

A FELSZÍN ALATTI VIZEK SZENNYEZÉSEINEK ELTÁVOLÍTÁSA, A VÍZMINŐSÉGI KÁRELHÁRÍTÁS MÓDSZEREI 1.RÉSZ

REMOVAL OF GROUNDWATER CONTAMINATION, METHODS OF WATER QUALITY DAMAGE RELIEF PART 1.

HEGEDŰS Hajnalka

(ORCID: 0000-0002-5207-0356)

hegedus.hajnalka@uni-nke.hu

Absztrakt

A modern életmód, a globális felmelegedés és az éghajlatváltozás mind szerepet játszanak a vízgazdálkodás alakulásában. A negatív tendenciák kedvezőtlen hatással vannak a vizeink mennyiségére és minőségére egyaránt. A vízminőség védelme magába foglal mind olyan műszaki, gazdasági és jogi beavatkozást, amelyeket a megfelelő vízminőség érdekében alkalmaznak. Ide sorolandók azok a beavatkozások, amelyek a vízminőség megtartását, a szennyezések elleni védekezést, valamint a vízminőségi kárelhárítást célozzák.

Ez a kétrészes cikk igyekszik bemutatni azokat a kárelhárítási műszaki módszereket, amelyekkel a már bekövetkezett károk sikeresen elháríthatóak vagy csökkenthetőek a felszín alatti vizek minőségének és fenntarthatóságának érdekében. Az első cikk a szennyezések módjára és fajtáira, valamint a fizikai és kémiai eltávolítási módszerekre koncentrál. A második a kárelhárítás biológiai módszereit helyezi előtérbe, amelyek remélhetőleg mind nagyobb teret kapnak a fenntarthatóság érdekében is.

"A mű a KÖFOP 2.1.2-VEKOP-15-2016-00001 azonosítószámú, „A jó kormányzást megalapozó közszolgálat-fejlesztés” elnevezésű kiemelt projekt keretében, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem felkérésére készült."

Kulcsszavak: vízminőség, kárelhárítás, biológiai módszerek

Abstract

The modern way of life, global warming and climate change all play a role in the development of water management. The negative trends have unfavorable impact on the quantity and quality of our waters as well. Protection of water quality includes all the technical as well as economic and legal interventions that are applied to ensure good water quality. This comprises those interventions that are aimed at maintaining water quality, protection against pollution as well as water damage control.

This two-parted paper attempts to demonstrate the technical methods of damage control, which can successfully eliminate or reduce damages to ensure groundwater quality and sustainability. The first part of the paper focuses on the ways and types of pollution as well as the physical and chemical decontamination methods. The second part turns to the biological methods, which hopefully will gain a more and more prominent role for the sake of sustainability.

Keywords: water quality, water damage control, biological methods

A kézirat benyújtásának dátuma (Date of the submission):(2017.02.07.

A kézirat elfogadásának dátuma (Date of the acceptance): 2017.03.18.

BEVEZETÉS

A víz nélkülözhetetlen az élet számára, teljes mértékben meghatározza az élővilág képét. Élettér, részt vesz az élőlények szervezeti felépítésében, reakcióközeg, ugyanakkor reakciók kiindulási anyaga és végterméke is, diszpergáló és szállító közeg, magas fajhője miatt pedig részt vesz az egyedi, lokális és globális hőszabályozásban is.

Földünk felületének kétharmadát víz fedi, mégis majd' egy milliárd ember nem jut napi szinten tiszta ivóvízhez. Sokszor az akut vízhiányos területeken az is nehezíti a helyzetet, hogy a meglévő víz jelentős részét mezőgazdasági termelésre fordítják. A nyílt vizekbe kerülő műtrágya, a magas nitrát-tartalmú szennyvizek hatására kórosan elalgásodnak a vizek, melyek következményeként eutrofizáció¹, az élőlények és élőhelyek pusztulása, valamint az emberek megbetegedése, fertőzések elterjedése lép fel. Ezért sem meglepő, hogy az egészséges ivóvíz kérdése egyre nagyobb problémát jelent. A vízigényünk a népesség növekedésével, a klimatikus viszonyok változásával folyamatosan és rohamosan nő, ezáltal az elérhető vízkészlet mennyisége globális szinten igen csekély. Komoly zavarok mutatkoznak az emberiség vízellátásában. Elmondható, hogy a víz mára elsőszámú ásványkincsé lépett elő. Ennek ellenére az emberi faj mégis számos módon veszélyezteti azt. A környezet és a víz szennyezésének hatására vizeinkben a kimerülés jelei mutatkoznak.

A globális felmelegedés és éghajlatváltozás komoly szerepet játszik a vízgazdálkodás alakulásában. Ahogy melegebbé s szárazabbá válik az éghajlat, az állóvizek jobban párolognak, csökken a folyók lefolyása, megváltozik felszíni vizeink vízháztartása, lelassul vízforgalmuk, tehát a víz lassabban cserélődik, felgyorsul az eutrofizáció, amely kedvezőtlenül befolyásolja a vizek oxigéntartalmát és minőségromlás, fertőzésveszély lép fel. A növekvő párolgás a felszín alatti vízkészlet drasztikus csökkenését is okozhatja. A mennyiségi problémák minőségieket is magukkal hoznak. Az időjárási szélsőségek és az emberi beavatkozások hatására egyre több szennyezés kerül vízbázisainkba, komplex okok miatt viszont csökken azok öntisztulási képessége is. A vízminőség védelme magában foglalja az összes olyan műszaki, gazdasági és jogi szabályozást, amelyet egy adott vízminőségi célkitűzés érdekében alkalmaznak. A víz minőségének védelme alá sorolandó minden olyan beavatkozás, amellyel megelőzhető a vízszennyező anyag vízbe kerülése, valamint a vízszennyező hatásokat utólag kiküszöböljük. Ehhez hozzátartozik a vizek állapotának rendszeres vizsgálata, értékelése és minősítése, a vízminőség megtartására szolgáló műszaki beavatkozások végrehajtása, a rendkívüli vízszennyezések elleni védekezés, illetve a vízminőségi kárelhárítás. Már a '70-es évek óta születnek egyezmények, amelyek a vizek védelmét szolgálják. Ezek azonban keveset érnek, sikertelenek, ha az érintett politikai és gazdasági szereplők elsődlegesen csak a saját érdekeiket tartják szem előtt, melyek minden tekintetben rövidtávúak, illetve sok ország nem is hajlandó csatlakozni hozzájuk. Az éghajlatváltozás enyhíthető, vagy éppen súlyosbíthatja az emberi tényezőkre visszavezethető problémákat, amivel szintén számolni kell, hiszen a dominó elv alapján másodlagos kockázati tényezők jelentkezhetnek. [1]

