



ÓBUDAI EGYETEM

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Anyag- és Gyártástudományi Intézet

Víztechnológiai berendezések karbantartási problémái

**OE-BGK
2024.**

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Balogh Roland

Tartalom

1.	Bevezetés	1
2.	A Budapest környéki vízellátás történelmi háttere	2
2.1	A Budapest környéki vízellátás kezdete az ókorban.....	2
3.	A modern kori vízellátás. Fővárosi Vízművek fejlődéstörténete	3
3.1	Első szakasz: A vízellátás mai alapjai, a partiszűrűsű vízkinyeréssel.....	3
3.2	Második szakasz: A villamosítás	3
3.3	Harmadik szakasz: Extenzív növekedés	3
3.4	Negyedik szakasz: Az informatika bevezetése	4
4.	Csővezetékek fajtái, csoportosításuk	5
5.	Vízellátó hálózatok szerepe, kialakításai, és fajtái	7
5.1	Vízellátó hálózat szerepe és kialakítása	7
5.2	Az elosztó hálózat fajtái	7
5.2.1	Elágazó (végvezetékes) rendszer	7
5.2.2	Összekapcsolt rendszerű hálózat	8
5.2.3	A körvezetékes rendszer	8
6.	Csővezeték anyagok és jellemzőik	9
6.1	Öntöttvas csövek	9
6.2	Acél csövek	9
6.3	Gömbgrafitos öntöttvas csövek.....	10
6.4	Polivinil-klorid (PVC) csövek.....	10
6.5	Polietilén csövek	11
6.6	Megerősített hőre keményedő műgyanta csövek	11
6.7	Azbesztcement csövek	12
6.8	Beton csövek	12

7.	A vízszolgáltatási színvonal fenntartása végett végzett tevékenységek, a Fővárosi Vízművek gyakorlatában	13
7.1	A hibaelhárítás	14
7.2	A karbantartás és az üzemeltetés.....	14
7.3	A felújítás és a hálózatrekonstrukció	15
8.	Vastartalmú anyagú csővezetékek korrózióját okozó hatások és jellemzői	16
8.1	Külső (talajoldali) korrózió	16
8.2	Belső (vízoldali) korrózió	18
8.3	A kóboráram korrozív hatása	18
9.	Célkitűzés.....	21
10.	Kísérlettervezés.....	22
11.	Csővezetési vizsgálatok.....	25
11.1	1. számú munkadarab vizsgálata és elemzése	25
11.2	2. számú munkadarab vizsgálata és elemzése	27
11.3	3. számú munkadarab vizsgálata és elemzése	29
11.4	4. számú munkadarab vizsgálata és elemzése	31
11.5	5. számú munkadarab vizsgálata és elemzése	33
11.6	6. számú munkadarab vizsgálata és elemzése	35
11.7	7. számú munkadarab vizsgálata és elemzése	37
11.8	8. számú munkadarab vizsgálata és elemzése	39
12.	Anyagvizsgálatok kiértékelése és maradék élettartam becslése	41
12.1	A kiértékelés módszere.....	41
12.2	1. számú helyszínen lévő vezetékszakasz kiértékelése és maradék élettartamának becslése.....	49
12.3	2. számú helyszínen lévő vezetékszakasz kiértékelése és maradék élettartamának becslése.....	49

12.4	3. számú helyszínen lévő vezetékszakasziértékelése és maradék élettartamának becslése.....	50
12.5	4. számú helyszínen lévő vezetékszakasziértékelése és maradék élettartamának becslése.....	50
12.6	5. számú helyszínen lévő vezetékszakasziértékelése és maradék élettartamának becslése.....	51
12.7	6. számú helyszínen lévő vezetékszakasziértékelése és maradék élettartamának becslése.....	51
12.8	7. számú helyszínen lévő vezetékszakasziértékelése és maradék élettartamának becslése.....	52
12.9	Kiértékelések összefoglalása	52
13.	Összegzés.....	54
14.	Summary	55
15.	Forrásjegyzék.....	56

1. Bevezetés

Bár a mindennapi életünkben fontos szerepet játszanak a víztechnológiai berendezések, például amikor megnyitjuk odahaza a vízcsapot, akár kézmosásról legyen szó, akár mosakodásról, stb., mégis kevesen ismerik igazán a háttérét, hogy honnan is ered a szolgáltatott csapvíz, és főként „Hogyan jut el a fogyasztókhoz?”. Ebben játszanak szerepet a szolgáltató által üzemeltetett víztechnológiai berendezések, melyek a szakdolgozatom témáját képezik. Ezek a berendezések, mint minden más ember alkotta berendezés, rendszeres karbantartást, illetve a várható élettartama végén cserét igényel. Jelen dolgozatomban a Fővárosi Vízművek Zrt. által üzemeltetett, földbe fektetett vízelosztó hálózat vezetékeivel foglalkozom majd, amiben feltárom a szakirodalom kutatás segítségével, hogy milyen problémák is jelentkeznek ezeken a műtárgyakon, milyen anyagból lehetnek, milyen fajtái vannak, illetve egy rövid történelmi áttekintést is bemutatok, amelyben felvázolom, hogy honnan is ered az első ember alkotta ivóvízvezeték. Szakdolgozatom céljaként konkrét vezetékszakaszok vizsgálatát választottam, melyekből a közelmúltban történt feltárások során nyertek ki mintadarabokat, és amelyeket szemrevételezéssel és metallográfiai vizsgálatokkal elemezni fogok, továbbá az elemzés során feltárom a tönkremenetel okát és az anyagminőséget, valamint kísérletet teszek az adott vezetékszakasz még hátralévő várható élettartamának becslésére.

2. A Budapest környéki vízellátás történelmi háttere

2.1 A Budapest környéki vízellátás kezdete az ókorban

A mai Budapest területén élt lakosság vízigényeinek kielégítésére nem mindig a Duna folyam vize került kitermelésre és hasznosításra, hanem főként a budai oldalon a helyi források vize. Ez azért volt kézenfekvő megoldás, mert a környezeti (főként domborzati) feltételek ehhez adottak voltak ezen a területen. A mai Budapest területén terül el a Római Birodalom egyik híres települése, Aquincum, mely Kr.e. 11.-től kezdve épült a Római birodalom határsávján. Jelentősége Kr. u. 106-ban nőtt meg igazán, amikor Traianus császár Pannónia székhelyévé tette a települést. Kr. u. 194-ben „colonia” ranggal ruházták fel ezt a tartományi székhelyet, amelytől kezdve jelentős fejlődésnek indult. A számos fejlesztés és építkezés egyike volt az ún. akvadukt megépítése, mely a település vízellátását hivatott biztosítani. Ez az akvadukt az ókori Aquincum várostól mintegy 5 km távolságra északról szállította a helyi források vizét a településre, mely 1-2 fokos lejtéssel, gravitációs úton folyt le a vezetéken. A vízvezeték három szakaszra volt felosztható. Az első szakasz az ókori polgárváros északi faláig tartott, melyhez hozzátartoztak azok a tartópillérek, melyek a szentendrei út mentén ma is megtekinthetőek. A második szakasz körülbelül 200 méteren keresztül haladt át a polgárvároson a déli városfalig. A vezeték harmadik szakasza pedig a polgárvárostól délre épült katonai táborig vezetett. A víz közvetlenül a fogyasztókhoz, vagyis az egyes épületekhez történő eljuttatásáról, földalatti vezetékek gondoskodtak. Ennek a kőből, agyagból és római betonból épített műtárgynak a rendszeres működése a 4. században szűnt meg véglegesen, a műtárgy elemeit a későbbiekben sem építették be újra a helyi vízellátórendszerbe. A műtárgy a népvándorlás időszakában jelentősen lepusztult, valamint egyes részeit elbontották, és a későbbi helyi építkezések során felhasználták.

[1]

3. A modern kori vízellátás. Fővárosi Vízművek fejlődéstörténete

3.1 Első szakasz: A vízellátás mai alapjai, a partiszűrésű vízkinyeréssel

Az 1867. évi Osztrák-Magyar kiegyezést követően, Pest-Budán elkezdődött a ma ismert jellegű vízellátórendszer kiépítése. Egy évvel a kiegyezést követően, 1868-ban megalakul a Fővárosi Vízművek, melynek fejlődéstörténetében négy fő mérföldkő volt döntő jelentőségű. Az első mérföldkőnek a partiszűrésű vízbeszerzés általi vízellátás megalakulását tekintjük, mely a Fővárosi Vízművek 1868-as megalakulásától számítják. Ugyan a vállalat első vezérigazgatója, Wein János csak 1973-ban kapja meg kinevezését, mégis ő és utódja, Kajlinger Mihály voltak azok akik meglátták a potenciált a Szentendrei-sziget hidrogeológiai adottságaiban. A Duna hordalékaként kialakult parti kavicssterasz kiváló szűrőhatásának köszönhetően a vízminőség tartósan kiváló maradt, még annak ellenére is, hogy az iparosodás következtében a Duna folyam vize folyamatos szennyezésnek volt kitéve. Ebben az időszakban a szivattyúzás, dugattyús szivattyúkkal történt, melyeket gőzgépek hajtottak. Ezeknek a berendezéseknek az igényes kialakítású, esztétikus épületei még ma is állnak, és műemlék épületnek lettek minősítve. [2]

3.2 Második szakasz: A villamosítás

A második mérföldkőnek a villamosítás általánossá válását tekintjük, melynek kezdete az 1930-as és 1940-es évekre tehető. A villamos gépek gyakorlatban történő felhasználását olyan előzmények tették lehetővé, mint például Jedlik Ányos dinamója, Déry-Bláthy-Zipernowszky transzformátora, Bánki áramlástechnikai gépek területén végzett munkássága, valamint a megfelelő ipari háttér. Kezdetekben még egyenárammal működő gépek kerültek felhasználásra, később azonban a váltóáram elterjedésével az aszinkron villamos forgógépek is elterjedtek. A kezdetekben használt dugattyús szivattyúkat ebben az időszakban váltották fel az örvénygépek, melyben nagy szerepet játszott Mátyus Sándor úttörő munkássága, aki a Fővárosi Vízművek akkori főmérnöke volt. [2]

3.3 Harmadik szakasz: Extenzív növekedés

A harmadik mérföldkőnek a vízellátó rendszer extenzív kiépítése tekinthető, mely az 50-es évek eleje és a 70-es évek vége közé tehető. 1952-ben létrejön a „Nagy-

Budapest”, melyhez ekkor több agglomerációs település is csatlakozik, melyek Újpest, Újpalota, Budafok, Pestlőrinc, Csepel, Albertfalva települések. A nagyobbra nőtt város természetesen a vízigénye növekedését hozta magával. A kor szocialista rendszerében a vízdíjakat mesterségesen alacsonyan tartották, amely ár messze az értékén alul volt a szolgáltatott víz tényleges költségének, és ez a tényező óhatatlanul is a víz pazarló felhasználását eredményezte. Ez a gyorsan növekvő vízigény egy hatalmas beruházási sorozatot indított el, melynek eredményeképpen sorra épültek a kutak, vezetékek, és gépházak, vagyis extenzíven növekedett a vízellátó rendszer. az 1989-es rendszerváltást követően a vízfogyasztás jelentős mértékben visszaesett, mivel a korábbi mesterségesen alacsony árakat felváltotta a piaci árazás, így a vízellátó rendszerben fölös kapacitás keletkezett. Ma már nem az a gond hogy hogyan lehet kielégíteni a vízigényt, hanem az hogy hogyan lehet ezt gazdaságosan megtenni, még akár kis terhelésű üzemtani állapotok esetében is. [2]

3.4 Negyedik szakasz: Az informatika bevezetése

A negyedik mérföldkőnek az informatikai rendszerek alkalmazásának bevezetését tekinthetjük, amely időszakot a 70-es évek végétől számítjuk. Budapest közművállalatai közül a Fővárosi Vízművek elsőként vásárolt egy TPA-i típusú számítógépet, amelyet hidraulikai hálózatmodellezésre használtak, és amelyet a műegyetemmel közösen alkotott programcsomaggal végeztek el. A másik terület a folyamatirányítás volt, ahol 1982-ben bevezették az IMAR-t (Ideiglenes Mérésadatgyűjtő Rendszer), amelynek alapját a postai kábelkapcsolatok adták, és amelyet 1984-ben követett a már véglegesnek tekinthető MAR (Mérésadatgyűjtő Rendszer) bevezetése. A rendszer bevezetésekor 43 darab telemechanikai állomás alkotta a rendszert, melyet diszpécserok működtettek. A MAR-t 1990-ben felváltotta a FER (Folyamat-ellenőrző rendszer), amely a vízelosztás teljes mértékben történő irányítását tűzte ki célul. Mára a folyamatirányítás teljeskörű, és távvezérelt úton történik a parancsok kiadása. A közműnyilvántartás digitalizálására 1992-ben a Fővárosi Vízművek az országban elsőként kifejlesztette a saját térinformatikai alkalmazását, a HALIR-t (Hálózati Információs Rendszer), amely első verziója 1:4000 méretarányban készült el. A MIR (Műszaki Információs Rendszer) az alaptevékenységet felölelő minden létesítmény nyilvántartását tűzte ki célul. A negyedik fejlődéstörténeti korszak ma is tart. [2]

4. Csővezetékek fajtái, csoportosításuk

Mátyus S. [2] szerint a vezetékeknek a vízellátó rendszerben betöltött szerepe szerint az alábbi csoportokba sorolhatóak be:

- Távvezeték: Nem közvetlenül a vízelosztásban játszik szerepet, hanem a vízkivételi hely és az elosztóhálózat közötti kapcsolatot valósítja meg.
- Főnyomó vezetékek: A tározó/ellennyomó medencék és a gépházak között üzemelnek, melyek a feladatuk jellegéből adódóan nem rendelkezhetnek fogyasztói rákötésekkel.
- Gerincvezetékek: Jellemzően a főnyomó vezetékekről ágaznak le és az egyes fogyasztói zónákhoz továbbítják a vizet, melyeken általában a főnyomó vezetékekhez hasonlóan nincsenek fogyasztói rákötések.
- Elosztóvezetékek: A gerincvezetékekről leágazva az egyes ingatlanok vízellátását szolgálják, és jellegükből adódóan az egyes fogyasztói leállások erről a vezetéktípusról kerülnek kiszolgálásra.
- Fogyasztói rácsatlakozások: Ezek a vezetékek az ingatlanokon belüli vízvezetékrendszerekhez továbbítják az ivóvizet.

Hidraulikai szempontból a fent felsorolt vezetéktípusok mind nyomóvezetékeknek tekinthetők, azaz a bennük lévő víz áramlása telt szelvénnel történik, mely nyomást a gépházi szivattyúk működése vagy a tároló medencékben fenntartott vízszint állítja elő. Az alacsony nyomású csatornák a víztermelő rendszerek sajátjaként tekinthető csoportja. A vízbázisokon lévő kutak vizét gyűjti össze és továbbítja az elosztóhálózat nagy szivattyútelepeihez, gépházaihoz. Az alacsony nyomású csatornák kétféle üzemtani állapotban üzemelhetnek, kis nyomáson telt szelvénnel, vagy gravitációs csatornaként. A nagy vízszállító kapacitásuk következtében nagy átmérőjű, az esetek nagyobb részében „járható” vezetékek alkotják ezt a csoportot. Anyaguk lehet beton, falazott téglá, illetve helyenként acél is. A nyomóvezetékekkel ellentétben sűrűn találhatóak lebúvók, melyeknek a tisztítása és lezárása egy speciális feladatkör. Az alacsony nyomású vezetékek lényegében távvezetékeknek is tekinthetők, melyek esetében a földtakarás helyenként árvízvédelmi jelleggel is rendelkezik. Árvíz esetén az üzemeltetés egyik legfontosabb teendője az, hogy ezeket a vezetékeket folyamatosan

vízzel telt állapotban tartásuk, megakadályozva a felúszást. A csőhálózatot a főnyomó-, gerinc-, és elosztóvezetékek alkotják, melynek feladata az, hogy megfelelő minőségben és mennyiségben történjen az ivóvíz szolgáltatás a fogyasztók részére. [2] Mátyus S. [2] szerint a fent tárgyalt csoportosítás egyszerűsítése érdekében, három jellegzetes csoportot különböztethetünk meg, melyeket az 1. táblázat foglal össze.

