyezési fázis követelményei

Víztelenítési vázlattevé kidolgozása

A talajvíz eltávolítására vagy nyomásának csökkentésére irányuló megoldásnak geotechnikai vagy hidrogeológiai vizsgálatok eredményein kell alapulnia, amihez a talajvizsgálati jelentés nyújtja a megfelelő alapot. Egy vázlattevé általában alaprajzból és metszetekből áll, ahol a rétegződés és az építeni kívánt szerkezet is látszik. Az így elkészített alaprajzra megközelítőleg ki lehet osztani a víztelenítő elemeket, míg a metszetre a szükséges víztelenítés mélysége, a rétegződés és munkagödör mélysége is feltüntethető.



2.2. ábra. Víztelenítés tervezéséhez szükséges vázlat – metszet [Forrás: Szerzők]

A vízszintsüllyesztésből adódó technikai, gazdasági és környezeti következmények meghatározása

A víztelenítéssel szemben általában a következő követelmények támaszthatók:

- földkiemelések esetén a talajvízszint szabályozást úgy kell végrehajtani, hogy eközben a kiemelés oldalfalai mindenkor állékonyak maradjanak és ne következzen be a gödör fenekén túlzott emelkedés vagy talajtörés, például egy kevésbé vízáteresztő réteg alatt megnövekvő víznyomás miatt;
- a tevékenység ne veszélyeztesse a szomszédos szerkezeteket meg nem engedhető süllyedéssel vagy egyéb károsodással (pl. a csatlakozó közművek törésével);
- a víztelenítés ne okozzon a földkiemelés falán vagy fenekén túlzott szemcsekimosódást;
- megfelelő szűrőzéssel kell ellátni a kutakat és zompokat, hogy a szivattyúzott vízzel együtt ne távozhasson túlzott mennyiségű finomszemcse;
- a kiemelt vizet általában a kiemelés helyétől kellő távolságban kell kiereszteni;
- a víztelenítési rendszer terve, elrendezése és működése olyan legyen, amely az előírányzott vízszinteket és pórusvíznyomásokat munka közben jelentős ingadozás nélkül képes tartani;
- legyen elegendő szivattyú kapacitás, valamint meghibásodás esetére tartalék szivattyú / áramforrás;
- amikor a talajvízszintet az eredeti helyzetébe engedik vissza, gondoskodni kell az olyan problémák elkerüléséről, mint az érzékeny szerkezetű talajok, például laza homok roskadása;
- túlzott mennyiségű szennyezett víz ne áramolhasson a vízkiemelési hely felé;
- ne vonjanak ki túlzott mennyiségű vizet egy ivóvizet adó természetes vízgyűjtőből;
- ha a szivattyúzást hosszú ideig kell fenntartani, akkor meg kell állapítani, hogy vannak-e a talajvízben oldott sók vagy gázok, melyek korrodálhatják vagy eltömíthetik a kutak szűrőszerkezetét és a vízvezető hálózatot, valamint a kiszívott víz kémiai összetételének megfelelő szivattyút kell választani;
- hosszú ideig tartó víztelenítéseknél vizsgálni kell a bakteriológiai vagy más eredetű hatások okozta dugulások hatását is.

A víztelenítés hatékonyságát, szükség szerint a talajvízszint, a pórusvíznyomás és a talajfelszín mozgásának megfigyelésével kell ellenőrizni. Az összegyűjtött adatokat megfelelő gyakorisággal kell áttekinteni értelmezni, hogy megállapítható legyen a víztelenítésnek a talajviszonyokra és a szomszédos tartószerkezetekre gyakorolt hatása.

Vízáramlási modell kidolgozása / víztelenítési módszer kiválasztása

A talajból a víz gravitációs úton vagy vákuum rásegítéssel távolítható el. Az alkalmazni kívánt módszer általában a talaj- és talajvíz viszonyoktól, illetve a tervezett munka jellemzőitől, ún. a földkiemelés mélységétől és kiterjedésétől függ.

Az egyszerűbb esetekben általában elegendő a víztelenítési módszer megválasztása, az áteresztőképesség és a szükséges vízszintkülönbség függvényében. A módszerválasztást a 2.5. fejezet mutatja be. Bonyolultabb esetekben célszerű már az engedélyezési fázisban a vízhozam becslése és a leszívási görbe meghatározása, amihez elengedhetetlen a megfelelően megválasztott modell. A modell meghatározásánál általában a következő kérdések merülnek fel.

Vizsgálandó kérdés Javaslat

Modell mélység	Általában a vízzáró alaprétegig, De nem biztos, hogy az első vízzáró réteg tart, amennyiben a felúszás probléma lehet a modell mélysége növekszik. Ez a becsült vízmennyiségre van jelentős hatással.
Kútmélység	A kút vagy galéria lehet teljes mélységű vagy nem teljes mélységű kút (nem ér le a vízzáró rétegig); Ennek is a becsült vízmennyiségre van jelentős hatása.
Közeli forrás	Pl. egy tó vagy folyó környezetében a kihatási távolság módosulása, a vízhozam növekedése és a leszívási tölcsér torzulása figyelhető meg.
Alkalmazott számítási modell	Pl. kutakkal víztelenített gödör számítása a legegyszerűbben helyettesítő kút (radiális áramlás) módszerrel. Vagy hosszú nem teljes mélységű vízzáró oldalfallal körülvett munkagödör számítása kétdimenziós áramlás feltételezésével, szerkesztéssel vagy monogramok segítségével.

Süllyedések kockázatának értékelése és süllyedésszámítás

A munkagödrök építéséhez szükséges talajvízszint szabályozás elsődleges célja általában a pórusvíznyomás szabályozása, pl. a munkagödör rézsúinek megfelelő stabilizálása. Ez a pórusvíznyomás csökkenésével jár a munkagödör közvetlen környezetében, míg a teljes feszültséget nem befolyásolja (amennyiben nincs többletterhelés), tehát a hatékony feszültség megnövekedéséhez vezet, ami süllyedések kialakulását idézi elő.

Másik lehetséges módja a süllyedések kialakulásának a talajszemcsék mozgása víztelenítés hatására, vagy a nem megfelelően méretezett víztelenítési rendszer miatt bekövetkező lokális talajtörés. A talajszemcsék talajvízzel történő kiemelése általában

a nem megfelelően tervezett szűrőváz következménye, ami megfelelő tervezéssel és gondos üzemeltetéssel elkerülhető.

Elméletileg, ha a munkagödör környezetében nincs új terhelés, a talajvízszint süllyedés hatására a teljes feszültség nem változik, csak a pórusvíznyomás változása miatt bekövetkező hatékony feszültség változásból keletkezik süllyedés. A hatékony feszültségek változásából keletkező süllyedéseket a 2.1. képlettel számíthatjuk:

$$s = \frac{D \cdot \Delta \sigma'_v}{E_0} \quad (2.1)$$

ahol D az összenyomódó réteg vastagsága, $\Delta \sigma'_v$ a függőleges hatékony feszültség változása, E_0 az ödométeres modulus.

Fontos megjegyezni, hogy a fenti elmélet egydimenziós (függőleges) összenyomódást feltételez. Az összenyomódási modulust a valós feszültség tartományban kell megadni, mert egy magasabb feszültség szinten meghatározott érték túlzó süllyedésbecsléshez vezethet.

A süllyedések ilyen formán történő becslése elhanyagolja a nem megfelelő víztelenítésekből származó süllyedéseket, mint például a szemcsék kimosódásából vagy a talajtörésből származtatható elmozdulásokat. Továbbá nem vesszük figyelembe a munkagödör kiemelésével járó süllyedéseket, ami általában összeadódik a víztelenítés hatásából eredő süllyedések hatásával.

2.1.3. Kivitelezési fázis követelményei

Ebben a fázisban már javasolt lehet egy megfelelő tapasztalattal rendelkező szakcég bevonása is, mivel a tervezés/részletkialakítás nagyban függ az alkalmazott technológiától, rendelkezésre álló eszközöktől.

Amennyiben a tervezett szerkezet biztonsága és használhatósága a víztelenítés teljesítőképességétől függ, figyelmet kell fordítani a víztelenítő rendszer meghibásodásának következményeire mind a biztonság, mind a javítási költség tekintetében. Ezért főként a hosszú ideig tartó víztelenítéseknél indokolt elkészíteni a víztelenítő rendszer karbantartási programját, és a terv olyan legyen, hogy karbantartási célból hozzá lehessen férni a víztelenítő rendszer elemeihez.

Helyszíni megvalósítás és monitoring

Ahol jelentősége van, ellenőrizni kell a kivitelezés közben észlelt talajvízszinteket, pórusvíznyomásokat és a talajvíz kémiai jellemzőit, valamint össze kell vetni azokat a tervben előzetesen feltételezettekkel.

A talajvízáramlás és a pórusvíznyomás-változások jellemzőit ajánlatos piezométerekkel megállapítani, melyeket célszerű a kivitelezés megkezdése előtt a talajba beépíteni. Néha szükség lehet a megfigyelőrendszer részeként az építés helyétől nagyobb távolságban beépített piezométerekre is.

Ha kivitelezés közben a pórusvíznyomások oly mértékben változnak, hogy befolyásolhatják a tartószerkezet teljesítőképességét, akkor a pórusvíznyomásokat az építés befejezéséig ajánlatos mérni, vagy addig, amíg értékük biztonságos szintig nem csökken.

Ellenőrizni kell az építési műveletek talajvízre gyakorolt hatását. Késedelem nélkül jelenteni kell, ha a tervben feltételezett talajvízviszonyokhoz képest eltérés mutatkozik. Ellenőrizni kell, hogy a tervezésben alkalmazott elvek biztosan összhangban vannak-e az építéskor észlelt talajvízviszonyokkal.

Azon tartószerkezetek megfigyelési programjának készítésekor, amelyeknek kedvezőtlen hatása lehet a talaj- vagy talajvízviszonyokra, figyelembe kell venni az átszivárgások vagy a talajvízáramlás áramképe váltásainak lehetőségét is.

2.2. A víztelenítések tervezéséhez szükséges alapadatok

Az alapadatok terepi vagy laboratóriumi meghatározását minden esetben meg kell, hogy előzze a tájékoztató jellegű adatok gyűjtése. Be kell szerezni minden olyan adatot, amely a tervezett víztelenítés közvetlen környezetének talajviszonyairól, a talajvíz elhelyezkedéséről, stb. ad tájékoztatást. Ugyancsak hasznosnak bizonyulhat a térségben, esetleg a korábbi időszakban végzett víztelenítési munkák tapasztalatainak, adatainak a beszerzése.

A tervezéshez a következő adatok beszerzése indokolt:

Szempont	Tárgy és információ igény
Talajrétegződés	Általában a feltárás mélysége legalább 1,5 vagy 2,0 szerese legyen a tervezett kiemelés szintjének. Azonosítani kell a vízvezető és víztartó rétegeket és térbeli kiterjedésüket.
Szivárgási tényező	Meg kell határozni a szivárgási tényező értékét, a különböző rétegekre vonatkozóan
Talajvízszint és pórusvíznyomás	Meghatározása figyelőkutak alapján célszerű
Munkaterület	A lehetséges visszapótlódások forrásának feltárása. Azonosítani kell az összes környezeti tényezőre gyakorolt hatást (szerkezetek, vízkivételi művek, stb.).
Geotechnikai paraméterek	Ha a környező szerkezetek süllyedése probléma lehet, meg kell határozni a konszolidációs és összenyomódási paramétereket.
Talajvíz kémiai összetevői	Meg kell vizsgálni az összes talajvíz agresszivitását okozó kémiai tényezőt, ha van talajvíz szennyeződésre utaló jeleket. Hosszú ideig működő vízszintszabályozó rendszerek esetén, fel kell tárni azokat a kémia, biológiai tényezőket, amik a rendszer teljesítőképességének leromlásához vezethetnek
Egyéb szempontok	Építési technológia és organizáció

2.2.1. Talajrétegződés

A talajrétegződésről megfelelő információt általában fúrással és CPT szondázással tudunk nyerni. A feltárásoknak legalább másfélszer, de inkább 2-szer mélyebbnak kell lennie a munkagödör tervezett kiemelési szintjénél. Ez több okból is fontos; általánosságban elmondható, hogy a vízzáró réteg helyzete nagyban befolyásolja a gödörbe áramló vízmennyiséget, de meghatározhatja a szükséges oldalzárás mélységét is. Illetve az is előfordulhat, hogy a vízzárónak tekintett réteg alatt egy másik, nyomás alatti vízvezető réteg található, s végső állapotban kellő leterhelés hiánya miatt fennáll a fenék felszakadás veszélye is.

A geotechnikai fúrásokból felhasznált információk általában a következők:

- Szemeloszlás: ez alapján jól becsülhető a talaj áteresztőképessége, szűrőképessége, ezért ez minden esetben javasolt,
- Porozitás: ez alapján becsülhető a munkatérben lévő vízmennyiség, de a leszívási görbe kialakulásának idejére is információt ad,
- Rétegek vastagsága, elhelyezkedése, kiterjedése és dőlése.

A mindennapi gyakorlatban elterjedt fúrási technológiákkal nem, vagy csak nagyon nehezen állapítható meg egy homogénnek tekintett összlet rétegzettsége, habár a megfelelő víztelenítési módszer megválasztásához ez kiemelt fontosságú. A fúrásokat

kiegészítve, ajánlatos néhány nyomószondázás (CPTu) készítése is, amiből részletes információt kaphatunk a rétegzettség, az egyes rétegek változékonyságára.

2.2.2. A szivárgási tényező meghatározása

A víztelenítés tervezésének döntően fontos szivárgáshidraulikai paramétere a víztelenítendő talaj szivárgási tényezője. Meghatározására számos módszer terjedt el, s köztudott, hogy az egyes módszerek nagyságrendi eltérést is eredményezhetnek, ezért kifejezetten fontos a számítás alapjául szolgáló szivárgási tényező meghatározásának részletes ismerete.

Fontos továbbá, amikor egy réteg szivárgási tényezőjéről beszélünk általában a vízszintes irányú szivárgáshoz tartozó értékre gondolunk, de ettől az ugyanarra a rétegre vonatkozó függőleges irányú szivárgási tényező nagy mértékben el is térhet. Ez az eltérés sok esetben a réteg kialakulásával magyarázható, pl. egy vízszintesen rétegzett iszapos homok esetén.

Nincs olyan ismert módszer vagy eljárás, amivel egy ilyen inhomogén közeg, mint a talaj, s annak áteresztőképessége jellemezhető lenne egyetlen számmal, majd ez a szám egyértelmű megoldás lenne minden szempontból. Ezért az alkalmazott szivárgási tényező helyes megválasztása előzetes vizsgálatok és az adott környezetre jellemző összehasonlító tapasztalatok értékelésén, valamint az adatokat feldolgozó és értékelő mérnök döntésén kell, hogy múljon. Minden esetben javasolt a számítások elvégzése egynél több, általában 3-4 szivárgási tényező értékére, egyfajta skála felvétele. Ebből az érzékenységvizsgálatból már jól látszik majd, hogy a szivárgási tényező változása milyen hatással van a víztelenítő rendszer teljesítőképességére.

Egy helytelenül felvett szivárgási tényezőre alapozott számítás könnyedén az adott rendszer hibás működéséhez (túl- vagy alul méretezéséhez) vezethet, de az is előfordulhat, hogy általa a megválasztott víztelenítési módszer lehetetlenül el. Gondoljunk csak bele egy mélykutas rendszer tervezésénél, hogy egy óvatosan felvett, a vártnál nagyobb szivárgási tényező, jelentős túlméretezéshez vezet az alkalmazott szivattyúk szempontjából, de előfordulhat, hogy ugyanezzel a tényezővel számított kúttávolságok jelentősen alulmaradnak a szükségesnél.

A gyakorlatban három eljárás ismertebb: a talajfizikai jellemzők, szemcseösszetétel alapján, a laboratóriumi-, és a helyszíni mérésekkel történő meghatározás.

A szivárgási tényező becslése tapasztalati táblázatok segítségével

A szakirodalomban számos táblázat fellelhető a szivárgási tényezők tapasztalati értékeivel kapcsolatban. A 2.1. táblázat néhány hazai talajtípusra jellemző értéket

közül Galli. L. munkásságából. Előfordul azonban az is, hogy egy szakkivitelező cégnek az adott területre vonatkozóan már megvannak az „ökölszámaik”.

2.1. táblázat. Szivárgási tényező tapasztalati értékei Galli L. nyomán

Talaj típus	szivárgási tényező átlagértéke [m/s]	rétegzettség mutató [-]	törési alapgradiens [-]	szabad hézagtartalom [%]
finom homokos iszap	$6 \times 10^{-7} \dots 1 \times 10^{-5}$	1...15	0,5	5
iszapos finom homok	$1 \times 10^{-6} \dots 6 \times 10^{-5}$	1...10	0,6	10
éles szemcséjű finom homok	$2 \times 10^{-5} \dots 1 \times 10^{-4}$	2...4	0,6	18
durva folyami homok	$1 \times 10^{-4} \dots 3 \times 10^{-4}$	1...2	0,8	20
durva homok apró kavicsal	$2 \times 10^{-4} \dots 6 \times 10^{-4}$	1...5	0,9	25
kissé iszapos kavicsos homok	$5 \times 10^{-4} \dots 9 \times 10^{-4}$	1...5	0,9	20
kavicsos homok	$9 \times 10^{-4} \dots 2 \times 10^{-3}$	1...8	0,9	30
homokos kavics	$2 \times 10^{-3} \dots 4 \times 10^{-3}$	1...9	0,9	35

A szivárgási tényező becslése talajfizikai jellemzők / szemcseösszetétel alapján

A különböző talajokat alkotó szemcsék halmazának jellemzésére, a szemcsék arányának rögzítésére a szemeloszlási görbe használatos. Viszonylag jól meghatározottak a szemeloszlási görbe azon jellemzői, amelyek a szivárgási tényező értékét leginkább befolyásolják, úm. a D_{10} súlyszázalékhoz tartozó szemcseméret az ún. Hazen-féle mértékadó szemcseátmérő, valamint a szemeloszlást jól jellemző egyenlőtlenégi mutató (C_u). Ezek figyelembevételével számos empirikus képletet dolgoztak ki. Ezek közül a leggyakrabban alkalmazottakat közöljük.

A **Kozeny-Kármán** formula elméleti eredetű képlet, a csőbeli lamináris vízmozgás hidraulikai összefüggéseiből vezették le. E szerint

$$k = C_3 \cdot \frac{g}{v} \cdot \frac{e^3}{1+e} \cdot d_h^2 \quad (2.2)$$

ahol,

C_3 – konstans a csőköteg modell bizonytalanságait fejezi ki. Döntően a szemcsealaktól és a szerkezettől függ. Átlagosan $C_3=10^{-2}$ vehető számításba.

g – nehézségi gyorsulás ($g=9,81 \text{ m/s}^2$)

v - kinematikai viszkozitás. Azt jelzi, hogy a víz sűrűdása gátolja a vízmozgást. Mivel v a hőmérséklet függvénye, tulajdonképpen k is függ a hőmérséklettől. (Ezért pl. télen kisebb a kutak vízhozama.) Átlagosan $v = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ vehető figyelembe.

e - hézagtévesző. A hézagtévesző a talajtömörség szerepét jelzi: tömörebb talaj átteresztőképessége kisebb lesz.

d_h - hatékony szemcseátmérő. A hatékony szemcseátmérő a talajszemcsék, illetve az általuk megszabott hézagok méretének szerepére utal.

Az egyes tényezők átlagos értékével számolva és a $d_h \approx d_{10}$ közelítést elfogadva, az átteresztőképességi együttható tájékoztató értéke

$$k = 0,01 \cdot d_{10}^2 \quad (2.3)$$

ahol, a 0,01 mennyiség m/s/mm^2

Világszerte sikerrel használják **Zamarin** 1925-ben közétett, szintén Kozeny és Kármán levezetésére és saját méréseire alapozott, szemempirikus eljárását. Számítási képlete

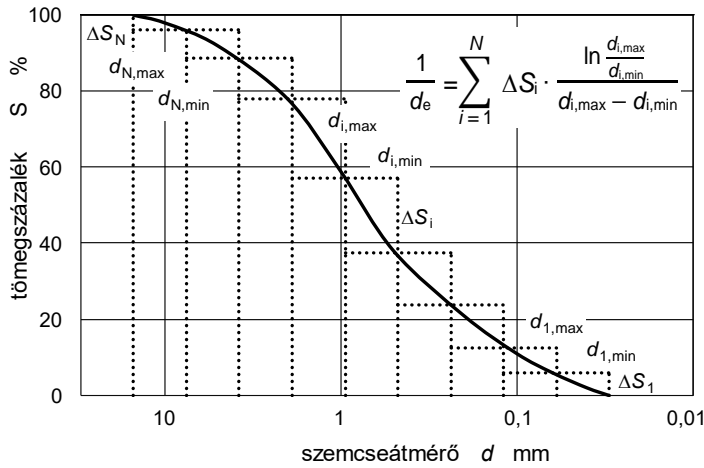
$$k = C_5 \frac{g}{v} \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot (1,275 - 1,50 \cdot n) \cdot d_e^2 \quad (2.4)$$

Ebben az n hézagterfogatot tartalmazó tört értéke azonos a Kozeny és Kármán képletében szereplő $e^3/(1+e)$ kifejezéssel. Zamarin a tömörség hatását a saját vizsgálatai alapján meghatározott zárójeles szorzóval mérsékelte. A C_5 tényező azonosra vehető Kozeny és Kármán szorzójával.

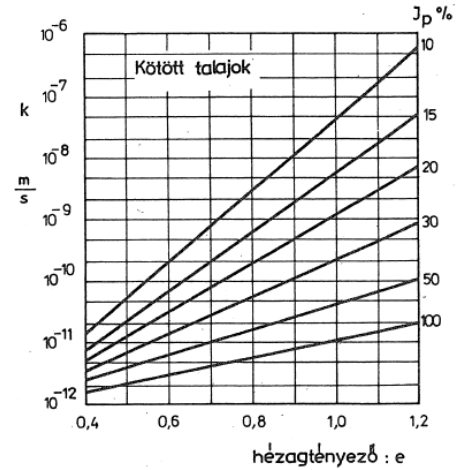
A módszer fő értéke, hogy a szemeloszlást az általában használatos $d_h \approx d_{10}$ hatékony átmérő helyett a d_e effektív szemcseátmérő képviseli, s azt komplexebben teszi. A d_e jellemzőt Zamarin a 2.3. ábrán bemutatott módon definiálta. A szemeloszlási görbét a d -tengelyen felvett azonos hosszúságú szakaszokkal fel kell darabolni. A szakaszok széleit jelentő $d_{i,\max}$ és $d_{i,\min}$ átmérőkből mindegyik szakaszra képezni kell az ábrán megadott törtet, és azt szorozni kell a szakasz ΔS_i tömegarányával. E szorzatok összegének a reciproka adja meg a d_e effektív szemcseátmérőt. E számításmód a $d > 0,0025 \text{ mm}$ mérettartományra használható, s az eljárást ennél kisebb szemcséket is tartalmazó talajokra nem is használják.

Zamarin módszerét a magyarországi gyakorlat is elterjedten használja, ám egy tisztázatlan eredetű, leegyszerűsített, formában. A tisztázhatatlan módon számított szivárgási tényezők legfeljebb kavicsos, iszapos homokokra fogadhatók el tájékoztató értéként. A közölt képlettel és a 2.3. ábra szerinti d_e paraméterrel számított k érték viszont feltétlenül ajánlható.

Izapok és agyagok esetén a hatékony szemcseátmérő bizonytalan volta miatt a képletek már nem használhatók. A kötött talajok áteresztőképességéről inkább a sok mérési adat alapján készült diagramok alapján érdemes tájékozódni. A 2.4. ábra a hazai gyakorlatban használatos nomogramot mutatja.



2.3. ábra. A Zamarin-féle effektív szemcseátmérő meghatározása [Forrás: Szepesházi R]



2.4. ábra. Nomogram kötött talajok áteresztőképességének becslésére [Forrás: Szepesházi R]

A szivárgási tényező meghatározása laboratóriumi mérésekkel

A laboratóriumi vizsgálatok előnye, hogy viszonylag egyszerű, nagyobb számban, sok mintán is viszonylag csekély költségekkel végezhető. Előnyük, hogy a szivárgási tényezőt rétegről rétegre, illetve egy-egy rétegen belül is több helyre (pontra) vonatkozóan megállapíthatjuk, és értékeiket és azok változásait az azonosító paraméterekhez kötve feltérképezhetjük. A laboratóriumi vizsgálatok hátránya, hogy a megállapított szivárgási tényezők valójában csak azokra a mintákra érvényesek, melyeken mérték. Az áteresztőképesség nagyságrendi változása miatt pl. az agyagokban lévő vékony homokerek, repedések, illetve a szemcsés talajokban előforduló iszapleplek a talajtömegben bekövetkező áramlást lényegesen módosítják, a rétegzett rendszer vízáteresztési viselkedését döntően befolyásolják. Ezek a rendellenességek azonban sok esetben nem is észlelhetők a feltáráskor, és a mintákból nem lehet megállapítani őket. Másik hibaforrásként kell említeni, hogy a mintakészítés is elkerülhetetlen zavarokkal jár.

Ezen elkerülhetetlen bizonytalanságok miatt a laboratóriumi vizsgálattal meghatározott áteresztőképességi együtthatót csak körülbelül „fél nagyságrendű” pontosságúnak tekinthetjük. Ezért az ezekre alapított vízhozam számítások tervezésénél tehát az emiatt lehetséges eltérésekre is gondolni kell.

Az állandó víznyomásos vizsgálat általában a nagyobb átteresztőképességű ($k > 10^{-5}$ m/s), míg a változó víznyomásos vizsgálat a kisebb átteresztőképességű ($10^{-5} > k > 10^{-8}$ m/s esetén) talajokra vonatkozik. Közepes és kövér agyagok esetén ($k < 10^{-8}$ m/s) már a változó víznyomásos vizsgálat sem célravezető, mert elviselhetetlenül lassú lenne a vízszintcsökkenés a vízszintkülönbség hatására. Ezért a talajok átteresztőképességét célszerűbb az ún. konszolidációs vizsgálatokkal meghatározni, melynél a vízmozgást külső terhelés okozza. A konszolidációs vizsgálatot a talajok terhelés alatti alakváltozásának vizsgálatára dolgozták ki. Mivel azonban az alakváltozások időbeli alakulását a vízmozgás határozza meg, a függőleges alakváltozás pontos kiméréséből a konszolidáció elméletének alkalmazásával számítható a k szivárgási tényező.

A jelenleg hatályos szabvány az átteresztőképesség laboratóriumi vizsgálataira a „Geotechnikai feltárások és vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 11. rész: Vízáteresztő-képességi vizsgálatok (ISO 17892-11:2019)”. Ez az átteresztőképesség állandó és változó víznyomással való meghatározását tárgyalja. Az Útmutató készítésekor e szabvány csak angol nyelven érhető el, ezért a hazai gyakorlatban jellemzően az MSZ EN ISO 17892-11:2004 használatos.

A szabványos kompressziós vizsgálatot az MSZE CEN ISO/TS 17892-5:2004 - Geotechnikai vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 5. rész: Kompressziós vizsgálat lépcsőzetes terheléssel c. szabvány tárgyalja.

A szivárgási tényező vizsgálata terepi mérésekkel

A laboratóriumi eljárások még igen gondos munka mellett is csak a valóságos szivárgási tényező közelítő értékeit adják meg. A valósághoz közelebb álló eredményt kapunk, ha a víztelenítési munka környezetében lévő talajrétegek szivárgási tényezőjét terepi mérésekkel határozzuk meg.

A terepi vizsgálatok egyik nagy előnye, hogy velük feltétlenül sokkal nagyobb talajzóna jellemző szivárgási tényezőjét állapíthatjuk meg, mint a laboratóriumi vizsgálatokkal, illetve, hogy velük a talajokat eredeti fekvésükben, csaknem zavartalan állapotukban vizsgáljuk.

A terepi vizsgálatok hátrányai, hogy valamelyest költségesebbek a laborvizsgálatoknál, speciális eszközök és/vagy szaktudás kell hozzájuk, bár ezekben is elég nagy különbség van a módszerek között. Különböznek abban is mikor lehet vagy érdemes végrehajtani őket, egyesekre (pl. a pressziométeres mérésre) a szokásos talajvizsgálatok keretében kerülhet sor, másokra (pl. a nagymodell-kísérletre) inkább csak a kivitelezési munkálatok elején.

Amennyiben nagy a jelentősége a szivárgási tényező pontosságának, pl. egy nagykiterjedésű, tartós talajvízszintsüllyesztés esetében, akkor érdemes terepi vizsgálatokra alapozni a hidrodinamikai számításokat.

Az Útmutató készítésekor a következő szabványok vonatkoznak a helyszíni vizsgálatokra:

- MSZ EN ISO 22282-1:2012 - Geotechnikai vizsgálatok. Geohidraulikai vizsgálatok. 1. rész: Általános szabályok (ISO 22282-1:2012)
- MSZ EN ISO 22282-2:2012 - Geotechnikai vizsgálatok. Geohidraulikai vizsgálatok. 2. rész: A vízáteresztő képesség vizsgálata furatban, nyitott rendszerben (ISO 22282-2:2012)
- MSZ EN ISO 22282-3:2012 - Geotechnikai vizsgálatok. Geohidraulikai vizsgálatok. 3. rész: Víznyomásos vizsgálatok kőzetben (ISO 22282-3:2012)
- MSZ EN ISO 22282-4:2012 - Geotechnikai vizsgálatok. Geohidraulikai vizsgálatok. 4. rész: Próbaszivattyúzás (ISO 22282-4:2012)
- MSZ EN ISO 22282-5:2012 - Geotechnikai vizsgálatok. Geohidraulikai vizsgálatok. 5. rész: Infiltrométeres vizsgálat (ISO 22282-5:2012)
- MSZ EN ISO 22282-6:2012 - Geotechnikai vizsgálatok. Geohidraulikai vizsgálatok. 6. rész: A vízáteresztő képesség vizsgálata furatban, zárt rendszerben (ISO 22282-6:2012)

Próbaszivattyúzás

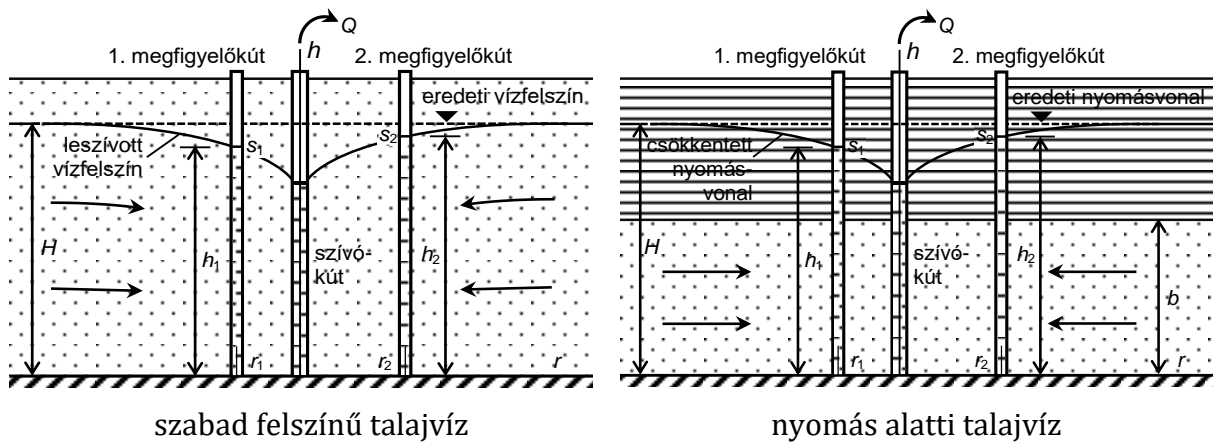
A próbaszivattyúzás a terepi vizsgálatok legpontosabb módszerének tekinthető. Ennek során ugyanis biztosítani lehet, hogy a talajrétegekben kialakuló határfeltételeket az elmélet által megkívánt pontossággal számításba vehessük.

A 2.6. ábra szerint egy szűrőkútként kialakított szívókutat (termelő kút) és attól meghatározott távolságokban minimum két megfigyelőkutat kell telepíteni, úgy, hogy a megfigyelőkutak és a szívókút ne legyen egyazon függőleges síkban.

A szívókútban szivattyúval egy tervezett mélységig leszívjuk a vizet és állandó szinten tartjuk. A megfigyelőkutakban mérjük a vízszinteket, melyek állandó vízkivétel mellett idővel stabilizálódnak (alig változnak). A kút körül kialakul egy lényegileg permanens (kvázi-stacioner) tengelyszimmetrikus áramlás, melynek bemért paramétereiből, a vízszintekből és a vízhozamból számítható a kút talajkörnyezetének szivárgási tényezője.

A próbaszivattyúzási vizsgálatokat nyomás alatti és nyílt tükrű (lásd. 2.5. ábra), valamint átszivárgó rendszerek esetében is el lehet végezni. A próbaszivattyúzás

tervezésekor elsőként azt kell tisztázni, hogy a rétegződés alapján melyik változatról lehet szó.



2.5. ábra. Próbaszivattyúzás alapesetei [Forrás: Szepesházi R]

A szívókutat (termelő kút) ajánlatos a vizsgálandó vízvezető réteg aljáig lemélyíteni, teljes kút kiépíteni. Ez azonban nem mindig lehetséges, mert olykor túlzottan mélyen lehet a vízzáró réteg.

Tekintettel arra, hogy a próbaszivattyúzási vizsgálatok meglehetősen költségesek, így takarékosági okból sokszor előfordul az is, hogy csak egyetlen kútunk van. Ilyen esetben ugyanabban a kútban szivattyúzunk és mérjük a vízszinteket. A szívókútban (termelőkútban) fellépő különböző ellenállások miatt azonban a mért vízszintek megbízhatósága sokkal kisebb, mint a tényleges megfigyelőkutakban mért vízszinteké.

A vizsgálat során folyamatosan fel kell jegyezni minden mérési adatot és minden lényegesnek vélelmezhető megfigyelést. Az adatokat a feldolgozás során mindenképpen grafikusán is ábrázolni kell, hogy megállapítható legyen, mely adatoktól kezdve tekinthető az áramlás kvázi-stacionernek.

A kúthidraulika fejlődésével nagyon sok fajta kiértékelési eljárás jött létre. Ezek közül Theis módszerét ismertetjük, melyet 1935-ben dolgozott ki. Ez egy könnyen alkalmazható grafikus eljárás, amely bonyolult matematikai levezetésen alapul. Megjegyezzük, hogy a későbbiekben kidolgozott egyéb kiértékelési eljárásoknak is ez az alapja.

A módszer alkalmazása során a következő fontosabb feltételezésekből indulunk ki: 1) a vizsgált nyomás alatti vízadó homogén és izotróp, 2) a vízadó réteg utánpótlódásától eltekinthetünk, 3) a vizsgált vízadó vastagsága és a szivattyúzás hozama is állandónak tekinthető.

A megfigyelőkútban mért depresszió megadható egy $W(u)$ kútfüggvény segítségével:

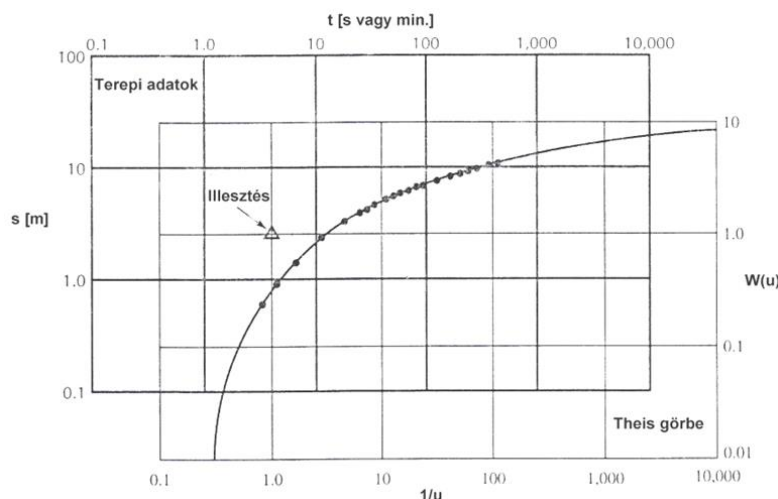
$$S = \frac{Q}{4\pi T} \cdot W(u) \text{ és } u = \frac{r^2 \cdot S}{4T \cdot t} \quad (2.5)$$

ahol Q a termelőkút hozama [m^3/s], T a vizsgált nyomás alatti réteg vízszállítási (transzmisszivitási) tényezője [m^2/s], u a kútfüggvény változója [-], r a megfigyelő és a termelő kút közötti távolság, t a szivattyúzás megkezdése óta eltelt idő [s], S pedig a vizsgált vízadó tárolási tényezője [-].

Theis bebizonyította, hogy a $W(u)$ kútfüggvény elméletileg a következő egyenlettel, illetve sorba fejtett alakkal fejezhető ki:

$$W(u) = -u \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} \cdot du, \quad (2.6)$$

$$W(u) = -0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots \quad (2.7)$$



E számítás alapján Theis megszerkesztette a $W(u)$ mestergörbét, amely $W(u)$ értékeit $1/u$ függvényeként adja meg. A mestergörbe mellett egy kettős logaritmikus

2.6. ábra. A T és S vízföldtani paraméterek meghatározása grafikus úton a Theis módszer segítségével [Forrás: Szűcs P]

koordinátarendszerben felhordjuk a próba-szivattyúzás során mért depresszió (s) értékeket az idő (t) függvényében.

A 2.6. ábrának megfelelően az előálló pontsorra úgy illesztjük a Theis mestergörbét, hogy az a legjobb fedésbe kerüljön. Ezután egy tetszőleges illesztési pontot kiválasztva le kell olvasni a pont koordinátáit mind a két rendszerben (s , t , $W(u)$, u). A kiolvasott értékek alapján a T és az S a következő módon határozható meg:

$$T = \frac{Q}{4\pi \cdot s} \cdot W(u) \quad (2.8)$$

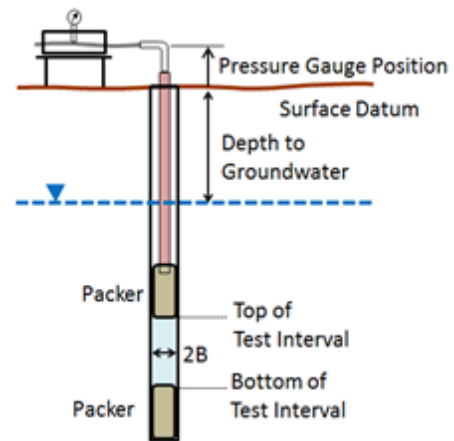
$$S = \frac{4 \cdot T \cdot t \cdot u}{r^2} \quad (2.9)$$

A próbaszivattyúzás szimulálására számos szoftvert dolgoztak ki, melyek Theis, vagy követőinek továbbfejlesztett módszerével számolnak. Emellett az eredmények értékelésére megfelelő eszköz a numerikus modellezés is.

Fúrólukás vizsgálatok a szivárgási tényező meghatározására

A fúrólukás mérések a talajfeltárások keretében a mintavételezés céljából készülő furatokban viszonylag könnyen elvégezhetők. A furatokban lényegében tetszőlegesen sok helyen elvégezhetők a mérések, így a szivárgási tényezők mélységbeli változásai jól feltérképezhetők. Ilyen vizsgálati eljárás például az eredetileg repedezett kőzetek vizsgálatára kifejlesztett Lugeon teszt vagy az idehaza is előszeretettel alkalmazott nyeletéses vizsgálat.

A kétpakkeres Lugeon mérés során a furat vizsgálni kívánt szakaszát egy-egy felfújt, a furatfalnak feszített ballonnal zárják le, s oda egy csövön keresztül nyomás alatt vizet juttatnak, mely többé-kevésbé radiálisan szivárog ki a talajba (2.7. ábra). A kb. egy órás vizsgálatban növekvő, majd csökkenő nyomást alkalmazva mérik a kiszivárgott vízmennyiséget, és ábrázolják a p nyomás és Q vízmennyiség viszonyát. Ha a két vizsgálati szakasz vonala kevésbé tér el egymástól és az egyenestől, az azt jelenti, hogy lamináris volt az áramlás, s ebből lehet következtetni a szivárgási tényezőre.



2.7. ábra: Lugeon vizsgálat a szivárgási tényező meghatározására
[Forrás: waterhydrogeologic]

A vizsgálat eredményeként hagyományosan az LU Lugeon-értéket állapítják meg az

$$LU = \frac{q}{L} \cdot \frac{P_0}{P} \quad (2.10)$$

képlettel, melyben a mért q vízhozam l/min-ben, L m-ben az a hossz, melyen a víz a két pakker között kiáramlik a furatból, P_0 a referencia nyomás, melynek értéke 1MPa, P a q vízmennyiség kiáramlásának ideje alatt működtetett nyomás átlagos értéke MPa-ban. LU mértékegysége tehát l / (min · m) Az LU értékből a szivárgási tényezőt az $1 LU \approx 1,3 \cdot 10^{-7}$ m/s arányossággal lehet számítani.

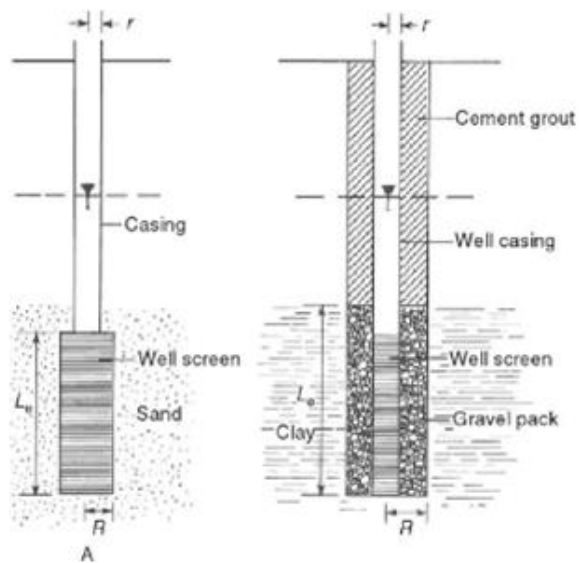
Hazánkban csak ritkán, de a nemzetközi gyakorlatban használatos még az egypakkeres Lugeon vizsgálat, melynek során a vizsgálandó zóna tetejénél a furatot egy felfújható

ballonnal lezárják, s így a pakker alatti talajzóna szivárgási tényezőjéről alkotnak képet. Megemlítjük még a béléscsöves mérést, melyet Lefranc dolgozott ki ennek továbbfejlesztéseként, illetve a pressziopermeaméteres vizsgálatot, melyet Menard dolgozott ki a kétpakkeres Lugeon-vizsgálat továbbfejlesztéseként

Nyeletéses vizsgálat

A nyeletéses vizsgálat elvégezhető állékony talajok esetén a furatban, ideiglenesen béléscsövezett furatban is (ideiglenes megfigyelőkút) és természetesen állandósított talajvíz megfigyelő kútban is.

