

Felszíni és felszín alatti vizek hatása a vízépítési műtárgyakra a Rákos-patak műtárgyainak vizsgálata alapján

SZAKDOLGOZAT

Szent István Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar

Infrastrukturamérnöki Szakcsoport

Tóthpál Tamás

Budapest

2016

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. A műtárgyak csoportosítása	4
3. A műtárgyak építőanyagai	5
4. Vízkárok és az ellenük való védekezés	7
4.1. Töltés megcsúszás	7
4.2. Buzgár	7
4.3. Műtárgyak felúszása	8
5. A betonra ható káros folyamatok és azok okai	10
5.1. A betonkorrozó fogalma	10
5.2. Környezeti kitéti osztályok	11
5.3. Korrozó típusok	17
5.3.1. Karbonátosodás	17
5.3.2. Cserebomlási korrozó	19
5.3.3. Savkorrozó	19
5.3.4. Térfogatnövekedést okozó kémiai reakciók	19
5.3.5. Kilúgozás	19
5.3.6. A szerves vegyületek által okozott korrozó	20
5.3.7. Alkali-karbonát reakció	20
5.3.8. Szulfátos korrozó (duzzadás)	20
5.3.9. Fizikai olajkorrozó	21
5.3.10. Fagyveszély	21
5.4. A beton károsodásával szembeni védekezés módjai	22
5.4.1. Építés közbeni védelem	22
5.4.2. Vízzáróság biztosítása adalékanyagok alkalmazásával	23
5.4.3. Vízzáróság biztosítása felületi réteg képzésével	24
5.5. Összegzés	24
6. A fémeken jelentkező korrozós hatások	25
6.1. A fémkorrozó fogalma	25
6.2. A folyamatok csoportosítása	26
6.3. Elektrokémiai korrozó	28
6.4. A korrozós károsodást előidéző okok	31
6.5. Az acélkorrozó kiküszöbölése, a betonvasalás megóvása	32
6.6. Összegzés	32
7. A nedvesség hatása a földművekre	33
7.1. Víz a talajban	34

7.2. Fogalmak	35
7.3. Összefüggések bemutatása	38
7.4. Összegzés	43
8. A víz korróziójának bemutatása a közműhálózatokon	43
8.1. Fagyhatás	44
8.2. Egyenlőtlen süllyedések	45
8.3. Finomszemcsék kimosódása	45
8.4. Károsodások vizsgálata	46
8.4.1. Károsodások vizsgálatának célszerű sorrendje	46
8.4.2. Károsodások vizsgálatának elemei	46
8.5. Összegzés	47
9. A Rákos - patak műtárgyainak vizsgálata	48
9.1. Növényzet romboló hatása	49
9.2. Geotechnikai eredetű okok	49
9.3. Fagyveszély	51
9.4. Javaslattétel a meglévő károsodásokra	51
9.5. Rézsű állékonyságvizsgálata	53
9.6. Összefoglalás	55
10. Függelék	56
11.1. Jelölések	56
11.2. Fogalmak	56
11. Irodalomjegyzék	57
12. Melléklet	59

1. Bevezetés

Jelen szakdolgozat célja annak bemutatása, hogy a víz hogyan rongálja a víz hatásának kitett műtárgyak különböző részeit, és ezekkel a hatásokkal szemben milyen módszerekkel lehet védekezni. Ennek a témának a teljes feldolgozása meghaladná e szakdolgozat kereteit, ezért csak a legfontosabb környezeti hatásokat és azok következményeit emelem ki, illetve a védekezési módokat mutatom be.

A víz hatása az összes ember által épített építménynél jelentkezik, az épületeknél és a műtárgyaknál is egyaránt. Viszont különösen igaz ez az állítás a vízepítési műtárgyakra, ahol a rendszeres nedvességgel való érintkezés elkerülhetetlen. Ezek a vizek általában felszíni vizek lehetnek. Ha nem fordítanak kellő figyelmet a műtárgyak és a víz kapcsolatára, akkor az később könnyen megbosszulhatja magát. Ez érvényes mind a tervezés, mind a kivitelezés fázisaira. Egyes esetekben a meglévő, kész szerkezet utógondozására, karbantartására is szükség van.

Összességében elmondható, hogy a vízepítési műtárgyak hazánk vízrendezésének és vízgazdálkodásának szerves részét képezik. Nélkülük ezek a tevékenységek ha nem is megvalósíthatatlanok, de elég nehézkesek lennének. A téma aktualitását tükrözi, hogy manapság a mesterséges, emberi tevékenységgel kapcsolatos környezeti behatások (pl. a talajvízben oldott korróziót okozó anyagok, savas esők stb.) igen nagy hatással vannak ezen műtárgyak állapotára. A kellő karbantartás hiányában, vagy abban az esetben, ha a környezeti terhelés a tervezett szintet túllépi, akkor a műtárgynak a használhatósága erősen korlátozódik, vagy meg is szűnik.

A szakdolgozatom része egy általam végzett vizsgálat is, amelyben a későbbiekben felsorolt korróziós folyamatokat igyekeztem bemutatni a Rákospatak egy keresztmetszelmén, természetesen az összes folyamatot igyekeztem megfigyelni a vizsgált szakaszon, mégis csak kettő károsító hatást sikerült megfigyelnem, amivel részletesen is foglalkoztam (fagyvesztés, geotechnikai eredetű okok). Azonban kezdetben csak a rézsű állékonysága tűnt nekem kritikusnak a többi károsító tényező közül. Mint később kiderült, hogy a helyenként átnedvesedett talaj ellenére a rézsű mégis állékony.

2. A műtárgyak csoportosítása

A természetes környezetben elhelyezett műtárgyak többsége a vízépítési műtárgyak tárgykörébe tartozik. Ezek alatt értendő minden olyan létesítmény, amelyeknek a feladataik a következők:

- lehetővé teszik a felszíni vizek használatát különböző célok alkalmazására
- öntözés
- ivóvízellátás
- szennyvíztisztítás
- vízrendezés
- vízerő-hasznosítás

Legcélszerűbb a műtárgyak csoportosítása hidrológiai (hidraulikai) funkciójuk szerint. Ez az osztályozás is rejt magában néha bizonytalanságokat, azonban a jellegzetes műtárgyakat, vagy műtárgy részeket talán a legjobban elkülöníti egymástól. Ezek szerint a vízépítési műtárgyak lehetnek:

- A vízszint szabályozásának műtárgyai (duzzasztóművek, árvízkapuk, árapasztó- és egyéb zsilipek, tiltók).
- A víz tározására szolgáló művek (völgyzárógátak, víztornyok, medencék, aknák, tartályok).
- A vízi közlekedést szolgáló művek (hajózsilipek, csónakzsilipek, hajóemelő, hallépcsők és halliftek, stb.).
- Az energiaátalakítás műtárgyai (szivattyútelepek, vízerőtelepek, kiegyenlítő medencék, stb.).
- Az energiamegsemmisítés műtárgyai (surrantók, energiatörő és csillapító medencék, utófenékek, stb.).
- Vízvételző, vízfoglaló és vízszűrő műtárgyak (vízkivételi művek, artézi- és csőkutak, csápos kutak, galériák, forrásfoglaló művek).
- Vízosztó és vízmérő műtárgyak (osztóművek, szifonok, zsilipek és vízmérő berendezések).
- Keresztező műtárgyak (csőátereszek, csőzsilipek, bújtatók, védőcsövek, csőhidak, csatornahidak, csatorna-alagutak).
- Torkolati műtárgyak (torkolati művek, összetorkoló művek).
- Partvédő művek (partfalak).[1]

A műtárgyak két nagy csoportra oszthatóak:

- az egyik csoportba azok tartoznak, amik lehetővé teszik a felszíni és felszín alatti vizek hasznosítását az emberi tevékenység céljára.
- másik csoportba pedig azok a létesítmények tartoznak, amelyek a különböző vízkárokból adódó események anyagi veszteségét hivatottak kiküszöbölni vagy legalább a bekövetkezének az esélyét a minimálisra csökkenteni. Megjegyzendő, hogy efféle események bekövetkezésével mindig számolni kell, ennek a valószínűsége nem küszöbölhető ki teljesen.

A műtárgyak osztályozása az alábbi szempontok szerint lehetséges még:

- építési anyaguk szerint
- építés módja szerint
- vízgazdálkodási szerepük szerint

Azonban vannak műtárgyak, amik nem sorolhatóak be egyetlen kategóriába sem. Ezekre jellemző, hogy egyedi esetekben kerülnek megépítésre a helyi sajátosságokat figyelembe véve. Általánosan jellemző ezekre az építményekre, hogy valamilyen különleges körülmény következtében építés közben eltérnek a megszokott normáktól (indokolt esetben egyes szabályoktól). Ezeknek a műtárgyaknak általában az építése hosszadalmasabb, a karbantartásáról nem is beszélve.

3. A műtárgyak építőanyagai

Az építőanyagok nagy részénél a vízzel való tartós érintkezés problémát jelenthet. Ez alól nem kivétel a különböző talajrétegek kombinációjából felépített műtárgyak sem. Normál esetben, ha a vízszint egy kritikus értéket nem lép túl, akkor csak a műtárgy külső felülete érintkezik a vízzel, illetve a belsejébe is beszivároghat a víz, de onnan természetes (pl. diffúzióval, szivárgással) vagy mesterséges úton el tud távozni.

Probléma akkor lép fel, amikor a vízszint egy kritikus értéket elér (pl. egy folyómeder szintje túlzottan megemelkedik), így a gát, vagy egyéb műtárgy belső anyagát is veszélyezteti. Ebben az esetben a víz szintje túllépte a mértékadó terhelést, aminek következtében túlzottan megnövekszik a víz nyomása és emiattp. a gáttestbe is behatol a víz. Ilyen esetben csak az egyik problémát jelenti a megnövekedett vízszivárgás. A másik probléma egyes műtárgyaknál a víznyomás következtében kialakult extrém nagy feszültségek, amik ha túl nagyok, akkor a szerkezet egyes helyein túlzottan nagy igénybevételek keletkeznek, aminek a műtárgy tönkremenetele lehet a következménye. Ez a tulajdonság független attól, hogy az adott építmény milyen anyagból épült.

Bizonyos esetekben a műtárgyak nem csak betonból épülhetnek (bár ennek az anyagnak az alkalmazása nagyon gyakori), hanem természetes eredetű építőanyagokat is fel lehet használni a szerkezet megtámasztására vagy egyéb funkciók ellátására, amik így a kész műtárgy részévé válnak.

Ezek az anyagok a teljesség igénye nélkül (itt csak azokról az anyagokról esik szó, amelyek a gyakorlatban nagyrészt előfordulnak):

- beton
- fa
- acél
- talaj

A vízépitési műtárgyaknak különböző szempontoknak kell megfelelniük. Ezek:

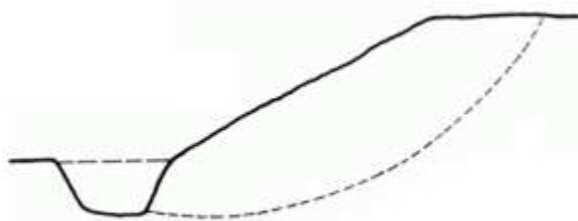
- statikai szempontok
- minősítési szempontok
- gazdaságossági szempontok
- szabványok

4. Vízkárok és az ellenük való védekezés

Itt csak a leggyakoribb esetekről írok, amikor a károsodások kizárólag a műtárgyakat érintik.

4.1. Töltés megcsúszás

Megcsúszásról akkor beszélünk, ha a mentett oldali részsű kezd szétfolyni, esetleg repedések mutatkoznak rajta. A megcsúszás (1.1. ábra) elleni védekezési mód az átázással megegyező: szád fal verése a vízfalra és védekezés a töltés alatti talajtörés ellen.



1.1. ábra

4.2. Buzgár

A buzgár a mentett oldalon keletkezik (1.2. ábra), általában elhalt növényi maradványok nyomán, mivel azon a helyen kisebb az áttörendő réteg. A víz nyomásából adódóan az behatolhat a gáttest anyagába és megjelenhet a mentett oldalon magával sodorva a kimosott szemcséket. Kezdetben a hosszú szivárgási hossz egyre rövidül és ez a folyamat időben egyre jobban felgyorsul, így egyre több és több anyag mosódik ki a gát anyagából.



1.2. ábra

Védekezés a jelenség ellen:

Ebben az esetben a feladatunk az anyag kihordás meggátlása, ezért az ellennyomó medence magasságát addig kell emelni, amíg a kisodrás (kihordás) meg nem szűnik. Amikor ez megtörtént, akkor beállt az egyensúly és már nincsen vízáramlás.

4.3. Műtárgyak felúszása

Ennek a veszélye szerencsére csak ritka esetben áll fent. Általában elmondható, hogy felúszni többnyire csak vasbeton medencék szoktak, mert ezeknek a méretükhöz képest kicsi a tömegük és a felhajtóerő ha elég nagy, akkor ki tudja billenteni, vagy valamilyen mértékben el tudja mozdítani az építményt. Meg kell említeni még, hogy ilyen esetben általában a felúszásnak kibillenés is a következménye. Ennek a leggyakoribb oka, hogy a felhajtóerő eredője nem a műtárgy súlypontja alatt van. Egyes esetekben, ha

az elmozdulás túl nagy mértékű, akkor az építmény funkcionalitását veszti és a továbbiakban nem alkalmas annak betöltésére.

A talajvíz megemelkedése esetén számítani lehet az alulról jövő víznyomásra. Ez a felfelé ható erő természetesen függ a talajvíz szintjétől, a talaj fajtájától és szerkezetétől is. Általánosan elmondható, hogy egységnyi talaj térfogatrészben a száraz talaj és a víz tömegének aránya is befolyásolja leginkább ezt az erőt. Olyan esetben, amikor a felúszás veszélye fennáll, a műtárgyak tervezésénél kiemelt figyelmet kell erre a jelenségre fordítani.

Következménye:

Az építmény eredeti funkcióját nem, vagy csak korlátozottan tudja ellátni. Ilyen esetben fel kell mérni a kár mértékét és dönteni kell a rekonstrukció – a lehetőleg leggazdaságosabb – módjáról. Nagyon ritkán előfordulhat olyan eset is, hogy az építmény rekonstrukciós költsége magasabb, mint az építmény építésének költsége. Ebben az esetben már nem éri meg a meglévő tönkrement szerkezetet kijavítani, hanem gazdaságilag egy új építése indokolt. Mivel ezeken az építményeken bármilyen mértékű beavatkozás (felújítás, elbontás) nagyobb kiadással jár, ezért olyan területen, ahol a talajvíz gyakori, ügyelni kell a műtárgyak felúszása ellen történő méretezésre.

Védekezés a jelenség ellen:

A felúszás ellen való védekezés két fő részre bontható: vagy a tervezési szakaszban már gondolnak a tervezők a jelenségre, és a méretezéskor azt figyelembe veszik, vagy a tervezési szakaszban ezt nem vették figyelembe, hanem már a műtárgy üzembe helyezése után (általában évekkel később) jön létre a jelenség és a beavatkozásra ilyenkor kerül sor.

A védekezési módszer: pl. elegendő súly biztosítása esetleg belső feltöltéssel, aminek a következménye a megnövekedett térfogatsúly, aminek ez ereje egyensúlyt tart a talajvízből keletkező felhajtóerővel. A felhajtóerő ellensúlyozására akár a földsúlyt is be lehet vonni.

Például egy védekezési lehetőség a jelenség kiküszöbölésére: az alaplemez lehorgonyzása tartós horgonnyal vagy cölöppel.

A megnövekedett talajvíznyomás következtében a felúszás mellett még két probléma állhat elő: a műtárgy belsejébe nagyobb mennyiségű víz fog beszivárogni. Mivel az nyomás alatt van, így a víz is gyorsabban fog behatolni. Ebben az esetben, ha a műtárgy több részből áll, akkor a csatlakozásokat általában vízszigetelő habarccsal teszik vízzáróvá. Ilyen esetben másik probléma, hogy a műtárgy anyagában nem kívánt feszültségek keletkeznek a lentről felfelé ható nyomás következtében. Ha ennek az erőnek pl. a műtárgy egy lemezszerű része van kitéve (pl. valamilyen víztároló esetében), ez esetben felfelé ható nyomaték is képződhet, aminek következtében a nyomaték helyén kialakulhatnak a betonban a húzott és a nyomott övek. Köztudott, hogy a beton húzószilárdsága körülbelül a

nyomószilárdságának az 1/10-e. Tehát, ha a húzott övben nincs elegendő vasalás beépítve, akkor a beton berepedezik (ami a medence belső részén tartóssági és vízzárósági szempontok miatt nem kívánatos jelenség) vagy egyes esetekben ezeken a részeken a beton tönkre is mehet.