A víz a jellemző tulajdonságai alapján az élővilág, a társadalom számára nélkülözhetetlen vegyület, amely nélkül lehetetlen lenne a földi élet. A víz többek között az élőlények építőanyaga, testünk és szerveink nagyrészt vízből állnak, ahogy a táplálékaink jelentős százaléka is víz. Az ember esetében ez a részarány majdnem 70 %. Emellett a víz a bioszféra egyik leglényegesebb hőmérséklet szabályozója, a sejtekben lejátszódó biokémiai folyamatok

¹ A vizekben a tápanyag-feldúsulás miatt elszaporodnak az elsődleges termelő szervezetek, a vízben túlszaporodnak a vízinövények.

oldószere. A víz oldószerként is jelentős, nem alakulhatott volna ki nélküle az élet, halmazállapotának megvan a maga jelentősége mind az élővilág, mind az emberek számára. Szilárd állapotában, a jég hozzájárul például a kőzetek változásához, a sziklák aprózódásához, és ezáltal a talaj formálódásához, a talajképződéshez. Ugyanakkor a tavakon képződő jégréteg védi például a mélységi víztömegeket – így az élővilágot is – a fagyástól. Folyékony halmazállapotában igen fontos és sokoldalú szerepet játszik a termelésben is. Az iparban technológiai vízként, hűtővízként szolgál, valamint szociális célból történő felhasználása is jelentős, de a közlekedésben sem elhanyagolható a szerepe, mind a gépek hűtőközegeként, mind pedig közlekedési közegként. A mezőgazdaságban öntözésre, állatok itatására használják mindenekelőtt, de a haltenyésztés esetében a víz a termelőközeg. A forrás utáni gázhalmazállapotot hasznosítják a gőzzel működő gépekben, turbinákban.

Magyarország fekvése, földtani felépítése és medencejellege következtében igen gazdag vizekben. Mindenekelőtt felszín alatti vizeink mennyisége, környezeti és használati értéke kiemelkedő jelentőségű európai viszonylatban is. Hazánk területének nagy részét vastag, medencebeli üledékek fedik, a hegyvidéki területeken pedig a felszín alatt gyakran karsztos képződmények találhatóak. Ezek kiváló felszín alóli vízbeszerzési lehetőséget biztosítanak. Magyarország ivóvízellátásának megközelítőleg 95 %-a felszín alatti vízből történik, de ugyanilyen fontos szerepet töltenek be ezek a vízkészletek a mezőgazdaságban is. Magyarország medencejellege azonban nehézségeket is okoz. Folyóink legtöbbször nem hazánk területén ered, és jelentős mennyiségű szennyeződést hozva érkeznek a környező országokból. Mivel a folyók sebessége a hirtelen ellaposodó területeken lecsökken, a szennyeződések nagy része itt rakódik, ülepedik le. A szennyezések mellett meg kell említeni a környező hegyvidékek hóolvadásából származó megnövekedett vízhozamot is, amelyek által az árvíz-, és közvetetten a belvízveszély is növekszik, számottevő károkat okozva a gazdaságban, a lakosság vagyonában, természeti értékeinkben. [2]

A VÍZ JELLEMZŐI

A víz jellemzésekor elkülönítjük egymástól a kémiai értelemben vett tiszta vizet és a természetben is megtalálható vizeket. A kémiai értelemben vett tiszta víz a természetben nem fordul elő. A több ezer méteres magasságban kiváló csapadékvíz ugyan megközelíti annak minőségét, de mire a földfelszínre ér, átveszi a légkörből kimosott gázokat és port, illetve a talajjal érintkezve azonnal sókat old ki onnan. A kémiai tekintetben vett tiszta víz az emberi lét számára nem is ideális, hiszen a szervezet anyagcsere folyamatai a bonyolult ionháztartások egyensúlyára épülnek. A szabadban megtalálható víztestek nem íztelenek és szagtalanok, hanem a természetes ásványi anyagok beoldódásától, a mikroorganizmusok anyagcseretermékeiből, szerves anyagok bomlástermékeiből, illetve a települési szennyvizekből és azok bomlástermékeiből, valamint ipari szennyvizekből és azok bomlástermékeiből származó anyagok miatt lehet különféle ízük és/vagy szaguk.

A víz tulajdonságait jellemzően három csoportra oszthatjuk: fizikai, kémiai és biológiai jellemzők. Ezen jellemzők jelen cikkben nem kerülnek bemutatásra.

A VÍZKÉSZLETEK VESZÉLYEZTETÉSE

A vízkészleteket veszélyeztető tényezőket, a vízszennyezést sokféleképpen definiálhatjuk. Értjük alatta:

- az összes olyan emberi tevékenység hatására kialakuló körülményt, amelyek közvetlenül befolyásolják a felszíni, illetve a felszín alatti vizek minőségét;
- azon folyamatot, amely során a víz fizikai, kémiai, biológiai és bakteriológiai tulajdonságai károsan megváltoznak, a víz részben, vagy teljesen alkalmatlanná

válík emberi használatra, illetve a természetes vízi életfolyamatokra is veszélyesen hat;

- valamint ha az egyes (veszélyes) anyagok mértéke meghaladja a természetes vizeken belüli koncentrációt.

A szennyeződés forrását tekintve azok lehetnek pontszerű szennyezések, nem pontszerű (diffúz) szennyezések, vagy vonalforrású szennyezések is.

A szennyeződés kiterjedésétől és továbbterjedésének mértékétől függően beszélhetünk lokális (helyi), vízgyűjtőre kiterjedő (fluviális), regionális és kontinentálisan fellépő, de akár globális szennyeződésekről.[3]

VÍZSZENNYEZÉSEK OKAI

Hazánk medencejellege miatt Európa egyik leginkább *árvízveszélyes* területe. Magyarország felszíni vizeinek csak 5%-a ered az ország területén, a többi a határokon kívülről érkezik. Több mint 21 ezer km² a mélyen fekvő, lefolyástalan terület, amelyet árvíz esetén elöntés fenyeget. A már felépített töltések, amelyeket kifejezetten az árvíz elleni védekezés miatt építettek, főleg a mentett oldalon elzárják az ott található holt- vagy mellékágakat, ahova a túlzott mennyiségű víz elfolyhatna. A szabályozott folyómedrek, a kiépített partvonalak miatt sokszor hiányzik a parti növényzet. Másrészt elmarad a földterületek elárasztásának lehetősége is. Ezek együttesen kedvezőtlen hatással vannak a vizek ökológiai állapotára árvíz bekövetkeztekor. [4]

