

BUDAPEST MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM



Légszennyezés hatására bekövetkező kémiai változások mészke falazatokon



Szerző: Titz Virág

Konzulensek: Dr. Török Ákos, Kis Annamária



Budapest, 2023

Tartalom

1. Bevezetés.....	4
2. Előzmények, irodalmi áttekintése	4
2.1. A szmog jellemzői.....	4
2.1.1. Szmog okozta betegségek	5
2.2. Legjelentősebb légszennyező anyagok.....	9
2.2.1. Kén – dioxid (SO ₂).....	9
2.2.2. Nitrogén-oxidok (NO _x)	10
2.2.3. Szállópor (PM ₁₀ és PM _{2,5}).....	11
2.2.4. Szén – monoxid (CO)	13
2.2.5. Talajközeli ózon (O ₃).....	14
3. A londoni szmog története és hatásai.....	15
3.1. A budapesti légszennyezettség mérésének története	22
4. Vizsgált területek, helyszínek, mintavételi pontok	24
5. Minták	25
5.1. Semmelweis Orvostudományi Egyetem I. sz. Sebészeti Klinikája (Üllői út 26.).....	27
5.2. Kőbánya, Kolozsvári utca 47.....	31
5.3. Vágány utca, vasúti mészkőkerítés.....	35
5.4. Ankara utca, támfal.....	37
5.5. Pasarét, Széphalom utca, villamossín alatti mészkőfal	42
6. Alkalmazott analitikai módszerek.....	44
6.1. Sztereomikroszkóp	44
6.2. Pásztázó Elektronmikroszkóp (SEM).....	44
6.2.1. Mintaelőkészítés	46
6.2.2. Másodlagos elektron (SE) és visszaszórt elektronképek (BSE)	47
6.2.3. Energiadiszipatív röntgenspektrométer.....	48
7. Eredmények és értékelésük	48

7.1. Semmelweis Orvostudományi Egyetem I. sz. Sebészeti Klinika épülete – S3 minta ...	48
7.2. Kőbánya, Kolozsvári utca 47. – K3 minta.....	49
7.3. XIII. kerület, Vágány utca	51
7.3.1. V1 minta.....	51
7.3.2. V2 minta.....	52
7.4. II. kerület, Ankara utca	53
7.4.1. A2 kéregminta.....	53
7.4.2. A3 minta.....	54
7.4.3. A5 minta.....	55
7.4.4. A6 minta.....	56
7.5. Pasarét, Széphalom utca – P3 minta.....	58
8. Egészségügyi kockázat.....	59
9. Összefoglalás.....	60
10. Köszönetnyilvánítás	61
11. Irodalomjegyzék.....	61

1. Bevezetés

Környezetmérnökként a legalapvetőbb küldetésem közé tartozik az emberi civilizáció fenntarthatóságának biztosítása, illetve a minket körülvevő környezet tisztaságának javítása. Ez utóbbi egyik legfontosabb eleme a levegő minőségének vizsgálata és annak javítása.

Egy nagyobb forgalmú városban sétálva megfigyelhetjük az épületek falain felgyülemlett szennyeződést, a különféle elszíneződéseket, és helyesen gondolunk arra, hogy ezt a városi levegő okozza. Szakmai szemmel nézve azonban ezek a jelek információk ezreit rejtik magukban. Ilyen környezeti monitoringként funkcionál például a mészkő, amely az adott terület levegőjének nemcsak jelenlegi minőségéről ad tájékoztatást, de a múltbéli jeleket is egyaránt hordozza.

Dolgozatomra a motivációt a budapesti levegő történetének megismerése, valamint jelenlegi állapotának javítása adja. Egy átfogó szakirodalmi áttekintésben a londoni típusú szmogot vettem támpontként és vizsgáltam részletesebben. A hangsúlyt azonban Budapest levegőjének minőségére helyeztem, amit a város különböző pontjain elhelyezkedő épületekről származó anyagminták gyűjtésével, műszeres analizálásával, majd kiértékelésével vizsgáltam.

A londoni típusú szmogot vettem támpontként és vizsgáltam részletesebben, ugyanis ezen típusú füstköd az, ami Magyarországon is kialakulhat. Dolgozatomban az egyik leginkább forgalmas és sűrűn lakott városra, Budapestre és levegőjének minőségére helyeztem a hangsúlyt.