5. A betonra ható káros folyamatok és azok okai

A vízepítési műtárgyak döntő többsége betonból készült, aminek bizonyos fajtáira károsan hat a víz jelenléte, mert abban a betonra nézve káros anyagok lehetnek. Hatására vegyi folyamatok indulnak meg, amelyek minden esetben hosszú távon a beton tönkremeneteléhez vezetnek. Minden korróziós folyamat kiváltó oka az, hogy a víz egyrészt a beton repedésein, másrészt a pórusokban mozogva halad keresztül a szerkezeten. A vegyi folyamatok mértéke és hatása nagymértékben függ a pórusstruktúrától, ezen kívül a repedezettségtől és a betonfelület mikrojellemzőitől. A vízzel kémiai kötés is kialakul, ezért a cement kémiai összetételének is nagy a jelentősége, de nem hanyagolhatók el az adalékanyag tulajdonságai sem.

A víz vándorlását tekintve nagy szerepe van a pórusstruktúrának, pontosabban a pórusok nyitottságának és a pórusméret eloszlásának. A nyitott porozitás azokat a pórusokat jelenti, amelyek egymással össze vannak kapcsolva, tehát átjárhatók, s így lehetséges a folyadékok vagy a gázok áramlása. A víz először kapilláris szívással hatol be, és ezzel együtt oldott ionok (pl. karbonátok, kloridok, szulfátok) is vándorolnak. Ezek az anyagok visszamaradnak a betonban, ahol jelentős mértékben feldúsulnak. A „kivirágzás” ennek a hatásnak a következménye: az oldott anyagok újrakristályosodnak a betonban.

5.1. A betonkorrózió fogalma

A korróziót a fémek, vagy a beton azon elértéktelenedésének tartjuk, amely kémiai vagy elektrokémiai reakció révén következik be, amikor azokat az időjárás, a nedvesség, a környezetben lévő vegyi anyagok, vagy más közeg hatásának tesszük ki. Mind a fémeket, de ezek közül is elsőként az acélt, mind a betont, széleskörűen használják építési célokra. A beton korrózióját vagy roncsolását a betonban lévő mésznek savval való reakciója okozza, vagy pedig az ásványi alkotórészek megtámadása erős lúgok által. A lúgok oldószerének többsége víz, illetve a víz maga is részt vehet a kémiai reakciókban.

Tehát a környezeti hatásoknak egy jó része víz jelenlétében megy végbe és a korróziós folyamatok általi tönkremenetel elég gyakori. Ezért ezeknek a folyamatoknak az ismertetését fontosnak tartom a szakdolgozat témája szempontjából.[2]

5.2. Környezeti kitéti osztályok

A legtöbb vegyi hatás ellen ma már sikeresen tudunk védekezni a megfelelő cementtípus alkalmazásával. Ezért felmerült az igény, hogy az adott környezetben megfelelő (csak odavaló) cementtartalmú betonokkal építkezzenek. Ezért a tervezők munkájának megkönnyítése céljából a betonokat különböző környezeti kitéti osztályokba sorolják, annak megfelelően, hogy milyen célra lesz a szerkezet adott eleme használva, és milyen vegyi hatásnak lesz kitéve a későbbiekben.

A környezeti hatások és károsodások a következők lehetnek (1. táblázat):

- karbonátosodás okozta korrózió: ahol a vasalást vagy más beágyazott fémet tartalmazó beton ki van téve a levegőnek és a nedvességnek
- kloridok által okozott korrózió: amikor a vasbeton vagy más beágyazott fémet tartalmazó beton klorid tartalmú vízzel érintkezik, beleértve a jégolvasztó sózást
- tengervízből származó klorid okozta korrózió: amikor a vasbeton vagy más beágyazott fémet tartalmazó beton tengervízből származó kloridnak vagy tengervízből származó sót tartalmazó levegőnek van kitéve
- fagyás/olvadás okozta korrózió jégolvasztó anyaggal vagy anélkül: amikor a beton fagyási/olvadási ciklusok által okozott jelentős igénybevételnek van kitéve nedves állapotban, esetleg jégolvasztó anyaggal együtt
- kémiai korrózió: amikor a beton ki van téve a természetes talajból és talajvízből származó anyagok kémiai korróziójának
- koptatóhatás okozta károsodás: amikor a beton csiszoló, csúszó, gördülő, súrlódó igénybevételnek, ütésnek vagy vízáramlás által mozgatott hordalék koptató hatásának van kitéve
- igénybevétel víznyomás hatására: amikor a beton víznyomás hatásának van kitéve[3]

A környezeti hatásoktól függő kitéti osztályok

Az osztály jele	A környezeti hatás leírása	Tájékoztató példák a kitéti (környezeti) osztályok előfordulására
1. Nincs korróziós kockázat		
X0	Vasalás vagy beágyazott fém nélküli beton esetén: valamennyi környezeti körülmény, kivéve azokat, ahol fagyás/olvadás, koptatás, víznyomás vagy kémiai korrózió fordul elő. Vasbeton vagy beágyazott fémet tartalmazó beton esetén: nagyon száraz.	Vasalás nélküli, korróziónak ki nem tett kitöltő és kiegyenlítő beton. Nagyon csekély, legfeljebb 35% relatív páratartalmú épületben lévő vasbeton.
2. Karbonátosodás okozta korrózió		
Ahol a vasalást vagy más beágyazott fémet tartalmazó beton ki van téve levegőnek és nedvességnek, ott a környezeti hatásokat a következők szerint kell osztályozni. MEGJEGYZÉS: A nedvességviszonyok az acélbetéteket vagy más beágyazott fémekeket takaró betonfedésre vonatkoznak, de sok esetben fel lehet tételezni, hogy a betonfedésben lévő körülmények a környezetet tükrözik. Ezekben az esetekben helyénvaló lehet a környezet osztályozása. Nem ez az eset akkor, amikor a beton és a környezet között elválasztó réteg van.		
XC1	Száraz vagy tartósan nedves	Csekély relatív páratartalmú épületben lévő beton. Állandóan víz alatt lévő beton.
XC2	Nedves, ritkán száraz	Hosszú időn át vízzel érintkező betonfelületek.
XC3	Mérsékelt nedvesség	Mérsékelt vagy nagy relatív páratartalmú épületekben lévő beton. Esőtől védett, szabadban lévő beton.
XC4	Váltakozva nedves és száraz	Víznek kitett betonfelületek, amelyek nem tartoznak az XC2 osztályba.
3. A nem a tengervízből származó kloridok által okozott korrózió		
Amikor a vasbeton vagy más beágyazott fémet tartalmazó beton kloridtartalmú vízzel érintkezik, beleértve a jégolvasztó sózást, akkor az igénybevételt a következők szerint kell osztályozni.		
XD1	Mérsékelt nedvesség	A levegőből származó kloridnak kitett, de jégolvasztó sóknak ki nem tett beton.
XD2	Nedves, ritkán száraz	Úszómedencék. Kloridot tartalmazó ipari vizeknek kitett, de jégolvasztó sóknak ki nem tett beton. Klorid tartalmú talajvízzel érintkező beton.
XD3	Váltakozva nedves és száraz	Kloridot tartalmazó permetnek kitett hídelemek. Járdák és útburkolatok. Autóparkolók födémei.
	MEGJEGYZÉS: Magyarországon a fagyási/olvadási aktusoknak és jégolvasztó sóknak kitett betonokat az XD3 környezeti osztály helyett az XF4 környezeti osztályba kell sorolni. A betont akkor kell az XD3 környezeti osztályba sorolni, ha fagy nem éri, de a jégolvasztó sók oldata vagy permete (például garázsokba behordott sólé) hatásának mégis ki van téve.	
4. Tengervízből származó klorid által okozott korrózió		

Az osztály jele	A környezeti hatás leírása	Tájékoztató példák a kitéti (környezeti) osztályok előfordulására
<i>MEGJEGYZÉS: Magyarországon csak különleges esetben használatos környezeti osztály, pl. amikor magyarországi tervező tengerparti országokba tervez (ír elő) vasbeton szerkezetet.</i>		
Amikor a vasbeton vagy más beágyazott fémet tartalmazó beton tengervízből származó kloridnak vagy tengervízből származó sót tartalmazó levegőnek van kitéve, akkor a kitévelt a következők szerint kell osztályozni.		
XS1	Sós levegőnek kitéve, de nincs közvetlen érintkezés a tengervízzel	Tengerparton vagy annak közelében lévő szerkezetek.
XS2	Állandóan tengervízbe merülve	Tengervízben épült szerkezetek részei.
XS3	Árapállyal, felcsapódással vagy permettel érintkező zónák	Tengervízben épült szerkezetek részei.

1. táblázat[4]

Fagyási/olvasztási korrózió jégolvasztó anyaggal vagy anélkül (2. táblázat)

Amikor a beton a fagyási/olvasztási ciklusok által okozott jelentős igénybevételnek van kitéve nedves állapotban, akkor a következő osztályok vannak.

Az osztály jele	A környezeti hatás leírása	Tájékoztató példák a környezeti osztályok előfordulására
XF1	Mérsékelt víztelítettség jégolvasztó anyag nélkül	Függőleges betonfelületek esőnek és fagynak kitéve.
XF2	Mérsékelt víztelítettség jégolvasztó anyaggal	Útépítési szerkezetek függőleges betonfelületei, amelyek ki vannak téve fagynak és a levegő által szállított jégolvasztó anyag permetének.
XF3	Nagymérvű víztelítettség jégolvasztó anyag nélkül	Esőnek és fagynak kitett vízszintes betonfelületek.
XF4	Nagymérvű víztelítettség jégolvasztó anyaggal vagy tengervízzel	Útburkolatok és híd pályalemezek jégolvasztó anyagoknak kitéve. Jégtelenítő anyagok közvetlen permetének és fagynak kitett betonfelületek. Fagynak kitett tengeri szerkezetek a felcsapódási zónában.

2. táblázat [5]

Magyarországon még figyelembeveendő további környezeti, illetve különleges igénybevételi osztályok (3-4. táblázat):

Az osztály jele	A környezeti hatás leírása	Tájékoztató példák a környezeti osztályok előfordulására
1. Nincs korróziós kockázat		
XN(H)	Környezeti hatásoknak (nedvesség, karbonátosodás, klorid hatás, fagyás/olvadás, kémiai korrózió, koptatóhatás vagy víznyomás) nem ellenálló, szilárdsági szempontból alárendelt jelentőségű beton	Korrózióknak ki nem tett kis szilárdságú aljzatbetonok, beton alaprétegek.
XOb(H)	Vasalás vagy beágyazott fém nélküli beton esetén: valamennyi környezeti körülmény, kivéve azokat, ahol nedvesség, karbonátosodás, klorid hatás, fagyás/olvadás, kémiai korrózió, koptatóhatás vagy víznyomás fordul elő.	Vasalás nélküli, korrózióknak ki nem tett kitöltő és kiegyenlítő beton.
XOv(H)	Vasbeton vagy beágyazott fémet tartalmazó beton esetén: valamennyi környezeti körülmény, kivéve azokat, ahol nedvesség, karbonátosodás, klorid hatás, fagyás/olvadás, kémiai korrózió, koptatóhatás vagy víznyomás fordul elő.	Legfeljebb 35% relatív páratartalmú, száraz helyen lévő belső helyiségben vagy levegő hozzájutásától teljesen elzárt, száraz helyen lévő vasbeton esetén.

3. táblázat [6]

Az osztály jele	A környezeti hatás leírása	Tájékoztató példák a környezeti osztályok előfordulására
XK1(H)	Könnyű szemcsés anyagok koptató igénybevétele. Gyalogos forgalom, puha abroncsú kerekek koptató igénybevétele.	Könnyű adalékanyagok, termények, stb. tárolására alkalmas silók, bunkerek, tartályok; járdák, lépcsők, garázspadozatok.
XK2(H)	Gördülő igénybevétel okozta koptatóhatás nehéz terhek alatt.	Betonút, durva, nehéz szemcsés anyagok tárolói, gördülő hordalékokkal érintkező betonfelületek.
XK3(H)	Csúszó-gördülő igénybevétel okozta koptató hatás igen nehéz terhek alatt.	Repülőtéri kifutópályák, felszállópályák, nehézipari szerelőcsarnokok, konténer-átrakó állomások
XK4(H)	Csúszó-gördülő igénybevétel okozta koptató hatás igen nehéz terhek alatt, nagy felületi pontosság és pormentesség igénye esetén.	Nehéz tehernek és targonca forgalomnak kitett csarnokok és raktárak keményfelületű, pormentes ipari padlóburkolata.

4. táblázat [7]

A következőkben viszont a környezeti osztályokhoz tartozó cement és betonjellemzők láthatóak (5. táblázat):

Környezeti osztály jele	Alkalmazási terület	Beton nyomószilárdsági osztálya legalább	Beton cement-tartalma legalább kg/m ³	Beton vízcement tényezője legfeljebb	Friss beton test-sűrűsége legalább kg/m ³	Kiszáritott szilárd beton test-sűrűsége legalább kg/m ³	Egyéb követelmény
1.1. Környezeti hatásoknak ki nem tett beton szerkezetek							
XN(H)	Környezeti hatásoknak nem ellenálló, szilárdsági szempontból alárendelt jelentőségű beton	C8/10	210	0,75	-	-	CEM 52,5 szilárdsági jelű cementet nem szabad alkalmazni.
X0b(H)	Környezeti nem ellenálló beton	C12/15	230	0,70	-	-	CEM 52,5 szilárdsági jelű cementet nem szabad alkalmazni.
1.2. Környezeti hatásoknak ki nem tett vasbeton szerkezetek							
X0v(H)	Környezeti hatásoknak nem ellenálló vasbeton, legfeljebb 35% relatív páratartalmú helyen	C16/20	250	0,70	-	-	CEM 52,5 szilárdsági jelű cementet nem szabad alkalmazni.
2. Karbonátosodásnak ellenálló beton és vasbeton szerkezetek							
XC1	Száraz, vagy tartósan nedves helyen, állandóan víz alatt	C20/25	260	0,65	2350	2260	-
XC2	Nedves, ritkán száraz helyen (épület alapok)	C25/30	280	0,60	2350	2270	-
XC3	Mérsékelten nedves helyen, nagy relatív páratartalmú épületben, vagy a szabadban, esőtől védett helyen	C30/37	280	0,55	2380	2310	-
XC4	Váltakozva nedves és száraz, víznek kitett helyen	C30/37	300	0,50	2390	2330	-

5. táblázat

Környezeti osztály jele	Alkalmazási terület	Beton nyomószilárdsági osztálya legalább	Beton cement-tartalma legalább kg/m ³	Beton víz-cement tényezője legfeljebb	Friss beton test-sűrűsége legalább kg/m ³	Kiszáritott szilárd beton test-sűrűsége legalább kg/m ³	Egyéb követelmény
3. Kloridoknak ellenálló beton és vasbeton szerkezetek							
XD1	Mérsékelt nedves helyen, levegőből származó kloridoknak kitett, de jégolvasztó sóknak ki nem tett, korrózióálló beton	C30/37	300	0,55	2360	2290	-
XD2	Nedves, ritkán száraz helyen, vízben lévő kloridoknak kitett, de jégolvasztó sóknak ki nem tett, korrózióálló beton (úszómedencék, ipari vizek hatása)	C30/37	300	0,55	2360	2290	-
XD3	Váltakozva nedves és száraz helyen, jégolvasztó kloridok perme-tének kitett korrózió-álló beton (hídelemek, járdák, útburkolatok)	C35/45	320	0,45	2400	2350	Magyar-országon a fagy/olvasztási ciklusoknak és jégolvasztó sóknak kitett betonokat az XD3 környezeti osztály helyett az XF4 környezeti osztályba kell sorolni.
4. Tengervízből származó klorid által okozott korrózió							
MEGJEGYZÉS: Magyarországon csak különleges esetben használatos környezeti osztály							
5.1. Függőleges felületű fagyálló beton és vasbeton szerkezetek							
XF1	Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton	C30/37	300	0,55	2360	2290	Légbuborék-képző adalékszer nélkül készül a beton.
XF2	Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sók permetének kitett fagyálló beton	C25/30	300	0,55	2260 legnagyobb megengedett	2180	Légbuborék-képző adalékszerrel készül a beton. Levegő-tartalom (képzett) legalább 4 térfogat-százalék.

6. táblázat

Tehát a fenti táblázatokból láthatjuk (5-6. táblázat), hogy a cement minőségének és egyéb betonjellemzők helyes megválasztásával a szerkezetek élettartama jelentősen megnövelhető.

