

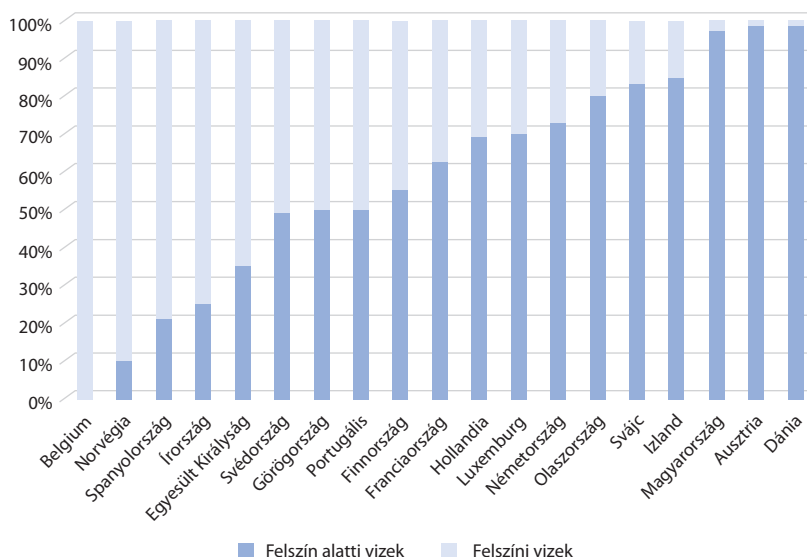
1. A vízszerezés módjai és műtárgyai

1.1. A vízszerezési módok arányai és tendenciái

A vízellátási folyamat első lépcsője a vízszerezés, de fontos, hogy egy vízszerezési célú műtárgy létesítése előtt a vízbázis gondos kiválasztása, kijelölése és védelembe helyezése megtörténjen. A vízbázisok megcsapolásának, kitermelésének számos módja terjedt el, ebben a fejezetben rövid áttekintést követően ezeket vesszük sorra.

1.1.1. A vízszerezés arányai és tendenciái

Megvizsgálva a világ országainak vízszerezési módjait azt tapasztaljuk, hogy a felszíni és felszín alatti vízszerezés egyaránt elterjedt és gyakorlott módszer. Az arányokat az 1.1. ábra mutatja.



1.1. ábra: Felszíni és felszín alatti vízszerezés arányai Európában (a szerző szerkesztése)

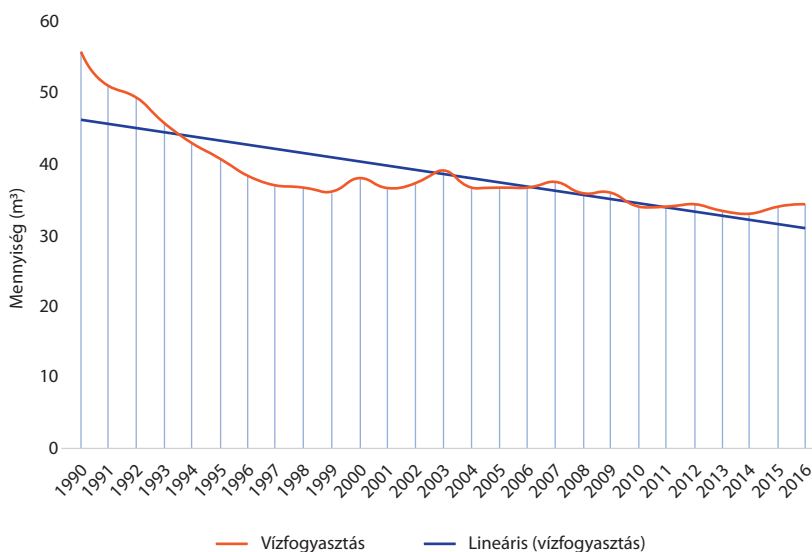
Számos, de természetesen közel sem végtelen kapacitású vízbázissal rendelkezünk, amelyek kihasználtsága a földrajzi, hidrogeológiai és demográfiai jellemzők miatt igen eltérő. Egyes vízkészletek – főleg a technológia hiánya vagy a magas költségek miatt – kiaknázatlanok, míg másutt a könnyen elérhető vízkészletek mára szinte teljesen kimerültek. A túlhasználatra a felszínen és a felszín alatt is találunk példát: az Aral-tó közel 70 000 km²-nyi vízfelülete mára töredékére csökkent, és a tavat elméletben tápláló Amu-darja és Szir-darja folyók egyike sem éri el eredeti torkolatvidékét, mert teljes vízhozamukat öntözésre használják. Szintén mezőgazdasági

használat miatt India egyes részein a talajvízszint helyenként 100 méterrel csökkent eredeti állapotához képest, ami – az ökológiai károkon túl – jelentős növekedést von maga után a víztermelés költségeire nézve, és komoly ivóvízhiánnyal fenyegeti az ott élőket.

A felszíni és felszín alatti vízszerezés megoszlása országanként jelentős eltérést mutat. Európa egyes országaiban – Belgium, Norvégia vagy a Brit-szigetek országai – a felszíni vízkivétel túlsúlyban van, ezzel szemben Magyarországon, Ausztriában és Dániában szinte csak felszín alatti vízkivétel történik. Az arányt, a helyi természeti adottságok mellett, az elterjedt vízszerezési és víztisztítási technológiák határozzák meg.

1.1.2. A vízszerezés hazai jellemzői

Magyarország ivóvízellátását közel kétezer ivóvízbázis biztosítja, jelentős többségük felszín alatti vízbázis. A vízszerezés természetesen szoros összefüggésben áll a vízigénnyel és a vízfogyasztással, ez utóbbiról pedig elmondható, hogy a globális vízfogyasztási ráta szignifikáns emelkedésével szemben a hazai vízfogyasztási adatok folyamatos csökkenő tendenciát mutatnak (1.2. ábra).



1.2. ábra: Az ivóvízfogyasztás mértékének és trendjének alakulása hazánkban (a szerző szerkesztése [1] alapján)

A csökkenő tendencia állandónak mondható, de a 90-es évek fordulóján az átlagosnál is határozottabb mértékű fogyasztáscsökkenés következett be. A 80-as évek elején feljegyzett adatok napi 4 millió m³ víz termelését rögzítették, ez az érték 2016-ban már alig a fele, 1 950 000 m³ volt.

A felszín alatti vízszerezésről szólva hazánkban egyaránt elterjedt a talajvíz, parti szűrősű víz, rétegvíz és karsztvíz termelése, és ugyan egymáshoz viszonyított arányuk változott az elmúlt évtizedekben, a csökkenő tendencia mindegyik esetében megfigyelhető.

1.2. Vízszerezés felszíni vízből

2016-ban Magyarországon 19 felszíni ivóvízbázist tartottunk nyilván, mintegy két nagyságrenddel kevesebbet, mint felszín alatti vízbázist. Felszíni vízszerezés hazánkban általában ott alakult ki, ahol a felszín alatti víz kitermelése nehézségekbe ütközött, de a felszíni víz minősége alkalmas volt a hosszú távú felhasználásra. A felhasználás célja és mennyisége, a felszíni víz adottságai, kitermelésének és kezelésének gazdaságossága határozta meg egy felszíni vízbázis kijelölését. Általánosságban elmondható, hogy a felszíni vízbázisra közvetlenül hatnak a meteorológiai, klimatikus és hidrológiai tényezők, vízminősége változó lehet, természetes vagy antropogén eredetű szennyezőanyagok pedig késleltetés nélkül jelennek meg benne. A felszín alatti vizekhez hasonlítva a lebegőanyag-tartalom és a szervesanyag-tartalom magas, amelyet a víztisztító technológia megválasztásánál figyelembe kell venni, továbbá a technológiának alkalmasnak kell lennie az esetleges vízminőség-változás követésére. Magyarországon 2016-ban több helyen felszíni vízbázis üzemelt, többek között a Balatonon, az Ipoly és a Zagyva mentén, valamint a Lázberci-víztárolónál. Vízminőség-védelmi szempontból felszíni vízbázisaink kivétel nélkül a sérülékeny kategóriába kerültek.

Felszíni vízkivételnek a korábban említett esetek mellett akkor lehet létjogosultsága, ha a körülmények nem teszik lehetővé állandó vízbázis használatát vagy kút kiépítését. Ilyen eset lehet, ha az ellátandó terület nem állandó helyszínen található, az ivóvíztisztító technológiát időnként át kell telepíteni, például katonai egység, menekülttábor, nagyobb vízigényű építkezés ideiglenes ellátására. Ilyen esetekben a vízellátás átmenetinek tekinthető, kút fúrására, kiépítésére nincs idő és lehetőség, életszerűbb egy felszíni vízbázis használata.

1.2.1. A felszíni vízszerezés előnyei és hátrányai

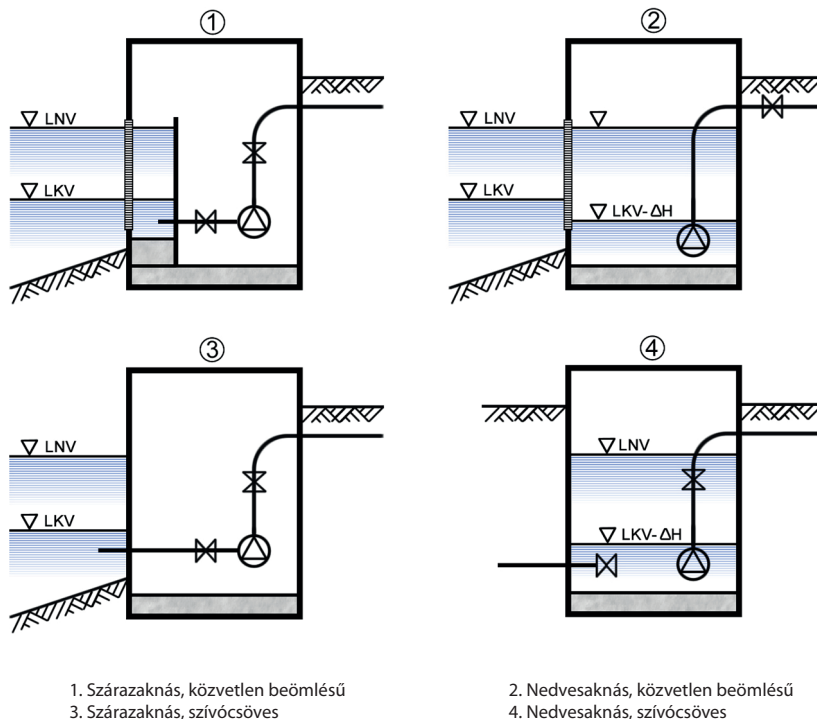
A felszíni vízszerezés kétségtelen előnye, hogy könnyen hozzáférhető, gazdaságosan kitermelhető, nincs szükség előzetes feltárára, próbafúrásra. A mérleg másik oldalán, azaz a hátrányok között azonban számos szempontot találunk. Felszíni víz esetében mindenképpen számolni kell úszó-lebegő szennyeződésekkel, amelyek a vízkivételi művek üzemét hátrányosan befolyásolhatják. A szélsőséges vízjárás is megnehezíti a vízkivételt, így efféle vízkivételi művek telepítése elsősorban olyan helyeken célszerű, ahol a vízjárás viszonylag kiegyenlített vagy mesterségesen szabályozható. Felszíni vizek vízminőségi paramétereit tekintve jellemző a kolloidméretű szennyezőanyagok és a vízben oldott vagy oldhatatlan állapotban lévő szerves szennyezők, mikroszennyezők jelenléte, amelyek kezelése a víztisztítási technológia külön lépcsőjét igényli. Felszíni ivóvízbázis használatánál fokozott figyelmet igényel, hogy bármilyen antropogén eredetű szennyezés késleltetés nélkül jelenik meg, azaz egy szennyezéssel járó haváriaesemény azonnali reakciót igényel.

1.2.2. A felszíni vízszerezés módjai és műtárgyai

A felszíni vízkivétel kialakításának legfontosabb szempontja, hogy az adott víztestre jellemző körülmények szélső értékei esetén is megfelelő biztonsággal üzemeltethető legyen. Emellett tekintettel kell lenni a víztest morfológiai tulajdonságaira, a vízminőségi jellemzők periodikus,

trendjellegű vagy haváriaszerű változásaira, illetve jellemző jégviszonyaira. Ebből adódóan más műtárgyak alkalmasak folyókból, tavakból, illetve víztározókból történő vízszerezésre.

Általánosságban vizsgálva egy felszíni vízszerezésre kialakított műtárgy lehet közvetlen beömlésű vagy szívócsöves működésű, kialakítása pedig egyaránt lehet szárazaknás vagy nedvesaknás. Mindkét megoldásnak vannak előnyei és hátrányai is, amelyeket mérlegelni szükséges.



1.3. ábra: Vízkivételi művek változatai (a szerző szerkesztése)

- Nedvesaknás megoldás esetén a műtárgy kialakítása általában egyszerűbben kivitelezhető, hiszen az akna vízzárósága nem feltétel. A víz alatt lévő szerelvények feliszapolódásának kockázata viszont fennáll, így ezek folyamatos karbantartása szükséges.
- Szárazaknás kivétel esetén a szerelvények és a szivattyú szélesebb termékskáláról választható, javítás, karbantartás könnyebben kivitelezhető, a szerelvények egyszerűbben hozzáférhetők. A műtárgy kialakításának lényeges feltétele azonban a vízzáróság, illetve az esetlegesen szivárgó és felgyülemelő víz eltávolításáról gondoskodni kell.