A *belvíz* közvetlen és közvetett károkat okoz. A felszín vízzel való elborítása mellett a vízgyűjtő területek tervezettnél nagyobb hidrometeorológiai terhelése okoz gondot. A vízbázisok szennyezése tekintetében viszont a közvetetten kialakuló talajdegradáció² kiemelendő, hiszen a talaj szűrő- és védőfunkciójának változása miatt könnyebben elszennyeződhetnek a felszín alatti vizek. Az is tény, hogy a földterülethez kötődő mezőgazdasági feladatok elvégzésének késleltetése, helyreállítási feladatokhoz kapcsolódó infrastruktúra kialakítása, illetve fokozott energiabeviteli körülmények vezethetnek szennyezéshez. [5]

Az *esőzések* is komoly károkozási hatással bírnak. Az elmúlt évtizedek klímaváltozási folyamatainak következményeképpen is megnövekedett a hirtelen, monszonszerű esőzések száma, ami az egységnyi idő alatt lehullott csapadékmagasság drasztikus emelkedésével járt, jóllehet bebizonyították, hogy az egy időszakra jutó átlagos csapadékmennyiség nem változott, csak a csapadék hullásának intenzitása erősödött meg. Általánosan kijelenthető, hogy a vízelvezető és kiegyenlítő műtárgyak elhanyagoltak (még akkor is, ha az utóbbi időben a közmunkások tevékenysége miatt ezen a területen javulás tapasztalható), vagy hiányoznak, ezért az özönvízszerűen lehulló csapadékmennyiséget az amúgy is terhelt csatornahálózat nem tudja elvezetni. Megfelelően méretezett kiegyenlítő műtárgyak hiányában a túlzott esőzések rendkívüli hidraulikai és szennyezőanyag terhelést jelentenek az élővizekre. Az eltömött, vagy nem rendszeresen tisztított, feliszaposodott árkok gyakran megtalálhatóak az időként előforduló vízminőségi haváriák okai között. [6] Meg kell említeni a lehullott csapadék mennyisége mellett annak minőségét is. Egyrészt a megnövekedett motorizáció, az atmoszférában kiülepedő szennyeződések, a téli időszakban a jegesedés ellen használt sószórás, de a mindennapos emberi tevékenységek is mind a csapadékok minőségének romlásához, és ezáltal a vizek szennyezéséhez járulnak hozzá.

² Olyan összetett folyamat, amely a talaj alapvető tulajdonságaiban (szűrő-védő funkció pl.) visszafordítható vagy visszafordíthatatlan változásokat okoz.

Jóllehet manapság az infrastruktúra fejlődésével egyes iparágak már helytől és nyersanyagtól függetlenül települhetnek, elmondható, hogy az *ipar* telepítési tényezői közül még mindig jelentős szerepet játszanak az ásványkincsek, energiahordozók, éghajlati tényezők, a víz, etc., mint a természeti, földrajzi környezet elemei. A Paksi Atomerőmű esetében például nem volt kérdéses, hogy csakis a Duna mellé települhet, hiszen az üzemnek akkora a hűtővízigénye, hogy azt még második legnagyobb hozamú folyónk, a Tisza sem tudta volna kielégíteni.

A környezet védelme érdekében is legtöbb esetben igyekeznek jogszabályi úton beszabályozni az ipari tevékenységek megkezdését, illetve folytatását, az esetleges környezetszennyező tevékenységre vonatkozó megelőzési és kárelhárítási tervek megalkotását. Magyarországon az 57/2013. (II.27.) Kormányrendelet a telepengedély, illetve a telep létesítésének bejelentése alapján gyakorolható egyes termelő és egyes szolgáltató tevékenységekről, valamint a telepengedélyezés rendjéről és a bejelentés szabályairól rendelkezik arról, hogy mely ipari tevékenységek folytathatóak telepengedély birtokában és melyek csak bejelentés alapján. Mindezek azonban nem jelentenek teljes biztonságot, bármikor felléphetnek ipari balesetek. Ahogy nem tekinthetünk el azon szennyezések figyelembe vételétől sem, amelyek 20-30 éve bezárt ipari telepek „örökségeként” kerülnek napvilágra.

Az ipari eredetű és természetes szennyezések mellett vannak *egyéb szennyezési* módok is. Nem egy, részben korszerűtlensége, részben telítettsége miatt már bezárt hulladéklerakó a mai napig lokális szinten kockázatot jelent. A belőlük származó terhelést nem lehet rekultivációval sem felszámolni tökéletesen. Az általános hulladéklerakók szennyező hatása mellett az is gondot jelent, hogy sokszor a hulladékot, a veszélyes ipari melléktermékeket a drága elhelyezési és/vagy ártalmatlanítási költségek miatt illegális módon helyezik le, tüntetik el, például erdőszélekre kihajítva, vízelvezető árokba helyezve, tavakba, folyókba kezeletlenül, direkt módon belevezetve. Amellett, hogy a talajba és ezáltal a felszín alatti vizekbe bemosódva már a lerakás helyszínén is kárt okoznak, a mozgó vízárámok magukkal viszik a szennyezéseket, egy nagyobb folyó vagy egy árhullám esetében akár több száz kilométerrel a szennyezés eredeti helyszínétől okozva problémát. Hazánk e tekintetben is hátrányos helyzetben van, elsődlegesen a Felső-Tisza környékén található zömében külföldi eredetű hulladék és szennyezés. Itt kell megemlíteni a szándékos károkozásokat is. [3]

VÍZMINŐSÉGI KÁRELHÁRÍTÁS

Hazánkban szervezett vízminőség-védelmi tevékenységről az 1960-as évek óta beszélhetünk. A vízminőség-védelmi feladatok részét képezi a vízminőségi kárelhárítás, ami több fázisból áll [7]:

- a védekezésre való felkészülésből, a rendkívüli szennyezések megelőzéséből,
- a rendkívüli szennyezések észleléséből, felderítéséből és minősítéséből,
- a kárelhárítás műveleti végrehajtásából, valamint a szennyezés megszüntetését követő intézkedésekből.