1. táblázat: Vezeték típusok csoportjai és jellemzői [2]

Vezeték csoportok	Hálózati elnevezés	Tulajdonság	Átmérő tartomány
Fő-, és gerincvezetékek	Primer hálózat	Nagyátmérőjű szállítóvezetékek, amelyekről bekötések nem ágaznak le	>300 mm
Elosztóvezetékek	Szekunder hálózat	Vezetékek, amelyekről bekötések ágaznak le	100 – 300 mm
Bekötések	Tercier hálózat	Fogyasztói lecsatlakozások	
	Belső hálózat	Nem a vízszolgáltató tulajdonában és üzemeltetésében lévő hálózat	

A csoportosítás csak látszólagosan egyértelmű, azonban a tulajdonságban megjelölt szabályszerűség nem mindig betartható. Sok esetben az átmérőtartomány szerinti csoportosítást alkalmazzák. Az egyes vezetékek csoportok, mint besorolási elv, a hibastatisztikák készítésénél fontosak. Az úgynevezett „belső hálózat” nem a vízszolgáltató tulajdona, és nincs is az üzemeltetésében, azonban a megemlítése nem csupán a teljesség kedvéért történik, hanem azért mert ennek a hálózatnak is hatása van a vízminőségre, mely minőségi követelmények a fogyasztói kifolyókon vételezett vízre vonatkoznak. [2]

5. Vízellátó hálózatok szerepe, kialakításai, és fajtái

5.1 Vízellátó hálózat szerepe és kialakítása

A vételezett víz, a szivattyú gépházak segítségével úgynevezett elosztóhálózaton keresztül juttatják el a fogyasztókhoz. Ügyelni kell a kialakításnál arra, hogy ez a lehető legrövidebb úton és a lehető leggazdaságosabb módon történjen. Az egyes vezetékek helyszínrajzi vonalvezetését a gépházak és medencék létesítési helye, valamint az adott település vízigénye határozza meg. Egy adott településen belül a vízigény eloszlása erősen változó is lehet, amely az ipari és a kommunális fogyasztók elhelyezkedésétől függ. Általában a főbb gerincvezetékek a település fogyasztási súlypontja közelében haladnak végig, míg az elosztóvezetékek azokban az utcákban és közterületeken, amelyeket bevontak a vízellátásba. [2] Mátyus S. [2] szerint a kialakításnál két lényeges szempont figyelembevétele szükséges:

- Az üzemeltetés során létrejövő mindenkor nyomásvonal, semmilyen körülmények között nem metszhet bele a cső illetve a terep vonalába, mivel az így létrejövő vákuum miatt szennyezett víz kerülhet az elosztóhálózatba.
- Az alacsony nyomás fenntartása is kerülendő, mivel az addig a vízben oldott levegő az alacsony nyomás hatására kiválik és a csőhálózat magasabb pontjain összegyűl, amely keresztmetszet csökkenést okoz, és amely komoly hibaforrás lehet, mivel gátolja a víz áramlását. Emiatt gyakoriak a csőtörések.

[2]

5.2 Az elosztó hálózat fajtái

5.2.1 Elágazó (végvezetékes) rendszer

Ez a rendszer típus egyetlen gépházból, egyetlen medencéből, valamint az őket összekötő egyetlen fő vezetékből áll. A fő vezetékről leágazó elosztóvezetékek csak éppen a legszükségesebb hosszúságban vannak kialakítva, amely a rendszer legfőbb előnyének tekinthető. Hátránya azonban az, hogy az egyes leágazások csak egy irányból láthatóak el, amelynek következtében a fogyasztási csúcsok ingadozása miatt jelentős nyomáscsökkenések alakulhatnak ki, továbbá a végágakon pangóvíz alakulhat ki,

valamint az ellátás biztonsága is csekély, mivel az adott elosztóvezeték meghibásodásával akár egy jelentős nagyságú terület is kieshet a vízszolgáltatásból. [2]

5.2.2 Összekapcsolt rendszerű hálózat

Ebben a rendszertípusban nincs úgynevezett végág, vagy ha van is, az legfeljebb a település kevésbé lakott peremterületein van csak. A hálózat teljes vezetékhosszúsága lényegesen több mint az elágazó rendszerénél, azonban az ellátás biztonsága lényegesen magasabb. [2]

5.2.3 A körvezetékes rendszer

A gerincvezetékek egy önmagukba visszatérő hurok formációt vesznek fel, amelyhez további, kisebb elosztóhálózati körök csatlakoznak. A hálózat teljes vezetékhosszúsága ennél a hálózattípusnál a legnagyobb, ugyanakkor a vízellátás üzembiztonsága ennél a rendszerénél a legmagasabb. Az olyan összetett és bonyolult hálózatok esetében mint a budapesti, ahol egy időben több medence és több szivattyútelep vesz részt a vízellátásban, ott a körvezetékes rendszer és az összekapcsolt rendszer kombinációját alkalmazzák, amelyet „pókháló” rendszernek hívnak. Az ilyen és az ehhez hasonló hálózatokon a vízellátási üzembiztonság csak ezzel a típusú hálózattal biztosítható. [2]

6. Csővezeték anyagok és jellemzőik

A [2, 39.-41. oldal] szerint Budapest vízellátó rendszere közel 4800 km hosszúságú összefüggő vezetékrendszer, melyet jellemzően az alábbi csőanyagok alkotják:

- Öntöttvas
- Gömbgrafitos öntöttvas
- Acél
- Azbesztcement
- Sentab (Feszített beton)
- Rocla (Beton)
- PVC
- KPE (PE)
- Hobas (Szál erősítésű, hőre keményedő műgyantával, centrifugális öntéssel készülő cső)

6.1 Öntöttvas csövek

Technikailag szürkeöntvényként ismert, amely egy vastartalmú anyag szénnel ötvözve, mely szabad grafit pelyhek formájában van jelen, szilícium és egyéb szennyező anyagok mellett. Három féle besorolásban elérhető: sztenderd súlyú, extra nehéz, és tok nélküli. Ez a csőfajta gyakran rendelkezik belső cement vagy kátrányos mázolóssal, valamint külső bevonattal, változatos anyagokból, csökkentve a talaj oldali korróziót. Előnyei közé tartozik az ellenálló képesség a mérsékelt külső nyomással szemben, a jó tűzálló képesség, a jó áramlási jellemzők, valamint a jó korrózióállóság a legtöbb természetes talajban. Az öntöttvas csövek használhatósága dokumentáltan akár több mint 100 év is lehet. Hátrányai, hogy törekeny ha durván történik a kezelése, agresszív talajokban és magas fertőzőképességű anyagok jelenlétében gyorsan korrodál, nehéz súlyú anyag, és magas a bekerülési anyagköltsége. [3]

6.2 Acél csövek

Az acél egy széles skálájú csőanyag, köszönhetően a nagy számban alkalmazott ötvöző anyagoknak. Két nagy kategóriába sorolható a készítési módszer szerint: mart/forgácsolt cső, és gyártott cső. A gyártott cső lemezanyagból kerül

megmunkálásra, spirál vagy egyenes hegesztési varrattal, továbbá megmunkálják még varrat nélküli (extrudálás) technológiával is, és elérhető egyszerű (fekete) és galvanizált (belső, külső, vagy mindkét oldalán horganyzott) formában is. Hatalmas számú acél cső ötvözet érhető el. A választás a felhasználási szándék függvénye. Az acél csövek általában nyomás alatti vezetékekként kerülnek felhasználásra. Előnyei a nagy fektetési hosszúság, magas belső és külső szilárdság, és a piacon elérhető, változatos csővastagságok, melyek majdnem minden tervezési nyomáshoz megfelelnek. Jó áramlási tulajdonságokkal rendelkezik, jó tűzálló tulajdonságú, és alacsony a bekerülési költsége. A legkomolyabb hátránya az alacsony korrózióállóság. Külső és belső védelmet egyaránt igényel galvanizálással, amely egy gyakran használatos eljárás. [3]

6.3 Gömbgrafitos öntöttvas csövek

A gömbgrafitos öntöttvas egy vastartalmú anyag, amely a vasban megjelenő pelyhek helyett gömbös vagy gömb alakú formában jelenik meg a grafit. Ez a hozzáadott magnézium ötvöző anyag segítségével érhető el. Felhasználható gravitációs csatorna rendszerekként, és nyomás alatti vezetékekként is. Cement vagy bitumenes béleléssel biztosítható a belső korrózióállóság. A gömbgrafitos öntöttvas előnyei megegyeznek az öntöttvas előnyeivel, kivéve hogy messzemenően erősebb a megengedhető nyomásérték tekintetében és a külső terhelési kapacitás tekintetében. Továbbá kevésbé törékeny, amely lehetővé teszi a durvább kezelést is. Magasabb azonban a bekerülési költsége, mint az öntöttvasnak. [3]

6.4 Polivinil-klorid (PVC) csövek

A PVC az egyik legkeményebb és az egyik legszélesebb körben alkalmazott műanyag csőfajta. Az oldószerekkel szemben gyenge ellenálló képességgel rendelkezik. Alkalmazható nyomás alatti és nyomásmentes célokra is. A fő felhasználási területei az ivóvízellátás, egyéb folyadékok szállítása, és mindenféle vízelvezetési felhasználás, kémiai és hőmérsékleti korlátozásokon belül. Az általánosan elfogadott felső üzemeltetési hőmérséklet 150 °F, azaz körülbelül 65,5 Celsius fok. A cső csak olyan vegyületekből készül, amely csak minimális mennyiségű egyéb anyagot tartalmaz, lágyítót pedig nem. A földalatti vízcső vezetékek általában összetolható tokokkal

csatlakoznak egymáshoz. A PVC egy önoltó anyag és nem éghető. Azonban ha tűznek van kitéve, akkor mérgező gázok szabadulnak fel. [3]

6.5 Polietilén csövek

A PE valószínűleg poliolefinként ismert a legjobban. Ez egy széles körben alkalmazott anyag, mert magas a szívóssága, a hajlékonysága, a rugalmassága, és a vízűtés csillapító képessége. Felső üzemelesi hőmérséklete 140 °F körüli, azaz kb. 60 Celsius fok. Felhasználható földalatti üzemanyag továbbító vezetéként, helyszíni öntözőrendszerként, és ajánlott még ivóvízvezetéként. Továbbá alkalmazható még mindenféle gravitációs és nyomás alatti vízelvezetési célokra is, hőmérsékleti és kémiai korlátozásokon belül, ahol a rugalmasság előny, különösen az alapozási lefolyóknál. [3]

6.6 Megerősített hőre keményedő műgyanta csövek

Az RTHP (Reinforced Thermosetting Resin Pipe), azaz a megerősített hőre keményedő műgyanta csövek, egy osztálya a kompozit csöveknek, amely hőre keményedő megszilárdult műgyanta és az abba ágyazott, vagy az által körülvevett erősítőanyagból áll. Ez a csőanyag „üvegszál erősítésű cső”-ként is ismert. Erősítő anyag lehet bármilyen ásványi szál összeállítás. Az RTHP változatos gyantafajtával, béleelő anyaggal, és falerősítéssel is elérhető. Magas Erő-Súly aránnyal rendelkezik. Az általánosan elfogadott maximális üzemi hőmérséklet érték 250°F, azaz kb. 121 Celsius fok. Konstruktóójának köszönhetően ez a csőfajta jóval magasabb hőmérsékletet képes elviselni a legtöbb műanyag csőnél, és jóval erősebb mind fizikai, mind mechanikai szempontból, mialatt széles skálájú kémiai ellenálló képességgel rendelkezik. A csőcsatlakozás lehet tok és csap kapcsolat ragasztóanyaggal biztosítva, vagy csavarmentes és ragasztóanyaggal biztosított, vagy összekapcsolt és tekercselt, vagy mechanikus csatlakozások. A ragasztóanyag kiválasztása függ a felhasználási szándéktól és a cső típusától. A műgyanta szolgál kötőanyagként, amely a kompozit struktúrát egyben tartja. A négy műgyanta fajta: epoxi, poliészter, vinilészter, és furán származékok. A furán származékokkal nehéz dolgozni és ritkán használatosak. Az epoxi és a vinilészterek a legszélesebb körben használatosak. Az epoxi műgyanta erősebb a vinilészternél. A térhálósító szernek (vagy katalizátornak) szintén van kihatása a cső kémiai ellenálló képességére. [3]

6.7 Azbesztcement csövek

Az azbesztcement csövek gyártása portland cement (szilikátos vagy szilikát nélküli) és azbesztszálak keverékéből történik. Ez a csőfajta széles körben használatos nyomás alatti rendszerekhez, mint például az ivóvízcsövek, és nem korrodáló nyomásmentes szennyvízcsatorna rendszerekhez. A csővezetékek elérhető mérettartománya 100-1000 mm közötti, és 100-200 Psi (kb. 6,9-13,8 BAR) közötti nyomástartó képességű csövek és idomok érhetőek el. A csőösszeköttetések vagy kompressziós tömítések felhasználásával készülnek, vagy azbesztcement-gumitömítés kötéssel. [3]

6.8 Beton csövek

A beton csövek gyárthatóak erősített és erősítés nélküli betonból. A beton csövek alkalmasak földalatti gravitációs vízvezető rendszerekhez, és nyomás alatti vízszolgáltatásra, tipikusan a nem iható hűtő vagy technológiai vizekhez, amelyek felszíni forrásból származnak. A beton csövek nem rendelkeznek nemzetközileg elfogadott méretszabványokkal, csak egyéni gyártókra vonatkozóak vannak. A csőcsatlakozások lehetnek nyelv és barázda, vagy tok és csap kapcsolatok. A nyelv és barázda csatlakozások gumitömítéssel szigeteltek, és általában gravitációs rendszerekhez használják. A tok és csap kapcsolatos kompressziós tömítéssel szigeteltek, és általában nyomás alatti rendszerekhez használják. Nincs szabvány a beton idomok méreteire vonatkozóan, így amikor egy konkrét méret szükséges, akkor azt be kell szerezni a javasolt gyártótól. [3]

7. A vízszolgáltatási színvonal fenntartása végett végzett tevékenységek, a Fővárosi Vízművek gyakorlatában

Az elvárt vízminőség és az elvárt működőképesség csak munkabefektetéssel tartható fent [2; 481. oldal]. Mátyus S. [2] szerint a különböző tevékenységeket/munkabefektetési formákat a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: Vízellátó hálózaton végzett tevékenységek típusai és jellemzői [2]

Típus		Finanszírozás	Műszaki-gazdasági tervezés	Munkavégzés és ütemezése	Munkavégzés célja	Megjegyzés
Fenntartás	Hibajavítás üzemzavar	Költségből	Bázis alapon	Azonnali	Hibaelhárítás	-
	Hibajavítás halasztható			Halasztható		-
	Üzemeltetés		Tételes	Tervezett	Állapotmegőrző, állapotjavító rehabilitáció	Öblítés, tisztítás, fertőtlenítés, vízvesztéseg-elemzés, vízminőség-vizsgálat, hálózatvizsgálat, táblázás
	Karbantartás					Lényegében csak a szerelvényeket és a műtárgyakat lehet karbantartani.
Beruházás	Felújítás	Beruházási keretből	Bővítés			Régi elemre ráaktiválódik a beruházás értéke.
	Rekonstrukció					Régi elem selejteződik, új elem keletkezik, miközben a betöltött funkció változatlan marad.
	Fejlesztés (új beruházás)					Új értéken aktiválódik.