A száraz- és nedvesaknás, közvetlen beömlésű és szívócsöves kialakítású műtárgyakra a 1.3. ábrán láthatunk példát.

A felszíni vízbázisból történő vízszerezés eseteit a víztest típusa szerint célszerű csoportosítani, azaz megkülönböztetünk folyókból, tavakból és tározókból történő vízszerezést.

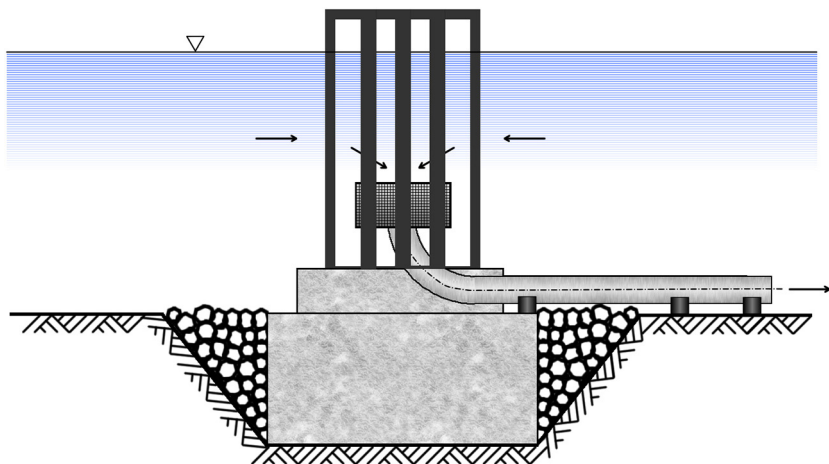
1.2.3. Vízszerezés folyókból

Folyóból történő vízkivételi mű hazánkban többek között a Zagyva mentén, az Ipoly és Bódva folyókon, a Dunán, Mohácsnál, valamint Szolnokon a Tisza jobb partján üzemel, de Szilvásváradon a Szalajka-patakon is találkozhatunk felszíni víztermeléssel. Folyóra telepített vízkivételi művek üzemeltetése esetén számos szempontot és paramétert figyelembe kell venni:

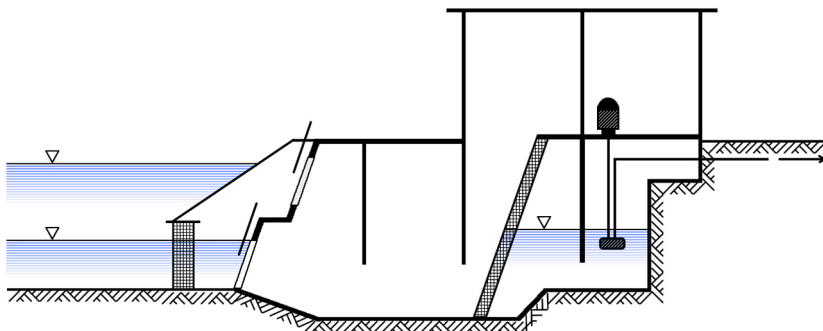
- a folyó jellemző vízjárását, a különböző vízállások gyakoriságát, tartósságát és trendjellegű változásait;
- a szükséges vízigény a legkisebb vízállás tartós előfordulása esetén is biztonsággal kielégíthető legyen;
- a víztermelés a legkisebb vízállásnál se befolyásolja jelentős mértékben a folyó környezeti állapotát;
- a jellemző jégviszonyokat, jégzajlás gyakoriságát és tartósságát;
- az úszó, lebegtetett, valamint görgetett hordalék mennyiségének alakulását;
- a vízminőségi jellemzők periodikus és trendjellegű változását;
- a folyó érintett szakaszán előforduló, szennyezés kockázatát hordozó haváriaesemények valószínűségét.

Kisebb vízfolyások esetében a vízjárás szélsőséges változására fel kell készülni, illetve az esetleges tartósan alacsony vízhozam lehetőségét figyelembe kell venni. Ilyen esetekben kisebb duzzasztómű és tározó létesítése célszerű lehet, amely egyrészt a kiegyenlítettebb vízellátást, másrészt a vízkivételhez szükséges vízmélységet is biztosítani tudja.

Nagyobb vízfolyások esetében a mederben kialakított szívócsöves vízkivételi mű (1.4. ábra), illetve a parton létesített közvetlen beömlésű műtárgy (1.5. ábra) alkalmazása jellemző.



1.4. ábra: Folyómederbe telepített szívócsöves vízkivételi műtárgy (a szerző szerkesztése)



1.5. ábra: Parton létesített közvetlen beömlésű vízkivételi műtárgy (a szerző szerkesztése)

A vízkivételi műtárgyak létesítésekor további olyan gyakorlati szempontokat szükséges figyelembe venni, amelyek a hosszú távú, zavartalan üzemeltetés alapját jelenthetik:

- Az antropogén szennyezések kockázatát figyelembe véve a vízkivételi művet célszerű települések feletti folyószakaszra építeni.
- Figyelembe kell venni a folyómeder hidromorfológiai sajátosságait. Vízkivételi mű stabil mederszakaszra építhető, lehetőség szerint a folyó mosott vagy egyenes szakaszára.
- A vízkivételi mű közvetlen környezetét a folyó mederalakító hatásától, illetve az abrúziótól védeni szükséges.
- Felszíni vízkivételi művet nem célszerű a folyó épített oldalára, illetve öbölbe telepíteni a feliszapolódás jelensége miatt.
- A vízkivételi művet az uszadéktól, jégzajlástól védeni szükséges.

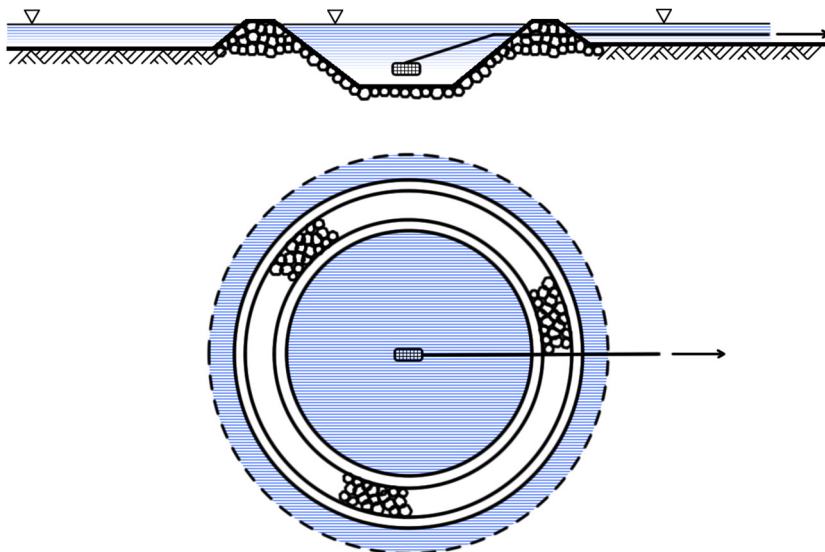
1.2.4. Vízszerezés tavakból

Többől történő vízszerezés Magyarországon csak a Balatonon folyik összesen 7 helyen, többek között Balatonfüreden és Siófokon is. A Balaton vízminősége általában I-es, vagy II-es kategóriába sorolható, így felszíni vízszerezésre alkalmas. Tavi felszíni vízkivételi mű létesítésénél figyelembe kell venni, hogy hazai tavaink mélysége általában sekély, ez pedig jelentősen megnehezíti a vízkivételt. Fontos szempont továbbá, hogy a tavak vízminősége általában a part mentén rosszabb, és a közepe felé haladva javul, így a vízkivétel helyének átgondolt megválasztása különösen fontos.

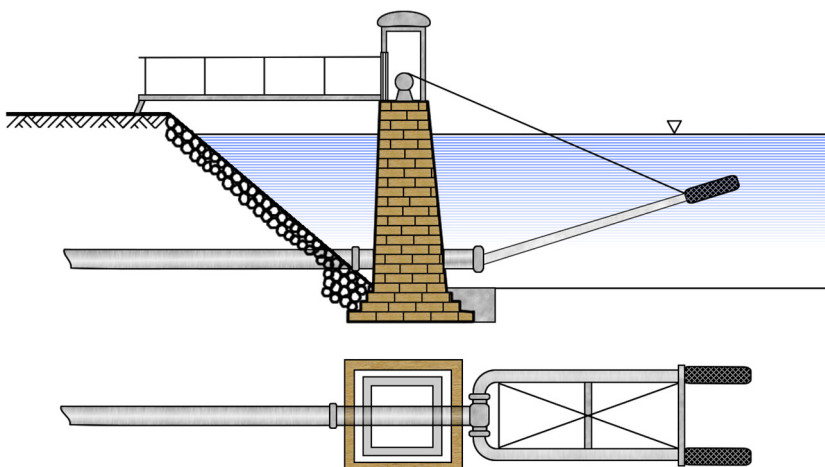
A sekély mélység miatt a vízkivétel többnyire csak szívócsöves megoldással oldható meg, a beömlés alatt tartandó 0,5-0,6 méter, valamint a beömlés feletti 1 méter biztosítása többnyire a meder kotrásával, átalakításával, illetve rendszeres karbantartásával biztosítható. A vízkivételi mű környékének feliszapolódását lehetőség szerint meg kell akadályozni. További probléma lehet – különösen sekély vizű tavaknál – a téli jégborítottság, ahol a kialakuló jégreteg megnehezíti vagy éppen lehetetlenné teszi a vízkivételt.

A meder kotrásával, átalakításával és biztosításával járó szűrőgátas vízszerezési megoldással tartósan biztosítható a megfelelő vízmélység. Kialakításának módját az 1.6. ábra mutatja be.

Olyan tavakban, ahol jellemző a vízszint szélsőséges alakulása, a vízkivételi műnek alkalmazkodnia kell a pillanatnyi vízálláshoz, hogy a szívócső alatti és feletti vízoszlop biztosítható legyen. Egy ilyen megoldást mutat be az 1.7. ábra, ahol a szívócső elhelyezkedése változtatható, így hatékony módon követhető a vízszintváltozás.



1.6. ábra: A megfelelő medermélységet biztosító szűrőgátas megoldás (a szerző szerkesztése)



1.7. ábra: A vízszintváltozás követésére alkalmas szívócsöves műtárgy (a szerző szerkesztése)

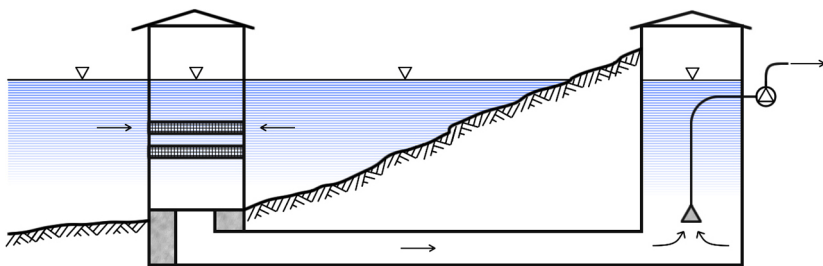
1.2.5. Vízszelés tározókból

Hazánkban több kis vízhozamú patakon is létesült olyan tározó, amelyből víztermelés is folyik. Többek között a Komra-patakon létesült Komravölgyi víztározó, a Gyöngyös-patakon működő Csórréti-víztározó, valamint a Bán-patakra épült Lázbérci-víztározó, utóbbi a legnagyobb kapacitású tározóból termelő felszíni vízkivételi mű.

Tározóknál a vízmélység változó, de egyes esetekben jelentős mélységű lehet, így különös tekintettel kell lenni a vízmélység okozta vízminőségi rétegzettségre. Már néhány méter mélység

esetén is jelentős vízminőségi különbség jelentkezhet az egyes rétegek között. Amíg a felszín közelében jellemző a jelentős oldotttoxigén-koncentráció, nagy algaszám, növényzet, úszó szennyeződések, addig a mélyebb rétegekben anaerob körülmények uralkodhatnak, és megjelennek a víz organoleptikus tulajdonságait hátrányosan befolyásoló vegyületek: vas, mangán, valamint kén-hidrogén és metán. A vízkezelő technológia egyes elemeinek helyes megválasztásánál ez meghatározó paraméter. Mindezekre tekintettel tározóknál változtatható szintű vízkivételi tornyok létesítése célszerű.

A fentiek mellett tározókból történő vízszerezés esetén figyelemmel kell lenni arra, hogy a tározóba ömlő vízfolyások vízminőségét mely hatások veszélyeztetik. Egy esetleges havária-jellegű szennyezés gyors és jelentős mértékű vízminőségromlást eredményezhet. Fontos szempont továbbá, hogy egy jelentősebb esőzés vagy hóolvadás során a tározó vize több, a tápláló vízfolyástól független irányból is szennyeződhet. Egy heves esőzést követően kialakuló villámárvíz jelentős mennyiségű úszó-lebegő hordalékot szállíthat a tározóba, amely a vízkivételi mű károsodását, illetve a későbbi bomlásából származó vízminőségromlást idézhet elő.



1.8. ábra: Vízkivétel mélyebb tóból vagy tározóból (a szerző szerkesztése)

Összességében elmondható, hogy a felszíni vízszerezés legnagyobb kihívása a periodikusan vagy éppen kiszámíthatatlanul változó környezeti viszonyok követése. A változó vízjárás és vízminőség, a kiegyenlítetlen hőmérséklet és oldotttoxigén-koncentráció, a rövid és hosszú távú hidromorfológiai változások gondos tervezést, különleges odafigyelést és gyors reakciósebességet igényelnek.