Magyarország tranzit szerepe is hozzájárul ahhoz, hogy a közutakon kiemelkedő számú haváriahelyzet alakuljon ki műszaki hiba, gondatlanság vagy baleset miatt. Földrajzi és geopolitikai elhelyezkedésünkben kifolyólag is különlegesen kedvezőtlen helyzetben vagyunk. A társadalmi-gazdasági átalakulás a volt keleti blokk utódállamaiban sem feltétlenül volt jó hatással a környezetvédelemre (törekedés a gyors hasznosításra, távoli országokból érkező befektetők, akik nem tartják be, illetve akikkel nem tartatják be a környezetvédelmi előírásokat, csak hogy befektetőként megszerezhessék őket; és akiktől károkozás esetében sem lehet behajtani a kárelhárítás költségeit – ld. ausztrál befektető és a tiszai ciánszennyezés). Hazánk Uniós csatlakozásával a vízminőség-védelem, a vízminőségi kárelhárítás fő

irányvonalai, a feladatok részletes szabályozása a közösségi normákhoz kapcsolódóan is megtörtént. A megváltozott feltételek, illetve szabályok további segítséget nyújtanak a magyar vízminőségi kárelhárítási szakembereknek a rendkívüli szennyezések megelőzésében, észlelésében, nyomon követésében, minősítésében és elhárításában egyaránt.

Rendkívüli (vagy váratlan) vízszennyezésnek nevezzük a felszíni és felszín alatti vizek minőségi állapotát, öntisztulási képességét, valamint a felhasználásra való alkalmasságát alapvetően veszélyeztető vagy jelentős mértékben korlátozó emissziókat. Ezek a szennyezések a potenciális szennyező források műszaki hibája vagy gondatlan kezelése, baleseti vagy természeti okokból következhetnek be. Ha a szennyezés váratlanul, hirtelen valamely baleset, műszaki meghibásodás, mulasztás hatására helyi jelentőséggel, erőteljesen következik be, akkor havária szennyezésről beszélünk [3]. Az ez elleni védekezés magában foglalja mind a szükséges megelőző védekezési intézkedéseket, mind a már szennyezett víz által esetlegesen okozható további káresetek megakadályozását.

Napjainkban a potenciális vízszennyező forrásként számításba vehető üzemek, intézmények, telephelyek már az engedélyezési eljárásnál meg kell, hogy oldják a belső technológiai és üzemi szabályozásuk során mindazon feladatokat, amelyek a tevékenységből fakadó vízgazdálkodási problémák megelőzését célozzák. Egy vágóhíd vagy húsfeldolgozó üzemből származó víz például nem számít veszélyes hulladéknak, viszonylag egyszerű szűrő- és zsírfogó rendszeren való átvezetés után bevezethető a települési szennyvízhálózatba. A katasztrófavédelem sokéves tapasztalata azonban azt mutatja, hogy a legnagyobb erőfeszítések árán sem lehet mindig megelőzni a rendkívüli vízszennyezéseket, ezért a vízminőségi károk elhárítására, illetve csökkentésére fel kell készülni.

A felszíni vizek szennyeződésekor a vízfolyások szennyeződése szerencsésebb. A lassú mozgású vagy állóvizek esetében sokszor a negatív hatás nem azonnal jelentkezik, hisz a szennyezés hatására megnövekedhet a vizek oldott só- és szervesanyag-tartalma, elindulhat az eutrofizáció, vagy a szennyezések az iszapba kiülepedve okozhatnak kárt. Ilyenkor a vízminőségi kárelhárítás kettős feladattal rendelkezik. Fel kell számolni a bekövetkezett káreseményt, illetve meg kell előzni a vízi ökoszisztéma károsodását.

A már említett 219/2004. Kormányrendelet szerint a kármentesítés fogalma magában foglal minden olyan helyreállítási intézkedést, amely *„a felszín alatti víz és földtani közeg károsodásának enyhítésére, az eredeti állapot vagy ahhoz közeli állapot helyreállítására, valamint a felszín alatti víz által nyújtott szolgáltatás helyreállítására vagy azzal egyenértékű szolgáltatás biztosítására irányul, így különösen az a műszaki, gazdasági és igazgatási tevékenység, amely a veszélyeztetett, szennyezett, károsodott felszín alatti víz, illetőleg földtani közeg megismerése, illetőleg a szennyezettség, károsodás és a kockázat mértékének csökkentése, megszüntetése, továbbá monitorozása érdekében szükséges.”* [8]

A kárelhárítás módszerének megválasztásakor általában abból indulnak ki, hogy a szennyezett terület talajában, és ezáltal az ottani vízbázisban található szennyező anyagok mértéke eléri-e a 6/2009. (IV.14.) kvVM-EüM-FVM együttes rendelete által meghatározott (B)³ szennyezettségi értéket⁴. A kárelhárítás során nem a teljes kárfelszámolás, illetve a szennyezőanyagok teljes eltávolítása a cél, hanem az, hogy a műszaki beavatkozások

³(B) szennyezettségi határérték: jogszabályban, illetve ennek hiányában hatósági határozatban meghatározott olyan szennyezőanyag-koncentráció, illetve egyéb minőségi állapotjellemzők olyan szintje a felszín alatti vízben, a földtani közegben, amelynek bekövetkeztekor a földtani közeg, a felszín alatti víz szennyezettnek minősül, figyelembe véve a felszín alatti víznél az ivóvízminőség és a vízi ökoszisztémák, továbbá a felszín alatti víztől függő szárazföldi ökoszisztémák igényeit, földtani közeg esetében pedig a talajok többes rendeltetését és a felszín alatti vizek szennyezéssel szembeni érzékenységét – 219/2004. Kormányrendelet 3§. 3.

⁴ A felszín alatti vizekre vonatkozó határértékeket a rendelet 2. sz. melléklete tartalmazza.

következtében az egyes szennyező anyagok mértéke a (B) értékzónából a (D)⁵ határérték alá csökkenjen.