Ahogy a 2. táblázatban látható, a felosztás több szempontot próbál kielégíteni. A 2. táblázatban lévő tevékenységek alapvetően két fő csoportba sorolhatóak. A fenntartás és beruházás szerinti csoportosítás lényegében pénzügyi jellegű szemléletet követ. Ez azt

szemlélteti, hogy milyen forrásból történik az adott munka finanszírozása. Egy másik szemlélet szerint a munkavégzés célja az iránymutató. Minden olyan állapotmegőrző és állapotjavító, amely nem a hibaelhárítási kategóriába tartozik, a fejlesztés kivételével, azt rehabilitációnak hívjuk. Legfontosabb jellemzője a rehabilitáció jellegű munkáknak az, hogy tételesen tervezhetőek. [2]

7.1 A hibaelhárítás

Hibaelhárítás egy hibabejelentés után történik, az adott eset sürgősségétől függően vagy azonnali, vagy halasztható hibajavításról beszélünk, ahol a halasztható munkákat gazdasági alapon ütemezik be. A hibaelhárítást fenntartási stratégiaként is értelmezhetjük, miszerint „működtesd addig, míg le nem áll”. Ezen stratégia szerint, az elosztóhálózat elemei mindaddig működésben maradnak, míg azok a követelményeknek megfelelnek. Csőtörés bekövetkezésekor, vagy működésképtelenné vált elzáró szerelvény esetén megtörténik a hibajavítási munka. A következő hiba fellépésekor ismételten hibajavítás elvégzése szükséges. A hálózat állag-, és állapotmegóvásának az az elsődleges feladata, hogy gazdasági szempontok figyelembevétele mellett, a hatósági és műszaki előírásoknak megfelelően, olyan állapotban tartsa, hogy az minimális számú meghibásodással működjék. [2]

7.2 A karbantartás és az üzemeltetés

Üzemeltetés fogalma alatt a tervezhető munkákat értjük, amelyek többnyire a vízminőség megőrzését szolgáló munkák, mint a csőöblítések, fertőtlenítések, tisztítások. Az elosztó hálózati vezetékek esetében nem beszélhetünk a klasszikus értelemben vett karbantartásról, mivel azokhoz a normál üzemi körülmények között a földtakarás miatt nem lehet hozzáférni. Tolózárak, csapózárak, légtelenítők, tűzcsapok és nyomáscsökkentők esetében már más a helyzet, ugyanis ezeknél a szerelvényeknél a működőképes állapot fenntartása, míg csőhidak esetében az állagmegóvás a tevékenység célja. Az üzemeltetési és karbantartási teendők szétválasztása a fentiek tekintetében önkényes, egyébként csupán a karbantartás kifejezés használata magába tudná foglalni ezeket a teendőket. [2]

7.3 A felújítás és a hálózatrekonstrukció

Az elosztóhálózat elemei az idő múlásával elhasználódnak, előregednek, mely a hibák számának és a hibák keletkezési esélyeinek növekedésével jár együtt. Rendszeres karbantartással az elosztóhálózat üzemideje kitolható, azonban egy idő után elkerülhetetlenül felújításra szorul. A hálózatelem felújításakor annak nyomvonala és paraméterei is változatlanok maradnak, és a karbantartási tevékenységhez hasonlóan az üzemidő/élettartam megnövelése a célja. Hálózatrekonstrukcióról akkor beszélhetünk, ha az adott hálózatelem teljes átépítése, vagyis lebontása és újjáépítése valósul meg. Ennek során a hálózatelem nyomvonala és paraméterei is egyaránt megváltozhatnak. Ilyenkor tulajdonképpen egy teljesen új létesítmény épül ki, amely a régi létesítmény helyébe lép. Hálózatrekonstrukciókra általában akkor kerül sor, ha:

- alapvetően megváltoznak a terhelési viszonyok,
- az elosztóhálózat struktúrájának egyszerűsítése válik szükségessé,
- meg kívánjuk őrizni a vízminőségi paramétereket,
- csökkenteni szeretnénk a hálózati veszteségeket,
- üzembiztonsági előírások betartása szükséges.

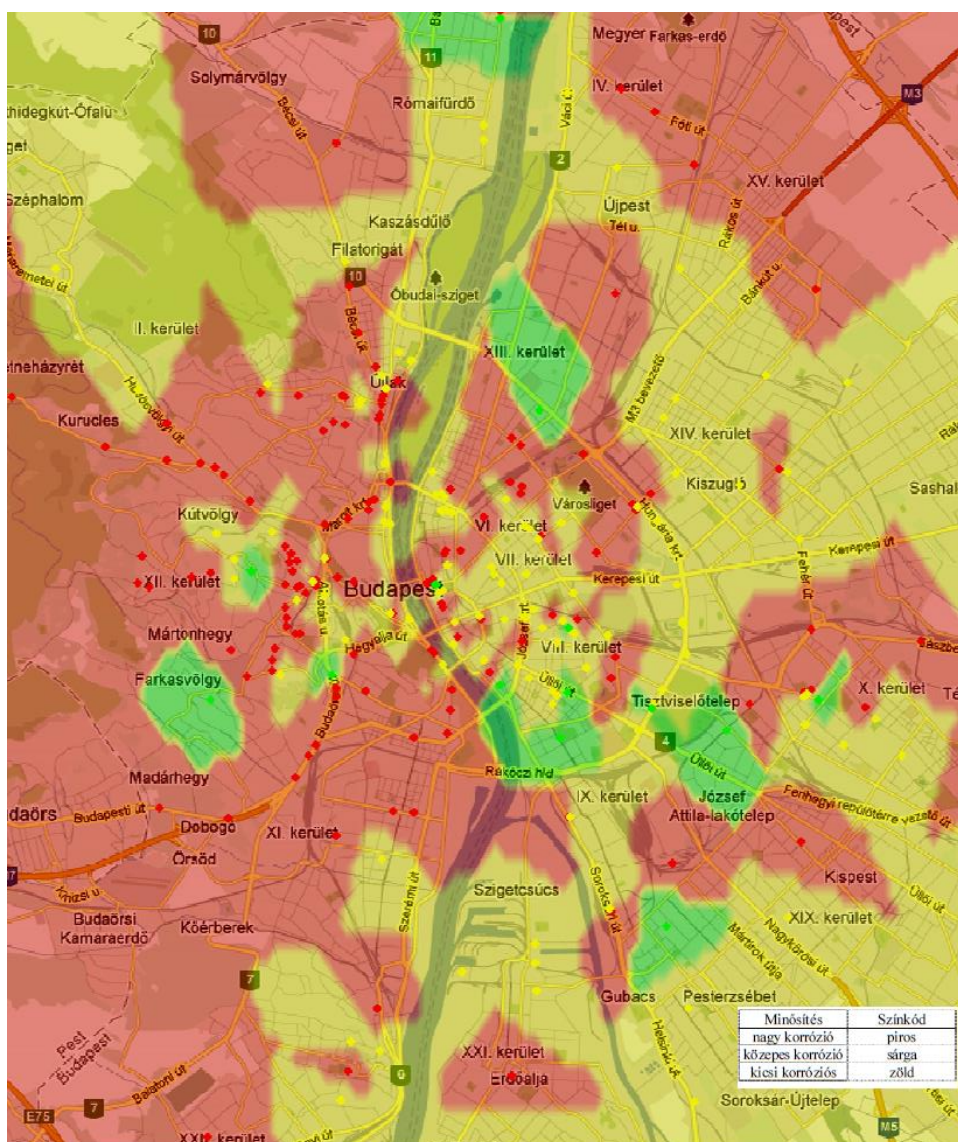
A rekonstrukció eredményeként alacsonyabb hiba előfordulási gyakoriságot, kevesebb hibát, és élettartam megnövekedést várunk el. [2]

8. Vastartalmú anyagú csővezetékek korrózióját okozó hatások és jellemzői

8.1 Külső (talajoldali) korrózió

A sok ideje a talajba fektetett öntöttvas csőveken jellegzetes, szelektív korrózió tapasztalható meg, amely a grafit lemezek körül elhelyezkedő fémes fázisból indul ki, és halad a szerkezet belseje felé. A grafitlemezek körüli fémes fázis teljes elfogyása okán üreg képződik, melyet egy szivacsos szerkezetű nemfémes maradványréteg tölt ki. A csővezeték ugyan viszonylagosan megtartja az alakját és méretét, azonban elveszíti a fémes tulajdonságait, és a mechanikai tulajdonságok jelentősen leromlanak. Átlagos körülmények esetén ez a korróziófajta lassú lefolyású, melyet kóboráramok jelenléte gyorsíthat fel. A szürke vasöntvények szövetszerkezetei több fázisból épülnek fel (ferrit, cementit, grafit, foszfid, és egyéb nemfémes elemek/zárványok), ezért fennáll az elektrokémiai kioldódás, és a szelektív korrózió veszélye. Az öntöttvas és az elektrolit (oldat) között, a grafit és a vas, valamint a perlit és a foszfidos eutektikum között léphet fel feszültség. A grafit a vashoz képest katódként funkcionál, és magas áramsűrűségű korróziós cellát képez. Ennek hatására vas kationok keletkeznek. A jelenség megnevezése az 1990 óta létező ISO MSZ szabvány írja le, azonban a legtöbb hazai és nemzetközi szakirodalom a „grafitosodás” szót használja rá, Annak ellenére hogy a „vastalanodás” szóhasználat sokkal kifejezőbb, mivel ténylegesen vas válik ki az öntvény szerkezetéből. A talajok jellegét így korróziós hatások szempontjából is figyelembe kell venni. Mivel a talaj egy háromfázisú vegyes rendszer, vagyis egy időben szilárd, folyékony, és gáz halmazállapotú anyagokat is tartalmaz, így a jellemzőinek/tulajdonságainak jelentős része akár már kis távolságon belül is eltérő lehet. A legtöbb talaj vízszintesen és függőlegesen is heterogén, valamint a mechanikai tulajdonságai helyileg állandóak. A talajvíz oldott oxigént, különböző oldott sókat, savakat, lúgokat, és néha akár jelentős mértékben szerves anyagokat is tartalmazhat. A talajvíz ennek tükrében tulajdonképpen egy elektrolit oldat, melyben a különböző vas alapú fémek oldódnak egy bizonyos sebességgel. Az öntöttvas csővezetékek vastalanodása akkor lép fel és gyorsul fel, amikor azok hosszú időn át szennyezett és

változó nedvességtartalmú talajban fekszenek. A komoly problémát okozó törésekre pedig jellemzően akkor kerül sor, amikor egyéb tényezők (Pl.: megváltozott terhelés, állandó vagy véletlenszerű rezgések, lökések, ütések, stb.) hatására a vastalanodott, nemfémes, kis szilárdságú rideg anyag elrepedése és a gyors repedésterjedés megtörténik. [4] A budapesti talajok korrozivitás szempontjából történő kiértékelésére a Horváth - Mátravölgyi szakvéleményében [5] került sor, melyet az 1. ábra szemléltet.



1. ábra: Budapest talajkorrozíós térképe [5]

Horváth - Mátravölgyi szakvéleménye [5] szerint az 1. ábrán bemutatott térképen az egyes területek minősítése elsősorban a minimális fajlagos ellenállás alapján történt, és eseti jelleggel, ahol ismert volt, a pH érték, a redoxpotenciál, és a talajnedvesség tartalom ismeretében pontosították a minősítést.

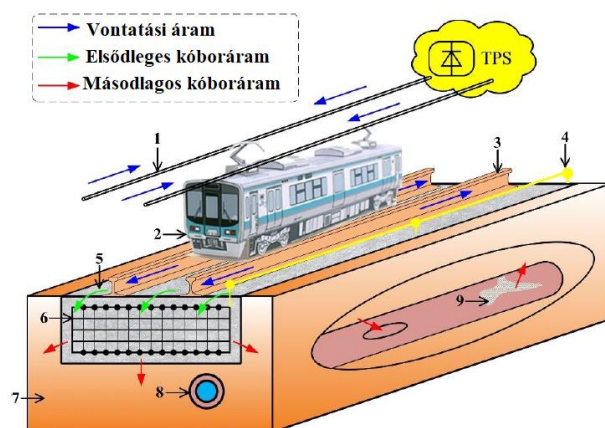
8.2 Belső (vízoldali) korrózió

A belső korrózió egy időfüggő és lassú lefolyású degradációja a fém vezetékeknek, melyet elektrokémiai reakciók indukálnak, és amely gyengíti a fémes anyagok fizikai, kémiai, és mechanikai tulajdonságait, amíg azok üzemben vannak. A csövek belső korrózióját és a lerakódások képződését a belső csőfalon a vízminőségi paraméterek részben befolyásolják. Több különböző típusú belső korrózió támadhatja meg a csővezetéseket, beleértve az egyenletes korróziót, a lokális korróziót, a feszültségkorróziós repedést, eróziós korróziót, és a réskorróziót. A különböző korróziós formák változatos jellegű és minőségű pikkelyszerű lerakódásokat képeznek a fémes anyagú csőfalak belső felületén. A korrózió másrészt befolyásolja a vízminőséget is, a nehézfémekkel való kölcsönhatás eredményeként, melyek nyomokban a vízbe oldódhatnak a fémből, mint pl. a Cu, Mn, Ni, Pb, Cr, és As. Továbbá a csővezetékek állapotromlását még számos egyéb tényező is befolyásolja, beleértve a környezeti tényezőket (pl.: mikroorganizmusok jelenléte, talajminőség), az üzemeltetési körülményeket, és a csőanyag minőséget. Az egyenletes és a lokális korrózió a két leggyakoribb belső korróziótípus, melyek a csővezeték meghibásodását okozzák, még a várható élettartam letelte előtt. A vízvezetékek meghibásodásának hatásait két nagy kategóriába sorolhatjuk: az első kategória a szerkezeti leromlás, mely után a csővezeték nem képes ellenállni a rá ható feszültségeknek, a második kategória pedig a csőfal vastagság lassú csökkenése a korrózió és a víznyomás által, mely a szerkezeti kapacitás és a vízminőség romlását okozza. [6] Mivel a Horváth - Mátravölgyi [4] által tárgyalt vizsgálat szerint 120 feltárásból mindösszesen három esetben volt nagyobb a vízoldali korrózió mértéke, mint a talajoldali korrózióé, így hatása sokkal gyengébben érvényesül.

8.3 A kóboráram korrozív hatása

A korlátozott építési és karbantartási költségek miatt, a futó síneket gyakran vontató hurokként használják, a metró (és egyéb kötőtpályás járművek, mint pl.: villamosok) egyenáramú vontatási rendszerében. A sínnek korlátozott a vezetőképessége, és a szigetelés nem teljes a talajoldal felől, tehát a vontató áram egy része a talajba áramlik a futósínen keresztül, majd visszatér a vontató állomásba a talaj elterelése által, ahelyett hogy ezt közvetlenül a futó sínen keresztül tenné meg. Ezt a fajta áramot, amely a sínen

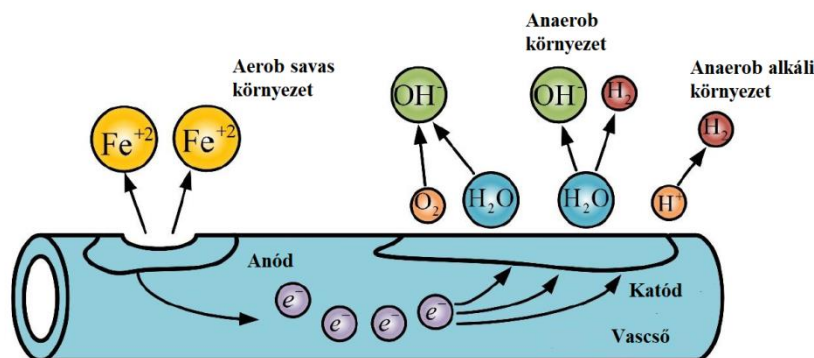
keresztül a talajba áramlik, kóboráramnak nevezzük. A kóboráram egy instabil fizikai mennyiség. Két fő ok vezet a létrejöttéhez. Az első ok az áram szivárgása. Ezt főleg olyan tényezők okozzák, mint pl. a szigetelési problémák, vagy a kapcsolat a szigetelő betét és a sínek között. A sín mentén létrejövő áramszivárgási pont miatt, az áram átáramlik a talajba a futó síneken keresztül, majd a kationos és elektronikus közötti szétválasztási jelenség az fém-elektrolitban jön létre. Ebben az esetben a földtakarásban lévő fémek, mint pl. a csővezetékek, korrodálódnak. A második fő ok az elektromos potenciál gradiens. Az elektromos térben elhelyezkedő fémszerkezet potenciál eloszlása eléggé heterogén. Annak okán, hogy potenciál gradiens keletkezik az elektromos térben, elektromos téresősség jön létre a fémekben lévő szabad elektronokhoz. Így a szabad elektronok kimozdulnak a kationos állapotból egy fix irányban, ami végül a földtakarásban lévő fém korróziójához vezet. [7] A kóboráram két részre osztható, ahogyan a 2. ábrán is látható.