A vizsgálat első lépéseként a furatot kell feltölteni vízzel, és célszerűen 5-10 perces előáztatással telíteni kell a furat talajkörnyezetét. A mérés kezdetén a furatot újra feltöltjük vízzel, majd mérjük a furatban a mindenkori vízszintet az idő függvényében. A leolvasásokat úgy célszerű előírni/elvegezni, hogy a furatban lévő kezdeti vízoszlop magasságának a 37%-a mértékig kell minimálisan a vízszintcsökkentést rögzíteni. Gyengén vízvezető rétegben a gyakorlatban azonban erre nincs mindig reális lehetőség. A megfigyelőkút kialakítását a 2.8. ábra mutatja. Az ábra bal oldalon egy homokrétegben kialakított kutat ábrázol, a jobb oldalon pedig egy végleges kutat.



2.8. ábra. Nyeletéses vizsgálat
[Forrás: waterhydrogeologic]

A 2.2. táblázat egy mérési jegyzőkönyv részletet mutat. A furat átmérője 65 mm, talpmélység 4,2 m. A furatban több mérési sorozat is jegyzőkönyvezzhető, a példában a telítődést követően egy mérés készült, 20 perces időtartamban. A szikkasztást 1 perces előáztatás előzte meg, majd terepszintig újratöltve kezdték a mérést. A szikkasztás 50 mm átmérőjű, réselet műanyagcsőben történt.

Az adatok grafikus értékeléséhez szemi-logaritmikus rendszerben ábrázoljuk a h/h_0 nyomásarányt az idő függvényében, ahol h_0 a kezdeti állapothoz tartozó vízoszlop magassága, h pedig a t időhöz tartozó vízoszlop magassága. A gyakorlati példánál maradv a $h_0 = H$, 420 cm, a felszínig feltöltött vízoszlop nyugalmi talajvízszint feletti magassága. A h értékét mindenkor a $H-h$ különbség fejezi ki (2.9. ábra).

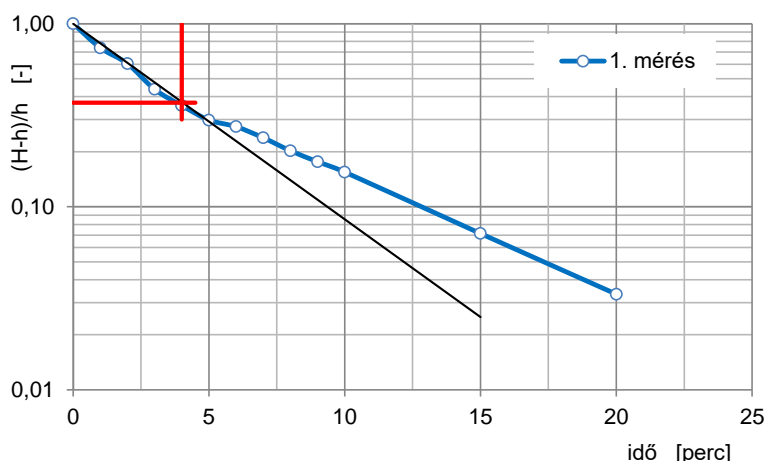
A mérési eredmények ideális esetben egy egyenesre esnek, de a gyakorlatban előfordul, hogy a mérési eredmények kezdetben egy meredekebb, később pedig egy laposabb meredekségű egyenesre illeszkednek. Azt a kiegyenlítő egyenest célszerű illeszteni, amely a 37%-os (H-h)/H értékhez tartozó T leolvasást lehetővé teszi.

Hvorslev-módszer (1951) szerint, amennyiben a beszűrőzött szakasz hossza legalább nyolcszorosa a furat/kút átmérőjének, akkor a vízáteresztőképességi együttható (k) a következő összefüggéssel közelíthető:

$$k = \frac{r^2 \cdot \ln \frac{L}{R}}{2 \cdot L \cdot T_0} \quad (2.11)$$

ahol k a vízáteresztőképességi együttható (m/s), r a furatot biztosító bélés cső sugara (m), L a szűrőzött szakasz hossza (m), R a furat sugara (m), T₀ az az idő, ami a 37%-os nyomásarány eléréséhez szükséges (grafikus leolvasással kapjuk).

1. mérés		1. mérés	
idő	mélység	H-h	(H-h)/H
perc	m	cm	-
0	0	420	1,00
1	110	310	0,74
2	166	254	0,60
3	236	184	0,44
4	270	150	0,36
5	295	125	0,30
6	305	115	0,27
7	320	100	0,24
8	335	85	0,20
9	346	74	0,18
10	355	65	0,15
15	390	30	0,07
20	406	14	0,03



2.2. táblázat. Szikkasztási jegyzőkönyv

2.9. ábra. Vízsintcsökkenés - Hvorslev diagram

Megjegyezzük, hogy ha a furatot nem támasztja meg bélés cső, akkor r = R, illetve bélés cső és szűrőkavics hiányában az a furat hossz, ahol elszivárgásra lehetőség van.

A mintapéldában a 37%-os (H-h)/H értékhez 4 perces idő tartozik, a grafikus leolvasás szerint. Az adatokat behelyettesítve Hvorslev-összefüggésébe a szivárgási tényező értékére k = 1,51 x 10⁻⁶ m/s értéket kaptunk.

A gyakorlatban sok esetben külön furatban készítjük el a vizsgálatot, ha a szivárgási tényező értékét csak bizonyos mélységig települő talajrétegekre szükséges meghatározni. Gyengén vízvezető összletben célszerű az 1-2 órát meghaladó

leolvasásokat úgy elvégezni, hogy pl. később, akár másnap visszatérve készítünk egy leolvasást.

Khafagi-módszer

A Khafagi-módszer lényege egy olyan szonda, melyet le kell sajtolni vagy verni a kívánt mélységbe, ott a kúpos fej a cső visszatartásával kitolható, s így egy $r_0 = 2$ cm átmérőjű és 4 cm magasságú henger palástján víz juttatható a talajba. Ehhez a víznyomást a cső felső végéhez csatlakoztatott üvegcsővel vagy zárt rendszerben légnyomással lehet létrehozni. Ha a nyomást állandó p értéken tartjuk, akkor mérni kell a pótlendő Q vízmennyiséget. (Végezhető azonban az üvegcsőves változattal változó víznyomásos vizsgálat is, ekkor a vízszint időbeli csökkenését kell regisztrálni.)

Homogénnek gondolható talaj esetén azt lehet feltételezni, hogy a víz a szondától kis távolságra már gömbsugarasan áramlik szét, és benne (elméletileg) végtelen távolságban lesz a nyomás azonos a talajvíz helyzetéből adódó p_0 nyomással. Ebből levezethető, hogy a szivárgási tényező általában és konkrétan a megadott nyílásméretekkel, illetve a talajvízszint feletti $(p - p_0) / (\rho_w \cdot g) = h_v$ nyomással :

$$k = \frac{Q}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\rho - \rho_0} \cdot \frac{1}{r_0} = 4 \cdot \frac{Q}{h_v} \quad (2.12)$$

(A képlet második felébe Q m³/s-ban, h_v m-ben helyettesítendő be, s így k m/s-ban adódik.)

Statikus nyomószondázás (CPT)

A CPT szondázások széles körben használatosak a geotechnikai tervezésben. Előnyük, hogy a talajkörnyezet gyors és rendkívül részletes (nagy felbontású) megismerése válik lehetővé – például vékony vízvezető vagy vízzáró rétegek –, ellentétben a fúrásos mintavételekkel, mely során a technológiából fakadóan a rétegsor ezen részletei nem tárhatók fel (2.11. ábra). A CPT diagramok értelmezésével egy közelítő becslést lehet kapni a talaj vízáteresztő képességére. Ennek alapját a talaj viselkedési típusa (Soil Behavior Type) adja, amivel nagyságrendileg becsülhető az áteresztőképesség és jól érzékelhető az áteresztőképesség változása a mélység függvényében. Az áteresztőképesség és a viselkedési index közötti összefüggésre Robertson (2010) ajánlása:

$$\text{Ha } 1,0 < I_c \leq 3,27 \quad k \left(\frac{m}{s} \right) = 10^{(0,952 - 3,04 \cdot I_c)} \quad (2.13)$$

$$\text{Ha } 3,27 < I_c < 4,0 \quad k \left(\frac{m}{s} \right) = 10^{(-4,52 - 1,37 \cdot I_c)} \quad (2.14)$$

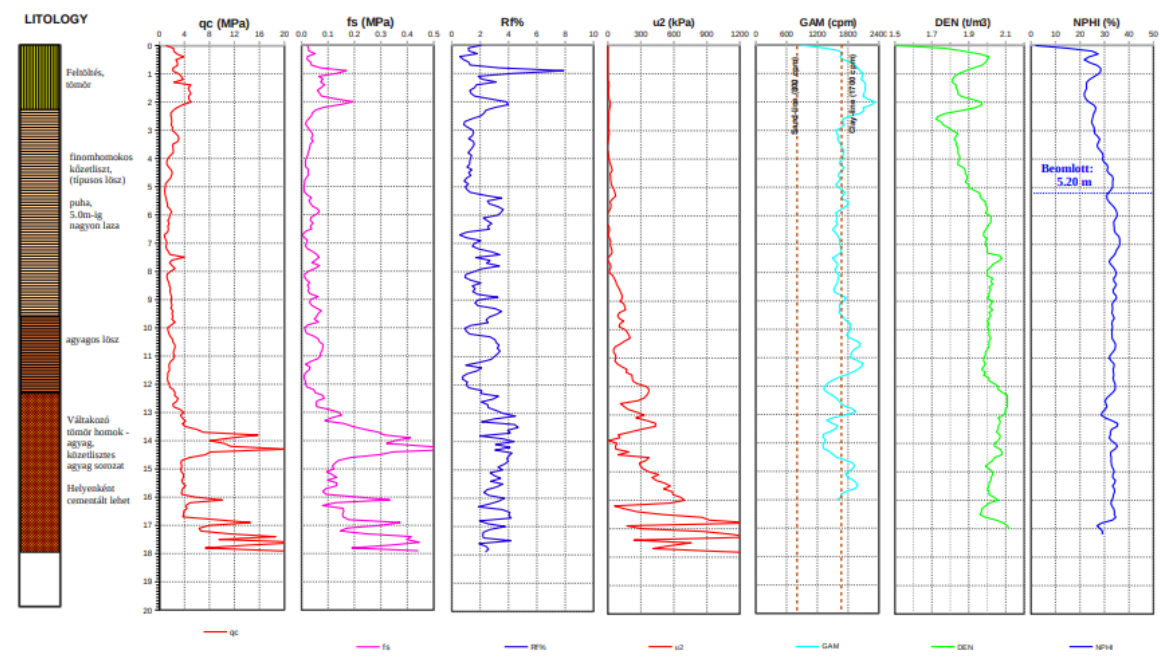
Mérnökgeofizikai szondázás

A mérnökgeofizikai szondázás a hagyományos talajmechanikai statikus szondázás (CPT-vizsgálat) és a fúrólukakban végzett geofizikai mérések (karotázs) összekapcsolásával jött létre. Alkalmazása során kisátmérőjű szondákat juttatunk a talajba hidraulikus lesajtolással, melyek az eredeti települési viszonyokat csak jelentéktelen mértékben változtatják meg, így a módszer in-situ adatokat szolgáltat.

A terepi munka során többféle adatsort mérünk, melyek az áthatolt képződmények egymástól független fizikai tulajdonságaival állnak összefüggésben. A leggyakrabban mért paraméterek a következők:

- csúcscellenállás (RCPT vagy q_c) és lokális palástsúrlódás (FCPT vagy f_s) a szilárdság meghatározására,
- természetes gamma aktivitás (GAM) az agyagtartalmat jelzi,
- gamma-gamma térfogatsúly (DEN) halmazsűrűség meghatározására,
- neutron-neutron víztartalom (NPHI) a víz pórustérfogatának, víztartalmának mérése,
- elektromos fajlagos ellenállás (RES) és indukált polarizáció (IP) a réteghatárok kirajzolására és a réteg meghatározására.

A mérésekből számított kőzetfizikai adatsorok részben egy speciális karotázs-értelmezési eljárás alapján, részben görbesereges kiértékelésből származnak. Az egyes komponensek birtokában igen pontosan kiszámítható a száraz térfogatsúly, porozitás, hézagtényező, és szabványos víztartalom (lásd. 2.10. ábra).



2.10. ábra. Mérnökfizikai mérés eredményei [Forrás: Szerzők]

Disszipációs vizsgálat

A disszipációs tesztet a nyomószondázás részeként lehet végrehajtani, amennyiben azt a pórusvíznyomás mérésére is alkalmas CPTu-szondával végzik. Így ez a vizsgálat is jól beilleszthető a standard talajfeltárások rendjébe, s mivel ebben a CPTu-vizsgálat mind nagyobb szerepet kap, várható, hogy a disszipációs vizsgálat a szivárgási tényező meghatározásának egyik fontos eljárásává válik.

A szonda behatolása a talajban pórusvíznyomásnövekedést okoz, mennél kisebb a talaj vízáteresztőképessége és mennél gyorsabb a behatolás, annál nagyobb. A disszipációs vizsgálat lényege az, hogy a behatolást a mérés tervezett mélységében megszakítjuk, s mérjük a pórusvíznyomás időbeli alakulását.

Jelenleg a kiértékelésére használt eljárások nem egységesek, s eredményük nagyságrendi szórást mutat, ezért az így kapott eredmények mindaddig bizonytalanok maradnak, amíg a kiértékelésük nem változik egyértelműen.

2.2.3. Talajvízszint meghatározása

A víztelenítések tervezésének egyik alapadata a talajvízszint meghatározása. Természetesen a talajvíz szintje nem egy statikus érték, hanem egy időben és térben folyamatosan változó szint, amire nagyon sok tényező befolyással bír. Egy ilyen adatsorból meghatározott statikus vízszinthez ismerni kell az adott terület talajvízszint változásait, a talajvízszint alakulását befolyásoló tényezőket. Ezek közül különös jelentőségű az élővízfolyások, természetes vagy mesterséges tavak, valamint egyes esetekben a csapadék talajvízre gyakorolt hatása, de ilyen lehet a szomszédos területek éppen folyó talajvízszint szabályozása is. Ezért a talajvíz mindenkori szintjét különös gonddal kell meghatározni.

Amennyiben a víztelenítés környezetében talajvízszint-észlelő kutak találhatóak és azokat hosszabb ideig észlelik, akkor lehetőség nyílik arra, hogy a talajvízszint magasságát és tartósságát valószínűségelméleti alapon határozzuk meg. Ily módon a különböző évszakokra vonatkozóan kiszámíthatjuk a várható talajvízszint alakulását, ami lehetővé teszi, hogy a lehető legkedvezőbb időszakot válasszuk ki a víztelenítéshez. Természetesen egy időpont kiválasztása csak rendszerszemléletű lehet, vagyis az építési tevékenység ütemezésétől el nem vonatkoztatható. Hazai viszonyok között általában a nyárvégi és az őszi hónapokban várható alacsony talajvízállás.

Ezek alapján egy területre vonatkozóan többféle talajvízszintet is meghatározhatunk.

Építési talajvízszint: A talajvíz szintje a kivitelezés átfutási ideje alatt tág határokon belül mozoghat. Az építési vízszint pontos meghatározása az észlelt kúdadatok és a

kivitelezés várható átfutási idejének függvényében állapítható meg. A gyakorlatban a nyugalmi vízszint megfelelő biztonsággal megnövelt értékével szokták figyelembe venni. Célszerű a várható vízhozamot, kihatási távolságot az építésitalajvízszint alapján számítani, majd a különböző gépészeti elemeket további biztonsági tartalékkal figyelembe venni.

Megütött talajvízszint: A fúrás során először észlelt talajvízszint helyzete a terep alatt.

Nyugalmi talajvízszint: a talajvízszint beavatkozásmentes állandósult állapota. Egy adott időpontra érvényes érték.

A tervezéskor figyelembe veendő vízszintet (tervezési vízszintet vagy biztonsági tartalékot) a szerkezet (létesítmény, épület) tervezője kell, hogy felvegye, mérlegelve a fentebb megfogalmazottakat.

Az egyes tervezési határállapotokra vonatkozó ajánlást az MMK geotechnikai tagozatának állásfoglalása foglalta össze és 2018-ban adta közre a „Talajvízszint értékelése, a biztonság kezelése a geotechnikai tervezésben” c. állásfoglalását. A dokumentumból itt csak a legfontosabbakat emeljük ki.

Karakterisztikus érték (korábban becsült maximális vízszint) a tervezési élettartam alatt bekövetkező szélső értékét tekintjük. 50 éves teljes élettartam esetén ez az 1 év referenciaidőszakon belül legfeljebb 2%-os valószínűséggel előforduló vízszintet jelent.

A karakterisztikus érték felvételénél az alábbiakat kell figyelembe venni:

- a vizsgált időtartamot, melyen belül megkülönböztethetünk:
- építési állapotot (pl. munkatérhatároló szerkezet)
- teljes élettartamot (pl. szerkezet felúszás vizsgálata)
- a talajvíz idősorok számát, hosszát, azok mérési bizonytalanságát,
- a területre jellemző vízszintingadozás mértékét és időbeli változását,
- a környezetben meglévő és új felszín alatti létesítmények hidrogeológiai viszonyokra való hatását (pl. visszaduzzasztás lehetősége).

A talajvízszint karakterisztikus értékét – mely akár több érték is lehet a vizsgált időtartam függvényében – a geotechnikai tervező a talajvizsgálati jelentésben határozza meg, rögzítve annak meghatározási módját, megbízhatóságát.

Talajvízszint tervezési értéke: ha a talajvíz szintjét geometriai adatként kezeljük, s ekkor a tervezési vízszint vagy közvetlenül veendő fel, vagy a karakterisztikus érték biztonsági tartalékkal (Δh) növelt értékével azonos. Ekkor a tervezési értékhez már további parciális tényező nem rendelendő ($Y_G = 1,0$). A korábbi tervezési

gyakorlatban a biztonsági tartalék $\Delta h = 0,5$ m volt függetlenül a tervezési határállapottól, mely a víznyomás szintjétől függően jelentősen változó biztonsági szintet eredményezett. A biztonsági tartalékot vagy közvetlenül a tervezési vízszintet az alábbiak együttes mérlegelése alapján javasolt felvenni:

- a víznyomás mértéke,
- a várható kockázatok, azaz a károsodás bekövetkezése esetén fennálló költségek,
- a talajvízszint (megfigyelő kút, természetes vízfolyás vízmerce, vízállás adatok stb.) ingadozásának mértéke,
- a talajvízszint adatsorszáma a vizsgált területtől,
- a karakterisztikus érték felvételének megbízhatósága,

de értékét mindenkor javasolt $\Delta h \geq 0,5$ m-ben rögzíteni. Általános esetben elfogadott feltételezés, hogy a tervezési vízszint nem haladja meg a mindenkori rendezett terepszintet, de ezt minden esetben ellenőrizni kell, mert előfordulhatnak speciális esetek (pl. árvízvédelmi vonalak közvetlen környezete, áramló víz visszaduzzasztása), amikor a vízszint a felszín fölé emelkedhet. Fel kell hívni a figyelmet, hogy jelen dokumentum a talajvíz helyzetét elemzi, ám egyéb helyzetekben más víznyomás szintek is előfordulhatnak (pl. vízepítési műtárgyak)

2.2.4. Talajvíz kémiai és biológiai összetevői

A jelenlegi gyakorlatban a talajvíz mintavétel során általában az MSZ 4798:2016/2M:2018-es előírás alapján a beton korrózióhoz kapcsolódó környezeti kitéti osztályba soroláshoz szükséges vegyvizsgálatok elvégzése jelenik meg, a 2.3. táblázatnak megfelelően. Valójában a víztelenítési szempontok miatt fontosabb paraméterek vizsgálata sok esetben elmarad.

2.3. táblázat. Talajvíz vizsgálatok

Laboratóriumi vizsgálat megnevezése	Vonatkozó szabvány
Talajvíz: pH-érték	MSZ 1484-22:2009 / MSZ EN ISO 10523:2012
Talajvíz: Klorid (Cl ⁻ [mg/l])	MSZ 448-15:1982
Talajvíz: Szulfát (SO ₄ ²⁻ [mg/l])	MSZ 448-13:1983 / MSZ EN ISO 10304-1:2009
Talajvíz: Ammónium (NH ₄ ⁺ [mg/l])	MSZ ISO 7150-1:1992
Talajvíz: Magnézium Mg ²⁺ [mg/l]	EPA 6020A:2007 / MSZ EN ISO 17294-2:2005
Talajvíz: Szén-dioxid CO ₂ [mg/l]	MSZ EN 13577:2007

2.3. Tervezési módszerek áttekintése

A talajvíz szintje alatt történő beavatkozások (pl. egy földkiemelés, talajjavítás, de egy mechanikai terhelés is) során általában valamilyen vízmozgás alakul ki. A víztelenítés számításánál általában a következőket kell vizsgálni:

- mennyi vizet kell kiemelni;
- milyen víznyomások / depressziók alakulnak ki;
- milyen hatásokat (pl. talajtörés) okoz az áramlási erő.

A vízmozgások számítása az áramló víztömeg egy részecskéje által bejárt út vizsgálatán alapul. A részecskék mozgását tekintve megkülönböztetünk lamináris és turbulens mozgást. Az egyszerűség kedvéért a továbbiakban csak a lamináris mozgásokkal foglalkozunk, ahol az egyes vízrészecskék ugyanazon az úton hasonló sebességgel és iránnyal haladnak át, illetve a vízrészecskék csak súrlódnak egymáson és a határoló közegen.

A szivárgás alapegyenlete matematikai formában írja le a vízmozgás törvényszerűségeit. A szivárgást leíró alapvető összefüggés a Darcy-törvény; ezt a porózus közegben áramló folyadékok tömegmegmaradásának kontinuitási egyenletével összeillesztve a szivárgás alapegyenletét kapjuk meg. Az eredményként kapott parciális differenciál-egyenlet egymástól alig eltérő formában írható fel a permanens és nem permanens, valamint a telített közegbeli áramlás esetére, sőt kiterjeszhető a telítetlen közegbeli szivárgásokra is. Mindegyik esetre vonatkozóan megállapítható, hogy a kapott parciális differenciálegyenlet a matematikusok számára nagyon ismert, ezért megoldásukra vonatkozóan számos eljárást dolgoztak ki.

Az áramlási feladatok megoldásához, közelítésként, általában háromféle modellt használunk:

- egydimenziós áramlási modell, ahol az áramlási vonalak párhuzamosak;
- síkbeli áramlási modell, ahol az áramvonalak síkgörbék és a síkok egymással párhuzamosak;
- tengelyszimmetrikus modell, amikor az áramvonalak síkgörbék, de a síkok egy tengelyre illeszthető forgássíkok sorozatát alkotják.

2.3.1. Hagyományos elméletek

Egydimenziós áramlás

Az egydimenziós áramlásokat homogén talaj esetén a Darcy-féle kísérlet analógiájára lehet vizsgálni (2.11. ábra). Ismernünk kell az áramvonalak valamely két, L távolságú pontja között fellépő h_v energiakülönbséget, melyből a hidraulikus gradiens és abból a k átteresztőképesség ismeretében a v_s sebesség számítható. Ebből a kiválasztott A felületen átáramló vízhozam is kiadódik:

$$Q = v_s \cdot A = k \cdot \frac{h_v}{L} \cdot A \quad (2.15)$$

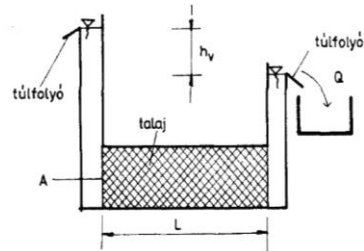
Két pont közt ilyenkor lineárisan változik az energiaszint, s ebből bármely közbenső ponté, s abból - a pont geodéziai helyzete alapján - az ott uralkodó víznyomás is meghatározható.

Rétegzett talajban – ha az átteresztőképességek nagyságrendileg különböznek - az áramlást nagymértékben befolyásolja az áramvonal és a réteghatárok viszonya. Igazolás nélkül emeljük ki a leglényegesebb ismereteket:

- a rétegződésre merőleges áramlás esetén a legkisebb átteresztőképességű réteg szerepe a meghatározó: közelítőleg úgy számolhatunk, mintha a rétegzett rendszerre eső teljes energiaveszteséget az e rétegen történő átáramlás emésztene fel;
- a rétegekkel párhuzamos (s a rétegekben azonos gradiensű) áramlás esetén a legnagyobb átteresztőképességű réteg szerepe a döntő: közelítőleg általában úgy vehető, mintha csak ebben áramlana a víz, a többi hozama elhanyagolható;
- a réteghatárral szöget bezáró áramlás esetén a határon az áramvonal – a fényhez hasonlóan – megtörik, és pedig a nagyobb átteresztőképességű rétegben haladva zár be nagyobb szöget a határfelület normálisával.

Síkbeli áramlás

Síkbeli áramlásnak tekinthetők azok a szivárgási feladatok, amelyek egyik irányban elég (elvileg végtelen) hosszú létesítmények mentén alakulnak ki: így például hosszú, talajvíz alá mélyített munkagödrök, bevágások esetén. Könnyen belátható, hogy a végtelen irányra merőleges síkokban azonos lesz az áramlás, és ezért elegendő egyetlen síkot, illetve az ábra síkjára merőlegesen egységnyi hosszt vizsgálni.



2.11. ábra. Darcy kísérlete
[Forrás: Szepesházi R]

Síkbeli áramlás - Áramképszerkesztés

Az áramképek – melyek formájukat tekintve a stacioner állapot megjelenítésére alkalmasak – a stacioner állapotot leíró áramlási egyenletek, azaz a Laplace-egyenlet, Richard-egyenlet, stb. grafikus megoldásai. Az áramképet két vonalsereg alkotja: az ekvipotenciális vonalak, melyek mentén a hidraulikus emelkedési magasság állandó, és az áramvonalak, melyek a folyadék részecskék áramlási pályáját írják le.

A mérnöki gyakorlatban legtöbbször próbálgatással, a konkrét körülményekre érvényes áramkép megszerkesztésével érünk célt. Addig kell a kettős vonalsereget javíthatni, míg azok kielégítik a következő követelményeket:

- az áramvonalak és az ekvipotenciális vonalak egymásra merőlegesek;
- a vonalak által alkotott hálók szemeibe érintőkör szerkeszthető;
- a vonalak illeszkednek a peremfeltételekhez (az áramlási tér határoló vonalai vagy áram- vagy ekvipotenciális vonalak).

A matematikailag korrekt áramképek szerkesztése révén meghatározhatjuk i) egyrészt a felszínalatti vízáramlási tér egy meghatározott elemére vonatkoztatva kvantitatív módon a vízhozamot és a fajlagos térfogati hozamot; ii) másrészt az áramtér geometriai képét két dimenzióban.

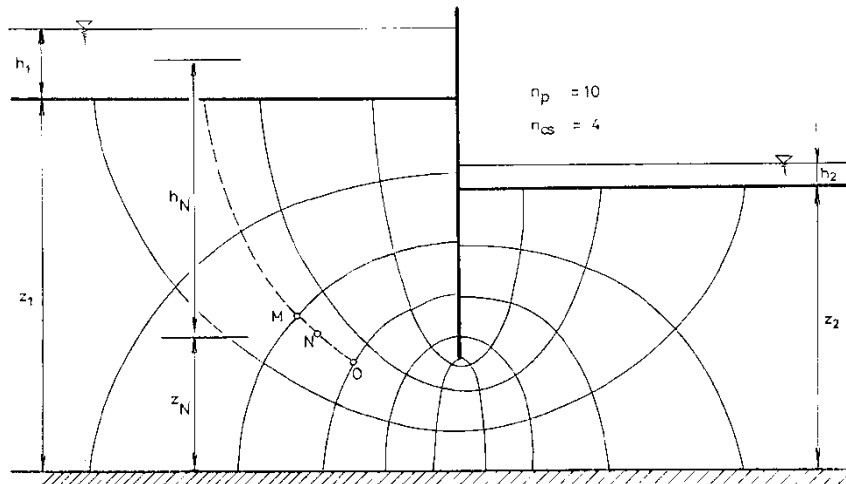
A 2.12. ábra egy elfogadható pontosságú megoldást mutat egy szádfal körül bekövetkező mozgásra. Az áramkép alapján az egy folyóméterre eső vízhozamot a

$$Q = k \cdot \frac{n_{cs}}{n_p} \cdot h_v \quad (2.16)$$

(m³/s/m-ben) képlettel lehet számítani, melyben az ismert jelölések mellett a tört számlálója az áramvonalak közti csatornák, nevezője pedig a potenciál-esések száma.

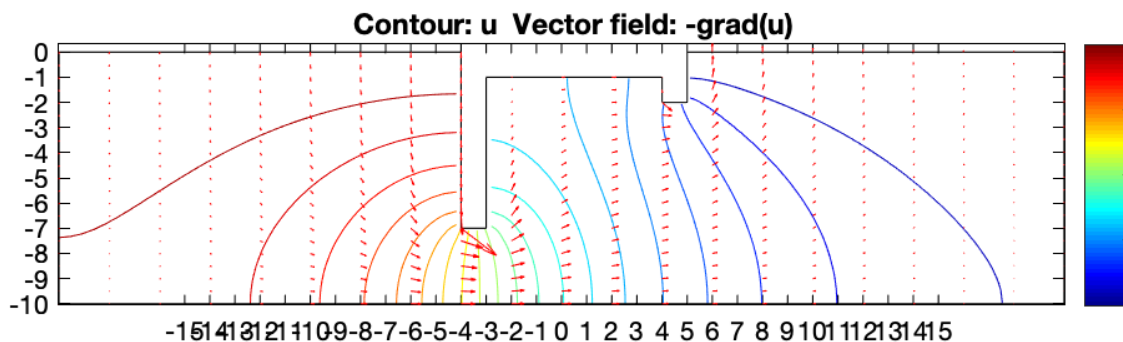
Az áramkép alapján bármely pont víznyomása is könnyen meghatározható a Bernoulli-törvény segítségével, figyelembe véve, hogy bármely két potenciálvonal között h_v/n_p az energiaveszteség. Pl. az N pontban

$$h_N = (z_1 + h_1) - \left(2 + \frac{MN}{MO}\right) \cdot \frac{h_v}{n_p} - z_N \quad (2.17)$$



2.12. Síkbeli áramlás áramképe [Forrás: Szepesházi R.]

Az információtechnológia fejlődésének köszönhetően, ma már ritkán alkalmazzuk a klasszikus áramkép szerkesztést. Jellemzően az egyre igényesebben kidolgozott grafikus felületek megjelenését is támogató korszerű matematikai programokat használjuk, mint pl. a MATLAB, melyekkel a szivárgást leíró parciális differenciálegyenleteket oldjuk meg és jelenítjük meg az áramképet grafikusán. Egy példát mutat a 2.13. ábra.

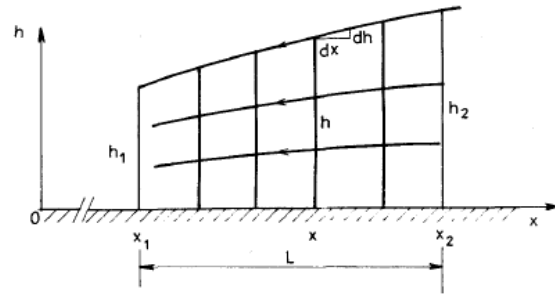


2.13. ábra. Áramkép szerkesztés MATLAB programmal [Forrás: Szerzők]

Síkbeli áramlás – Dupuit egyenlet

Az áramképszerkesztés mellett bizonyos, a gyakorlat számára fontos esetekben jól használható a Dupuit-féle közelítő eljárás is. A Dupuit egyenlet levezetésénél feltételezzük, hogy az áramlás az egymással párhuzamos síkokban ugyanaz, a vízmozgás egységnyi széles sávját alapul véve a fajlagos vízhozam a szivárgó vízszin vízzáró réteg feletti magassága és a szivárgási sebesség szorzataként számítható.

A 2.14. ábrán látható esetben egy vízzáró réteg fölött két függőlegesben ismerjük a vízszinteket. Ilyenkor a legfelső áramvonal, az ún. depressziós görbe is ismeretlen. Ezt is és az egész áramképet próbálgatással lehet meghatározni.



2.14. ábra. A Dupuit-féle közelítés [Forrás: Szepesházi R]

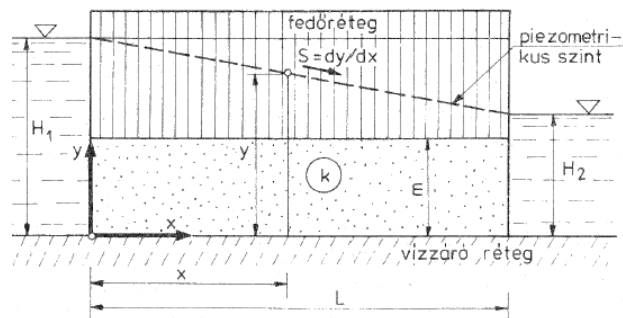
Ha az átlagos $I = h_v/L$ gradiens $\sim 0,3$ alatt van, akkor az ekvipotenciális vonalak közel függőlegesek lesznek. Ekkor alkalmazható a Dupuit-féle közelítés,

mely az ekvipotenciális vonalakat valóban függőlegesnek veszi. A levezetéseket mellőzve, eredményként a következő összefüggések adódnak:

Vízhozam
$$q = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \frac{h_2^2 - h_1^2}{x_2 - x_1} \quad (2.18)$$

Depressziós görbe
$$h = \sqrt{(h_2^2 - h_1^2) \cdot \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} + h_1^2} \quad (2.19)$$

Nyomás alatti rendszerben (2.15. ábra) a Dupuit egyenlet módosul. A rendszerben nyomás alatti síkáramlás van, az átáramlási felület pedig a helytől függetlenül állandó. Az esés a piezometrikus szint magasságából számítható, így a sebesség is.



2.15. ábra. Dupuit egyenlet levezetésének jelölései nyomás alatti vízvezető réteg esetén [Forrás: Szűcs P]

A levezetések eredményei:

A nyomásvonal egyenlete

$$y = H_1 - \frac{x}{L}(H_1 - H_2) \quad (2.20)$$

A vízhozam

$$q = \frac{km}{L}(H_1 - H_2) \quad (2.21)$$

Tengelyszimmetrikus áramlás

A munkaterről elszívandó vízhozam számításának elméleti alapjait Dupuit (1862) és Thiem (1876) rakta le. Dupuit a nyíltfelszínű szivárgó vízáramlást síkmozgásként kezelve vezetett le összefüggéseket, amelyeket Thiem kiterjesztett a

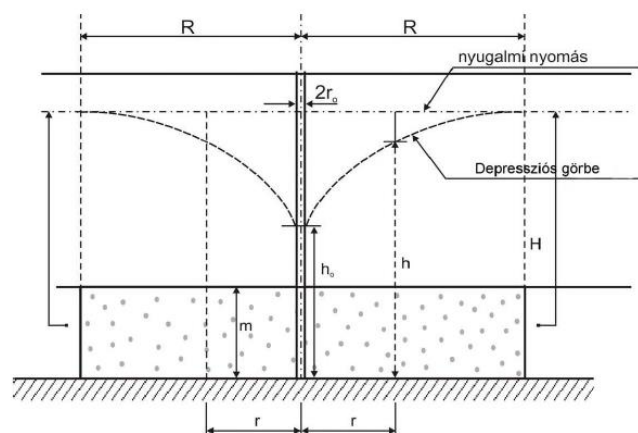
tengelyszimmetrikus áramlási térre is. Ez utóbbiakat Dupuit-Thiem összefüggéseknek nevezik.

Az egyenletek levezetésénél a következő geometriai-, áramlási- és határfeltételeket vezették be:

- a szivárgási tér a kút határtávolságáig homogén és izotróp,
- a talajvíz a leszívás előtt nyugalomban van, felszíne vízszintes, függőleges megcsapolása vagy táplálása nincs,
- a vízmozgás a vizsgált tér minden pontjában a Darcy törvény érvényességi tartományán belül van,
- a vízmozgás permanens,
- a teljesen szűrőzött, függőleges tengelyű kút a szivárgási teret alulról vízszintesen határoló vízzáró rétegig ér,
- nyomás alatti rendszerben a fedőréteg alsó síkja vízszintes,
- a szivárgási vonal kilépési pontja egybeesik a kútvízszint (alvízszint) és a kilépési felület metszéspontjával,
- a fel- és az alvíz szintje állandó, távolságuk és a hasonlító sík feletti magasságuk ismert, a be- és a kilépő felületek függőlegesek,
- a kúttengellyel koncentrikus minden hengerfelület potenciálfelület, az áramvonalak jó közelítéssel vízszintesek, a sebesség függőleges összetevője elhanyagolható.

A Dupuit-Thiem kútegyenlet az előbbi alapfeltevéseket figyelembe véve tengelyszimmetrikus áramlásra adja meg a felszín görbe, illetve a vízhozam egyenletét.

Nyomás alatti rendszer, teljes kút, oldalsó utánpótlódás



A 2.16. ábrán egy nyomás alatti vízadóban működő, oldalsó utánpótlású teljes kút

2.16. ábra. Nyomás alatti rendszerben működő, oldalsó utánpótlású teljes kút [Forrás: Szűcs P]

fontosabb paramétereit látjuk. A vízadó vastagsága legyen m , míg szivárgási tényezője k . A nyomás alatti vízadó kezdeti nyugalmi hidraulikus emelkedési magassága, vagy piezometrikus szintje legyen H . A teljes rétegvastagságban szűrőzött r_0 sugarú kút hozama legyen Q . A kútban lévő vízszint pedig legyen h_0 . Ebben az esetben az áramlási felület, a Darcy-egyenlet és a hozam a kút körül r távolságban az alábbi egyenletekkel adható meg:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot m \text{ [m}^2\text{]} \quad (2.22)$$

$$v = -k \cdot \frac{dh}{dr} \text{ [m/s]} \quad (2.23)$$

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot m \cdot (-k) \cdot \frac{dh}{dr} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (2.24)$$

Nyomás alatti rendszerben a vízrészecskék a tápterület határától a kút szűrője irányába vízszintesen áramlanak, vagyis az áramvonalak párhuzamosak a fedővel és a fekével.

A hozamra vonatkozó differenciálegyenletet kell megoldani a peremfeltételek segítségével. Ehhez be kell vezetnünk a kút távolhatásának (R) fogalmát. A működő kút maga körül R távolsáig hoz létre egyre kisebb mértékű depressziót. Az R távolhatást a kútban létrejövő vízszintsüllyedés (s_0) és a szivárgási tényező (k) ismeretében a Sichard-egyenlet segítségével becsülhetjük nyomás alatti rendszerben az alábbi egyszerű empirikus kifejezéssel:

$$R = (3 \sim 5) \cdot 1000 \cdot (h - h_0) \cdot \sqrt{k} = (3 \sim 5) \cdot 1000 \cdot s_0 \cdot \sqrt{k} \quad (2.25)$$

A kút hozamegyenlete

$$Q = 2\pi mk \frac{H-h_0}{\ln R - \ln r_0} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (2.26)$$

A kút tengelyétől r távolságban a depressziós görbe magassága (h)

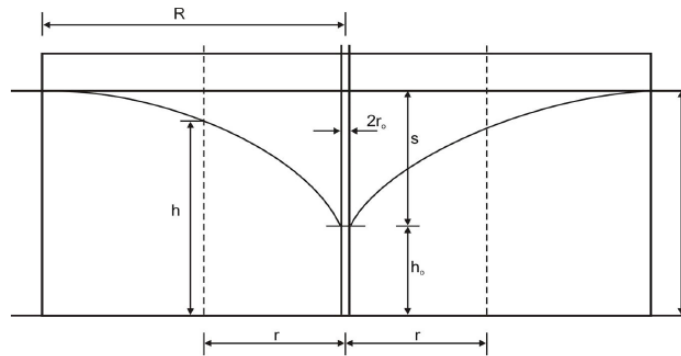
$$y = \frac{H-h_0}{\ln \frac{R}{r_0}} \cdot \ln \frac{r}{r_0} + h_0 \text{ [m]} \quad (2.27)$$

A kút tengelyétől r távolságban a Darcy-sebesség értéke

$$v(r) = \frac{Q}{F(r)} = k \cdot \frac{H-h_0}{\ln \frac{R}{r_0}} \cdot \frac{1}{r} \text{ [m/s]} \quad (2.28)$$

Szabad tükrű rendszer, teljes kút, oldalsó utánpótlódás

Nyílt tükrű vízadóban működő teljes kút esetében is azokból az alapegyenletekből indulhatunk ki, mint a nyomás alatti rendszereknél. A 2.17. ábra mutatja a nyílt tükrű áramlási rendszer főbb paramétereit. Látható, hogy ebben az esetben a kút működése tényleges vízszint csökkenést hoz létre a rétegben, amely azt eredményezi, hogy az áramlási



2.17. ábra. Nyílt tükrű rendszerben működő, oldalsó utánpótlású kút [Forrás: Szűcs P.]

felület magassága (h) függ a kúttól mért távolságtól. Ezeket figyelembe véve a kiindulási differenciálegyenlet a következő módon adható meg:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot (-k) \cdot \frac{dh}{dr} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (2.29)$$

Az R távolhatás értékét nyílt tükrű rendszer esetében is egy empirikus Sichard-egyenlet segítségével adhatjuk meg:

$$R = (3 \sim 5) \cdot 1000 \cdot (H - h_0) \cdot \sqrt{k} = (3 \sim 5) \cdot 1000 \cdot s_0 \cdot \sqrt{k} \quad (2.30)$$

A kút hozamegyenlete nyílttükrű vízadóban

$$Q = \pi k \frac{H_1^2 - H_2^2}{\ln \frac{R}{r_0}} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (2.31)$$

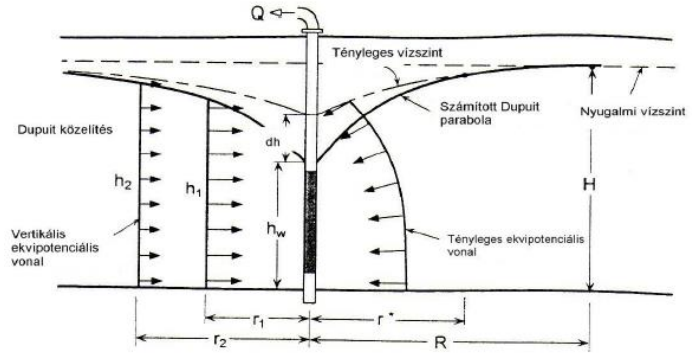
A kút tengelyétől r távolságban a depressziós görbe magassága vagy a tényleges vízszint (h):

$$h(r) = \sqrt{\frac{H^2 - h_0^2}{\ln \frac{R}{r_0}} \cdot \ln \frac{r}{r_0} + h_0^2} \text{ [m]} \quad (2.32)$$

A kút tengelyétől r távolságban a Darcy-sebesség értéke kifejezhető a sugártól független hozam (Q) és a vízszint ($h(r)$) segítségével az alábbi kifejezés szerint

$$v(r) = \frac{Q}{F(r)} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot h(r)} \text{ [m/s]} \quad (2.33)$$

A nyílt tükrű vízadóba mélyített kút hidraulikai viszonyait oldalsó utánpótlódás esetében a fentebb ismertetett ún. Dupuit-Theim egyenletek adják meg. A megadott egyenletek azonban csak részben közelítik a tényleges áramlási viszonyokat (lásd. 2.18. ábra).