5.3. Korrózió típusok

A beton tönkremenetelét felgyorsítja, ha a környezet, illetve a hőmérséklet nem megfelelő. A korróziós folyamatok jó része azért jön létre, mert a betonban lévő cement lúgos kémhatású. Ugyanis a portlandcement hidratációja során le nem kötött kalciumhidroxid (portlandit) keletkezik, amely a betonnak lúgos kémhatást ($\text{pH} \sim 13$) kölcsönöz. A le nem kötött (szabad) kalciumhidroxidot a víz oldja, ezért az a felületen kivirágzás alakjában megjelenhet. A levegővel érintkező beton felületi rétegében viszont a kalciumhidroxid a levegő széndioxidtartalmával reakcióba lép, és eleinte kalciumhidrokarbonáttá, majd vízvesztéssel kalcium - karbonáttá (mészkővé) alakul. Ez a jelenség a karbonátosodás, amely a beton vagy a cementhabarcs esetén a kapillárisok elzáródása és a szilárdság növekedése szempontjából kedvező, vasbeton vagy feszített vasbeton esetén viszont a lúgos kémhatás megszűnése folytán az acélbetét korróziója szempontjából kedvezőtlen. Ez utóbbi adja a kellő betonfedés jelentőségét.

A következőkben nézzük meg, hogy mik azok a leggyakoribb folyamatok, amik a tönkremenetelt okozzák:

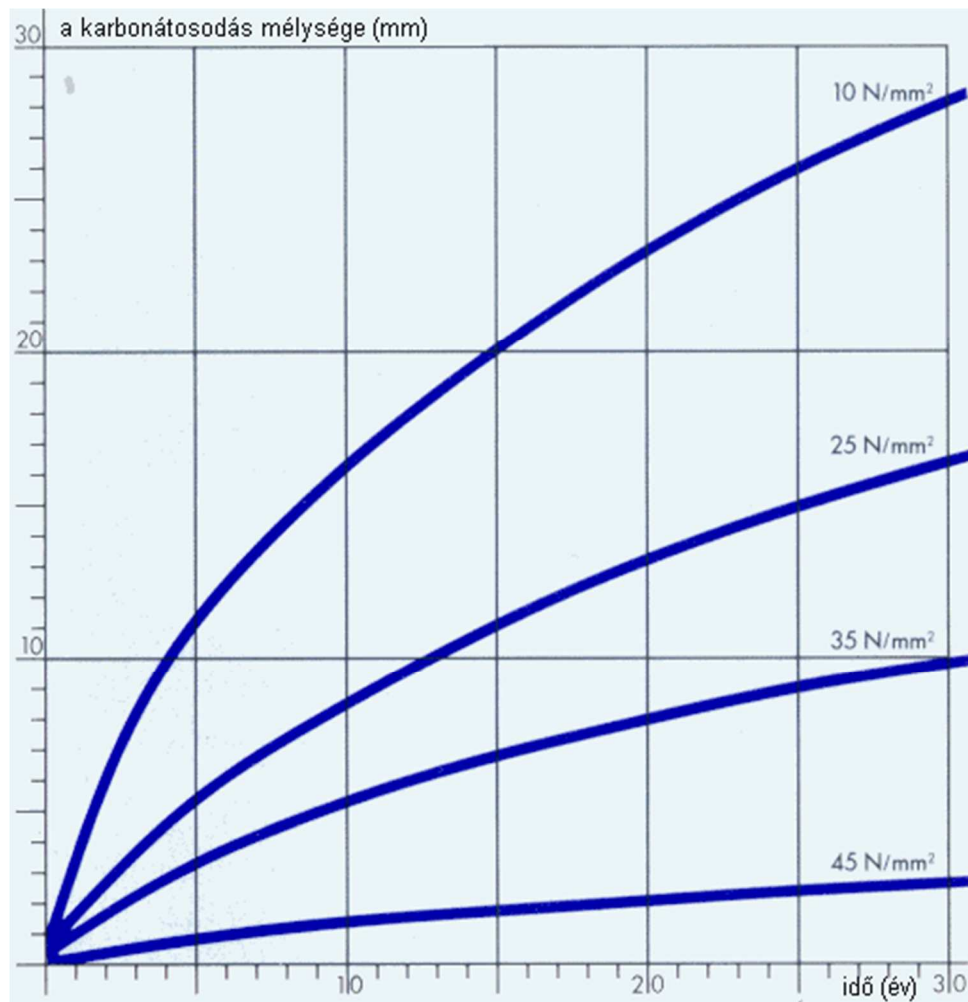
- Cserebomlási korrózió
- Savkorrózió
- Lúgkorrózió
- Térfogatnövekedést okozó kémiai reakciók és kristályosodás
- Kilúgozódás
- Szulfátos korrózió
- Alkáli-oxid korrózió

5.3.1. Karbonátosodás

A széndioxid betonba jutása révén a beton szabad mésztartalma kalcium karbonáttá alakul át, ami az erős lúgosság, és ezzel a korrózióvédő hatás megszűnését eredményezi (2.1. ábra). A karbonátosodás mélyülése nagymértékben függ a beton minőségétől és az időtől. Túl vékony betonfedés, vagy gyenge betonminőség esetén az úgynevezett karbonátosodási front viszonylag rövid idő alatt eléri a betonacél mélységét. Ekkor oxigén és nedvesség jelenlétében megindul a betonacél korróziója és a képződő rozsda lefeszíti a betonfedést. Ennek a folyamatnak az alakulása a 2.2. ábrán látható [8].



2.1. ábra: karbonátosodott betonfelület

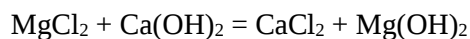


2.2. ábra: A karbonátosodás mélyülése a betonminőség és az idő függvényében

5.3.2. Cserebomlási korrózió

Általában ez a folyamat akkor következik be, ha a beton Mg^{2+} és NH_4^+ ion tartalmú vizekkel érintkezik. Leggyakrabban ezek a vizek talajvíz formájában vannak jelen.

A reakcióegyenlet:



A folyamat során csökken a kalcium-hidroxid fázis mennyisége, helyette jól oldódó kalcium-klorid és kimosódó magnézium-hidroxid keletkezik. (Az ammóniumsók jobb oldhatóságuk miatt még veszélyesebbek.) [9]

5.3.3. Savkorrózió

A beton felületén lévő karbonátos réteg feloldódik és emiatt a cementben lévő mész kilúgozódik. Ez a betonkorróziót okozó leggyakoribb folyamat.

Néhány vegyület, amik okozói a folyamatnak:

- szervetlen savak: szénsav, kénsav, salétromsav
- szerves savak: ecetsav, tejsav, hangyasav

5.3.4. Térfogatnövekedést okozó kémiai reakciók

Több folyamat is ide sorolható, ezért csak a közös jellemzőket említem meg.

Az agresszív vegyületek a cementkő alkotóival reakcióba lépnek, aminek következtében nagyobb térfogatú vegyületek keletkeznek és roncsolják a cementkő szerkezetét így pl. nátrium-szulfát, ammónium-szulfát, rézsulfát, alumínium-szulfát, vas-szulfát, kalcium-aluminát-szulfát-hidrát (cementbacillus) képződik.

A kristályosodás is ezen reakciók közé tartozik, amikor a ható vegyület oldat formájában felszívódik a pórusokba, majd a betonban kikristályosodik és a beton szerkezetét roncsolja.

5.3.5. Kilúgozás

A frissen megkötött beton pórusaiban lévő vizes közeg úgy tekinthető, mint $Ca(OH)_2$ -vel telített oldat, azaz erősen lúgos kémhatású (pH-ja 12 - 13). Tartós kilúgozás következtében - pl. csapadék, talajvíz, vagy folyóvíz hatására - a pH folyamatosan csökkenhet, ennek megfelelően a beágyazott acélszerkezet korróziós veszélynek van kitéve. A víz kalcium-hidroxidot old ki a betonból. Felületi mészlerakódással,

csökkenő szilárdsággal és tönkremenetellel is járhat. A lágy vizek betonnal való érintkezésekor fordul elő (esővíz, hólé, kondenzvíz).

5.3.6. A szerves vegyületek által okozott korrózió

okozói:

- pl. észter típusú vegyületek(elszappanosodás)
- ásványi olajok (savkorrózió, tapadáscsökkenés) akkor károsak, ha a kalcium ionokkal sókat képeznek.

5.3.7. Alkali-karbonát reakció

- Az előbbihez hasonló duzzadást okozhat az alkáli-oxidok és a dolomitok ($\text{MgCO}_3\text{CaCO}_3$) közötti reakció: $\text{MgCO}_3 \rightarrow 2\text{NaOH} \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3$
- Ismereteink szerint a duzzadást részben a dolomitok agyagszennyeződésének víz hatására végbemenő duzzadása (is) okozza. [10]

Korróziós hatások:

- kioldják a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ot (nö a porozitás)
- csökken a pH-érték (acélkorrózió szempontjából fontos))

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ kioldását befolyásolják:

- a cement fajtája és mennyisége
- az adalékanyag aktív SiO_2 tartalma
- a beton tömörsége és kora
- a víz keménysége

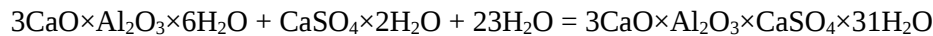
5.3.8. Szulfátos korrózió (duzzadás)

Duzzadási korrózió a szulfátsók betonba való beépülése során jön létre. (Cementbacilus.) A térfogat-növekedés a cementkövet szétfeszítheti. Ismétlődés esetében a beton teljesen összerepedezik, szétmorzsolódik.

Szulfátos talajvíz hatása:



gipsz



cementbacilus (ettringit)

Károsodás: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ lekötése

térfogat növekedés

Védelem: CEM I 32,5 S* (szulfátálló cement)

5.3.9 Fizikai olajkorrózió

Hatására az olajtól átitatott betonban csökkennek a kristályközi összetartó erők. Maradandó károsodás is kialakulhat, ha az olajnak savtartalma is van.[11]

5.3.10. Fagyveszély

Ez a probléma különösen a talajban vagy a talajhoz közeli részeknél fordul elő, többnyire ahol az építőanyag beton (de ez a jelenség minden olyan esetben veszélyt jelenthet, amikor az építőanyagban lévő kapillárisok nyitottak).

Maga a folyamat oka a következő: a talajból vagy más forrásból a betonban lévő kapillárisok megtelnek vízzel. Amikor a hőmérséklet fagypont alá csökken, akkor a kapillárisokban tárolt víz jéggé fagy, és ez szétfeszíti ezeket az apró hézagokat. A jég térfogata mintegy 1,1-szerese a víz térfogatának, tehát hosszú távon elég jelentős a romboló hatása. Figyelembe kell venni ezt a körülményt is a tervezéskor, mivel jelentősen befolyásolja a szerkezet élettartamát. A védekezési lehetőségeket két csoportra lehet bontani: ha lehetőség van rá, akkor a talajban fagyhatár alá építjük a szerkezetet, vagy fagyálló betont alkalmazunk.

5.4. A beton károsodásával szembeni védekezés módjai

Ezeket a tevékenységeket aszerint csoportosíthatjuk, hogy már építés közben megtörtént a védekezés, vagy erre csak utólag került sor.

5.4.1. Építés közbeni védelem

- A beton alkotóanyagait úgy kell összekeverni, hogy egyenletes betonkeveréket kapjunk.
- A keveréket gondosan kell tömöríteni.
- Betonozni folyamatosan kell, és a munkahézagokat a tervezett helyeken és a tervben előírt módon kell kialakítani.
- Azt is fontos figyelembe venni, hogy a vasbeton szerkezet egyik legkényesebb része az acélok betontakarásának vastagsága és minősége.
- Ahhoz, hogy a szerkezet megfelelő legyen, adott esetben szükséges még:
 - technológiai fegyelem
 - felületkezelés
 - felületi bevonatok
 - szigetelés, a felület teljes lezárása
 - nagyobb cementadagolás

Ha viszont a korróziós folyamat hatása már jóval az építés után következik be, mondhatni, hogy a tervezett élettartam alatt, akkor a műtárgyak védelme szempontjából ezek a módszerek állnak rendelkezésre:

- Az agresszív hatásoknak ellenálló betont készítünk:
 - o vízzáró beton
 - o szulfátálló cement, stb...
- Vízzáró felületi réteg kialakítása
 - o vízzáró cementvakolat
 - o vízűvegbevonat
 - o fluázózás: $2\text{NaF} + \text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaF}_2 + 2\text{NaOH}$ a kalcium-fluorid (CaF_2 vízben oldhatatlan bevonatot képez) (régí módszer)
 - o műgyantabevonat

5.4.2. Vízzáróság biztosítása adalékanyagok alkalmazásával

Vízzáró beton készítéséhez kedvező eredménnyel használhatók a tömítő, a képlékenyítő, a folyósító, a légbuborékképző és a kötéskésleltető adalékszerek.

A tömítő adalékszerek a kapilláris pórusokat zárják el és/vagy víztaszítóvá teszik a pórusok falait, ezáltal csökkentik a beton vízfelvételét, a nyomás alatti víznek a betonba áramlását, illetve a betonon való átszivárgásának a mértékét. A tömítő hatás olyan finom eloszlású anyagokkal érhető el, amelyek vízzel érintkezve megduzzadnak. Erre a célra duzzadó szilikátokat és egyéb anyagokat (pl. bentonit) használnak.

Ha az adott betonelemnél felmerül a fagyállósági követelmény, akkor általában légbuborékképző adalékszer használják a betonozás során. Viszont a vízzáróságot rontják a beton zsugorodása következtében létrejövő repedések. Ez a hatás megszüntethető a bedolgozott beton pihentetés utáni újravibrálásával, amely akkor hajtható végre, ha a betonkeverékhez kötéskésleltető adalékszer adagolunk.

Vízzáróságuk szerint a beton és vasbeton szerkezeteket három csoportba sorolhatjuk:

Mérsékelten vízzáró az a beton vagy vasbeton (esetleg vakolt szerkezet),

amelynek 1 m²-nyi felületén a legnagyobb üzemi víznyomás mellett 24 óra alatt legfeljebb 0,4 l víz szivárog át.

Vízzáró az a beton vagy vasbeton (esetleg vakolt szerkezet),

amelynek 1 m²-nyi felületén a legnagyobb üzemi víznyomás hatására 24 óra alatt legfeljebb 0,2 l víz szivárog át. Szabadban, vagy jól szellőző helyiségben ez a vízmennyiség általában elpárolog a felületről (azaz átnedvesedés nem észlelhető).

Különlegesen vízzáró az a beton vagy vasbeton szerkezet (esetleg vakolt szerkezet),

amelynek 1 m² felületén a legnagyobb üzemi víznyomás hatására 24 óra alatt legfeljebb 0,1 l víz szivárog át.

5.4.3. Vízáróság biztosítása felületi réteg képzésével

Vízhatlan rétegek alkalmazására legtöbbször régóta használt megoldás a bitumenes felületkezelés. Erre a megoldásra olyankor lehet szükség, ha a vasbetonszerkezet vastagsága nem elegendő ahhoz, hogy a tömegében vízzáró betonból készült szerkezet a felhasználási igényeket kielégítő mértékben vízzáró legyen, ill. akkor, ha a szerkezetet tervezési-kivitelezési hiányosságok miatt nem sikerült kielégítően vízzáróan megépíteni.

A szigetelőréteg helyzete szerint megkülönböztethetünk ún. pozitív és negatív helyzetű szigetelést. Pozitív helyzetűnek azt a szigetelő réteget nevezzük, amelyet a víznyomás a szerkezet felületéhez szorít, negatív helyzetűnek pedig azt, amelyet a víznyomás a felületről eltávolítani törekszik. Mind a szigetelési funkció ellátása, mind erőtani szempontból kedvezőbb a pozitív helyzetű szigetelés, ezért lehetőleg ezt a helyzetet kell alkalmazni. Szerkezeti anyag védelme szempontjából is csak a pozitív helyzetű szigetelő réteg jöhet számításba.

Utólagos javítások esetén azonban nem mindig van lehetőségünk pozitív helyzetű szigetelő réteg alkalmazására. A szigetelőréteg és a szerkezet kapcsolatának kialakítására kétféle lehetőség adódik: a felülettel együtt mozgó, ill. a felülettől függetlenített mozgású réteg alkalmazása.

A felülettel együtt mozgó vízhatlan rétegek tapadás útján folytonosan hozzá vannak kapcsolva a felülethez. Tökéletesen vízzáró beton nem létezik, de lelassítható a víz mozgása. Előnye, hogy így a szigetelő réteg rögzítése nem igényel speciális szerkezeti megoldást. Hátránya viszont ugyanebből adódóan az, hogy a váltakozó méretű repedések vonalában a bevonat folytonossága és egyenletes tapadása egymásnak ellentmondó követelmények kielégítését igényli.