Háromdimenziós kóboráram profil a metró rendszerben
 1 - Felsővezeték, 2 - Vonat/Szerelvény, 3 - Sín, 4 - Kóboráram gyűjtő kábel,
 5 - Ballasztágy, 6 - Kóboráram vezető szőnyeg, 7 - Környező talaj,
 8 - Földtakarásba temetett cső, 9 - Anód zóna

2. ábra: Kóboráram terjedése vasúti sínek mentén [7]

Azt a kóboráramot, amely a kóboráram vezető szőnyegben (a 2. ábrán 6-os számmal jelölt rész) áramlik, azt elsődleges kóboráramnak nevezzük, mely összegyűlik ebben az szőnyegben/ágyazatban ahelyett, hogy továbbra is a földbe szivárogná. Ennek megfelelően azt a kóboráramot, amely továbbra is a földbe szivárog, ahelyett hogy a kóboráram vezető szőnyeg/ágyazat összegyűjtené azt, azt másodlagos kóboráramnak nevezzük. [7] A kóboráram földtakarásban lévő fém csővezetékekre gyakorolt korrozív hatását a 3. ábra mutatja be.



3. ábra: A kóboráram vascsőkre gyakorolt hatása [7]

A katódos terület akkor keletkezik, amikor a másodlagos kóboráram beáramlik a földtakarásban lévő fém csővezetékbe, ahol aztán redukációs folyamat játszódik le. A redukációs környezet különbségei miatt a specifikus reakcióegyenlet eltérő lehet:

- Hidrogénfejlődéssel járó korrózió:
 - $4\text{H} + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2 \uparrow$ (Anaerob alkáli környezet)
 - $4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^- + 2\text{H}_2 \uparrow$ (Anaerob környezet)
- Oxigén abszorpciós korrózió:
 - $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$ (Aerob savas környezet)

A csővezeték potenciálja csökken, ha redukációs reakció lép fel. A csővezeték a katódzónában általában nem érintett, azonban ha túl nagy a potenciálérték, akkor hidrogén csapadék keletkezik a cső felületén, amely a korróziógátló bevonat leválását okozza a földtakarásban lévő csővezetékéről. Az anód zóna akkor jön létre, ha a másodlagos kóboráram beáramlik a földtakarásban lévő fém csővezetékbe, ahol az alábbi reakció játszódik le:

- $\text{Fe} = \text{Fe}_2 + 2\text{e}^-$

A csővezeték potenciálja nőni fog, amikor oxidációs reakció megy végbe. A fém oxidálódik, fém ionokat termelve az elektrolitba (a talajba). Ezután a fém korróziója következik be a fémionok vesztesége miatt. [7] Horváth - Mátravölgyi szakvéleménye [5] szerint a budapesti földbe fektetett fém csővezetékekre leginkább a villamosok kóborárama jelenti az elsődleges veszélyt.

9. Célkitűzés

A szakdolgozatom egyik elsődleges célja, hogy a Fővárosi Vízművek vízvezeték hálózatában 2023-ban történt elosztóhálózati csőtörések tönkremenetelének okát vizsgáljam. Ehhez a folyamathoz a Fővárosi Vízművek Zrt. bocsátott rendelkezésemre 8 db cső anyagmintát (a továbbiakban munkadarabok), amelyek NA80 és NA150 közötti átmérőjűek. Az oknyomozó vizsgálati folyamatot konkrét, szabad szemmel is látható hibahelyek környékén szemrevételezéssel, majd metallográfiai vizsgálatokkal, valamint maradék csőfal vastagság méréssel célozom végrehajtani. Ezt követően a szakdolgozatom másik fő célja az, hogy a metallográfiai vizsgálat eredményeinek értékelésével, illetve az annak során meghatározott anyagminőség és a maradék csőfal vastagság ismeretében kísérletet tegyek ezeknek a műtárgyaknak a hátralévő élettartamuk becslésére. Ehhez a metallográfiai vizsgálatok során látható szövetszerkezetet, valamint az egyes munkadarabok névleges belső átmérőjét is figyelembe véve, meghatározom a további üzemeléshez elengedhetetlenül szükséges minimális falvastagságot, majd egy átlagos korróziósebességet feltételezve, élettartam számítást hajtok végre, hogy kiderítsem, mennyi idő alatt fogy el a maradék csőfal a minimálisan szükséges szintig.

10. Kísérlettervezés

A munkadarabok elődarabolására, az ÓE-BGK Népszínház utcai gépműhelyében található BOMAR STG 230 típusú vizes emulziós vágóberendezéssel került sor (lásd 1. számú melléklet), ahol a vizsgálat szempontjából felesleges és jelentéktelen anyagrészletek kerültek eltávolításra.

A darabolást követően szintén a Népszínház utcai campuson került sor a konkrét, már beágyazásra szánt mintadarabok kijelölésére és vágására, sarokcsiszoló szerszámmal. Mindegyik munkadarabból két-két beágyazandó mintadarab került kivételre, egy hosszirányú és egy keresztirányú metszet. Ezt követően a minták beágyazására, a Népszínház utcai campus Metallográfiai Laboratóriumában került sor, mely Duracryl Plus önkötő por és folyadék keverékével történt. A beágyazó anyag megkötését követően került sor, szintén a Metallográfiai Laboratóriumban a vizes csiszolásra és polírozásra, Struers Laboforce-50 típusú vizes csiszoló készülékkel (lásd 2. számú melléklet), mely kezdetben egy durvább csiszolópapírral (P80), majd egyre finomabb (P180 – P2500) csiszolópapírok alkalmazását követően egy finom polírozással került előkészítésre a mikroszkópos vizsgálatokhoz.

Mintánként mind a hosszirányú, mind pedig a keresztirányú metszetek esetében készültek makró képek, valamint közvetlenül a csiszolást és a polírozást követően 20x, 70x, és 100x nagyításban mikroszkópos felvételek, Olympus DSX 1000 típusú digitális mikroszkóppal (lásd 3. számú melléklet), majd nitálos maratást követően egy újabb 100x nagyítású mikroszkópos felvétel készült, melyek segítségével az anyag szerkezete került vizsgálatra, valamint következtetni próbáltam a mai szabványok szerinti, a mintákéhoz leginkább hasonlító anyagminőségre. Ehhez az egyes mintadarabokat az MSZ 5716-74 szabvány szerint minősítettem, ezáltal meghatározva a grafit alakját (az egyes minősítő jelekhez tartozó magyarázatot lásd az 3. táblázatban), a grafit méretét (az egyes minősítő jelekhez tartozó magyarázatot lásd az 4. táblázatban), a grafit eloszlását (az egyes minősítő jelekhez tartozó magyarázatot lásd az 5. táblázatban), valamint a ferrit mennyiségét az anyagban (az egyes minősítő jelekhez tartozó magyarázatot lásd az 6. táblázatban). A fentiekén túl szűrőpróba szerűen kiválasztott mintákról makro keménység mérés, WPM típusú keménységmérő berendezéssel (lásd

4. számú melléklet), valamint JSM-5310 típusú pásztázó elektronmikroszkóp (lásd 5. számú melléklet) segítségével elemanalízisek és felvételek is készültek.

3. táblázat: Magyarázat a grafit alakja minősítő jelekhez (Kivonat az MSZ 5716-74 szabvány 1. táblázatából) [8]

Minősítő jel	A grafit alakja
Ga 1	Egyenesvonalú lemezes
Ga 2	Örvényes lemezes
Ga 3	Durva lemezes (primer)
Ga 4	Pók alakú (lehet primer is)
Ga 5	Pontszerű
Ga 6	Féreg alakú
Ga 7	Szakadozott csomós
Ga 8	Tömör csomós
Ga 9	Szabálytalan gömb alakú
Ga 10	Szabályos gömb alakú

4. táblázat: Magyarázat a grafit mérete minősítő jelekhez (Kivonat az MSZ 5716-74 szabvány 2. táblázatából) [8]

Minősítő jel	A grafitlemezek hossza μm -ben
Gm 15	15-ig
Gm 25	15 fölött 30-ig
Gm 45	30 fölött 60 ig
Gm 90	60 fölött 120-ig
Gm 180	120 fölött 250-ig
Gm 360	250 fölött 500-ig
Gm 750	500 fölött 1000-ig
Gm 1000	1000 fölött

5. táblázat: Magyarázat a grafit eloszlása minősítő jelekhez (Kivonat az MSZ 5716-74 szabvány 4. táblázatából) [8]

Minősítő jel	A grafitlemezek eloszlása
Ge 1	Egyenletes
Ge 2	Egyenlőtlen
Ge 3	Ágszerű
Ge 4	Rozettás
Ge 5	Dendritközi pontszerű
Ge 6	Dendritközi lemezes

6. táblázat: Magyarázat a ferrit mennyiségének minősítéséhez (Kivonat az MSZ 5716-74 szabvány 6. táblázatából) [8]

Minősítő jel	A ferrit által elfoglalt terület %-ban
F 0	2-ig
F 4	2 fölött 5-ig
F 8	5 fölött 10-ig
F 15	10 fölött 20-ig
F 30	20 fölött 40-ig
F 55	40 fölött 70-ig
F 80	70 fölött 90-ig
F 94	90 fölött 98-ig
F 100	98 fölött

A maradék falvastagság mérésére mindegyik esetben a legvastagabb grafitosodott réteg mentén került sor, mely a mikroszkópos felvételek készítése során, a mikroszkóp saját szoftverével kerültek lemérésre.

11. Csővezetéki vizsgálatok

A kapott munkadarabok NA80 és NA150 közötti átmérőjűek, és teljes hosszúságuk 40 és 120 cm közöttiek voltak, és a Kísérlettervezésben írtak szerint összesen 8 db van belőlük. A 8 munkadarab összesen 7 db helyszínt fed le, és a fektetési éveik 1909 és 1968 közöttiek, azaz 2024-ben az életkoruk 56 és 115 év közöttiek voltak. Továbbá szintén a Fővárosi Vízművek bocsátott rendelkezésemre az adott munkadarabokhoz tartozó, és az adott hibajavítási feltáráshoz is kapcsolódó munkalapokat, valamint MIR (Műszaki Információs Rendszer) adatokat, melyek tartalmazzák a mintákra és a mintavétel helyén lévő vezetékszakaszokra vonatkozó legfontosabb adatokat. Mivel mindegyik munkadarabnál egyedi volt a meghibásodás jellege, így a tönkremenetel vizsgálatához igyekeztem a munkadarabokból olyan részleteket kijelölni és kivenni mintaként, amennyiben erre lehetőség volt, amely konkrét meghibásodásra utaló, és szabad szemmel is látható sérülés volt. A további alfejezetekben az egyes minták vizsgálatát részletezem.

11.1 1. számú munkadarab vizsgálata és elemzése

A tárgyi munkadarabra vonatkozó legfontosabb adatokat, a Fővárosi Vízművek Zrt.-től kapott, 6. számú mellékletben szereplő munkalap, és MIR információk szerint a 7. táblázat foglalja össze.

7. táblázat: 1. számú munkadarab adatai

Munkadarab származási helye:	Budapest, XI. ker. Ulászló utca – Dinnye utca sarok
Munkadarab feltárásának ideje:	2023.07.11.
Jellemző csőanyag:	Öntöttvas
Jellemző csőátmérő:	NA 100
Feltáráskor észlelt jellemző norma/hiba jellege:	Toklazulás
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz azonosítója (MSLINK):	802032605
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz hossza MIR szerint:	83,4 fm
Tárgyi vezetékszakasz fektetésének éve MIR szerint:	1909

Az 1. számú munkadarabot, eredeti állapotában a 7. és a 8. számú mellékletek mutatják be.

Ahogy a 7. és 8. számú mellékletben látható, a mintadarab külső felülete erősen korrodált, valamint hosszanti repedések figyelhetők meg, amely a feltáráskor észlelt toklazuláson felül egy további meghibásodási forrás nyoma. Továbbá szintén megfigyelhető még egy jelentősebb anyagkitörés is, melyből repedés is kiindul (lásd 8. melléklet bal oldalán).

A 9. számú mellékletben megfigyelhető, hogy a mintadarab belső falára enyhe mértékű lerakódás ült ki az üzemeltetése során.

A beágyazásra szánt hossz-, és keresztmetszeti darabok az anyagkitörés helyéről kerültek kivételre, melyet a 10. számú melléklet szemléltet.



4. ábra: 1. számú minta hosszirányú
metszet makró



5. ábra: 1. számú minta keresztirányú
metszet makró

A 4. és a 5. ábrán látható, hogy az anyagdarabokon jelentős mértékű külső vastalanodás ment végbe. A 11. számú melléklet, mely a hosszirányú metszetet szemlélteti (a sötétebb területek mutatják a grafitosodást, a világosabb területek pedig a fémes részeket), a kép bal oldalán látható, hogy a grafitosodott terület a teljes keresztmetszetet érinti, vagyis a maradék falvastagság mértéke 0,0 mm.

A 12. és 13. számú mellékletek, amelyek a keresztirányú metszetet szemléltetik (a sötétebb területek mutatják a fémes részeket, a világosabb területek pedig a grafitosodott részeket), a 13. számú mellékleten látható hogy megmaradt még

kismértékű falvastagsága a darabnak, mely 0,841 mm, a grafitosodott réteg vastagsága pedig 9,083 mm.

A 14. és 15. számú mellékletek mutatják meg a grafitosodott és a fémes részek határát közelebbről, azonban ezek még nem alkalmasak a grafit méretének, alakjának, és eloszlásának a meghatározására, így nagyobb felbontású felvételekre is szükség volt. A 16. számú mellékleten, amely a hosszirányú metszetet szemlélteti, a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 120 és 250 µm közötti (Gm 180 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Rozettás” (Ge 4-es minősítésű). A 17. számú mellékleten, amely a keresztirányú metszetet szemlélteti, a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 60 és 120 µm közötti (Gm 90-es minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű).

A 18. számú mellékleten a hosszirányú, a 19. számú mellékleten a keresztirányú metszet látható a nitalos maratás után, amelyek esetében a ferrit által elfoglalt terület legfeljebb 2 % (F0-es minősítésű), vagyis a szerkezet szinte teljes egészében perlites.

11.2 2. számú munkadarab vizsgálata és elemzése

A tárgyi munkadarabra vonatkozó legfontosabb adatokat, a Fővárosi Vízművek Zrt.-től kapott, 20. számú mellékletben szereplő munkalap és MIR információk szerint, a 8. táblázat foglalja össze.

8. táblázat: 2. számú munkadarab adatai

Munkadarab származási helye:	Budapest, XII. ker. Sólyom utca 8.
Munkadarab feltárásának ideje:	2023.08.16.
Jellemző csőanyag:	Öntöttvas
Jellemző csőátmérő:	NA 100
Feltáráskor észlelt jellemző norma/hiba jellege:	Csőlyukadás
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz azonosítója (MSLINK):	802012127
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz hossza MIR szerint:	192,2 fm
Tárgyi vezetékszakasz fektetésének éve MIR szerint:	1936

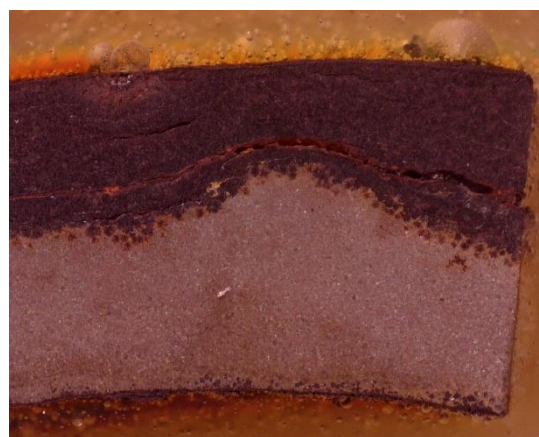
A 2. számú munkadarabot, eredeti állapotában a 21. a 22. és a 23. számú mellékletek mutatják be.

A 22. számú mellékleten megfigyelhető, hogy a mintadarab belső falára nagymértékű lerakódás ült ki az üzemeltetése során.

A beágyazásra szánt hossz-, és keresztmetszeti darabok, egy az anyagdarabon található repedés helyéről kerültek kivételre, melyet a 24. számú melléklet szemléltet.