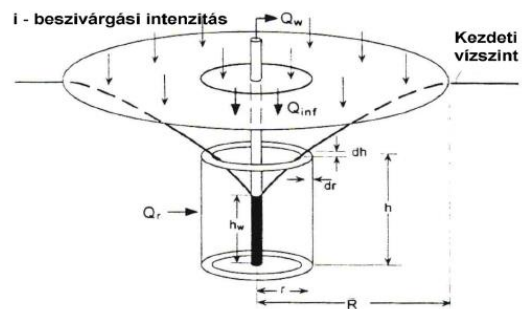
2.18. ábra A Dupuit-Theim közelítés és a tényleges áramlási viszonyok egy nyílt tükrű rendszerben működő, oldalsó utánpótlású teljes kútnál [Forrás: Szűcs P.]

A Dupuit-Theim közelítés függőleges potenciál viszonyokat és horizontális áramvonalakat tételez fel a tényleges hidraulikai viszonyok helyett. A Dupuit-Theim közelítés eredményeként számított hozam (Q) elfogadható pontosságú. A számított depressziós görbe és a tényleges vízszint között már nem elhanyagolható eltérés lép fel. A számított és a tényleges vízszint közötti különbség a kút falánál lesz a legnagyobb (Δh_1). Amíg a kútban h_0 magasságú vízoszlop helyezkedik el, addig a kút külső falánál a vízszint Δh_1 értékkel magasabban áll. Ezt a hidraulikai okból jelentkező vízszál-elszakadás magasságkülönbségét szabad szivárgási magasságnak vagy hidraulikai ellenállásnak nevezzük. A hidraulikai ellenállást számos kutató próbálta meghatározni. Közülük két összefüggést adunk meg. 1928-ban Ehrenburger az alábbi összefüggést adta meg:

$$\Delta h_1 = \frac{0,5 \cdot (H - h_0)^2}{H} \text{ [m]} \quad (2.34)$$

Öllős Géza kísérletei alapján a következő egyenletet adta meg:

$$\Delta h_1 = 0,228 \cdot \sqrt[3]{\frac{H}{r_0}} \cdot \frac{(H - h_0)^2}{H} \text{ [m]} \quad (2.35)$$



Nyílt tükrű vízádóknál bizonyos esetekben előfordulhat, hogy az oldalsó utánpótlódás limitált, ugyanakkor a függőleges utánpótlódás vagy infiltráció figyelembe vehető. Az utánpótlódás mértéke legyen "i" [m/s], amelyet infiltrációs vizsgálatokkal becsülhetünk. Egy felső tápterülettel rendelkező kút hidraulikai viszonyait mutatja be a 2.23. ábra.

2.19. ábra. Nyílt tükrű rendszerben működő, felülről táplált teljes kút
[Forrás: Szűcs P.]

Ebben az esetben a kiindulási alap differenciálegyenletünk a következő lesz:

$$\pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot i = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot k \cdot \frac{dh}{dr} \quad (2.36)$$

A differenciálegyenlet megoldásaként első lépésben a felső tápterület sugarát (R) kapjuk meg.

$$R = \sqrt{\frac{h}{i} \frac{(H^2 - h_0^2) - r_0^2}{\ln \frac{R}{r_0} - \frac{1}{2}}} \text{ [m]} \quad (2.37)$$

A következő lépésként a kút hozama határozható meg.

$$Q = \pi \cdot (R^2 - r_0^2) \cdot i \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (2.38)$$

Ezután megadható a depressziós görbe az alábbi kifejezéssel:

$$h(r) = \sqrt{\frac{i}{h} \cdot \left(R^2 \cdot \ln \frac{r}{r_0} - \frac{r^2}{2} + \frac{r_0^2}{2} \right) + h_0^2} \text{ [m]} \quad (2.39)$$

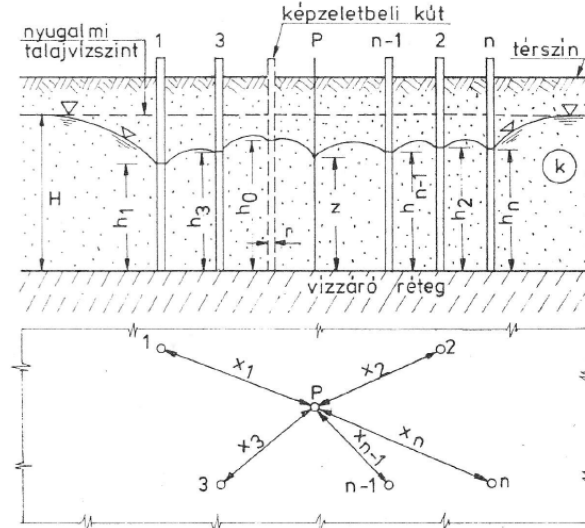
A kút tengelyétől r távolságban a Darcy-sebesség értéke kifejezhető a sugártól jelen esetben függő vízhozam (Q(R)) és a vízszint (h(r)) segítségével az alábbi kifejezés szerint:

$$v(r) = \frac{Q(r)}{F(r)} = \frac{\pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot h(r)} \text{ [m/s]} \quad (2.40)$$

Többkutas szabadtükrű rendszer

Többkutas szabadtükrű rendszer esetén több kút egyidejű működése alakítja a talajvízfelszínt. Több kút vízének egyidejű leszívására a gyakorlatban a talajvízszint-süllyesztés alkalmával kerül sor. A többkutas rendszerrel kiemelhető vízhozamot, valamint a felszín görbe egyenletét megadó összefüggések levezetése Forcheimer (1919) nevéhez fűződik.

A 2.20. ábrán egy többkutas vízszint-süllyesztő rendszer kutjait látjuk. A kutak az alsó vízzáró réteggel nyúlnak (teljes kút). A szívókutakat 1-n-ig jelöltük. A kutak közötti területen kijelölünk egy P pontot. Feladatunk az, hogy a telepített n számú kúttal a talajvíz szintjét a P pontban a vízzáró réteg felett z magasságra süllyesszük le.



2.20. ábra. Többkutas talajvízszint-süllyesztő rendszer [Forrás: Hamvas F.]

Az ábrán a jelölések a következők:

- a kutak P ponttól mért távolsága: x_i ,
- a kutak sugara: r_i ,
- a kutakban lesüllyesztett vízszintek: h_i ,
- az egyes kutak vízhozama: q_i ,

Feltételezzük, hogy a telepített kutak környezetében van egy olyan képzeletbeli r sugarú, h_0 mélységű kút, amely egymaga képes a P pontban a talajvíz szintjét z mélységre süllyeszteni. Ennek a kútnak a vízhozama

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h_0^2}{\ln R - \ln r} \quad (2.41)$$

Többkutas nyomás alatti rendszer vizsgálatánál a vízhozam

$$Q = \frac{\pi \cdot k \cdot 2 \cdot m \cdot (H - z)}{\ln R - \frac{1}{n} \ln x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n} \quad (2.42)$$

Kör kerület mentén épített n számú kút elhelyezésekor, ha $x_1 = x_2 = \dots = x_n = r_0$

$$Q = \frac{\pi \cdot k \cdot 2 \cdot m \cdot (H - z)}{\ln R - \frac{1}{n} \ln r_0} \quad (2.43)$$

Az r_0 értékét kör alaprajzú kútkiosztástól eltérő esetben átszámítási képletekkel határozzuk meg.

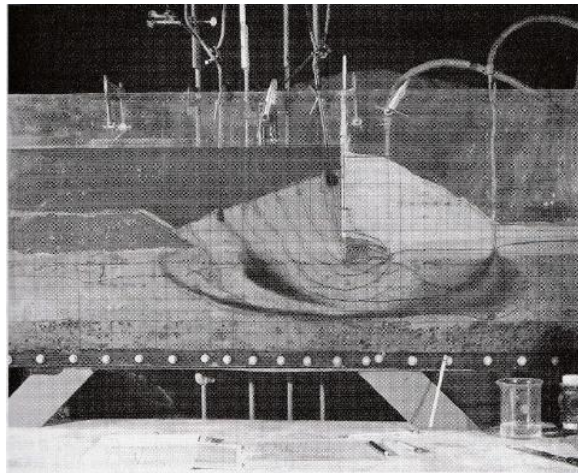
2.3.2. Víztelenítési feladatok modellezése

A modellezés a valóságban a felszín alatt lejátszódó vízmozgások fizikai vagy matematikai közelítése. Amennyiben a felépített modellel elvégzett számítások már bekövetkezett, azaz ismert folyamatokat jól lekövetnek, alkalmasak lehetnek feltételezett hatásokra bekövetkező vízmozgás számítására, azaz előrejelzésre is.

A modellezés három legfontosabb feladata:

- a valóságot jól követő modellek felállítása, és ezáltal a valóságos környezet- és vízföldtani rendszerek működésének megismerése, vízföldtani jellemzőinek meghatározása,
- feltételezett helyzetekben (pl. havária-esetek) bekövetkező események szimulációja, a hatások által érintett térségek meghatározása,
- valós helyzetekben lezajló tér- és időbeli változások előrejelzése.

A 2.21. ábra a fizikai modellre mutat példát, amelyet 1958-ban használtak a washingtoni Bremertonban lévő Puget Sound haditengerészeti hajógyár száraz dokkjának megépítésére szolgáló víztelenítő rendszer tervezéséhez. Az 1:10 léptékű modell a Puget Sound nyílt vizében lehajtott, vízzáró, acél szádpallókból épített munkatér-határolás külső falának a másolata volt. A modell lehetővé tette a vízzáró szádfal hatásának vizsgálatát az áramképre és az átszivárgó vízmennyiségre. Az ilyen modellek a konkrét problémára korlátozódnak, s az eredményt erőteljesen befolyásolja a modellkészítés.



2.21. ábra. Fizikai modell [Forrás: J Powers]

A matematikai modellek egyenletekkel írják le a talajvízmozgást. Az egyenletek megoldása analitikus és numerikus módon is történhet.

Az analitikus módszereket a 2.3.1. fejezetben ismertettük. Érzékelhettük, hogy az analitikus modellek számos feltételezést vesznek figyelembe, ezek közül kiemelendő a közeg homogenitása és izotrópiája. Azonban, ha a víztartó réteg heterogenitását, anizotrópiáját vagy más komplexitását is figyelembe kell venni, az analitikus módszerek eredményei megbízhatatlanná válnak.

A numerikus megoldások ezzel szemben matematikai szempontból közelítő megoldások, azonban lehetővé teszik a képződmény jellemzők tér- és időbeli változásait. Képesek kezelni a közeg heterogenitását, anizotrópiáját, a vízmozgás időbeli változását és bonyolult peremfeltételek figyelembevételét teszi lehetővé. A szivárgás alapegyenletének legismertebb numerikus megoldásai a véges differencia és a véges elem módszerekkel való megoldás.

Numerikus modellezés

A numerikus modellezés lehetőségét és sokoldalúságát a talajvízszabályozási feladatok megoldására már az 1960-as évek közepén felismerték, ám matematikai bonyolultságuk miatt akkori alkalmazásuk nehézkes és a gyakorlatban korlátozott volt. Az utóbbi évtizedekben az információtechnológia fejlődésének köszönhetően a numerikus modellezés felbecsülhetetlen értékű eszközzé vált a mérnökök számára.

Az eredményes modellezés néhány alapkövetelményére F. Tschuchnigg a következőkben mutatott rá:

- a modell legyen olyan egyszerű, amennyire csak lehet, de a túlzott egyszerűsítés ne vezessen a viselkedés lényeges elemeinek elhanyagolásához,
- a modellt megalkotásakor, kiválasztásakor a következőket kell számításba venni:
 - a kőzet vagy a talaj típusa, várható viselkedése,
 - az analízis célja (süllyedés, stabilitás, szivárgás vizsgálata),
 - a rendelkezésre álló adatok, információk mennyisége és minősége.

A modellezés legfontosabb eleme a koncepcionális modell felépítése. A modell építés szempontjait, a mérlegelendő kérdéseket a 2.1.2. fejezetben mutattuk be.

Jelenleg több, jól kidolgozott szoftver érhető el a piacon, melyek széles körben használatosak. A hidrogeológusok körében a hidrodinamikai- és transzportmodellezési feladatok megoldására a véges differenciák elvén működő MODFLOW program használata terjedt el, melyet az Egyesült Államok Földtani Intézete fejlesztett ki. A geotechnikusok körében a víztelenítéssel kapcsolatos feladatok kezelésére leginkább a hollandiai delfti egyetem által fejlesztett PLAXIS program terjedt el a FLOW modullal kiegészítve. A következőkben ezek alkalmazási lehetőségeit ismertetjük. Megjegyezzük, hogy számos más szoftver is elérhető a piacon, de terjedelmi okok miatt ezek ismertetésétől eltekintünk.

PLAXIS szoftver alkalmazása

A PLAXIS software a FLOW kiegészítéssel megfelelő eszköz a talajvízszintek és a terhelések miatt bekövetkező szivárgási problémák kezelésére. A Darcy-törvényt alkalmazva oldották meg a potenciáláramlás alapegyenletét, melynek az a fizikai jelentése, hogy – a víz összenyomhatóságát elhanyagolhatóan kicsinek tekintve – egy adott térrészben a sűrűség az idő függvényében csak akkor lehet állandó, ha oda az időegység alatt belépő és kilépő folyadékmennyiség megegyezik. Ezt a program véges számú elemre teljesíti, s megadja a szivárgási tér bizonyos pontjaira a vízhozamokat és a víznyomásokat.

A vízmozgások modellezésekor – az átteresztőképesség minél körültekintőbb megállapítása mellett – a legfontosabb a megfelelő peremfeltételek megadása. Ezek lehetnek állandók, így állandósult vízmozgáshoz tartozó áramképet lehet meghatározni, de lehetséges időben változó peremfeltételek melletti tranziens vízmozgások számítása is. Ez lehetőséget ad arra is, hogy a vízmozgás hatására változó pórusvíznyomás-viszonyok és az emiatt megváltozó hatékony feszültségeket a mechanikai viselkedés számításában is figyelembe vegyünk, ami sok esetben alapvető fontosságú lehet.

A Plaxis szoftver a Flow kiegészítéssel együtt a jól használható a víztelenítési problémák elemzésére, akár nagyon bonyolult geohidraulikai viszonyokat teremtő rétegződés esetén jelentkező vízmozgásokra vonatkozóan is. A továbbiakban néhány egyszerűsített víztelenítési példán keresztül mutatjuk be a PLAXIS program alkalmazási lehetőségeit.

A 2.22. ábra egy dúccokkal kitámasztott vízzáró résfalas oldalhatárolással kialakított munkagödör 2D modelljét mutatja. A 2 m vastag feltöltés alatt 20 m vastag szemcsés réteg van, majd vízzáró agyag. A talajvízszint -3,0 m-en található. A munkagödör alsó síkja -24,0 m. A vízzáró résfal talpa -31,0 m-en helyezkedik el, a vízzáró agyagba a befogása 7 m.

A vízzáró munkatérhatároló falat plate elemként vittük be a modellbe, ami alapértelmezésben teljesen vízáteresztő. A vízzáróság modellezésére a plate elem körül határfelületi elemet kell definiálni, és azt teljesen vízzáró viselkedésűre beállítani. A kezdeti vízszintet a terepszint alatt 7 m-re definiáltuk, melyet a szoftver „global” vízszintnek tekint. Megjegyezzük, hogy a programban lehetőség van akár rétegenként eltérő vízszint meghatározására is, így pl. nyomás alatti rétegvizek, általajvizek vagy más speciális esetek is definiálhatók.

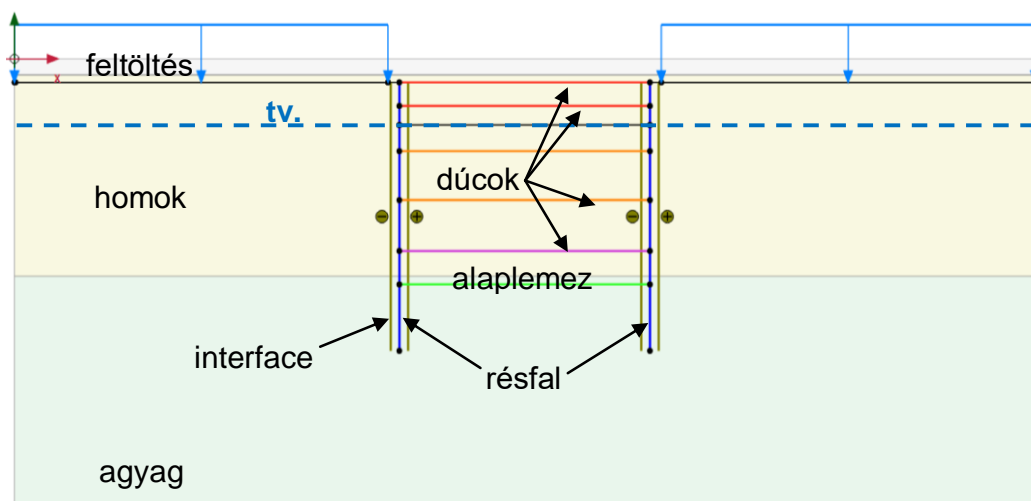
A modellezni kívánt építési fázisok létrehozása során minden egyes, a felhasználó által lehatárolt talajelemre (soil cluster), így pl. egy földkiemelési fázist meghatározó talajtérfogatra, megtartható ez a vízszint, vagy szükség esetén a következők valamelyike szerint módosítható:

- *Global:* ezzel a beállítással a kiindulás során meghatározott viszonyok változatlanok maradnak,
- *Dry:* ezzel az adott talajzóna teljesen száraz lesz, ami pl. a kiemelt és víztelenített térrészekre használatos,
- *Interpolate:* ezzel a szoftver az adott talajzónára a szomszédosakra beállított vízszintek között interpolálja a víznyomást, ami jól használható a munkagödör feneké alatti talajzónákra, melyek víznyomását a munkagödör víztelenítése

miatti alacsony, illetve a munkagödör kívüli (természetes) magas vízszintek szabályozzák,

- *Head*: egy talajzónára megadható egy egyedi vízszint, mely ott a nyomásviszonyok számításának alapjául szolgál,
- *Egyéb speciális*: pl. custom, unsaturated, user-defined stb. definíciók, melyek a munkatérhatárolás tervezésében kevésbé használhatók.

A 2.22. ábrán bemutatott példában az egyes építési fázisokban a vízszint változást „head”-ként definiáltuk, azaz az éppen aktuális munkagödör fenékszintje alatt 1,0 –re adtuk meg a vízszintet. Az utolsó földkiemelési fázisban, a munkagödör fenékszintje alatti zónában az „interpolette” beállítást alkalmaztuk.



2.22. ábra. Vízzáró részfalas munkatérhatárolás Plaxis 2D modellje [Forrás: Szerzők]

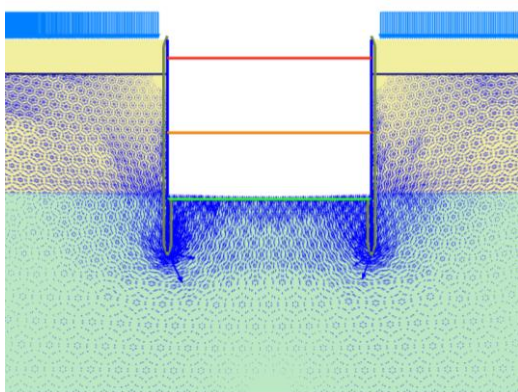
A PLAXIS programban a víztelenítés szempontjából a következő fontosabb eredmények jeleníthetők meg:

- nyomásmagasság („groundwater head” [m]),
- víznyomás (active pore pressure, p_{active} kN/m²)
- többlet-pórusvíznyomás (excess pore pressure, p_{excess} , [kN/m²]),
- szívás (suction [kN/m²]),
- az elemi pontra vonatkozó, egységnyi felületen átszivárgó vízhozam (q , [m³/nap/m²]), amely valójában a szivárgási sebesség (m/nap),
- hidraulikus gradiens (hydraulic gradient, i [-])
- telítettség (saturation, [%]).

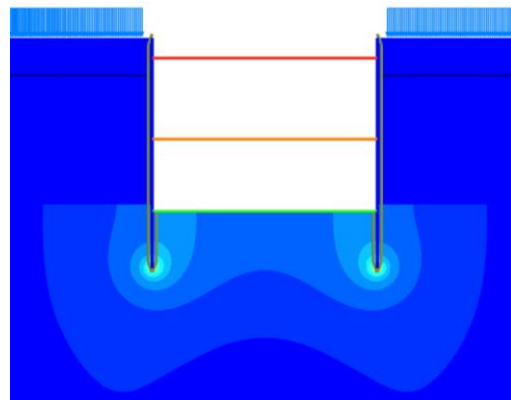
A 2.23. ábra az utolsó földkiemelési fázisban mutatja a szivárgási vektorokat. Látható, hogy a részfal a víz útját valóban elzárja, a szemcsés rétegen keresztül beszivárog az agyagba, a vízzáró részfal talpsíkja felé mozog, azt megkerülve áramlik felfelé a

munkagödör alsó síkja felé. A fal alatti beszűkülő térben való áramlás energiát emészt fel, az áramvonalak a talp környezetében besűrűsödnek. A munkagödörbe áramló vízmennyiség – mivel 7,0 m-t van befogva az agyag rétegbe – csekély.

A munkagödör fenékszintje alatti vízáramlás és a hidraulikus gradiens kézben tartása alapvető fontosságú. Ez különösen fontos homokos és iszapos talajokban, melyekben hidraulikus talajtörés léphet fel. Egy munkagödör fenekén a hidraulikus talajtörés veszélye változó, a munkagödör közepén valamelyest kisebb, mint a széleken. Ez jól megfigyelhető a 2.24. ábrán, mely a munkagödör környezetében kialakuló hidraulikus gradienst mutatja. A vörös szín nagyobb, a kék kisebb gradienst jelent. Látható, hogy résfal talpkörnyezetében, ahol a szivárgási sebesség is nagyobb, a gradiens is nagyobb. Megfigyelhető, hogy a munkagödörben a széleken valamelyest nagyobb, mint a közepén, de a kritikus gradiens értéknél kisebb.



2.23. ábra. Vízáramlás a résfal körül a földkiemelés után

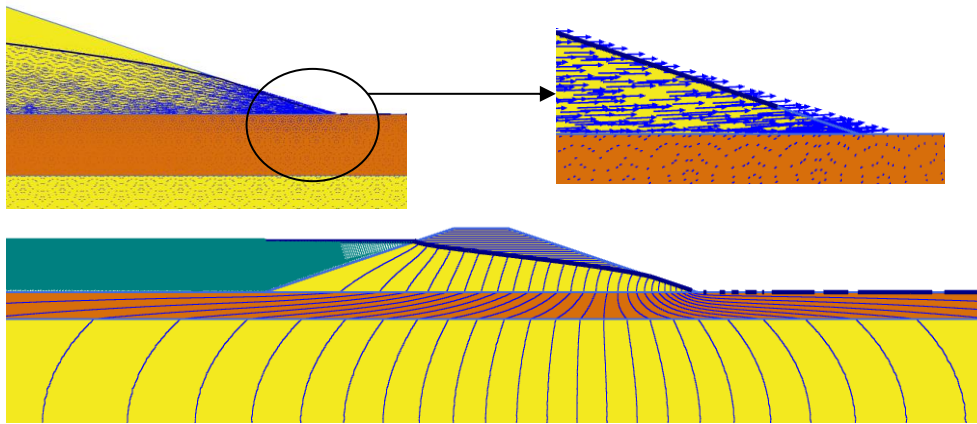


2.24. ábra. Hidraulikus gradiens a munkagödör környezetében

Mint említettük, a szoftver nemcsak állandósult vízmozgások modellezésére képes. A FLOW modul lehetőséget teremt a tranziens áramlások vizsgálatára, azaz vele a vízszint időbeli változását is számításba tudjuk venni. A tranziens áramlás modellezésekor megadható, hogy valamely vízszintet hány nap alatt érjen el a víz. A vízszint változás lehet lineáris, harmonikus, illetve táblázatosan tetszőleges vízszintváltozás is kezelhető.

A 2.25 ábra egy árvízvédelmi gát PLAXIS 2D modelljét mutatja. A feladatban szemcsés anyagú töltés és altalaj között, egy vékony kötött fedőréteg van. Mindegyik rétegben az áteresztőképességet anizotrópnak tételeztük fel, azaz a vízszintes irányú áteresztőképességet a szemcsés talajra 2, a kötött talajra 3 nagyságrenddel nagyobbra vettük fel. A folyón levonuló árhullámot tranziens áramlásként vettük figyelembe, úgy hogy az áradásra 6, a tetőzésre 1, illetve az apadásra 6 napot adtunk meg. Az eredmények közül az áramvonalakat és az ekvipotenciális vonalakat mutatjuk be. Az ábrán

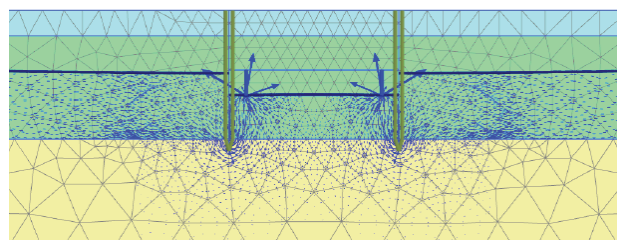
érzékelhető, hogy a fedőréteg jócskán módosítja az áramlási képet. A gátbeli szivárgást „feljebb tolja” és dominánssá teszi benne a vízszintes irányú mozgást. Megfigyelhető, hogy a töltésbeli, valamint az altalajbeli szivárgás összefügg, és a közvetítő szerepet a fedőréteg adja. Jól érzékelhető még, hogy a töltéslábnál a fedőrétegben mint sűrűsödnek az ekvipotenciális vonalak, ami nagy kilépési gradienst eredményezhet.



2.25. ábra. Áramvonalak (fent) és ekvipotenciális vonalak (lent) anizotróp, azonos anyagú töltés és altalaj, illetve anizotróp fedőréteg esetén

További speciális elemeket is kínál a szoftver, ilyenek a víztelenítés modellezéséhez használható well (kút) illetve drain elemek. A well elemmel víztelenítő kutat, vagy pontszerű vízforrást modellezhetünk, paramétereit a Q_{well} ($\text{m}^3/\text{nap}/\text{m}$) a leszívott vagy befolyó vízhozam, illetve a h_{min} (m) ami a legnagyobb leszívás szintje.

A 2.26. ábra egy részfállal körbezárt munkagödör víztelenítését mutatja, ahol a statikailag szükséges falmélység mellett talajvízszint-süllyesztő kutakat alkalmaztak. A részfal a korábban bemutatottakhoz hasonlóan plate elem, a talajvízszint-süllyesztő kutak pedig „well” elemek. A kutak leszívott vízhozama $Q_{\text{well}}=0,7 \text{ m}^3/\text{nap}/\text{m}$, a legnagyobb leszívás szintje (h_{min}) a munkagödör alsó síkjával megegyező. Az ábra az utolsó építési fázisban mutatja a kutak körül kialakult szivárgást



2.26. ábra. Kút körüli szivárgás Plaxis 3D modellje [Forrás: Plaxis manual]

A *drain* elem drének modellezésére használható, egyedüli paramétere, hogy a víztelenítés gravitációsan vagy vákuumos leszívással valósul-e meg. A drain elem a tengelye irányában nagyon nagy áteresztőképességű, azt külön megadni nem kell. Csak a bennük kialakuló nyomásszintet (head) kell definiálni, ami a drének felső szintjével azonosra vehető, hiszen a dréneken keresztül általában engedjük a vizet tetejükig

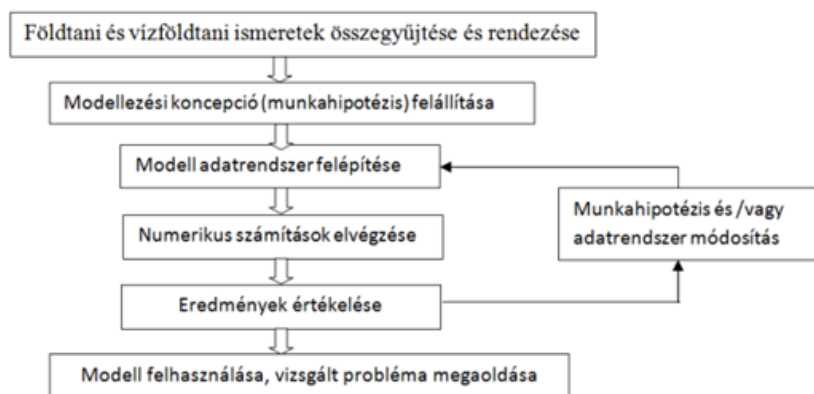
áramolni. A számítás során a szoftver a pórusvíznyomást a drének minden egyes csomópontjában a megadott belső vízszintből számítja, s a köröttük levő víznyomásokat és szivárgási vektorokat ezekhez igazítva határozza meg.

MODFLOW környezet

A Processing MODFLOW for Windows (PMWIN) egy teljes, háromdimenziós környezet, talajvíz-áramlási (hidrodinamikai) és transzport-modellezési feladatok megoldásához.

A módszer alapgondolata, hogy a modellezett teret egymással hézagmentesen érintkező négyzög alapú hasábokra osztjuk. A szivárgás alapegyenletét differencia-egyenletté alakítjuk; meghatározzuk a szomszédos cellák közötti vízhozamokat a Darcy-törvény és a kontinuitási egyenlet segítségével. Számításba vesszük a peremfeltételek és modellelemek következtében kialakult vízmozgásokat, betáplálásokat, kiszivattyúzott hozamokat. Ezek után összegezzük minden egyes hasábelemre a vízméreg-elemeket, majd ezek összegzéséből meghatározzuk a modellezett tér vízforgalmát; ez egy lineáris egyenletrendszer, amit numerikus eljárásokkal kell megoldani.

A hidrodinamikai és transzportmodellezés egy fontos sajátossága, hogy előzetes munkahipotézisen, azaz egy prekonceptción alapul, a számítások első feladata a munkahipotézisnek megfelelő modell felépítése, és amennyiben azzal a valós folyamatok követése megvalósítható, akkor a prekonceptciót az adott feladat megoldása szempontjából elfogadhatjuk. Amennyiben a valóságos folyamatok szimulációja nem vagy nem megfelelő szinten végezhető el, úgy az egyébként a terület korábbi vizsgálatain alapuló munkahipotézist módosítani kell, illetve a megváltoztatott munkahipotézisre vonatkozó (azt megerősítő vagy cáfoló) szakmai ismereteket összegyűjteni szükséges (2.27. ábra). A munkahipotézis fejlesztését mindaddig szükséges folytatni, amíg az egyfelől a szimulációs feladat megoldásához megfelelővé nem válik, másfelől összhangba nem kerül valamennyi korábbi földtani és vízföldtani ismerettel.



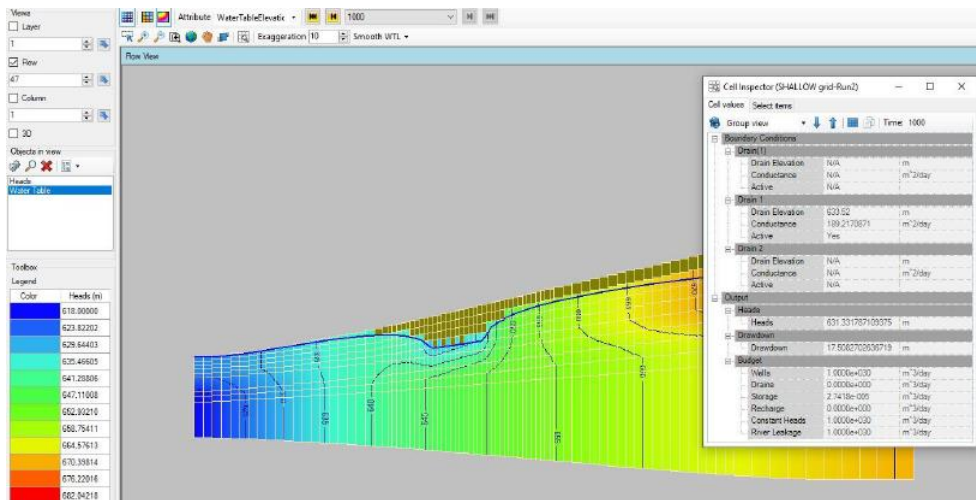
2.27. ábra Modellezési munkafolyamat [Forrás: Kovács B.]

A program alapvetően 3; input, run és output modulból épül fel, ezeket közös grafikus felület köti össze, és egyik modulból a másikba átlépve mindig automatikus adatmentés történik.

A MODFLOW programban a következő fontosabb eredmények jeleníthetők meg:

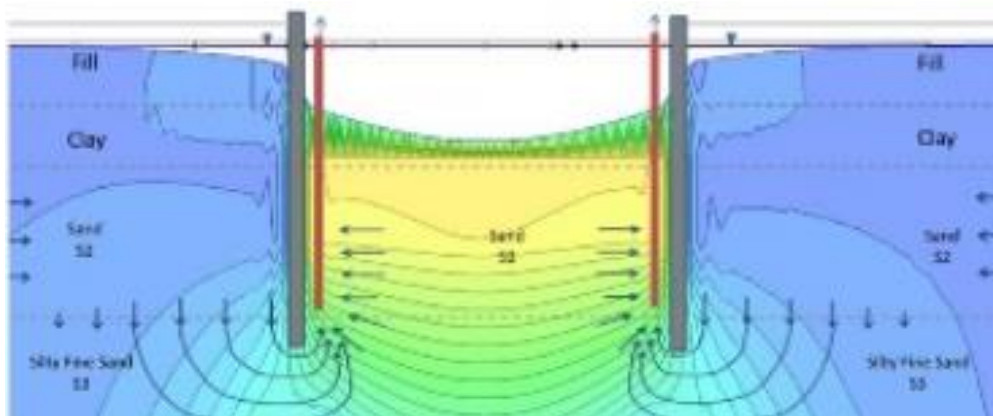
- kialakult piezometrikus nyomásszintek,
- sebességvektorok ábrázolása,
- áramvonalak kirajzolása a definiált részecskék helye alapján,
- vízmérleg adatok elemzése,
- statisztikai csomag definiált észlelőkút adatok alapján (kalibrációhoz).

A MODFLOW alapú modellezéshez számos grafikus felhasználói felület áll rendelkezésre, melyek közül a leggyakrabban használtak folyamatosan követik az U.S. Geological Survey (USGS) által publikált fejlesztéseket és részletes dokumentációval rendelkeznek. A 2.28. ábrán Visual MODFLOW Flex környezetben modellezett fiktív víztelenítési példát mutatunk be (talajvíztükör metszetben+vízmérleg), melyben a vízkivétel szimulációja drén peremfeltétellel történt.



2.28. ábra.
Nytott munkagödör modellezése MODFLOW programmal
[Forrás: Jakab.]

A 2.29. ábra egy munkagödör talajvízszint-süllyesztő kutakkal történő víztelenítésére mutat példát. Jól megfigyelhető az áram és ekvipotenciális vonalak alakulása.



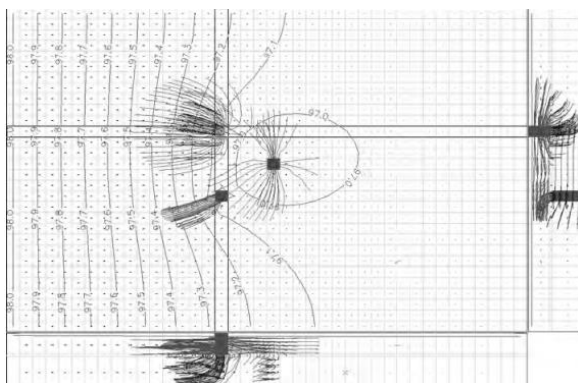
2.29. ábra. Ekvipotenciális vonalak egy munkagödör körül [Forrás: Griffin]

Az alapsomagon kívül, több kiegészítő csomag is rendelkezésre áll. A víztelenítés szempontjából a leghasznosabbak:

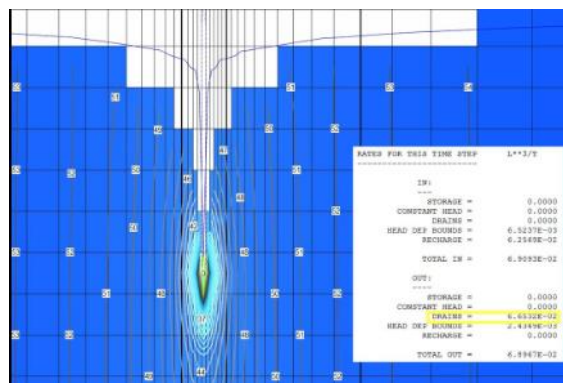
Kút csomag (Well package)

A kút csomag ismert hozamú vízkivételek és betáplálások szimulációjára szolgál. Tekintettel arra, hogy a MODFLOW egy-egy elem vízmérlegét számítja, ezért az egyes elemekbe eső összes hozamot (az elembe eső szűrőzésű kutak együttes hozamát) (Recharge Rate of the Well) kell bevinni. A termelt hozamok negatív, az injektált hozamok pedig pozitív előjellel szerepelnek a vízmérlegben.

A 2.30. ábra egy kútcsoport körüli áramvonal rendszert mutat, a 2.31. ábra pedig a szivattyúzható vízmennyiség becslésére mutat egy példát.



2.30. ábra. Egy kútcsoport körüli áramvonalrendszer kirajzolása [Forrás: Kovács B.]



2.31. ábra. Szivattyúzható vízmennyiség becslése [Forrás: hatarilabs]

Szivárgó csomag (Drain package)

A szivárgó egy olyan víztelenítő létesítmény, ami akkor lép működésbe, ha a szivárgó környezetében a talajvízszint magasabbá válik, mint a szivárgó fenékszintje. A feltételezés szerint az elvezetett víz mennyisége arányos a drén fenékszintje feletti vízoszlop nyomásával és a drén körüli képződmények vízvezető képességével

$$Q_d = C_d \cdot (h - d) = K \cdot L \cdot (h - d), \quad (2.44)$$

ahol Q_d a drén hozama, C_d a drén vízszállító képessége (Drain Hydraulic Conductance), h a nyomásszint az elemben, d a drén fenékszintje (Elevation of the Drain), K egy egyenértékű szivárgási tényező, melyik leírja a vízadó és a szivárgó belseje közötti nyomásveszteségeket és L a szivárgó hossza az elemben.

„Függőleges gát” csomag (Horizontal Flow Barrier package)

A csomag célja résfal, szádfal vagy vetők szimulációja. A csomagnál megadandó, hogy a cella melyik oldalán (Barrier Direction) és milyen vízvezető képességű „gát” található. Azt a vízvezető képességet a gát anyagának szivárgási tényezője és a vastagságának a hányadosa adja ((Hydraulic conductivity/Thickness of the Barrier),

Időben változó nyomásszintek csomagja (Time-variant Heads)

Az időben változó nyomásszintek csomagja által érintett elemeket a zérustól eltérő „Flag” számmal jelölhetjük ki. Ezután az elemben az időlépcső elején (Start Head) és a végén kialakuló (End Head) nyomásszinteket kell megadni. A cellában a nyomásszint változása a kezdeti értéktől a záróértékig az egyes időlépcsők során – a feltételezések szerint - lineárisan változik.

2.4. Talajvíz és stabilitás

A stabilitási kérdések sajnos, általában másodlagos szerepet játszanak a víztelenítések tervezésének ütemében, pedig a víztelenítést magát is azért alkalmazzuk, hogy elkerüljük a nem kívánt stabilitásvesztést vagy az instabil állapot körüli bizonytalanságot. Ezért úgy gondoljuk, hogy ezen kérdések nem elhanyagolhatóak a tervezés kezdeti fázisaiban sem. Sőt a vízszint szabályozási módszer megválasztásának ez az egyik legfontosabb lépése.

A talajvíz stabilitásra gyakorolt hatásának megértéséhez külön kell választanunk a talajra, mint többfázisú közegre ható feszültségeket, pórusvíznyomásra és hatékony feszültségekre. Számottevő nyírószilárdsággal csak a szemcseváz rendelkezik, s a súrlódás jellegéből adódóan a nyírási ellenállás mértéke függ a szemcsevázra ható

függőleges hatékony feszültségektől. Ezért a munkagödör víztelenítések egyik legfontosabb feladata a fenék és az oldalfalak állékonyságának biztosítása.

2.4.1. Rézsű állékonyság

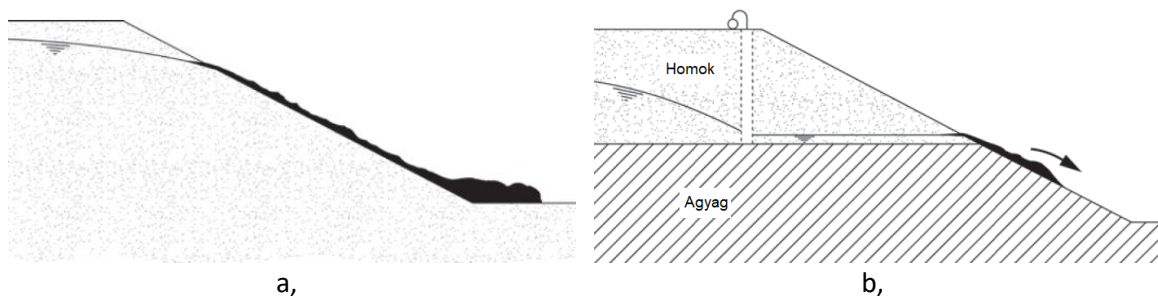
Szemcsés talajban a talaj nyírószilárdsága, a kötöttebb talajokra jellemző kohéziót elhanyagolva, egyenesen arányos a hatékony normálfeszültség nagyságával, ami a talajszemcsék között adódik át

$$\tau = \sigma' * \tan \varphi \quad (2.45)$$

ahol, φ a belső súrlódási szög, σ' a hatékony normálfeszültség.