KÁRMENTESÍTÉSI MEGOLDÁSOK

A kármentesítési eljárás kiválasztásakor együttesen kell figyelembe venni a humán, a környezeti és környezetvédelmi kockázatokat. A legalkalmasabb módszer egy adott szennyezés mentesítésére számos tényezőtől függ. A szennyező anyag fizikai és kémiai tulajdonságai, a szennyezett közeg hidrogeológiai adottságai, hogy van-e a közelben vízkivételi műtárgy, a mentesítést követő tervezett területhasználat, valamint hatósági és lakossági vélemények mind szerepet játszanak benne. [9] Természetesen az alkalmas technológia megválasztásakor szerepet játszik a költséghatékonyság, de a fenntarthatóság elve is. Pont ez a fenntarthatósági tényező az, ami miatt az utóbbi időben a kármentesítés az egyes fizikai és kémiai módszerek felől egyre inkább eltolódik a biodegradációs módszerek irányába, azaz a bioremediáció⁶ felé. A fizikai és kémiai tisztítás során sokszor a szennyező anyag nem szűnik meg létezni, csak annak térfogata csökken, valamint veszélyes hulladék és melléktermék is képződik, amelynek megsemmisítéséről szintén gondoskodni kell (pl. hazánk esetében a dorogi hulladékégetőbe kerül, ahol bár a mellékesen keletkező hőt hasznosítani tudják a távhőszolgáltatásban, korántsem járul hozzá a fenntarthatósághoz). Jóllehet a fizikai és kémiai technológiák hatékonysága, a szennyezés felszámolásának mértéke eléri a 95-98%-ot, ráadásul a kivitelezés ideje is elég gyors, nem tekinthető költséghatékonynak. A biológiai tisztítási módszerek hátránya viszont, hogy csak bizonyos típusú szennyezőanyagok és szennyezési koncentrációk mellett alkalmazhatóak, és a környezeti állapot változása befolyásolhatja a folyamatot. Ugyanakkor jóval költséghatékonyabb eljárás, mint bármelyik másik. Sok esetben, mivel a (főleg nagy kiterjedésű) szennyezett területek kármentesítésénél nem a célterület teljes mentesítése, csak a „D” határérték elérése a cél, előnyben kell részesíteni a biológiai, in situ megoldásokat. [3]

A szennyezések eltávolítása történhet helyben (in situ) és lokalizálás után kiemelve, eltávolítva (ex situ) is. Ez utóbbinak két típusa ismert, az on site és az off site. Az on site mentesítési folyamat alatt azt értjük, amikor a szennyezett környezeti közeget kiemelve kezelik, viszont a kitermelt talajt, vagy talajvizet a művelet helyszínén tisztítják meg. Ezzel szemben az ex situ, off site mentesítés abban tér el az eddigiektől, hogy a kitermelt közeg elszállításra kerül és azt a kitermelés helyszínétől távol mentesítik. Sokszor az in situ eljárások ex situ elemekkel együtt működnek. Az in situ eljárások többnyire helyspecifikusak, egyediek, amelyeket az érintett területek heterogenitása miatt nem egyszer módosítani kell a helyszíni adottságokra szabva. [9]

FIZIKAI ÉS KÉMIAI MÓDSZEREK

Fizikai módszereknek tekinthetőek mindazok, melyek során a vízkészletekre károsan ható oldott szennyeződések úgy távolítják el, hogy a szennyezett vizet, vagy a vízben található

⁵(D) kármentesítési célállapot határérték: hatósági határozatban előírt koncentráció, amit a kármentesítés eredményeként kell elérni az emberi egészség és az ökoszisztéma, illetve a környezeti elemek károsodásának megelőzése érdekében; meghatározása a kármentesítési eljárás keretében végzett komplex értékelésen, a szennyező anyagnak a környezeti elemek közötti megoszlására, viselkedésére, terjedésére vonatkozó méréseken, modellszámításokon, kármentesítési mennyiségi kockázatfelmérésen alapul a területhasználat figyelembevételével – 219/2004. Kormányrendelet 3§. 4.

⁶Gyógyítás, ártalmatlanítás, esetünkben a vegyi anyagokkal szennyezett környezeti elemek kockázatának elfogadható mértékűre csökkentése

szennyeződések valamely módon felduzzasztva és/vagy visszatározva lokalizálják és eltávolítják. A fizikai eljárásokat többnyire nem egyedien használják, sokszor valamely kémiai vagy esetleg biológiai elhárítási módszerrel együtt alkalmazzák. A kémiai módszerek elsődlegesen a vízben oldott anyagok eltávolítását, csökkentését célozzák meg kémiai reakciók segítségével, például valamely reagens anyag (savas/bázisos/a levegő oxigénje) hozzáadása által. Ezek a reagensek lépnek például redox reakcióba a szennyezés adott komponensével (komponenseivel), és valamely veszélytelen vagy kevésbé veszélyes terméket képeznek. A kémiai kezelés alatt többnyire a víz pH értékének az élettani szempontok szerinti határok közötti értékre való visszaállítását értjük a természetesen kissé lúgos, általában 7 és 8 közötti pH értékre. A savas szennyezők közömbösítése lúgos anyagokkal, például mésztej, szóda adagolásával történik a pH-érték növelése céljából, ezzel szemben a lúgos szennyezők közömbösítésére, a pH-érték csökkentésére savas anyagokat használnak. A mérgező gázok, mint ammónia és kénhidrogén esetében olyan egyéb vegyi anyagokat kell a vízhez adagolni, amelyeknél oldott gáz állapotban maradnak a vízben, ahonnan aztán levegőztetéssel eltávolíthatóak („kihajtás” – stripping, purging). Tehát a kémiai módszereket is gyakran kiegészítik fizikai beavatkozással. [3]

Az egyik legjellemzőbb fizikai-kémiai beavatkozás a *levegőztetés*, amelynek során a szennyezett víztömeget mesterséges beavatkozással oxigénben dúsítják. A műveletnek az a célja, hogy a biológiailag bontható szerves anyagokat, az elszíneződést okozó szennyezéseket, valamint a vízben oldott mérgező gázokat távolítsa el a szennyezett vízből. A víz oldott oxigéntartalma a következő módszerekkel növelhető: porlasztás, permetezés, csörgedeztetés, légbefúvás. [3] Gyakorlati megvalósítása nem mindig lehetséges, sokszor nem gazdaságos, a helyszíni adottságok nem mindig engedik. A levegőztetést megoldhatják például a helyszínen lévő műtárgyak (zsilip, duzzasztómű) felhasználásával, ami gyors és egyszerű megoldás, hiszen nem kell extra technikai eszközöket felvonultatni, hátránya viszont szintén ebből származik, mert helyhez kötött, s csak ott megvalósítható, ahol a műtárgy létezik. Hasonló funkciót tölthetnek be a bukógátak, amelyeknek az az előnye, hogy meglétük hiányában akár ideiglenesen is kiépíthetőek homokzsákból, kőből, farönkökből, etc. Mobil – és jól bevált – megoldást jelent a szivattyúzás vízszugárképzéssel, melynek során a kiáramoltatott, porlasztott víz nagy felületen képes oxigénnel dúsulni, és ezáltal lebontja az oxidálható szennyeződések. Léteznek mindezek mellett felületi levegőztető és légbefúvó berendezések is.