6. ábra: 2. számú minta hosszirányú
metszet makró



7. ábra: 2. számú minta keresztirányú
metszet makró

A 6. és a 7. ábrákon jól látható hogy jelentős anyagfogyás ment végbe az anyagdarabokon. A 6. ábrán, amely a hosszirányú metszet makróját szemlélteti, a jobb oldalán látható, hogy a vastalanodás a teljes keresztmetszetet érintette, vagyis a maradék falvastagság 0,0 mm. A 26. és a 27. számú mellékleteken, amelyek a keresztirányú metszetet szemléltetik, látható hogy maradt még maradék falvastagsága az anyagdarabnak, amely 3,751 mm, a grafitosodott réteg vastagsága pedig 5,549 mm.

A 25., 26., és 27. számú mellékleteken egyaránt az alsóbb, repedezett, világosabb területek a grafitosodott részek, a felsőbb, repedésmentes sötétebb árnyalatú részek pedig a fémes területek.

A 28. és 29. számú mellékleteken a grafitosodott és a fémes területek határa látható közelebből, azonban ezek még nem alkalmasak a grafit méretének, alakjának, és eloszlásának a meghatározására, így nagyobb felbontású felvételekre is szükség volt. A 30. számú mellékleten, amely a hosszirányú metszetet ábrázolja, a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 60 és 120 μm közötti (Gm 90 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Rozettás” (Ge 4-es minősítésű). A 31. számú

mellékleten, amely a keresztirányú metszetet ábrázolja, a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 60 és 120 µm közötti (Gm 90 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű). A 32. számú mellékleten a hosszirányú, a 33. számú mellékleten pedig a keresztirányú metszet látható a nitálos maratás után, amelyek esetében a ferrit által elfoglalt terület legfeljebb 2 % (F0-es minősítésű), vagyis a szerkezet szinte teljes egészében perlitese.

11.3 3. számú munkadarab vizsgálata és elemzése

A tárgyi munkadarabra vonatkozó legfontosabb adatokat, a Fővárosi Vízművek Zrt.-től kapott, 34. számú mellékletben szereplő munkalap és MIR adatok szerint, a 9. táblázat foglalja össze.

9. táblázat: 3. számú munkadarab adatai

Munkadarab származási helye:	Budapest, XII. ker. Sólyom utca 5.
Munkadarab feltárásának ideje:	2023.07.15.
Jellemző csőanyag:	Öntöttvas
Jellemző csőátmérő:	NA 100
Feltáráskor észlelt jellemző norma/hiba jellege:	Hosszrepedés
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz azonosítója (MSLINK):	802012127
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz hossza MIR szerint:	192,2 fm
Tárgyi vezetékszakasz fektetésének éve MIR szerint:	1936

A 3. számú munkadarabot, eredeti állapotában a 35. és a 36. számú mellékletek mutatják be.

A 36. számú mellékleten megfigyelhető, hogy a mintadarab belső falára minimális mértékű lerakódás ült ki az üzemeltetése során, valamint látható egy anyagkitörés is, melyből egy repedés indul ki, és amely a feltáráskor eredetileg észlelt hibajellelleggel azonos.

A beágyazásra szánt hossz-, és keresztmetszeti darabok, egy az anyagdarabon található, anyagkitörésből kiinduló repedés helyéről kerültek kivételre, melyet a 37. számú melléklet szemléltet. A 8. és a 9. ábrákon, melyek a hosszirányú és keresztirányú metszetek makróit szemléltetik, látható hogy teljes mértékű vastalanodás történt mindkét esetben, vagyis a maradék falvastagság 0,0 mm.



8. ábra: 3. számú minta hosszirányú
metszet makró



9. ábra: 3. számú minta keresztirányú
metszet makró

A 38. számú mellékleten a hosszirányú metszet látható, melynek a felső részén látható a megmaradt minimális mennyiségű fémes rész, amelyet körbevesz a vastalanosodott anyagrész. A 39. számú mellékleten a keresztirányú metszet látható, melynek a bal alsó részében (sötétebb árnyalatú rész) látható a még megmaradt fémes rész, a világosabb árnyalatú részek pedig a grafitosodott anyagrészt mutatják.

A 40. és 41. számú mellékleteken a hosszirányú és a keresztirányú metszetek láthatóak közelebbről, melyek a grafitos és a fémes részek határait mutatják be, azonban ezek még nem alkalmasak a grafit méretének, alakjának, és eloszlásának a meghatározására, így nagyobb felbontású felvételekre is szükség volt.

A 42. számú mellékleten a hosszirányú metszet látható, melyen a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 60 és 120 μm közötti (Gm 90 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű). A 43. számú mellékleten a keresztirányú metszet látható, melyen a hosszirányú metszethez hasonlóan a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 60 és 120 μm közötti (Gm 90 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű). A 44. számú mellékleten a hosszirányú, a 45. számú mellékleten pedig a keresztirányú metszet látható a nitálos maratás után, amelyek esetében a ferrit által elfoglalt terület legfeljebb 2 % (F0-es minősítésű), vagyis a szerkezet szinte teljes egészében perlites.

11.4 4. számú munkadarab vizsgálata és elemzése

A tárgyi munkadarabra vonatkozó legfontosabb adatokat, a Fővárosi Vízművek Zrt.-től kapott, 46. számú mellékletben szereplő munkalap és MIR adatok szerint, a 10. táblázat foglalja össze.

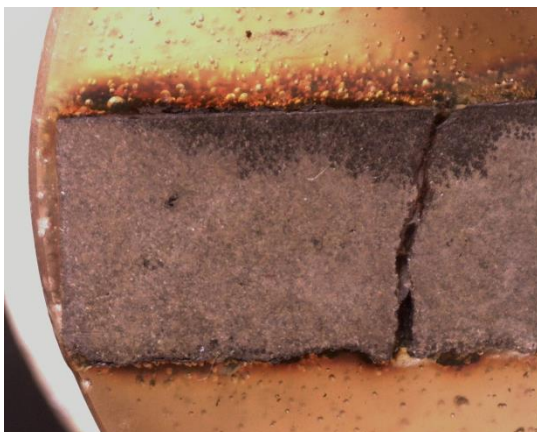
10. táblázat: 4. számú munkadarab adatai

Munkadarab származási helye:	Budapest, XXII. ker. Toldi Miklós utca – Gádor utca sarok
Munkadarab feltárásának ideje:	2023.10.04.
Jellemző csőanyag:	Öntöttvas
Jellemző csőátmérő:	NA 80
Feltáráskor észlelt jellemző norma/hiba jellege:	Héjkitörés
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz azonosítója (MSLINK):	800006485
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz hossza MIR szerint:	266,3 fm
Tárgyi vezetékszakasz fektetésének éve MIR szerint:	1951

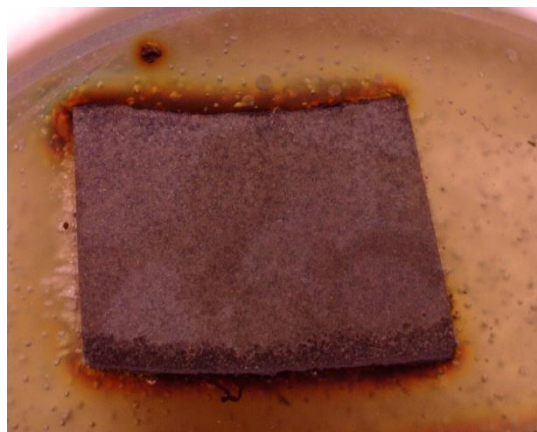
A 4. számú munkadarabot, eredeti állapotában a 47. és a 48. számú mellékletek mutatják be.

A 48. számú mellékleten megfigyelhető, hogy a mintadarab belső falára jelentős mértékű lerakódás ült ki az üzemeltetése során, valamint a 47. számú mellékleten látható egy keresztmetszettel párhuzamosan végigfutó repedés is, és amely a feltáráskor eredetileg észlelt hibajellegtől eltérő.

A beágyazásra szánt hossz-, és keresztmetszeti darabok, az anyagdarabon található, keresztmetszettel párhuzamosan végigfutó repedés helyéről kerültek kivételre, melyet a 49. számú melléklet szemléltet. A 10. és 11. ábrákon, melyek a hosszirányú és keresztirányú metszetek makróit szemléltetik, látható hogy kismértékű anyagfogyás ment csak végbe az anyagdarabokon. Az 50. és az 51. számú mellékleteken látható lépték, valamint az azokon történt szoftveres mérés szerint a hosszirányú metszet esetében a grafitosodott réteg vastagsága 3,405 mm, a maradék falvastagság pedig 5,226 mm. A keresztirányú metszet esetében a grafitosodott réteg vastagsága 1,061 mm ami jóval kisebb mint a hosszirányú metszet esetében, a maradék falvastagság pedig 7,250 mm ami jóval vastagabb mint a hosszirányú metszetenél.



10. ábra: 4. számú minta hosszirányú
metszet makró



11. ábra: 4. számú minta keresztirányú
metszet makró

Az 52. számú mellékleten látható a hosszirányú metszet közelebbről, amelyen kizárólag fémes terület látszik, amelyen egy repedés fut keresztül. Az ezen felüli egyéb sötét foltos területek nem meghibásodások, hanem a grafit szemcsék és lemezek. Az 53. számú mellékleten, amely a keresztirányú metszetet mutatja közelebbről, szintén kizárólag fémes terület látszik, és a sötét foltos területek itt is a grafit szemcséket és lemezeket mutatják. Ezek a felvételek azonban még nem elegendőek a grafit méretének, alakjának, és eloszlásának a meghatározására, így nagyobb felbontású felvételekre is szükség volt.

Az 54. számú mellékleten a hosszirányú metszet látható, melyen a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 120 és 250 μm közötti (Gm 180 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű).

Az 55. számú mellékleten a keresztirányú metszet látható, melyen, hasonlóan a hosszirányú metszethez, a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű). A keresztirányú metszet grafit mérete azonban eltérő a hosszirányú metszetétől, amely 60 és 120 μm közötti (Gm 90 minősítésű). Az 56. számú mellékleten a hosszirányú, az 57. számú mellékleten pedig a keresztirányú metszet látható a nitalos maratás után, amelyek esetében a ferrit által elfoglalt terület legfeljebb 2 % (F0-es minősítésű), vagyis a szerkezet szinte teljes egészében perlites.

11.5 5. számú munkadarab vizsgálata és elemzése

A tárgyi munkadarabra vonatkozó legfontosabb adatokat, a Fővárosi Vízművek Zrt.-től kapott, 58. számú mellékletben szereplő munkalap és MIR adatok szerint, a 11. táblázat foglalja össze.

11. táblázat: 5. számú munkadarab adatai

Munkadarab származási helye:	Budapest, XII. ker. Szúnyogh út
Munkadarab feltárásának ideje:	2023.07.20.
Jellemző csőanyag:	Öntöttvas
Jellemző csőátmérő:	NA 150
Feltáráskor észlelt jellemző norma/hiba jellege:	Csőlyukadás
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz azonosítója (MSLINK):	800004130
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz hossza MIR szerint:	83,8 fm
Tárgyi vezetékszakasz fektetésének éve MIR szerint:	1965

Az 5. számú munkadarabot, eredeti állapotában az 59. és a 60. számú mellékletek mutatják be.

A 60. számú mellékleten megfigyelhető, hogy a mintadarab belső falára jelentős mértékű lerakódás ült ki az üzemeltetése során, valamint az 59. számú mellékleten látható egy kiterjedt szabálytalan alakú törésvonal is, mely az eredetileg a feltáráskor észlelt hibajellegű meghibásodásra utal, és amelynek a beugró részéből egy repedés is kiindul.

A beágyazásra szánt hossz-, és keresztmetszeti darabok, az anyagdarabon található, beugró anyagkitörés helyéről valamint az abból kiinduló repedés környékéről kerültek kivételre, melyet az 61. számú melléklet szemléltet.



12. ábra: 5. számú minta hosszirányú
metszet makró



13. ábra: 5. számú minta keresztirányú
metszet makró

Ahogy az a 12. és a 13. ábrán is látható, jelentős mértékben ment végbe anyagfogyás a darabokon, mind a hosszirányú, mind pedig a keresztirányú metszeten. A 62. számú mellékleten valamint a 13. ábrán teljes mértékben, a 12. ábra jobb oldalán pedig csak részlegesen látható, de mindkét mintadarab teljes keresztmetszete érintett a grafitosodásban, így a hosszirányú és a keresztirányú metszet esetében is egyaránt 0,0 mm a maradék falvastagság.

A 63. számú mellékleten a hosszirányú metszet látható, melyen az alsó, sötétebb árnyalatú sáv mutatja a fémes területeket, a felső, világosabb árnyalatú sáv, amelyen repedések is láthatóak, pedig a grafitosodott részeket mutatja be. A 64. számú mellékleten a keresztirányú metszet látható, melynek csak a jobb felső sarkában látható egy kis területen a megmaradt fémes rész, amelyet körbevesz a grafitosodott terület, amelyen keresztül egy nagyobb méretű repedés fut végig.

A 65. és a 66. számú mellékleteken a fémes rész és a grafitosodott részek határai láthatóak, mind a hosszirányú metszet, mind pedig a keresztirányú metszet esetében (a világos árnyalatú részek a fémes területek, a sötét területek pedig a grafitosodott részek). A 65. és a 66. számú mellékleteken lévő világos árnyalatú területeken belül látható apró sötét szemcsék nem meghibásodások, hanem a fémbe lévő grafit lemezek és szemcsék, azonban ezek a felvételek még nem elegendőek a grafit méretének, alakjának, és eloszlásának a meghatározására, így nagyobb felbontású felvételekre is szükség volt.

A 67. számú mellékleten a hosszirányú metszet látható, melyen a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 60 és 120 µm közötti (Gm 90 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű).

A 68. számú mellékleten a keresztirányú metszet látható, melyen a hosszirányú metszethez hasonlóan a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 60 és 120 µm közötti (Gm 90 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű). A 69. számú mellékleten a hosszirányú, a 70. számú mellékleten pedig a keresztirányú metszet látható a nitálos maratás után, amelyek esetében a ferrit által elfoglalt terület legfeljebb 2 % (F0-es minősítésű), vagyis a szerkezet szinte teljes egészében perlites.

11.6 6. számú munkadarab vizsgálata és elemzése

A tárgyi munkadarabra vonatkozó legfontosabb adatokat, a Fővárosi Vízművek Zrt.-től kapott, 71. számú mellékletben szereplő munkalap és MIR adatok szerint, a 12. táblázat foglalja össze.

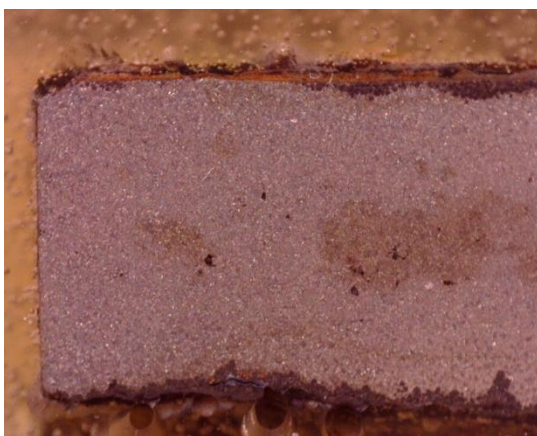
12. táblázat: 6. számú munkadarab adatai

Munkadarab származási helye:	Budapest, XI. ker. Pipacs u. 3.
Munkadarab feltárásának ideje:	2023.08.02.
Jellemző csőanyag:	Öntöttvas
Jellemző csőátmérő:	NA 150
Feltáráskor észlelt jellemző norma/hiba jellege:	Toklazulás
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz azonosítója (MSLINK):	801025164
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz hossza MIR szerint:	256,6 fm
Tárgyi vezetékszakasz fektetésének éve MIR szerint:	1938

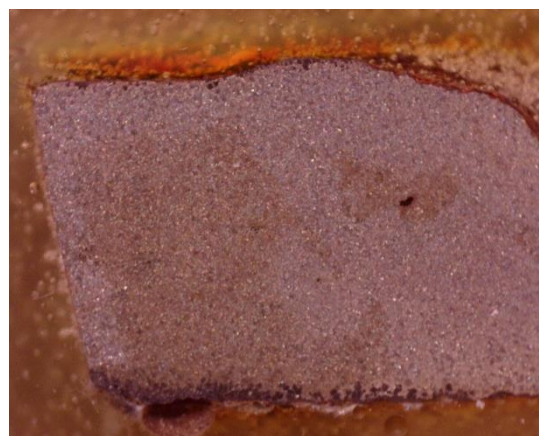
Az 6. számú munkadarabot, eredeti állapotában a 72. és a 73. számú mellékletek mutatják be.