Tönkremenetel akkor következhet be, ha a τ/σ' arány bármilyen síkon megközelíti $\tan \varphi$ értékét. A talajmechanikában ezt nevezik Mohr-Coulomb tönkremeneteli feltételnek. Könnyen belátható, hogy a pórusvíznyomás növekedése a hatékonyfeszültséget csökkenti, ezért csak laposabb rézsűhajlással érhető el megfelelő biztonság.

Kifejezetten nyíltvíztartásos víztelenítéseknel, ahol a munkagödör oldalfalait rézsűkkel emelik ki, s a munkatérbe érkező víz egy része a rézsű lábánál, másik része a gödör aljánál érkezik be, nagy a rézsűcsúszás veszélye. Ebben az esetben a rézsű állékonyságát a rézsű lábánál a nagy belépési sebesség és az áramvonalak sűrűsödése miatt kifejezetten gondosan a rétegződési és talajmechanikai tényező számításba vételével kell megtervezni. Abban az esetben, ha rétegváltásra is számítunk a munkatérhatárolás rézsűjében, s az alsó réteg vízáteresztő képessége alacsonyabb a felső rétegenél, nagy valószínűséggel fordulhatnak elő kivérzések is, amik lokálisan erodálhatják a rézsű felszínét (2.32. és 2.33. ábra).



2.32. ábra. Talajvíz okozta rézsűkárosodások formája: a, homogén szemcsés rézsű károsodása talajvíz hatására; b, rézsű „kivérzése” alacsony áteresztőképességű réteg határán [Forrás: LCC151 CIRA]



2.33. ábra. Talajvíz okozta rézsűkárosodás [Forrás: Szerzők]

Rézsűk és bármely geotechnikai szerkezetek általános állékonyságát a 3. tervezési módszer (DA3) szerint kell ellenőrizni. Ezen eljárásnál a talajvíz szintjét geometriai adatként javasolt figyelembe venni, s annak tervezési szintjét vagy a karakterisztikus érték biztonsági tartalékkal növelt értékeként, vagy közvetlenül megválasztva lehet felvenni.

A rézsűkárosodás elkerülhető megfelelő víztelenítés alkalmazásával. Bármely alkalmazott megoldásnak a pórusvíznyomások csökkentésére kell irányulnia a rézsű környezetében. A leggyakrabban alkalmazott módszer a víztelenítő kutak telepítése a munkagödör környezetében, majd a talajvízszint csökkentése a kiemelési szint alá. Ezzel biztosítva, hogy ne jelenjen meg szivárgás a rézsű felületén. A leggyakoribb, hogy 0,5-1,0 méterrel a kiemelési sík alá süllyesztik a talajvíz szintjét. Amennyiben a talajkörnyezet azt lehetővé teszi és csak nagyon minimális talajvízszint süllyesztésre van szükség nyíltvíztartás is szóba jöhet, de akkor gondoskodni kell a rézsűláb megfelelő víztelenítéséről, pl. a munkagödör kerületén végigfutó drénrendszerrel.

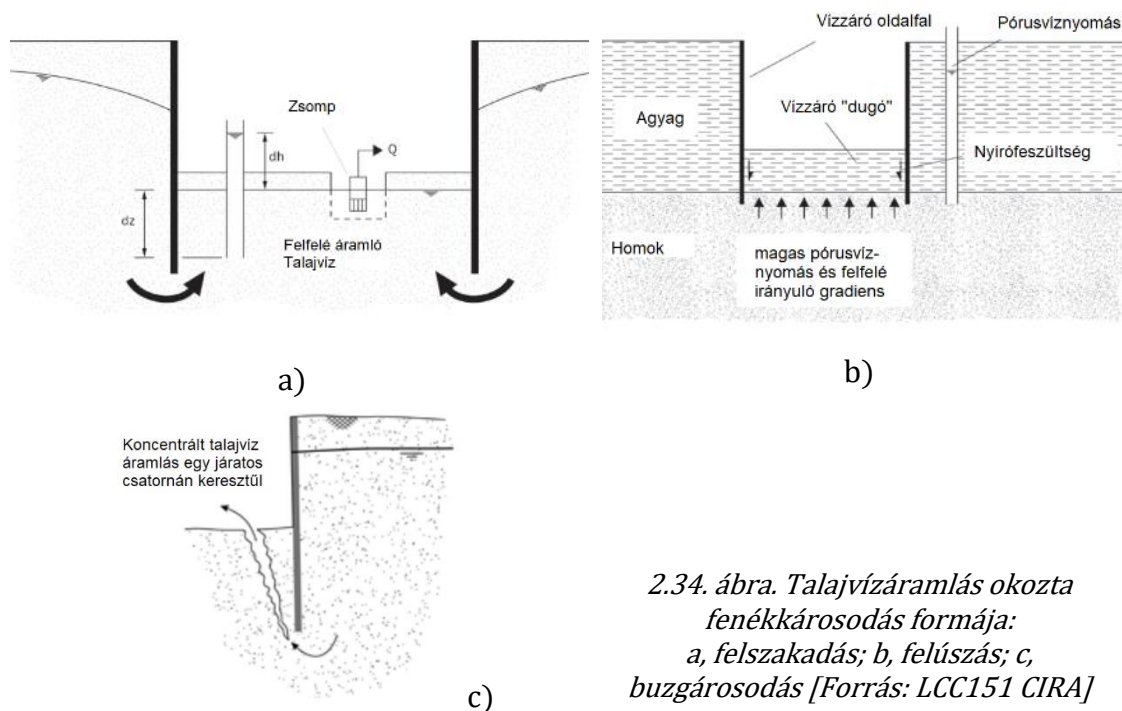
2.4.2. Fenék stabilitás

Amennyiben a munkagödör oldala valamilyen vízzáró megtámasztással (pl. szádlemezzel, résfallal) biztosítva van a fenék stabilitása lehet a legnagyobb probléma.

A fenék stabilitását (hidraulikus talajtörést) többféle mechanizmus idézheti elő, az Eurocode a következő négy tönkremeneteli forma vizsgálatát javasolja (2.34. ábra):

- Felszakadás miatti tönkremenetel, mely akkor következik be, ha a fölfelé irányuló szivárgási erő a talaj súlya ellen működve nullára csökkenti a hatékony függőleges feszültséget, s ezért a függőleges vízmozgás helyzetükből kiemeli a talajszemcséket és megfolyósodás jellegű tönkremenetelt okoz,

- Buzgárosodás miatti tönkremenetel, mely egy sajátságos, pl. egy töltés alatti belső erózió miatti törési forma, ahol az erózió a térszínen kezdődik, majd befelé hátrál, mígnem egy csőszerű vízvezető járat alakul ki az altalajban vagy a vagy a talaj és egy alapsík között vagy egy kohéziós és egy szemcsés réteg határán, s a törés akkor áll elő, amikor így kimosott járat felvízi vége eléri a tározó alját,
- Felúszás (felhajtóerő) miatti tönkremenetel, mely akkor következik be, ha egy szerkezet vagy egy kis átteresztőképességű talajréteg alatt nagyobb pórusvíznyomás alakul ki, mint amekkora az ottani átlagos takarási nyomás (amely a szerkezet vagy a talajréteg súlyából adódik).
- Belső erózió miatti tönkremenetel, melyet a talajszemcsék elszállítódása okoz, ami bekövetkezhet valamely réteg belsejében vagy a réteghatáron vagy a talaj és valamely szerkezet érintkezési felületén, s a jelenség hátráló erózióvá fajulhat, mely végül a szerkezet összeomlásához vezethet.



2.34. ábra. Talajvízáramlás okozta fenékkárosodás formája: a, felszakadás; b, felúszás; c, buzgárosodás [Forrás: LCC151 CIRA]

Felúszás (UPL)

Ez a tönkremeneteli állapot kerül előtérbe, ha a munkagödör fenekén, vagy ahhoz közel gyenge vízvezető képességű réteg található, ami alatt a pórusvíznyomás szintje szignifikánsan a kiemelési szint felett található. Emellett valamely víz alá kerülő szerkezet méretezése során ellenőrizni kell, hogy a szerkezet önsúlya meghaladja-e az által kiszorított víz felhajtóerejét. Ez kifejezetten olyan szerkezetek esetén lehet kritikus, amire nem kerül nagyobb felszín feletti létesítmény. Ilyenek lehetnek a mélygarázsok, aluljárók, aknák, stb.

A felúszás elleni biztonságot a következő egyenlőtlenséggel kell vizsgálni:

$$V_{dst;d} \leq G_{stb;d} + T_d + P \quad (2.46)$$

ahol,

- $V_{dst;d}$ a destabilizáló függőleges hatások kombinációjának tervezési értéke,
- $G_{stb;d}$ az állékonyságnövelő hatások tervezési értéke,
- T_d a felhajtóerővel szemben működő súrlódási erő tervezési értéke,
- P lehorgonyzóerő.

A felúszás ellen védekezni a) leterhelő tömeggel, b) a felhajtóerő ideiglenes csökkentésével (a nyomás alatti réteg víztelenítésével vagy nyomáscsökkentő kutak alkalmazásával) c) vagy lehorgonyzó szerkezetekkel lehet.

Épületek, műtárgyak felúszással szembeni ellenőrzésekor a talajvízszint geometriai adatként kezelendő, azaz tervezési értékét vagy közvetlenül, vagy a karakterisztikus érték biztonsági tartalékkal való növelésével származtathatjuk.

A felúszással szembeni globális biztonság többnyire csak $\gamma_{G;dst}/\gamma_{G;stb} = 1,0/0,9 = 1,11$, ezért nagyon fontos a vízszintek gondos felvétele.

Felszakadás (HYD)

Hidraulikus talajtörés következik be, ha a felfelé irányuló áramlási erő a talajoszlop súlyához viszonyítva olyan nagy, hogy a függőleges hatékony feszültség nullára csökken. Ezt az állapotot nevezzük talajfolyósodásnak, ha nagyobb területet érint vagy buzgárosodásnak, ha egy-egy csatornán keresztül jön létre.

A talajban szivárgó víz által okozott felszakadást teherbírási határállapotként vizsgálva azt kell igazolni minden veszélyeztetettnek gondolt talajoszlopra vonatkozóan, hogy az oszlop alján működő állékonyságcsökkentő pórusvíznyomás tervezési értéke vagy az oszlopban működő áramlási erők tervezési értéke nem nagyobb az oszlop alján működő állékonyságnövelő teljes függőleges feszültségnél vagy a vizsgált oszlop víz alatti súlyánál.

Abban az esetben, ha a gödör fenekénél lévő talajnak jelentős a kohéziós ellenállása a tönkremenetel módja a felszakadásból a korábban bemutatott felúszás okozta formába vált.

A felszakadással szembeni biztonságot a következő egyenlőtlenségek valamelyikével kell vizsgálni:

$$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d} \text{ vagy } S_{dst;d} \leq G'_{stb;d} \quad (2.47)$$

ahol,

- $u_{dst;d}$ a pórusvíznyomás tervezési értéke,
- $S_{dst;d}$ a szivárgási erő tervezési értéke,
- $\sigma_{stb;d}$ a teljes feszültség tervezési értéke,
- $G'_{stb;d}$ a víz alatti súlyok tervezési értéke.

A két számítási módszer valamelyest eltérő biztonsági szintet ad. Az eddigi hazai gyakorlatban a víz alatti súlyokkal értékelt számítási módszer terjedt el, s ez továbbra is ajánlható, ha a vízszintet óvatosan vesszük fel.

A felszakadás ellen védekezni lehet:

- a víznyomás csökkentésével a felszakadással veszélyeztetett talajtömeg alatt,
- a hidraulikus gradiens növelésével,
- mesterségesen létrehozott szivárgási utakkal (pl. nyomáscsökkentő kutak),
- vagy az ellenálló súly növelésével.

A szivárgó víz okozta talajtörés (pl. felszakadás, buzgárosodás) vizsgálatokor a talajvízszint (nyomásszint) geometriai adatként kezelendő, azaz tervezési értékét vagy közvetlenül, vagy a karakterisztikus érték biztonsági tartalékkal való növelésével származtathatjuk. A talajvízből származó hatáshoz az állandó jellegű terhekre vonatkozó $\gamma_c = 1,35$ parciális tényezőt nem kell alkalmazni.

A felszakadással szembeni állékonyság nem szükségszerűen akadályozza meg a belső eróziót, helyes tehát azt külön ellenőrizni.

Belső erózió

Belső erózió a talajszemcsék kimosódásával, a talajréteg belsejében vagy annak határán következhet be. A belső erózió vizsgálata általában az áramlási sebességek vagy a hidraulikus gradiens vizsgálatával történik.

A szűrőszabályok betartásával kell korlátozni a belső erózió miatti anyagmozgás veszélyét. A szűréses védelem céljára általában olyan természetes szemcsés anyagot célszerű használni, amely eleget tesz a szűrőanyagokra vonatkozó megfelelő tervezési kritériumoknak. Alternatívaként használhatók mesterséges szűrőlemezek (pl. geotextília), ha biztosra vehető, hogy velük eredményesen biztosítható a finom szemcsék kimosódása.

Amennyiben nem biztosíthatók a szűrőszabályok, akkor elég annak bizonyítása is, hogy a hidraulikus gradiens jóval kisebb a gradiens azon tervezési értékénél, melynél a talajszemcsék megmozdulnak. A különböző talajokban szemcsemozgást okozó kritikus hidraulikus gradiensre vonatkozó javaslatokat, meglévő tapasztalatok felhasználásával vagy a szakirodalmi ajánlások alapján lehet találni.

A határállapot vizsgálata az előbbieket szerint az előforduló talajok szemeloszlásának vizsgálatával kezdődik. Ezt a szűrőszabály teljesülésének ellenőrzésével lehet megtenni, mind a talajrétegre, mind pedig az érintkező talajokra vonatkozóan.

A gyakorlat azt mutatja, hogy a legtöbb szemcsekimosódást a nyíltvíztartás és a nem megfelelően üzemeltetett vákuumkutak okozzák.

A homoktalajra vonatkozó (Terzaghi-féle) szűrőszabály

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} < 4 < \frac{D_{15}}{d_{15}} \quad (2.48)$$

ahol,

- D_{15} a szűrőszemcsékre,
- d_{85} a talajszemcsékre vonatkozó szám,
- $\frac{D_{15}}{d_{85}} < 4$ a belső erózió kialakulását akadályozza meg,
- $\frac{D_{15}}{d_{15}} > 4$ a vízáteresztőképességet biztosítja.

Néhány gyakorlati tapasztalat a szűrőszabály alkalmazásával kapcsolatban:

- többretegű talajok esetén a finomszemcse mozgása a finomabb talajhoz igazított szűrővel lehetséges, de ez többretegű talajok esetén csökkenti a vízbefogadó képességet,
- a $0,1 \times D_{15}$ -nél kisebb szemcsék könnyedén át tudnak jutni a szűrőrétegen,
- a jó szűrőréteg nem lépcsős szemeloszlású,
- kis egyenlőtlenségi tényezőjű talajoknál megfelelő, de nagy egyenlőtlenségi tényezőjű talajoknál túlzottan finom kavicsszűrőt eredményez,
- a megfelelő kavicsszűrő $\frac{D_{15}}{d_{15}} = 8$; $\frac{D_{50}}{d_{50}} = 6$ vagy $\frac{D_{85}}{d_{85}} = 4$ egyenlet valamelyikét kielégíti,
- $D_{15} < 0,1\text{mm}$ szemcseméretű talajok esetén a gyakorlatban rendszerint nem alkalmazható, mert nem áll rendelkezésre a megfelelő szemcséjű szűrőanyag.

A kutak készítésénél használt szűrőváz legalább 50mm-es kell legyen.

Durva, egyenletes szemeloszlású talajokban (pl.: homokos kavics, kavicsos homok) nem mindig szükséges a mesterséges szűrőréteg beépítése. Helyes kútkiképzéssel (a kút közvetlen közelében lévő finomszemcsék eltávolításával) és a jól megválasztott résméretű szűrőcső alkalmazásával természetes szűrőréteg érhető el. Misstear és társai ajánlása alapján a $d_{40} > 0,5$ mm szemcsemérettel és $C_u > 3$ egyenlőtlenségi mutatóval rendelkező talajok alkalmasak a természetes szűrőváz kialakítására. A megfelelő szűrőnyílás d_{40} és d_{50} között javasolható, de nagyon lapos szemeloszlású talajok esetén a maximális befogadóképesség eléréséhez a d_{60} és d_{70} is használható.

Buzgárosodás

A buzgárosodás a belső erózió különös esete, ahol a tönkremenetel a felszínen kezdődik és progresszívan halad a talaj belsejében vagy egy kontaktfelület mentén egészen a forrásig (vízadó). A buzgárosodás egy tipikus esete árvíz idején a mentett oldalon egy repedésből induló erózió, ahol a folyómederrel való összeköttetés egy csatornán keresztül jön létre. A csatorna formálódását a folyamatosan növekedő hidraulikus gradiens és az állandó szemcsekihozatal segíti.

Ahol a meghatározó hidraulikai- és talajviszonyok buzgárosodáshoz vezetnek és ahol ez veszélyezteti a vízi létesítmény állékonyságát vagy használhatóságát, ott szokáson alapuló intézkedésekkel kell megakadályozni a buzgárosodási folyamat megindulását vagy szűrők alkalmazásával, vagy a talajvízáramlást szabályozó vagy meggátló szerkezet kialakításával (pl. szád- vagy résfalakkal).

A jelen kiadvány nem foglalkozik részletesebben a buzgárosodás elleni védekezéssel.

2.5. A víztelenítési mód megválasztása

Az előző fejezetekben már megismerhettük a kiemelendő vízhozamot megadó összefüggésekben szereplő egyes tényezők vízhozamot befolyásoló szerepét. Érzékelhettük, hogy közel azonos körülményeket feltételezve a talaj szerkezetének, illetve a talaj összetételének hatását is tükröző szivárgási tényezőnek döntő szerepe van a vízhozamok alakulásában.

A vízáteresztőképesség tükrözi a talaj összetételét, illetve a talajalkotó szemcsék egymással és a talajvízzel való kapcsolatát is. Az előbbieknél meghatározó szerepük van abban, hogy az eltávolítandó talajvíz csupán a gravitációs térerő hatása alatt áll-e, vagy kapilláris és abszorpciós erők is működnek, esetleg valamennyi hatás érvényesül.

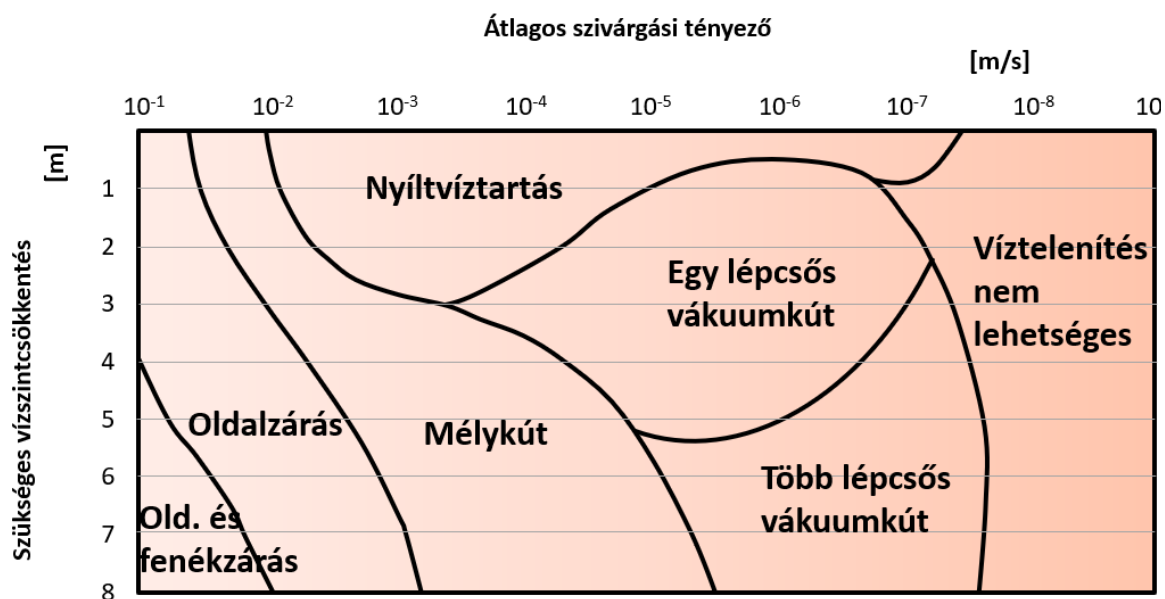
A talaj homogén vagy vegyes előfordulása, talajfizikai és állapot jellemzői, ezek egymásra hatása, valamint a talajnak az áramló talajvízzel szembeni állékonysága befolyásolhatja a munkatérből történő víztávolítás módjának megválasztását.

A víztelenítési feladatok megoldására általában a következő elvi lehetőségek és azok kombinációi közül választjuk ki a gazdaságos megoldást:

- nyíltvíztartás
- vízkizárás: vízzáró oldalfal vízzáró vagy vízzáróvá tett talajba való befogással;
- talajvízszint-süllyesztés szivattyúzással kutak vagy galériák segítségével.

A lehetőségek közül a hidrológiai körülmények, a munkatér geometriája, a környezeti adottságok mérlegelésével kell dönteni, de érdemes olyan szempontokat is figyelembe venni, mint a szerződéses feltételek (pl. maximális vállalt szivattyúzási hozam).

A talajvízzel foglalkozó szakirodalmakban számos ajánlás található a módszerválasztással kapcsolatban. A hazai talajkörnyezetre a 2.35. ábrát javasoljuk, mely a szükséges vízszintcsökkentés és az áteresztőképesség függvényében ad javaslatot.



2.35. ábra. Módszerválasztás víztelenítéshez [Forrás: Szepesházi R.]

A 2.35. ábrán jelölt vonalak nem jelentenek éles határvonalakat, minden esetben a korábban már bemutatott szempontok (áteresztőképesség változása, vízhozam, organizációs szempontok, rétegzettség, stb.) alapján kell kiválasztani az alkalmazható módszert.

A víztelenítési technológiákat a 4. fejezet ismerteti részletesen. Itt a különböző módszerek alkalmazásának fő sajátosságait foglaljuk össze az 2.4. táblázatban.

2.4. táblázat. A különböző módszerek fő sajátosságai.

Technológia	Alkalmazási terület	Előnyök	Hátrányok
Nyíltvíz-tartás	Kavics, durva homok. Munkatér víztelenítése.	Egyszerű berendezések.	Finomszemcsék kimosódása miatt erózió. Rézsúállékonysági és munkagödör fenék állékonysági problémák.

Technológia	Alkalmazási terület	Előnyök	Hátrányok
Mély kút süllyesztett szivattyúval / búvár-szivattyúval	Durvától finom iszapos homokig, kavics, mállott kőzet. Mély munkatér. Nyomás alatti vízáadó réteg víztelenítése.	Rézsúállékonyság, munkagödör fenékállékonyság jó. Nincs leszívási határ. Nagy hosszon perforált cső alkalmazható. Munkatéren kívülre is lehet. Elektromos üzem esetén nincs zaj. Nagy vízhozam kutanként, ha szükséges.	Magas telepítési költségek. Kiszivattyúzott víz kezelése, tárolása. 24 órás felügyelet kell. 24 órás áramellátás kell. Tartalékgenerátorok. Üzemelési költség az időtartamtól függ.
Vákuumkút rendszer	Homok és kavics, iszapos homok, mállott kőzet. Viszonylag nagy vízáteresztőképességű talajok.	Rézsúállékonyság, munkagödör fenékállékonyság jó. Üzemelési költség kisebb, mint azonos kapacitású szűrőkút esetén.	Telepítési költség magas lehet. 24 órás felügyelet kell. Többsoros telepítés kell a hatékony leszíváshoz.
Szűrőkút vákuummal vagy anélkül	Közepes-finom homok, iszapos homok. Munkatér víztelenítése. Nyomás alatti vízáadó réteg víztelenítése.	Rézsúállékonyság, munkagödör fenék állékonyság jó. Megfelelő talajban gyorsan, egyszerűen telepíthető. Nem túl költséges. Alkalmos vonalas létesítményeknél (pl. csőfektetés).	Nehéz telepíteni durva kavicsban / görgetegben 24 órás felügyelet kell. 5.5 m-nél nagyobb leszíváshoz több szinten kell telepíteni.
Felület-szivárgó	Folyamatos víztelenítés, pl. rézsúbiztosításra. A meglévő hidrológiai viszonyok átalakítása egy nagy mélyépítési műtárgy körül. Szennyezett talajzóna környezetének megvédése.	Hidraulikailag szigetelhető egy munkatér egy szakasza, ezáltal csökkenthető az állékonyságveszély fúróiszap segítségével történő kiemelés közben. Nagy mélységben készíthető (kb. 20 m-ig).	Magas telepítési költségek.
Lecsapoló galéria	Nagy vízhozam esetén. Rézsúállékonyság biztosítása. Bármilyen vízáadó réteg kezelése, amely viszonylag vízzáró alapkőzet felett települt.	Korlátlan mértékű leszívás. Szintek, áramlási irányok könnyen ellenőrizhetők. Rugalmas elrendezéssel optimális teljesítmény. Teljesítmény növelhető sugárirányú drénekkal.	Magas telepítési költség. Hidraulikus talajtörés veszélye az építés alatt.
Megjegyzés: Egyre inkább terjednek az automata megfigyelő és adatrögzítő rendszerek próbaszivattyúzások és talajvízszintsüllyesztések irányítására. Nagy kockázatú projektek esetén automata riasztással is felszerelik a szivattyú- és vízszint figyelő berendezéseket.			

3. Földművek víztelenítése

A közlekedési pályák élettartamát és fenntartási igényeit nagyban befolyásolja a földmű víztelenítése. A felszíni vizek (csapadékvizek, technológiai vizek) elvezetése elsősorban a kivitelezés során kíván nagy odafigyelést, de a földmű tervezése során is körültekintéssel kell eljárni. Figyelembe kell venni azt is, hogy pl. az utak végleges kialakítását követően, még a burkolat megfelelő karbantartása mellett is juthatnak vizek a földműbe részben az oldalárok, részben az elválasztósáv, részben a padka irányából.

A földművek tönkremenetelének egyik leggyakoribb oka a nem megfelelő vagy elégtelen víztelenítés. A földművek állapotának leromlására a külső és belső víz, a mozgó és nyugalomban lévő víz, a cseppfolyós és szilárd halmazállapotban lévő víz egyaránt kihat, ezért elengedhetetlen a helyes víztelenítés megtervezése. A földmunka víztelenítésekor a mérnököknek sok bizonytalansággal kell szembenéznie. A tervezési munkát nehezíti a mértékadó csapadékok, vízhozamok meghatározásának bizonytalansága, a hidrológiai vizsgálatokhoz szükséges adatok és feltárások elégtelensége, a talajfizikai jellemzők meghatározásában rejlő bizonytalanságok, az altalaj inhomogenitása és a modellezési eljárások tökéletlensége.

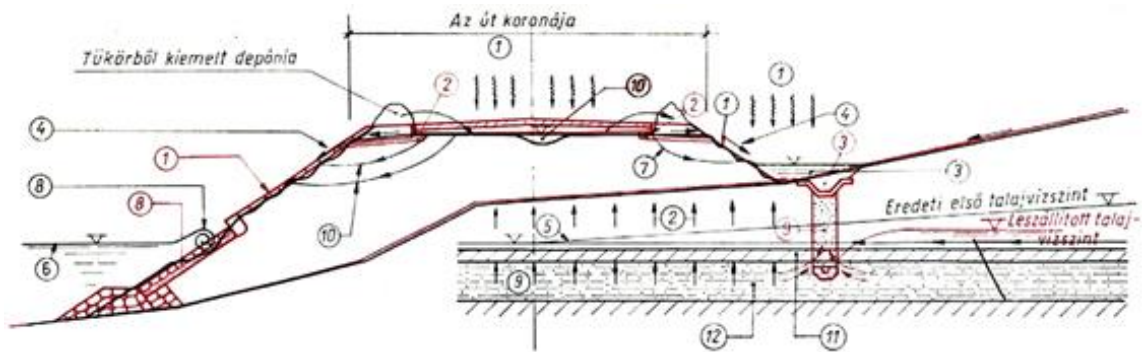
A földmunka állékonyságát károsan befolyásolhatják az 3.1 és a 3.2 ábrákon feltüntetett hatások.

A károk elleni védelmi műveinket úgy kell méreteznünk, hogy:

- a lejtős terepen a földmű felé áramló külső víz;
- a földműre hulló csapadék;
- a földmű rézsújával érintkező folyó-vagy állóvíz;
- a földmű közeli talajvíz (kapilláris víz) és rétegvíz kártétel nélkül lefolyást találjon.

Azok az óvintézkedések, amelyek által a földművek védelme biztosítható a víz kártételei ellen, három csoportra oszthatók:

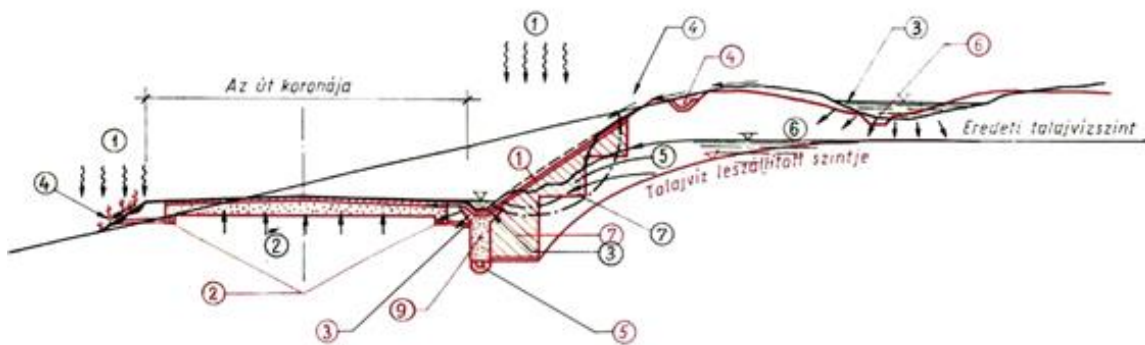
- a terepről a földmű felé áramló ún. külső vizek elvezetése (3.1 és 3.2 ábrákon 1,3,4 jelű hatások)
- a földmű alépítményének víztelenítése (3.1. és 3.2. ábrákon 2 és 5 jelű hatások)
- a földmű pályájának víztelenítése.



3.1. ábra: A töltés állékonyságát károsan befolyásoló hatások (fekete színű rajz) és védelmi módszerek e hatásokkal szemben (piros színnel feltüntetve) [Forrás: Kézdi Á]

A fekete színnel jelezett mutatószámok magyarázata: 1 csapadékvíz; 2 kapilláris víz; 3 pangó víz; 4 eróziót okozó víz; 5 talajvíz; 8 hullámverés; 9 rétegvíz; 10 áramlási nyomás; 11 vizet át nem eresztő talaj; 12 vízáteresztő talaj;

A piros színnel jelezett mutatószámok magyarázata: 1: gyepesített felület; 2 talajcsere szekrényes szivárgóval; 3 víztelenítő árok; 8 partvédelem; 9 talpszivárgó; 10 tükörvíztelenítés



3.2. ábra: A bevágás állékonyságát károsan befolyásoló hatások (fekete színű rajz) és a védelmi módszerek e hatásokkal szemben (piros színnel feltüntetve) [Forrás: Kézdi Á]

A fekete színnel jelezett mutatószámok magyarázata: 1 csapadékvíz; 2 kapilláris víz; 3 pangó víz; 4 eróziót okozó víz; 5 talajvíz; 6 szivárgó víz; 7 csúszólap

A piros színnel jelzett számok magyarázata: 1 gyepesített részfelület; 2 talajcsere szekrényes szivárgóval; 3 víztelenítő oldalárók; 4 övárók; 5 szivárgó fenékcsatornája; 6 lecsapoló árok; 7 borda; 9 talpszivárgó

3.1. Felszíni víztelenítés

Felszíni víztelenítésre mindig szükség van, s azt a közlekedési pályákra vonatkozó előírások alapján kell tervezni. Területi kiterjesztésével, elemeinek ésszerű alakításával a rézsúk állékonysága is kedvezően befolyásolható. Külön figyelmet érdemel az árkok helyzete, esése és burkolása, mely kihat az állékonyságot befolyásoló beszivárgásra is. Szükség lehet külön ideiglenes (építés közbeni) és végleges (építés

utáni, üzemi) állapotban működő víztelenítési megoldásokra, s előnyös, ha a kettő egybeesik.

A földmű víztelenítés tervezésének megkezdése előtt a tervezőnek helyszíni szemlét kell tartania. Ez már a tanulmányterv fázisában lényeges, hiszen a helyszín ismerete több információval szolgálhat, mint csupán az alaptérkép ismerete. A bejárás során tapasztaltakat a tervezést szolgáló alaptérképen rögzíteni szükséges, amennyiben az olyan információ, amely a tervezést döntően befolyásolja. Lényeges minden olyan egyéb információt rögzíteni, amely hatással lehet a későbbi tervezésre. Ajánlott a bejárás során fényképeket készíteni, és azokat dokumentálni. Ezek a fényképek nemcsak a későbbi tervezést képesek segíteni, de szükség lehet az útpálya megépítése után is olyan dokumentáció összeállítására, amely az építés előtti állapotot is tükrözi. Kiindulási állapotként kell rögzíteni az olyan információkat is, amelyek esetleg egy már korábban tervbe vett fejlesztést tartalmaznak.

A víztelenítési munka tervezésekor ismernünk kell azt a mértékadó nagyvízhozamot, amit a földmunkáról levezetni, a földmunka mellett vagy alatt elvezetni kívánunk. Meghatározásánál figyelemmel kell lenni a tervezési terület, illetve a tervezett létesítmény besorolására. A mértékadó csapadék vízhozamának megállapítása függ a figyelembe veendő csapadékintenzitástól, a lefolyási és összegyülekezési időtől, valamint a vízgyűjtő terület nagyságától. Ezek számítása nem a geotechnikus tervező feladata.

Az elvezető árokrendszert a környező terület lefolyási viszonyait figyelembe véve kell kialakítani. Biztosítani kell a természetes lefolyást. Ennek érdekében szükséges lehet a talpárkokon kívül további levezető medrek, valamint egyéb átvezetési műtárgyak (átereszek, hidak stb.) tervezése is.

Talpárkok, övárók

A tervezett talpárkok feladata a burkolatokra és a környező területekre hulló csapadék elvezetése a befogadóig, illetve annak tározása-szikkasztása. Az árkoknak a mértékadó csapadékvizet kártétel nélkül kell levezetniük, ennek biztosítására szükség lehet az árokmeder burkolására. Megjegyzendő, hogy a bevágási árkokat minden esetben burkolattal kell ellátni. A talpárkot a töltések azon oldalán kell elhelyezni, amelyen a burkolat víztelenítése, illetve a topográfiailag csatlakozó területek víztelenítése történik. Az árokprofil kialakításakor figyelembe kell venni a forgalombiztonság szempontjait.

Az árok fenékszintjének meghatározásakor figyelembe kell venni a tervezett földmű felső részét és a talajvízszint helyzetét is. Nem megengedhető, hogy a mértékadó

talajvízszint elérje, vagy veszélyesen megközelítse a pályaszerkezetet. A talajvízszintnél a maximális értéket akkor kell figyelembe venni, ha ennek a szintnek a tartóssága azt megkívánja. Az átlagos, vagy mértékadó talajvízszintet a geotechnikai tervek alapján vagy a térségi megfigyelő kutak adatsorai alapján lehet meghatározni. Az árokmélységet gyakran az szabja meg, hogy a benne várható legmagasabb vízszint fölött legalább 20 cm-rel kell kivezetni a pályaszerkezet alatti védőréteget. Az árok fenékszintjének meghatározás a geotechnikus, az út-tervező és a vízépítést tervező mérnökök együttműködését kívánja.

A burkolás szükségessége, kialakítása nincs szabályozva, alkalmazása tervezői feladat. A burkolatot úgy kell kialakítani, hogy a mértékadó vízsebességgel áramló vízmozgás azt ne tudja megbontani. A burkolaton kialakuló sebesség függvényében a talpárokban energiatörő elemeket kell elhelyezni. A burkolat szükségességét ugyanakkor geotechnikai szempontok is indokolhatják. Amennyiben a tervezés során például helyhiány miatt meredekebb árokrézsű kialakítás szükséges, akkor az főleg mélyebb árkok esetén állékonysági problémákat is felvethet. Megfelelően megtervezett burkolattal ez kismértékben javítható, de fel kell hívni a figyelmet arra, hogy önmagában egy egyszerű burkolás a globális állékonyságon számottevően nem javít, leginkább csak a felületi eróziós károk megakadályozására szolgál.

Bevágásoknál a terepről érkező vizeket övárokkal fel kell fogni. Az övárkokat minden esetben burkolattal kell ellátni, még ideiglenes állapotban is akár ideiglenes burkolattal, hogy a rézsűbe ne kerüljön bevezetésre a víz, amely az állékonyságot csökkentheti. Az övárkok befogadói lehetnek a tervezett létesítmény mellett vezetett talpárkok, vagy külön elvezetés a befogadóig. A csatlakozást minden esetben már a töltéses szakaszokon kell megoldani. Az övárokból a talpárokhoz történő csatlakoztatása előtt az övárkok esésének függvényében energiatörő elemeket kell elhelyezni a pálya árkanak védelmére. Amennyiben az övárkok talpárokhoz történő csatlakoztatására nincs mód, az övárkok befogadójaként természetes vízfolyást, mélyvonulatot kell keresni (bevágás, völgyhíd). Az övárkok helyszínrajzi elhelyezését úgy kell meghatározni, hogy azok a bevágási rézsű állékonyságát ne veszélyeztessék. Általánosságban ez a távolság a rézsű körömpontjától legalább 3,5 m, de a geotechnikai tervezési beszámolót minden esetben figyelembe kell venni.

Az árkok méretezése szintén nem a geotechnikus tervező feladata, a meghatározás módját az e-ÚT 03.07.12 részletesen tartalmazza.

Átereszt

Átereszeknek nevezzük a 2,00 m szabad nyílásméretet nem meghaladó műtárgyakat. Lényeges, hogy a 2,00 m feletti nyílásmérettel rendelkező műtárgyakat – körszelvényűeket is – hídként kell a tervezőnek kezelni, és a hidakra vonatkozó előírásokat és feltárási követelményeket kell betartani. Az átereszeknek a mértékadó vízhozamot kártétel és káros kimosások nélkül kell elvezetniük. Az átvezetéseket lehetőség szerint merőleges, vagy azt megközelítő keresztezéssel kell megoldani. A műtárgy nyílásméret meghatározásánál figyelembe kell venni az üzemeltetési szempontokat is (tisztíthatóság). Vízfolyások keresztezésénél elhelyezendő műtárgyak esetében a hatósági előírások meghatározhatják a műtárgy fenékszintjét, amelyet a tervezőnek figyelembe kell vennie a tervében.

Figyelembe kell venni a gyártó által előírt minimális átereszt feletti takarási vastagságot is, mert ez a teherbírását befolyásoló egyik döntő tényező. Kisebb takarási magasság esetén a gyártóval egyeztetni szükséges, illetve egyedi teherbírás számítást kell végezni, szükség esetén egyedi erősítésű gyártmányt kell tervezni, vagy teherelosztással, erősített áteresszel kell számolni, amelynek megfelelőségét erőtani számítással kell igazolni. A minimális takarási vastagságot az építés közbeni ideiglenes állapotban is be kell tartani, amennyiben a beépítés után építési forgalomra kell számítani.

Fontos tervezési szempont, hogy az átereszek tervezésekor számoljunk az altalaj összenyomódás – konszolidáció - jellemzőivel. A talajmechanikai feltárások és geotechnikai tervek útmutatást adnak a beépítési helyen várható süllyedés mértékére és idejére. Az átereszt szükséges építési túlemeléséhez ismerni kell a konszolidáció - műtárgy hossza mentén várható - eloszlását is. A fentiek miatt talajfeltárást minden áteresznél kötelezően elő kell írni, a geotechnikus tervező javaslatait a végső tervkészítéskor figyelembe kell venni.

Az átereszek méretezése jellemzően nem a geotechnikus feladata.

Szegélyek

Kiemelt szegélyt általában belterületi vagy belterületi jellegű utak esetében alkalmazunk. Magassága jellemzően 9–18 cm között változik a burkolatszélhullámozgatás függvényében. A kiemelt szegély alkalmazása esetén a vízvezetés víznyelőkön keresztül történik.

Vízvezető szegélyt akkor kell alkalmazni, ha a külterületi út szélén összegyülekező csapadék eróziója ellen kell védekezni. Ez nagy hosszesésű és/vagy széles, túlemelt burkolatoknál jelentkezik. Alkalmazni kell akkor is, ha egyébként a csapadékvíz a

résűn nem vezethető el. Általában 6 cm magas és mindig burkolt felülethez csatlakozik. Szegélymegnyitással a surrantóhoz kell csatlakoztatni, melyek a talpárkokba vezetik a vizet. A talpárkokat a surrantó becsatlakozásoknál energiatoróval kell ellátni, a becsatlakozással ellentétes oldalon.

Tározás, szikkasztás

A záportározók létesítésével kapcsolatos meghatározásokat az MI 10 455-4 műszaki irányelv tartalmazza. Meghatározza a tározás szempontjából számításba vehető mértékadó csapadékot, utal az MI 10 167-3 műszaki irányelvre. Meghatározza a különböző típusú tározók térfogatának számítási módszereit.

Amennyiben az árok egyben tározó funkciót is ellát, úgy vizsgálni kell, hogy legalább a mértékadó csapadék másfél-, kétszeresét be tudja fogadni, valamint a szintjét úgy kell kialakítani, hogy a földmű felső részben elhelyezkedő vízkivezető réteg alsó síkja legalább 20 centiméterrel legyen az árokban várható maximális vízszint felett. A tározótérfogat nagyságának meghatározására előírás nincs, ezt mindig az adott helytől és az adott körülményektől függően kell meghatározni. Külterületen a tározómedencét a tervezett árok külső szélétől legalább 5 m távolságon túl kell kialakítani, az üzemeltetési szempontokat is figyelembe véve. Lehetőleg törekedni kell a minimális földmunkára, valamint a könnyű megközelíthetőségre. Amennyiben a tározó egyben szikkasztó feladatot is ellát, a talajvizsgálati jelentés alapján kell figyelembe venni a talajjellemzőket és a talajvízszinteket. Környezetvédelmi szempontokat figyelembe véve, tisztító műtárgy elhelyezése válhat szükségessé.