A felülettől függetlenített mozgású rétegeknél ez az ellentmondás nem áll fenn. Gondot jelenthet viszont - különösen jelentős víznyomással szemben alkalmazott negatív helyzetű szigetelés esetén - a szigetelőréteg és a szerkezet független mozgását lehetővé tevő kapcsolatok megoldása. A felülettel együtt mozgó bevonatokat ezért csak olyan felületen lehet tartós sikerrel alkalmazni, amelyeken nincs aktív repedés.

5.5. Összegzés

Szinte minden beton kötőanyaga cement, viszont sajnos a korróziós folyamatokkal szemben ez a legérzékenyebb a többi alkotóelem közül. (adalékanyag, adalékszer).

Majdhogynem az összes korróziós folyamat következménye az, hogy a beton szétesik „kimosódik, kioldódik”, ezzel az anyag a szilárdságát egyre jobban elveszti az idő előrehaladtával, amíg teljesen

tönkre nem megy. Azonban vannak hatékony védekezési módok, amiket célszerű a szerkezet tervezésekor és építés közben szem előtt tartani. Ezek között szerepel az, hogy pl. adott környezetbe megfelelő cementtartalmú betont terveznek, így a vegyi folyamatok egy részét korlátozni lehet.

6. A fémeken jelentkező korróziós hatások

A vízepítési műtárgyak esetében a legtöbb építmény, ha betonból készült, akkor tartalmaz valamekkora mennyiségű vasat is. Mivel a két anyag összeépítve kiegészítik egymás hiányos tulajdonságait, így együtt már egy stabil, merev szerkezetet kapunk. A beton kémiai összetételének köszönhetően jobban ellenáll a környezeti hatásoknak, mint az acél, így a szerkezet külső felületét ez kell, hogy adja. Az acél viszont a kémiai behatásokra érzékenyebb, ezért a minimális betonfedés betartásával a „takarás” egy bizonyos ideig és mértékig megvédi azt a korróziótól.

A beton anyagú műtárgyakban előforduló vas nagyrészt betonacélként vesz részt a szerkezet erőjátékában. A vasbetéteknek több szerepe van, de általánosan elmondható, hogy a betonban létrejövő húzó (ritkább esetben nyomó) igénybevétel felvételére alkalmas a leginkább.

Ha a betonfedés már a korrózió következtében elvesztette eredeti funkcióját, akkor a továbbiakban a káros folyamatok az acélra is hatni kezdenek.

6.1. A fémkorrózió fogalma

Mind a fémeket, de ezek közül is elsőként az acélt, mind a betont széleskörűen használják építési célokra.

A korróziót a fémek, vagy a beton azon elértéktelenedésének tartjuk, amely kémiai vagy elektrokémiai reakció révén következik be, amikor azokat az időjárás, a nedvesség, a környezetben lévő vegyi anyagok, vagy más közeg hatásának tesszük ki.

Ez a folyamat nagy károkat okoz világszerte az iparban és a gazdaság minden területén. A nem védett felületű vas csupán a légköri hatások következtében évente kb. 0,1 mm-t veszít vastagságából.

A korrózió okozta közvetlen és közvetett kár hazánkban több tízmilliárd forint évente.

Közismert jelenség, hogy ha egy vas- vagy acéltárgy felületét védelem nélkül hagyjuk, akkor a felületén hosszabb-rövidebb idő múlva először vörösbarna foltok, majd egyre nagyobb összefüggő felületek jelennek meg, mígnem lyukacsos, porózus, lemezes szerkezetű képződmény fedi be az egész felületet,

s ez a folyamat mindaddig folytatódik, amíg az egész tárgy át nem alakul ilyen képződménnyé. Ez a rozsdá, a folyamat pedig a korrózió.

A fémeket érintő korróziós folyamatoknak sok típusa ismert és kiemelkedő fontosságúak, tekintve a betonacél széleskörű felhasználását, de a szakdolgozat témája miatt csak azokat fogom tárgyalni, ahol a víz is részt vesz a folyamatban.

A korrózió legismertebb megjelenési formája a felületi-, a lyuk-, és a réskorrózió (3.1. ábra).



3.1. ábra

6.2. A folyamatok csoportosítása

Egyenletes vagy általános korrózió:

Elektrokémiai korrózió a teljes felületen, az anód és a katód állandó eltolódása következtében.

Lyukkorózió:

Lokalizált elektrokémiai korrózió, amelyet a nagy katód felülethez képest kis anód felület eredményez.

Galvanikus korrózió:

Különböző fémeket összekapcsolva elektroliton keresztül az anódikus fém korróziója lényegesen nagyobb mérvű lesz, mint a katódikus fém.

Réskorrózió:

Az oxigénszint eltérései okozzák, rendszerint a levegő-folyadék fázishatárok mentén.

Eróziós korrózió:

Szilárd anyagok, folyadékok, gázok koptató hatása következtében fellépő mechanikai hatás következménye.

Feszültségkorrózió:

Az acélban meglévő feszültségek hatására az acél szemcsék anódokká válnak a szomszédos felületekhez képest, ami repedéseket idézhet elő.

Szemcsközi korrózió:

Szelektív korróziós hatás a fémekben lévő szemcsék felülete mentén. Legáltalánosabb példája az ausztenites rozsdálló acél hőkezelése során fellépő folyamat.

Súrlódási korrózió:

Eróziós korrózió, melyet a buborékok szétpattanása okoz az acél felületén. Például: hajócsavarok, szivattyú lapátkerekek, turbina lapátok felületén.

Ütközési korrózió:

Nagy sebességű folyadékok mozgása által okozott fizikai-kémiai hatás.

Rideg törékenységi:

A hidrogén gáznak a fémbe való diffundálása révén következik be, ott, ahol a fémekben feszültségek lépnek fel.

Cinktelenedés:

Cink szelektív kiválása bronzból.

Grafitosodás:

Vas szelektív kiválása öntöttvasból grafit hátrahagyásával.

Kóboráram:

Nedves talajokon következik be, ott, ahol a fémek olyan közvetlen áramforrásoknak vannak kitéve, mint a villamos vasút, vagy a hegesztő berendezések.[12]

6.3. Elektrokémiai korrózió

Ez a korróziófajta a többihez képest jobban elterjedtebb, ezért ebben a fejezetben kiemelten foglalkozom vele. A 3.2. ábrán a korrózió eredménye látható.

Az acél: a vasnak a szénnel és egy vagy több fémrel alkotott ötvözete. A vasoxid alakú ércet kényszerhuzatú kohóban mészkő jelenlétében redukálják. Az így keletkező öntöttvasat azután hevítéssel dolgozzák fel, miközben a felesleges szenet, s más szennyezőket kioxidálnak belőle. A lágyacél 0,3 %-nál kevesebb szenet, míg a többi acél 1,5%-ig terjedő szénmennyiséget tartalmaz.

A többi ötvöző fémek ezután adják hozzá az acél tulajdonságainak javítása céljából: a kobaltot és a cirkóniumot szerkezeti acélok gyártására, a krómot és a nikkelt rozsdamentes acélok, a wolframot, a molibdént és a magnéziumot egyéb különleges acélok gyártására.

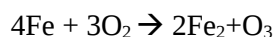


3.2. ábra: rozsd megjelenése egy zsírfogóban

Az eredményként keletkező acél így összetételében és szemcseszerkezetében nagyon eltérő. Ezt tovább bonyolítják a különböző szennyezők és szerkezeti hibák. Az egyik szemcse felületének az eltérése a másikéhoz képest kicsi, de mégis jelentős különbséget eredményez az elektromos energia szintekben. Ezt a különbséget nevezzük elektromotoros erőnek. Ez az elektromotoros erő képezi az acél felülete mentén fellépő korróziós folyamat hajtóerejét.

A korrózió bármilyen hatásra induljon is meg (először az anyag felületét támadja meg, s csak azután hatol a belső rétegekbe), a vason és az acélon vörösbarnás, az egyéb fémeken, mint például az alumíniumon, a cinken, a magnéziumon fehér kivirágzást, bemarkódást, míg a sárgarézen elszíneződést, repedést okoz. Ezeket a vörösbarna, fehér vagy egyéb színű képződményeket korróziós termékeknek nevezik.

A vason végbemenő folyamat:

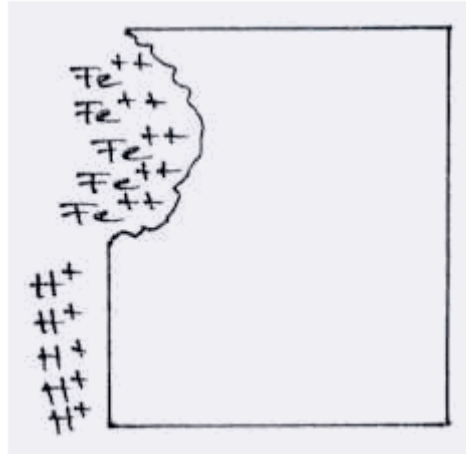


A korróziós folyamatok szorosan egybekötődnek az elektrokémiai folyamatokkal. Ez a magyarázata annak, hogy a korróziós folyamat felgyorsul helyi elemek kialakulásakor (3.3. ábra). (Helyi elem alatt értjük az eltérő elektrontöltésű fémek és bizonyos ionok oldatának víz jelenlétében történő rövidzárlatát).

Az elektromotoros erőnek nevezett hajtóerő, vagy más néven korróziós potenciál határozza meg valamely fém korrodálódásra való hajlamát. Az adott fém korrózióval szembeni ellenállóképessége pedig a korrózió sebességét határozza meg.

Az elektrokémiai korrózió kialakulásához szükség van egy anódra, egy katódra és egy elektrolitra (ami sok esetben valamilyen kémiai reagens vízben feloldva), amely az anód és a katód között kialakuló elektromos áramot közvetíti. Mindig az anód korrodál inkább, mint a katód. Minél kisebb az anód felülete a katódéhoz képest, annál nagyobb a korrózió sebessége.

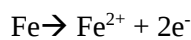
Az elektrolit ionokat (azaz töltéssel rendelkező részecskéket) tartalmazó oldat (jellemzően víz). Ionok vannak jelen a savak, a lúgok és a sók oldataiban is. Anódok és katódok valamennyi vas és acél felületén kialakulnak. Ezeket felületi hibahelyek, szemcse-orientációk, a fém inhomogenitása, helyi feszültségek, vagy szennyezések jelenléte eredményezik.



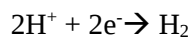
3.3. ábra

Elektrolit jelenlétében fémionok mennek oldatba. Ugyanakkor a katódra hidrogén ionok vándorolnak, amelyek ott elektron felvétel révén hidrogén gáz formájában leválnak. A hidrogén filmet képez a katódon, amely lassítja a korrózió sebességét. Az atmoszférában bőségesen rendelkezésre álló oxigén bejutása ebbe a filmbe megszakítja a hidrogén filmet, a katód depolarizálódik, a korrózió sebessége megnő.

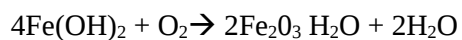
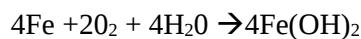
Az anódon lejátszódó reakció:



A katódon lejátszódó reakció:



Az elektrokémiai folyamat során képződő rozsda az alábbi reakció szerint keletkezik:



(hidratált vörös rozsda)

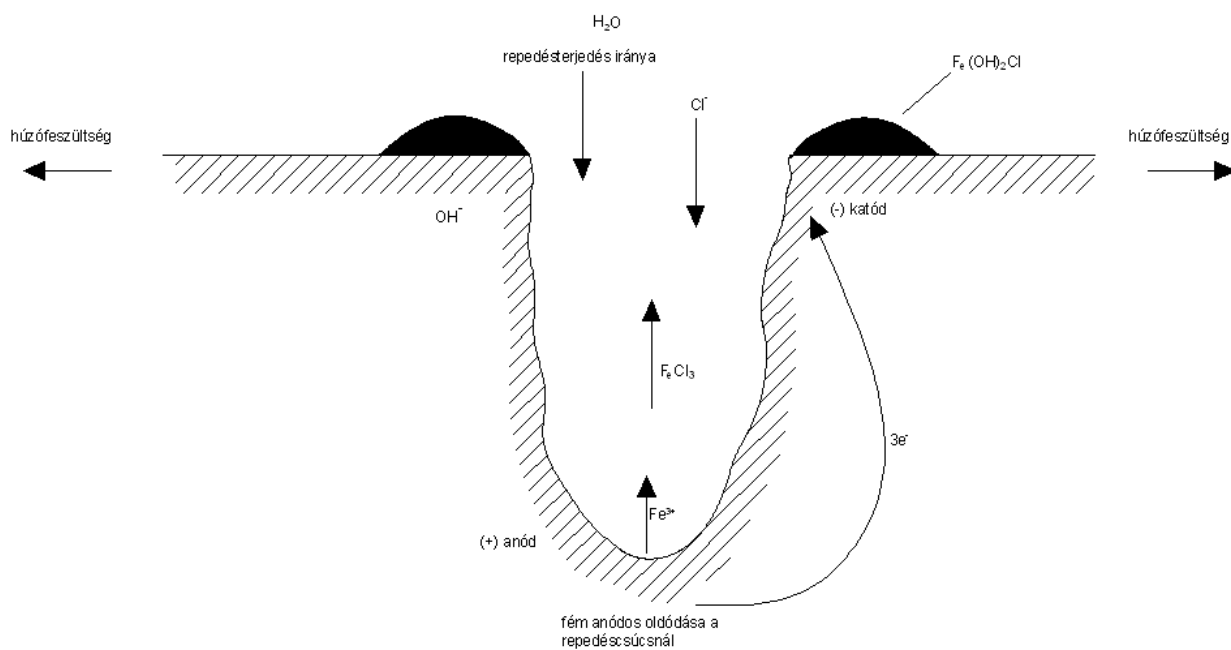
Ha a fémeket elektromotoros potenciáljuk szerint sorba állítjuk, akkor azt tapasztaljuk, hogy azok a fémek, amelyek ebben a sorban előrébb helyezkednek el, a korróziótól megvédik azokat a fémeket, amelyek hátrébb helyezkednek el ebben a sorban, amennyiben összepárosítjuk őket (a két fém elektroliton keresztül kapcsolatba hozzuk egymással).[13]

Az eddig elmondottak alapján tehát megállapíthatjuk, hogy a betonacél szempontjából kedvezőtlen, ha a betonba párás levegő jut, mivel ha az eljut a vasbetétekhez, akkor nagy eséllyel korróziós folyamat alakul ki.

kloridionok korróziós hatása (lyukkorrózió, 3.4. ábra)

Kloridionok korróziós hatása:

- lyukkorrózió
 - reakció: $\text{Fe}^{3+} + 3\text{Cl}^- = \text{FeCl}_3$
 - FeCl_3 – disszocializálódik $\rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{Cl}^-$
- feszültség (alatti) korrózió



3.4. ábra: lyukkorrózió

6.4. A korróziós károsodást előidéző okok

- pórusvíz a betonban
- Cl-ion diffúzió (3mm/év)
- a vázszerkezet szerelési pontatlansága: betontakarás hiánya, eltérő anyagú fémek érintkezése
- a szerelés elhúzóódása: atmoszférikus korrózió, átnedvesedés
- tömörítetlenség (beton hiányos bedolgozása)

6.5. Az acélkorrózió kiküszöbölése, a betonvasalás megóvása

Nyilvánvaló, hogy az imént tárgyalt folyamatokat a legjobb megelőzni, nem pedig utólag orvosolni. Ezen károk csökkentésére, haszontárgyaink védelmére különböző eljárások fejlődtek ki, amelyeket összefoglaló néven **felületvédelemnek** nevezünk.

Vasbeton esetében kivétel nélkül mindegyik eljárás az acélbetét felületét vonja be valamilyen anyaggal, megátolva ezzel, hogy a nedvesség reakcióba kerüljön az idegen anyagokkal. Ha a folyamat tartósan fennáll, akkor a vasszerkezet károsodhat. Rosszabb esetben a szerkezet teherbírása kimerül, aminek a teljes tönkremenetel lehet a következménye.

A legszélesebb területen alkalmazott felületvédelem a bevonatok alkalmazása, amelyet hétköznapi szóhasználatban gyakran csak festésnek neveznek.

A közhiedelemmel ellentétben a festés elsődleges funkciója nem a színezés, hanem a tárgyak korróziótól való megóvása.