A 73. számú mellékleten megfigyelhető, hogy a mintadarab belső falára jelentős mértékű lerakódás ült ki az üzemeltetése során, valamint a 72. számú mellékleten a munkadarab jobb oldalán látható egy kisméretű, csőlyukadás szerű meghibásodásra utaló anyagfolytonossági hiba.

A beágyazásra szánt hossz-, és keresztirányú metszet darabok, az anyagdarabon található, kisméretű, lyukadásra utaló anyagfolytonossági hiba környékéről kerültek kivételre, melyet a 74. számú melléklet szemléltet. A 14. és a 15. ábrákon, melyek a hosszirányú és a keresztirányú metszetek makróit szemléltetik, látható hogy csak enyhe felületi korrózió jelent meg, így a grafitosodás mértékét elhanyagolhatónak tekinthetjük, vagyis a hosszirányú és a keresztirányú metszetek esetében egyaránt a teljes keresztmetszet maradék falvastagságnak tekinthető, amely mindkét mintadarab esetében 9,580 mm-t jelent.



14. ábra: 6. számú minta hosszirányú
metszet makró



15. ábra: 6. számú minta keresztirányú
metszet makró

A 75., 76., 77. és a 78. számú mellékleteken a hosszirányú és a keresztirányú metszetek láthatóak közelebről, mely mellékleteken kizárólag fémes területek látszanak. A mellékleteken látható apró sötét foltok nem meghibásodások, hanem a fém anyagszerkezetében található grafit lemezek és szemcsék. Ezek a felvételek azonban még nem elegendőek a grafit méretének, alakjának, és eloszlásának a meghatározására, így nagyobb felbontású felvételekre is szükség volt.

A 79. számú mellékleten a hosszirányú metszet látható, melyen a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 60 és 120 μm közötti (Gm 90 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű).

A 80. számú mellékleten a keresztirányú metszet látható, melyen a hosszirányú metszethez hasonlóan a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 60 és 120 μm közötti (Gm 90 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig

„Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű). A 81. számú mellékleten a hosszirányú, a 82. számú mellékleten pedig a keresztirányú metszet látható a nitálos maratás után, amelyek esetében a ferrit által elfoglalt terület legfeljebb 2 % (F0-es minősítésű), vagyis a szerkezet szinte teljes egészében perlites.

11.7 7. számú munkadarab vizsgálata és elemzése

A tárgyi munkadarabra vonatkozó legfontosabb adatokat, a Fővárosi Vízművek Zrt.-től kapott, a 83. számú mellékletben szereplő munkalap és MIR adatok szerint, a 13. táblázat foglalja össze.

13. táblázat: 7. számú munkadarab adatai

Munkadarab származási helye:	Budapest, III. ker. Máramaros út 6.
Munkadarab feltárásának ideje:	2023.09.07.
Jellemző csőanyag:	Öntöttvas
Jellemző csőátmérő:	NA 100
Feltáráskor észlelt jellemző norma/hiba jellege:	Csőlyukadás
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz azonosítója (MSLINK):	800000524
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz hossza MIR szerint:	147,3 fm
Tárgyi vezetékszakasz fektetésének éve MIR szerint:	1968

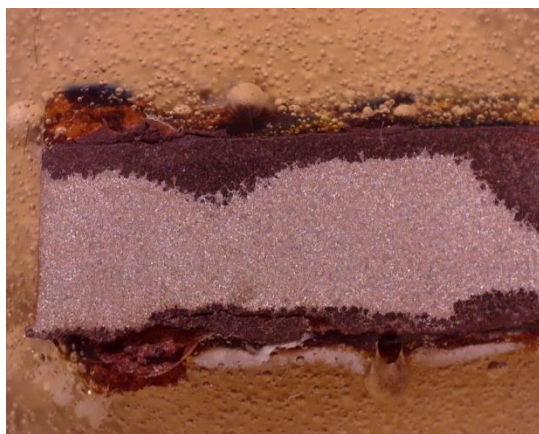
A 7. számú munkadarabot, eredeti állapotában a 84. és a 85. számú mellékletek mutatják be.

A 85. számú mellékleten megfigyelhető, hogy a mintadarab belső falára jelentős mértékű lerakódás ült ki az üzemeltetése során, valamint a 84. számú mellékleten a munkadarab bal oldalán látható egy kb. 10 cm hosszú és kb. 5 cm széles anyaghiányosság, mely az eredetileg a feltárásnál észlelt hibajellelleggel azonos meghibásodásra utal.

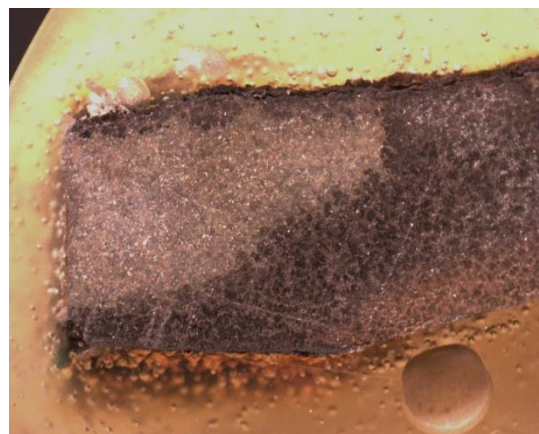
A beágyazásra szánt hossz-, és keresztmetszeti darabok, az anyagdarabon található, lyukadásszerű anyaghiányosság környékéről kerültek kivételre, melyet a 86. számú melléklet szemléltet.

A 16. ábrán ugyan csak részlegesen viszont a 17. ábrán teljes mértékben látható, hogy az anyagdarabok jelentős mértékű vastalanodást szenvedtek el, mindkét mintadarab

esetében a teljes keresztmetszet érintett a grafitosodásban, így a maradék falvastagság a hosszirányú és a keresztirányú metszet esetében egyaránt 0,0 mm.



16. ábra: 7. számú minta hosszirányú
metszet makró



17. ábra: 7. számú minta keresztirányú
metszet makró

A 87., 88., 89 és a 90. számú mellékleteken a hosszirányú és keresztirányú metszetek láthatóak, amelyek a fémes és a vastalanodást szenvedett részek határait mutatják meg. Ezek a felvételek azonban még nem elegendőek a fémes részekben lévő grafit méretének, alakjának, és eloszlásának a meghatározására, így nagyobb felbontású felvételekre is szükség volt.

A 91. számú mellékleten a hosszirányú metszet látható, melyen a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 60 és 120 μm közötti (Gm 90 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű).

A 92. számú mellékleten a keresztirányú metszet látható, melyen a hosszirányú metszethez hasonlóan a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 60 és 120 μm közötti (Gm 90 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű).

A 93. számú mellékleten a hosszirányú, a 94. számú mellékleten pedig a keresztirányú metszet látható a nitálos maratás után, amelyek esetében a ferrit által elfoglalt terület legfeljebb 2 % (F0-es minősítésű), vagyis a szerkezet szinte teljes egészében perlites.

11.8 8. számú munkadarab vizsgálata és elemzése

A tárgyi munkadarabra vonatkozó legfontosabb adatokat, a Fővárosi Vízművek Zrt.-től kapott, 95. számú mellékletben szereplő munkalap és MIR adatok szerint, a 14. táblázat foglalja össze.

14. táblázat: 8. számú munkadarab adatai

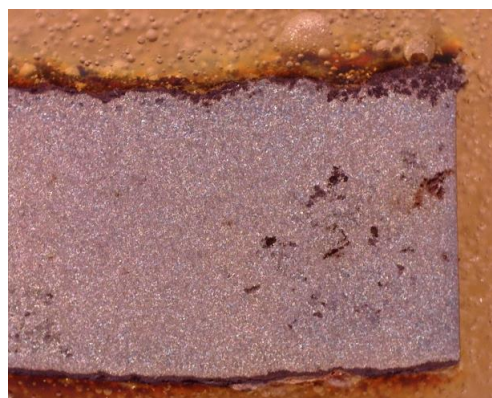
Munkadarab származási helye:	Budapest, XII. ker. Roskovics u. 10.
Munkadarab feltárásának ideje:	2023.09.07.
Jellemző csőanyag:	Öntöttvas
Jellemző csőátmérő:	NA 100
Feltáráskor észlelt jellemző norma/hiba jellege:	Kereszt törés
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz azonosítója (MSLINK):	801019666
Munkadarabhoz tartozó vezetékszakasz hossza MIR szerint:	29,9 fm
Tárgyi vezetékszakasz fektetésének éve MIR szerint:	1940

Az 8. számú munkadarabot, eredeti állapotában a 96. és a 97. számú mellékletek mutatják be.

A 97. számú mellékleten megfigyelhető, hogy a mintadarab belső falára jelentős mértékű lerakódás ült ki az üzemeltetése során. Mivel az eredeti állapotú munkadarabon nem volt fellelhető semmilyen szemmel látható sérülés, így a beágyazásra szánt mintadarabok a munkadarab egyik végéről kerültek kijelölésre, ahogy azt a 98. számú melléklet is szemlélteti.



18. ábra: 8. számú minta hosszirányú metszet makró



19. ábra: 8. számú minta keresztirányú metszet makró

A 18. ábrán, amely a hosszirányú metszet makróját szemlélteti, látható hogy nagyjából a keresztmetszet fele érintett a grafitosodásban, melynél a maradék falvastagság 4,616

mm, a grafitosodott réteg vastagsága pedig 4,538 mm. A 19. ábrán, amely a keresztirányú metszet makróját szemlélteti, látható hogy csak enyhe mértékű felületi korrózió jelent meg csak, így a grafitosodás mértékét elhanyagolhatónak tekinthetjük, és a teljes keresztmetszetet tekinthetjük maradék falvastagságnak, amely 9,167 mm.

A 99. és a 100. számú mellékleteken a hosszirányú és a keresztirányú metszetek láthatóak közelebbről. A 101. számú mellékleten a hosszirányú metszet látható, mely a fém és a vastalanodást szenvedett részek határát mutatja be. A 101. számú melléklet felső részén lévő sötétebb területek a vastalanodott részeket mutatja, a melléklet alsó részén lévő világosabb rész pedig a fém részeket. A fém részekben lévő apró sötét foltok nem meghibásodást mutatnak, hanem az anyag szerves részét képező grafit lemezeket és szemcséket. A 102. számú mellékleten a keresztirányú metszet látható, amely melléklet kizárólag fém területeket mutat be. A 102. számú mellékleten szintén láthatóak apró sötét szemcsék, melyek a grafit lemezek és szemcsék, valamint a melléklet jobb alsó részében láthatóak nagyobb méretű sötét foltok, amelyek szintén a fém anyagszerkezet szerves részét képező grafit feldúsulások, tehát nem meghibásodásokra utaló jelek. Ezek a felvételek azonban még nem elegendők a fém részekben lévő grafit méretének, alakjának, és eloszlásának a meghatározására, így nagyobb felbontású felvételekre is szükség volt.

A 103. számú mellékleten a hosszirányú metszet látható, melyen a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 60 és 120 μm közötti (Gm 90 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű).

A 104. számú mellékleten a keresztirányú metszet látható, melyen a hosszirányú metszethez hasonlóan a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2-es minősítésű), a grafit mérete 60 és 120 μm közötti (Gm 90 minősítésű), és a grafit eloszlása pedig „Egyenlőtlen” (Ge 2-es minősítésű).

A 105. számú mellékleten a hosszirányú, a 106. számú mellékleten pedig a keresztirányú metszet látható a nitálos maratás után, amelyek esetében a ferrit által elfoglalt terület legfeljebb 2 % (F0-es minősítésű), vagyis a szerkezet szinte teljes egészében perlites.

12. Anyagvizsgálatok kiértékelése és maradék élettartam becslése

12.1 A kiértékelés módszere

15. táblázat: Az egyes minták minősítéseinek összefoglaló táblázata

Minta megnevezése	Grafít alakja	Grafít mérete	Grafít eloszlása	Ferrit mennyisége
1. számú mintadarab hosszirányú metszete	Ga 2	Gm 180	Ge 4	F0
1. számú mintadarab keresztirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 2	F0
2. számú mintadarab hosszirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 4	F0
2. számú mintadarab keresztirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 2	F0
3. számú mintadarab hosszirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 2	F0
3. számú mintadarab keresztirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 2	F0
4. számú mintadarab hosszirányú metszete	Ga 2	Gm 180	Ge 2	F0
4. számú mintadarab keresztirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 2	F0
5. számú mintadarab hosszirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 2	F0
5. számú mintadarab keresztirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 2	F0
6. számú mintadarab hosszirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 2	F0
6. számú mintadarab keresztirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 2	F0
7. számú mintadarab hosszirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 2	F0
7. számú mintadarab keresztirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 2	F0
8. számú mintadarab hosszirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 2	F0
8. számú mintadarab keresztirányú metszete	Ga 2	Gm 90	Ge 2	F0

Az egyes mintákon történt grafít minősítéseket, valamint a ferrit mennyiségének minősítéseit a 15. táblázat foglalja össze. Az anyagvizsgálatok során bizonyosságot

nyert, hogy mind a 8 db anyagminta esetében közös, hogy a lemezgrafitos öntöttvasak közé tartoznak. A grafit alakjának minősítése, valamint a ferrit mennyiségének minősítése szintén egységes volt mindegyik mintadarab esetében, miszerint a grafit alakja „Örvényes lemezes” (Ga 2) minősítésű, a ferrit mennyisége pedig a felvételeken szereplő anyagrészletek területét tekintve legfeljebb 2%, vagyis „F0” minősítésű, tehát az anyagszerkezet szinte teljes egészében perlites jellegű minden mintadarab esetében. A grafit mérete két eset kivételével minden mintadarab esetében 60 és 120 μm közötti volt, azaz „Gm 90” minősítésű. Az 1. számú mintadarab hosszirányú metszeténél, valamint a 4. számú mintadarab hosszirányú metszeténél volt csak nagyobb a grafit mérete, amely 120 és 250 μm közötti méreteket jelent, vagyis „Gm 180” minősítésű. A grafit eloszlása szintén két esetet kivéve egységes volt minden mintadarab esetében, vagyis „Egyenlőtlen eloszlású”, „Ge 2”. Az 1. és a 2. számú mintadarabok hosszirányú metszeteinél volt csak megfigyelhető a „Rozettás eloszlás”, vagyis a „Ge 4” minősítés.

A perlit finomságának, valamint a foszfidos eutektikum szerkezetének meghatározására, a 6. számú minta hosszirányú metszetéről készültek nagyobb felbontású felvételek, melyeket a 107. és a 108. számú mellékletek mutatnak be.

A 107. és a 108. számú mellékleteken szereplő felvételekről szintén az MSZ 5716-74 szabvány szerint történ minősítés, és amelyekről az vehető ki, hogy a perlit finomságának minősítése „Pf 1,6”, amely azt jelenti, hogy a cementit lemezek közötti távolság 1,6 μm feletti, továbbá a foszfidos eutektikum szerkezetének minősítése „Fo 2”, vagyis „Ternér finomszemcsés”. A 107. és a 108. számú mellékleteken történt megfigyelések bár csupán egyetlen mintáról mutatnak be nagyobb felbontású felvételt a nitálos maratást követően a perlit finomságáról, ugyanakkor bár nehezebben, de a kisebb felbontású nitálos maratást követően készült felvételeken is kivehetőek ugyanezek a vonások, így ezek a tulajdonságok is egységesnek tekinthetők minden mintára vonatkozóan.

A 6. számú mintán makro keménység mérések is történtek, mely három mérés átlagát tükrözően 217 HV30 keménységérték volt tapasztalható.

A 6. számú minta egy fűrészelt felületéről készített elemeloszlási térkép a 109. számú mellékleten látható.

A 109. számú mellékleten látható elemanalízis eredményét, pontos számszerű értékekkel a 16. táblázat foglalja össze.

16. táblázat: 6. számú minta elemanalízisének (fűrészelt felület) eredményei

Alkotóelem vegyjele	Alkotóelem mennyisége (térfogatszázalék)
C	3,68
O	5,19
Si	0,92
P	0,20
Fe	90,01

A 8. számú mintadarab hosszirányú metszetéről, a beágyazásból való kitörést követően elemanalízis készült a foszfidos eutektikumról, melyet a 110. számú melléklet mutat be.