Egyéb befogadó hiánya esetén szükségessé válhat a talajba, mint befogadóba történő vízhelyezés tervezése. A szikkasztási megoldásnál első lépésként a talajvizsgálati jelentésre kell támaszkodni. Amennyiben az nem ad kellő információt, szikkasztási próbát kell végezni.

A szikkasztás lehetőségét azonban elsősorban a környező talaj- és talajvízjellemzők határozzák meg. Általánosságban mondható, hogy a szikkasztó medence, árok fenékszintjének a mértékadó talajvízszint fölött 1,0 m-re kell lennie. Minden esetben szükséges megvizsgálni a befogadó talaj érzékenységét, vízáteresztőképességi tulajdonságát, a talajvíz helyzetét, változásait, szintjének ingadozását. Amennyiben a vizsgálatok és az illetékes Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőséggel történt egyeztetést követően a csapadékvíz elszikkasztására lehetőség adódik, úgy az megoldható tározó medencében, vagy párologtató, szikkasztó talpárkokban is. Nagyobb szikkasztó tározó medencék előtt célszerű ülepítőt is tervezni, a tározó könnyebb üzemeltetése érdekében. A tározók méretezésekor a mértékadó vízmennyiség teljes befogadását kell figyelembe venni a megbízóval egyeztetett

biztonsági tényezővel. Amennyiben az útárok egyben tározó-szikkasztó párologtató feladatot is ellát, úgy az útterveknek tartalmazniuk kell az ehhez szükséges, biztonságot szolgáló úttartozékokat, ill. egyéb szükséges műszaki megoldásokat is. A szikkasztásra tervezett árokszakaszoknak a méretezésekor figyelembe kell venni a csatlakozó területekről, illetve egyéb talpárok szakaszokról érkező víz mennyiségét és minőségét is, valamint a szikkasztóárok talajminőségét is. Az árkokat szintén a mértékadó csapadékmennyiség teljes befogadására kell méretezni a megbízóval egyeztetett biztonsági tényezővel, valamint a méretezésnél figyelembe kell venni, hogy a földmű felső részben elhelyezkedő vízkivezető réteg alsó síkja legalább 20 centiméterrel legyen az árokban várható vízszint felett.

3.2. Felszín alatti víztelenítés

- A felszín alatti víztelenítés tervében a következőket kell ismertetni:
- a talajvízfelszín várható helyzetét, illetve a zárt rétegben fellépő várható víznyomásokat,
- a víztelenítés kihatását,
- az áramlás miatt a víztelenítő berendezésekbe jutó vízhozamokat.

Ezeket általában geohidraulikai (szivárgási) számítások alapján kell megbecsülni, de összehasonlítható tapasztalatokra is lehet támaszkodni, ám a tervben azok alapjait is be kell mutatni.

A tervezéskor ügyelni kell a következőkre:

- a talajvízszint-süllyedésnek kedvezőtlen hatása lehet az élő környezetre,
- a víztelenítés viszonylag távoli területeken is megindíthatja a talajvíz és vele az esetleges felszín alatti szennyeződés megengedhetetlen áramlását,
- a feltárások során gyakran lehetetlen a talajvízviszonyok pontos megismerése, a kivitelezéskor és a víztelenítő rendszerek működésekor mutatkozhatnak váratlan jelenségek,
- a talajok átteresztőképességét, különösen, ha repedezettek vagy finoman rétegzettek, gyakran nem lehet elég pontosan meghatározni,
- a kivitelezési munka és a felszíni víztelenítés megváltoztathatja a terület hidrológiai viszonyait,
- a víztelenítés megvalósítása közben elkövetett, akár jelentéktelennek látszó szerkezeti hibák is megghiúsíthatják a rendszer tervezett működését.
- a nehezen fenntartható vagy elhanyagolt víztelenítő berendezések akár több kárt is okozhatnak, mint ha nem is épülnének ki.

Ezek miatt a tervezés feladatait, céljait és módszereit a következőket szem előtt tartva kell megválasztani:

- a víztelenítési megoldásokat átfogóan, rendszerükben, az összefüggéseket és a kihatásokat gondosan elemezve kell a tervezési munka közben folyamatosan felülvizsgálni,
- csak a feltétlenül szükséges mértékig kell csökkenteni a talajvíz szintjét,
- törekedni kell a kihatási távolságok csökkentésére, s szükség esetén meg kell oldani a környező terület talajvízszintjének rekonstrukcióját is,
- kellő ráartással kell tervezni a vízvezető elemek szállítóképességét, hogy képesek legyenek a becsültnél nagyobb mennyiségek elvezetésére is,
- vizsgálni kell a bizonytalanságok következményeit, s ha szükséges, pontosítani kell az alapadatokat,
- nagy figyelmet kell fordítani minőségellenőrzés megtervezésére,
- ki kell dolgozni a megfigyelések tervét,
- nélkülözhetetlen a fenntartás megtervezése.

A tervezéskor különös figyelmet kell fordítani

- a felszíni és felszín alatti vízbázisok és védőterületük megóvására, szennyeződésük megakadályozására,
- a vízfüggő élőhelyek megóvására, vízellátásuk biztosítására.

Szivárgók

A felszín alatti víztelenítés leggyakrabban alkalmazott és leghatékonyabb eszközei a szivárgók, melyek a talajban áramló víz elfogását szolgáló szemcsés anyagú szivárgótestből, az összegyülekezett vizet szállító dréncsőből, esetleg folyókából állnak. A szivárgótest és a környező talaj közé szűrési funkciójú geotextíliát kell helyezni, a dréncsövet szintén geotextíliával kell körbevenni. A tervezés során helyszínrajzi és magassági vonalvezetésüket és szerkezetüket (anyaguk, méretük, elrendezésük) kell meghatározni.

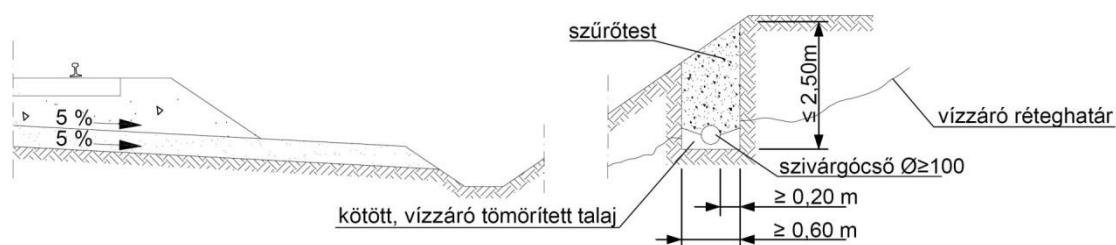
A szivárgók helyzetük és funkcióik szerint lehetnek: oldalszivárgók, megszakító szivárgók, rézsűszivárgók.

Az oldalszivárgókat az úttengellyel párhuzamosan, a bevágási rézsűk lábánál, általában a közlekedési pálya két oldalán, a burkolt oldalárkok alatt, olyan mélységben kell vezetni, hogy elérhető legyen a rézsűben, illetve a pályaszerkezet alatt az állékonyság és teherbírás növeléséhez szükséges vízszint-csökkentés. E szivárgók funkciója lehet a pályaszerkezet alatti szemcsés rétegekből kifolyó vizek elvezetése is, s ha csak ez a

feladatuk, akkor elég, ha mélységük olyan, hogy az aljukban vezetett dréncső teteje 20 cm-rel van a szivárgó alsó síkja alatt (3.3. ábra)

A megszakító övszivárgókat általában a pálya tengelyével párhuzamosan, a bevágások (és esetleg a töltések) hegy felőli oldalán, a tengelytől olyan távolságban kell vezetni, hogy a rézsűk állékonyságát veszélyeztető talajzónákat megóvjuk a feléjük áramló víztől (3.4. ábra). Általában addig a vízzáró rétegig kell lemélyíteni őket, amely alatt már nincsenek a védendő földmű állékonyságát veszélyeztető, s ezért víztelenítendő talajok.

Ha a pályaszerkezet alatti hossz-szivárgásokat kell megállítani, akkor e célból megszakító keresztzivárgók építhetők a pálya alá.

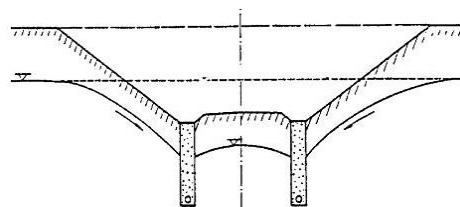


3.4. ábra. Megszakító övszivárgó vasúti pálya mellett [Forrás: D.11]

A rézsűszivárgókat általában az úttengelyre merőlegesen vagy ahhoz szögben hajolva, a víztelenítendő bevágási rézsűkben, olyan mélységben és olyan távolságokban kell vezetni, hogy az állékonyság növeléséhez szükséges vízszintcsökkentés elérhető legyen. Akkor indokolt az alkalmazásuk, ha csak nagyon mély oldalszivárgóval lehetne ekkora vízszintcsökkenést biztosítani. Célszerű a veszélyes csúszólapok alá mélyíteni őket. A rézsűszivárgókat célszerű durva kőanyagból építeni, mert így a vízszintcsökkentésen kívül szárító és lejtőstabilizáló hatásuk is érvényesülhet.

A szivárgók helyzetét, elrendezését és mélységét geohidraulikai számítások és összehasonlítható tapasztalatok alapján kell meghatározni a 2.3. fejezetben ismertetett módszerekkel.

A szivárgó-test feladata a feléje áramló víz elfogása és levezetése. Ennek anyaga fagyálló, legalább jó vízvezető, $d_{max} < 32$ mm és $C_u < 8$ szemeloszlási jellemzőjű homokos kavics vagy tört kőanyag legyen.



3.3. ábra. Oldalszivárgó [Forrás: Szepesházi]

A dréncső feladata az összegyűjtött víz hosszirányú elvezetése. Perforált (esetleg kellő porozitású fallal bíró) műanyag vagy betoncsövek alkalmazhatók, megfelelőségüket hidraulikai számítással kell igazolni, de legalább 90 mm átmérővel, 0,6 mm nyílásmérettel és 50 cm²/m vízbelépési felülettel rendelkezzenek. A dréncső alá közepesen vízvezető talajt vagy geoműanyag membránt kell beépíteni.

A víztelenítendő talaj és a szivárgótest közé beépítendő geotextíliának azt kell biztosítania, hogy

- a környező talaj nem erodálódik, s így stabil marad,
- sem a szivárgótest, sem a geotextília nem kolmatálódik, s így megfelelő marad az áteresztőképessége.

A szivárgó-test és a dréncső közé fektetendő geotextíliának azt kell biztosítania, hogy

- a szivárgótest nem erodálódik, s így stabil marad,
- a dréncső és a geotextília nem kolmatálódik, s így megfelelő marad az áteresztőképességük.

A geotextiliákat szűrési, drénezési és elválasztó funkcióra kell méretezni.

Szivárgó kialakítható geotextília nélkül is, de akkor a szivárgótest anyagát kell úgy megtervezni, hogy az eróziós és kolmatációs jelenségek ne következhessek be.

A szivárgók geometriai jellemzői általában:

- a hosszesés: 0,3 %,
- a szélesség: nyílt árokba készített szivárgóknál 60 cm, a mélyszivárgók építéséhez használt célgépek esetében 25cm,
- a dréncső melletti méretek: 20...20 cm, amittől el lehet tekinteni mélyszivárgók építéséhez használt célgépek esetében,
- a csőtakarás: 60 cm.

A felszín alatti víztelenítés további eszközei lehetnek:

- víztelenítő/szárító tárók,
- vízszintes furatok,
- kutak/aknák,
- árkok.

A víztelenítő/szárító tárók a rézsűszivárgókhoz, illetve megszakító szivárgókhoz hasonló helyekre és feladatokra tervezhetők. Akkor célszerűbbek azoknál, ha a víztelenítendő réteg mélysége 10...12 m és a felső rétegek víztelenítése szükségtelen.

Ekkor a rézsűket veszélyeztető, nehezen kivitelezhető mély árok nyitása helyett előnyösebb bányászati módszerekkel tárót hajtani. A tárók vonalvezetését a hidrogeológiai viszonyok alapján kell megállapítani. A tárók falát dúcolattal, vagy falazattal kell megtámasztani, s szárazon rakott kőanyaggal lehet kitölteni őket, vagy üresen is maradhatnak. Kitöltés esetén legalább 50 m-enként ellenőrző és levegőztető aknát kell csatlakoztatni hozzájuk. A táro aljában folyókát kell elhelyezni. Tervezésük 3. geotechnikai kategóriába tartozik, ezért bányászati vagy alagútépítő szakértőt kell bevonni.

A vízszintes furatok a rétegvizek elfogására lehetnek alkalmasak. Ha többé-kevésbé ismert a vízszállító rétegek helyzete, akkor azok elegendő számú fúrási próbálkozással elérhetők, s így viszonylag olcsó lehet a víztelenítés. A furatokba műanyag dréncsőveket kell bevezetni, és célszerű azokat geotextíliával védett kavicsal kitölteni. Kivezetésüket úgy kell kialakítani, hogy télen is biztosítsák a víz kifolyását. Készítésük során ügyelni kell arra, hogy a fúrószerszám ne hozzon ki annyi talajt, amennyi a talajkörnyezet káros mozgását okozhatná. A furatok hatékonyságát és működését – különösen kezdetben – figyelni kell.

A víztelenítő kutakat/aknákat szivárgók helyett, egy sorban bizonyos közökkel kiosztva, a vízszállító rétegekbe lemélyítve, s annak szintjében perforált oldalfallal (ablakkal) kialakítva készítik a talajvíz szintjének vagy nyomásának csökkentése végett. Hatékonyságuk a fenék alá mélyített csőkutakkal vagy oldalirányba kihajtott csápokkal fokozható, illetve ezekkel csökkenthető a kutak/aknák száma. Az átmérőjük a szükséges vízemésztő képesség és a bennük végzendő munkák helyigényének figyelembevételével határozandó meg, de legalább 1,0 m. A kutakból/aknákból a terepadottságokhoz igazodó mélységben kivezetett csővel gravitációsan kell kivezetni a vizet, ügyelve arra, hogy az télen is lehetséges legyen.

Ha a gravitációs elvezetésnek nincsenek meg a feltételei (pl. lefolyástalan terepen pangó fakadó víz esetén), akkor a szivárgórendszerben felgyülemelő vizet aknákból, szivattyúzással kell eltávolítani.

A felszíni vízelvezetéshez készülő árkok felszíni alatti víztelenítés céljából nem alkalmazhatóak. A felszíni és a felszín alatti víztelenítési rendszert külön kell kezelni, kivéve a felszíni alatti víztelenítési rendszer kivezetését.

3.3. Földművek építés közbeni víztelenítése

A bevágások kialakítása közben a víztelenítést folyamatosan meg kell oldani, hogy

- a bevágás feletti övárkot a bevágásnyitás előtt legalább ideiglenes kialakítással kötelező elkészíteni,

- fejtés közben minden felület esése kifelé irányuljon, s az esés a földműre előírt mértékű legyen, a fejtést a külső szélektől befelé haladva kell mélyíteni, így megoldva a felület víztelenítését,
- a talajvíz alá mélyítendő bevágás víztelenítését szolgáló szivárgók elkészítését általában úgy kell időzíteni, hogy legalább az utolsó egyméternyi fejtés már víztelenített talajban valósulhasson meg,
- az erózióvédelem, különösen az erózióérzékeny talajok esetén, a lehető leggyorsabban készüljön el,

A töltésépítés közben a víztelenítést folyamatosan meg kell oldani, hogy

- a földmű felszínéről a víz oldalra lefolyjon,
- a rézsúkon a víz nehezen javítható, esetleg hámlással, suvadással fenyegető eróziót ne okozzon.

A töltéskoronát a vízlefolyás biztosítására a következők szerint kell kiképezni:

- legalább 2,5% oldalesés szükséges még a szemcsés talajok esetén is,
- legalább 4% oldalesés kötelező vegyes összetételű és kötött talajok esetében.

A téliesítéskor, valamint csapadékos (viharos) időjárás esetén az eső közeledtekor és/vagy a napi munkavégzés befejezéseként a koronát simítóhengerléssel kell zárni, hogy a víz könnyen lefolyjon. Kritikus helyeken indokolt esetben fóliatakarás is előírható. Havazás esetén a földmű tetejéről a havat lehetőség szerint minél hamarabb el kell távolítani, hogy olvadás után a hólé ne jusson be a földműbe. A tavaszi munkakezdés során a földmű átázott, felpuhult részeit kezelni vagy cserélni szükséges.

Ha a töltés felszíne mégis úgy ázik el, hogy a víz nem tud lefolyni, s ezért felpuhítja a felszínt, akkor a folytatás előtt ki kell várni a kiszáradást, és újra kell tömöríteni a koronát, vagy ki kell cserélni a leromlott állapotú talajt, vagy kezelést kell alkalmazni.

A rézsűfelületek munka közbeni erózióvédelmét meg kell tervezni és az építés után azonnal el kell végezni.

3.4. Földmű szélesítése és a földmű felső rész víztelenítése

A szélesítést úgy kell megtervezni, hogy

- az esetleg éppen elnedvesedett töltésrézsűk kiszáradását, víztelenítését a szélesítéssel történő bezárás ne akadályozza meg,
- a szélesítés nyomán ne következhesse be olyan vízmozgások, melyek a régi töltészónát káros mértékben elnedvesíthetik.

A szélesítés építés közbeni és tartós víztelenítésére külön gondot kell fordítani. Legalább az e-UT 06.03.13 számú előírásban foglaltaknak megfelelő kialakítással el kell érni, hogy

- régi töltéstartól a víz kijuthasson,
- az új töltés felületére jutó víz a felszínen lefolyjon, a beszivárgás csekély legyen.

A tervezőnek elsősorban a szélesítés anyagainak, geometriai jellemzőinek célszerű megválasztásával, valamint a csatlakozó oldalak megfelelő kialakításával kell e követelményeket teljesítenie.

Általában azt lehet feltételezni, hogy jó állapotban tartott burkolaton keresztül szinte nem jut víz a földmúbe, viszont a padkáról, az elválasztó-sávról beszivároghat, valamint párákicsapódásból is megjelenhet víz a burkolat alatt. Ezeket a vizeket minden esetben ki kell vezetni a burkolat aló a földmú felső részben. Ha a földmú felső rész stabilizációval készül, akkor külön figyelmet kell fordítani a vízkivezetésre. A vízkivezető réteg vastagsága legalább 15 cm legyen, és az alsó síkja legalább 20 centiméterrel legyen az árokban várható vízszint felett.

3.5. Földmú alépítményének víztelenítése

Közlekedési létesítmények földműveinek alapozása esetében kritikus lehet az az eset, mikor az átnedvesedés nem a szabad talajvízszintig történik, hanem megfigyelhető az ún. kapilláris emelkedés jelensége. A kapillárisan kötött víz a talaj alkotta vékony csövecskékben az összefüggő talajvíz fölé emelkedik. Egy bizonyos magasságig a hézagokat még teljesen kitölti (zárt tartomány), majd - ahogy egyre több hézag emelőképessege merül ki - egyre több lesz a levegő, kevesebb a víz (nyílt tartomány). Az emelkedés magassága a csőátmérővel fordítottan arányos, ezért a durvább szemcséjű kavicsokban, homokokban az emelkedési magasság kisebb, mint az agyagokban. A homok, kavicsos homok vagy homokos kavics talajokban ez az emelkedés 0,1 – 0,8 m között változik, viszont iszapos talajban akár 3 méter is lehet, agyag esetén pedig több 10 méter. Tájékoztató adatokat a 3.1. táblázat foglalja össze.

3.1. táblázat: Jellemző kapilláris emelkedési magasságok

Jellemző kapilláris emelkedési magasságok	
talajfajta	emelkedési magasság h_k m
homokos kavics	0,10 ... 0,20
homok	0,40 ... 0,80
homokliszt	1,00 ... 1,50
iszap	2,00 ... 3,00
közepes agyag	4,00 ... 8,00
kövér agyag	10,00 ... 50,00

A kapilláris emelkedés hatására a talaj vizet szállíthat a földmúbe, minek következtében ebben a talajzónában a nyírószilárdság csökkenhet, többletsüllyedések

alakulhatnak ki, amik befolyásolhatják a létesítmény megfelelő működését, szélső esetben akár állékonyságát is. A kapilláris emelkedés következtében talajfagyáskor jelentős mennyiségű víz emelkedhet kapilláris úton az útburkolatok alatti fagyzónába, ezzel megnő ott a víztartalom, aminek következtében a fagy- és az olvadás okozta károsodás veszélye, ill. mértéke fokozódik.

Ha a talajvíz annyira megközelíti a terepszintet, hogy onnan kapilláris emelkedéssel a töltés talpáig juthatna, akkor a továbbemelkedés megakadályozása céljából a földműalapba, tervezett vastagságban kapilláris megszakító réteget kell építeni. A kapilláris réteg anyaga vízszállító (V-1) vagy jó vízvezető (V-2) szemcsés anyag legyen.

Magát a kapilláris emelkedést laborvizsgálatokkal szükséges alátámasztani, a helyszíni vizsgálat elvégzésének lehetősége nem, vagy csak nagyon körülményesen biztosítható. A laboratóriumi vizsgálat során azt kell igazolni, hogy a kapilláris emelkedés mértékének kevesebbnek kell lennie, mint a kapilláris réteggént beépíteni kívánt stabilizált rétegvastagság.

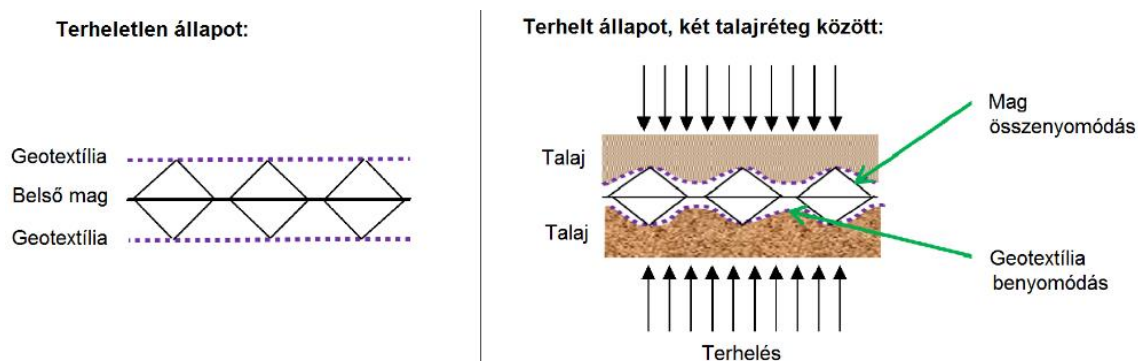
Kapilláris megszakító réteget vasúti földművek esetén is be kell tervezni, a MÁV D.11 számú utasítása szerint: Belvízveszélyes területen található töltések, valamint finomszemcséjű talajból készült, illetve magas talajvízszint mellett finomszemcséjű altalajra alapozott töltések építése esetén a kapilláris átnedvesedés megakadályozására egy 30-50 cm vastagságú megszakító szűrőréteget kell beépíteni durva szemcséjű talajanyagból, vagy ennek helyettesítése történhet – megfelelő és körültekintő hidraulikai számításokkal a tervezési élettartamra igazolt – egyenértékű, alkalmazási engedéllyel rendelkező szivárgó geokompozit beépítésével.

Az építés során a kapilláris megszakító réteg anyagának beszerzése sokszor problémát okoz, hiszen ilyen anyagok az ország nagy részén csak igen nagy távolságból szerezhetők be, ami jelentősen megnöveli az építési költségeket. Részben ezen okból az Útügyi Műszaki Előírás is tartalmaz utalást alternatív megoldások tervezhetőségére is: „Kapilláris megszakító réteggént tervezhetők más megoldások is, ha azok alkalmasságát speciális vizsgálatokkal igazolják.”

Ilyen megoldás lehet a geoműanyagok alkalmazása, vagy talajkezeléssel olyan talajszerkezet létrehozása, ami meggátolja a kapilláris emelkedést, ugyanakkor megfelel a földmű adott részébe történő beépítés egyéb követelményeinek is.

Az utóbbi időben, már elfogadott és széleskörűen alkalmazott megoldás, miszerint a szemcsés talajok pórusátmérőjét geokompozit rétegek beépítésével biztosítjuk. Ebben az esetben két szűrő és elválasztó geotextília közé egy „távtartó” műanyag magot építenek be, amely mag biztosítja, hogy a két geotextília réteg nem ér össze, így a

kapilláris megszakításért felelős „pórus” vagy „hézag” hosszú távon is megmarad (3.5. ábra). A földmű alap nem nedvesedik át, így a problémák kialakulása radikálisan csökken.



3. 5. ábra. Geokompozit elvi metszete, terhelt és terheletlen állapotban

A kapilláris megszakításra szánt geoműanyagoknak tehát biztosítani kell, hogy a kiválasztott geokompozit belső magja hosszú távú terhelés mellett is megtartsa alakját, valamint a geotextília rétegek nem nyomódnak be a magba, így nem érnek össze. Ezt bizonyítja a 2019-ben, az Univeristas-Győr Nonprofit Kft. által elvégzett, 311-587 azonosító számú kutatás is, amely összefoglalásában így fogalmaz:

„A laboratóriumi mérési eredmények alapján továbbá megállapítható, hogy azon szivárgó geokompozitok esetén, ahol a függőleges terhelés hatására a közbenső magnál összeérhet a kétoldali geotextília réteg, a kapilláris megszakító hatás bizonyíthatóan csökken”

Gyakran a termékek vízelvezető kapacitásával bizonyítják a termékek megfelelőségét, azonban a fentiek alapján belátható, hogy ez bizonyos esetekben nem megfelelő anyagok kiválasztásához vezethet.

Ahhoz, hogy az említett nagy léptékű kutatási munkák nélkül is eldönthető legyen a megadott termék hatékonysága a kapilláris emelkedés megszakításához, a következő szempontokat kell figyelembe venni a geokompozit kiválasztásakor:

- a.) Maximum 40-50% szakadó nyúlással rendelkező megfelelő minőségű és merevségű geotextília, az úgynevezett benyomódás csökkentése érdekében. Nagy nyúlású, kevésbé hőkezelt geotextíliák nagymértékben rontják a termék alkalmazhatóságát.
- b.) A belső mag azon pontjai közötti távolság, ahol a geotextíliával összeér, lehetőleg ne legyen több, mint 4-5 mm, ezzel is megakadályozva a geotextília benyomódását.

- c.) A 20 kPa (szabványos) és a tervezési terhelési közötti EN 12958 szerint mért vízelvezető kapacitás közötti arány ne legyen több, mint 2,5. Ezzel a mag tervezési terhelés melletti összeroskadását lehet kizárni: $Q_{20\text{kPa}} / Q_{\text{tervezési_terhelés}} \leq 2,5$
- d.) Lehetőleg hosszú távú terheléses mérési eredmények elvégzése tervezési nyomás mellett.

Abban az esetben amikor a kapilláris megszakítást stabilizált talajokkal akarjuk biztosítani, nagyon körültekintően kell eljárunk, ugyanis a stabilizált talajnak nem csak a kapilláris megszakító képességét kell igazolnunk, hanem az egyenértékűségét is az adott földműrészben beépítendő földműanyaggal, valamint biztosítani kell az adott földműzónában előírt egyéb paramétereket is. Erre a stabilizálni kívánt talaj típusától valamint a beépítés földműben való elhelyezkedésétől függően előre meg kell határozni egy vizsgálati programot, melyben meghatározásra kerülnek a kapilláris emelkedés mellett a vizsgálni kívánt egyéb paraméterek (pl: teherbírás, tartósság, stb.) is. Fontos megjegyezni, hogy a vizsgálati programot és magát a helyettesítő megoldást is el kell fogadtatni/célszerű elfogadtatni a Beruházóval.

Akár durvaszemcsés anyagot (V-1, V-2), akár más megoldást alkalmaznak kapilláris megszakító réteggént, azt minden esetben a becsült maximális talajvízszint fölött kell elhelyezni, emiatt általában a földműalapba kerül, de speciális esetekben pl.: belvízzel elárasztott területeken, vagy élővízben történő átvezetés esetén a földműben is elhelyezkedhet.

A kapilláris megszakító réteget úgy kell elhelyezni, hogy a töltés alatt lejátszódó konszolidáció után is megfeleljen a tervezett funkciójának.

A V-1, vagy V-2 anyagú kapilláris réteg alá és fölé célszerű geotextíliát beépíteni, elválasztásra és a szűrésre méretezve őket.

4. Víztelenítési technológiák

„Az építési víztelenítés összetett, más építési munkákkal is összefüggő, bizonyos keretek között rugalmas szemléletet igénylő feladat. A műszakilag és gazdaságilag helyes végrehajtása szakszerű felkészülést, állandó, beavatkozásra kész felügyeletet és gondos kivitelezést igényel.”

Dr. Starosolszky Ödön (1973)

4.1. Nyíltvíztartás

A nyíltvíztartás a legegyszerűbb, széles körben alkalmazott víztelenítési módszer. Alkalmazásával könnyedén a helyszíni igényekhez szabhatók a víztelenítő rendszer elemeinek mennyisége, s elhelyezkedése. Ezáltal rugalmasan és költséghatékonyan kezelhetőek a kisebb anomáliák is. De alkalmazása némi gyakorlatot kíván, hiszen helytelenül alkalmazva stabilitási (pl. rézsúállékonyság, fenékfelszakadás, stb...) és környezeti problémák (pl. talajszemcsékkel szennyezett víz) léphetnek fel.

A módszer alkalmazásával vertikálisan, talajkörnyezettől függően, csak kismértékű vízszint süllyesztés érhető el. Rugalmassága miatt sokszor kiegészítésként, lokálisan olyan problémák kezelésére is alkalmazzák, mint például az elért agyagfekü felületéről szivárgó csapdázódott vizeket összegyűjtése és elvezetése. Fontos, hogy a módszer olyan talajok esetén alkalmazható sikeresen, melyek kevésbé hajlamosak a kimosódásra, nagyobb szemcseméret jellemzi őket, vagy olyannyira kötöttek, hogy csak a bennük lévő jobb vezető képességű vékony vízvezető rétegekben szivárog a víz.

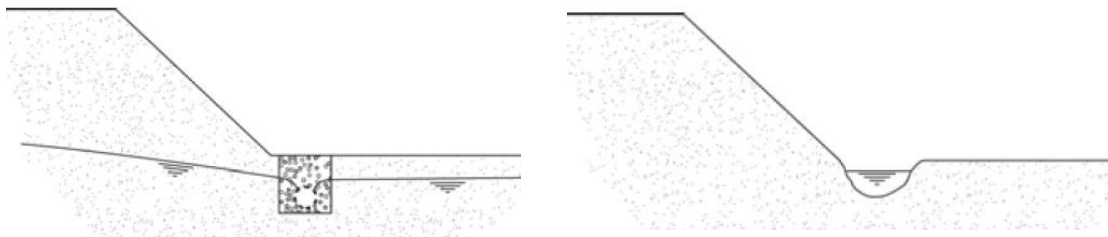
A nyíltvíztartásra általában a 10^{-2} - 10^{-4} m/s vezetőképességű, jó vízszállító tulajdonsággal bíró, jól graduált, durva szemcséjű kimosódásra kevésbé érzékeny talajok, valamint a 10^{-8} - 10^{-9} m/s vezetőképességű, kötött, agyagos talajok alkalmasak. De repedezett sziklás, márgás talajban, akár nagy mélységekben is előszeretettel alkalmazzák a módszert.

Nyíltvíztartásos víztelenítést 10^{-4} - 10^{-7} m/s vezetőképességű homok, iszapos homok talajok esetén is alkalmazhatunk, azonban nagy körültekintést igényelnek, hiszen az ilyen típusú közegek gyakran laza szerkezetűek, a talajszemcsék mozgásra hajlamosak, már kis sebességű vízáramlás esetén is. A túlzottan gyors ütemű szivattyúzással az altalaj állékonyságát veszélyeztetjük, sőt akár buzgárosodás, hidraulikus talajtörés jelensége is előfordulhat. Ezen események elkerülése érdekében a víztelenítési technológia megtervezése kellő körültekintést igényel, a munkaterületen jellemző finomrétegződés előzetes feltárásával a nem várt, akár túlnyomásos zónák előre jelezhetőek. A buzgárosodás, talajtörés vagy akár a talaj megfolyósodásának jelensége

a tervezett építmény alapozásának technológiáját alapvetően befolyásolhatja, sőt, kritikus esetben akár ellehetetleníti azt. Ennek elkerülése érdekében a szivattyúzás ütemét gondos tervezésnek kell megelőznie, a nem várt költségek megelőzése miatt. A talajvízszint süllyesztését ilyen típusú talajok esetén maximum néhány dm-es leszívással kell tervezni.

Munkaterületek nyíltvíztartásos víztelenítése esetén a terület fenékszintjén vagy igen sekély mélységben tartjuk a vízszintet, árkok, barázdák, szivárgók telepítésével az előre kialakított zsompokba vezetjük a csapadék-, csurgalék-, sekély felszín alatti, vagy technológiai vizeket, majd meghatározott átadási pontra továbbítjuk azokat szivattyúk alkalmazásával.

Jelen technológia megvalósításakor célszerű a munkaterületen (annak méretétől függően) egy vagy több zsopot kialakítani, majd a gyűjtőárkokat a munkagödör kerülete mentén ezen objektum felé, 1-2% lejtéssel kell kiépíteni. Az árkok mélysége 0,5, de maximum 1,0 m, mely geometriát a földmunka során alkalmazott munkagépekkel kialakíthatjuk (4.1. ábra).

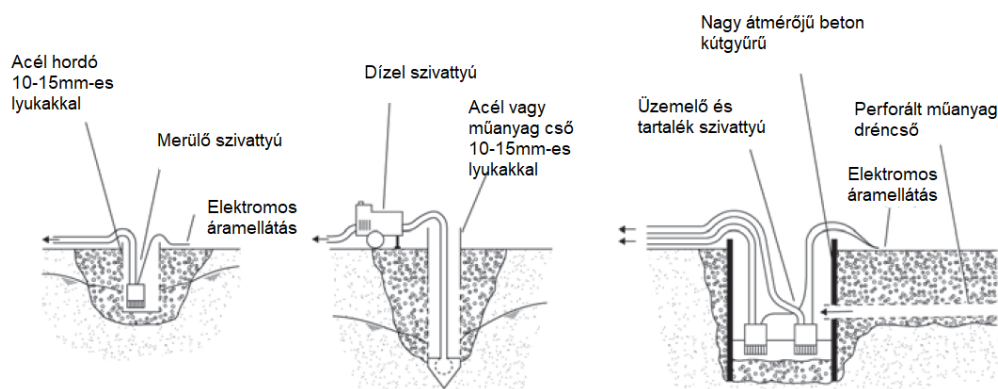


4.1. ábra. Francia drén és gyűjtőárkok nyíltvíztartáshoz a rézsű tövében
[Forrás: LCC 151 CIRIA]

A víztelenítés ezen formáját akkor alkalmazzuk, amikor a földkitermelés már elérte a talajvízszintet, majd ezt követően a munkagödör mélyítésével párhuzamosan az árkokat és a zsopot is mélyíteni kell az aktuális térszínhez igazodva.

A zsompok kialakításakor a beépített szivattyúk és a hozzájuk tartozó további gépészeti elemek kímélése és a kimosódások elkerülése végett érdemes szűrővázat kiépíteni a zsomp köré. Ennek megvalósítása többféle módon történhet, például a vízgyűjtő árokrendszer belépési pontjánál való kavics/szűrőszövet kialakításával, vagy olyan zsomp megépítésével, mely mobilizálható, eleve tartalmaz szűrővázat és a munkagödör mélységének változásával munkagépek segítségével mozgatható. Ezen felül – amennyiben van rá lehetőség – célszerű a zsompokat párban kialakítani, hiszen amíg a pár egyik elemének mélyítése történik, addig a másik tag használható, így a munkagödörből zavartalanul tudjuk a vizet eltávolítani (4.2. ábra.).

A munka megszervezése precíz odafigyelést igényel, hiszen a földmunkavégzés zavartalan előrehaladásának feltétele a megfelelően kialakított és karbantartott víztelenítő hálózat. A technológia előnye annak gyors kivitelezhetősége, azonban jó vízadó réteg esetén – tekintettel a bejövő nagy vízhozamokra – érdemes sűrű árokhalózatot kialakítani, mely a földmunkagépek közlekedését és egyéb organizációs folyamatokat hátráltathat. Amennyiben a nyíltárkos rendszer és a zsomp a tervezett építendő objektum fenékszintje alá mélyül, úgy a földkitermelési munkálatok végső fázisában annak megfelelő feltöltéséről, tömedékeléséről gondoskodni kell a későbbi vízbeáramlások elkerülése végett.



4.2. ábra. Típusos zsomp kialakítások [Forrás: LCC 151 CIRIA]

4.2. Vízkizárás

A munkagödörök víztelenítésének egy speciális módja a vízkizárás, ami különböző anyagú ideiglenes vagy végleges vízzáró szerkezet beépítésével készül. A vízkizárás bármilyen vízvezetőképességű talajban alkalmazható, ám nagy bekerülési költsége miatt általában a 10^{-1} - 10^{-2} m/s vízvezetőképességű, nagyon jó vízszállító tulajdonsággal bíró talajok és nagy mélységű kiemelések esetén használatosak. A vízkizárásnak több fokozata is lehet, attól függően, hogy milyen mértékben kívánjuk megakadályozni a talajvíz beáramlását a munkagödörbe. A hazai gyakorlatban rendkívül elterjedt módszer az oldalzárás, amikor az oldalirányú szivárgást szüntetjük meg, de a gödörfenék felől érkező szivárgásokat még megengedjük, és a szivárgási út növelésével lecsökkentjük a gödörbe érkező vizek nyomását, ezáltal a mennyiségét is. Ez esetben a vízzárás mélysége számítással (befogás szükséges mélysége, külső depresszió mértéke, kiemelt vízmennyiség, stb...) az adott talajkörnyezetre illeszthető. Abban az esetben, ha nincsen megfelelően vízzáró réteg vagy az oldalzárást túlságosan mélyre kellene vinni a mesterséges fenékszárás lehet a gazdaságos megoldás. A vízkizárás alkalmazásával számos olyan munkagödör-határolási és víztelenítési feladat egyszerűen megoldható, mely nyíltvíztartással vagy egyéb víztelenítési technológiák alkalmazása már nagy nehézségekbe ütközne.

4.2.1. Oldalzárás

Az oldalzárás készülhet ideiglenes vagy végleges szerkezettel. Megkülönböztetünk még megtámasztást is nyújtó oldalhatárolásokat, ilyenek például a rés-, cölöp-, szád- vagy szekrényfal. Illetve készülhet megtámasztást nem nyújtó, függőyfalas oldalzárás is, mint például a zagyfal, JET grouting panel vagy HDPE lemezzel szigetelő fal. Az egyes szerkezetek sajátosságait a 4.1. táblázat foglalja össze.

4.1. táblázat. Vízkizárás oldalzárással

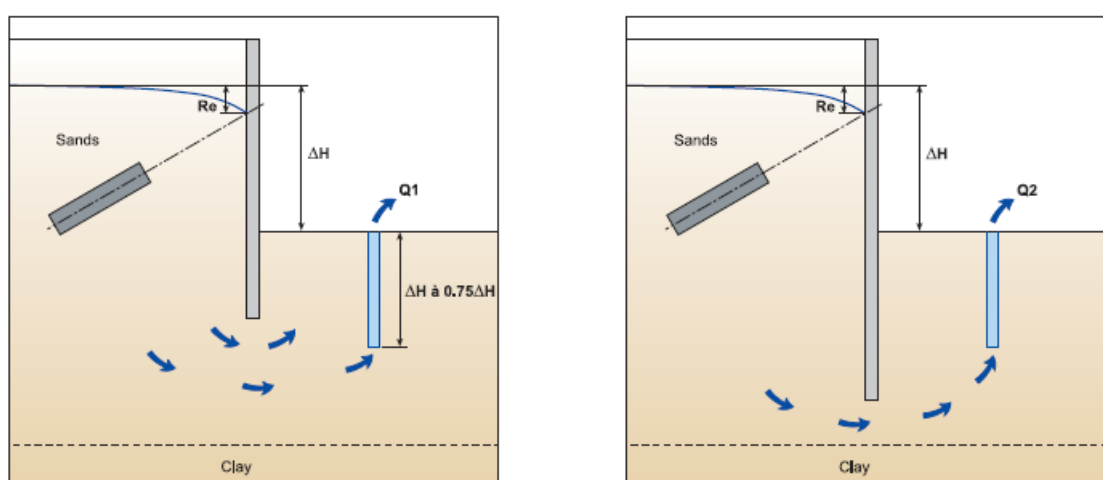
Vízzárás típusa	Előny	Hátrány	Alkalmazási terület
Száfal	<ul style="list-style-type: none"> - Széles körben ismert és alkalmazott - A munka végeztével visszanyerhető - Gyors telepítés 	<ul style="list-style-type: none"> - Nehézes telepítés görgeteges, vagy nagyon tömör kavics talajban - Vibráció és zaj telepítés közben - Nem teljesen vízzáró, esélye van a szétnyílásnak - Korroziónak csak szerkezeti vastagságával áll ellen 	<ul style="list-style-type: none"> - Sokféle talajban kivéve görgeteg, szikla, nagy kohézióval rendelkező réteg - Általában ideiglenes kis alapterületű vagy sekély gödrök esetén
Résfal	<ul style="list-style-type: none"> - A végleges szerkezet része tud lenni - A meglévő szerkezethez viszonylag közel építhető - Alacsony vibráció és zaj - A korrozóval szemben védett 	<ul style="list-style-type: none"> - Magas bekerülési költség, ha nem része a végleges szerkezetnek 	<ul style="list-style-type: none"> - Bármilyen típusú talajban alkalmazható - Általában több szintes mélygarázsok - Nagy mélységű műtárgyak
Zagyfal	<ul style="list-style-type: none"> - Alacsony bekerülési költség - Gyorsan készíthető - Alacsony vízáteresztő képesség 		<ul style="list-style-type: none"> - Bármilyen típusú talajban alkalmazható - Általában gáttesteknél vagy szennyezett területek körülhatárolásaként készül
Összemetsző cölöpfal / JET panel fal	<ul style="list-style-type: none"> - Alacsony vibráció és zajterhelés - Szűk munkaterületeken is alkalmazható - A meglévő szerkezethez viszonylag közel építhető 	<ul style="list-style-type: none"> - Összemetsződés nem minden esetben biztosítható - Kisebb hajlítószilárdság a résfalhoz képest 	<ul style="list-style-type: none"> - Bármilyen típusú talajban (JET groutingal görgeteg vagy tőzeg limitáltan) - Néhány szintes mélygarázsok, műtárgyak ideiglenes falaként

Ideiglenes esetben kis mélységű munkagödröknél a leginkább elterjedt megoldás a száfalvas vízzárás, ahol a szádlemezek kvázi vízzáró módon csatlakoznak egymáshoz.