1.3. Vízszerezés felszín alatti vízből

Magyarországon 2016-ban a felszín alatti vízbázisok száma 1 933 volt. Jól látható tehát, hogy vízellátásunk jelentősebb részét fedezzük felszín alatti vízbázisokból. A vízszerezés módjainak és lehetőségeinek részletesebb elemzése előtt fontos a felszín alatti vizek típusainak megkülönböztetése, minőségi és mennyiségi tulajdonságainak ismerete.

1.3.1. A felszín alatti vizek típusai

A víztest elhelyezkedése alapján megkülönböztetünk talajvizet, rétegvizet, parti szűrészű vizet és karsztvizet. Közvetlenül a talajfelszín alatt a talaj háromfázisú, azaz a szilárd, a folyadék- és a gázhalmazállapot egyaránt jelen van. Az ebben a rétegben előforduló vizet talajnedvesség-

nek nevezzük, ezt azonban nem tekintjük felszín alatti víztípusnak. A talaj háromfázisú rétege a talajvíztükörig tart.

1.3.1.1. Talajvíz

A legfelső vízzáró réteg felett kialakult víztartó rétegben elhelyezkedő víztest. Felső határa a talaj-víztükör, mélysége jellemzően nem nagyobb, mint 50 méter. A talajvíztükör alatt a talaj kétfázisú, azaz szilárd és folyékony halmazállapot jellemző. A talajvíz mennyiségére és minőségére nagymértékben hatnak a meteorológiai és más környezeti viszonyok, és különösen érzékeny a felszín felől érkező szennyezésekre. Lebegő talajvíznek a feküvel, azaz vízzáró réteggel nem rendelkező talajvizet hívjuk, általában jelentősebb csapadékhullás után, felszíni beszivárgásból származik, és elhelyezkedése nem tekinthető állandónak. A talajvízre atmoszférikus nyomás jellemző, de bizonyos esetben, például részben zárt víztartóban kialakulhat nyomás alatti talajvíz is. Változó szintje, elérhető, kitermelhető mennyisége, valamint kevésbé ideális vízkémiai jellemzői miatt ivóvízellátásra történő használata nem jellemző, felhasználása inkább a mezőgazdaságban gyakori.

1.3.1.2. Rétegvíz

Két vízzáró réteg között elhelyezkedő víztest. Jellemzője, hogy a felszíni hatásoktól, szennyezésektől általában védett, de jelentősebb kitermelése esetén előfordulhat, hogy az utánpótlódás felszínhez közelebbi rétegekből történik, így szennyeződésének kockázata fennáll. Mennyiségi és miniségi ingadozások kevésbé jellemzők, fizikai és kémiai tulajdonságai kiegyenlítettebbek a talajvíznél. Jellemző szennyezői a vas, mangán és arzén, problémát okozhat még a metán és a szén-dioxid jelenléte, valamint a nyersvíz magas hőmérséklete. A réteg vízáadó képessége tág határok között mozoghat, rétegvízút fúrása előtt mindenképpen szükséges próbafúrások elvégzése és a vízáadó réteg alapos diagnosztikája. A rétegvíz kitermelése mélyfúrású kúttal történik.

1.3.1.3. Parti szűrészű víz

Felszíni víz közelében lévő felszín alatti vízbázis, amelyre jellemző, hogy a termelt víz utánpótlódása 50%-ot meghaladó mértékben a felszíni víztestből, beszivárgásból származik. A kitermelt nyersvíz minősége általában igen jó, akár az ivóvíz miniségi előírásainak megfelelő lehet. Különlegessége abban rejlik, hogy a felszíni víz mederfalán szivárgó víz természetes tisztulási folyamaton megy keresztül. A szivárgás során mechanikai, fizikai-kémiai és biológiai folyamatok zajlanak, amelyek következtében többek között a felszíni víz lebegő- és szervesanyag-tartalma csökken jelentős mértékben, valamint mikrobiológiai paraméterei akár több nagyságrenddel is javulhatnak. A szivárgás során a mederágy adottságainak függvényében a folyó vize változó arányban keveredik a felszín alatti vízzel, így a víztermelő kútból kitermelhető nyersvíz tulajdonképpen e kettő keveréke. Bizonyos szempontból a felszíni és felszín alatti víztermelés közötti átmenetnek tekinthető, de egyértelműen a felszín alatti vízszervezési módok közé sorolandó. Kitermelése jellemzően galériával, csőkúttal vagy csápos kúttal történik. Szennyezőanyag-tartalmát

jelentősen befolyásolja a parti szűrt víz és a háttérvíz aránya, utóbbi jelentősebb mennyisége magasabb vas- és mangántartalmat jelent.

1.3.1.4. Karsztvíz

Egyes hegységek – hazánkban a Bakony és az Északi-középhegység – területein előforduló felszín alatti vízforma, amely kitermelésre, vízkivételre általában kiváló minőségű és megfelelő mennyiségű. Megkülönböztetünk nyílt és zárt karsztot, előbbi érzékeny a külső szennyezésekre, utóbbi változó mértékben védett a felszín felől érkező szennyezésektől. Mivel a karsztképződményekre jellemző, hogy nagy területen, egymással összefüggő vízszállító járatok, hasadékok, barlangok fordulnak elő, ezért utánpótlódása általában jónak mondható. Fontos látni azonban, hogy a hazai karsztvízszint a múlt század végéig folyamatos csökkenést mutatott. Ez többek között annak is köszönhető, hogy a karsztvíz kitermelése – ellentétben a többi vízszervezési módtól – nem csupán a víz felhasználására irányul, hanem a mélységi bányászatot lehetővé tévő vízszintsüllyesztésre, vízmentesítésre is. A bányászat mértékének hazai csökkenésével karsztvizeink szintjének emelkedése tapasztalható.

1.3.2. A felszín alatti vízszervezés általános feltételei

A felszín alatti vízszervezés feltételei tulajdonképpen hasonlóak a felszíni vízszervezés feltételeihez, azaz könnyen elérhető, megfelelő minőségben és mennyiségben rendelkezésre álló és megfelelő mértékben utánpótlódó víztest jelenléte szükséges. Felszín alatti víz felhalmozódására alkalmas képződmény leginkább két közetrétegben alakulhat ki: laza, üledékes, szemcsés kőzetek (kavics, homokos kavics, durva szemű homok) pórusterében, illetve szilárd, de kevésbé tömör kőzetek repedéseiben, réseiben, üregeiben.

Előbbi geológiai képződmények, azaz a víztározásra alkalmas szemcsés-üledékes rétegek főleg a földtörténeti negyedkorban, folyóink által lerakott alluvialis teraszokon alakultak ki. A szemcsés rétegek az üledékképződési folyamatok következtében igen változatosak lehetnek, jellemzően agyag-, homok- és kavicsrétegek, illetve ezek keverékei fordulhatnak elő, ezek a rétegek kutatófúrással jól felderíthetők. A durva szemcseméret közötti pórustérfogat tartalmazza leginkább a kitermelésre alkalmas vízmennyiséget. Kijelenthető, hogy minél durvább szemcseméretű az üledék, annál kedvezőbb a pórustér hányada, amelyben a víz a potenciálszint-különbség hatására a kitermelés helyének irányába elmozdítható. Az egyes üledékrétegek egymásra helyeződésével a bennük tárolt vízkészlet tulajdonképpen konzerválódott és nyomás alá került, így alakultak ki a vízzáró rétegek között elhelyezkedő, nyomás alatti rétegvizek. A fedő képződmények által kialakított geológiai nyomás mellett további nyomást eredményezhet a rétegekbe került szerves anyagok bomlásából származó gázok keletkezése is. Nyomás természetesen a lejtősen elhelyezkedő vízzáró rétegek között felgyülemlett víz súlyából is adódhat.

A szilárd kőzetrétegek esetében szintén a jelentősebb pórustérfogattal rendelkező geológiai képződmények alkalmasak vízszervezésre. Ilyen képződményeket általában karsztvidékeken találunk, ahol a víz által kioldott repedésektől a barlang rendszerekig jelentős ösztérfogattal rendelkező üregek alakultak ki, amelyek számottevő mennyiségű és kitermelhető vizet raktározhatnak.

1.3.3. Utánpótlódás és vízmérleg

Kútból történő vízszerezés a kútban, illetve annak közvetlen környezetében lévő víz kitermelésével történik. A vízkivétel hatására a kút környezetében potenciálszint-csökkenés és úgynevezett depressziós tér alakul ki, amely hatására vízáramlás indul meg a kúttól távolabbi területek irányából a kút felé, így biztosítva az utánpótlódást. A folyamatos víztermelés idejének előrehaladtával a víz utánpótlódása egyre távolabbi területekről történik. Idővel – a depressziós tér megfelelő kiterjedése után – a csapadék beszivárgásból származó víz mennyisége kiegyenlíti a termelt víz mennyiségét, és a rendszer egyensúlyba kerül. Ebben a helyzetben a csapadékból történő beszivárgás fedezi a kitermelt víz mennyiségét. Egyes esetekben előfordulhat, hogy a kút közvetlen környezetében a beszivárgás nem valósul meg, ilyenkor a depressziós tér kiterjedtebb lesz, és a beszivárgás távolabbi területeken történik. Ilyen esetekben köztes vízvezető réteg közvetítésével történhet a víz utánpótlódása. Bizonyos esetekben a depressziós tér kiterjedése felszíni víztestet is elérhet, ekkor részben a felszíni víz biztosítja a kitermelt víz utánpótlását. Ez azonban nem összekeverendő a parti szűrés jelenségével, amely esetben a felszíni vízből történő beszivárgás jóval nagyobb, 50%-ot meghaladó mértékű. Ha a túlzott kitermelés hatására az egyensúly nem áll fel, és a beszivárgó csapadék mennyisége nem képes fedezni a kitermelt víz mennyiségét, talajvízszint-süllyedés lép fel. Hazánkban ilyen jelenség az Alföld egyes területein tapasztalható, ahol a talajvízszint süllyedése az évi 10 cm-t is elérheti. Negatív vízmérleg esetén a felszínközeli vízáadó réteg szintje fokozatosan csökken, illetve akár teljesen kiürülhet. Ilyen esetben a kitermelés energiaigénye és költségei is növekednek, így célszerű lehet korlátozást bevezetni, csökkentett igénybevétellel üzemelni, vagy más vízáadó réteget keresni. A leginkább célravezető megoldás természetesen a vízhasználat csökkentése kisebb vízigényű technológiák és módszerek alkalmazásával.

1.3.4. A felszín alatti vízszerezés megelőző vizsgálata

Egy kiválasztott víznyerőhely, illetve vízáadó réteg esetén minden esetben vizsgálni szükséges a rendelkezésre álló vízkészletet és az utánpótlódás megfelelőségét. Ezek a vizsgálatok alapvetően hidrogeológiai és hidrológiai adatokra épülnek, és a vizsgálandó terület általában jelentősen meghaladja a víztermelésre választott terület közvetlen környezetét.

Vízáadó rétegre víznyerési célból kutat vagy kútcsoportot telepítve előre meg kell becsülni, hogy a tartós víztermelés feltételei adottak-e. E vizsgálatok alapja a Darcy-féle szivárgási alaptörvény, amely felszín alatti vizekben írja le a szivárgás sebességét. Eszerint a szivárgás sebessége (v) arányos a szivárgási tényezővel (K) és a hidraulikai gradiennel (i). A Darcy-féle sebesség azonban a teljes vizsgált térfogatra vonatkozik, ezzel szemben a szivárgás csak a teljes térfogat szabad hézagtérfogattal arányos kisebb részében következik be, ezért a pórusbeli átlagos szivárgási sebességet (v_p) a Darcy-sebesség és a szabad hézagtérfogat hányadosaként kapjuk:

$$v_p = K \frac{i}{n_0} = \frac{K}{n_0} \times \frac{\Delta h}{dx}$$

A szivárgási tényező számításával történő meghatározásához a következő összefüggés alkalmazható:

$$K = A_s \times d_m^2 [m^2]$$

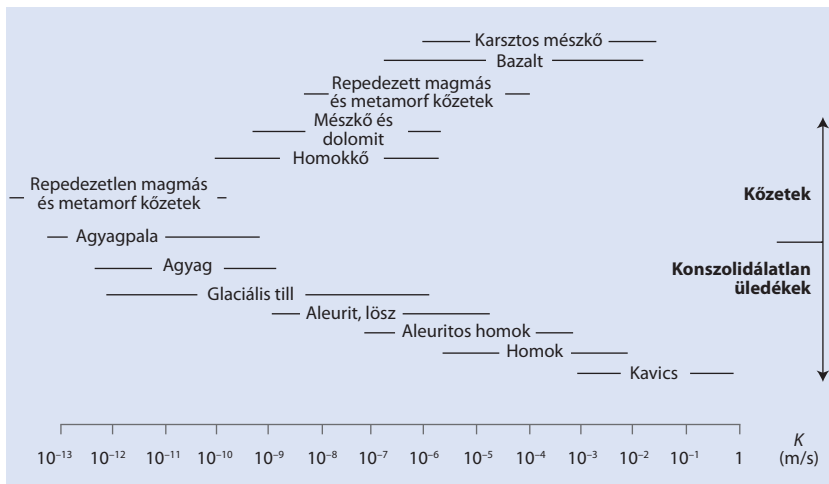
ahol

K – a vizsgált kőzet áteresztőképessége [m^2]

A_s – Slichter-szám

d_m – az adott kőzet mértékadó szemcseátmérője [m].

A szivárgási tényezők az egyes kőzettípusok esetében eltérőek, jellemző értékeiket az 1.9. ábra foglalja össze.