Ahhoz, hogy a festékréteg jól ellássa funkcióját, jó tapadást kell biztosítani a festék és az alap között. Ehhez először általában meg kell tisztítani a felületet, amit gyakran oxidációs termékek, acél esetében rozsdá és ezen felül számos esetben még egyéb mechanikai szennyeződés, mint például zsír, olaj, stb. borítanak. Amennyiben a felvitt festék (bevonat) nem érintkezik közvetlenül a fémmel, amelyet védenie kell, úgy alatta korróziós folyamatok indulhatnak meg, vagy még a bevonat tönkremenése előtt leválhat, és így egyik esetben sem képes funkcióját betölteni.[13]

A védekezés másik módja a galvanikus korrózió jelenségének kihasználásán alapul. Azt a sajátosságot használjuk ki, amikor cink, vagy magnézium anódot kapcsolunk össze acéllal. A kémiai behatásra először a cink korrodál, s így védi az alapfémeket a korrózióval szemben. A galvanikus korrózióhoz a két fémeket érintkeztetni kell egymással elektrolit jelenlétében. [13]

6.6. Összegzés

Manapság a vasbeton a legjelentősebb építőanyagnak számít, és gazdaságosság tekintetében is többnyire felveszi a versenyt a többi anyaggal szemben. Ennek következménye, hogy sokoldalúan és nagy tömegben alkalmazzák építőanyagként. Sajnos itt is ugyanúgy, mint ahogy a többi fejezetben láthattuk, a víz jelenléte a fémek korrózióját is elősegíti, mivel a reakcióegyenletben lévő oxigén akár párából is származhat. Általános esetben egy szerkezet élettartamát 50 évre tervezik, azonban az előírászerűen elkészített vasbeton jóval meg is haladhatja ezt a kort. Viszont ennek több feltétele van: a tervezett élettartam alatt a szerkezetet ne érje olyan környezeti behatás, ami visszafordíthatatlan károsodást

okozna (szinte mindig először a beton károsodik és csak utána az acél). Persze technológiai hibák, a hiányos betonfedés, a túlterhelés és külső hatások szintén komoly betonkárosodásokat okozhatnak. Viszont ha ezeket a körülményeket sikerül kiküszöbölnünk, akkor valóban hosszú élettartamú szerkezetet kapunk.

7. A nedvesség hatása a földművekre

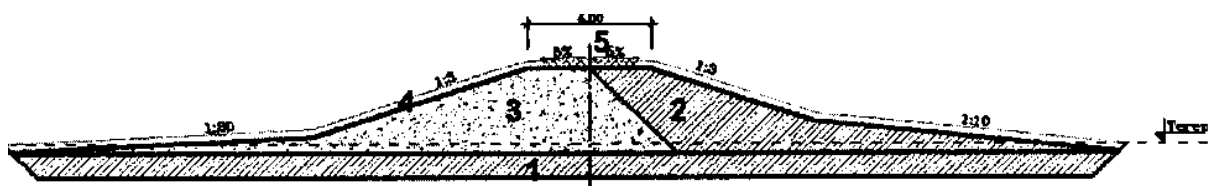
A vízépitési műtárgyak tönkremenetelének van egy olyan esete, amikor a víz nem betonnal kerül kölcsönhatásba, hanem talajjal, ami valamilyen mértékben meghatározza a műtárgy teherbírását és a benne keletkező feszültségeket különböző igénybevételek esetén.

Ez a terhelés is víz hatására jön létre, a nedvesség jelenléte kettős szerepet tölt be ebben az esetben:

- Egyrészt túl nagy vízmennyiség esetén a talaj nyírószilárdsága lecsökken, ami azt jelenti, hogy a műtárgy állékonyságát veszti (csúszólap alakulhat ki).
- Másrészt köztudottan a nedves föld nehezebb, mint a száraz, vagyis ebből kifolyólag a terhek intenzitása is megnő, elősegítve ezzel az építmény tönkremenetelét.

Tehát ezek a tönkremeneteli esetek is fontosak a szakdolgozat témája egészének feldolgozása szempontjából, így a továbbiakban ezzel a témával is foglalkozom.

A 4.1. ábrán egy átlagos árvízvédelmi töltés keresztmetszetét lehet látni. A részei: 1.) Töltésalap, 2.) Víz záró töltésmag, 3.) Háttöltés, 4.) Rézsűvédelem



4.1. ábra: egy átlagos árvízvédelmi töltés keresztmetszeti kialakítása

7.1. Víz a talajban

A talajokban lévő vizek formája lehet (4.2. ábra):

- pangó víz
- talajvíz
- kötött víz

Pangó víz

A pangó víz a vizet rosszul vezető rétegen felgyülemlett, szabadon mozgó víz, amely a talajvíztől abban különbözik, hogy a csapadéktól függően csak rövid ideig (átmenetileg) fordul elő. Nagy csapadék esetén kijuthat a felszínre.

A talajra kerülő csapadék lefolyik a felületen, elpárolog, vagy beszivárog a talajba. Eközben a beszivárgó víz egy részét a talaj a gravitációs erő ellenében (a talaj felvevőképességétől függően) megköti, a további mennyiség pedig leszivárog a talajvízbe. Amennyiben a beszivárgást a talajvíz felett elhelyezkedő, nehezen áteresztő rétegek akadályozzák, pangó víz keletkezik.

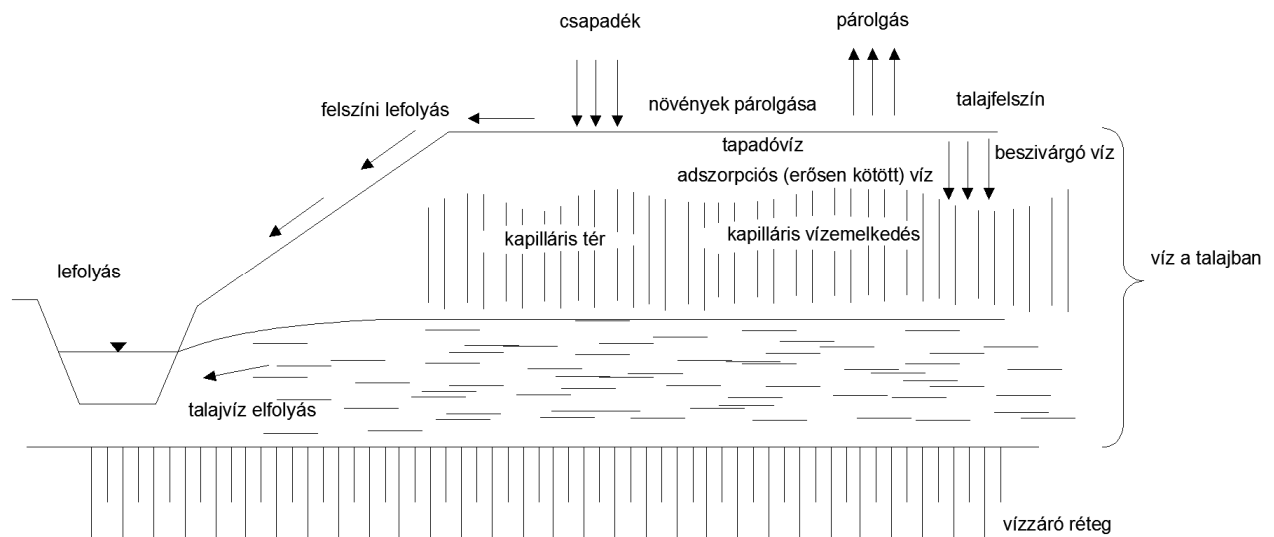
A talajvíz és a pangó víz előfordulhat vízszintes helyzetben, vagy lejtő mentén, és időnként forrás formájában kikerülhet a felszínre. A fedőréteg alatt, amely ha agyag, a talajvíz nyomás alá kerülhet. Hidrosztatikus nyomás lehet egészen a völgy aljáig. A völgyfenéken a víz időnként vagy állandóan túlnyomással folyik (artézi víz) vagy a talaj felső rétegét nedvesíti. [14]

Talajvíz

A talajvíz, a felső vízzáró réteg felett helyezkedik el, és kitölti a talajszemcsék közötti teret. Ezen víztömeg felső szintjét talaj vízszintnek nevezik.

Kötött víz

A kötött víz a talajrészecskék felületén megkötött víz. Mennyisége nagymértékben függ a talajfajtától.



4.2. ábra: víz a talajban

7.2. Fogalmak

A talaj kohéziója és belső súrlódási szöge

A külső erők hatására a talajban belső igénybevételek, nyomó-, húzó- és nyírófeszültségek lépnek fel. A talajok teherbírása részben a nyírási igénybevételtől függ. A keletkező nyírófeszültségekkel szembeni ellenállást nyírószilárdságnak nevezzük, ami pedig egyenesen arányos a szemcséket összetartó erővel (kohézióval). Ha az építmény alatt a talajban fellépő nyírófeszültség értéke eléri a nyírószilárdság értékét, talajtörés következik be.

A súrlódási szög viszont azt jelenti, hogy adott víztartalom esetén - emellett a szög mellett - még éppen hogy nem csúsznak el a talajrétegek egymástól. Ez a szög így egy határállapothoz tartozik, ha viszont kialakul a csúszólap, akkor ennek a síknak minden pontja törési határállapotban van, ami viszont szorosan összefügg a kohézióval. [15]

A nyírószilárdság összetevői:

- a belső súrlódás, amely a talajszemcsék közötti fajlagos súrlódási erő
- kohézió: amely a talajszemcséket tömören összetartó fajlagos erő (A szemcsés talajoknak /homokos kavics, homok/ nagy a belső súrlódása, de kohéziója nincs, viszont kis nedvesség hatására látszólagos kohézió alakulhat ki bennük).

A szemcsés talajok elcsúszással szembeni ellenállása a szemcsék egymásba való kapaszkodásából, gördülő és csúszó ellenállásából tevődik össze. A talaj belső súrlódását (φ) súrlódási szöggel fejezzük ki.

Kohézió

A kohézió értéke a víztartalomtól és a tömörségtől függ. A kötött talajok nagy kohézióval rendelkezhetnek, és nagyon kicsi a belső súrlódásuk. Értékét még a talaj víztartalma is befolyásolja. A száraz állapotú kötött talaj rendelkezik a legnagyobb kohézióval.

Ezt az erőt részben a kapilláris húzóerő okozza. A finomabb szemcséjű talajok pórusai, kapillárisai kisebbek, mint a durvább szemcséjű talajoké, azért azok nagyobb kohézióval rendelkeznek.[15]

Konzisztencia határok

Konzisztencia határoknak nevezzük azokat a víztartalmi állapotokat (víztartalmakat), aminél a talaj meghatározott tulajdonságot mutat. A konzisztencia határokat átglyúrt állapotú, zavart mintával (pl. spirálfúróval a felszínre hozott minta, ennek jellemzője, hogy az szétesett) határozzuk meg.

Az agyagásványokat tartalmazó talajokban a víztartalommal változik a szemcsék kapcsolatának az erőssége. (Később meg fogjuk látni, hogy ennek a tényezőnek a szerepe milyen fontos a talaj tönkremenetele szempontjából.) Ennek következtében ezen talajok az agyagásványos (mennyiségi és minőségi) összetételtől függően a víztartalom változásával eltérő módon viselkednek. Nagyobb vízmennyiség a talajt folyóssá teszi, amely lassan száradva merevvé alakul, és végül kemény térfogat állandóságú lesz. Ezek az átmenetek folyamatosak.

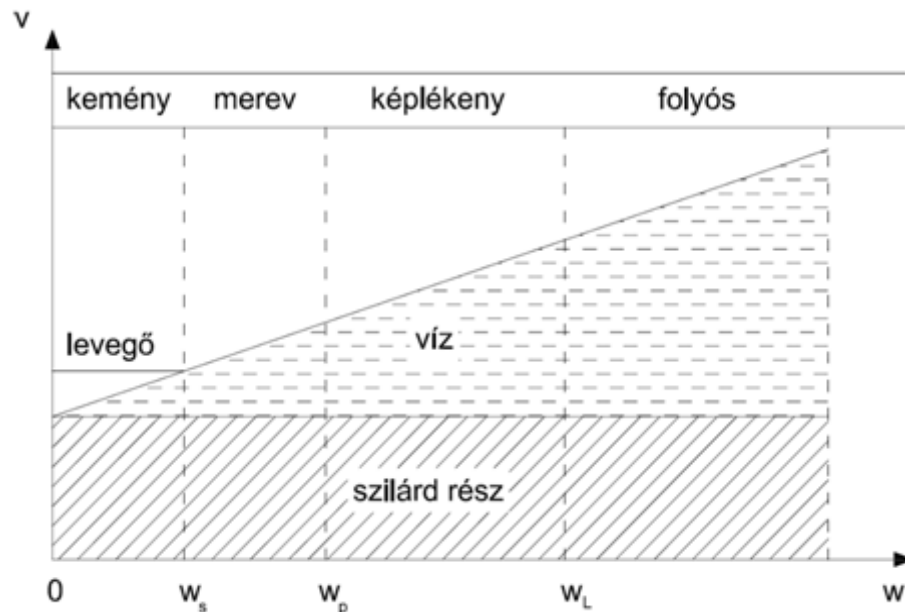
A konzisztencia határok meghatározását nemzetközi szabványban rögzített kísérleti eszközökkel és módszerrel végzik, minden esetben telített állapotú mintával.

Ha a talajban a víztartalom megnő, akkor lecsökken a konzisztencia, emiatt ezeken a helyeken csúszólap alakulhat ki.[17]

A konzisztencia határoknak három fajtája van – ezek a határvíztartalmak (4.3. ábra):

- Folyási határ (w_L):
 - a talajminta ennél a víztartalomnál „folyós” lesz
 - a talaj ennél a víztartalomnál képtelen bármekkora terhet is felvenni
- Plasztikus (sodrési) határ (w_p):
 - a talaj képlékeny állapotból merev állapotba megy át

- a talaj teherviselése töredéke a zsugorodási határ alatti víztartalomhoz képest
- Zsugorodási határ (w_s):
 - az a víztartalom, amelyen túl szárítva a talajt, az térfogatát már nem változtatja
 - ennél a víztartalomnál érhető el a legnagyobb teherviselés



4.3. ábra: a konzisztencia határok szemléletes ábrázolása

A talaj háromféleképpen mehet tönkre:

- a talaj elnyíródik
- aktív állapot, fellazulás, expanzió esete
- passzív határállapot (az expanzió ellentéte)

Plasztikus index (I_p)

A folyási és a plasztikus határ különbsége ($I_p = w_L - w_p$). Minél nagyobb a plasztikus index értéke, annál nagyobb lehet a kohézió is azonos körülmények mellett (terhelés nagyság, terhelés sebesség).

Az alábbiakban csak a kötött talajokkal foglalkozom, mivel csak ez tud a nyírószilárdságából eredő terhelést felvenni és ez a tulajdonsága jelenthet problémát a vízzel való érintkezéskor is.

A szemcsés és a kötött talajok határát körülbelül a plasztikus indexük alapján lehet megállapítani. Nagy általánosságban az mondható, hogy ha a plasztikus index 15%, akkor ez alatti értékek a szemcsés talajokra, míg az efölötti értékek a kötött talajokra jellemzőek.

7.3. Összefüggések bemutatása

A talajokban keletkező erők és reakcióerők leírásának is van matematikai alapja és ezeknek a bemutatása fontos a szakdolgozat témája szempontjából. A következőkben az alapfogalmakat és az alapösszefüggéseket ismertetem.

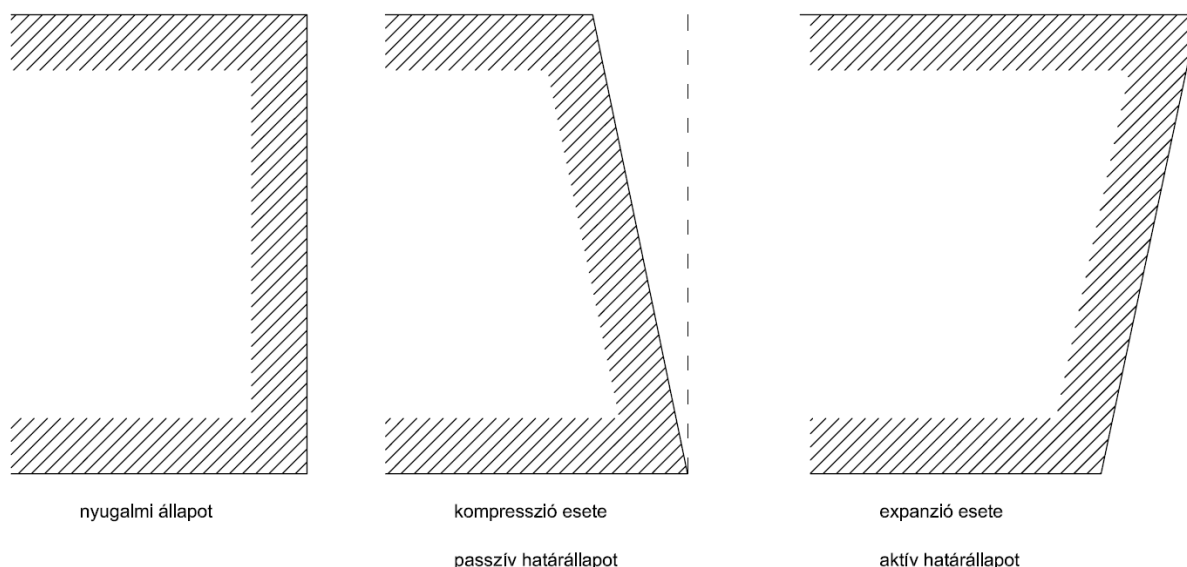
A talaj felszínén lévő teherből és a talaj fajsúlyából származó teher adott mélységben:

$$\sigma_z = (q + \rho * g * h)$$

A talajnyomás szempontjából három nevezetes határállapot van. Ezek: a nyugalmi állapot, a kompresszió („talajtömörödés”) és az expanszió („talajréteg kiborulás”) esete (ezeket az eseteket láthatjuk a 4.4. ábrán). Előbbit passzív határállapotnak, utóbbit aktív határállapotnak nevezzük.