Kiseb ideiglenes munkagödröket még összemetsző cölöp vagy JETfallyal is határolnak, de ezek a technológiák nem tudnak olyan mértékű vízzáró megoldást nyújtani, mint például egy résfal.

Végleges oldalzárást általában résfalazással készítenek, és ez a leggyakrabban alkalmazott módszer a városias környezetben, ahol nem engedhető meg a nagy mennyiségű vízkivétel, illetve a rendelkezésre álló hely miatt a vízzáró szerkezetnek a munkagödör határolás szerepét is el kell látnia.

Vízáteresztő pl. homokos talajban az oldalhatárolás mélységének függvényében két változatot különítünk el, melyeket a 4.3. ábra mutatja.



A eset: sekély mélységű fal

B eset: Nagy mélységű fal

4.3. ábra. Oldalhatárolás vízáteresztő talajokban
[Forrás: Technical Guide – Soletanche Bachy]

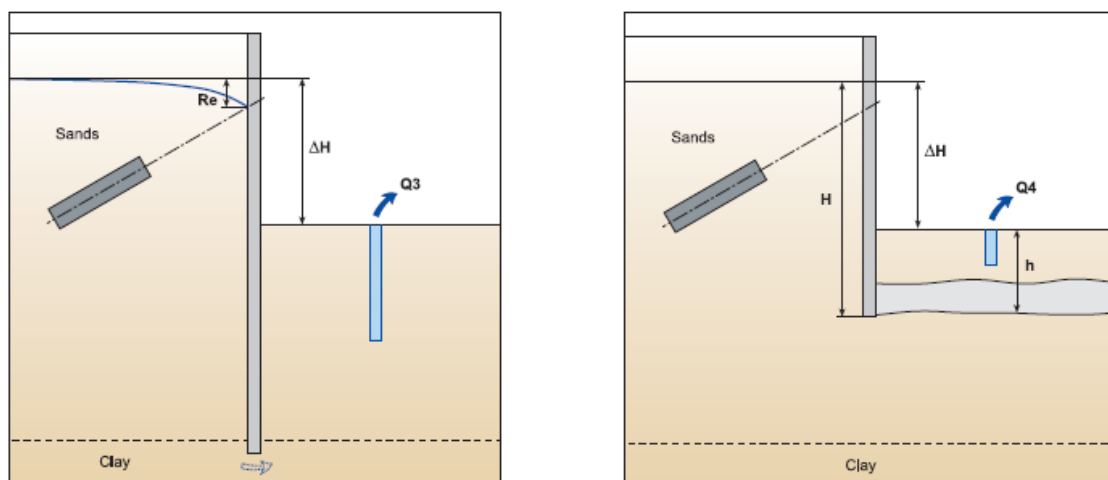
Az „A eset” lehet célravezető, ha a kiemelt vízmennyiség a környezet szempontjából elfogadható és ez a vízmennyiség még gazdaságosan kinyerhető. A „B eset”-ben a fal mélyítésével csökken a várható vízhozam, mivel a fal növeli a szivárgási utat, s lecsökkenti a hidraulikus gradiens mértékét.

4.2.2. Fenékszárás

A fenékszárás legegyszerűbb módja, amikor az oldalzárást biztosító vízzáró szerkezetet egy természetes vízzáró rétegbe (4.4. ábra, „C eset”), általában agyagréteg kötjük be, ami megakadályozza a függőleges szivárgást, s csak nagyon csekély, könnyen kezelhető mennyiségű vizet enged be. Abban az esetben, ha gazdaságos mélységben nem érhető el a vízzáró réteg egy mesterséges, szilárdított réteg (4.4. ábra, „D eset”) létrehozásával lehet lezárni a fenék irányából érkező vizeket. A mesterségesen szilárdított réteget injektálással vagy víz alatti betonozással készítik. Az injektáláshoz feltétel a

megfelelően szemcsés, jó vízvezetőképességű talaj. A víz alatti betonozáshoz pedig előzetesen, víz alatti kotrással el kell távolítani a talajt, hogy a vízalatti betonozás szabályainak megfelelően elkészülhessen a fenékdugó. A fenékdugónak kellő leterhelést kell biztosítani, hogy elviselje a felhajtóerőből adódó nyomást, hiszen az össze nyomásvesztés ebben a rétegben koncentrálódik. Ezt általában a vastagságából eredő súllyal, a gödör méretétől függő átboltozódással, ritka esetben speciális lehorgonyzó, húzott cölöpökkel érik el.

Abban az esetben, ha a természetes agyagréteg alatt nyomás alatti jó vízvezető réteg található, ellenőrizni kell az agyagréteg felszakadásának kockázatát, hiszen az összes nyomásvesztés ebben a rétegben fog koncentrálni.



C eset: A fal befogása a vízzáró rétegbe

D eset: A kiemelés alatt egy mesterséges vízzáró réteg készítése

4.4. ábra. Fenékszárás lehetőségei [Forrás: Technical Guide – Soletanche Bachy]

4.2. táblázat. Vízkizárás injektálással és jetpaplannal

Vízzárás típusa	Előny	Hátrány	Alkalmazási terület
Injektálás	- Kis átmérőjű fúrás - Flexibilis megoldás	- Hatása az átteresztőképesség függvénye - nehézkesen kontrollálható	Szikla vagy nagy átteresztőképességű talaj
JET paplan	- Kis átmérőjű fúrás - Flexibilis megoldás viszonylag közel építhető	- Függőlegességi problémák - Nagy mennyiségű hulladék a visszafolyó anyag miatt	Talajban

Véglegesen állapotban víztelenített vagy vízzáró munkagödör kialakításánál a következő szempontokat kell mérlegelni:

- Bekerülési költség: tudva levő, hogy a teljesen vízzáró alaplemezzel készített szerkezet bekerülési költsége magasabb, hiszen az alaplemezt felúszásra is méretezni kell. Míg a végleges állapotban víztelenített gödörnél elegendő a felszerkezetről leadódó terhekre méretezni az alaplemezt, a beszivárgó vizeket ilyenkor az alaplemez alatti szivárgó rendszer gyűjti össze és folyamatos szivattyúzással kerül a befogadóba.
- Fenntartási költség: a folyamatosan víztelenített gödör természetesen folyamatos fenntartást is igényel.

4.2.3. Levegő túlnyomás

Egy speciális esete a vízkizárásnak, amit ma már csak nagyon indokolt esetben alkalmaznak a sűrített levegős túlnyomás.

Előnye, hogy áramló víz esetén is alkalmas, illetve laza talajban és épületek közelében is használható. Hátrányként említhető, hogy rendkívül költséges, bonyolult zsilipes rendszerrel működik, szigorú munkavédelmi előírások betartását követeli meg és alkalmazhatóság szempontjából az elméleti határa 35 m-es vízoszlop magasságnak megfelelő levegőtúlnyomás.

4.3. Talajvízszint-szabályozás

Munkaterék víztelenítése többféle technológia alkalmazása mellett valósítható meg. Az egyes technológiák közös célja, hogy a munkaterület vízszintjét az építéskori fenékszint alatt tartsák, ezzel lehetővé téve a felszín alatti vízbeáramlás szempontjából zökkenőmentes munkavégzést. A leginkább elterjedt technológiák előnyeit és hátrányait a 4.3. /I-II. táblázat foglalja össze.

4.3. /I. táblázat. Talajvízszint szabályozó rendszerek összehasonlítása

Víztelenítés típusa	Előny	Hátrány	Alkalmazási terület
Szűrőkút	- egyszerű telepítés és üzemeltetés	- egy lépcsőben max. 3-4m talajvízszint-süllyesztés lehetséges	sekély munkaterék víztelenítése, közepesen vízvezető talajban
Vákuumkút	- gyors és rendkívül flexibilis telepítés - könnyen szabályozható - változatos talajkörnyezetben is alkalmazható	- az emelési magasság limitált - a gyűjtővezeték akadályt jelenthez	sekély munkaterék víztelenítése, gyengén vízvezető talajban

4.3. /II. táblázat. Talajvízszint szabályozó rendszerek összehasonlítása

Víztelenítés típusa	Előny	Hátrány	Alkalmazási terület
Mélykút	<ul style="list-style-type: none"> - nincs emelési magassági limit - a mélykutak akár a munkaterülettől távolabb is telepíthetők - általában relatíve nagy kúttávolságok 	<ul style="list-style-type: none"> - általában relatíve nagy telepítési költség - részletes tervezést kíván, kevésbé flexibilis 	nagyobb mélységű munkateretek víztelenítése, közepesen vagy jó vízvezető talajban
Nyomáscsök kentő kutak	<ul style="list-style-type: none"> - egyszerű és gazdaságos telepítés - nincs szükség a pumpa kútba telepítésére 	<ul style="list-style-type: none"> - nehezen ellenőrizhető a rendszer működése, - a feljövő talajvíz nehezen gyűjthető 	a munkagödör fenekének felszakadása elleni védelem céljából
Mélydrénez és	<ul style="list-style-type: none"> - gyors és gazdaságos telepítés 	<ul style="list-style-type: none"> - limitáció az anyagfelhasználás terén - limitek a telepítéssel kapcsolatban 	Általában mezőgazdaságban elterjedt, valamint övszivárgóként
Fúrt szivárgó	<ul style="list-style-type: none"> - nagy mélység is elérhető vele - Flexibilis a telepítés tekintetében 	<ul style="list-style-type: none"> - Relatív magas telepítési költség - Rendkívül gondos kivitelezést igényel 	magaspartok talajvízszint szabályozása
Ejektör	<ul style="list-style-type: none"> - az emelési magasság nem limitált - vákuumhatás nagy mélységben is jelentkezik 	<ul style="list-style-type: none"> - alacsony energiahasznosulás nagyobb mélység esetén - viszonylag nagy elhasználódás és érzékenység 	mély munkateretek víztelenítése gyengén vízvezető talajban

4.3.1. Szűrőkutak

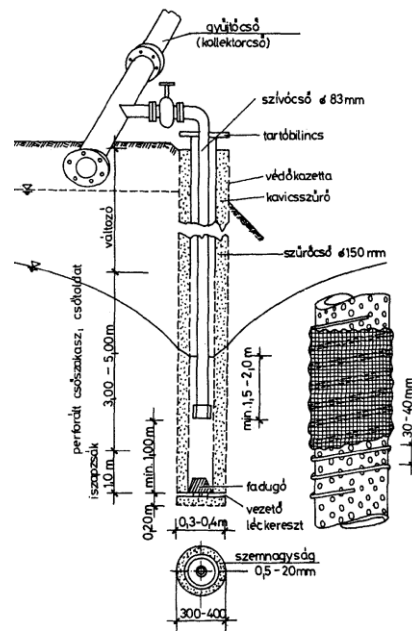
Munkaterék szűrőkutakkal történő víztelenítésének jellemző közege a 10^{-1} - 10^{-4} m/s vezetőképességű talaj. Ilyen típusú víztelenítés esetén az építési területen sekély szűrőkutakat telepítenek, melyek szívócsövei egy kiépített gerincvezetékre csatlakoznak, majd azok egyesülve egy szivattyú gépházba futnak, amelyen keresztül végül a kijelölt átadási pontra vezetik a kitermelt vizet.

A kutakba a víz gravitációs erő hatására jut. A szűrőkút felépítését tekintve alapvetően áll egy iszapzsákból, ami a kút legalsó 0,5-1,0 m-es szakasza, mely az esetlegesen beáramló lebegőanyagok leülepedésének helye. Efelett egy perforált szűrőszakasz található, melyet tekercselt szűrőtechnológiával alakítanak ki, vagy szűrőszövettel látják el, függően a vízadó réteg szemcseméretétől, kötöttségétől. A szűrőcső körüli térbe szűrőkavics kerül, mely durvaszemcsés, homokos kavicsréteg esetén elhagyható.

A víz elvezetését szolgáló gerincvezeték hálózat méretezését a kutak számának és a kitermelendő víz mennyiségének figyelembevételével kell végezni, az egyes kutak a gerinccsőre csatlakoznak T idom vagy megfűróidom segítségével. A kutak egymástól 6-10 m távolságra helyezkednek el. Függően a rendszer nagyságától, érdemes tolózárat, golyóscsapokat elhelyezni a csővezeték hálózatban, ezzel megtartva az egyes ágak kiszakaszolásának lehetőségét. Ezen felül visszacsapó szelepek beiktatásával elkerülhető az egyes kutak irányába történő visszaáramlás folyamata.

A szűrőkutas víztelenítő rendszer részeként szükséges telepíteni egy gépházat is, melyben a kutakból kijövő csővezetékek találkoznak, valamint ahol elhelyezésre kerül a szivattyú és az ahhoz tartozó elektromos berendezések. A csővezetékek kiárasztási pontját megelőzően érdemes a vízmennyiség mérésének céljából vízórát vagy átfolyásmérő szenzort elhelyezni.

Tekintettel arra, hogy ezen technológia alkalmazása mellett a talajvízszint kb. 3-4 m-rel süllyeszthető, így sokszor érdemes először nyílt víztartással kezdeni a víztelenítési munkálatokat, majd az építési folyamatok előrehaladtával át lehet térni a sekély szűrőkutas megoldások alkalmazására.



4.5. ábra. Tipikus szűrőkút kialakítás [Forrás: Szepesházi R.]

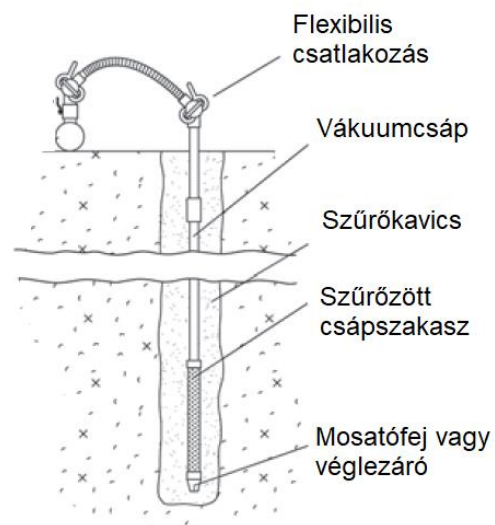
Amennyiben a talajvízszintet nagyobb mélységbe kell süllyeszteni, úgy a szűrőkutakat több lépcsőben kell telepíteni. Ekkor az egyes lépcsőkben lévő kútsorok mindegyikéhez szükséges gerincvezeték hálózat kialakítása, valamint gépház beiktatása. Az egyes lépcsők között vertikálisan 3,0-3,5 m különbség lehet. Amennyiben a mélyebben elhelyezkedő kútsor körüli depressziós tér kellően mélyül és ellaposodik, úgy a felsőbb kútsorok megszüntethetők.

Tekintettel arra, hogy mély munkagödrök esetén a szűrőkutak száma, és ezzel a kapcsolódó gépészet telepítési költsége nő, így ezen esetekben érdemes mélykutas víztelenítési technológiák alkalmazását megfontolni.

4.3.2. Vákuumkutak

Munkaterék vákuumkutakkal történő víztelenítésének közege jellemzően a 10^{-4} - 10^{-7} m/s vezetőképességű, finom-szemcsés talaj. Fontos azonban megjegyezni, hogy olyan hidrogeológiai viszonyok között, ahol a talajvíz tekintetében túlnyomás uralkodik, a vákuumkutak kisebb befogadó-felületükből fakadóan alkalmatlanok víztelenítésre.

Vákuumkutas rendszer telepítésének szerkezete hasonló a szűrőkutas víztelenítéséhez, minden csáp egyedileg kerülnek telepítésre, a 4.6. ábrának megfelelően. A csápok egy gerincvezetékre csatlakoznak, amire a szivattyú gépház is telepítve van, azonban ez esetben a kutak sűrűn vannak elhelyezve, a kevésbé jó vezetőképességű talajokban vákuum tud kialakulni, mellyel a gravitációs erőn felüli szívóhatást érhetünk el.



4.6. ábra. Tipikus vákuumkút kialakítás
[Forrás: LCC 151 CIRIA]

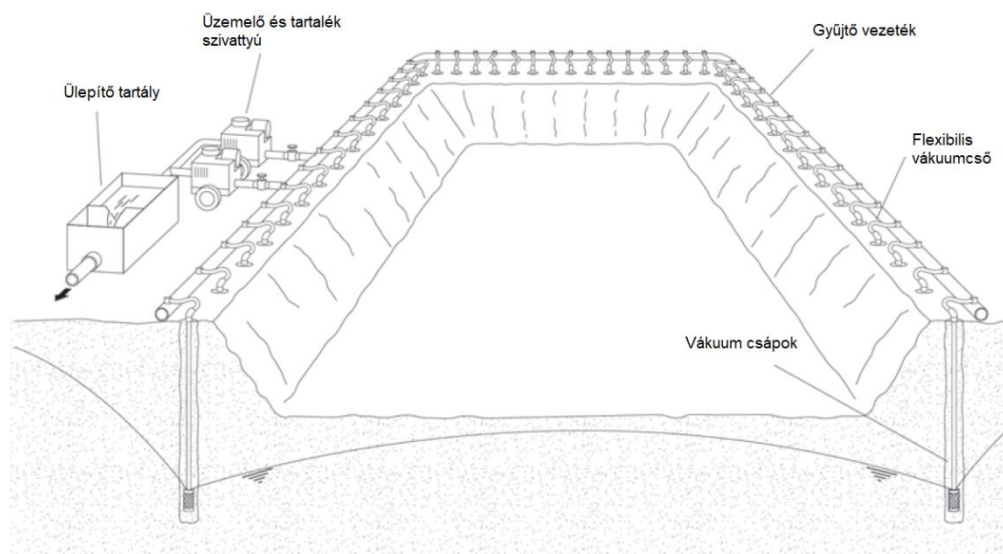
A kutak kiképzésekor a szívócső egészen a kúttalpig ér, az alsó 1-2 m-en kialakított szűrőzéssel. Vákuumutak telepítésénél fontos a megfelelő szűrőváz, hiszen a helytelenül telepített vákuumkutak gyakran eltömődhetnek, feliszapolódhatnak, ezzel együtt a környező talajrétegződés szerkezete megváltozhat.

Az elszívó gerincvezeték mentén a csápok 0,50-2,0 m távolságban helyezkednek el. A csápok csatlakozó pontjai, valamint a szívócső egyes elemei között lévő illesztési

pontok kialakítása szakértő körültekintést igényel, hiszen a nem megfelelően tömített csővezetékrendszer a vákuumhatást eleve ellehetetleníti.

A szivattyúgépház lehet dízel üzemű és elektromos is, attól függően, hogy rendelkezésre áll a megfelelő hálózati villamos energiaellátás. Fontos, hogy a vákuum elindítását követően lassan 5-10 napon belül épüljön fel a max. vákuumhatás, hogy elkerülhető legyen a talaj belső eróziója és a finomszemcsék kimosódása. Ugyanez a szabály vonatkozik az üzemelő gépház leállítására is, el kell kerülni, hogy a visszaemelkedő talajvíz ne okozzon talajtörést. Ezért a vákuumgépházak felügyeletét minden esetben meg kell oldani, s gondoskodni kell a helyszínen tartalékgepház rendelkezésre állásáról is.

Durvaszemcsés, jobb vezetőképességű talajok esetén a vákuumkút szűrőkútként is funkcionál, ugyanis ez esetben a vízszint szűrőcső alá süllyedésekor a vákuumhatás megszűnik. Finomszemcsés, kevésbé jó vezetőképességű talajok esetén a vízszint szűrőzés alá süllyedésekor a vákuumhatás még kialakulhat a környező térrészben, ekkor a kutak „szürcsölhetnek”.

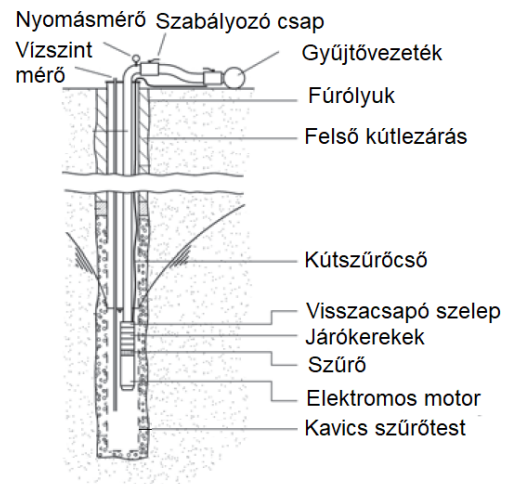


4.7. ábra. Vákuumkutas talajvízszint szabályozás [Forrás: LCC 151 CIRIA]

Vákuumkutas víztelenítés esetén – hasonlóan a szűrőkutas módszerhez – mélyebb munkagödörben végzett tevékenység alatt több lépcsőben kell telepíteni a kútsorokat a kívánt talajvízszint eléréséhez.

4.3.3. Mélykutak

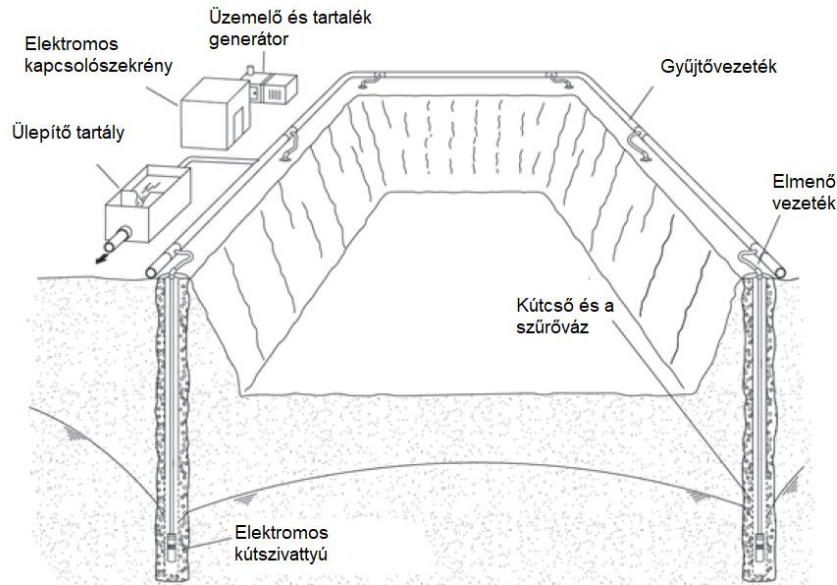
Az építési területek olyan típusában, ahol a többlépcsős víztelenítés a munkagépek és egyéb organizációs feladatok miatt nem lehetséges, valamint a vízszintet legalább 8 m mélységig kell süllyeszteni, célszerű mélykutas víztelenítési technológiát alkalmazni. A technológia előnye, hogy a kutak telepítése egy ütemben megtörténik, optimális esetben a mélyépítési feladatok megkezdése előtt, valamint kevesebb számú és térben rugalmasan elosztható kút is elegendő lehet a kívánt talajvízszint eléréséhez. A kutak telepítése szakértelmet igényel, hiszen tartós, jól működő, nagy vízmennyiség kiemelésére alkalmas műtárgyak telepítése a feladat. Tekintettel a kutak nagyobb mélységére, a depresszió mértéke tág határok között változtatható, szabályozható.



4.8. ábra. Tipikus mélykút kialakítás
[Forrás: LCC 151 CIRIA]

A mélykutak mélységének, valamint a kút átmérőjének és szűrőzött felületének megválasztásakor figyelembe kell venni a mélyépítési technológia által megkívánt vízszint süllyesztés mértékét, annak sebességét, az érintett közeg hidrogeológiai felépítését mind a vízáadó képesség, mind rétegtani, összetételbeli szempontból. A kútkiképzés során különös figyelmet kell fordítani a megfelelő szemcseméretű szűrőkavics/szűrőhomok kiválasztására, valamint a szűrőcső résméretének és a szűrőkavics/homok kompatibilitására. Finomszemcsés talajok esetén érdemes szűrőszövet alkalmazását is megfontolni a kút feliszapolódásának elkerülése végett.

A kutakból csőbúvár szivattyú telepítésével termelhető ki a víz, a szivattyú mélységének változtatásával optimalizálható a vízszint süllyesztésének mértéke. A szivattyúból kilépő vízvezető csövet a felszínen rögzítik, a kitermelt víz mennyiségének mérésére vízórával vagy áramlásmérő szenzorral látják el. Innen a víz közös gyűjtővezetéken vagy kutanként önálló vezetékeken távozik a kijelölt átadási pont felé.



4.9. ábra. Mélykutas talajvízszint szabályozás [Forrás: LCC 151 CIRIA]

Mélykutak üzemeltetése során megfelelő gonddal kell eljárni, hiszen a kút feliszapolódása, feltöltődése, az ezen károk okozta helyreállítás, vagy végső esetben a kút újrafúrása (amennyiben ez a munkakezdést követően még lehetséges) magas költségekkel jár. Sőt, a szivattyú nem megfelelő közegben történő alkalmazása, a csővezetékben képződő lerakódások, tömődések további, nem várt költségekkel járhatnak.

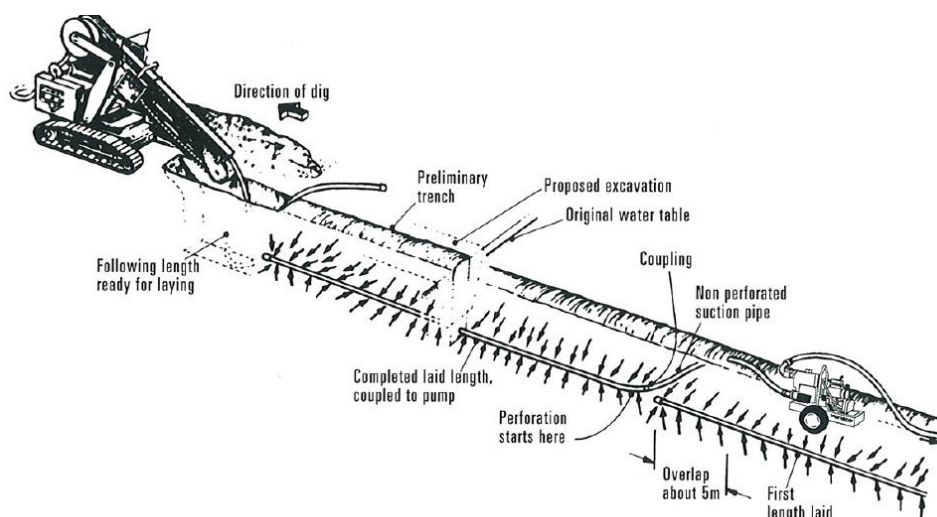
4.3.4. Egyéb talajvízszintszabályzó módszerek

Mélydrénezés

A szivárgók kialakíthatók erre a célra használt célgépek segítségével is, amelyek maximális mélysége kb. 15 méter, szélessége pedig 25-60 cm. Célgép használata esetén dúcolás nem szükséges, a szivárgó kialakítása folyamatos ároknyitással történik (lásd. 4.10. ábra).

A célgép általában egy lépésben végzi a következő műveleteket:

- talajba történő bemetszés 25 cm vastagságban,
- bemetszés mélységének és fenékesésének automatikus szabályozása lézervezérléses technológiával,
- szükség esetén geotextíliába tekert alagsó mélység és eséshelyes fektetése,
- szemcsés szivárgótest lejuttatása, valamint a kavicsstest feletti nyitott árokrész talajjal történő visszatöltése.



4.10. ábra. Szivárgó kialakítása célgép segítségével [Forrás: Varisco tervezési segédlet]

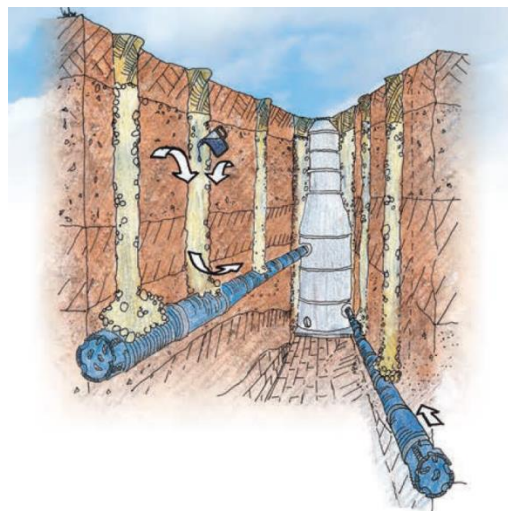
Hossz-szivárgók építhetők még erre a célra tervezett, függőlegesen beépített vízvezető geoműanyagok segítségével is, amelyek a szemcsés szivárgótestet hivatottak helyettesíteni. Beépítésük történhet nyílt árokban történő rögzítéssel, de folyamatos ároknyitások vagy ároknyitások nélküli célgépes technológiával is. Az erre a célra tervezett geokompozitok esetén a dréncső integrálható, így a rendszer egy lépésben telepíthető, maximális mélysége pedig 2 méter.

A szivárgók egy speciális fajtája az ejtőkutas szivárgó rendszer, melynek lényege, hogy a tervezett szivárgó nyomvonalában adott távolságokra kavics-ejtőkutakat fúrnak, majd ezeket hosszirányban dréncsővel összekötve gyűjtő-fogadó aknába vezetik a vizet. Ezt követően a gyűjtőaknákból a víz keresztirányú átkötésekkel zárt csövön elvezetésre kerül a befogadóba (4.11. ábra).

A technológia előnye, hogy a vízvezető rendszert felszínbontás nélkül fúrások technológiával lehet kialakítani.

A kivitelezés első lépéseként a függőleges, fúrt 20,40 vagy 60 cm átmérőjű kavics ejtőkutak kerülnek kivitelezésre szükség szerint védőcső alkalmazásával. Az ejtőkutakat általában változó 1,0-6,0 m-es tengelytávolságra helyezik egymástól, az előzetes terveknek megfelelően.

Második lépésként vb. elemekből álló süllyesztett aknák kivitelezésére kerül sor. Ezen aknák fogadják az ejtőkutakat összekötő szivárgócsöveket, valamint az aknákból kiinduló a befogadóba vezető zárt csatornákat. A tervezéskor törekedni kell arra, hogy az aknában összegyűjtött víz gravitációs úton távozni tudjon a befogadó irányába, de szükség esetén gépi átemeléssel is eltávolítható az összegyűjtött víz.



4.11. ábra. Ejtőkutas mélyszivárgó
[Forrás: Sycons Kft.]

A függőleges kavics ejtőkutak fenékvonala szivárgócsővel kerül összeköttetésbe, melyet irányított fúrásos (HDD) technológiával lehet elkészíteni. A technológia előnye, hogy a fúrás nyomvonala ellenőrizhető, s az egyenestől eltérően ívesen is vezethető.

A fúrás lépései általában a következők:

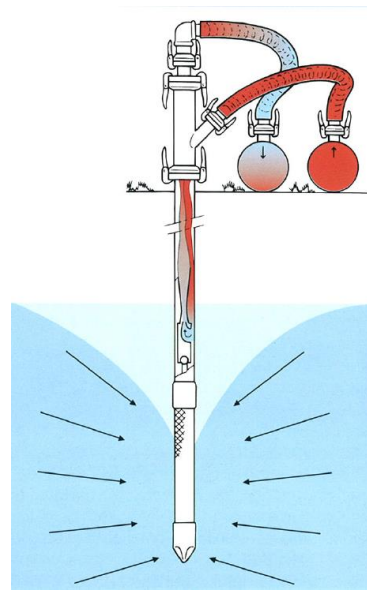
- 1.) pilótafurat készítése,
- 2.) védőcső behúzása,
- 3.) szivárgócső beépítése,
- 4.) védőcső lehúzása,
- 5.) drén bekötése a gyűjtőaknába

A fent leírt módon beépített szűrőcsövekkel a kavicsoszlopok által összegyűjtött talajvíz/rétegvíz leüríthető, és az aknába vezethető.

Jet-eductor / ejektor rendszer

A rendszer első ránézésre nagyon hasonlít a vákuumkutas megoldáshoz, de míg a hagyományos vákuumkút emelőmagassága kb. 6 m, az ejektor rendszer elméletileg bármilyen mélységből képes a talajvíz pumpálására, a vákuumhatással segített drénezés mellett. A gyakorlat mégis azt mutatja, hogy a hatékonysága miatt az alkalmazási mélysége nem igazán megy 30 m alá. A rendszer elvi vázlatát a 4.12. ábra szemlélteti.

A rendszer idehaza nem igazán terjedt el, alkalmazása helyett a gyakorlatban szívesebben alkalmazzák a többlépcsős vákuumkutakat.

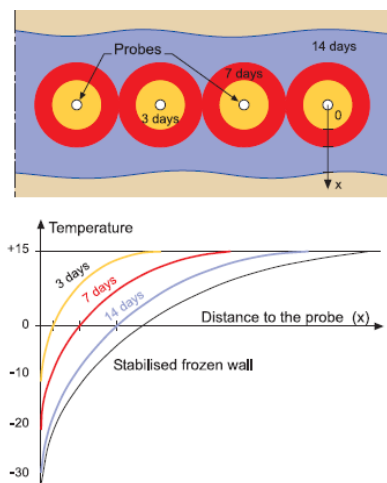


4.12. ábra. Ejektor rendszer működése
[Forrás: Varisco tervezési segédlet]

4.4. Talajfagyasztás

A talajfagyasztás technológiáját eredetileg bányászati alkalmazásokhoz fejlesztették ki. Napjainkban a szigorodó környezetvédelmi követelmények miatt a városi munkatérhatárolásoknál újra előtérbe kerül, mert csak ideiglenesen és kis mértékben változtatja meg a felszín alatti vizek mozgását. Érdeemes még kiemelni a környezetvédelmi célokra való használatát, úgy, mint a szennyezett területek helyreállítása.

A talajfagyasztás alapelve az, hogy a talajpórusokban levő víz megfagyása a talajt vízzáróvá teszi és megnöveli a szilárdságát. A talajfagyás úgy következik be, hogy a talaj hőenergiát ad át a talajba egy szondával bevezetett alacsony hőmérsékletű folyadéknak. A szondával érintkező víz megfagy, és a szonda körül a megfagyott talajjal együtt egy köpenyt alkot. A köpenyfelület fokozatosan növekszik, terjeszkedik



4.13. ábra: A fagyott zóna időbeli terjedése:
3 nap (sárga), 7 nap (piros), 14 nap (kék)
[Forrás: Soletanche Bachy]

és egy erős, vízzáró fallá alakulhat (4.13. ábra). Szigorúan véve nem is „víztelenítés”, hiszen a víz a munkatér határán már nem is víz többé.

A módszer azért lett népszerű, mert a vizet úgy tartja távol a munkatértől, hogy

- csak ideiglenes változást okoz, a fagyasztás befejezése után visszaállhat az eredeti állapot,
- nem indít vízmozgást, inkább korlátozza vagy megállítja, esetleg kissé módosítja azt,
- a talajt teljesen vízzáróvá teszi, ezért nincsen szükség vízkezelésre, szivattyúzásra vagy külső víztelenítésre,
- nem visz be új idegen anyagot a befolyásolt talajzónába, és nem mozgatja meg a korábbi szennyeződések sem.

A fagyasztás során tehát nem jelentkeznek azok a káros hatások, melyek a többi víztelenítési módszernél felmerülnek. Hátrányként csak nagy energiaigényét kell említeni, egyébként pedig – ettől nem függetlenül – a költségességét.

Meg kell azonban jegyezni, hogy csak talajvízszint alatt, illetve kellő víztartalmú talajréteg esetén alkalmazható, a talajvízszint feletti alkalmazáshoz vízhozzáadás lehet szükséges, ha a talajvíz áramlik, vagy ha nagyon laza településűek a talajok, akkor előinjektálásra is szükség lehet.

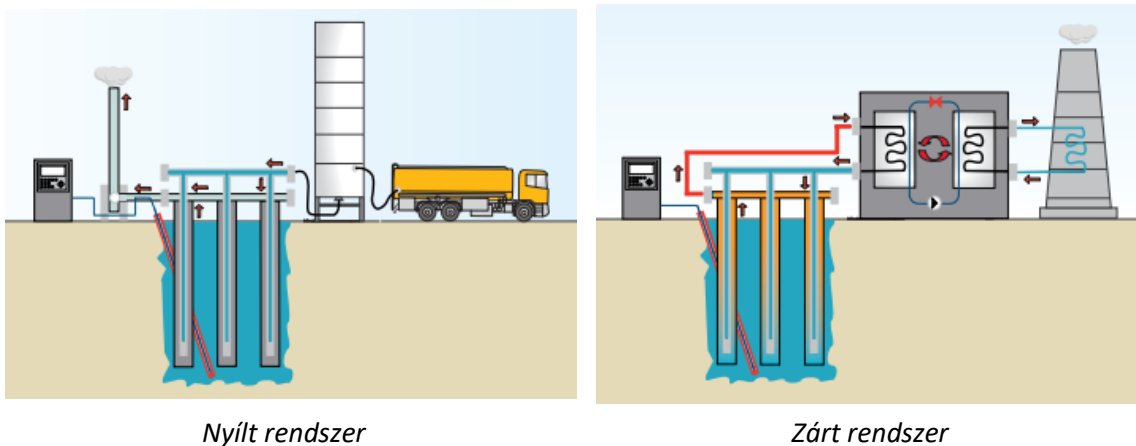
A talajfagyasztás tervezése két elkülönülő feladatból áll. A hőtani tervezés a hőmérséklet időbeli alakulásának meghatározására irányul, ennek során figyelembe kell venni a furatok távolságát (általában 1-2 m) és a peremfeltételeket (pl. meleg forrás előfordulásának lehetősége). A tervezéshez olyan szoftvereket használnak, melyek részletes előrejelzésre adnak lehetőséget, s a megvalósítás közben észlelt, előre nem látható anomáliákat is kezelni tudják. A szerkezeti méretezés a fagyasztás hatására kialakuló olyan speciális hatásokat vizsgálja, mint pl. a talaj duzzadása, kúszása, olvadása.

Mindkét feladat megoldásához különböző hőmérsékletű zavartalan mintákon végzett laboratóriumi vizsgálatokkal lehet meghatározni a talaj termikus jellemzőit, a duzzadási nyomását, az aktuális és az időben változó szilárdságot.

Szintén szükséges megbecsülni a talajvízszint várható mozgását, a talajvíz minőségét és sótartalmát. Az eljárást erre specializálódott mérnöknek kell terveznie.

A talajfagyasztás technológiája viszonylag „egyszerű”. Alapvetően kétféle anyaggal és berendezéssel dolgoznak (4.14. ábra):

- a.) A nyílt rendszerű, közvetlen eljárás hűtőanyaga folyékony nitrogén, melyet tartálykocsikban komprimálva szállítanak a kutakat összekötő vezetékhez. A talajbeli csövekben kitágulva -196°C hőmérsékletre hűl le, majd visszatérve a levegőbe távozik. A fagyasztó hatás részben a folyékony nitrogén párolgásához szükséges látens energiából, részben a gáz halmazállapotú nitrogén -196°C -ról kb. -80°C -ra való felmelegedéséhez szükséges energiából adódik.
- b.) A zárt rendszerű kettős hőcserés technológia a talajt alacsony hőmérsékletű - kalciumklorid oldat (konyhasó, CaCl_2) - folyadékkal, -20 és -40°C közötti hőmérsékletre hűti le. A sóoldat egy összetett rendszeren áramlik keresztül, hőt von el a talajból a hűtőcsöveken keresztül, majd visszajut a hűtőberendezésbe az újrahűtéshez.



4.14. ábra. Talajfagyasztás [Forrás: Bauer]

A két eljárást ma általában kombináltan alkalmazzák. A folyékony nitrogénnel sokszerűen, néhány nap alatt lehet megfagyasztani a talajt, aminek sok előnye van, s gyorsan be lehet zárni az esetleg keletkező „ablakokat”, viszont nagyon drága. A konyhasó-oldat csak lassú, néhány hetes lehűlést képes produkálni, viszont olcsóbb, ezért a fagyott állapot fenntartására használják. Tapasztalatok szerint, ha a költségek jelentős részét a villamos áram teszi ki, inkább a nitrogénes eljárás indokolt.

Mindkét technológiát környezetbarátnak tartják. Az utóbbi időben elsősorban Németországban és Bécsben alkalmazták. A 4.15. ábrán látható kép Bécsben készült, s a Duna-csatorna alatt, 4,0 m takarással, fagyasztás védelmében készülő állomási alagút egy részletét mutatja.

Hazánkban az elmúlt évtizedekben nem került sor a módszer alkalmazására, de 2009-ben a 4-es metró Fővám téri állomásán a Duna alatti peronalagutak kihajtásához sikerrel vetették be.

A technológiákkal kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy a nitrogén közömbös gáz (a légkör 80%-át teszi ki), de a levegőnél nehezebb, így zárt térben speciális óvintézkedések szükségesek a nitrogén felhalmozódásának megakadályozására, mert az oxigénhiány fulladást okozhat.



4.15. ábra. Talajfagyasztás egy alagút körül
[Forrás: Szepesházi R]

4.5. Szivattyúk

Az építési munkaterületen a felszín alatti víz munkatérből történő eltávolítása, bármely víztelenítési technológiát is alkalmazunk, szivattyúk alkalmazásával, és a hozzájuk tartozó vízvezetők, valamint villamosenergia ellátásért felelős hálózat kiépítésével valósulhat meg. A megfelelő szivattyú kiválasztása fontos része a víztelenítés megtervezésének, a műszaki feladatok előkészítésének.

A szivattyúkat működésük elve szerint két nagy csoportba soroljuk:

- az áramlástechnikai elven működők,
 - turbínaszivattyúk (örvény-, centrifugál szivattyúk),
 - sugárszivattyúk,
 - mamutszivattyúk, stb.
- a volumetrikus vagy térfogat kiszorítás elvén működők,
 - fogaskerék szivattyúk,
 - dugattyús szivattyúk,
 - vízgyűrűs szivattyúk, stb.

A víztelenítések során leggyakrabban alkalmazott szivattyúk a turbínaszivattyúk, azon belül is a centrifugál szivattyúk, melyek esetében az energiaátalakítást egy vagy több, lapátokkal ellátott úgynevezett járókerék végzi.

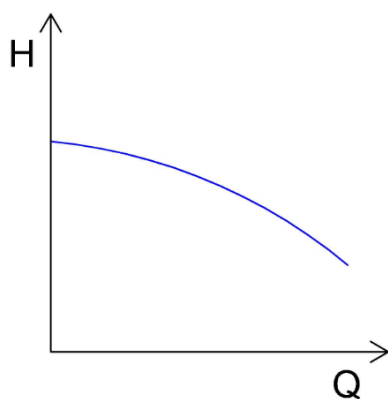
A járókerekek kialakításának, számának és elrendezésének, illetve a járókerék tengely elhelyezésének helyes megválasztásával optimalizálhatjuk az adott munkafolyamat elvégzéséhez leginkább alkalmas eszközöket.