1.9. ábra: Különböző kőzettípusokra és üledékekre jellemző hidraulikus vezetőképességi értékek (k) (a szerző szerkesztése [2] alapján)

A kitermelőhely vízhozamának számítására a Dupuit–Thiem-féle összefüggések alkalmazhatók.

Szabadszínű szivárgásra:

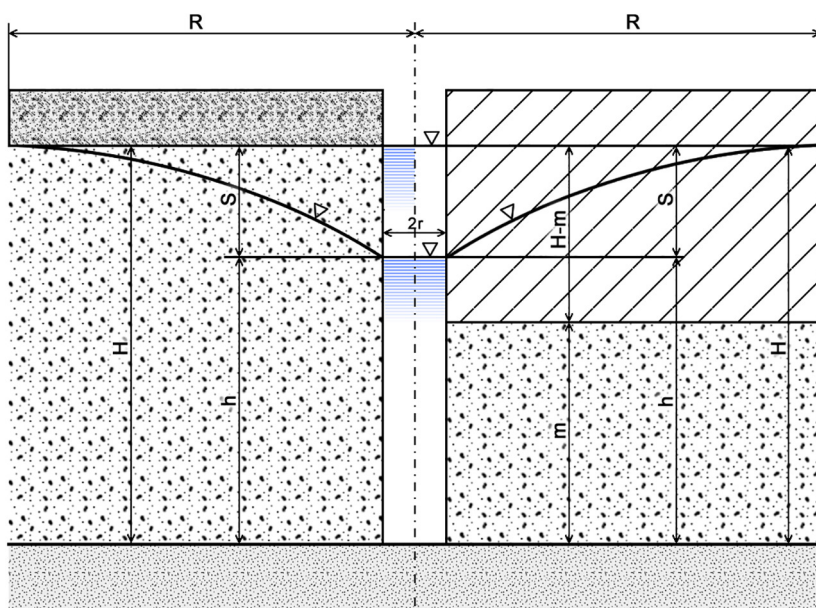
$$Q = \pi \cdot k \cdot \frac{H^2 - h^2}{\ln \frac{R}{r}}$$

Nyomás alatti szivárgásra:

$$Q = 2\pi \cdot k \cdot m \cdot \frac{H^2 - h^2}{\ln \frac{R}{r}}$$

Az összefüggésben szereplő jelölések magyarázatául az 1.10. ábra szolgál.

Természetesen ezek az összefüggések homogén környezeti feltételekből, azaz elméleti közelítésből indulnak ki, amely a természetben ritkán fordul elő. A gyakorlatban ezen összefüggések további bővítésekkel, korrekciókkal alkalmasak a különböző víznyerőhelyek vízkészletének és utánpótlódásának vizsgálatára.



1.10. ábra: A szabadfelszínű és nyomás alatti kutak vízhozamának számítása (a szerző szerkesztése)

1.3.5. Vízszerezés felszínhez közeli talajvízből

A felszínhez közeli talajvíz kitermelése az elmúlt néhány ezer évben a vízellátás legelterjedtebb megoldása volt. A technológia fejlődésével, mélyfúrású kutak létesítésével elérhetőek lettek a rétegvizek, így a talajvíz termelése és felhasználásának mértéke visszaesett. Ennek fő oka, hogy felső vízzáró réteg hiányában kifejezetten érzékeny a felszín felől érkező szennyezésekre, minősége változó, elérhető mennyiségét közvetlenül befolyásolják a meteorológiai viszonyok. Mezőgazdasági célra legtöbbször alkalmas, de közműves ellátásra általában nem, vagy csak jelentősebb kezelés után hasznosítható.

Egy háborítatlan felszínközeli víztest mennyiségi mérlegét tekintve a beszivárgás és a párolgás a meghatározó, de a legtöbb felszín alatti víztesthez hasonlóan itt is jellemzőek az oldalirányú mozgások, azaz a hozzáfolyás és az elszivárgás. Felszíni víztest közelsége esetén jellemző az azzal való hidrogeológiai kapcsolat.

A felszínközeli talajvíz általános jellemzői:

- szoros – ha nem is teljesen közvetlen – kapcsolat a felszínnel és a környezeti körülményekkel;
- felső vízzáró réteg hiányában a felszín felől érkező szennyeződésekkel szemben nincs természetes védettsége;
- a mennyiségi és minőségi jellemzői változók lehetnek, az utánpótlás területi jellemzői sem állandók;
- évszakosan változó, ingadozó hőmérséklet;
- jellemző szennyezői: vas-, mangán- és nitrogénvegyületek (ammónia, nitrit, nitrát), szennyvízből, állattartásból származó mikrobiológiai szennyezés;
- esetenként agresszív szén-dioxid jelenléte.

A talajvíz kitermelésének feltétele – hasonlóan más vízszervezési módokhoz – a gondos tervezési és előkészítési feladatok végrehajtása:

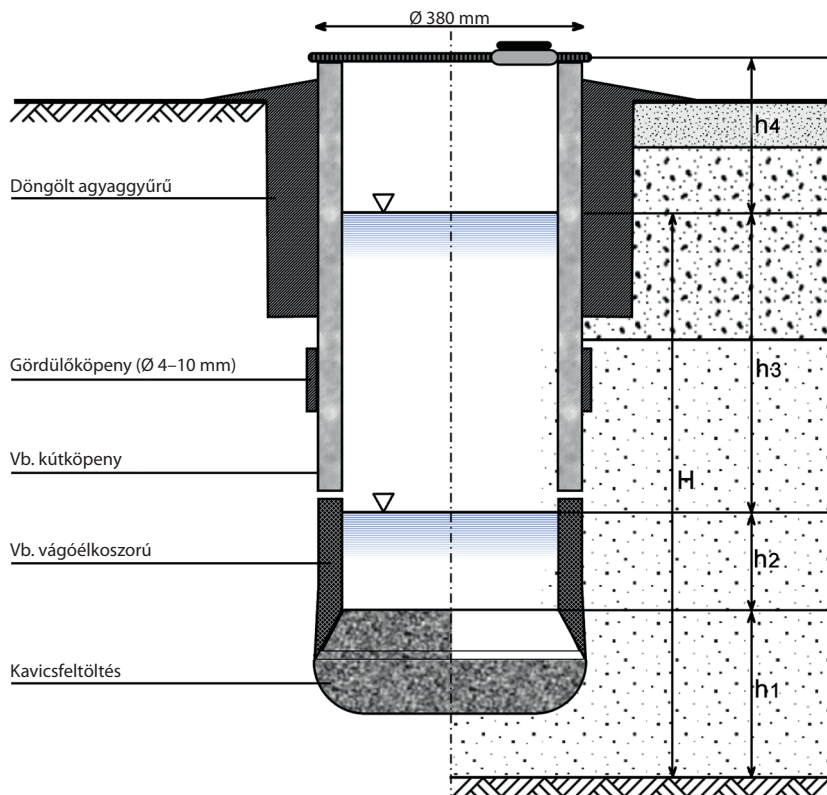
- a kijelölt víznyerőhely tulajdonságainak és alkalmasságának vizsgálata (próbaúrás, modellezés), vízkémiai összetétel elemzése, utánpótlódás számítása;
- az állandó és periodikus környezeti, valamint antropogén hatásokkal összefüggő vízminőség-változások pontos felderítése;
- a víznyerőhely környezetében folyó emberi tevékenységből adódó állandó, periodikus és haváriajellegű szennyezési kockázatok felderítése;
- technikai, gazdasági szempontok figyelembevételével a legalkalmasabb vízszervezési mód és eszköz meghatározása;
- szükség szerint a vízbázis védelembe helyezése.

1.3.5.1. A talajvízszervezés gyakorlati lehetőségei

Talajvíz kitermelésére jellemzően az aknakutak és a csőkutak alkalmasak.

Aknakutak

A felszín közelében elhelyezkedő talajvízkészletek kitermelésének hagyományos műtárgya az aknakút. Kiépítése a kút falát alkotó betongyűrűk fokozatos süllyesztésével történik, miközben a kút belsejéből a talajt kitermelik. A víz beáramlása aknakút esetében az oldalsó szűrőbetéteken, valamint fenékbeömlésű kút (1.11. ábra) esetében a talpon történik. Az aknakutak vízáadó képességének számítása összetett feladat, mert az utánpótlódó vízmennyiség a kút változó vízátlásának függvénye.



1.11. ábra: Fenekbeömlésű aknakút felépítése (a szerző szerkesztése)

A víztermelés megkezdésével a vízkitermelés a tározótérből történik, aránylag gyors vízszint-süllyedés mellett. A vízszint süllyedésével az utánpótlódás fokozatosan kezdődik meg, a vízszint süllyedése lassul a kitermelés és az utánpótlódás egyensúlyi állapotához közeledve, majd, ideális esetben, eléri azt. A termelés leállításával az utánpótlódás folytatódik a nyugalmi egyensúlyi állapot eléréséig.

Csőkutak

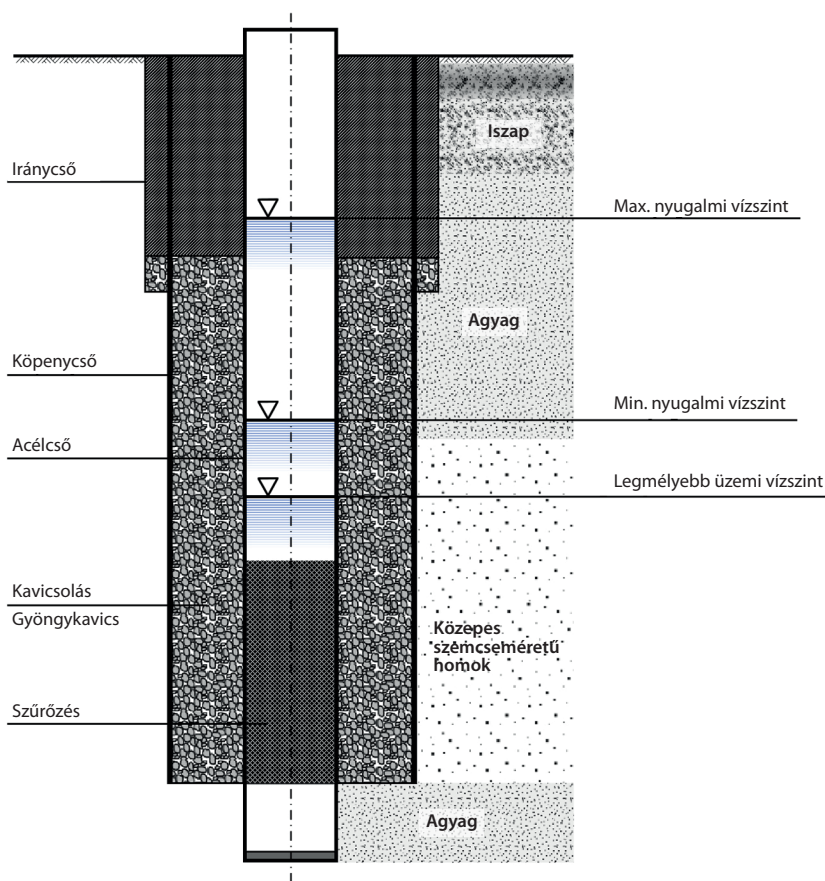
Sekély mélységű, azaz 50 méternél nem mélyebb fúrással létrehozott kút. A kút fokozatos mélyítésével és a kitermelt kőzetanyag szakaszos felszínre hozásával pontos képet kaphatunk a jellemző geológiai rétegadottságokról, így a kút ideális mélysége jól meghatározható. A csőkút kiképzése lényegében három lépésből áll: iránycső elhelyezése, béléscsővezetés és szűrőelhelyezés.

Az alkalmazható csőanyagok korábban acélból és azbesztcementből készültek, újabban főleg saválló acél, valamint műanyagok használata jellemző.

A szűrő a kút egyik legfontosabb része, célja, hogy a víz szabályozottan, optimális körülmények között és hosszú távon fenntartható módon áramoljon a kútba. Ezenfelül a szűrő anyagának

ellenállónak kell lennie a közetnyomással szemben, és lehetőség szerint tartós korrózióállóságnak kell jellemeznie.

A kút egyes elemeinek, valamint a szűrő anyagának gondos megválasztása mellett fontos szempont a szűrő nyílásméretének pontos meghatározása is. A szűrő nyílásméretének alkalmasnak kell lennie arra, hogy a rétegvázatot alkotó legkisebb szemcséket is megtartsa. Ez a kút működését alapvetően meghatározza. A szükségesnél nagyobb szűrőnyílás esetén a kúthozam általában magasabb lesz, a víz azonban jelentős mennyiségű homokot szállíthat, és a kút körüli rétegállapot nem állandósul. Az ilyen „homokoló” kút üzeme nem biztonságos és nem fenntartható. Alulméretezett szűrőnyílás esetén a szűrőváz kialakulása nem lesz megfelelő, a finom szemcsék a szűrő körül felhalmozódnak. A víz homokmentes lesz, de a kút hozama általában nem éri el a vízádórétgtől elvárt kitermelhető vízmennyiséget, a finom szemcsék jelentősebb felhalmozódása pedig a szűrő teljes eltömődését eredményezheti.