Általánosságban elmondható, hogy a nyugalmi állapotot kivéve mind az aktív, mind a passzív határállapot ténylegesen egy állapot határát jelenti. Később látni fogjuk, hogy mind a két határállapotban a talaj állékonyságát veszti, ami tönkremenetelhez vezet. Ezek az esetek természetesen a vízépitési műtárgyak esetében is előfordulnak, amikor is a műtárgy anyagát talaj alkotja.

A tönkremenetel folyamata minden esetben úgy kezdődik, hogy a megemelkedett vízszint nagyobb terhelést okoz, mint a mértékadó szint. Ekkor egy idő után a megemelkedett nyomás hatására a gát anyagába átszivárog a víz, ezzel átáztatva azt.



4.4. ábra: képlékenységi határállapotok

Földnyomási tényező:

Ezek arányossági szorzók, értékük határozza meg a függőleges és vízszintes feszültségek közötti kapcsolatot, mindhárom állapotban más az értékük.

Aktív határállapotban:

$$K_a = \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

Passzív határállapotban:

$$K_p = \operatorname{tg}^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

Nyugalmi állapotban:

$$K_0 = 1 - \sin \varphi$$

A talajban ébredő feszültségek az állapotok szerint csoportosítva:

Aktív határállapotban

$$\sigma_{xa} = K_a * \sigma_z - 2c * \sqrt{K_a}$$

Így az összefüggés részletesebben kifejtve:

$$\sigma_{xa} = \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) * (q + \rho * g * h) - 2c * \operatorname{tg}\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

Passzív határállapotban

$$\sigma_{xp} = K_p * \sigma_z = tg^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) * (q + \rho * g * h)$$

Nyugalmi állapotban

$$\sigma_{x0} = K_0 * \sigma_z = (1 - \sin \varphi) * (q + \rho * g * h)$$

Az alapösszefüggések tisztázása után nézzük meg, hogy pontosan mi is történik a három alapesetben.

Aktív határállapotban az aktív földnyomás

$$E_a = K_a * \frac{\rho * g * h^2}{2} = tg^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) * \frac{\rho * g * h^2}{2}$$

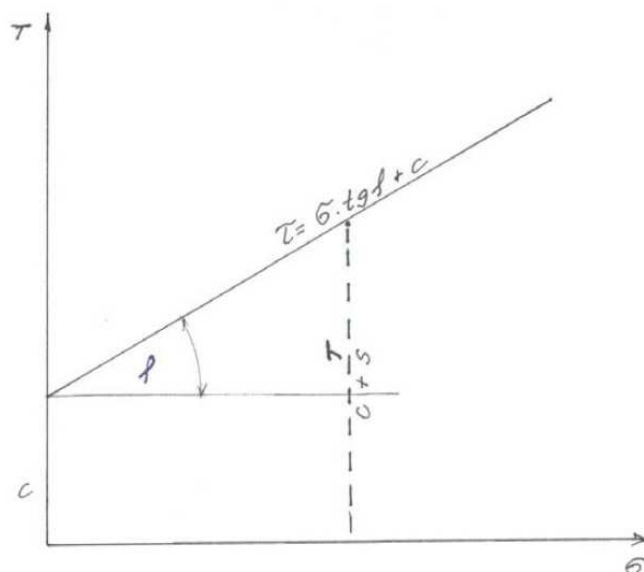
Passzív határállapotban a passzív földnyomás

$$E_p = K_p * \frac{\rho * g * h^2}{2} = tg^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) * \frac{\rho * g * h^2}{2}$$

Nyugalmi állapotban a nyugalmi földnyomás

$$E_0 = K_0 * \frac{\rho * g * h^2}{2} = (1 - \sin \varphi) * \frac{\rho * g * h^2}{2}$$

Rankine szerint a törési feltétel ebben az alakban írható fel:



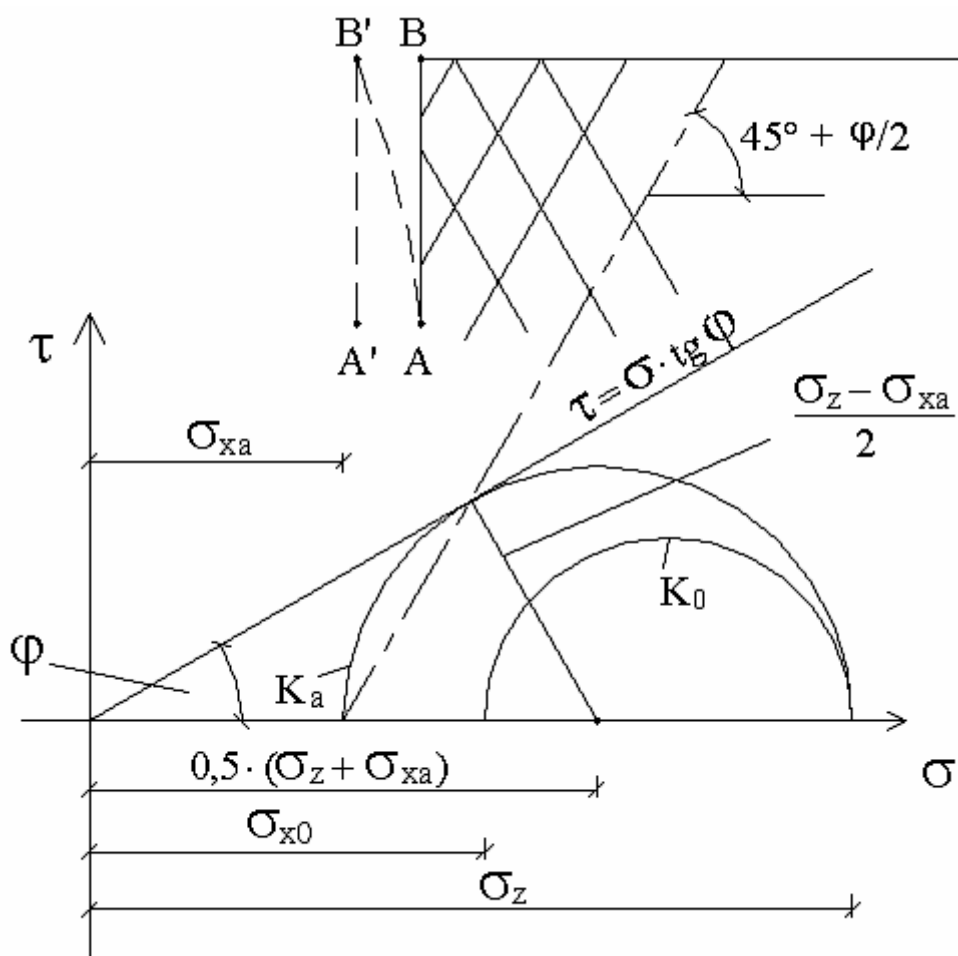
4.5. ábra: Rankine-féle törési feltétel grafikus ábrázolása

A 4.5 ábrán a függőleges és a vízszintes tengelyek rendre a talajban képződő nyírószilárdságot és normálfeszültséget ábrázolják. Ez az egyenlet

$$\tau = \sigma * \operatorname{tg} \varphi + c$$

ebben az alakban írható fel. Ennek az egyenesnek minden pontjára érvényes, hogy a nyírószilárdság megegyezik a nyíróerő értékével. Vagyis az egyenes pontjai törési határállapotban vannak. Ugyanebben a koordináta-rendszerben ábrázolhatóak a Mohr-körök, amik a talaj egy adott pontján a normál-feszültség és nyírófeszültség kapcsolatát mutatják meg. Ha a talaj olyan állapotba kerül, hogy a Mohr-kör érinti a Coulomb egyenest, akkor valamelyik határállapotban van a talaj adott pontja és ebben az esetben talajtörés következik be.

Aktív feszültségállapotban a Mohr-kör alakja a képen K_a -val jelölve, K_0 pedig a nyugalmi állapotot jelenti (4.6. ábra).



4.6. ábra

A törési feltétel teljesülésekor a Mohr-kör érinti a Coulomb-egyenest (4.6. ábra). Megjegyzendő még, hogy a Mohr-körök bármilyen átmérőjűek is, minden esetben azok egy pontból indulnak ki. Az ábrán még látható, hogy ha a földtömeg aktív határállapotban van, akkor ez a nevezetes pont a Mohr-kör jobb oldalán lesz, míg a passzív határállapotban ez a pont a kör bal oldalára kerül.

Ha a megnövekedett talajvíztartalom miatt a terhelés túllépi a mértékadó szintet:

A talajtörés másik okozója, amikor megnövekszik a talaj víztartalma, akkor először a szemcsék közötti rések töltődnek fel, ennek következtében a talajnak a fajsúlya is megnő, ami még jobban fokozza a talajtörés valószínűségét. Ennek a levezetése:

$$K_0 * \frac{\rho_0 * g * h^2}{2} < K_0 * \frac{\rho_1 * g * h^2}{2}$$

A megkülönböztethetőség kedvéért, p_0 a száraz, és p_1 a nedves talajhoz tartozik.

Tehát egyértelműen látni lehet, hogy ebben az esetben megnő a nyugalmi földnyomás is, és megnő a σ értéke is, aminek következtében nagyobb sugarúak lesznek a Mohr-körök. Ez egészen addig növekedhet, amíg el nem éri a Coulomb-egyenest, amikor is a talajtörés bekövetkezik.

A mellékletben lévő táblázat a fontosabb talajfizikai jellemzők közötti kapcsolatot mutatja meg talajfajtánként. A szakdolgozat témája szempontjából fontos kiemelni, hogy minél nagyobb a víztartalom, a talaj nyírószilárdsága annál kisebb, tehát annál kisebb terheket és igénybevételeket tud elviselni (míg a csúszólap ki nem alakul) egy adott földtömeg (a táblázatban a kohézió van feltüntetve, ami hatással van a nyírószilárdságra).

A következő felsorolás az imént tárgyalt összefüggések ismeretében a tönkremeneteli eseteket említi meg.

Szivárgások következményei:

- repedések
- rézsű hámlás
- rézsű roskadás
- rézsű csúszás
- rézsű felszakadása

Jelenségek a mentett területen:

- felszivárgás - fellazulás

- buzgárosodás
- fedőréteg felpuhulás
- fedőréteg felpúposodás
- fedőréteg felszakadás

Csurgások és forrásfeltörések:

- kéregcsurgás
- talpcsurgás
- forrásjárat a védelmi sávon

7.4. Összegzés

A számszerű levezetések után látható, hogy a vízépitési műtárgyak esetében, ha az kötött talajból épül (pl. gátak esetében), akkor más szempontokat kell figyelembe venni, mintha betonból épült volna, ugyanis ekkor a talajtörés veszélye fennáll. Legveszélyesebb az az eset, amikor a teherbíró talaj – legyen az bármilyen része a műtárgynak – annyira telítődik vízzel, hogy drasztikusan lecsökken a nyírószilárdsága (a kritikus rész fölött pedig a nagy víztartalom következtében megnő a talaj fajsúlya is). Ez jellemzően a földanyagú gátak, földművek tönkremeneteli esete.

8. A víz korróziójának bemutatása a közműhálózatokon

A vízépitési műtárgyak egy külön csoportját képezik a különböző közműhálózatok, amik fokozottan ki vannak téve a víz által előidézett károsodásoknak és tönkremenetelnek, lévén, hogy nagy részük a talajszint alatt van. A leggyakoribb tönkremeneteli esetek, amik a szerkezetek károsodásához vezetnek, általában a szerkezetek elmozdulásából származnak (pl. süllyedések, alakváltozások). Az elmozdulás okozói lehetnek:

1. Talajvízszint változása
2. Nem kellő teherbírású talaj
3. Egyenlőtlen süllyedések
4. Felszín alatti üregek
5. Fagybehatolás a talajba (pl. Budapesten átlagosan 38 cm, maximum 79 cm)

A tönkremenetelnek még van két gyakori módja, amikor nem alakváltozások keletkeznek, hanem korróziós folyamatok indulnak meg, illetve a szerkezetben az előbbi esethez hasonlóan megnövekszik

a talajból származó terhelés, de ez nem az alakváltozások miatt, hanem a nagyobb földtömeg hatására következik be (amit jellemzően a megnövekedett víztartalom okoz).

Mivel a vízellátásban és a csatornázásban használatos vízellátó- és csatornahálózatok műtárgyainak száma és hossza (és a korrózióknak kitett felülete) jóval felülmúlja a többi vízepítésben használatos műtárgyak számát, ezért ezek vannak a legjobban kitéve az imént felsorolt károsodásoknak.

Megnevezés	1998	1999	2000	2001
Csőtörések száma, db	48.904	47.635	50.854	52.776
100 km főnyomó és hálózati csővezetékre jutó csőtörések száma, db	80	77	82	83

7. táblázat: csőtörések száma Magyarországon

A táblázatból látható (7. táblázat), hogy a káresetek száma elég jelentős, még éves viszonylatban is. Viszont ezeknél a hálózatoknál szinte minden veszélyforrás - legyen az korróziós kockázat vagy talajsüllyedés - csőtörést eredményez, ami a továbbiakban még nagyobb kárt és kellemetlenséget okozhat.[16]

A közművek vizsgálatánál a tönkremeneteli eseteknek még olyan okai is lehetnek, ami abból adódik, hogy a hálózat régi, elhasználódott, vagy a tervezéskor nem megfelelően megválasztott csőanyagokból készült.

A következőkben áttekintjük a vezetékrendszerre, mint szerkezetre ható terhek forrását.

8.1. Fagyhatás

A fagykárok viszonylag ritkák (a károk kevesebb, mint 1 %-a). Ezeknek a legfőbb oka az, hogy a minimális lefektetési mélységet a szabvány előírja „fagyhatár alá alapozzunk”.

8.2. Egyenlőtlen süllyedések

A leggyakoribb okok: szerves réteg vagy feltöltés csak a szerkezet egyik fele alatt van. Régebben, amikor a szabványok még annyira nem voltak kiforrottak, akkor ez a fajta tönkremeneteli eset elég gyakori volt. Egyenlőtlen süllyedések léphetnek fel, ha a szerkezet egyik fele eltérő teherbírású talajra támaszkodik. Viszont van még egy olyan eset, ami az egyenlőtlen süllyedésekért felelős, ez pedig akkor áll fenn, amikor a szerkezetből származó teher nem egyenletesen oszlik meg a teherviselő altalajon. Természetes, hogy ilyenkor nem kell, hogy a teherhordó altalaj eltérő „keménységű” legyen. A teherviselő altalajra általában jellemző, hogy nem történik talajtörés, inkább folyamatos többletsüllyedés figyelhető meg, így az ebből származó károsodás is csak a későbbiekben válhat nyilvánvalóvá.

Változik a talaj teherbírása, ha a talajban lévő pórusvíz nem tud időben eltávozni.

Legtöbbször a talaj kis áteresztőképessége okozza a víz lassú eltávozását, de lehet mesterséges képződmény (pl. résfal) is. Legveszélyesebbek: vízzel telített kötött talajok (agyagok), ugyanis ezek nehezebben adják le a nedvességet.

8.3. Finomszemcsék kimosódása

A talajvízáramlás következtében ez is előfordulhat. Ennek következtében a kapillárisok megnyílnak és a kimosódott talajszemcsék helyére kapillárisvíz kerülhet, ami két szempontból is rossz: egyrészt csökken a talaj teherbírása, mert a kimosódott szemcsék következtében csökken a kohézió is, másrészt ha a vízzel telt kapillárisok nagyobb sűrűségűek, mint a kimosódott szemcsék, akkor a földtömeg fajsúlya is megnőhet. Vizsgálatot kell végezni, ha a szerkezet károsodott, vagy ha a szerkezet károsodás veszélyének van kitéve.