A szivattyúk helyes kiválasztásának alap paraméterei a szállítandó közeget követően a szállító- vagy emelőmagasság, a térfogatáram, illetve a teljesítményfelvétel.

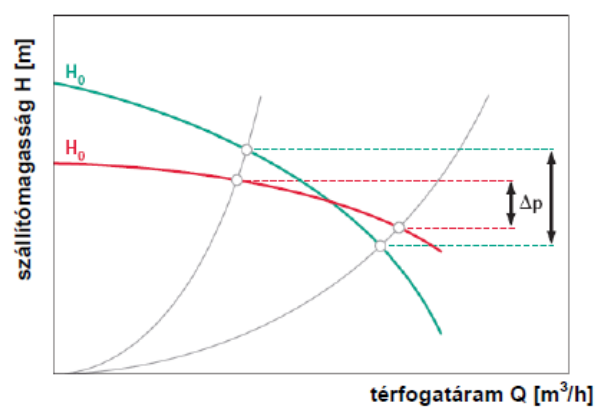
A centrifugál szivattyú szállítóképességét a $Q - H$ koordináta rendszerben jelleggörbével adjuk meg. A jelleggörbe a Q térfogatáram (pl. m^3/s) és a H szállítómagasság (m) közötti kapcsolatot adja meg (4.16. ábra).

A jelleggörbe alakjából látszik, hogy ha a térfogatáram növekszik, akkor csökken a szállítómagasság, azaz a szállítómagasság és a térfogatáram kölcsönösen függenek egymástól. A görbe meredekségét a szivattyú szerkezete határozza meg.

Azt, hogy a szivattyú mekkora térfogatáramot tud szállítani, kizárólag a berendezés szállítómagassága és a csővezetékrendszer áramlási ellenállása határozza meg. Az adott szivattyú csak a saját jelleggörbéjén tud dolgozni. Ez a munkapont a szivattyú és a csővezeték jelleggörbéjének a metszéspontja (4.17. ábra).



4.16. ábra. Szivattyú jelleggörbe
[Forrás: Szabó Sz]



4.17. ábra. A szivattyú jelleggörbe meredekségének hatása a munkapont eltolódásra [Forrás: Szabó Sz]

A szivattyú hajtómotorjának helyes kiválasztásához ismerni kell a szivattyú munkapontjában a teljesítményfelvételt, melyet a térfogatáram függvényében ábrázolunk (4.18. ábra).

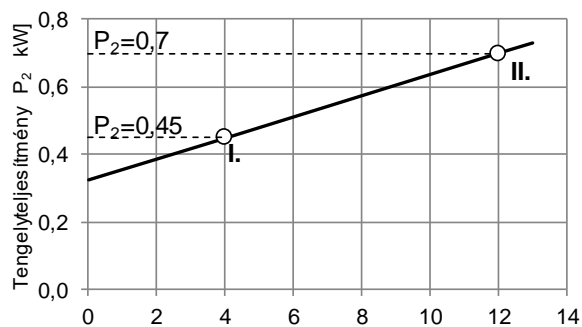
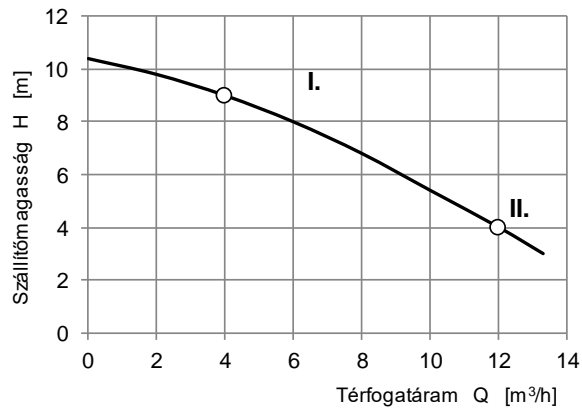
A görbe alakjából kiolvasható, hogy:

- a szivattyú hajtóteljesítménye hogyan függ a térfogatáramtól,
- leggyakrabban a teljesítményfelvétel akkor a legnagyobb, amikor a térfogatáram is a legnagyobb.

Hajtómotort mindig a szivattyú jelleggörbe azon tartományára tekintettel választunk, amely tartományban a szivattyúnak üzemelnie kell.

A szivattyúk kiválasztását megelőzően tehát a fentiekben részletezetteknek megfelelően ismerni kell:

- azt a vízmennyiséget, amit a szivattyúval el kell távolítani,
- az emelési magasságot, tehát azt a szintkülönbséget, ami a szívó oldal (pl. a kútban tartott víz) és a nyomó oldal (pl. a befogadó, tehát a zárt elvezetőcső rendszer vége) között kialakul,
- valamint az elvezető vezeték ellenállását, ami természetesen nagyban függ a rendszerben áramló vízmennyiségtől, tehát ezt pontosan több körben iterálással lehet meghatározni.



4.18. ábra. A szivattyú Q-H jelleggörbéje kiegészítve a Q-P₂ tengelyteljesítmény görbével [Forrás: Szabó Sz]

Az egyes szivattyú gyártással és forgalmazással foglalkozó vállalkozások internetes fórumaikon, papír alapú kiadványaikban rendszeresen közlik az aktuálisan elérhető szivattyú típusok teljesítmény adatait, jelleggörbéit, mely információk segítségével egyszerűvé válik a megfelelő, adott környezeti körülmények között alkalmazható eszköz kiválasztása. Internetes alkalmazásaik segítségével néhány egyszerűen leírható paraméter meghatározásával javaslatot tudnak adni az optimális szivattyúra vonatkozóan.

A szivattyú kiválasztásánál igen fontos a mozgatandó közeg minőségének vizsgálata is. A kútkiképzés során megfelelően kialakított szűrőváz (gyűrűstér) alapvető védelmet nyújt a szivattyúba esetlegesen bekerülő lebegőanyagok ellen, azok helytelen tervezése esetén a kút feliszapolódhat, a gépészet eltömődhet, mely további nem várt költségekkel járhat. Így például árkos, barázdás rávezetések, technológiai vizek közvetlen kútba szivattyúzása esetén az eredetileg alacsonyabb lebegőanyag tartalommal kalkulált szivattyúk élettartama jelentősen lecsökken. Ezen példa

általában a víztelenítés előrehaladottabb időszakában jellemző, ekkor érdemes áttérni a szemcsetartalomra kevésbé érzékeny, zagyszivattyú jellegű modellekre, azonban fontos megjegyezni, hogy ezen eszközök emelőmagassága és hozam teljesítménye nem összemérhető például egy csőbúvár szivattyúéval. Természetesen ezen probléma áthidalására is van lehetőség megfelelő anyagi ráfordítással, azonban a projektek jelentős részében erre nincs lehetőség, így célszerű a vizeket lokálisan szűrni.

A kitermelendő felszín alatti vizek minőségének egy másik jellemzője az esetleges szennyezőanyagok jelenléte. A vízkitermelést megelőzően fontos a szennyezettségi vizsgálatok elvégzése, mind a szivattyúk és egyéb gépészeti elemek, mind az átadási pontra történő rávezethetőség (környezetanalitikai paraméterek) ellenőrzése érdekében. A feltárt, felszín alatti vízben jelenlévő szennyezőanyagok minőségének meghatározását követően az adott közegre specializált szivattyú kiválasztását javasoljuk, mely ellenálló az adott fizikai-kémiai viszonyokra vonatkozóan.

A munkaterület jellegétől függően egy fontos paraméter a szivattyú tömege. Az eszköz állandó áthelyezése, mozgatása esetén érdemes könnyebb, egyszerűbben mobilizálható verziót választani a hatékony munkavégzés érdekében.

A szivattyúk telepítésénél és üzemeltetésénél gondolni kell a karbantartásra, az elhasználódott, elromlott elemek cseréjére is. Ezért, ha a víztelenítés közvetlenül felelős a munkagödör állékonyságának biztosításáért, a rendszer úgy kell megtervezni és üzemeltetni, hogy egy üzemzavar esetén se következzen be katasztrofális tönkremenetel. A munkaterületen szakfelügyeletet és megfelelő méretű és mennyiségű tartalékszivattyút kell tartani.

5. Monitoring rendszerek, fenntartás és karbantartás

5.1. Ideiglenes víztelenítő rendszerek

5.1.1. Monitoring

Ideiglenes víztelenítő rendszerek üzemeltetésekor a rendszeres monitoring elengedhetetlen feladat a vízszint megfelelő szinten tartásához, ezáltal az építési folyamatok zavartalan működéséhez. Ennek egyszerű és rövidtávon költséghatékony módja a napi szintű személyes rendszerellenőrzés, a kutak vízszintjének naplózása, a változások nyomon követése. Ezen felül, vízórák beépítésével ellenőrizhető a kitermelt vízmennyiség, ezáltal az adott munkagödörben előzetesen becsült vízmennyiség csökkenésének mértéke. A beépített kútszivattyúk szintérzékelőjének helyes beállításával a vízszint süllyedésének mértéke szabályozható, valamint a szivattyú folyamatos hűtése és szárazon futás elleni védelme is megoldott. Amennyiben az építési folyamatok azt lehetővé teszik, számítógépes automata vezérlőrendszer is alkalmazható a fenti feladat ellátására.

5.1.2. Fenntartás és karbantartás

Az ideiglenes víztelenítő rendszer hatékony üzemeltetésének kulcsa a rendszeres ellenőrzés. Ez részben a fentiekben leírt adatok naplózása szempontjából szükséges, másfelől a beépített eszközök állapotának megóvása miatt kiemelten fontos feladat. A termelőkutakat ért külső hatások vizsgálata, a szintérzékelők pozíciójának beállítása, a szivattyúk működésének, így a feladott víz mennyiségének és minőségének ellenőrzése, az elektromos kábelek és vízvezető csővezetékek, valamint azok illesztési pontjai épségének megismerése a napi karbantartási rutinfeladatok részét képezi.

Tekintettel arra, hogy egy ideiglenes víztelenítő rendszer esetén a munkaterületen jellemzően aktív munkavégzés zajlik, beleértve a földmunkagépek, tehergépjárművek folyamatos mozgását, így a rendszer elemeit is úgy kell pozícionálni, hogy az organizációs útvonalakat a legkevésbé keresztezzék. A munkagépek okozta károk, a kutak esetlegesen rongálódása, homokolásának elkerülése végett igen fontos a rendszer gyakori ellenőrzése. Amennyiben lehetőségünk van rá, érdemes mintavételi csapok beiktatásával a kitermelt víz minőségét is vizsgálni, hiszen annak túlzottan magas lebegőanyag/homoktartalma a szivattyúk, valamint a kiépített csővezeték-hálózat működőképességét, illetve élettartamát ronthatja.

5.2. Végleges víztelenítő rendszerek

5.2.1. Monitoring

Végleges, illetve hosszabbtávú ideiglenes víztelenítő rendszerek esetén megfontolandó állandó, azonnali adatszolgáltatást nyújtó monitoring hálózat kiépítése a termelőkutakban a vízszint változásának (telepített nyomáspatronokkal), valamint a beépített kútszivattyúk működésének folyamatos nyomon követése, továbbá a kitermelt vízmennyiség (beépített átfolyásmérő szenzorokkal vagy impulzusjeladós vízórakkal) rögzítése céljából.

A kutak vezérlését, a szivattyúk védelmét, valamint a vízszint regisztrálását és szabályzását a kutak mellé telepített, vezérlőegységek láthatják el. A rendszer üzemeltetése során a szivattyúk működési frekvenciájának, a felvett áram mennyiségének, a regisztrált vízszintnek, valamint a mért vízhozamnak a naplózása a feladat. A vezérlőegység lehetőséget ad arra, hogy a felszín alatti vizet a kútszivattyúval egy előre meghatározott, állandó frekvencia mellett termeljük, vagy a beépített nyomáspatron által regisztrált adatnak megfelelően egy adott vízszint folyamatos megtartásával üzemeltessük.

A többkutas rendszer megfelelő üzemeltetéséhez és szabályzásához szükséges egy központi vezérlő egység telepítése. Ezen a ponton indulnak és találkoznak a jelkábelek és a digitális vonalak. Az analóg módon végigfutó jelkábel a központból való engedélyezést látja el, tehát a kútszivattyúk akkor tudnak működni, ha a központi vezérlés engedélyező jelet ad. Ide tartoznak a szivattyúk saját úszó szintkapcsolói is, melyek a szárazon futás elleni védelem mellett a vízszintet egy adott tartományon belül tartják. A rendszer digitális egységei a nyert adatok online méréséhez, feldolgozásához és rögzítéséhez nyújtanak segítséget, a digitális jel egy telepített ipari számítógépbe futhat be.

Természetesen a fentiekben leírt rendszer az adott üzemeltetési körülményekre és lehetőségekre optimalizálható, a vezérlés történhet egyedi, kutankénti bontásban, a jelek és begyűjtött információk továbbítása nem csak kábelek telepítésével, de különböző frekvencia tartományokon történő sugárzással is megvalósítható (pl. bluetooth, wifi, stb.)

Ily módon a rendszer működése nagymértékben ellenőrizhető, állandó kontroll alatt tartható, a hibák kiszűrhetők, továbbá gyorsan és hatékonyan optimalizálható a rendszer. Igény esetén riasztások küldésével az üzemeltető azonnal értesülhet a kialakult hibajelenségekről.

5.2.2. Fenntartás és karbantartás

Egy megfelelően kialakított, online monitoring rendszer esetében sem elhanyagolható a rendszer állandó ellenőrzése, hiszen a beépített eszközök állapotának megóvása, ellenőrzése nélkül a rendszer hosszútávon nem alkalmazható. Az online nyomon követhető adatsorok ellenőrzésével, a mért paraméterek rendszeres feldolgozásával a hibajelenségek előre jelezhetők, kiküszöbölhetők, de mindezen túl az eszközök rendszeres személyes ellenőrzése is célszerű. Végleges rendszerek esetén is javasolt mintavételi csapok beiktatásával a víz minőségének ellenőrzése, szintén a szivattyúk és a kiépített csővezeték-hálózat megóvása miatt.

5.3. Környezetvédelem

Munkaterületek ideiglenes víztelenítése során a felszín alatti víz kitermelése mellett a lehulló csapadékvíz, valamint igen gyakran technológiai vizek kitermelése és elvezetése is történik. Résfallal körbezárt terület esetén a technológiai vizek leggyakoribb keletkezési helye a horgonyzási tevékenység és a falak talajkitermelést követő mosása során elfolyó víz, mely gyakran a felszínen lévő mélyedésekben reked meg, onnan elszivárog, vagy vízzáró réteg esetén árkos kialakítással a termelőkút irányába kormányozzák azt.

A munkaterület építési tevékenységet megelőző felmérése, az alapállapot felvétele során érdemes vizsgálni a földtani közeg, valamint ezzel párhuzamosan a felszín alatti víz összetételét, esetleges szennyezettségi állapotát, legalább egy akkreditált általános vízkémiai vizsgálat elvégzésével. Amennyiben a területen jelen van a földtani közeget és felszín alatti vizet érintő szennyezés, úgy annak megfelelő további laboratóriumi vizsgálatok javasoltak.

A kitermelt víz befogadóba történő kibocsátásának – a befogadó típusától függően – különböző feltételrendszere van. Míg a települési gyakorlatot tekintve a kitermelt víz elhelyezési helye általában a csapadékvíz csatorna, addig előfordulhat, hogy a kitermelt víz közvetlenül szennyvízkezelőre, vagy akár felszíni vízbe történő bevezetése is. A kitermelt víz átadását megelőzően le kell folytatni az adott típusú befogadóra vonatkozó engedélyezési eljárást. A kapcsolódó, betartandó jelenleg hatályos jogszabályok a következők:

- 58/2013. (II.27.) Korm. rendelet a víziközmű szolgáltatásról,
- 10/2010. VIII.18.) VM rendelet a felszíni víz vízszennyezettségi határértékeiről és azok alkalmazásának szabályairól,

- 6/2009. (IV.14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről,
- 220/2004. (VII.21.) Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól,
- 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól.

A fenti jogszabályokon túl a kérdéses befogadóra vonatkozóan egyedileg előírt vízminőségi határértékek szintén irányadók.

Végleges víztelenítő műtárgyak telepítése esetén szükséges azokra vonatkozóan vízjogi létesítési, majd annak megszerzését és a rendszer elemeinek kiépítését követően vízjogi üzemeltetési engedély megszerzése a vízjogi engedélyezési eljárásához szükséges dokumentáció tartalmáról szóló 41/2017. (XII.29.) BM rendelet tartalmi és formai követelményeinek megfelelően. Ezen dokumentációk összeállításához a területen üzemeltetett ideiglenes víztelenítő rendszer működése során nyert adatok felhasználhatók, a dokumentumok tartalma az adott környezetben tapasztaltaknak megfelelően pontosítható.

Fontos továbbá, hogy szennyezett felszín alatti víz jelenléte, esetleg kármentesítéssel érintett területen történő víztelenítés esetén a kitermelt víz megfelelő helyre való elhelyezése, ártalmatlanítása kiemelt feladat. Ez esetben, amennyiben a területen működő kármentesítés vízkezelő egysége van telepítve, úgy ezen pontra kell történnjen a felszín alatti víz átadása, amennyiben még nincs, úgy megfelelő szakkég bevonásával egyedi, a terület szennyezettségi viszonyaira optimalizált vízkezelő berendezés telepítése javasolt a vonatkozó hatósági eljárások lefolytatását követően.

6. Alkalmazási példák

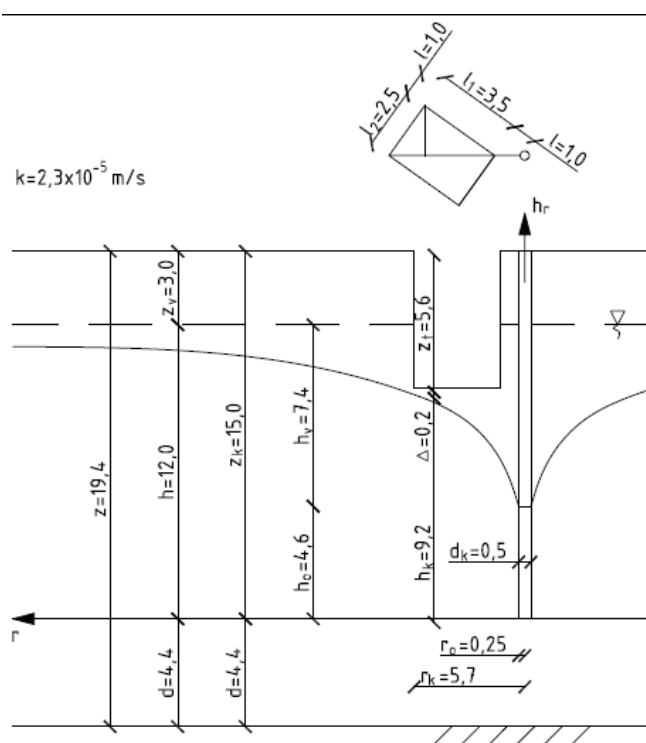
6.1. Mélykutas víztelenítés

Feladat – Munkagödör víztelenítése

Egy akna építéséhez $3,5 \times 2,5$ m alapterületű és 5,6 m mély munkagödör építése szükséges. A felszínt ~ 20 m mélységig iszapos finom homok réteg borítja, szivárgási tényezője $2,3 \cdot 10^{-5}$ m/s. A talajvízszint a felszín alatt 3,0 m mélységben található.

A nagy mélység miatt mélykutas talajvízszintsüllyesztést célszerű tervezni, mert így egyetlen kúttal (és egyetlen búvárszivattyúval) megoldható a feladat.

A kutat az egyik gödör sarkánál indokolt elhelyezni. Legyen pl. $l=1,0$ m-re a gödör mindkét szélétől, átmérője $d_k=0,5$ m lehet. Nem kell leérnie a nagyon mélyen fekvő vízzáró rétegig (nem teljes kutat tervezünk), elég ha biztosítja a szükséges depressziót és a víz befogadásához szükséges kútfelületet. E követelményekből elvileg számítható a mélység, de nagyon bonyolulttá válna a számítás, ezért célszerűbb azt előre felvenni. Legyen most a felszín alatti mélység $z_k=15,0$ m.



6.1. ábra. A munkagödör környezete

A munkagödör főbb méreteit, a kút elhelyezkedését a 6.1. ábra szemlélteti.

A „nem teljes kutak” körüli tengelyszimmetrikus áramlást közelítően két részre: a kútfenék feletti és a fenék alatt bekövetkező áramlásra bontva lehet vizsgálni.

A kút fenékszintje feletti szivárgás áramvonalai síkgörbék. Ez Dupuit ismét közelítésével számítható: a kútfenék szintjén felvett r -tengely és a kúttengelyben felvett h_r -tengely alkotta koordináta-rendszerben két adott (1. és 2. jelű) pont közötti r_k – helyen a

$$h_k = \sqrt{(h_2^2 - h_1^2) \cdot \frac{\ln r_k - \ln r_1}{\ln r_2 - \ln r_1} + h_1^2}$$

képlet adja meg a legfelső áramvonal (a depressziós görbe) magasságát.

A követelmény az, hogy a gödör legtávolabbi pontján, a másik sarokpontnál is (legalább $\Delta=0,20$ m „tartalékkal”) a fenékszint alatt legyen a vízszint. Tehát

$$r_k = \sqrt{(l_1 + l)^2 + (l_2 + l)^2} = 5,7 \text{ m} \quad \text{és} \quad h_k = z_k - z_t - \Delta = 9,2 \text{ m}$$

A görbe 1. indexű pontját a kút szélén vesszük fel: $r_1 = r_0 = 0,25$ m és ott

$$h_1 = h_0 = z_k - z_v - h \quad v = 12,0 - h_v$$

(h_v a kút körüli – egyenlőre ismeretlen mértékű – teljes leszívás).

A 2. indexű pont az lehet, ahol a depresszió megszűnik, tehát az r_2 kihatási távolság:

$$r_2 = R = 3000 \cdot h_v \cdot \sqrt{\frac{k}{k_1}} = 3000 \cdot h_v \cdot \sqrt{\frac{2,3 \cdot 10^{-5}}{1}} = 14,4 \cdot h_v \text{ és ott}$$

$$h_2 = h = z_k - z_v = 12,0 \text{ m}$$

Mindezeket a depressziós görbe egyenletébe behelyettesítve

$h_v = 7,4$ m értékét próbálgatással kaptuk.

A kihatási távolság: $R = 14,4 \cdot 7,4 = 106,6$ m.

A kút peremén a fenékszint felett $h_0 = 12,0 - 7,4 = 4,6$ m magasan lesz a vízszint. A kúton belül általában a külsőnél alacsonyabban van a vízszint, de mint a 6.1. ábrán látható $R/H > 5$ esetén már elhanyagolható a vízszálszakadás, a két vízszint azonosnak tekinthető.

A kútfenek szintje feletti térben a kút felé áramló vízhozam Dupuit szerint

$$Q_0 = k \cdot \pi \cdot \frac{h_2^2 - h_1^2}{\ln r_2 - \ln r_1} = 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot \pi \cdot \frac{12,0^2 - 4,6^2}{\ln 106,6 - \ln 0,25} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

A vízmozgás másik része a fenékszint és a vízzáró réteg közt jön létre. Levezethető, hogy $d = z - z_k = 19,4 - 15,0 = 4,4$ m vastag zónában

$$Q_a = k \cdot \pi \cdot \frac{d \cdot (h_2 - h_1)}{\ln r_2 - \ln r_1} = 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot \pi \cdot \frac{4,4 \cdot (12,0 - 4,6)}{\ln 106,6 - \ln 0,25} = 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

vízhozam áramlik a kút felé.

A kút teljes vízhozama

$$Q = Q_0 + Q_a = 1,5 \cdot 10^{-3} + 3,9 \cdot 10^{-4} = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Megjegyezzük, hogy a vízhozam megbecsülhető a vízzáró rétegig lenyúló teljes kút vízhozamának csökkentett értékével is. Ennek közlésétől most eltekintünk.

A kútba telepítendő búvárszivattyúnak tehát a számított Q vízhozamot kell kiemelni a felszínre, illetve még le kell győznie a befogadóig vezető csőben fellépő ellenállásokat.

A talajvízszint süllyesztést az aknamélyítés előtt el kell kezdeni, hogy mire az aknát a tervezett szintre mélyítik a vízszint már lejjebb legyen. A depresszió ugyanis idővel mind laposabb lesz, mind távolabbra hat ki. A számított R kihatási távolság csak egy hosszabb időszakra tekinthető jellemzőnek, egyébként közelítőleg egy kút körül

$$R_t = 3 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot h}{n_p} \cdot t}$$

képlet szerint változik a t idővel. n_p a talaj átlagos „vízteleníthető” hézagterfogata (ha nem ismerjük 0,3-ra becsülhető). Jelen esetben $R_t = 1,1 \cdot 10^{-1} \cdot \sqrt{t}$, ahová t másodpercben írandó. Mivel a depresszió R=106,6 m esetén kielégítő, az

$$R = R_t = 106,6 = 1,1 \cdot 10^{-1} \cdot \sqrt{t}$$

egyenlőségből az adódik, hogy

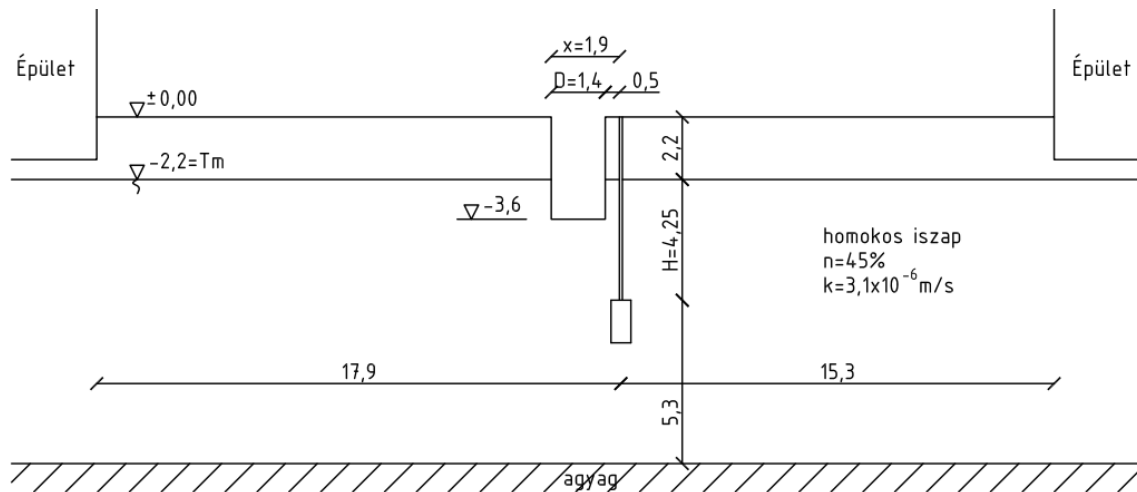
$$t = 9,39 \cdot 10^5 \text{ s} \approx 11 \text{ nappal kell a gödör lemélyítése előtt a víztelenítést elkezdeni.}$$

6.2. Vákuumkutas víztelenítés

Feladat – Keskeny munkaárok víztelenítése

Egy l=68 m hosszú, 1,4 m széles és 3,6 m mély keskeny munkaárok víztelenítését kell megoldani. A környező talaj közel 12,0 m mélységig homokos iszap, hézagterfogata n=45%, áteresztőképessége $k=3,1 \cdot 10^{-6}$ m/s. A talajvíz a felszín alatt 2,2 m mélységben van. Az árok kb. T=1 hónapig lesz nyitva. A munkaárok környezetében lévő épületek süllyedésre érzékenyek, ezért a víztelenítés hatótávolságán kívül kell maradni. A 2.35. ábra szerint ilyen áteresztőképességű talajban ekkora vízszintcsökkentés vákuumkutas talajvízszintsüllyesztéssel érhető el.

A helyszíni körülményeket a 6.2. ábra szemlélteti.



6.2. ábra. A munkáárok környezete

A kútsort a munkáárok tengelyétől 1,2 m-re 60 cm-enként helyezzük el, és ellenőrizni kell, hogy perforált – általában 1,5 m hosszú – szűrőzött része legalább 1,0 m-re kerüljön a munkáárok szabad földfelszínétől, hogy a vákuum ne „szökjön” el. Ilyen elrendezésre megfelelő számítási eljárás áll rendelkezésre, de természetesen az így készített tervet is – mint minden víztelenítési tervet – csak erősen közelítő jellegűnek, azaz kerettervnek tekinthetünk.

A kút (az alsó 1,5 m-es szakasz) tetejének mélységét és az elszivattyúzandó vízmennyiséget kell meghatározni.

A kutak telepítési mélységét az szabja meg, hogy a közeli épületek alatt leszívás már nem engedhető meg, vagyis az ábra szerint a leszívás kihatási távolsága – 2,0 m biztonságot is megkívánva – legfeljebb $L = 15,3 - 2,0 = 13,3$ m lehet.

A kihatási távolság $L = 1,3 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot T}{n} \cdot (H + m)}$ képletből a kút megengedhető telepítési mélysége

$$H = 0,6 \cdot \frac{n \cdot L^2}{k \cdot T} - m$$

ahol az ismert jelöléseken kívül m a vákuum vízoszlopra átszámított nyomása, ami az $m = \frac{p_0 - p_v}{\gamma_v}$ képletből számítható. Itt $p_0 = 100$ kN/m² az átlagos külső légnyomás, míg p_v a megszívott talajzónában még fennmaradó, a légköri nyomásnál kisebb nyomás (az ún. „vákuumnyomás”), melynek értéke $0 < p_v < p_0$ lehet. A gépházban kb. $p_v = 0,5 \cdot p_0$ értéket hoznak létre, a kutak környezetében azonban – a külső veszteségek miatt – kb. $p_v = 5/6 \cdot p_0$ számításba vétele indokolt.

Ennek megfelelően m átlagos értéke $m = \frac{100-83}{10} = 1,7 \text{ m}$

A kihatási távolság az idővel arányosan nő, ezért T helyére a víztelenítés teljes idejét kell beírni. Így

$$H = 0,6 \cdot \frac{0,45 \cdot 13,3^2}{3,1 \cdot 10^{-6} \cdot 30 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} - 1,7 = 4,25 \text{ m}$$

Egy kút vízhozamát $m/h < 1$ esetén (ez esetünkben fennáll) közelítően a

$$q = \frac{k}{L_T} \cdot H^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{m}{H} \right)^2 \right] \cdot \left(1 + \frac{t}{h} \right)$$

összefüggés adja meg, ahová $t/H \leq 5$ értékkel helyettesítendő be. Látható, hogy a vízhozam a kihatási távolságnak így a víztelenítés kezdetétől eltelt időnek is a függvénye. A konstans értékeket bevezetve

$$L_T = 1,3 \cdot \sqrt{\frac{3,1 \cdot 10^{-6} \cdot T \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}{0,45}} \cdot (4,25 + 1,7) = 2,45 \cdot \sqrt{T} \text{ m}$$

$$q_T = \frac{3,1 \cdot 10^{-6}}{2,45 \cdot \sqrt{T}} \cdot 4,25^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{1,7}{4,25} \right)^2 \right] \cdot \left(1 + \frac{6,0}{4,25} \right) = \frac{6,44 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{T}} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} / \text{m}$$

összefüggést kapjuk, melyekbe a víztelenítés kezdetétől eltelt napok számát (T) bevezetve a kihatási távolság és a vízhozam kiszámítható.

Meg kell még vizsgálni, hogy mikor kell a víztelenítést az építési tevékenység előtt megkezdeni ahhoz, hogy a depressziós görbe – már megfelelő biztonsággal – a munkagödör fenékszintje alá kerüljön.

A kút tengelyétől x távolságra a depressziós görbe az eredeti vízszint alatt

$$f = (H + m) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{x}{L_T}} \right) = (4,25 + 1,7) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{x}{2,45 \cdot \sqrt{T}}} \right)$$

mélységben van T nappal a víztelenítés kezdete után. A munkagödörnek a kútsortól távolabbi sarka a mértékadó, vagyis az ábra szerint

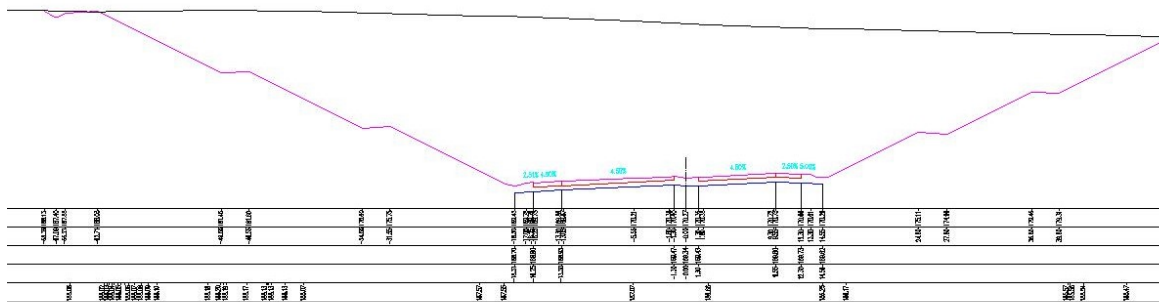
$x=1,9 \text{ m}$ és $f=1,8 \text{ m}$ (f értéke 20 cm biztonságot is tartalmaz),

így $T = 2,1$ nap adódik, azaz kb. 2 nappal az építési munka előtt el kell kezdeni a víztelenítést.

6.3. Bevágásban tervezett autópálya víztelenítésének tervezése

Feladat – Ejtőkutas szivárgórendszer tervezése bevágásban

Egy 2x2 sávos gyorsforgalmi utat mintegy 600 m hosszan mély bevágásban vezetnek, melynek legnagyobb mélysége 18 m körüli. A feltárások alapján a tervezési területen jellemzően kőér és közepes agyagok vannak, melyek közé helyenként vékony szemcsés rétegek települtek. A talajvíz a feltárások mintegy felében jelentkezett a terep alatt 5-13 m közötti mélységben. A domborzati adottságokból kifolyólag talajvíz, rétegvíz és a leperszerű felszíni vízfolyások a bal oldali irányból várhatóak. A domborzati viszonyokat a 6.3. ábra szemlélteti.



6.3. ábra: Domborzati viszonyok

Tekintettel arra, hogy a bevágási részsű állékonyságának biztosítása csak a megfelelő geometria megválasztásával nem volt biztosítható, illetve a feltárt talajrétegződés (agyagrétegek közé ékelődött vékony vízáadó homok rétegek) és a tervezett pályaszint felett jelentkezett talajvízszint miatt a talaj illetve rétegvizek süllyesztését is meg kellett oldani. A problémák megoldására a tervező mélyszivárgó beépítését javasolta.

Itt jegyezzük meg, hogy a bevágás hegy felőli oldalán a terepről érkező vizeket egy burkolt övárokkal kell megfogni, melynek helyszínrajzi elhelyezését úgy kell meghatározni, hogy azok a bevágási részsű állékonyságát ne veszélyeztessék.

A felső osztópádkába tervezett mélyszivárgó a nagy mélység miatt hagyományos földmunkás technológiával nem kivitelezhető gazdaságosan, ezért ejtőkutas szivárgórendszert tervezése vált szükségessé, míg a részsűlábánál lévő 2 m-es szivárgó hagyományos technológiával kialakítható.

Az ejtőkutas szivárgó rendszer felépítését, működését a 4. fejezetben ismertettük.

A feladat bonyolultsága, összetettsége és térbelisége – rétegzett talaj vízáadó homokerekkel, változó talajvízszint, rétegvizek, szivárgók térbeli hatása – a véges elemes modellezés alkalmazását indokolta. Az ejtőkutak méretezését, illetve a szivárgáshidraulikai- és állékonyságvizsgálatokat a PLAXIS szoftverrel oldották meg.

A geotechnikai számításokban a vízáadó kissé iszapos homok rétegre $k=8,64 \times 10^{-3}$ m/nap vízáteresztő képességi együtthatót alkalmaztak, míg az agyag rétegekre 3-5 nagyságrenddel nagyobb értékeket vettek fel. A számítást a rendszerre jellemző 1,43 m³/h leszívásra készítették. A számítás során a biztonság javára jártak el a tekintetben, hogy ezen vékony vízáadó szemcsés rétegeket egy nagy vízáadó réteggént modellezték. A valóságban ezek a szemcsés talajrétegek sokkal vékonyabbak (agyagrétegek közé betelepültek) és vastagságukból adódóan kevesebb vizet is szállítanak. A tervezés lépései a következők:

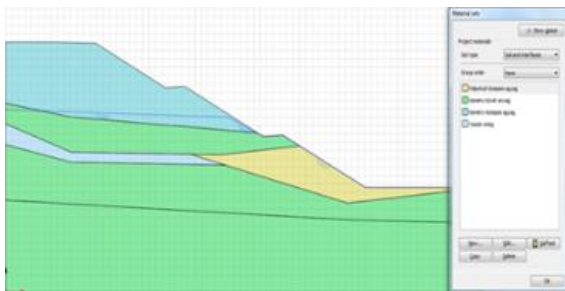
- 1.) 2D véges elemes modellek felépítése a feltárt altalaj- és talajvízviszonyok ismeretében, figyelembe véve az azonosított vízáadó rétegeket. Az alapmodellek szivárgáshidraulikai- és állékonyságvizsgálatok eredményeinek értékelése.
- 2.) A 2D modelleket felhasználva beépítésre kerültek a szivárgási mélységnek megfelelő függőleges, 12 méter mélységű drain elemek a felső osztópadka szintjére, valamint a 2 méter mély hossz-szivárgó a rézsű lábánál, amely szivárgó nagymértékben hozzásegített a megfelelő leszívási görbe kialakulásához.
- 3.) A 2. pontban említett 2D modell validálása, ami a 2D talajrétegződések 3D-s modellbe való transzformálását jelenti, 30 méteres modell szélességben. A határoló élek és a dobozmodell aljának a lezárása után, beépítésre került egy ún. „surface drain” elem ott, ahol a 2D-s modellben a függőleges drain elem van. A leszívási görbe hasonló eredményt adott a 2D és 3D modellben.
- 4.) A 60 cm átmérőjű csápos kutak modellezése vonalmenti drain elemekkel. Két vonalmenti drain, egymástól 60 cm távolságra adott ki egy kutat, így a 60 cm átmérő is figyelembe lett véve.
- 5.) A számításokat addig futtatták különböző kút-távolságokkal, amíg a leszívási görbe alakja meg nem felelt az előzetes elvárásoknak, vagy további sűrítéssel már nem volt javítható a kutak hatékonysága.

A számítások eredményeként az ejtőkutas mélyszivárgó átmérője 0,60 m-re adódott, mélysége a bevágás mélységének megfelelően változó, a felső osztópadkáról talpárok alatti mélységig tart. Az ejtőkutak kiosztására 2 és 4 m-es rászterkiosztás volt megfelelő. A bevágás alján a rézsűlábánál a 2,0 m mély taplszivárgó vastagsága 0,6 m.

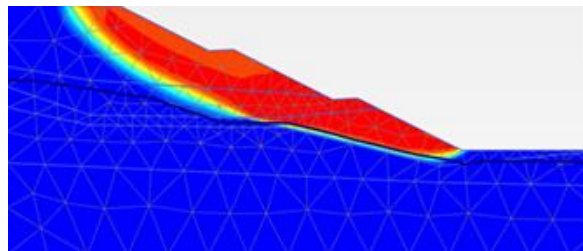
A tervezett kiosztástól sűrűbb és ennél nagyobb vízáteresztőképességi együtthatójú vízáadó réteg alkalmazása esetén sem változott a leszívás mértéke és bevágási rézsű megcsúszással szembeni biztonságának értéke.

Az ejtőkutak folyamatos működését követően a nyírószilárdsági értékek javulásával párhuzamosan a hosszú távon számított általános állékonyságvesztéssel szembeni biztonság nő.

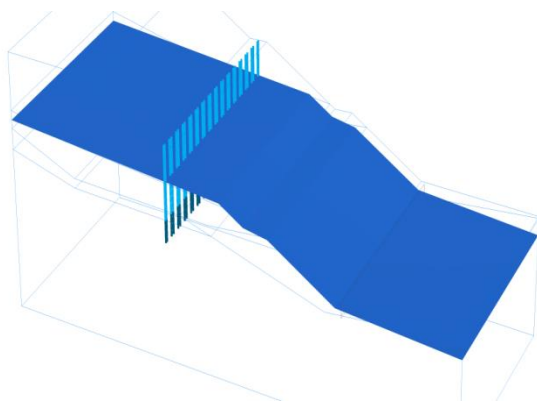
A 6.4. ábra a felépített PLAXIS 2D modellt mutatja. A 6.5. ábrán a tönkremeneteli mechanizmus látható a leszívott állapotban. Az általános állékonyságvesztéssel szembeni biztonság rövidtávon $\gamma=1,31$. A 6.6. ábra a PLAXIS 3D modellt mutatja. Láthatók a drain elemek és a talajvízszint helyzete. A 6.7. ábra az ejtőkutak által „leszívott” vízszintet mutatja.



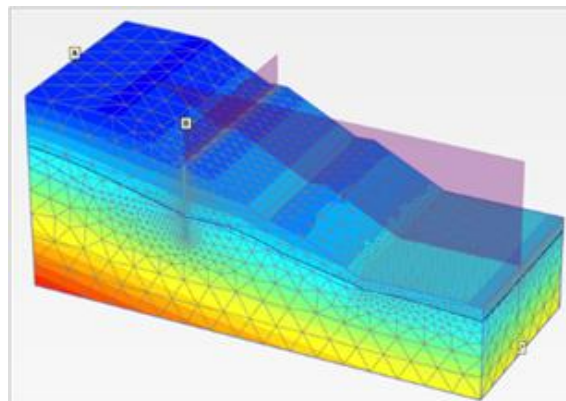
6.4. ábra. PLAXIS 2D – geometriai modell



6.5. ábra. Tönkremeneteli mechanizmus



6.6. ábra. Talajvízszint a geotechnikai feltárások alapján – PLAXIS 3D



6.7. ábra. Ejtőkutak által „leszívott” vízszint

6.4. Ideiglenes víztelenítő rendszerek – teszttevékenység

Feladat – Ideiglenes víztelenítő rendszer munkálatai az előkészítéstől az üzemelésig

Ideiglenes víztelenítő rendszerek, tekintettel a jelen gazdasági helyzetre jellemző számtalan építési beruházásra, igen elterjedtek a mélyépítési technológiák kiegészítő, támogató rendszereiként. A Magyarországon általánosan jellemző felszín alatti vízviszonyok mellett sok esetben szükséges a tárgyi rendszerek alkalmazása a megfelelő mélyépítési technológia megvalósíthatósága érdekében.