1.12. ábra: Csőkút felépítése kavicsövezet kialakításával (a szerző szerkesztése)

A perforált szűrők jellemzője a szűrőnyílás nagyobb mérete, ezért ilyen szűrőket általában akkor alkalmazunk, ha a szűrőcsövet durvaszemű kavicsréteg vagy szilárd közet veszi körül. A szűrőcső átmérőjétől függően 5–20 mm átmérőjű furatok, vagy 2–10 mm szélességű vágatokat

alakítanak ki, de a cső anyagának függvényében a megnyitás mértéke 15–20%-nál nem lehet nagyobb. Finomabb szemcseméretű anyag visszatartására inkább a sodronyszövetes szűrő alkalmas, amelyet a perforált vagy hasított szűrőfelület borítására alkalmaznak. Anyaga általában műanyag, bronz vagy sárgaréz. Színesfém sodronyszövet és az acél szűrőcső együttes alkalmazása esetén különböző elektrokémiai folyamatok indulhatnak el, korróziót eredményezve, erre a kút kialakításánál tekintettel kell lenni. Szűrőkialakítást és anyaghasználatot tekintve a piac mára igen változatos képet mutat, a technológiai fejlődésnek köszönhetően korszerű megoldásokkal találkozhatunk.

Csőkútnál a vízáadó réteg szűrő körüli állékonyságának növelése kavicsövezet kialakításával valósítható meg (1.12. ábra). A helyesen kialakított kavicsövezet átmenetet képez a természetes geológiai réteg és a szűrőcső között. Ezzel a módszerrel kisebb ellenállású szűrőt alkalmazhatunk, mert a szűrő nyílásmérete a kavicsövezet anyagához választható. A kavicsövezet kialakításával szilárd vázat hozhatunk létre, amely jelentősen megnöveli a kút stabilitását, így várható élettartamát is.

1.3.5.2. Kútrendszerek, kutak egymásra hatása

Általában egy kisebb vízmű nyersvízigényének ellátására sem elegendő egy kút, nagyobb kapacitású víztisztító mű esetén pedig kútsor vagy kútcsoport üzemeltetése jellemző. A korábban tárgyalt depressziós tér kialakulása minden kút jellemzője, ebből adódóan az egymás közelében üzemeltetett kutak hatással lesznek egymás működésére. A túlságosan kis távolságra telepített kutak negatívan befolyásolhatják az utánpótlódást, a jelentős távolság pedig az építési és üzemi költségeket növeli meg. Kútcsoportok kialakítása esetén tehát az egyes depressziós terek egymásra hatásával (interferenciájával) számolni kell. Az egymásra ható kutak vízhozamának számítása ma már megfelelő szoftverekkel jól modellezhető, korábban csak igen bonyolult képletekkel tudtuk megbecsülni. A kutak egymásra hatása csökkenthető, ha több egymás alatti vízáadó réteg található a vízbázison, így az igénybevétel megosztható, ha az egyes kutakat más-más vízáadó-rétegen üzemeltetjük. Ez a megoldás azonban csak akkor valósítható meg, ha a vízáadó rétegek kialakulása közel azonos időben zajlott és vízminőségi eltérés nem tapasztalható. Különböző vízkémiai összetételű vizek együttes kitermelése, keverése nem javasolt. Egy kútsor vagy kútcsoport kialakítása tehát gondos mérlegelést igényel. Fontos tényező többek között az elrendezés alakzata, a kutak közti távolság, a rendelkezésre álló terület nagysága, a vízáadó rétegek száma és kapacitása, valamint a kitermelhető víz minősége is.

1.3.6. Vízszerezés rétegvízből

A hazai vízellátás egyik legjelentősebb forrása a zárt rétegvizek, más néven mélységi vizek kitermelése. Magyarország területének nagyjából kétharmadán megfelelő minőségben és mennyiségben van jelen, sőt az ország jelentős részén tulajdonképpen ez az egyetlen vízszerezési lehetőség. A hazai termelt víz mennyiségének 52%-a rétegvizekből származik. Az antropogén szennyezésektől mentes rétegvíz általában kezelést követően alkalmas ivóvízellátásra, de az elmúlt fél évszázadban a rétegvízbázisokban megjelentek az emberi eredetű szennyezőanyagok. Egyes területeken olyan jelentős mértékben fordulnak elő szennyezők, hogy a vízbázis víztermelésre ma már nem alkalmas. A rétegvizek vízkémiai paramétereinek, valamint a szükséges ivóvíz-

tisztító technológiának ismeretében ivóvízszerezésre a parti szűrés megfelelőbb, ahol ilyen jellegű vízbázis elérhető.

1.3.6.1. A rétegvizek jellemzői

A rétegvizek legfontosabb jellemzője, hogy felülről és alulról egyaránt természetes vízzáró réteg alakult ki, így kevésbé érzékenyek a felszín felől érkező környezeti hatásokra. További fontos jellemzői:

- vízminősége kiegyenlített, nem jellemzőek az emberi tevékenységből származó szennyezőanyagok;
- hőmérséklete is kiegyenlített, az évszakos változások hatása nem jellemző;
- mivel a vízbázis zártnak tekinthető, ezért utánpótlódása kedvezőtlenebb, a csapadék beszivárgás közvetlenül nem hat rá;
- jellemző szennyezői a vas-, mangán- és arzénvegyületek, geológiai eredetű ammónium, gáztartalma jelentősebb lehet szén-dioxid és metán formájában;
- keménysége, össz sótartalma nem jelentős, nitrogénformák, mikrobiológiai szennyezések általában nem fordulnak elő;
- jelentősebb kitermelése esetén az utánpótlódás sekélyebb mélységű vízből is történhet, amely a felszín felől érkező szennyeződés kockázatát hordozza magában.

A rétegvízbázis használatba helyezésének előkészítő feladatai:

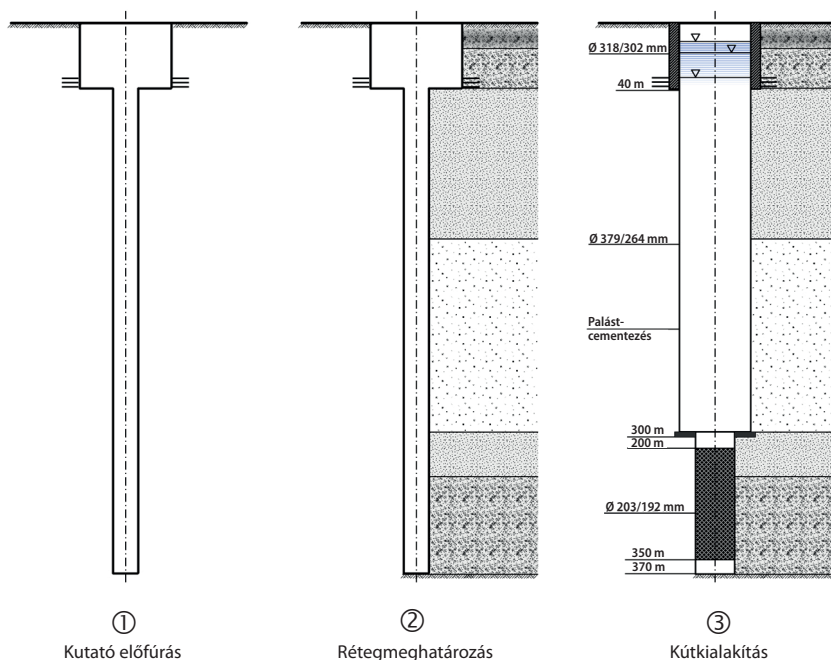
- a vízbázis, valamint az elérhető víz tulajdonságainak alapos feltérképezése;
- a rendelkezésre álló vízmennyiség számítása, az utánpótlódás lehetőségeinek modellezése;
- a telepítendő műtárgyak vízbázisra gyakorolt várható környezeti hatásainak vizsgálata, modellezése;
- szükség szerint a vízbázis védelembe helyezése.

Rétegvízbázis esetében is elvárás – a zártság és természetes védelem mellett – a vízáadó réteg vagy rétegek jó vízvezető képessége. A jellemző geológiai rétegrendről, szemszerkezetről, valamint a rétegvastagságról próbafúrással szerezhetünk információt, a hézagterefogat és a réteg vízvezető képessége számítható, valamint modellezhető.

1.3.6.2. A rétegvízszérés gyakorlati megoldásai

A rétegvíz kitermelésének műtárgya a mélyfúrású kút, amely működését tekintve megegyezik a csőkúttal, azonban építésének módjában jelentősen eltér attól. A jelentősebb mélységű, azaz 30–50 méter alatti fúrást a folyamatos haladást biztosító öblítéses rendszerrel végzik. A fellazított, különböző szemcseméretű anyagot az öblítővíz szállítja a felszínre. Tekintve, hogy a fúrás során a geológiai rétegek anyaga vízzel és egymással keveredve kerül a felszínre, mintavételre, geológiai rétegrend vizsgálatára nem alkalmas. A rétegrend meghatározására egyéb módszerek alkalmazhatók. A kút fúrásának első lépése a kereső előfúrás, amelyet a rétegrend meghatározása követ, végül a kút tényleges kiképzése következik (1.13. ábra).

A mélységi fúrt kút létesítésénél is fontos a stabil rétegváz kialakítása, a szűrőzés elve és kivitelezése is hasonló, mint a csőkút esetében. A kút átmérőjének növelése előnyös az egyes szerkezeti elemek beépítése miatt, valamint így, a nagyobb tározóterefogatnak köszönhetően, a víztermelés kezdetén a kút terhelése kisebb lesz.



1.13. ábra: Mélyfúrású kút szerkezete és telepítésének lépései (a szerző szerkesztése)

Az átmérő növelése természetesen a kivitelezés költségeinek növekedésével is jár. A mélységi rétegvízbázisok zárt helyzetük miatt általában megfelelő természetes védelemmel rendelkeznek, nem minősülnek sérülékenyek, így a víznyerőhely műtárgyai közvetlen környezetében kialakított védőterület elegendő lehet. A kutak, kútcsoportok kialakításánál, valamint a kutak egymásra hatásánál hasonló szempontok vizsgálandók, mint a sekélyebb mélységű csökutak esetében.

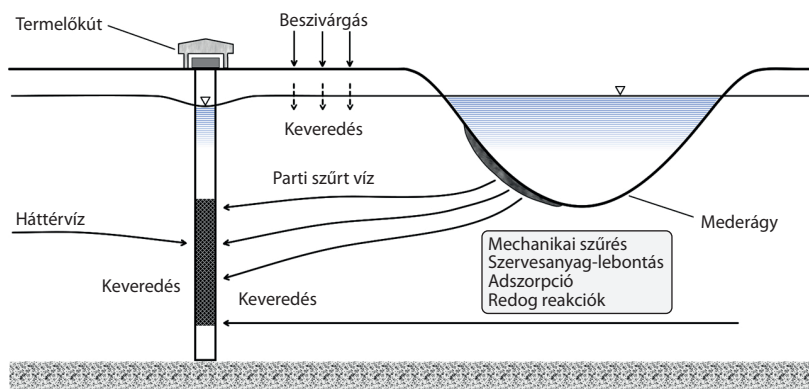
1.3.7. Vízszelés parti szűrésű vízbázisból

A parti szűrés folyamatának lényege, hogy a felszíni víz – legtöbb esetben egy folyó vize – egy jó vízvezető képességű üledékes kavicsrétegen, a mederágyon átszűrődve jut el a közelében létesített víztermelő kútba. A folyó vízének a mederágyba történő beszivárgása és a kút irányába történő áramlása a természetes mozgások mellett a víztermelés hatására következik be. Ez a mesterséges létrehozott áramlás a vízbázisból kitermelt víz mennyiségének függvényében határozza meg a szivárgási időt, amely a parti szűrés folyamatának lényeges tényezője. A szivárgás során lezajló mechanikai, fizikai-kémiai és biológiai folyamatok következtében főleg a felszíni víz lebegő- és szervesanyag-tartalma, valamint mikrobiológiai paraméterei javulhatnak jelentős mértékben. A parti szűrésű víz további fontos jellemzői:

- vízminősége kiegyenlített, nem jellemzőek a hirtelen vízminőség változások;
- hőmérséklete is kiegyenlített, az évszakos változások hatása nem jellemző, illetve csak minimális mértékben jelentkezik;

- az utánpótlódás főleg a folyó vízhozamától, vízjárásától függ. Egy Duna-méretű folyó esetében ez nem jelent gondot, kisebb folyók esetében azonban szükség lehet kiegészítő tevékenységre, például talajvízdúsításra;
- a szennyezőanyagok előfordulása és koncentrációja minimálisnak mondható, a háttérvízből származó vas-, mangán-, esetleg nitrogénvegyületek jelen lehetnek;
- a kolmatáció jelensége hátrányosan befolyásolhatja az utánpótlódást, és megnövelheti a kitermelt vízben a háttérvíz arányát.

A szivárgás során, a mederágy adottságainak függvényében, a folyó vize változó arányban keveredik a felszín alatti vízzel, így a víztermelő kútból kitermelhető nyersvíz tulajdonképpen e kettő keveréke. A vonatkozó kormányrendelet alapján a szűrt folyóvíz arányának a termelt vízben legalább 50%-nak kell lennie [3], de az elmúlt évtizedekben elvégzett oxigén- és hidrogénizotópos vizsgálatok is alátámasztják, hogy ez az arány vízállástól és mederanyagtól függően 60% és 95% között változhat. Évtizedek tapasztalatai azt mutatják, hogy szerencsés, ha a szűrt folyóvíz aránya lényegesen nagyobb a felszín alatti víz (úgynevezett háttérvíz) arányához képest. Ez utóbbi általában határérték feletti vas- és mangántartalommal, esetenként nitrogénformákkal szennyezett, így ilyen esetben kiegészítő vízkezelési technológia üzemeltetése elengedhetetlen. Egy jól működő, magas szűrt víz aránnyal rendelkező parti szűrészű kút vize akár az ivóvízszabványnak megfelelő paraméterekkel termelhető ki, azaz közvetlen fogyasztásra is alkalmas lehet. Ilyen arány elérése legtöbbször csak szigeten létesített ivóvízbázison lehetséges, ahol minden irányból parti szűrt víz áramlik a kútba, a háttérvíz aránya pedig minimális. Az ilyen kútból termelt nyersvíz gyakorlatilag ivóvíznek tekinthető, és utófertőtlenítés után az ivóvízhálózatba továbbítható. Az utófertőtlenítésre a kiterjedt ivóvízhálózatok miatt van szükség, ahol a tartózkodási idő néhány órától egy-két napig is terjedhet, de ezalatt az ivóvíz megfelelő állapotát egészen a fogyasztóig fenn kell tartani.