Úszó olajszennyezéseket el lehet távolítani vákuumos szabadfázis kitermeléssel, ötvözve a technológiát a bioventillációval. A bioventilláció elősegíti a szénhidrogének aerob lebomlását, a vákuumos szabadfázis kitermeléssel a könnyű, felúszó szennyezőktől szabadítják meg a vízfelszínt, vagy akár a talajkapillárisokat is (részletesebben erről a 2. cikkben). [10]

A levegővel történő *sztrippelés* egy olyan ex situ eljárás, amely szintén alkalmas mind felszín alatti, mind felszíni és csurgalékvizek kezelésére. Ennek során úgy választják el a szerves vegyületeket a vízbázistól, hogy megnövelik a szennyezett víz levegővel érintkező felületét. Mindez történhet töltetes tornyokban, diffúz vagy tálcás levegőztetőkkel és permetezéssel. Az eljárás során a szennyező anyagok a vízből a levegőbe áramlanak. De sztrippeléses eljárásról például a talajvíz-keringető kút is. Ezen esetben a kút talpszintjén és a talajvízszint magasságában is megszűrlik a vizet. Egy injektáló csövön keresztül levegőt nyomnak a kút vízszintje alá, amitől felfelé irányuló vízáramlás alakul ki, és az illékony szennyező anyagok sztrippelődnek. A távozó szennyezett levegőt felfogják és továbbkezelik, a mentesített víz pedig visszajut az eredeti helyére. Mivel a talajvízkivétel és -visszajuttatás eltérő mélységben történik, a környező víztartó zónában megindul a talajvíz keringése, és az érintett talajzóna is alaposan átöblítődik, hidraulikusan tisztul.

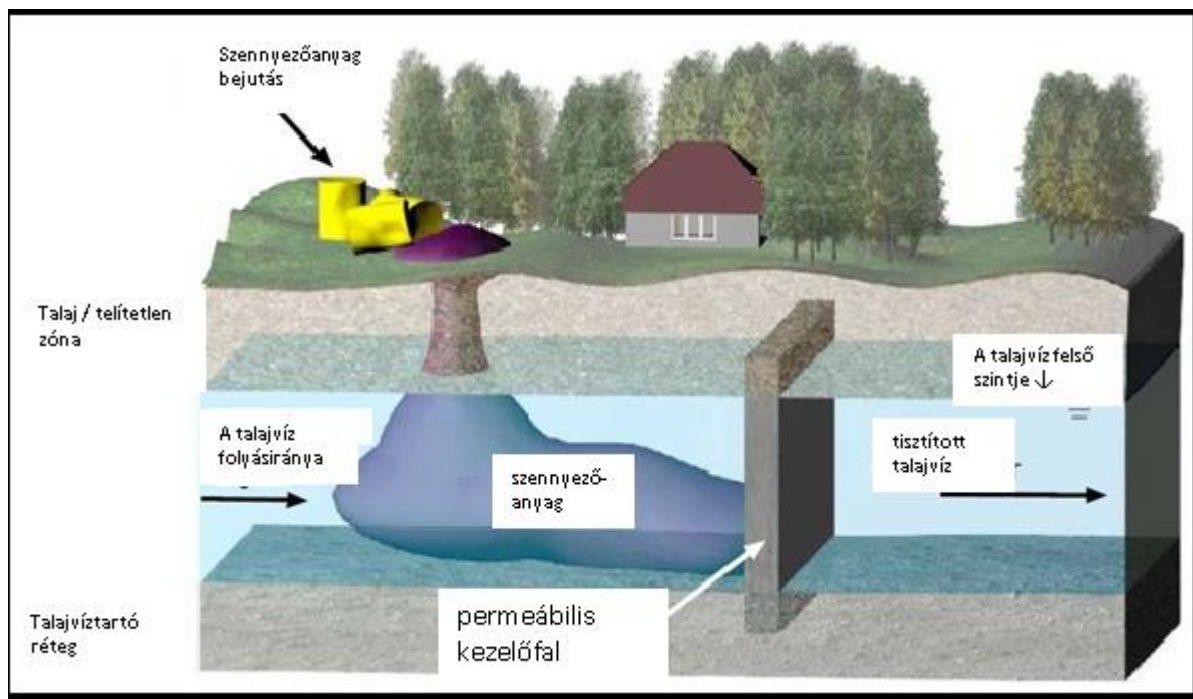
A vízben található lebegőanyag tartalom eltávolítása történhet még *fázisválasztással*. A fázisválasztás alkalmazható szennyezett felszíni, felszín alatti és csurgalékvizek kezelésére.

A fázisválasztás során a szennyezőket a hordozó közegtől (jelen esetben a vízből) próbálják fizikai és/vagy kémiai úton elválasztani. A fázisválasztás számos módon megvalósítható: desztilláció, szűrés, fagyasztásos kristályosítás, fordított ozmózis stb.

Az *adszorpción* alapuló eljárás során a vízbázisokban oldott szennyező anyagok egy adszorbens felületén megkötődnek, így csökken a koncentrációjuk a folyadékban. A leggyakoribb adszorbens az aktív szén, de használnak még egyéb ásványi anyagot, például zeolitot, illetve szintetikus gyantákat is. Az adszorpció eljárás ex situ folyamat, amikor is a szennyezett víz kitermelésre kerül, és azt átvezetik az adszorbens felületen, amely így megköti a szennyező anyagokat. Általában szerves eredetű szennyezések eltávolítására alkalmas. Az adszorbenst regenerálni kell/lehet, kivéve, ha az nehézfémekkel szennyezett. Ilyenkor veszélyes hulladékként kezelve biztonságos elhelyezése szükséges. Adszorpció eljárással távolítják el például a felszíni vizekbe került olajszennyeződések is.[3] Az utóbbi időben egyre gyakrabban használnak *zeolitot* adszorbensként, annak számos előnye miatt. Megtalálható a természetben, de viszonylag könnyen előállítható mesterségesen is. A zeolitok felületén üregek találhatóak, amelyeket alumínium-, szilícium- és oxigénatomok alkotnak. Ezek az üregek, pórusok molekulaméretűek és ezek segítségével óriási hálókat tudnak alkotni, hatalmas aktív felülettel, ahol a zeolit ki tudja fejteni a katalitikus hatást. Arra is van lehetőség, hogy egyes fémeket beültessenek ezekbe az üregekbe, ahol a zeolit képes az egyes alkánokat megfogni, kisebb méretűvé alakítani. A zeolitokat több területen fel tudják használni, katalitikus és adszorbens hatása mellett a pH szabályozó hatása is ismert, lágyítja a vizet, megakadályozza annak túl lúgosodását. A zeolitot molekulaszitának is nevezik, mert az olyan kis méretű molekulákat, mint például a víz vagy a metán átengedi, de az elágazó láncú szénhidrogéneket vagy a nagyobb molekulákat, például a benzolt már nem. Kiváló adszorbeáló tulajdonsága mellett emiatt is használják a kármentesítéskor. Ráadásul a zeolit módosítható, ami által változhat a „szita” mérete, azaz szabályozható, mekkora molekula mehet át rajta. [11]