A pontosabb vizsgálathoz az alábbi kérdésekre kell választ találni:

- Milyen állapotban van a szerkezet?
- Altalaj eredetű a károsodás? Ha igen, a többletfeszültséget kiváltó okok fennállnak még?
- Várható-e további állagromlás?
- Mi a helyreállítás legcélszerűbb módja?

8.4. Károsodások vizsgálata

8.4.1. Károsodások vizsgálatának célszerű sorrendje

1. Helyszíni szemle
2. Előzetes adatgyűjtés
3. Állagfelvétel
4. Alakváltozások mérése
5. Alapok és talajviszonyok feltárása
6. Közművek feltárása
7. Egyéb helyszíni vizsgálatok

8.4.2. Károsodások vizsgálatának elemei

1. Helyszíni szemle

Sokszor a helyszíni szemle alapján a hiba oka egyértelműen meghatározható. Ha azonban nem lehet egyértelműen megállapítani a hiba okát, akkor abból kell kiindulni, hogy a leggyakoribb ok a legvalószínűbb. A módszer: károsodási alapesetek gyakorisági sorrendben, kizárásos módszerrel történő vizsgálata.

2. Előzetes adatgyűjtés

Ez a legfontosabb munkarész, mert vannak esetek, amikor a talaj vagy a talajrétegződés, illetve a talaj fizikai paramétereinek ismerete nem szükséges a károsodás okainak felderítéséhez. Viszont vannak esetek, mikor pl. korábbi anyagok nélkül nem is eredményes a vizsgálat, még a leggondosabb feltárások és laborvizsgálatok ellenére sem.

3. Állagfelvétel

Általában a jegyzőkönyvvel együtt fényképes dokumentáció készül a sérült részekről. Ennek a tevékenységnek a célja, hogy a tönkremenetelnek minden fontos részletét rögzítsük.

4. Alakváltozások mérése

Ez egyes esetekben egy szintezőműszerrel is megoldható. Ennek a vizsgálatnak a hátránya a nagyobb pontatlanság. Ha a talajsüllyedése környező épületeket is érinti, akkor ebben az esetben már nagy pontosságú teodolit használatára van szükség.

5. Alapok és talajviszonyok feltárása

Ha a káreset már megtörtént, akkor a kiinduló okok megismerésére van szükség, hogy azokat a továbbiakban meg lehessen szüntetni.

6. Közművek feltárása

Ha a műtárgy közelében közművek vannak, akkor célszerű ezeket is figyelembe venni a vizsgálatkor. Ezeket az adatokat legegyszerűbben a közműnyilvántartásból tudhatjuk meg.

7. Egyéb helyszíni vizsgálatok

Ha a vizsgálatnál a korábbi 6 ponton végimentünk és még mindig nem tudjuk a károsodások okát, akkor ebben az esetben további módszereket kell alkalmazni (pl. egyes esetekben előfordulhat, hogy monitoring rendszert kell kiépíteni).

Legfontosabb tényezők:

- A környező épületek, műtárgyak állapota, esetleges károsodásai
- Geológia, általános talajkörnyezet
- Talajvíz, felszíni vizek
- Környezeti hatások felmérése: pl. a területen mekkora a talajvíz szintje

Tervek áttekintése:

- Lehetőleg a kiviteli terveket nézzük át
- Alapozási módok vizsgálata
- Van-e esetleg szerkezeti hiba?
- Vannak-e erősáramú kábelek, illetve közúti villamos vasútnyomvonalak párhuzamosan vezetve a hálózattal (a kóboráram okozta korróziós hatás miatt)
- Mekkora a szerkezeti merevség? Vannak-e kritikus pontok? (Ekkor szükség lehet statikus szakértő bevonására.)

Statikai számítások (ha vannak) fontos adatokat adnak a terhelési viszonyokról.[17]

8.5. Összegzés

Az infrastrukturális jellegű hálózatoknak a tervezésekor figyelembe kell venni a területen a helyi sajátosságokat, a környezeti szempontokat és egyéb befolyásoló tényezőket. A tervezett élettartamra megfelelően tervezni csak kellő mennyiségű adat birtokában lehet, aminek pl. része kell, hogy legyen a helyszíni bejárás és a talajminták laborvizsgálata is. Minden esetben a korróziós kockázatokat már jobb a tervezés folyamán figyelembe venni, mivel ennek hiánya nagymértékben növelni fogja a hálózat fenntartási költségét vagy lerövidítheti annak élettartamát. Ha viszont a hálózatban már olyan

károsodások léptek fel, amikor is az üzemeltetés költsége jelentősen megnő, akkor érdemes fontolóra venni a rekonstrukciót.

9. A Rákos-patak műtárgyainak vizsgálata

Mivel a szakdolgozatom témája a lényeges betonkorróziós folyamatok bemutatása, úgy gondolom, hogy ezeket egy gyakorlati példával lehetne szemléletessé tenni. Ezért a betonanyagú műtárgyak károsodásait a Rákos-patak XIII. kerületi szakaszánál mutatom be, mivel a patak ezen a részén elég sok olyan rész van, ahol a rézsű csak elemes burkolattal van lefedve. Ez pedig jobban ki van téve a különböző korróziós károsodásoknak.

Először pár mondatban szeretném bemutatni a Rákos-patak ezen szakaszát, majd a későbbiekben rátérek a meder állapotára és az ott tapasztalható károsodásokra.

A patak vonalát a Reitter Ferenc utcától egészen a Duna torkolatáig vizsgáltam. Ezen a szakaszon szinte végig egyenes a patak vonala. Kisebb kanyar csak a torkolatnál található. Néhol a növényzet annyira benőtte a rézsűt, hogy nem lehetett szabad szemmel megkülönböztetni, hogy azon a részen van-e burkolat. A patak más részein kizárólag táblás és összefüggő, monolit burkolat található. Megfigyelhető, hogy azon a részen, ahol elemes burkolat van, ott a beton jobban tönkrement, mint ahol a burkolatban nincsenek megszakítások.

Az alábbiakban kiemelem azokat a tényezőket, amelyek hatással vannak a műtárgyak tervezésére.

A következő károsodási folyamatokat vizsgáltam:

- fagyveszély
- növényzet romboló hatása
- víz koptató hatása a meder alján
- dilatációs hézagok hiánya

Az általam vizsgált területen a patak teljes hosszában le van burkolva, így ezen a szakaszon egy összefüggő műtárgynak is tekinthető a burkolat. Ez azt jelenti, hogy így az építményen végbemenő károsodások nem csak lokálisan jelentkezhetnek, hanem azok kiterjedhetnek a műtárgy más részeire is további károsodásokat okozva, és még jobban lerövidíthetik a műtárgy élettartamát. Meg kell még jegyezni, hogy vannak más korróziós folyamatok is, de azok a műtárgy tönkremenetele szempontjából nem számottevőek, így azokat nem vizsgálom.

Nagyobb mértékű csapadék után kimentem a patakhoz, készítettem pár fényképet, azután összehasonlítottam azt a korábbi fényképekkel, de számottevő különbséget nem találtam a korábbi állapotokhoz képest (9.1-9.2 ábra).



9.1. ábra



9.2. ábra

9.1. Növényzet romboló hatása (9.3. ábra)

Első alkalommal 2015. július 16-án mentem ki a patakhoz. Talán ami a legszembetűnőbb volt, az a sűrű növényzettel benőtt rézsű volt. Egyes helyeken a növényzet annyira elterjedt, hogy nem lehetett tudni, hogy azon a szakaszon ténylegesen le van-e burkolva a rézsű. Ha viszont ez a rész is le lett burkolva, akkor a növényzet azt már teljesen tönkretette. Ebben az esetben viszont a későbbiekben a növények annyira meg tudnak nőni, hogy nagy vízállásnál akadályozhatják a víz áramlását, aminek köszönhetően ezeken a részeken a víz feltorlódhat, az áramlás lelassul és hordalék rakódhat le. Véleményem szerint az ilyen részeken a növényzetet rendszeresen le kellene vágni.

9.2. Geotechnikai eredetű okok

A patak partján végigsétálva időnként lehet látni, hogy a burkolat szinte egy földüregbe szakadt be. Sajnos a burkolat megbontása nélkül nem lehetett kideríteni, hogy a károsodás ténylegesen geotechnikai eredetű-e (nem megfelelő talajminőség) vagy a növényzet romboló hatása van-e a háttérben. Mindenesetre mindkét eset is áll a háttérben, a táblás burkolat meg van lazulva, ami azt eredményezi, hogy magasabb vízállásnál a víz könnyebben bejuthat a betonelemek alá.

Geotechnikai eredetű tönkremenetel közvetlenül a meder alatt is létrejöhet, viszont ezt csak fúrt talajmintából lehet megállapítani, aminek elvégzésére a szakdolgozat készítésekor nem volt lehetőségem.



9.3. ábra: növényzet károsító hatása: megsüllyedt betonburkolat fedlapok



9.4. ábra: nagyméretű hézagok a burkolaton

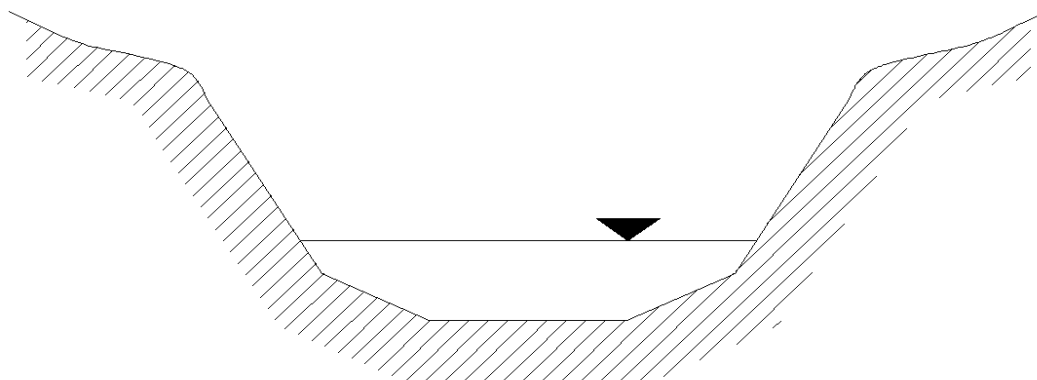
9.3. Fagyveszély

Több helyen lehetett látni, hogy ujjnyi repedések vannak a burkolatban, amikbe a víz könnyedén befolyhat. Télen viszont a jég még jobban kitágíthatja ezeket az üregeket. Ha ez a folyamat rendszeresen megismétlődik, akkor ez is a burkolat teljes tönkremenetelét okozhatja (9.4. ábra).

9.4. Javaslattétel a meglévő károsodásokra

A rekonstrukció lényeges elemei:

- Véleményem szerint a táblás vagy elemes burkolat hosszútávon nem óvja meg a rézsút a korróziós hatásoktól, ezért a legideálisabb keresztmetszet az (9.5, 9.7. ábra). ábrán látható. Ebben az esetben a fagyveszély nem áll fenn, mivel a meder összefüggő monolit betonból készülne. A beton nem tartalmazna fémeket, így a fémkorrózió sem jöhet szóba. Másik szempont, hogy az összefüggő betonfelületet a növényzet sem tudná áttörni.
- Fontos, hogy megfelelő környezeti osztályú betont alkalmazzunk, mivel így az élettartam jelentősen megnövelhető. Ennek megfelelően én XD2-es osztályú betont választanék. *(Erre a típusú betonra jellemzőek: "Úszómedencék. Kloridot tartalmazó ipari vizeknek kitett, de jégolvasztó sóknak ki nem tett beton. Klorid tartalmú talajvízzel érintkező beton")*.
- Az eredetileg megtervezett meder geometriája szerintem megfelelő, tehát a rekonstrukciónál ezt a formát lehetne alapul venni, mivel egyrészt ez a leggazdaságosabb, másrészt a meder többi része is ilyen geometriával készült (9.5. ábra).
- Továbbiakban a meder többi részén a növényzet eltávolítása a meder aljáról, illetve az oldaláról.
- A meder aljának kotrása és tisztítása.



9.5. ábra: Tervezett meder keresztmetszete

A monolit burkolatban esetlegesen keletkezett repedéseket akár habarccsal ki lehet tölteni. Erre láthatunk példát a 9.6. ábrán.



9.6. ábra:repedések a betonburkolaton



9.7. ábra

9.5. Rézsű állékonyságvizsgálata

Saját kutatási résznek a patak rézsűállékonyság vizsgálatát választottam.

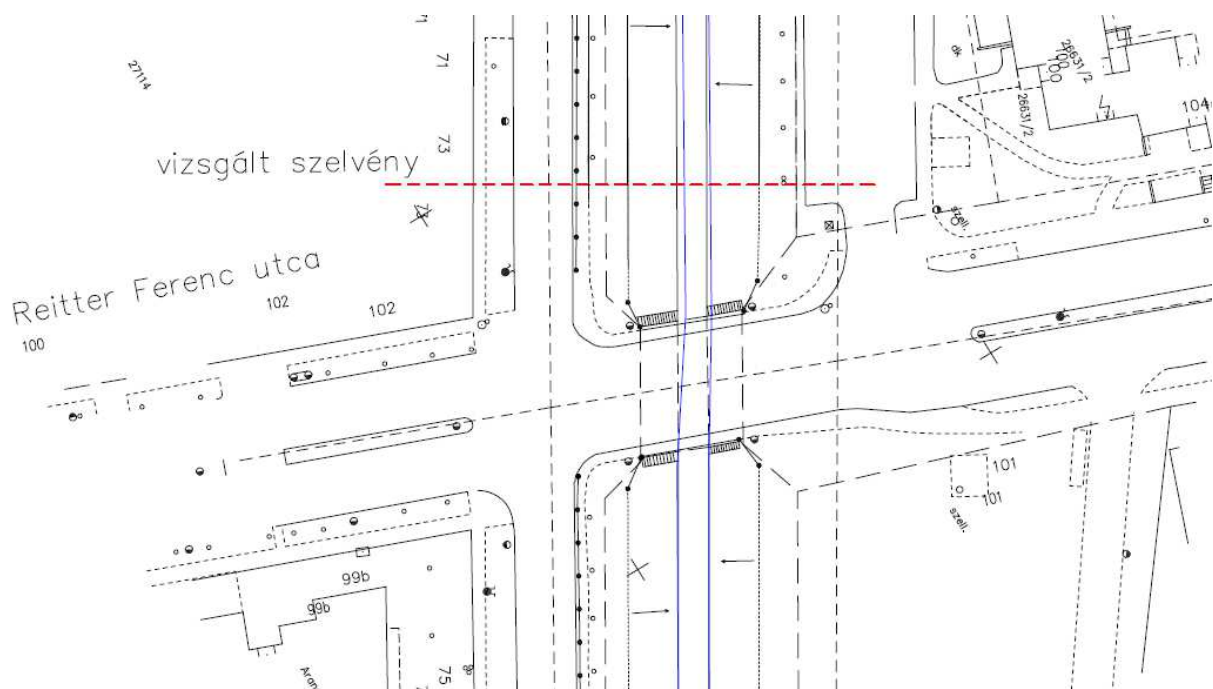
Mivel a meder rézsűjének meredeksége helyenként változó volt, ami miatt számomra nem volt egyértelmű, hogy azokon a helyeken, ahol a rézsűn egyáltalán nincs betonburkolat, ott a talaj önmagában is állékony-e.

Mivel az Építési Geotechnikai Adattárban [19] rendelkezésre álltak fúrási adatok Budapest különböző pontjain, így kiválasztottam egy, az általam választott területhez (9.8. ábra) legközelebb eső talajvizsgálati eredményt, viszont csak egy fúrási adat állt rendelkezésre az adott helyszínről, így a vizsgálat során csak egy talajrétegrendből tudtam kiindulni és feltételeztem, hogy a talajrétegek vízszintesek. A vizsgálatot a GEO5 programban készítettem.

A program előnyei, hogy különböző vizsgálati módszerek szerint lehet vizsgálni a kereszttszelvényben felvett rézsűt, továbbá egy olyan optimalizálási lehetőséget ad, ami megkeresi a legkritikusabb csúszólapot a kereszttszelvényben (9.9. ábra). Ezt az optimalizálást minden módszer szerint elvégeztem, és a legkisebb biztonsági tényező 1,38-ra adódott, ami azt jelenti, hogy az EURO kódnak (1,5) ugyan nem felel meg, mégis a rézsű elég biztonságos ahhoz, hogy szabadon megálljon. Az egyes vizsgálati eredmények helyességét igazolja, hogy a csúszólap egyik módszernél sem változott meg.