1.14. ábra: A parti szűrés folyamatai (a szerző szerkesztése)

A parti szűrészű vízbázis használatba helyezésének előkészítő feladatai:

- a vízbázis geológiai rétegeinek alapos feltérképezése;
- a folyó hidromorfológiai tulajdonságainak, trendjellegű változásainak alapos megismerése;
- a rendelkezésre álló vízmennyiség számítása, az utánpótlódás lehetőségeinek modellezése;
- a telepítendő műtárgyak vízbázisra gyakorolt várható környezeti hatásainak vizsgálata, modellezése;
- a vízbázis védelembe helyezése, védőövezetek, védőidomok kijelölése.

Fontos leszögezni, hogy a vízbázisból kitermelt víz mennyisége által jelentősen befolyásolt szivárgási időnek meghatározható egy ideális tartománya. Túl gyors szivárgási sebesség esetén a várt folyamatok nem zajlanak le teljes mértékben, és a felszíni vízre jellemző szennyezések elérhetik a termelőkutat. Az ideálisnál lényegesen hosszabb szivárgási idő esetén pedig a víz tartósan anaerob állapotba kerül, és e körülmények között nem kívánt kémiai folyamatok zajlanak le. Ilyen reakció a már oxidált állapotban lévő vas visszaoldódása, amely koncentrációja így a kút nyersvizében megemelkedik, ez pedig további vízkezelési lépéseket tesz szükségessé.

Felismerve azt a tényt, hogy a parti szűrészű kút által termelt nyersvíz más típusú felszín alatti vizekkel összehasonlítva lényegesen alacsonyabb üzemi költségek árán alakítható ivóvízzé, a parti szűrészű vízszerezés hazánkban és a világ más országaiban is gyakran, jelentős arányban alkalmazott módszer.

1.3.7.1. A parti szűrészű víz általános jellemzői

Parti szűrészű vízszerezésre a durva szemű, szemcsés-törmelékes szerkezetű (kavics, homokos-kavics, kavicsos-homok), valamely felszíni víztesttel kapcsolatban lévő vízáadó rétegek alkalmasak. Ilyen vízbázisokat találunk hazánk kisebb-nagyobb folyói mentén, azok hordalékkúpjain, alluviális teraszain. A jó vízvezető képességű geológiai rétegekbe jutó folyóvíz megőrzi előnyös tulajdonságait (alacsony vas- és mangántartalom, az arzén, a szén-dioxid és a metán hiánya, oxikus tulajdonságok), de a szűrési folyamatok hatására a felszíni vizekre jellemző szennyezőanyagok (lebegő- és szervesanyag-tartalom, kolloidméretű szennyezőanyagok, mikrobiológiai szervezetek) koncentrációja jelentősen csökken. Egy jól működő parti szűrészű kút által termelt nyersvíz akár az ivóvízszabványnak is megfelelhet.

A parti szűrés jól leírt jelensége a kolmatáció. A jelenség a mederágy szivárgási útjainak eltömődését jelenti. Megkülönböztetünk fizikai kolmatációt, amely esetben a vízzel együtt beszivárgó apró agyag- és iszapszemcsék tömítik el a szivárogtatásban szerepet játszó térrészt, illetve kialakul biológiai kolmatáció is, amikor a felszaporodó biofilm okozza az eltömődést. Eddigi ismereteink alapján a kolmatált réteg vastagsága mindössze néhány centiméter, a réteg pedig közvetlenül a mederfal vízzel érintkező oldalán helyezkedik el. Habár a jelenség kapcsán számos kutatás született, kialakulásával kapcsolatosan sok tényező mindmáig tisztázatlan. Nem ismerjük pontosan, hogy az adott vízbázis kiterjedése, hidromorfológiai tulajdonságai, a vízfolyás lebegő- és szervesanyag-tartalma, valamint a termelt víz mennyisége hogyan befolyásolja a kolmatált felület kiterjedését, vastagságát. Arról is csupán hiányos ismereteink vannak, hogy a kolmatáció kialakulása után hogyan változnak meg az áramlási viszonyok a mederágy rétegein belül. A kolmatáció kapcsán a legkevesebb tapasztalattal a lebontási folyamatokban szerepet játszó biofilm genomikai összetétele, viselkedése, pusztulása és bomlási folyamataival kapcsolatosan rendelkezünk.

1.3.7.2. A parti szűrészű vízszerezés gyakorlata

Egy kút vagy kútsoport elhelyezése parti szűrészű vízbázison különös odafigyelést, alapos számítást és modellezést igényel. Összességében elmondható, hogy ideális állapotnak tekintjük, ha a kút által termelt nyersvízben jelentős a szűrt víz aránya, a háttérvíz arányához viszonyítva. Ha a kút túl közel kerül a mederhez, a medermozgásból, valamint az árvízveszélyből származó

kockázat magas lehet, ezenfelül a túlságosan rövid szivárgási úthossz miatt a várt szűrési folyamatok nem zajlanak le a kívánt mértékben. Ha a kút túlságosan távol kerül a medertől, úgy a jelentős szivárgási idő alatt a szivárgó vízben anaerob körülmények kialakulása várható, ami nem kívánt kémiai reakciók (pl. vas- és mangán-visszaoldódás) alapja lehet. A túl magas háttérvízárány pedig megnöveli a vízben a talajvízre jellemző szennyezőanyagok (vas, mangán, ammónia) koncentrációját.

Parti szűrésű vízszerezésnél is fontos, hogy az utánpótlódás biztosított legyen. Ez, főleg hazai folyóink esetében, általában nem jelent gondot, de tartósan alacsony vízállás, megnövekedett víz-hőmérséklet, esetleg valamely szennyezőanyag koncentrációjának megemelkedése vízminőségi problémákat okozhat. Az utánpótlódás kiegyenlítésére, valamint a vízminőség stabilizálására alkalmazott módszer a talajvízdúsítás, amelyet ebben a fejezetben részleteiben is tárgyalunk.

1.3.7.3. Víztermelési megoldások

Parti szűrésnél azt az állapotot tekintjük ideálisnak, ha a víz egyenletesen szivárog be a mederfalba, az áramlás sebessége a vízkivételi mű irányába állandó, és a szűrt víz arány megfelelően magas. Ebből kifolyólag víztermelő rendszert, kútsort a folyómederrel párhuzamosan célszerű kiépíteni. A vízbázis kiválasztásának felszíni szempontjai:

- a kút vagy kútsor a meder mosott partéleire vagy egyenes szakaszára épüljön;
- a mederfal biztosított legyen a folyó romboló hatása ellen;
- a vízbázis közelében ne legyenek jelentős szennyezőforrások;
- vízbázist a folyó ellátandó terület (település, ipari komplexum) feletti szakaszán jelöljenek ki.

A vízbázis kiválasztásának felszín alatti szempontjai:

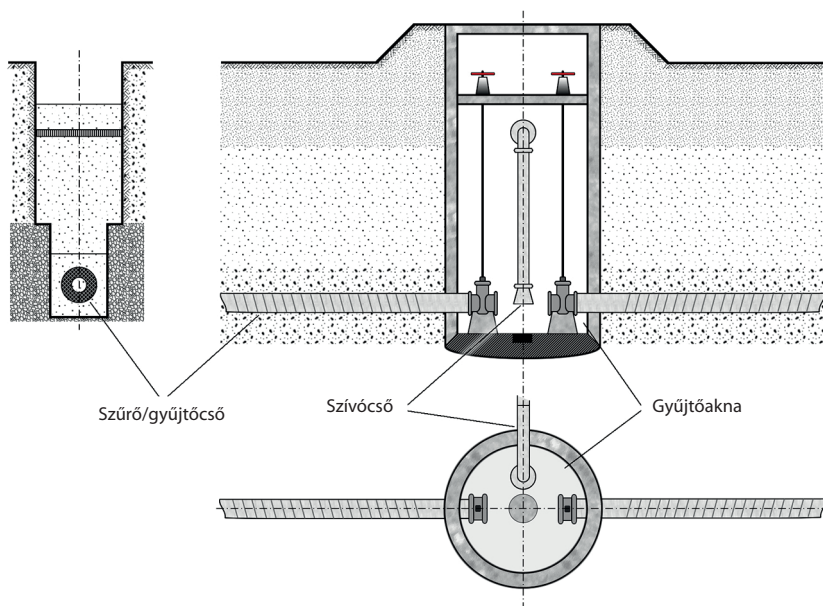
- a vízáadó réteg kapacitása lehetőleg lényeges mértékben haladja meg a várható vízigényt;
- a vízáadó réteg geológiai összetétele lehetőleg durva szemű, homogén összetételű üledék legyen;
- a vízáadó réteg megfelelő vastagságú legyen, mert ez biztosítja az utánpótlódást és az egyenletes áramlási irányt és sebességet.

A parti szűrésű vízszerezésre alkalmas műtárgyak a galéria, a fúrt kút és a csápos kút.

1.3.7.4. Galéria

A parti szűrésű galéria egy közel vízszintes, a parttal párhuzamos kialakítású vízszerezési műtárgy, amelynek vízszintes hosszmérete nagy és egy, vagy több perforált cső gondoskodik a víz összegyűjtéséről. A kis esésű cső gyűjtőaknába torkollik, ahonnan a víz termelése szivattyúval valósul meg.

Galériát általában jó vízáadó képességű, de csekély vastagságú vízáadó rétegbe érdemes telepíteni, ahol egy fúrt kút vagy csőkút nem tudna megfelelő kapacitást biztosítani, ezért a vízszerező műtárgyat inkább horizontális kiterjedéssel érdemes kialakítani. Hidraulikai szempontból ideális megoldás, hiszen a parttal párhuzamos kialakítás a vízáadó réteg egyenletes igénybevételét biztosítja. Hazánkban kevésbé elterjedt, de a Fővárosi Vízművek kezelésében találhatunk ilyen műtárgyat.



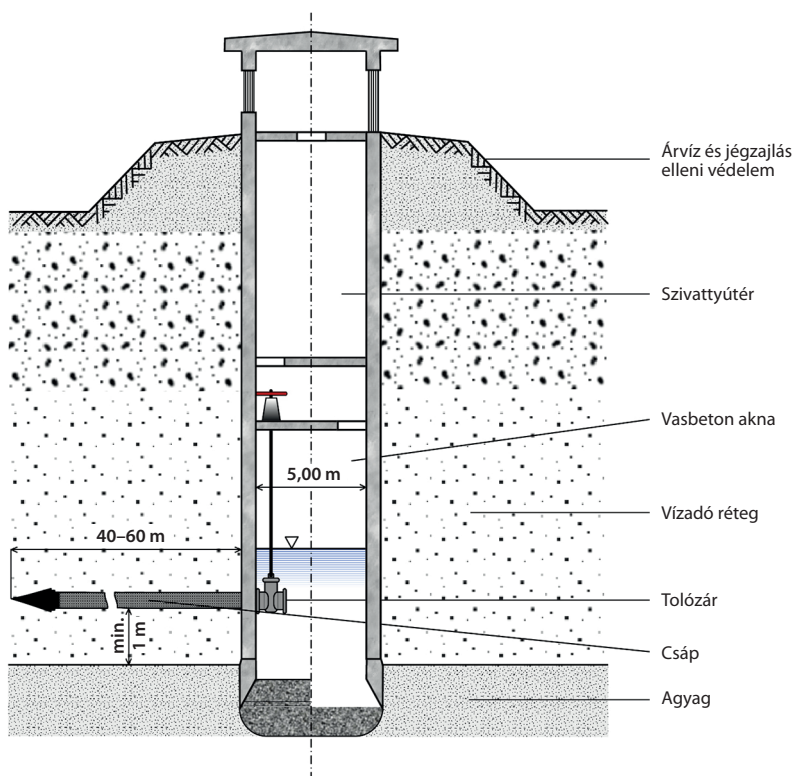
1.15. ábra: Galéria kialakítása és szerkezeti elemei (a szerző szerkesztése)

1.3.7.5. Fúrt kút

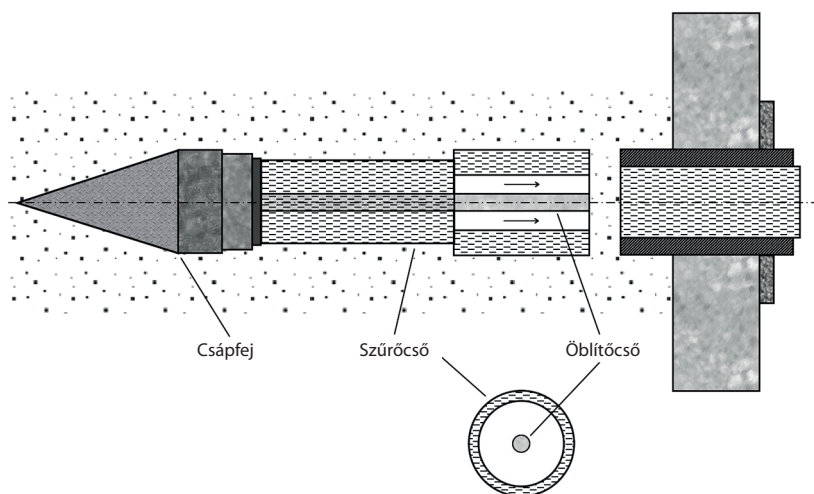
A parti szűrésű vízbázisokon használt fúrt kutak szerkezetüket, kialakításukat és üzemeltetésüket tekintve nem különböznek a rétegvízbázisokon létesített fúrt kutaktól, amelyeket a korábbi fejezetben részletesen bemutatunk. A piacon elérhető idomok, alkatrészek és szűrőzések széles választékát ismerve két azonos funkciót betöltő kút között jelentős különbség lehet.