A 110. számú mellékleten látható elemanalízis eredményeit, pontos számszerű értékekkel a 17. táblázat mutatja be.

*17. táblázat: 8. számú minta hosszirányú metszet elemanalízisének eredménye
(Foszfidos eutektikum)*

Alkotóelem vegyjele	Alkotóelem mennyisége (térfogatszázalék)
Si	0,87
P	5,96
S	0,18
Mn	0,56
Fe	92,43

A 8. számú minta hosszirányú metszetéről készült pásztázó elektronmikroszkópos felvételeket a 111. és a 112. számú mellékletek mutatják be.

A 8. számú mintadarab hosszirányú metszetéről, a beágyazásból való kitörést követően, elemanalízis készült a perlites részről is, amelyet a 113. számú melléklet mutat be.

A 113. számú mellékleten látható elemanalízis eredményeit, pontos számszerű értékekkel a 18. táblázat mutatja be.

18. táblázat: 8. számú minta hosszirányú metszet elemanalízisének eredménye (Perlites rész)

Alkotóelem vegyjele	Alkotóelem mennyisége (térfogatszázalék)
Si	1,82
P	0,44
S	0,41
Cr	0,65
Mn	0,85
Fe	95,83

Mivel a csövek majdnem mindegyikének a falvastagsága jelentősen károsodott szakítóvizsgálat rajtuk nem volt végezhető. A vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy mindegyik mintadarab esetében egységesen lemezgrafitos az anyagminőség perlites szövetszerkezettel, a keménysége közel 220HV₃₀. A fenti megfigyelésekből az a következtetés vonható le, hogy a csövek nagyobb szakítószilárdságú anyagminőségűek, a kiértékelés alapjául így az „EN-GJL-300” anyagminőséget választom. A mai szabványok szerint használatos anyagminőségek tulajdonságait a Szabadits Ö. [9] szerinti 19. táblázat szemlélteti.

19. táblázat: Kivonat a "A lemezgrafitos öntöttvas minőségei" nevű (19.1-1.) táblázatból [9]

Anyagminőség jele	Mértékadó falvastagság (mm)		Minimális szakítószilárdság öntvényben várható értéke (MPa)
	felett	-ig	
EN-GJL-150	5	10	155
EN-GJL-200	5	10	205
EN-GJL-250	5	10	250
EN-GJL-300	10	20	270
EN-GJL-350	10	20	315

Mivel a belső (vízoldali) korrózió, és a kóboráram hatásaira vonatkozóan egyáltalán nem állnak rendelkezésre mérési adatok, továbbá a hatásuk sem volt egyenletes illetve

állandó az évek során, így azokat nem lehet figyelembe venni a maradék élettartam becslése során.

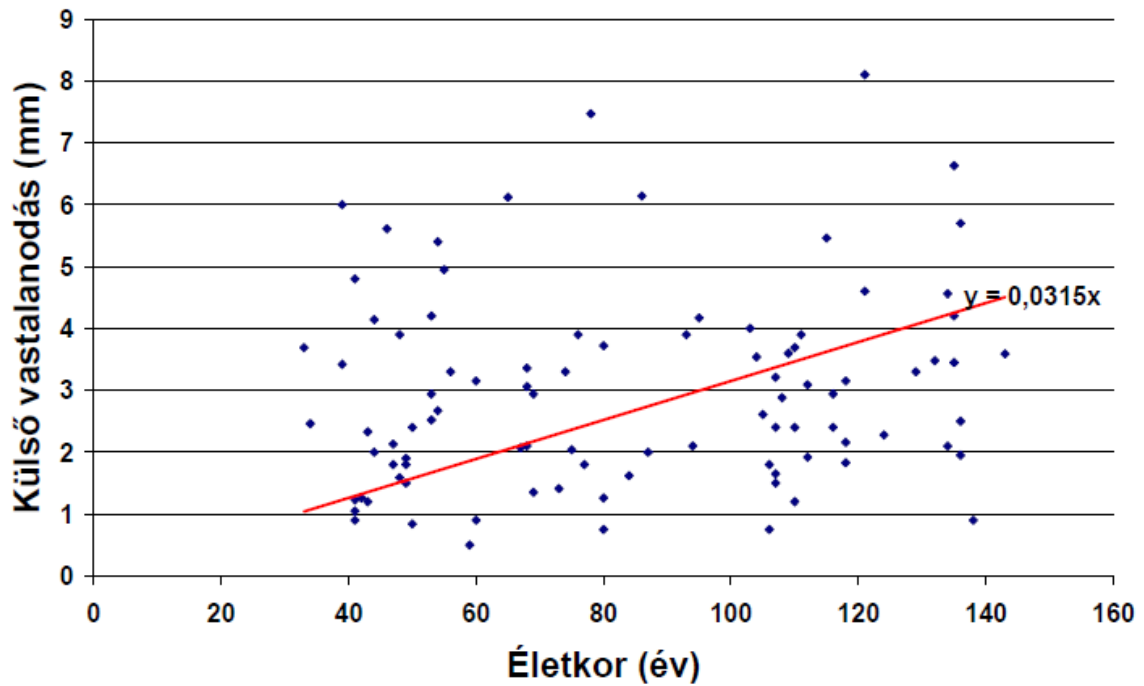
Így ami alapján a maradék élettartam becslése történik majd, az kizárólag a talajoldali (külső) korrózió hatása, mivel az kvázi állandónak és dominánsnak tekinthető. Ehhez a Horvátth - Mátravölgyi szakvéleménye [5] szerinti, az 1. ábrán látható térképet veszem alapul. Ez alapján az egyes helyszínek a 20. táblázat szerinti kategóriákba sorolhatók.

20. táblázat: A mintákhoz tartozó helyszínek talajkorrózióitási, és a maradék falvastagság az egyes helyszíneken

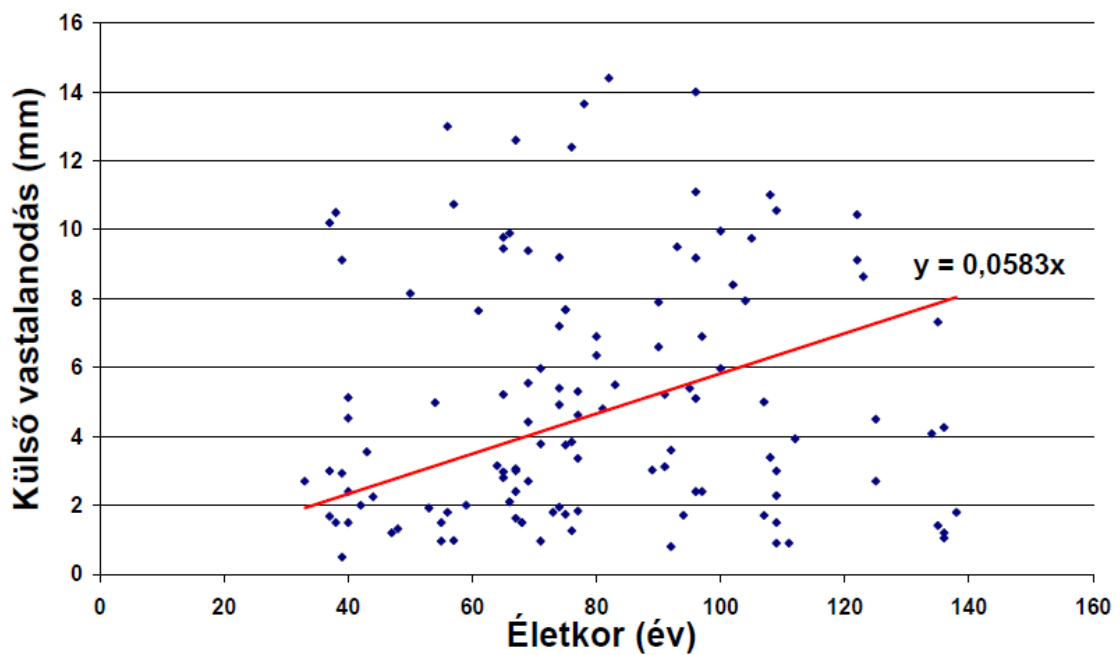
Szakasz azonosító	Helyszín sorszáma	Helyszín (Település, utca)	Talaj korrózióitási mértéke	Maradék falvastagság (mm-ben)
802032605	1	Budapest, XI. ker., Ulászló utca-Dinnye utca sarok	Nagy korrózió	0,0
802012127	2	Budapest, XII. ker., Sólyom utca	Közepes korrózió	0,0
800006485	3	Budapest, XXII. ker., Toldi Miklós utca- Gábor utca sarok	Nagy korrózió	5,226
800004130	4	Budapest, XII. ker., Szunyogh út	Nagy korrózió	0,0
801025164	5	Budapest, XI. ker., Pipacs utca	Nagy korrózió	9,580
800000524	6	Budapest, II. ker., Máramaros út	Nagy korrózió	0,0
801019666	7	Budapest, XII. ker., Roskovics utca	Nagy korrózió	4,616

A végső kiértékelésre azért a helyszínek alapján kerül sor, és nem a minták alapján, mivel egy helyszínhez (a 20. táblázat szerinti 2. sorszámú helyszín) 2 db minta is tartozik, mégpedig a 2. és 3. számú minták egyetlen helyszínt fednek le.

A kis-, és közepes korróziót okozó, valamint a nagy korróziót okozó talajokhoz külön-külön tartozik egy-egy korróziósebesség, melyeket a 20. és a 21. ábrák szemléltetnek.



20. ábra: Korrózió sebessége kis-, és közepes korrozivitású talajokban [5]



21. ábra: Korrózió sebessége nagy korrozivitású talajokban [5]

Horváth - Mátravölgyi szakvéleménye [5] szerint az alábbi állítások érvényesek a 20. és a 21. ábrákon láthatókra:

- A kis-, és közepes korrozivitású talajokra vonatkozó diagram elkészítéséhez 93 db mérési eredményt használtak fel, és ahol a csövek életkora 33-144 év között

volt. A diagram-ra illesztett lineáris trendvonal alapján a kis-, és közepes korrozivitású talajok esetében, a korrózió sebessége az öntöttvas csöveknél $v_k = 0,0315 \text{ mm/év}$.

- A nagy korrozivitású talajokra vonatkozó diagram elkészítéséhez 118 db mérési eredményt használtak fel, és ahol a csövek életkora 33-138 év között volt. A diagram-ra illesztett lineáris trendvonal alapján a nagy korrozivitású talajok esetében, a korrózió sebessége az öntöttvas csöveknél $v_k = 0,0583 \text{ mm/év}$.
- Mivel a mérési eredmények szemmel láthatóan erősen szórnak, így a diagramok alapján megállapított átlagos korrózió sebességek csak bizonyos pontossággal fogadhatók el.

A jelen szakdolgozatban szereplő helyszínek, egy eset kivételével mind a „Nagy” korrozivitású talajok területére esik. A 20. táblázat szerinti 2. sorszámú helyszín esik csak a „Közepes” korrozivitású talajok területére.

A Horváth - Mátravölgyi szakvéleménye [5] szerint a szórásértékek a fenti diagramokra vonatkozóan:

- kis-, és közepes korrozivitású talajok esetében $s = +/-1,79$;
- nagy korrozivitású talajok esetében pedig $s = +/-3,8$.

A fentiek tekintetében a még hátralévő élettartam képlete, egyenletes korróziósebességet feltételezve a Horváth - Mátravölgyi szakvéleménye [5] szerint:

$$t_s = \frac{v - s_0 - s}{v_k} \quad (12.1)$$

ahol:

- t_s – a még hátralévő üzemidő (év)
- v – a maradék falvastagság (mm)
- s_0 – a biztonságos üzemeltetéshez még éppen elegendő falvastagság (mm)
- s – a szórás értéke (mm)
- v_k – a korrózió sebessége (mm/év)

A Horváth - Mátravölgyi szakvéleménye [5] szerint az egyenletben a szórás kizárólag negatív előjellel kerül figyelembevételre, mivel a várható hátralévő élettartam meghatározásánál ez jelenti a kedvezőtlenebb esetet, amire inkább érdemes az ellenőrzést elvégezni.

A biztonságos üzemeltetéshez még éppen elegendő csőfal vastagság kiszámításához a Diószegi Gy. [10] szerinti egyenletet használom fel, amely az alábbi:

$$s = s_0 + c = \frac{p * d_n}{2 * \sigma_{h\ meg}} + c \quad (12.2) \quad [10]$$

ahol:

- s – a valóságos falvastagság (mm)
- s_0 – az elméleti falvastagság (mm)
- p – névleges nyomás (N/mm²)
- d_n – a névleges (belső) átmérő (mm)
- $\sigma_{h\ meg}$ – az anyagra megengedett maximális húzófeszültség (N/mm²)
- c – falvastagsági járulék (mm), amely a gyártásból eredő, illetve a váratlan külső hatásokból származó váratlanszerű tényezőket veszi figyelembe.

Azonban mivel nem új gyártású csővezetékéről van szó, valamint a biztonságos üzemeltetéshez még éppen elégséges falvastagság meghatározásánál nem veszek figyelembe váratlan külső tényezőket (mint pl.: vízütés), így a falvastagsági járulékot elhagyom, és a Diószegi Gy. [10] szerinti 11.2-es egyenlet alábbi, egyszerűsített formáját alkalmazom:

$$s = s_0 = \frac{p * d_n}{2 * \sigma_{h\ meg}} \quad (12.3)$$

Mivel az 58/2013. (II. 27.) Korm. rendelet [11] szerint a magyarországi víziközmű szolgáltatóknak 1,5 – 6 bar nyomástartományban kell üzemeltetniük, illetve vizet szolgáltatniuk, így ennek a tartománynak a legmagasabb értékét veszem figyelembe a „ p ” (névleges nyomás) értékének, azaz minden esetben 0,6 MPa-t.

A „ $\sigma_{h\ meg}$ ” értékére a 16. táblázat utolsó oszlopában lévő, az EN-GJL-300 anyaghoz tartozó értéket használom fel, melyeket az $n=2$ biztonsági tényezővel fogom elosztani, tehát ügyelve a hátralévő élettartam alatti üzembiztonságra, csak feleannyi belső feszültséget engedek meg a maradék falvastagságban, mint amennyi a 16. táblázat szerint megengedhető volna.

$$\sigma_{h\ meg} = \frac{\sigma_m}{n} = \frac{270 \text{ MPa}}{2} = 135 \text{ MPa}$$

Mivel a Horváth - Mátravölgyi [4] szerint az öntöttvas csővezetékek élettartama 100-200 év között lehet, így az általam vizsgált csővezetékek esetében a fenti tartománynak

a legkedvezőtlenebb esetét veszem figyelembe, azaz legfeljebb 100 év lehet a már eltelt, és a még hátralévő csővezetéki élettartam összesen.

A fentiek tekintetében, és azokat összefoglalva, a kiértékelés során, az egyes vezetékszakaszok további biztonságos üzemeltetéshez két feltételnek kell egyszerre teljesülnie:

- a már eltelt és a még hátralévő élettartam együttvéve nem haladhatja meg a 100 évet, mivel az ennél öregebb csővezetékek már önmagukban a koruk miatt is üzembiztonsági kockázatot jelenthetnek.
- a falvastagságnak elegendőnek kell lennie, azaz nagyobbnak kell lennie mint az adott helyszínre jellemző „s0” (elméleti falvastagság, amely a vezetékszakasz üzemeltetéséhez még éppen elegendő) és az „s” (szórás érték) összege.

Bármelyik feltétel nem teljesülése esetén az adott vezetékszakasz további üzemeltetése nem javasolt, rekonstrukciója ajánlott. Amennyiben mindkét feltétel teljesül, úgy az adott vezetékszakasz, rendszeres karbantartás mellett és eseti hibajavításokkal tovább üzemelhet.

12.2 1. számú helyszínen lévő vezetékszakasz kiértékelése és maradék élettartamának becslése

A Budapest, XI. ker., Ulászló utca-Dinnye utca kereszteződésénél lévő NA100-as vezetékszakasz, 1909-ben került lefektetésre és beüzemelésre. Azaz a 2024-ig eltelt életkora 115 év volt. Így tehát az első feltétel szerinti legfeljebb 100 éves élettartamot a vezetékszakasz már túllépte, így a koránál fogva is üzemeltetési kockázatot jelent.