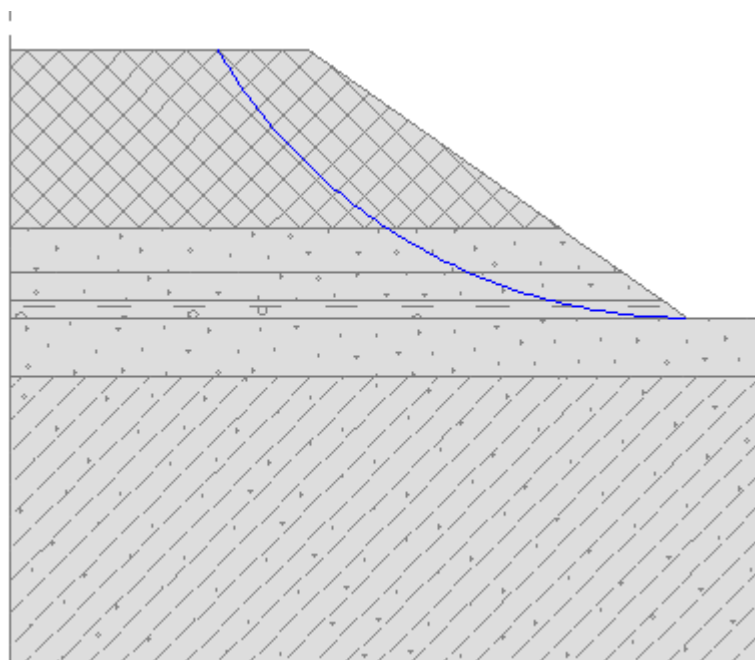
A programban használt vizsgálati módszerek és a hozzájuk kapcsolódó, a program által kiszámított biztonsági tényező:

- Bishop (1,38)
- Fellenius/Petterson (1,38)
- Spencer (1,42)
- Janbu (1,43)
- Morgenstern-Price (1,43)



9.8 ábra

Helyszínrajz a vizsgált területmről



9.9. ábra

GEO5 által meghatározott csúszólap

10. Összefoglalás

Az eddigiekből látható, hogy a vízepítési műtárgyak tervezésének és építésének feladata a műszaki ismeretek széles alkalmazását igényli, amiknek jelentős része nem is sorolható a hagyományos mérnöki ismeretek közé. Ezeknek az építményeknek a tervezésekor a tervező(k) vállán nagy felelősség van, mivel egy-egy műtárgy megfelelő vagy hiányos működése egész települések, gazdasági vagy természeti régiók életére és biztonságára rövid vagy hosszabb távú hatással van. Ebből a „kivételezettségből” az következik, hogy a tervezés még a legegyszerűbb rutinfeladatnak látszó esetekben is jóval szélesebb körű mérlegelést igényel, mivel sok szempontot kell figyelembe venni. A szakdolgozat terjedelme miatt nem foglalkoztam mindazon kérdésekkel, amik arra vonatkoznak, hogy hosszabb távon egy ilyen építmény hogyan illeszkedik a környezetébe, a felszíni vízfolyásokra milyen hatással van, beleértve az élővilágot is, holott ezeket a tényezőket is figyelembe kell venni a tervezéskor. Egy létesítmény megtervezése nem a létesítményt fizikailag alkotó szerkezeti elemek elképzelésével kezdődik, hanem azoknak az igényeknek a fölmerülésével és körvonalazódásával, amelyek kielégítése a tervezett létesítmény feladata lenne. Ha a tervező(k)nek sikerül a műtárgyak megfelelő kialakításával ezeket a szempontokat minél jobban figyelembe venni, annál hasznosabb és hosszabb élettartamú szerkezetet kapunk.

Mellékesen külön kitértem a Rákospatak műtárgyainak és medrének vizsgálatára is. A meder egy részét megvizsgálva olyan hibákat találtam, amik önmagában nem veszélyesek, azonban az idő előrehaladtával ez a helyzet változhat, ezért véleményem szerint itt komolyabb beavatkozásra lenne szükség (pl. helyenként az elemes burkolatok monolit betonfelülettel való kiváltására).

A rézsúállékonysági vizsgálatból pedig látható, hogy a meder rézsúja önmagában állékony, nem jelent veszélyt a patak medrére, ezért külön beavatkozásra nincs szükség.

A többi Rákospatakhoz kapcsolódó korróziótípusokat sajnos nem tudtam behatóbban vizsgálni, véleményem szerint további vizsgálatok lennének szükségesek a patak általam választott szakaszán a műtárgyak teljes körű ellenőrzésére.

11. Függelék:

11.1. Jelölések

(Amelyik változónak van mértékegysége, azt külön jelzem.)

q : felszíni terhelés

ρ : sűrűség [kg/m^3]

K_a : aktív földnyomás tényező

K_p : passzív földnyomás tényező

K_0 : semleges földnyomási tényező

φ : belső súrlódási szög [$^\circ$]

τ : nyírószilárdság [KN/m^2]

c : kohézió [KN/m^2]

μ : poisson tényező (Egyirányú feszültségi állapotnál a keresztirányú alakváltozás és a hosszirányú alakváltozás viszonya.)

11.2. Fogalmak

Zsugorodási határ: az a víztartalom, amelyen túl szárítva a talajt, az térfogatát már nem változtatja.

Folyási határ: az a víztartalom, amikor a vizsgált anyag folyóssá válik.

Plasztikus határ víztartalma: az a víztartalom, amikor a talaj képlékeny állapotból merev állapotba megy át. Meghatározásának menete: a talajmintát gyúrható állapotban nedvszívó papíron szálakká sodorjuk. Ha a szálak éppen a 3 mm-es vastagság elérésekor esnek szét, akkor a talaj víztartalma megegyezik a plasztikus (sodrési) határral.

Kilúgozás: a mállás velejárója, ahol a bomlástermékek egy része újraegyesül és új ásványt alkotva talajban (vagy az adott építőanyagban) marad, míg a többi oldatként távozik. Ebben a folyamatban az alkáli fémek és az alkáli földfémek ionjai válnak szabaddá a mállás során, és ezek kötik meg sót képezve a CO_2 -t. A kilúgozás intenzitása függ a csapadéktól és a vízben oldott CO_2 mennyiségtől, valamint a savas légköri ülepedvények (SO_2 és NO_x) mennyiségétől. Eredménye: a karbonátok kimosódása.

Atmoszférikus korrózió: fémek korróziója a savas eső következtében.

Vízzároság: Egy próbatestnek azon tulajdonsága, amely azt mutatja meg, hogy egyoldali víznyomás esetén egyáltalán nem, vagy csak bizonyos mértékig jelentkezik a víz a víznyomással átellenes oldalon. A próbatest méreteit a szabvány az adalékanyag legnagyobb szemnagyságától teszi függővé. Bedolgozás: a friss betonkeverék vibrátorral való tömörítése a zsaluzatba töltés után [20].

12. Irodalomjegyzék

- 1.) kgk.pmmf.hu/regi/oktatas/tantargyak/targyak/kmt2/ea/vizep.doc
- 2.) www.geniusmbt.hu/szakcikkek/korrvedelem/korrozvedelem.htm
- 3.) Bálint, J. (2005). Építőanyagok I. Budapest: SZIE Ybl Miklós Építéstudományi Kar. (81-ik oldal)
- 4.) Bálint, J. (2005). Építőanyagok I. Budapest: SZIE Ybl Miklós Építéstudományi Kar. (82. oldal)
- 5.) Bálint, J. (2005). Építőanyagok I. Budapest: SZIE Ybl Miklós Építéstudományi Kar. (83. oldal)
- 6.) Bálint, J. (2005). Építőanyagok I. Budapest: SZIE Ybl Miklós Építéstudományi Kar. (84-ik oldal)
- 7.) Bálint, J. (2005). Építőanyagok I. Budapest: SZIE Ybl Miklós Építéstudományi Kar. (85-ik oldal)
- 8.) <http://www.geniusmbt.hu/vandex/crs/crs03.htm>
- 9.) http://www.doksi.hu/get.php?order=DisplayPreview&lid=9357&p=4&user_lang=en
- 10.) <http://www.staff.u-szeged.hu>
- 11.) http://www.kepzesevolucioja.hu/dmdocuments/4ap/9_0476_tartalomelem_017_munkaanyag_100228.pdf
- 12.) <http://www.geniusmbt.hu/szakcikkek/korrvedelem/korrozvedelem.htm#4>. A VAS- ÉS ACÉLKORROZÓ FAJTÁI]
- 13.) <http://www.geniusmbt.hu/szakcikkek/korrvedelem/korrozvedelem.htm>
- 14.) Tirpák András: A talajokban keletkező feszültségek, alakváltozások és a talajsüllyedés
- 15.) <http://meip.x5.hu/files/1622>
- 16.) <https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0CGgQFjAH&url=ftp%3A%2F%2F152.66.121.2%2FOktatas%2FEpitoBSC%2FKozmuhalozatokTervezese%2FEloadas%2FKorrozio%2FKorrozios%2520folyamatok%2520elmeleti%2520alapai.ppt&ei=vYFKU4frCIWF4AT674E4&usg=AFQjCNHE14s0NioAs3PTz9PCqSJwoBa60g&sig2=5xZ4lCKg5ttgdViN4rn2Bg>
- 17.) http://www.gtt.bme.hu/gtt/oktatas/feltoltesek/bmeeogtma09/felujitasok_3._eloadas.pdf
- 18.) MSZ 4715-3:1972
- 19.) Építési Geotechnikai Adattárban található fúrási jegyzőkönyv

Képjegyzék

- 2.1. ábra: Karbonátosodott betonfelület
- 2.2. ábra: A karbonátosodás mélyülése a betonminőség és az idő függvényében
- 3.1. ábra: A korrózió legismertebb megjelenési formája
- 3.2. ábra: Rozsda megjelenése egy zsírfogóban
- 3.3. ábra: Helyi elemek kialakulása
- 3.4. ábra: Lyukkorrózió
- 4.1. ábra: Egy átlagos árvízvédelmi töltés keresztmetszeti kialakítása
- 4.2. ábra: Talajokban lévő vizek megjelenési formája
- 4.3. ábra: Konzisztencia határok
- 4.4. ábra: Képlékenységi határállapotok
- 4.5. ábra: Rankine-féle törési feltétel grafikus ábrázolása
- 4.6. ábra: Törési feltétel teljesülése
- 9.1-9.2 ábra: Növényzettel benőtt részü
- 9.3. ábra: Növényzet károsító hatása
- 9.4. ábra: Nagyméretű hézagok a burkolaton
- 9.5. ábra: Tervezett meder keresztmetszete
- 9.6. ábra: Repedések a betonburkolaton
- 9.7. ábra: Ideális keresztmetszet
- 9.8. ábra: Helyszínrajz a vizsgált területemről

Táblázatjegyzék

- 1. táblázat: A környezeti hatások és károsodások
- 2. táblázat: Fagyási/olvadási korrózió jégolvasztó anyaggal vagy anélkül
- 3-4. táblázat: különleges igénybevételi osztályok
- 5. táblázat: Környezeti osztályokhoz tartozó cement és betonjellemzők
- 6. táblázat: Kloridoknak ellenálló beton és vasbeton szerkezetek, Tengervízből származó klorid által okozott korrózió, Függőleges felületű fagyálló beton és vasbeton szerkezetek
- 7. táblázat: Csőtörések száma Magyarországon

A TALAJMECHANIKAI JELLEMZŐK TÁJÉKOZTATÓ ÉRTÉKE

Talajnem	Talaj állapot	Anyagi minőségi jellemzők					Szerkezet- és állapotjellemzők					Alakvált. Jell.		Szilárds. jell.	
		Mértékadó szemmagyság	Sűrűség	Folyási határ	Plasztikus határ	Plasztikus index	Hézaglerőfogat	Hézaglányező	Sűrűség			Összenyomódási modulus	Poisson-tényező	Sűrűdési szög	Kohézió
									Természet.	Telített	Száraz				
		d ₁₀ [mm]	Ps [g/cm ³]	W _L %	W _p %	I _p %	n [%]	e	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	E _s [MN/m ²]	μ	φ	c [kN/m ²]
	Laza	5-20	2,66	-	-	-	38-45	0,61-0,82	1,8-2,0	1,9-2,1	1,5-1,7	15,0-30,0	0,10-0,15	32°-35°	-
	Tömör						18-25	0,22-0,33	2,1-2,4	2,1-2,4	2,0-2,2	80,0-200,0		45°-48°	-
Homokos kavics	Laza						45-50	0,82-1,00	1,6-1,9	1,8-1,9	1,3-1,5	10,0-20,0	0,15-0,20	30°-32°	-
	Tömör						25-32	0,47-0,59	1,8-2,1	2,0-2,1	1,7-1,8	50,0-80,0		35°-38°	
	Laza	1-2	2,66	15-20	-	-	42-45	0,73-0,82	1,5-1,9	1,9-2,0	1,5-1,6	10,0-20,0		28°-28°	-
Duna és közepes szemmagyságú homok	Tömör						35-38	0,54-0,61	1,7-2,1	2,0-2,1	1,6-1,8	30,0-50,0	0,25-0,30	30°-32°	-
	Laza	0,5-1,0	2,66	15-20	-	-	45-48	0,82-0,92	1,5-1,9	1,8-1,9	1,4-1,5	10,0-15,0	0,20-0,25	28°-30°	-
	Tömör						33-36	0,49-0,56	1,8-2,1	2,0-2,1	1,7-1,8	30,0-50,0		32°-35°	-
Egyszerűes szemeloszlású finom homok	Laza	0,1-0,2	2,66	20-25	-	-	45-55	0,82-1,22	1,5-1,9	1,8-1,9	1,8-1,5	8,0-12,0	0,25-0,30	22°-24°	-
	Tömör						36-40	0,56-0,66	1,7-2,1	2,0-2,1	1,0-1,1	20,0-30,0		25°-30°	-
	Laza	0,05-0,1	2,66	20-25	-	0-5	41-46	0,70-0,85	1,8-2,1	2,0-2,2	1,7-1,8	5,0-8,0	0,30-0,35	20°-26°	0,0-20
Iszapos homokliszt	Tömör						38-40	0,60-0,65	1,6-2,1	2,0-2,1	1,6-1,7	10,0-15,0	0,25-0,30	22°-28°	50-80
	Laza	0,05-0,02	2,70	20-30	17-23	5-10	33-36	0,50-0,53	1,6-2,0	1,9-2,0	1,4-1,6	15,0-20,0	0,10-0,20	23°-30°	100-150
	Kemény						45-53	0,81-1,10	1,6-2,0	1,8-1,0	1,3-1,5	3,0-6,0	0,30-0,35	15°-20°	0,0-20
Iszap	Füha						35-40	0,54-0,89	1,7-2,1	2,0-2,1	1,6-1,7	10,0-12,0	0,25-0,35	20°-28°	50-100
	Még sodorható	0,05-0,005	2,71	30-40	20-25	10-15	29-33	0,40-0,50	1,8-2,2	2,1-2,2	1,8-1,9	15,0-18,0	0,15-0,20	25°-30°	100-200
	Kemény						53-58	1,10-1,37	1,3-1,8	1,7-1,8	1,1-1,3	12,0-18,0	0,35-0,40	10°-20°	0,0-30
Sóvány agyag	Füha						36-45	0,55-0,83	1,6-2,1	1,9-2,1	1,5-1,8	8,0-12,0	0,30-0,35	20°-25°	50-120
	Még sodorható	0,02-0,002	2,74	40-50	20-30	15-20	29-35	0,40-0,55	1,8-2,2	2,1-2,2	1,8-1,9	2,0-5,0	0,10-0,20	25°-32°	120-250
	Kemény						58-80	1,36-4,10	1,0-1,8	1,3-1,8	0,6-1,2	10,0-15,0	0,10-0,20	5°-15°	0,0-30
Köve	Füha						41-58	0,69-1,36	1,3-2,0	1,7-2,0	1,1-1,6	7,0-10,0	0,30-0,35	15°-20°	50-150
	Még sodorható	0,02-0,002	2,74	50-100	30-40	30<	29-41	0,41-0,69	1,7-2,3	1,0-1,3	1,6-2,0	1,6-5,0	0,35-0,40	30°-32°	150-300
	Kemény														

Köszönetnyilvánítás:

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet mindazoknak, akik ezen dolgozat elkészüléséhez hozzájárultak.

Köszönettel tartozom konzulenseimnek, Dr. Horváth-Kálmán Eszternek, Dr. habil Major Jánosnak, Keszeyné Dr. Say Emmának, Firgi Tibornak, Sándor Gézának és Rédly Lászlónak, akik hasznos tanácsaikkal és irányításukkal nagymértékben segítették munkámat.

Budapest, 2016 január