1.3.7.6. Csápos kutak

A csápos kutak a parti szűrés tipikus műtárgyai. Számos előnnyel rendelkeznek a fúrt kúttal szemben, egyrészt a vízszintesen elhelyezkedő csápoknak köszönhetően kedvező, a galériához hasonló áramkép alakítható ki, másrészt pedig a csápok elhelyezésével a kútban növelhető a szűrt víz aránya. Mivel kapacitásuk lényegesen nagyobb, mint a fúrt kutaké, kevesebb műtárgy létesítése szükséges adott vízmennyiség kitermeléséhez. Felépítését tekintve két lényeges eleme a kútakna és a csápok. A kútakna kiépítését követően általában 3–6 helyen, 30–60 m hosszúságú, vízszintes csápokat alakítanak ki, amelyek vagy a mederrel párhuzamosak, vagy pedig kissé a meder irányába tartanak (1.16. ábra). Kialakításuk sajtolással történik, amelyet a kúpos kiképzésű csőfej (1.15. ábra), valamint a folyamatos öblítés okozta vízáram segít. A csápok vízhozama eltérő lehet, többek között függ az átmérőjétől, hosszától, a szűrő kialakításától és természetesen a vízáradó réteg geológiai tulajdonságaitól.



1.16. ábra: A csápos kút szűrőcsőve és a kúpos kialakítású csőfej (a szerző szerkesztése)



1.17. ábra: A csáp szerkezete és fontosabb elemei (a szerző szerkesztése)

1.3.7.7. Talajvízdúsítás

Egy felszíni víztest hozama, főleg kisebb folyók esetén változó lehet, egyes esetekben szélsőséges értékek között változhat. Alacsony vagy tartósan alacsony vízállás esetén egyes helyeken az igénybe vett vízáadó réteg természetes utánpótlódása nem kielégítő. A csökkent mértékű utánpótlódás miatt a termelt vízben megnőhet a háttérvíz aránya, amely a vízminőséget is negatívan befolyásolja. Ebben az esetben a vízkészlet mennyiségének fokozása, a vízminőség stabilizálása folyamatos beavatkozással, talajvízdúsítással érhető el. A talajvízdúsítás a réteg-, illetve talajvízkészlet felszíni vízből történő pótlását jelenti, működhet önállóan, illetve parti szűréssel kombinálva is. A felszíni víz közvetlen tisztításával szemben előnye hasonló, mint a parti szűrésnél, azaz természetes közegben lezajló szűrési folyamatokat használ ki azzal, hogy a víz egy szemcsés közegen, szűrőágyon átszűrődve éri el a felszín alatti víz szintjét. Az ilyen jellegű pótlással kevert jellegű vizet hozunk létre, amely részben felszín alatti vízből, részben pedig szűrt felszíni vízből tevődik össze. A parti szűrésű vízszerezéssel szembeni eltérés abban nyilvánul meg, hogy a felszíni víztest és a felszín alatti vízáadó réteg között nincs közvetlen kapcsolat, a felszíni víz szivattyúzással kerül a szivárogtató árokra vagy a nyelőkútba. A parti szűréshez viszonyítva további különbség, hogy amíg előbbinél a mederágy kolmatációjának mértéke természetes módon, a vízmozgás hatására is javulhat, addig a talajvízdúsítás esetén a kolmatáció mesterséges beavatkozást igényel. A kolmatált réteg eltávolítása szivárgó árok esetében kotró géppel történik.

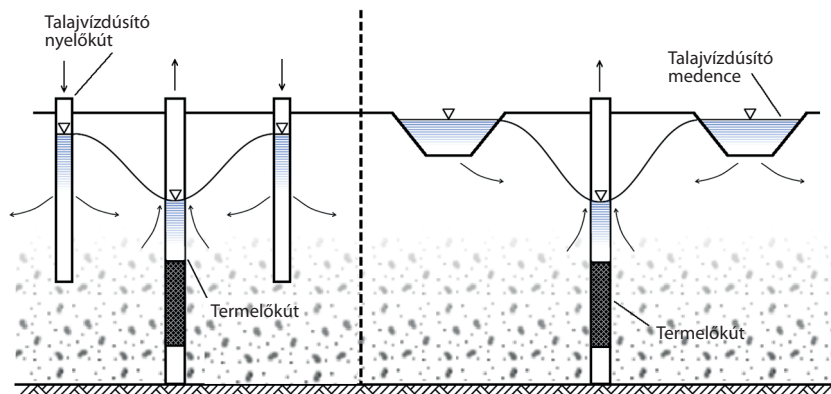


1.18. ábra: Talajvízdúsító műtárgy az Elba folyó mentén, Drezdában (a szerző szerkesztése)

Talajvízdúsításnál (1.18. ábra) kiemelten fontos szempont, hogy a felszíni víz ne tartalmazzon jelentős mennyiségű lebegőanyagot a fent részletezett kolmatáció jelensége miatt. Ez részben a kitermelés helyének átgondolt megválasztásával (sodorvonal, megfelelő mélység) lehetséges,

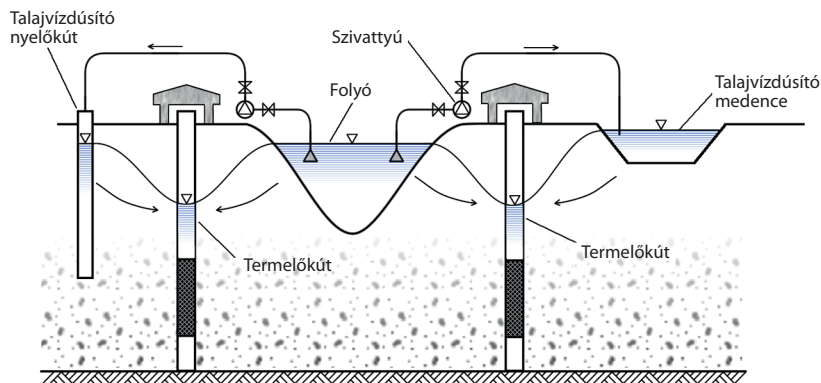
illetve a felszíni víz szűrés előtti előtisztításával valósítható meg. Mindezeket figyelembe véve a talajvízdúsítás lépéseit az alábbiak szerint határozhatjuk meg:

- a dúsításra használandó felszíni víz kiemelése;
- a felszíni víz előtisztítása;
- a víz beszívárogatása a szívárogató árkon keresztül, vagy nyelőkútba juttatása;
- megfelelő szivárgási idő beállítása, ezáltal a lehető legjobb vízminőség elérése;
- a kevert (szűrt felszíni víz és felszín alatti víz) együttes kitermelése.



1.19. ábra: A talajvízdúsítás gyakoribb módjai (a szerző szerkesztése)

A talajvízdúsítással előállított víz kitermelésének legalkalmasabb eszköze a csőkút, kialakítása nem különbözik a korábban tárgyalt változattól, de a szűrőzési zónát mind a felszín alatti, mind pedig a dúsító víz kitermelésére alkalmassá kell tenni.



1.20. ábra: Parti szűréssel kombinált talajvízdúsítás (a szerző szerkesztése)

A talajvízdúsítás módszerének nemcsak önmagában, hanem a parti szűréssel kombinálva is van létjogosultsága (1.20. ábra). A parti szűrés megfelelő körülmények között kiváló vízminőséget biztosít, de a vízállástól erősen függő utánpótlódása és a háttérvíz hígításának lehetősége egyes esetekben indokolhatja a kombinált módszer alkalmazását. Ez jellemzően kisebb vízhozamú folyók mentén alkalmazott megoldás. Hazánkban önállóan nem alkalmaznak talajvízdúsítást, parti szűréssel kombinálva is csak elvételre találkozhatunk vele.

1.3.8. Vízszerezés karsztvízből

Hegyvidéki területek karbonátos (mészkő- és dolomitalapú) kőzeteinek repedéseiben, kisebb-nagyobb üregeiben tárolódó vizet nevezzük karsztvíznek. Számos területen ez az egyetlen elérhető vízbázis, ezért – bár a használt vízbázisok csak kisebb részét teszik ki – jelentősége fontosnak mondható. A karsztos területeken más felszín alatti vízbázis nem lelhető fel, a felszíni vízkészletek korlátozottak, parti szűrésre vagy talajvízdúsításra nincs lehetőség. A kitermelt víz mennyisége jelentős lehet, vízminősége pedig – főleg zárt karszt esetében – általában kiváló. A karsztos hegységek változatos fejlődése miatt a karsztvizet is változatos előfordulási forma jellemzi, így elhelyezkedés alapján megkülönböztetünk nyílt, fedett, illetve zárt karsztot. E különböző formákat eltérő érzékenység és utánpótlódás jellemzi, erre a vízbázis használatánál fokozottan figyelni kell.

A karsztvizek további fontos jellemzői:

- vízminősége kiegyenlített, de nyílt karszt esetén a szennyeződés kockázata magas;
- különös figyelmet kíván az utánpótlódás szélsőséges területi eloszlása. Egy karsztvízbázist egy, onnan sok kilométerre található víznyelő is táplálhat;
- a mélyebben található zárt karsztok utánpótlódása és vízminősége stabilabb;
- a kitermelhető víz minősége általában nem igényel további kezelést;
- keménysége, össz sótartalma jelentős lehet.

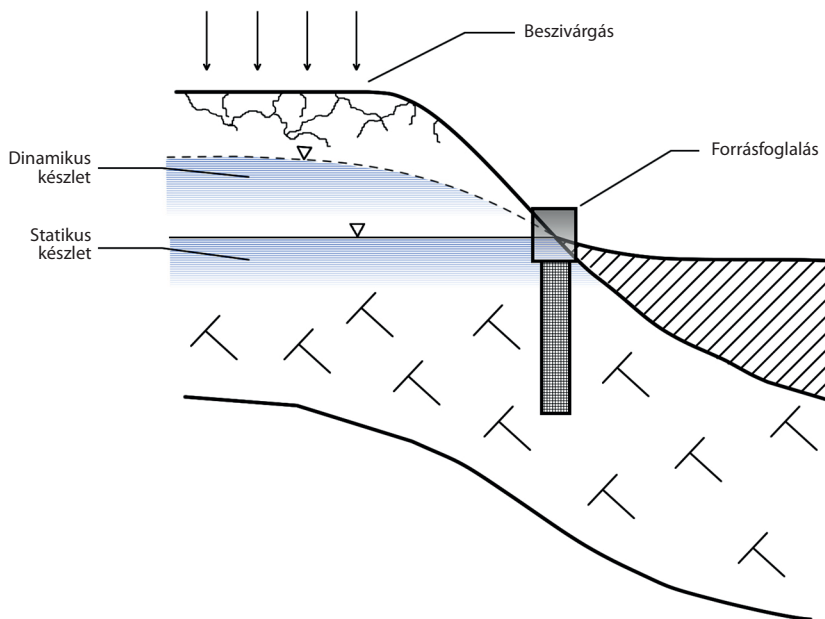
Hazánkban jelentős karsztos képződmények találhatók a Dunántúli-középhegységben, a Vértes és a Bükk területén. Ezeken a területeken található települések vízellátása karsztvízbázisokra épül. A vízellátás mellett értékes meleg vízű karsztforrások is előfordulnak többek között Eger és Miskolc környékén.

A karsztvíz minősége általában igen kedvező, valamivel magasabb keménység jellemzi, és többnyire kezelés nélkül (persze fertőtlenítés után) hasznosítható. Nyílt karszt esetén a felszínről történő közvetlen utánpótlódás lehetősége fennáll, ilyen esetében a szennyeződés kockázata is magas, ezért a vízbázisvédelem fokozott figyelmet igényel. A kitermelés a lassan, de stabilan utánpótlódó és változó mértékben felhalmozódó készletből történhet. A statikus, azaz állandó készlet kiegyenlített mennyiségi és minőségi termelési feltételeket jelent. Dinamikus készletnek a változó vízmennyiséget nevezzük, amely általában a csapadékból történő beszivárgástól függ, ezért mennyisége szélsőséges értékek között változhat. Statikus készlet használata esetén fokozott figyelmet kíván, hogy a kitermelt vízmennyiség tartósan nem haladhatja meg az utánpótlódó készletet. Ez számos helyen jelentett problémát, amit a múlt század utolsó évtizedeiben mért karsztvízszintértékek mutatnak. A karsztvíz termelése – részben bányászati tevékenységek elősegítése miatt – meghaladta az utánpótlódás mértékét, ezért a karsztvízszint folyamatosan csökkent. Változás a 90-es évek elejétől volt tapasztalható, amikor a bányászat mértékének jelentős csökkenését a karsztvízszint lassú emelkedése követett.