Vannak esetek, amikor a kármentesítés során például a szennyező forrásokhoz nem lehet hozzáférni, a további szennyezést nem lehet megállítani, és a kármentesítés csak a szennyező csóvában lehetséges. Amennyiben a szennyezési terhelés nem túl nagy, a víz áramlására merőlegesen elhelyezett *permeábilis kezelőfalak* alkalmazása lehetséges. Természetesen ez inkább csak a kockázatcsökkentést szolgálja. Alkalmas nehézfémek kicsapására, illetve illékony klórozott szerves vegyületek dehalogénezésére is. Ahogy a neve is mutatja, a kezelőfalak víz által átjárható építmények, elemek, amelyeket reaktív közeggel töltenek fel. A szennyezett talajvíz keresztuláramlik a falon (ld. 1. ábra), illetve a benne elhelyezett töltőanyag, amely a szennyező anyagokat vagy megköti, vagy visszatartja. Élettartamuk hosszú, kevés karbantartást igényelnek. Lehetnek biológiailag reaktívak, például komposztot, faforgácsot tartalmaznak, melyhez a pH-értéket korrigálandó mészkövet adagolnak. Alkalmazható benne például aktív szén is, ráadásul ennek felületére speciális lebontó mikroorganizmusokat is lehet telepíteni. Amennyiben nem kell ezt a kezelőfalat túl mélyre juttatni, akár a bioreaktív töltetek cserélhetőek, regenerálhatóak is. Hátránya, hogy folyamatos monitorozása szükséges, hiszen a felfogott szennyező anyagok miatt a fal permeabilitása⁷ csökkenhet, amelynek következtében az áramló víz megkerülheti a kezelőfalat. [12]

⁷ áteresztőképesség

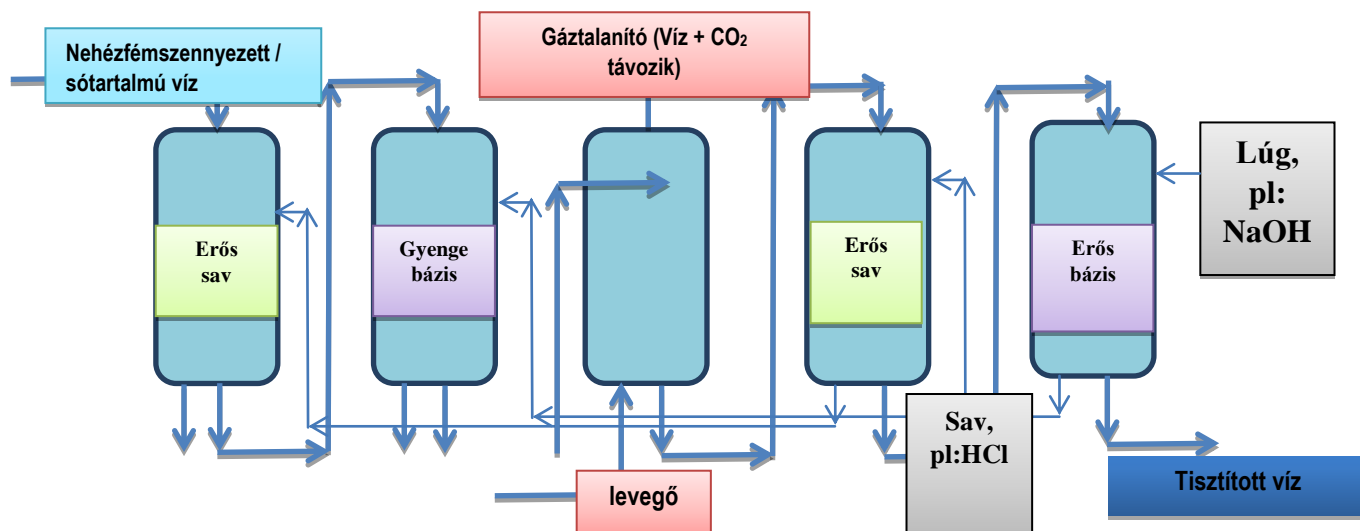


1. ábra Permeábilis kezelőfal elhelyezése a szennyeződések továbbjutásának megakadályozására [13]

A kicsapás és derítés alkalmas mind szennyezett felszíni, mind felszín alatti vizek kezelésére ex situ kémiai eljárással, amely során a vízben oldott formában jelenlévő szennyezőket szilárd, nem oldódó, kis átmérőjű szuszpendált részecskékké alakítják, azaz kicsapják. Miután ezeket koagulációval, flokkulációval alkalmassá teszik a fázisváltásra, ülepitéssel vagy szűréssel eltávolítják. Jelen esetben is kémiai és fizikai módszerek vegyítése történik. Ezt a módszert elsősorban nehézfém- és radioaktív izotóp szennyezők esetén érdemes alkalmazni.

Ioncserés eljárásakor a vizes fázis ionjait az ioncserélő közeg ionjai váltják fel. Ioncserélő közegként különböző gyanták szolgálnak, amelyek lehetnek természetesek, de mesterségesen előállítottak is. Az eljárás során használt gyanták regenerálhatóak és újrafelhasználhatóak. A vízből mind a nehézfémeket, mind a víz sótartalmát el lehet távolítani ioncserével. Az ioncsere szorpciós folyamat, ahol az ioncserélő – pozitív vagy negatív töltésű ionos aktív csoport – az egyes ionjait a vizes oldatban lévő, azonos töltésű ionokkal képes kicserélni. A folyamat reverzibilis, az oda-, ill. visszacsere feltételeinek biztosításától függően. Ezáltal biztosítható az ioncserélő anyagok kimerítése ill. regenerálása. Az ioncserélő gyanták akkor képesek ioncserére, ha a kicserélendő ionoknak nagyobb az affinitása az aktív csoporthoz, mint a benne lévő ioné, vagy pedig az oldatban lévő ionok koncentrációja elég nagy ahhoz, hogy a tömeghatás törvényének érvényesülésével az egyensúly felboruljon. Az erősen bázisos anioncserélő gyanták kvaterner-ammónium aktív csoportokat tartalmaznak, amelyek affinitása a OH^- -ionokhoz kicsi, ezért azt bármely más anionra kicserélik. Regenerálásukhoz éppen ezért erős lúgra van szükség. [13] A leghatékonyabb mentesítést négylépcsős rendszerrel lehet elérni. Ebben a rendszerben az ellenionhatást használják ki. A H^+ formájú erősen savas kationcserélő oszlop után elhelyezett OH^- formájú, gyengén bázisos oszlopot gáztalanító követi, ahol a keletkezett szén-dioxid eltávozhat, majd ismét erősen savas H^+ és erősen bázisos OH^- formájú oszlop. Ezt a rendszert mutatja be a 2. sz. ábra. A nehézfémek vízből való kicsapása összetett folyamat, ami ahhoz kell, hogy eltávolítható legyen a szennyvízből. Be kell állítani ehhez a biológiai folyamatokra ártalmatlan pH értéket, másrészt