Mivel a vizsgálatom feltárta, hogy a maradék falvastagság 0,0 mm, így a falvastagsági feltétel sem teljesülhet, és így a falvastagsági ellenőrző számítást értelmetlen elvégezni.

A fentiek tekintetében a tárgyi vezetékszakasz további üzemeltetése nem javasolt, rekonstrukciója ajánlott.

12.3 2. számú helyszínen lévő vezetékszakasz kiértékelése és maradék élettartamának becslése

A Budapest, XII. ker., Sólyom utcában lévő NA100-as vezetékszakasz 1936-ben került lefektetésre és beüzemelésre. Azaz a 2024-ig eltelt életkora 88 év volt. Így tehát az első feltétel szerinti legfeljebb 100 éves élettartamot a vezetékszakasz még nem lépte túl.

Mivel azonban a vizsgálatom feltárta, hogy a maradék falvastagság 0,0 mm, így a falvastagsági feltétel nem teljesülhet, és így a falvastagsági ellenőrző számítást értelmetlen elvégezni.

A fentiek tekintetében a tárgyi vezetékszakas további üzemeltetése nem javasolt, rekonstrukciója ajánlott.

12.4 3. számú helyszínen lévő vezetékszakas kiértékelése és maradék élettartamának becslése

A Budapest, XXII. ker., Toldi Miklós utca-Gábor utca sarkán lévő NA80-as vezetékszakas 1951-ben került lefektetésre és beüzemelésre. Azaz a 2024-ig eltelt életkora 73 év volt. Így tehát az első feltétel szerinti legfeljebb 100 éves élettartamot a vezetékszakas még nem lépte túl.

A vizsgálatom szerint a maradék falvastagság 5,226 mm, így a falvastagsági ellenőrző számítás a 12.3-as képlet szerint:

$$s_0 = \frac{p * d_n}{2 * \sigma_{h\ meg}} = \frac{0,6\ MPa * 80\ mm}{2 * 135\ MPa} = 0,178\ mm$$

A még hátralévő várható élettartam a 12.1 képlet szerint:

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{v - s_0 - s}{v_k} = \frac{5,226\ mm - 0,178\ mm - 3,8\ mm}{0,0583\ \frac{mm}{év}} = \\ &= \frac{1,248\ mm}{0,0583\ mm/év} = 21,407\ év \end{aligned}$$

A még hátralévő várható élettartam egész évre kerekítve tehát 21 év.

A fentiek tekintetében a tárgyi vezetékszakas további üzemeltetése, eseti hibajavítások mellett, várhatóan még további 21 évig folytatódhat, azaz 2045-ig a vezetékszakas 94 éves koráig.

12.5 4. számú helyszínen lévő vezetékszakas kiértékelése és maradék élettartamának becslése

A Budapest, XII. ker., Szunyogh úton lévő NA150-es vezetékszakas 1965-ben került lefektetésre és beüzemelésre. Azaz a 2024-ig eltelt életkora 59 év volt. Így tehát az első feltétel szerinti legfeljebb 100 éves élettartamot a vezetékszakas még nem lépte túl.

Mivel azonban a vizsgálatom feltárta, hogy a maradék falvastagság 0,0 mm, így a falvastagsági feltétel nem teljesülhet, és így a falvastagsági ellenőrző számítást értelmetlen elvégezni.

A fentiek tekintetében a tárgyi vezetékszakaszt további üzemeltetése nem javasolt, rekonstrukciója ajánlott.

12.6 5. számú helyszínen lévő vezetékszakaszt kiértékelése és maradék élettartamának becslése

A Budapest, XI. ker., Pipacs utcánál lévő NA150-es vezetékszakaszt 1938-ben került lefektetésre és beüzemelésre. Azaz a 2024-ig eltelt életkora 86 év volt. Így tehát az első feltétel szerinti legfeljebb 100 éves élettartamot a vezetékszakaszt még nem lépte túl.

A vizsgálatom szerint a maradék falvastagság 9,580 mm, így a falvastagsági ellenőrző számítás a 12.3-as képlet szerint:

$$s_0 = \frac{p * d_n}{2 * \sigma_{h meg}} = \frac{0,6 MPa * 150 mm}{2 * 135 MPa} = 0,333 mm$$

A még hátralévő várható élettartam a 12.1 képlet szerint:

$$t_s = \frac{v - s_0 - s}{v_k} = \frac{9,580 mm - 0,333 mm - 3,8 mm}{0,0583 \frac{mm}{év}} =$$

$$= \frac{5,447 mm}{0,0583 mm/év} = 93,431 év$$

A még hátralévő várható élettartam egész évre kerekítve tehát 93 év lenne, azonban továbbra is szem előtt tartva az első feltételt, valamint a fentiek tekintetében a tárgyi vezetékszakaszt további üzemeltetése, eseti hibajavítások mellett, várhatóan még további 14 évig folytatódhat, azaz 2038-ig a vezetékszakaszt 100 éves koráig.

12.7 6. számú helyszínen lévő vezetékszakaszt kiértékelése és maradék élettartamának becslése

A Budapest, II. ker., Máramaros úton lévő NA100-as vezetékszakaszt 1968-ben került lefektetésre és beüzemelésre. Azaz a 2024-ig eltelt életkora 56 év volt. Így tehát az első feltétel szerinti legfeljebb 100 éves élettartamot a vezetékszakaszt még nem lépte túl.

Mivel azonban a vizsgálatom feltárta, hogy a maradék falvastagság 0,0 mm, így a falvastagsági feltétel nem teljesülhet, és így a falvastagsági ellenőrző számítást értelmetlen elvégezni.

A fentiek tekintetében a tárgyi vezetékszakas további üzemeltetése nem javasolt, rekonstrukciója ajánlott.

12.8 7. számú helyszínen lévő vezetékszakas kiértékelése és maradék élettartamának becslése

A Budapest, XII. ker., Roskovics utcában lévő NA100-as vezetékszakas 1940-ben került lefektetésre és beüzemelésre. Azaz a 2024-ig eltelt életkora 84 év volt. Így tehát az első feltétel szerinti legfeljebb 100 éves élettartamot a vezetékszakas még nem lépte túl.

A vizsgálatom szerint a maradék falvastagság 4,616 mm, így a falvastagsági ellenőrző számítás a 12.3-as képlet szerint:

$$s_0 = \frac{p * d_n}{2 * \sigma_{h meg}} = \frac{0,6 MPa * 100 mm}{2 * 135 MPa} = 0,222 mm$$

A még hátralévő várható élettartam a 12.1 képlet szerint:

$$t_s = \frac{v - s_0 - s}{v_k} = \frac{4,616 mm - 0,222 mm - 3,8 mm}{0,0583 \frac{mm}{év}} = \frac{0,594 mm}{0,0583 mm/év} = 10,187 év$$

A még hátralévő várható élettartam egész évre kerekítve tehát 10 év.

A fentiek tekintetében a tárgyi vezetékszakas további üzemeltetése, eseti hibajavítások mellett, várhatóan még további 10 évig folytatódhat, azaz 2034-ig a vezetékszakas 94 éves koráig.

12.9 Kiértékelések összefoglalása

21. táblázat: Kiértékelést összefoglaló táblázat

Helyszín sorszáma	Vezeték fektetési éve (Naptári év)	Vezeték életkora 2024-ben (év)	Vezeték várható további élettartama (év)	Vezeték további üzemidejének várható vége (Naptári év)
1	1909	115	0	N.É.
2	1936	88	0	N.É.
3	1951	73	21	2045
4	1965	59	0	N.É.
5	1938	86	14	2038
6	1968	56	0	N.É.
7	1940	84	10	2034

(N.É. – Nem értelmezhető)

Mint ahogyan az a 21. táblázatban is látható, az összesen 7 db helyszínből mindössze három helyszínen lehetséges a vezetékszakaszok további üzemeltetése. A tovább üzemeltethető vezetékek jelenlegi életkor tartománya 73 és 86 év közötti, amelyek bár már elég idős vezetékszakaszok, valamint mindegyikük nagy korrozivitású talajban fekszik, a korukhoz és a kiértékelés során figyelembe vett körülményekhez képest mégis viszonylag jó állapotban vannak. Ugyanakkor meglepő eredményt hozott például a 4. és 6. sorszámú helyszínek kiértékelése, ahol a vezetékek jelenlegi életkora jóval alacsonyabb (56 és 59 év), mégis teljesen tönkrementek, pedig ugyanúgy nagy korrozivitású talajban fekszenek, mint a 3., az 5., és a 7. sorszámú helyszíneken fekvő vezetékek, amelyek viszont tovább üzemeltethetőek. Az 1. sorszámú helyszínen fekvő vezetékszakasz esetében a kiértékelés eredménye reális, hiszen a várható élettartamát a vezeték már kiszolgálta, így a koránál fogva nem is várható el tőle további üzemidő. A 2. sorszámú helyszínen fekvő vezetékszakasz esetében akár reális a kiértékelés eredménye, ugyanakkor a nála mindössze két évvel fiatalabb, 5. sorszámú helyszínen lévő vezetékszakasz mégis tovább üzemelhet további 14 évvel. Mivel a jelen dolgozatban lévő vizsgálat nem tárt fel különbséget az egyes helyszíneken fekvő vezetékek anyagminőségében, sem pedig a talaj korrozivitás nem ad magyarázatot a furcsa eredményre, miszerint a fiatalabb vezetékszakaszok gyorsabban mentek tönkre a vártnál, így a probléma további vizsgálatokat igényel más szempontok figyelembevételével is.

13. Összegzés

Dolgozatom témájaként a "víztechnológiai berendezések karbantartási problémái" témát választottam. A víztechnológiai berendezések egyik legnagyobb gondja a csövek tönkremenetele. A Fővárosi Vízművektől 8 db csőszakaszt kaptam, melyeket 7 db csőtörési helyszínről munkáltak ki, az életkoruk 56 és 115 év közötti, valamint NA80 és NA150 közötti névleges átmérőjűek voltak. A csővezetékek mind öntöttvas anyagúak. Dolgozatom elsődleges célja az volt, hogy ezeknek a károsodott vezetékszakaszoknak a tönkremenetel okát feltárjam, esetleg a hátralévő élettartamát megbecsüljem. Irodalomkutatót végeztem a károsodások lehetséges okainak feltárása érdekében. A károsodott tartományokból (lyukak, repedések, törések) metallográfiai vizsgálatok céljából mintadarabokat munkáltam ki a csövek hossz és keresztmetszetéből. Csiszolás, polírozás után a nitállal maratott mintákat fény és elektronmikroszkópos vizsgálatoknak vettem alá. A metallográfiai vizsgálatok kiértékelését az MSZ 5617-74 szabvány szerint hajtottam végre. A szabványnak megfelelően maratás előtt, polírozott állapotban minősítettem a fémes részeket a grafit alakját, a grafit méretét, és a grafit eloszlását. A vizsgálatok során kiderült, hogy minden minta a lemezgrafitos öntöttvasak közé tartozik, a grafit eloszlása, alakja és mérete hasonló. Megállapítottam, hogy mindegyik mintánál a fémes fázis perlites, foszfidos eutektikummal kiegészítve, keménységük átlagosan 220 HV₃₀, ami azonos anyagminőségre enged következtetni. Ezt követte a végső kiértékelés, amelyben a már ismert anyagminőség szerint a csőfal vastagsági vizsgálatok alapján kísérletet tettem a csővezetékek további üzemidejének becslésére, az egyes csővezetékek életkorát, és az egyes helyszínekre jellemző maradék falvastagság, valamint az átlagos korróziósebesség figyelembevételével. A végső kiértékelés szerint, a dolgozatomban vizsgált hét helyszín közül mindössze három helyszínen folytatódhat a csővezeték szakaszok üzemeltetése. A végső kiértékelés azonban meglehetősen furcsa eredményt hozott, mivel több idősebb vezetékszakasz is tovább üzemeltethető, azonban az újabb vezetékszakaszok már nem, azaz gyorsabban tönkrementek. Mivel az elemzés nem mutatott különbséget az anyagminőségekben, irodalmi adatok alapján a talaj korrozivitása hasonló, így a dolgozatban figyelembe vett szempontok alapján nincs magyarázat arra, hogy az újabb csővezeték szakaszok miért mentek hamarabb tönkre, mint az idősebbek.

14. Summary

I chose "maintenance problems of water technology equipment" as the topic of my thesis. One of the biggest problems with water technology equipment is the failure of pipes. I received 8 pipe sections from Fővárosi Vízművek, which were excavated from 7 pipe break sites, their age was between 56 and 115 years, and their nominal diameter was between NA80 and NA150. The pipelines are all cast iron. The primary goal of my thesis was to reveal the cause of the failure of these damaged pipe sections, and possibly to estimate their remaining service life. I conducted a literature search in order to discover the possible causes of the damage. From the damaged areas (holes, cracks, fractures), I made samples of the length and cross-section of the pipes for metallographic tests. After grinding and polishing, the samples etched with nital were studied on light and electron microscopes. The evaluation of the metallographic studies were carried out according to the MSZ 5617-74 standard. According to the standard, before etching, in the polished state, I qualified the shape of the graphite, the size of the graphite, and the distribution of the graphite on the metallic parts. During the tests, it was found that all samples belong to sheet graphite cast iron, the distribution, shape and size of the graphite are similar. I found that the metallic phase of each sample is pearlite, supplemented with phosphide eutectic, and their hardness is on average 220 HV, which refers to the same material quality. This studies was followed by the final evaluation, in which, according to the already known material quality, I made an attempt to estimate the remaining service life of the pipelines based on the pipe wall thickness tests, taking into account the age of the individual pipelines, the residual wall thickness characteristic of each location, and the average corrosion rate. According to the final evaluation, the operation of the pipeline sections can continue in only three of the seven locations examined in my thesis. However, the final evaluation yielded a rather strange result: many of the older pipeline sections can continue to be operated, but the newer pipelines not anymore, i.e. they broke down faster. Since the analysis showed no difference in the material qualities, based on literature data, the corrosivity of the soil is similar, so based on the aspects considered in the thesis, there is no explanation as to why the newer pipeline sections failed sooner than the older ones.

15. Forrásjegyzék

1. Pulay Eszter - Péntek Csilla: Budapest vízellátása és szennyvízkezelése a városfejlődés tükrében c. TDK dolgozat, ELTE-TTK, Budapest, 2008
2. Mátyus Sándor nyomán: Vízellátás, Fővárosi Vízművek, Budapest, 2008
3. Michael Frankel: Facility Piping System Handbook, McGraw-Hill, New York, 2010
4. Horváth Márton – Mátravölgyi Norbert: Öntöttvas csővezetékek állapotának komplex felmérési módszere, Anyagvizsgálók lapja, 2005/3, 76. és 79. oldalak
5. dr. Horváth Márton – Mátravölgyi Norbert: Szakvélemény - Első generációs gömbgrafitos öntöttvas csövek korróziós állapota (Munkaszám: IG-137), Vekor Kft., Veszprém, 2013, 14. és 17.-20. oldalak
6. Desalegn A. Yeshanew - Moera G. Jiru - Hirpa G. Lemu - Mesay A. Tolcha: Internal Corrosion Damage Mechanisms of the Underground Water Pipelines, Advances in Science and Technology Research Journal, 2022. 16(3), 111. és 120.-122. oldalak
7. Chengtao Wang - Wei Li - Yuqiao Wang - Shaoyi Xu - Mengbao Fan: Stray Current Distributing Model in the Subway System, A review and outlook, International Journal of Electrochemical Science, 2018. (13), 1700.-1703. oldalak
8. Szabványgyűjtemények 21. Fémek Anyagvizsgálata 2. kötet, MSZ 5716-74 Magyar Szabványügyi Hivatal, Szabványkiadó, Budapest, 1982
9. Dr. Szabadits Ödön: Acélok, Öntöttvasak; MSZT Szabványkiadó, Budapest, 2005., 239. oldal
10. Diószegi György – Dr. Gyurcsovics Lajosné – Dr. Kósa Csaba – Körtvélyesi Géza – Dr. Lehotai Péter – Matskássy Gábor – Szabó Endre: Géprajz – Gépelemek II. jegyzet (ÓE BL 346), ÓE-BGK, Budapest, 2010., 81. oldal
11. 58/2013. (II. 27.) Korm. rendelet a víziközmű-szolgáltatásról szóló 2011. évi CCIX. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról 77. § (1)