1.3.8.8. A karsztvízszerezés gyakorlata és műtárgyai

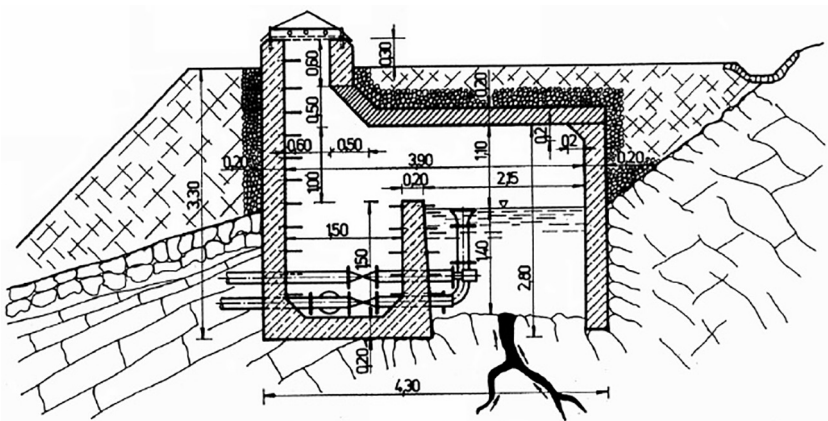
A karsztvíz felszíni, forrásként való megjelenése esetén forrásfoglalás létesítése, kisebb mélységben megjelenő víz kitermelésére aknakút alkalmazása, nagyobb mélység esetén fúrt kút építése célszerű. A felszíni források megjelenése a karsztos formák sokfélesége miatt igen változatos lehet. Forrásfoglalásnál lényeges feladat a mértékadó vízhozam meghatározása, mivel a források jellemzően a változó (dinamikus) vízkészletet vezetik a felszínre. A hozam ingadozásának

mértéke a forrás használhatóságának alapja. A forrás foglálásának kettős célja van, egyrészt a hasznosítható készlet mennyiségének igénybevétele, másrészt pedig a víz minőségének védelme (1.21. ábra).



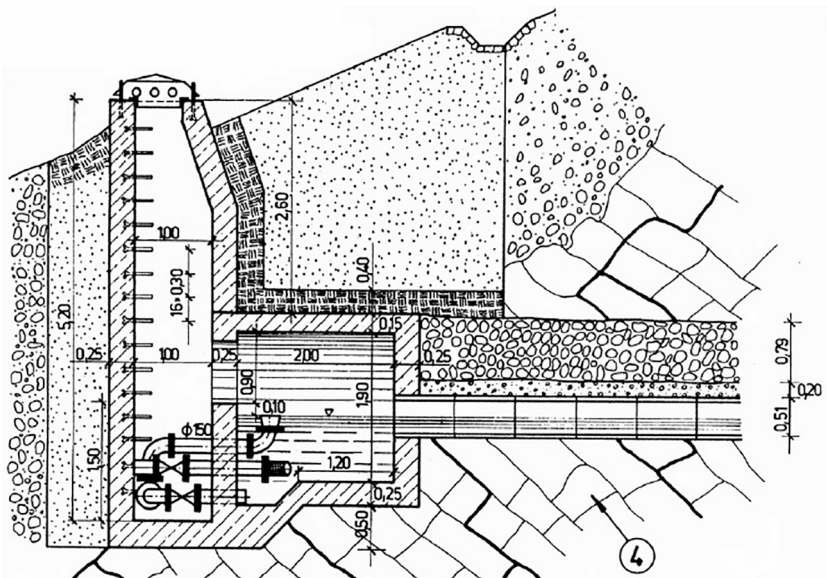
1.21. ábra: Forrásfoglalás kialakítása jelentős statikus készlet esetén (a szerző szerkesztése)

A karsztforrás megjelenése többféle lehet: pontszerű, vonal mentén fakadó, le- vagy felszálló, így a kialakítandó műtárgyat is ehhez kell kiválasztani. A koncentráltan fakadó karsztforrás foglalása egyszerűbb (1.22. ábra), itt lényegében a víz pontszerű forrása köré épített akna gyűjti össze a vizet, amely szivattyúval kitermelhető és továbbítható.



1.22. ábra: Koncentráltan fakadó karsztforrás foglalása (a szerző szerkesztése [4] alapján)

Számos, kisebb-nagyobb méretű és vízhozamú forrás vízének összegyűjtésére a galéria alkalmazható (1.23. ábra), amelynek kivitelezése költségesebb, ám a kapacitása lényegesen meghaladja egy aknakút kapacitását.



1.23. ábra: Vonal mentén vagy több helyen fakadó forrás galériás foglalása (a szerző szerkesztése [4] alapján)

Mélyebben elhelyezkedő karsztvízrétegek elérésére létesítendő fűrt kút kiépítése eltérő lehet a korábban tárgyalt rétegvízút kialakításától. A viszonylag tömör karsztos kőzet fűrése, a fűrólyuk kimélyítése vagy bővítése nehezebb lehet. A kitermelhető víz a keresztezett vízjáratok számának és vízhozamának függvénye, és a kút mélyítésével csak bizonyos mértékig növelhető a vízhozam. A kőzet jellemző állékonysága és vízbelépések formája miatt hagyományos szűrő beépítése általában nem szükséges. Ennek ellenére perforált cső beépítése indokolt lehet, amely egy belső, védett teret alakít ki. A vízhozam növelésére bevált módszer a kőzet repesztése, szélesítése, amihez mechanikus és kémiai módszerek állnak rendelkezésre. Ezek alkalmazásával jelentősen megnövelhető egy olyan kút vízhozama is, ahol a fűrés során nem sikerült megfelelő hozamú vízvezető járatot találni. A gyakorlatban a fentebb részletezett vízszervezési módok kombinációja is gyakorta alkalmazott megoldás. A létesítendő műtárgyak típusát és számát a rendelkezésre álló statikus vízkészlet és a dinamikus készlet várható változásai határozzák meg.

1.4. Kutak gépészete, a termelt víz továbbítása

A vízszervezésre létesített műtárgyak által termelt víz továbbítása az esetek többségében gépi üzemmel történik. Ez alól a pozitív kutak képeznek kivételt, ahol a víz a rétegnomás hatására tör a víz a felszínre, és továbbítása a gyűjtővezetékig vagy gyűjtőaknáig nem igényel szivattyúzást. A kútvíz kitermelésének megfelelő eszköze a bűvárszivattyú. Egyes esetekben, 10 méternél

sekélyebb nyugalmi vízszintű kútból felülről történő szivattyúzás is elképzelhető, de gazdaságossági szempontokat szem előtt tartva mindenképpen a búvárszivattyú a célszerű választás.

A kútfej a kút és a vízgyűjtő-továbbító hálózat kapcsolódását jelenti. Tartalmazza a kút lezáró szerkezeti elemét, a szivattyú függesztő szerkezetét és elektromos vezetékeit, valamint a kút vízkormányzásra szolgáló elemeit. A kútfej további elemei:

- a kút és szivattyú működését beállító tolózár,
- a víz visszaáramlását megakadályozó torlócsappantyú vagy visszacsapó szelep,
- különböző mérő- és ellenőrző műszerek, mintavételi csapok,
- a téli időszakban jelentkező fagyveszély minimalizálására kialakított fűtő elemek.

A kút gondos lezárása egészségügyi és biztonsági okokból is kiemelten szükséges. A kutak felülről történő szennyeződését meg kell akadályozni, de a kútvízből kiváló gázokról (szén-dioxid, metán) gondoskodni kell. E gázok fajsúlyukat tekintve a levegőnél nehezebbek, ezért a felszín feletti, jól szellőző kútgépház kialakítás előnyösebb, mint az aknás megoldás. A kút és a kútgépház kialakításánál figyelembe kell venni, hogy amennyiben a búvárszivattyú cseréje vagy a kút valamely elemének karbantartása szükséges, az könnyen és gyorsan elvégezhető legyen.

A búvárszivattyúkat jellemzően mélyebb fűrt kutak vagy csápos kutak vizének kitermelésére használják. A szivattyú lényeges tulajdonsága a vízhozam és az emelőmagasság. A búvárszivattyú lehet egy- vagy többfokozatú (1.24. ábra), a fokozatok számának növelésével nagyobb emelőmagasság érhető el.

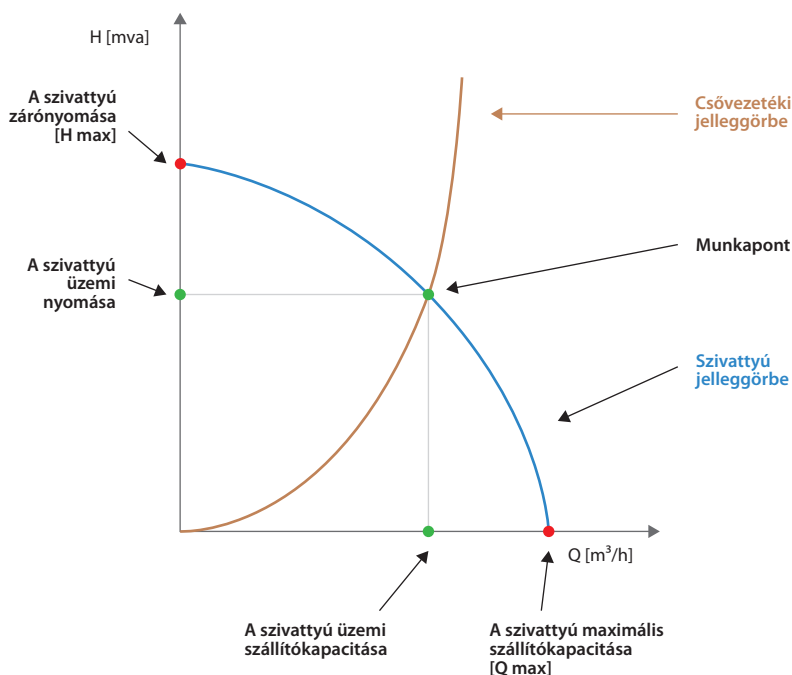


1.24. ábra: Egy- és többfokozatú búvárszivattyúk (a szerző szerkesztése)

Egy szivattyú gondos kiválasztásához és szakszerű üzemeltetéséhez kiemelten fontos a szivattyú főbb tulajdonságainak ismerete:

- a szivattyú kapacitása;
- a szivattyú emelőmagassága;
- a szivattyú jelleggörbéje;
- a csővezeték jelleggörbéje;
- valamint az ezekből számított munkapont.

A szivattyú kapacitása és emelőmagassága centrifugál-szivattyúk esetében fordítottan arányos a szállítási kapacitással, azaz minél magasabbra kell emelni a vizet, annál kevesebb lesz a szállított víz mennyisége. Természetesen ezeken felül fontos paraméter a csővezeték anyaga, átmérője és hossza, amelyeket a csővezetéki jelleggörbével adhatunk meg, és a csővezeték által okozott nyomásesést számolhatjuk belőle. Ha a fenti paramétereket közös koordináta-rendszerben ábrázoljuk, a szivattyú jelleggörbéje és a csővezeték jelleggörbéje metszeni fogja egymást, és ezt a metszéspontot nevezzük munkapontnak. Adott szivattyú, adott csővezetékkel ezen a munkaponton képes üzemelni, fontos szempont tehát, hogy a munkapont a szivattyú legjobb hatásfokú tartományába essen. A szivattyú helyes megválasztásának alapja a munkapont ismerete. Ezt mutatja az 1.25. ábra.



1.25. ábra: A szivattyú munkapontjának számítása (a szerző szerkesztése)

A bűvárszivattyúk által kútvíz jellemzően egy vagy több kollektorvezetéken kerül továbbításra a vízmű vízkezelő technológiai felé. A vezetékben általában a bűvárszivattyúk által biztosított nyomás hatására halad a víz, amely nyomás általában kevesebb, mint 1 bar. Amennyiben a kuttól nagyobb távolságra szükséges eljuttatni a vizet, nyomásfokozásra is szükség lehet. Ilyen esetben hatékony megoldás lehet egy gyűjtőmedence vagy nyersvíztározó beiktatása, amelyből egy ráfolyásos üzemmódban működő szivattyúval jelentősebb távolságra is továbbítható a víz.

Fejezetzáró kérdések

1. Mutassa be a felszíni és felszín alatti vízszerezés arányait Magyarországon és Európában!
2. Mutassa be a felszíni vízkivételi módok alapváltozatait!

3. Melyek a felszín alatti vízszerezés általános feltételei?
4. Mutassa be egy csőkút alapvető szerkezeti elemeit és telepítésének lépéseit!
5. Sorolja fel a talajvízdúsítás előnyeit, és mutassa be gyakoribb változatait!
6. Mi az alapvető különbség egy forrás statikus és dinamikus vízkészlete között?

Felhasznált irodalom

1. KSH: Közüzeti vezetékes ivóvízzel ellátott települések és lakások (1990–) [internet]. Elérhető: www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_zrk001.html (letöltve: 2018.05.05.)
2. Freeze, R. A. – Cherry, J. A. Groundwater: Englewood Cliffs. NJ: Prentice-Hall; 1979. 604 p.
3. 123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátási létesítmények védelméről
4. Karácsonyi S, Mészáros G. Vízellátás–vízszerezés. Baja: Eötvös József Főiskola; 1998. 107 p.

Ajánlott irodalom

- Laky D, Licskó I. Vízisztítás–oktatási segédanyag építőmérnök hallgatók részére. Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem; 2007.
- Öllős G. Vízisztítás-Üzemeltetés. Eger: Egri Nyomda Kft.; 1998.
- Vadkerti E. A felszín alatti vizek biológiája. In: Mátrai I szerkesztő. Vízből. [Internet. Elektronikus tananyag.] Baja: Eötvös József Főiskola; 2015.