a megfelelő reagens anyagot kell használni, hogy az oldott nehézfémek átalakítása nehezen oldódó hidroxidokká vagy bázikus sókká megvalósulhasson, hogy azok a szennyvízből eltávolíthatók legyenek.



2. ábra Négylépcsős ioncserélő rendszer (saját szerkesztés [14] számára)

Az ozonizálás és az UV-oxidáció alkalmas mind felszíni vizek, mind felszín alatti vizek ex situ kezelésére, mindenekelőtt kőolaj származékok, növényvédőszer, gyomirtók és egyéb toxikus anyagok eliminálására. A szennyezést úgy távolítják el, hogy ózon és hidrogén-peroxid segítségével létrehozzák a hidroxil gyököt, amely kifejezetten agresszív oxidatív hatással rendelkezik. A hidrogén-peroxidot a szennyezett vízhez keverik, az ózont pedig ellenáramoltatják a peroxiddal dúsított vízben, miközben az egészet UV lámpával világítják meg. Ezt a folyamatot többször is megismétlik egymás után. Az UV világítás hatására jön létre az a reakció, amely a hidroxil gyököt létrehozza és oxidálja a szennyezést. A reakció során maradhat felesleges ózon, amelyet oxigénné redukálnak és elvezetnek.

KÖVETKEZTETÉSEK

A vízbázisaink védelmével kapcsolatos jelenlegi és jövőbeli feladatok meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy mennyire érzékenyek ezek a mindennapi életünkhöz szükséges rendszerek, hogy azok egyes elemei bizonyos mértékig könnyen támadhatóak, a közhasználat miatt nehezen védhetőek, egynémelyük kiiktatása – ha csak időlegesen is – nem igényel sem különösebb szakértelmet, sem szervezést. Fenntartható életmódunk megkívánja, hogy ne a kármentesítés legyen az elsődleges feladatunk, hanem az egyes környezeti elemek szennyeződésének megelőzése.

A bemutatott kármentesítési módszerek sokban hozzájárulnak ahhoz, hogy megszabadíthassuk környezetünket, és ezen belül vízkészleteinket bizonyos szennyezésektől. Ezen cikk kifejezetten a vízbázisokat érő szennyezések mellett az azok mentesítésére alkalmazott fizikai és kémiai elvű műszaki megoldásokat célozta bemutatni, illetve a cikk második része fog kitérni a biológiai mentesítési módszerekre. Az itt felsorolt technológiák külön-külön vagy egymással ötvözve, egymást kiegészítve is alkalmasak a felszíni, felszín alatti, a csurgalék- és talajvizek megtisztítására, az egyes szennyezőanyagok eltávolítására. Ahogy az általános technológia, úgy a kármentesítési módszerek is rohamosan fejlődnek, egyre újabbakat kísérleteznek ki, és egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a környezetbarát

technológiák alkalmazására, amelyek kevésbé drasztikus beavatkozással járnak, ezért azok egyre inkább teret nyernek, hiszen „zöldebbek” és „környezetközelibbek”, mint jó néhány korábban alkalmazott és itt bemutatott ex situ eljárás.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] A felszín alatti vizekkel kapcsolatos fontosabb nemzetközi és hazai jogi szabályozás, <http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/fav/favm/favm03.htm>, (letöltve: 2017. március 18.)
- [2] MÁDLNÉ Dr. Sz. J. (szerk.): Hidrogeológia, <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/Hidrogeologia/ch02s03.html> (letöltve: 2017. március 18.)
- [3] PREGUN Cs., JUHÁSZ Cs.: Vízminőség; <http://www.agr.unideb.hu/ebook/vizminoseg/> (letöltve: 2015. február 28.)
- [4] DR. KONECSNY K.: A víz, mint erőforrás és kockázat, http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0038_foldrajz_konecsnykaroly/ch01s02.html, (letöltve: 2017. március 18.)
- [5] BÁRDOS Z., MUHORAY Á.: A belvíz kialakulása és az ellene való védekezés lehetőségének vizsgálata, Hadmérnök VII. évfolyam, 1. 2012, pp.79-80.
- [6] VARGA M., VÁRADI J.: Vízviisszatartás – tározás – vidékfejlesztés, MTA Történettudományi Intézet – MTA Társadalomkutató Központ, Budapest, 2010, 97.o.
- [7] DR. FEKETE E.: Vízminőség, kárelhárítás; <http://www2.ativizig.hu/karelhx/vizmin.aspx>, (letöltve: 2014. március 27.)
- [8] 219/2004. (VII. 21.) Kormányrendelet a felszín alatti vizek védelméről (letöltve: 2015. március 27.)
- [9] DR. HALÁSZ L., DR. FÖLDI L.: Környezetvédelem II., ZMNE-BJKMK, ABV Tanszék, Budapest, 2007
- [10] Kármentesítési kézikönyv 4, Kármentesítési technológiák, Környezetvédelmi Minisztérium, Budapest, 2001, <http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/karmkezikk4/4-07.htm> (letöltve: 2015. Április 16.)
- [11] Zeolit: Education in Chemistry, Molekulamagazin, <http://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/tudakozo/mm/zeolit.html> (letöltve: 2015.május 19.)
- [12] U. FÖRSTNER, P. GRATHWOHL: Ingenieurgeochemie, Technische Geochemie - Konzepte und Praxis, Springer Verlag, 2003, p.244.
- [13] <http://www.rubin-online.de/deutsch/einleitung/wasist/> (letöltve: 2015. május 22.)
- [14] DR. DOBOR J., HEGEDŰS H.: Особенности гидроксида натрия, его использование, значение в наши дни, Hadmérnök, X. évfolyam, 1. 2015, p.86.