A vizsgálati terület bemutatása

A beruházási terület Budapest területén belül, a Dunától kb. 600 m távolságra keletre helyezkedik el. A terület kiterjedése kb. 30 000 m², minden oldalról műúttal határolva, lakó- és irodaházak között található.

A kivitelezés helyszíne morfológiailag a holocén kori Duna-völgy részét képezi. A beruházást megelőző feltárások, földtani vizsgálatok során kb. 92,0-94,0 mBf szinten oligocén agyag/agyagmárga felszint regisztráltak, mely néhol iszapos, homoklisztes, homokos ereket tartalmaz. Ezen „alapkőzetre” pleisztocén korú durva- és középszemcsés folyami hordalék, kavics, homokos kavics, kavicsos homok, homok rakódott, melynek felszíne kb. 95-97 mBf között helyezkedik el. Erre pleisztocén-holocén finomszemcsés összletek, ártéri/partmenti üledékek rakódtak, úgy, mint iszap, iszapos homok, homok, agyag. Végül a felszín közeli 3-4 m-es zónába a beépítések során törmelékes feltöltés került. Az előzetes vizsgálatok során feltárt rétegek nyugat-keleti és észak-déli irányultságú szelvények formájában az alábbiakban tekinthetők meg.

Az építési beruházás során egy 21 m mélységű munkagödör került kialakításra, melynek építés közbeni ideiglenes víztelenítése volt a feladat.

Ideiglenes víztelenítést előkészítő munkálatok

Az ideiglenes víztelenítő rendszer kiépítését megelőzően a vizsgálati terület hidrogeológiai viszonyainak pontosabb megismerése céljából tesztelési munkálatok folytak. Mindezt a terület viszonylag nagy kiterjedése, a mélyépítési technológia komplexitása indokolja, hiszen a munkagödörben uralkodó felszín alatti víz viszonyok és az ennek megfelelően megtervezett ideiglenes víztelenítő rendszer alapvetően határozzák meg a mélyépítés, földkitermelés sikerességét, ütemterv szerinti előrehaladását. A teszt célja a vizsgálati területen jellemző hidrogeológiai viszonyoknak megfelelően a kút fajlagos kútkapacitásának, a talajvíztartó szivárgási tényezőjének, a maximális vízkitermelési hozamnak, valamint a szivattyúzás eredményeképp létrejövő depressziós tölcsérnek, így a szivattyúzás hatásradiusának meghatározása volt.

Az ideiglenes víztelenítés tervezéséhez 1 db nagytérű termelőkút és különböző távolságokban 3 db piezo kút létesült a területen. A kutak száraz spirál fúrásos technológiával létesültek, melynek előnye, hogy a felszín alatti rétegsor feltárható, megismerhető, az egyes rétegekből mintavétel valósítható meg, valamint elkerülhetők az esetleges keresztzennyezések a rétegek között.

A termelőkút paraméterei:

- fúrési technológia: védőcsöves szárazfúrás,
- fúrásátmérő: 500 mm,
- bélésűcső átmérő: 315 mm KMPVC,
- talpmélység: 10,2 m, feküagyagban 3 m szakasszal,
- szűrőzés: 1-9 m között, feküagyagban 2 m szűrővel.

A kialakított piezo kutak paraméterei:

- kutak száma: 3 db,
- fúrési technológia: HSA (Hollow Stem Auger),
- fúrásátmérő: 205/111 mm,
- bélésűcső átmérő: 60/54 mm KMPVC,
- talpmélység: 7,7 m, feküagyagban 1 m szakasszal,
- szűrőzés: 0,1-7 m között,
- elhelyezés: termelő kút körül 120°; R=5, 10, 20 m távolságokban.

A termelőkútba telepített szivattyú adatai:

- elektromos telj.: 0,75 kW,
- max. szállítás: 12 m³/h, 8 m emelési magassággal.

A teszthez telepített egyedi tervezésű, automata rendszer elemei:

- frekvencia szabályozott kútvezérlő szekrény,
- elektronikus vízszintmérő,
- ipari adatgyűjtő számítógép és külső A/D konverterek,
- távvezérlés és monitoring.

A teszt üzemeltetése

Az automata rendszer telepítése és a szenzorok kalibrációja után az adatgyűjtés a következő szakaszokra bontva történt meg:

- nyugalmi szakasz 05.12. 00:00-10:30,
- szivattyúzás 1. szakasz: 05.12. 11:05-16.20 30 Hz, 4,0 m³/h,
- szivattyúzás 2. szakasz: 05.12. 17:00- 05.13. 07:10 40 Hz, 5,9 m³/h,
- szivattyúzás 3. szakasz: 05.13. 07:10- 05.14. 07:30 50 Hz, 7,1 m³/h,
- visszatöltődési szakasz: 05.14. 07:30-13.30.

Adatgyűjtés során 20 másodpercenkénti átlag adatok kerültek rögzítésre és tárolásra. A visszatöltődés után a szivattyúzás folytatódott 50 Hz/7,1 m³/h értékkel a rendszer visszabontásáig, május 15. 08:00-ig. A teszt során kitermelt összes vízmennyiség: 402m³ volt. A kitermelt, csekély homok és iszap tartalmú víz csatornába vezetésre került. A teszt során rögzített adatokból képzett grafikonok az alábbiakban tekinthetők meg.

A teszt eredményeinek kiértékelése és a javasolt víztelenítő rendszer

A tesztkút nagyon jó vízáadó képességet mutatott. A mérés során 7,1 m³/h hozam esetén a termelőkútban 0,6 méter süllyedés volt mérhető. A monitoring kutakban ennek hatására 0,25-0,4 m közötti szintsüllyedés jött létre, függően a kút távolságtól, valamint a rétegsorban jellemző heterogenitástól, az egyes rétegek vízvezető képességének változékonyságától. A jellemző szintsüllyedés a legnagyobb teszt hozamon 25 cm volt. Modellszámítások szerint a becsült hatásradius meghaladja az 50 m-t. A kalkulált fajlagos kútkapacitás 9,6 m³/h azaz 160 l/perc. A talajvíztartó kalkulált szivárgási tényezője, pedig $3,1 \cdot 10^{-4}$ értékű.

A Megbízó javaslata napi 1 500 m³ víz termelése volt, a kitermelendő vízkészletet, pedig 45 000-60 000 m³ közötti mennyiségnek becsülte. A víztelenítési procedúrát két hasonló forgatókönyv mentén kalkuláltuk:

1. forgatókönyv: 9 kút, 7 m³ /h/kút, 1 512 m³ /nap,
2. forgatókönyv: 9 kút 10 m³ /h/kút, 2 160 m³ /nap.

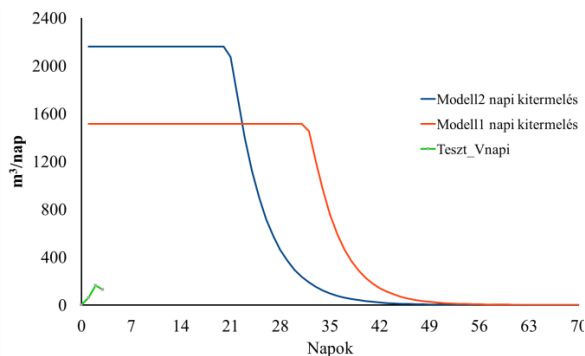
A számításokhoz felhasznált segédadatok a következők voltak:

- alapterület: 30 000 m²,
- talajvízszlop kiindulási magassága: 6 méter,
- talaj porozitása: 30%,
- kitermelendő vízkészlet: 54 000 m³.

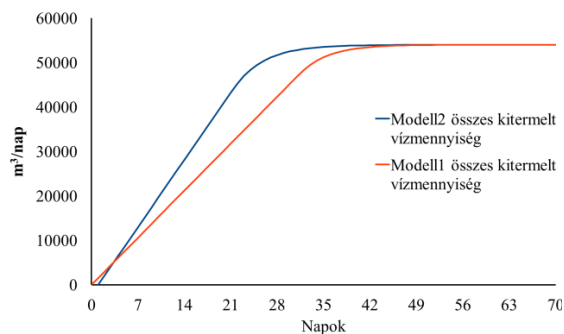
A 6.8. ábrán bemutatott diagram a jellemző üzemállapotokat becsüli időben haladva. A diagramon látható, hogy a két forgatókönyv között mintegy nyolcnapi eltérés van a nagyobb hozam javára. Eszerint 3-4 hét után várható a kitermelhető vízmennyiség apadása, majd egy ellaposodó görbe szerint fogyni a napi víztermelés. Megjegyezzük, hogy amikor 100 m³/nap alá esik a hozam, a leürülés nagyon lelassul. Ekkor kiegészítő talajműveletek (barázda húzás, zsomp szivattyúzás) válnak szükségessé.

A kitermelt összes vízmennyiségre vonatkozó két forgatókönyv közti hozamkülönbségen kívül a legfontosabb észrevétel, hogy a vízkészlet kb. 90 százaléka

igen hamar, 3,5-4,5 hét alatt kitermelhető, a maradék 10 százalék pedig további 2,5-3,5 hetet vesz igénybe (6.9. ábra).

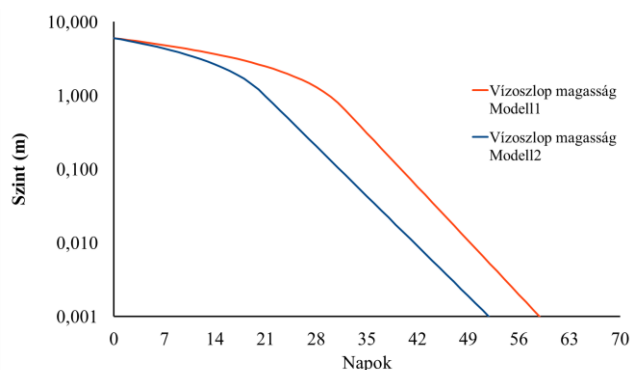


6.8. ábra: Becsült napi vízkitermelés



6.9. ábra: Becsült összes kitermelt vízmennyiség

A termelőkutakban a talajvízszlop változása a 6.8. és 6.9. ábrán bemutatottak alapján becsülhető. A 6.10. ábrán a talajban maradó vízszlop magasságot logaritmikus skálán ábrázolva látható, hogy az utolsó szakasz az igazán lassú, az egész folyamat 7-9 hét időtartamra becsülhető. Amennyiben lehulló csapadékkal is kalkulálunk a munkaterületen, úgy külön kell vizsgálnunk az egyes süllyesztési fázisokat. A víztelenítés kezdeti, indítási hozamszakaszában a beszivárgó csapadékvíz órák alatt kitermelődik. A víztelenítés végső fázisa esetében akár több nap is lehet a víz rendszerben történő transzportjának, ezáltal kitermelésének is az ideje.



6.10. ábra: Becsült talajvízszlop magasság

Az előzetes terveknek megfelelően

az elvégzett tesztek a vizsgált, részfalal körbezárt terület víztelenítésére továbbra is 9 db termelőkút üzembe helyezését indokolták (T1-T9). Ezen felül, a terület különböző pontjaira tervezett további 6 db piezo kút (P1-P6) szolgál a vízszintek változásának ellenőrzésére.

A kutak szerelvényezése egységesen a teszthez használt kapacitású szivattyúval megoldható, mindegyike saját távvezérelt elektromos szekrénnel, talajvízszint szenzorral és kútcsoportonként digitálisan regisztrált átfolyásmérővel (CS1-CS3) kiegészítve.

A rendszer mellé legalább 1 fő kezelő szükséges nappali munkarendben és internetes távoli elérés az online rendszerszintű ellenőrzéshez. A víztelenítés két darab hidegtartalék szivattyú helyszíni hozzáféréssel tervezhető.

6.5. Ideiglenes víztelenítő rendszerek - megvalósult víztelenítő rendszer

Feladat – Termelő és figyelőkutak üzemeltetése

A 6.4. feladatban részletezett tesztek alapján a résfallal körbezárt terület víztelenítése 9 db nagyátmérőjű termelőkut telepítésével valósult meg. A termelőkutak elhelyezésekor szempontként vették figyelembe azok térbeli egyenletes elosztását, a hidrogeológiai viszonyokat, valamint a földmunkavégzés nyomvonalait. A 6.11. ábrán látható a munkaterület részletes helyszínrajza a termelőkutak, vízvezető csővezetékek, valamint a szivattyúzáshoz szükséges villamosenergia hálózat feltüntetésével.



6.11. ábra: A víztelenítéssel érintett terület részletes helyszínrajza

A termelőkutakat 500 mm átmérőjű védőcső alkalmazása mellett, száraz spirál fúrással alakították ki. A száraz fúrásos technológia nagy előnye, hogy a felszín alatti rétegsor feltárható, megismerhető, az egyes rétegekből mintavétel valósítható meg, valamint elkerülhetők az esetleges keresztzennyezések a rétegek között. A kutak 315/300 mm külső/belső átmérőjű, tokos kiképzésű, egymásba csúsztatható, szegecseléssel rögzíthető, KG PVC szűrő/béléscsővel kerültek kiépítésre, központosító

alkalmazása mellett. A szűrőcső réselése 18% a teljes felületből, 0,75 mm résmérettel, a -1,0 és -9,5 m közötti szakaszon. A szűrővázat 2-4 mm-es osztályozott mosott gyöngykavics betöltésével alakították ki. A kutak talpmélységét a feküagyag elérésének függvényében határozták meg, a kút alját minimum 3 m mélyen a feküagyagba kellett kötni, így kb. 10-13 m mélységgel kerültek megvalósításra az akkori, aktuális terepszinthez viszonyítva. Az optimális kútkialakítás feltétele a kúttalp agyagba kötése, így a víztelenítés előrehaladtával az agyag felszínén megmaradó vizek is összegyűjtésre, majd kiemelésre kerülhetnek a termelőkutak segítségével.

Tekintettel a folyamatos földmunkavégzésre, ezáltal a felszín tengerszint feletti magasságának változására, az állandó tehergépjármű forgalomra, a gyakori vezetéknyomvonal módosításokra, így kútfejkiképzés nem történt. Ehelyett a kutak kútsapkával lettek ellátva, azok köré acél védőkorlát került, valamint 3 kút esetén felszín alá süllyesztett acél lemezes kútdoboz került telepítésre.

A tervezett – tesztvizsgálatok során meghatározott – vízhozamot, a kutak mélységét, illetve a kiárasztási pontok távolságát figyelembe véve, a termelőkutakban elhelyezett csőbúvár szivattyúk maximális térfogatárama 10-12 m³/óra, szállítómagassága minimum 15 m volt. A kitermelt víz 2"-os PE-100 csővezetéken keresztül került elvezetésre a meghatározott közműsatorna csatlakozási pontokhoz. A termelőkutak villamosenergia ellátásáért felelő elektromos kábelhálózat a vízvezető csövekkel párhuzamosan került kiépítésre, áramvételi pontként az építési területen kihelyezett mobil elektromos szekrények funkcionáltak.

Az egyes kutakból kitermelt víz mennyiségének regisztrálása vízórákkal történt.

Fontos megjegyezni, hogy a fentiekben leírt kiépített kút-, cső- és elektromos vezetékhalozat a földkitermeléssel párhuzamosan folyamatosan változott, a szűrő/béléscső hossza a felszín tengerszint feletti magasságcsökkenésével visszavágásra került, a tehergépjármű és munkagépforgalom függvényében a vezetékhalozatok nyomvonalában is gyakori változtatásokat kellett végrehajtani.

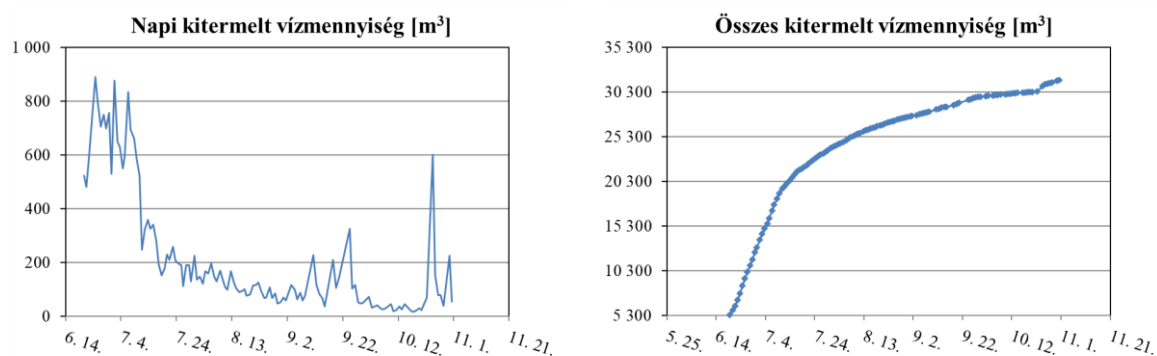
A fentiekben leírt vízkitermelő rendszer működésének, hatékonyságának ellenőrzésére 6 db vízszint figyelő kút is telepítésre került a munkaterületen.

A figyelőkutakat 219 mm átmérőjű védőcső alkalmazása mellett, száraz spirál fúrással alakították ki. A kutak 125/119 mm külső/belső átmérőjű, tokos kiképzésű, egymásba csúsztható, szegecseléssel rögzíthető, KG PVC szűrő/béléscsővel kerültek kiépítésre, központosító alkalmazása mellett. A szűrőcső réselése 18% a teljes felületből, 0,75 mm résmérettel, a -1,0 és -8,5 m közötti szakaszon. A szűrővázat 2-4 mm-es osztályozott mosott gyöngykavics betöltésével alakították ki. A kutak talpmélységét a feküagyag

elérésének függvényében határozták meg, a kút alját minimum 2 m mélyen a feküagyagba kellett kötni, így kb. 9 m mélységgel kerültek megvalósításra az akkori, aktuális terepszinthez viszonyítva.

Üzemeltetési tapasztalatok termelő és figyelőkutak esetén

Az üzemeltetés során a rendszer napi szinten került ellenőrzése, mely alkalmakkor megtörtént a termelő- és figyelőkutak vízszintjének feljegyzése, a vízórák által mért vízmennyiségek regisztrálása, a rendszer vizes és elektromos szerelvényeinek ellenőrzése. A 6.12. ábra mutatja a teljes üzemeltetési időszak alatt rögzített vízkitermelési adatsort. Jól látható, hogy az üzemeltetés kezdeti, kb. 20 napot felölelő időszakában a 6,4. példában bemutatottaknak megfelelően magas vízhozam volt jellemző, majd a görbe az idő előrehaladtával ellaposodott, a napi kitermelt vízmennyiség csökkenő tendenciát mutatott.



6.12. ábra: A mért vízkitermelés adatai (m³)

A napi és összes kitermelt vízmennyiség adatsoron is megfigyelhető, hogy a kitermelhető vízmennyiség a területen kevesebbnek mutatkozott az előre becsültnél. Ennek legfőbb oka a terület hidrogeológiai, rétegtani adottságainak változékonysága, ugyanis a fúrások során feltérképezett rétegsorok kis távolságon belül is nagymértékű változékonyságot mutattak, így összességében a rosszabb vízáradóképességű, vízzáró rétegek igen magas arányban voltak jelen a területen.

A mért napi vízkitermelést bemutató adatsoron megfigyelhető kisebb csúcsok, vízhozam tekintetében megjelenő növekmények több helyről eredeztethetők. A területre lehulló, majd a rétegekbe szivárgó csapadék okozhat növekményeket a napi kitermelt vízmennyiségben. A jelenség másik oka az egyszerre üzemeltetett kutak/szivattyúk számában keresendő, hiszen lévén, hogy építési területről beszélünk, a munkagépek forgalma, a földkitermelés térbeli változékonysága meghatározza az aktuálisan alkalmazható eszközök számát. A kutak számának tervezésekor érdemes a

felültervezés irányába elmozdulni, hiszen tapasztalatok szerint az egyszerre üzemben lévő kutak/szivattyúk aránya maximum 70-80%. Harmadrészt pedig a rétegsorok változékonysága szintén eredményezhet ilyen időszakos többletvizeket.

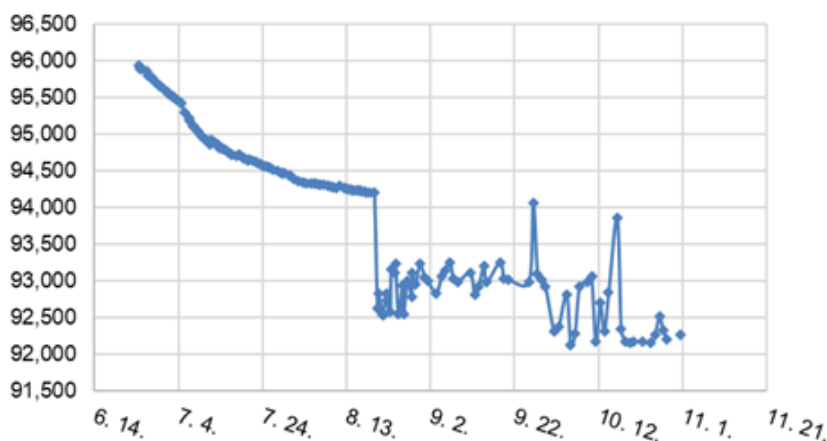
A víztelenítő rendszerek működtetése során a legnagyobb kihívást az építési munkálatokkal járó körülmények képezik. Az üzemeltetés alatt, tekintettel a munkagépek állandó mozgására, a földkitermelési ütemek helyszínének változásaira, eltérő számú szivattyú egyszerre történő üzemeltetése valósulhat csak meg. A munkagödör mélyítését a termelőkutak bélés/szűrőcsövének folyamatos visszavágásával követni kell. Nagyon fontos a kiépített eszközpark megfelelő figyelmeztető jelzésekkel történő ellátása és azok ellenőrzése, ugyanis tekintettel a munkagépek folyamatos mozgására az eszközökben könnyen keletkezhetnek visszafordíthatatlan sérülések (pl. földkitermeléskor kútbéléscső törése, ezáltal a kút megsemmisülése), vagy legalábbis a vízkitermelés ideiglenes leállítását okozhatják (pl. kotrógép által elvágott villamosenergia ellátásért felelős kábel). A bélés/szűrőcső minőségének helyes megválasztása javíthat a fenti problémán, azonban fontos, hogy míg egy műanyag cső esetén annak visszavágása könnyen, technikusok által gyorsan és hatékonyan megvalósítható, azonban a munkagépek által generált terhelésekre érzékeny, addig, egy acélcsöves termelőkút kiképzés esetén a béléscső bár ellenállóbb, a visszavágás munkavédelmi szempontból problémás, kevésbé megvalósítható, valamint annak beruházási költségei is hatványozódnak.

Lévén, hogy egy aktív építési területet vizsgáltunk, igen gyakoriak voltak az áramkimaradások, melyek forrása sokszor emberi hibára vezethető vissza (pl. csőbúvár szivattyúk elektromos dugaljának kihúzása).

A 6.4. példában leírtaknak megfelelően a vízszint változásának nyomon követése céljából figyelőkutak is telepítésre kerültek a munkaterületen, azonban a hatékony vízkitermelés érdekében idővel ezek is bevonásra kerültek a víztelenítésbe, így nyugalmi vízszint adatot ily módon nem szolgáltatottak. Ennek oka, hogy a termelőkutak száma, azok munkagépek általi megrongálódása miatt lecsökkent, így pótlásukra figyelőkutak gépészettel való felszerelése szolgált. A 6.13. ábrán látható a P2 figyelőkútban regisztrált vízszintváltozás, melyen jól látható a közel két hónap alatt bekövetkező vízszintsüllyedés, majd a csőbúvár szivattyú telepítését és beüzemelését követő markáns szintcsökkenés (augusztus 19.).

A kutak számának felültervezése hosszútávon kifizetődő, hiszen kútsérülés, nem várt feliszapolódás, esetén gyakran nincs lehetőség azok újrafúrására (pl. a földkitermelés olyan fázisban van, amikor már nem megközelíthető fúrógéppel az érintett vízkivételi pont). Ekkor a víztelenítés újratervezése, alternatív megoldások kifejlesztése további, előre nem kalkulált költségekkel járhat.

A fentiekben leírt megfigyelések egy részében folyamatos adatszolgáltatást nyújtó, online monitoring rendszer kiépítésével, a hibák azonnal feltárhatók lennének, ezzel lehetővé téve a gyors beavatkozást. Tekintettel arra, hogy a legtöbb esetben a költségek minimalizálása előrébb való, így ilyen típusú monitoring hálózatok, ideiglenes víztelenítés esetén, ritkán kerülnek kiépítésre.



6.13. ábra: P2 jelű figyelőkút vízszint adatai (mBf)

Üzemeltetési tapasztalatok zsompok esetén

Az idő előrehaladtával, ahogy az az összes kitermelt vízmennyiséget bemutató ábrán megfigyelhető, a görbe ellaposodik. A földkitermelés előrehaladtával, a vízzáró agyagfekü elérésekor a víz kitermelése egyre nagyobb kihívást jelent, hiszen ekkor már nagyobb súllyal vannak jelen a kitermelt vízmennyiségben a felszínre csapadék formájában lehulló és vízzáró réteg lévén el nem szivárgó vizek. Ekkor érdemes barázdákat, árkokat kialakítani a munkaterületen, melyek lejtésükkel a termelőkutak irányába tudják vezetni a rétegbe el nem szivárgó vizeket. Ezen felül a mélyépítési technológiából adódóan keletkező technológiai vizek elhelyezése is sokszor a termelőkutakra való árkos rávezetéssel történik. A fentiekben leírt mindkét eset hátránya, hogy a víz igen magas lebegőanyagtartalommal bírhat, mely a kút feliszapolódását, a szivattyú belső gépészeti elemeinek korai erodálódását, kopását, a vízelvezető csővezetékek tömődését okozhatja. A hibák elkerülése végett javasolt ilyen esetekben a kút körül egy újabb szűrőváz kialakítása, mely a fentiekben leírt vizek szűrését teszi lehetővé, ezzel megnövelve a műtárgyak élettartamát. Tapasztalataink szerint érdemes beruházni a csapadék-, csurgalék- és technológiai vizek elvezetésére akár több, mobilizálható zsomp munkaterületen való elhelyezésére, mely műtárgyak egyedi kialakítású, saját belső szűrővel rendelkező eszközök. Ezek mozgatása munkagépekkel könnyen megvalósítható, így lokálisan, adott földkitermeléssel, szerelési munkálatokkal érintett térrészbe egyszerűen elhelyezhetők.

7. Irodalomjegyzék

- [1] Barta Eszter: Kisminta modell használhatóságának kérdései a szivárgási tényező meghatározásánál, TDK dolgozat, BME, Budapest, 2012.
- [2] Bauer Spezialtiefbau GmbH: Soil Freezing, Brochure.
- [3] Burns, S.E., Mayne, P.W. Coefficient of consolidation c_h from type 2 piezocone dissipation test in overconsolidated clay. Proc. of Int.Symp. on CPT. 1995. 137-142.
- [4] CIRIA, C750 Groundwater control: design and practice, second edition, London, 2016
- [5] Galli L., Munkagödör víztelenítés, tervezés, méretezés, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1987
- [6] GRIFFIN: Coal ash Dewatering Solutions. Houston, USA.
- [7] e-UT 03.07.12 - Közutak víztelenítésének tervezése. Útügyi Műszaki Előírás
- [8] e-UT 06.02.11 - Utak és autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai, Útügyi Műszaki Előírás
- [9] D.11. utasítás. Vasúti alépítmény tervezése, építése karbantartása és felújítása. MÁV Zrt.
- [10] Hamvas Ferenc: Munkaterek víztelenítése. Tankönyvkiadó, Budapest, 1986.
- [11] <https://www.hatarilabs.com>
- [12] Imre E, Rozsa P, Bates L, Fityus S. Evaluation of monotonic and non-monotonic dissipation test results. COMPUTERS AND GEOTECHNICS 2010 37: 7-8. 885-904. DOI: 10.1016/j.compgeo.2010.07.008
- [13] Jakab és tsai Környezetvédelmi Kft.: Munkagödrök és földművek víztelenítésének modellezése MODFLOW környezetben. Kézirat. Gödöllő, 2020.
- [14] J. Patrick Powers, Arthur B. Corwin, Paul C. Schmall: Construction Dewatering and Groundwater Control: New Methods and Applications. John Wiley & Sons, 2008.
- [15] Kézdi Á., Markó I. Földművek víztelenítése. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1974.
- [16] Kovács Balázs: Hidrodinamikai és transzportmodellezés I. (Processing Modflow környezetben), Szegedi Tudományegyetem – Miskolci Egyetem – GÁMA – GEO, Szeged-Miskolc, 2004.
- [17] Lunne, T; Robertson, P.K.; Powell, J.J.M.. Cone Penetration testing. Blackie Academic & Professional; 1992. 1-312.
- [18] Marton, L. (2009.): Alkalmazott hidrogeológia. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.
- [19] Messer Hungarogáz Kft.: Nyolc nap alatt negyven méter mélyen fagyasztották át a talajt, Építési Megoldások, 2012.

- [20] MMK geotechnikai tagozat. Talajvízszint értékelése, a biztonság kezelése a geotechnikai tervezésben c. állásfoglalás. 2018.
- [21] MSZ EN 1997-1 Geotechnikai tervezés – Általános szabályok
- [22] MSZ EN 1997-2 Geotechnikai tervezés – Geotechnikai vizsgálatok
- [23] PLAXIS Manual
- [24] Raja Rajan K, Nagarajan D, Vijayakumar T.: Construction dewatering for underground station in urban environment, IGC-2018, Indian Geotechnical Conference, Bengaluru, India, 2018.
- [25] Soletanche Bachy: Technical Guide.
- [26] Starosolszky, Ö. (1973): Vízépítés II. kötet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- [27] Sycons Kft. Fúrt szivárgók alkalmazása. 2012.
- [28] Dr. Szabó Szilárd: Áramlástan gépek, Példatár. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2006.
- [29] Szepesházi R.: A talajjavítási módszerek környezetvédelmi értékelése, vizsgadolgozat, Miskolc, 2007.
- [30] R. Szepesházi, E. Koch, Á. Wolf: Numerical modeling of levees according to Eurocode 7, XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Edinburgh, 2015.
- [31] Szepesházi R. Geotechnika példatár I-II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992.
- [32] Szepesházi R. Geotechnika, kézirat, 2020.
- [33] Dr. Szűcs Péter. Hidrogeológia, Miskolci Egyetem Földtudományi Kar, 2014.
- [34] F. Tschuchnigg: PLAXIS course, Győr, 2013.
- [35] Waterloo Hydrogeologic: Sample Application of Visual MODFLOW Flex: Mine Dewatering at Open Pit Mine, Canada.
- [36] <http://www.ontozesmuzeum.hu>
- [37] <https://www.waterloohydrogeologic.com>
- [38] Varisco Wellpoints. The wellpoint system and ground dewatering, Italy.

A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

2017.

1. NÉMETH András, MILÁVE CZ Richárd Iparban használatos vízminőségek
2. DR. SZILÁGYI Zsombor, DR. SZUNYOG István Mérések a gáziparban
3. DR. BARNÁ Lajos, EÖRDÖGHNÉ DR. MIKLÓS Mária, DR. SZÁNTHÓ Zoltán, DR. BALLA József A biztonságos ívóvízellátás megteremtésének tervezési eszközei
4. BORBÁS Lajos Dr. Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben
5. BERENC SI Miklós, BERECZKY Ákos, HORVÁTH László, KOVÁCS Gergely, MIHÁLFFY Krisztina Kerékpárosbarát közlekedéstervezés
6. TŰDŐS Tibor, DR. VARJÚ György, DR. PETRI Kornél, GÁBOR András A csillagpontkezelés legújabb külföldi és hazai eredményei (Útmutató és tervezési segédlet)
7. DR. GARBAI László, DR. JASPER Andor, VÁRADI András Fűtési és használati melegvíz-igények kockázati elvű méretezése példákkal
8. KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint, LÁSZLÓ Csaba Tibor, JAKKEL Ottó A közúti vasutak (villamos) tervezésével kapcsolatos kézikönyv

2018.

9. BLAZSOVSZKY László A gázfogyasztó készülékek égéstermék elvezetésével kapcsolatos szabályozások hiányosságai és ellentmondásai
10. CSORDÁS Szilveszter, FORGÁCS Lajos Dr., PÓLYA Endre ifj., RÉV Zoltán, UDVARDY Péter Orvostechnológiai továbbképzés ismeretanyaga
11. NÁDASDY Tamás, EGYHÁZY Zita, KOVÁCS Ákos Sándor, SZECSŐ Dániel Géza A közúti biztonsági audit (KBA) jelentések elkészítésének alkalmazási segédlete – A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezeléséről szóló jogszabályhoz és útügyi műszaki előíráshoz kapcsolódó értelmezési, kidolgozási és elfogadtatási javaslatrendszer
12. DR. SZILÁGYI Zsombor, HORÁNSZKY Beáta Földgáz kereskedelem (mérnöki segédlet)
13. DR. SZILÁGYI Zsombor Az energiahordozók jövője – kőolaj, földgáz, megújulók
14. S. VÍGH Judit, DOHÁNY Máté Magános közlekedők baleseti súlyosságának csökkentése mobil applikáció segítségével
15. DR. BALIKÓ Sándor, DR. CSŰRÖK Tibor, NOVÁK Dániel, ORBÁN Tibor, DR. ZSEBIK Albin Ötletlapok I. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
16. DARABOS Zoltán, KOLTAI Henrik, SZABÓ Tamás, SZÁSZ Béla, VAJDA Sándor Felvonók felújítása és átalakítása – Műszaki segédlet
17. TŰDŐS Tibor, KRUPPA Attila Alapozásföldelők új tervezési elvei és kivitelezési módszerei – Tervezési segédlet és kivitelezési útmutató
18. FENYVESI Zsolt Tűzvédelmi tervek tartalmi szabályainak átdolgozása

19. GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Nagyméretű informatikai beruházásoknál (fejlesztéseknél) ajánlott szoftveroldali tervdokumentációk tartalmi elemeinek meghatározása (I. – II. kötet)
20. DR. DIVÓS Ferenc Az élő fák stabilitása – mérnöki megközelítés – Élő fák, mint teherhordó faszerkezetek
21. DR. KARÁCSONYI Zsolt Faanyagok tartós szilárdsága
22. BARNA Lajos Dr., ERDEI István, JASPER Andor Dr., TAKÁCS Gyula Segédlet épületek csatorna-berendezéseinek tervezéséhez
23. ANTÓK Péter István, FÜZÉR Ferenc, SÁRKÖZI András Fényvezető kábelszakaszok műszaki-minőségi ajánlás gyűjteménye
24. JANCSÓ Béla, DR. KULCSÁR Alexandra, NÉMETH Gábor, DR. VÍMI Zoltán, DÉRI Lajos, SZIMANDEL Dezső Vízijogi engedélyezési eljárással kapcsolatos dokumentációk és engedélyeztetéssel kapcsolatos követelmények a 2018.01.01-én hatályba lépett 41/2017. (XII.29.) BM rendelet alapján
25. DR. TAKÁCS Bence, DR. SIKI Zoltán, DR. ÉGETŐ Csaba, BÉNYI László Mérnökgeodéziában alkalmazott alapponthálózatok – A jó gyakorlat bemutatása mintapéldákkal
26. DR. MÓCZÁR Balázs, LAUFER Imre, TÓTH Gergő, WOLF Ákos Korszerű támszerkezetek tervezése
27. HALÁSZ Györgyné Dr., CSERVENYÁK Gábor, TUCZAI Attila, VIRÁG Zoltán Különböző funkciójú épületek klimatechnikája II.
28. KÁDI Ottó, JÓZSA Bálint Kerékpáros balesetek létesítmények szerinti vizsgálata
29. GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., PELLER József Bendegúz Hőteljesítményátviteli tényező alkalmazása távhőrendszerek optimális szabályozásának modelljében
30. GARBAI László Dr., SÁNTA Róber Dr., JASPER Andor Dr. A kompresszoros hőszivattyúk optimalizálása – Tervezés és üzemeltetés
31. LADÁNYI Gábor Dr. Diagnosztika a karbantartásban
32. MÉSZÁROS János, MOLNÁR Tibor, RITZL András KIÜRÍTÉSI ÉS MENEKÜLÉSI ÚTVONALBA ÉPÍTETT AJTÓK tervezési segédlet (2018)

2019.

33. BLAZSOVSZKY László Földgáz elosztóvezetékek üzemeltetése
34. DR. SZILÁGYI Zsombor A megújuló energiahordozók jövője Magyarországon
35. FORGÁCS Lajos Dr., HAIDEGGER Tamás Dr., PÓLYA Endre ifj. Új fejlesztések, innovatív megoldások az orvostechológia terén
36. VARRÓ Beáta, DR. KIS András Magyarországon előforduló, épületekbe beépített faanyagokat károsító gombák vizsgálata és azonosítása DNS diagnosztikával
37. MANNINGER Marcell, SZEPESHÁZI Attila, SCHEURING Ferenc, MOLNÁR György Munkatér határoló szerkezetek
38. KORSÓS András, RÁDULY Zsolt A közterületi és belterületi térfigyelő kamerarendszerek tervezési irányelvei
39. GERGELY Edit, DR. BEZEGH András Módszertani útmutató az üvegházhatású gázok közvetlen és közvetett kibocsátásának számítására
40. DR. BEZEGH András, BITE Pálné Dr., GERGELY Edit Városi környezetvédelem (Fenntartható és okos városok)

41. GÓDOR Balázs, DR. KÁSA László, SZÉKELY Bence Híddaruk méretezési segédlete (2019.)
42. FÜRJES Andor Tamás, KOTSCHY András, NAGY Attila Balázs, CSOTT Róbert Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban
43. DR. KARÁCSONYI Zsolt Faanyagok tartós szilárdsága
Faanyagok szilárdságának változása az idő függvényében
44. DR. BALIKÓ Sándor, ORBÁN Tibor, VARGA Péter, DR. ZSEBIK Albin Ötletlapok II. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
45. PRIMUSZ Péter, PhD. Hajlékony útpályaszerkezetek méretezése talajstabilizációk figyelembevételével
46. NÉMETH Balázs, HÁMORI Sándor, KOSTYÁK Attila, VÍGH Gellért Különböző funkciójú épületek klímatechnikája III. Segédlet ipari épületek lég- és klímatechnikai rendszereinek tervezése
47. JANCSÓ Béla, KAVECZKI Gergely, KÓCZÁN Gábor, LABORCZI Tamás, KNOLMÁR Marcell, RAUM László Csapadékvízgyűjtés tervezési követelményei
Hogyan tervezzünk városi csapadékelvezető rendszereket
48. DOHÁNY Máté, SCHVANNER Norbert Kerékpárosok sebességének felülvizsgálata jelzőlámpás csomópontokban
49. JÓZSA Bálint, S. VÍGH Judit Sebességcsökkentés hatásainak vizsgálata gyorsforgalmi utakon
50. DR. ZSEBIK Albin, NOVÁK Dániel Projektlapok I. – Energiahatékonyság növelő javaslatok projektlapjai
51. DR. MÓGA István Beruházási projektek szabályozási és szabvány környezete, Tervezési követelmények meghatározása
52. DR. GÁBORI László, DR. BEINSCHRÓTH József, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Informatikai Tervező szakmai minősítő rendszere (Informatikai szakmai terület illesztése a Mérnök Kamarai működési rendbe és rendszerekbe)
I. kötet: Konceptió és modell
II. kötet: Modell illesztése
III. kötet: Tudástár
53. VIRÁG Zoltán, GYURKOVICS Zoltán, SZAKÁL Szilárd, VIRÁG Zsolt, ORCSI Attila Országos Tűzvédelmi Szabályzat épületgépész értelmezése a szakmai gyakorlatban
Segédlet a gyakorló épületgépész mérnökök számára I.

2020.

54. DR. KISS Jenő, CSERMELY Gábor JAVASLAT az egyszerű bejelentésű lakóépület megvalósításának – tervezés építés – módszerére
55. DR. SZILÁGYI Zsombor A hidrogén a környezetbarát energiahordozó, Hidrogén az energetikában
56. VARGA Tamás, DR. SZEDENIK Norbert, DR. KOVÁCS Károly, KRUPPA Attila, KULCSÁR Lajos, KAPITOR György, TURI Ádám A nem norma szerinti villámvédelem egységes műszaki követelményrendszerének kialakítása és javaslat a teljes villámvédelmi szabályrendszer jövőbeli egységesítésére
57. KÁDI Ottó A gyalogközlekedés közúti keresztezései
58. MOLNÁR Szabolcs „Hulladékból konnektorba” A települési szilárd hulladék energetikai hasznosításának lehetőségei

59. VÁRDAI Attila Segédlet szabadidős létesítmények tartószerkezeti tervezéséhez
60. DR. BEJÓ László Szénlábnym-elemzés készítése a faiparban
61. JANCSÓ Béla, NÉMETH Gábor, SZIMANDEL Dezső Szakmai útmutató vízilétesítmény tervezők számára a 2020 január 1-én hatályba lépett „VIZEK keretrendszer” használatához
62. FELLEGI Zsóka, KARAFÁ Balázs, KOCH Edina, KOVÁCS Gábor, MURINKÓ Gergő, TÓTH Gergely József Munkagödrök és földművek víztelenítése
63. HOLÉCZY Ernő, OLÁH Róbert, DR. SIKI Zoltán, DR. TAKÁCS Bence, DR. TÓTH Zoltán, VARGA Tibor Módszertani útmutató az elavult ingatlan-nyilvántartási térképek korszerű technológiákkal végzett felújításához
64. DR. GÁBORI László, DR. MOLNÁR Bálint, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Az Informatikai Tervező tervezési segédlete
65. NÁDASDY Tamás, TOMASCHEK Tamás, PALÁSTY István, SZECSÓ Dániel Géza Dinamikus forgalomirányítás tervezői segédlete gyorsforgalmi úthálózat esetén
66. LENGYEL István Szakmai útmutató szolgalmi jogok alapításához (mérnöki segédlet)
67. NÉMETH Balázs, SZLOVÁK Krisztián, VÍGH Gellért Épületgépészeti tervezéshez praktikus, gyakorlati adatbázis
68. FÜRJES Andor Tamás, BORSINÉ Arató Éva, NAGY Attila Balázs, ILLYÉS László, BORSI Gergely Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban (példatár)
69. DR. BORBÁS Lajos, GONDA Zoltán Optikai feszültségvizsgálat – Kísérleti eljárás a konstrukció fejlesztésére, szerkezetek anyagfelhasználásának és teherhívésének optimalizálására