2. Előzmények, irodalmi áttekintése

2.1. A szmog jellemzői

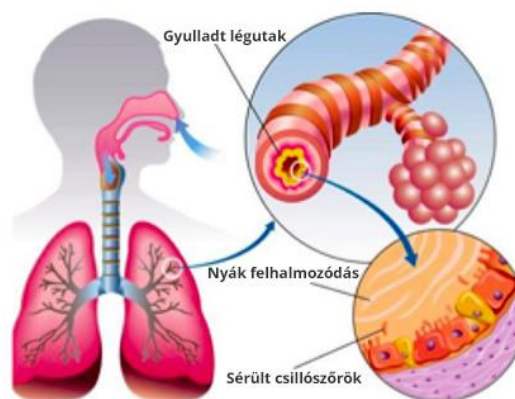
A szmog (füstköd) a légszennyezettség egyik szélsőséges formája, amely a környezetszennyezés, illetve a kedvezőtlen éghajlati viszonyok miatt alakul ki, leginkább a forgalmasabb nagyvárosokban. A levegőben található szennyezőanyagoktól, illetve a földrajzi és időjárási körülményektől függően kétféle típusú füstködöt különböztetünk meg első észlelési helyük alapján: az úgy nevezett oxidáló Los Angeles-típusút, és a redukáló London-típusú szmogot.

A Los Angeles-típusú, vagy oxidáló szmog kialakulásához a mediterrán éghajlat a legalkalmasabb, mivel nyári melege, erős napsugárzásra (ezen belül is erős UV-sugárzásra),

szélcsendre és magas hőmérsékletre van szükség. Ezen jelenségek mellett jelentős szerepet játszanak a keletkezésben a megnövekedett gépjárműforgalommal megjelent újabb szennyezőanyagok is, mint például a nitrogén-oxidok, a szén-monoxid, vagy a különböző szénhidrogének. Ezen anyagok az erős napsugárzással fotokémiai reakcióba lépnek, aminek eredménye az oxidáló szmog lesz, innen is ered a füstköd „fotokémiai szmog” elnevezése. A reakció egyik legjelentősebb végterméke az ózon, mivel ez keletkezik a legnagyobb mennyiségben, így a szmog súlyosságát, illetve erősségét az ózonkoncentrációval jellemzik. Az oxidáló szmog megnevezést ózon miatt hordozza, mivel az ózon erősen oxidáló hatású.

A London-típusú, vagy redukáló szmog keletkezése a következőképpen történik: kialakulásához szélcsendes időjárás, magas légnyomás és páratartalom, valamint viszonylag hűvös, -3 és +5 °C közötti hőmérséklet szükséges. Amikor ezen feltételek mellett el kezdik égetni a fosszilis tüzelőanyagokat, a szén miatt nagy mennyiségű, a redukáló hatást kölcsönző korom keletkezik, ami a szálló porral összekeveredik. Ez az elegy a levegőben lévő kondenzációs magok felszaporodásához vezet, illetve jelentős mennyiségű kén-dioxid szennyezést is okoz. Egy idő után a gyorsan hűlő levegő eléri azt a telítettségi állapotot, ami a szemcséken kondenzációhoz vezet. Ez a kén-dioxid oldódásával savas kémhatású kénsavat, illetve kénessavat eredményez, aminek következménye a savas eső és a sűrű köd. (Az emberi tevékenység hatása a légkörre - A szmog)

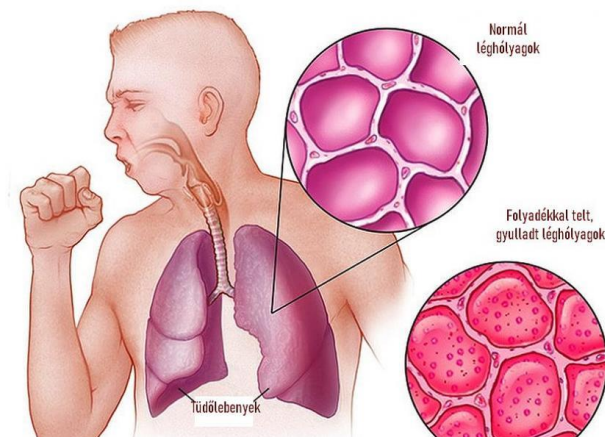
2.1.1. Szmog okozta betegségek



1. ábra: Hörghurut (forrás: Viscoflu)

Az egyik a **hörghurut** volt, ami a légutak és a hörgőrendszer nyálkahártyájának gyulladásával, illetve fokozott nyálkatermelődéssel jár (1. ábra). A hörgők felelősek a légszoból a tüdő

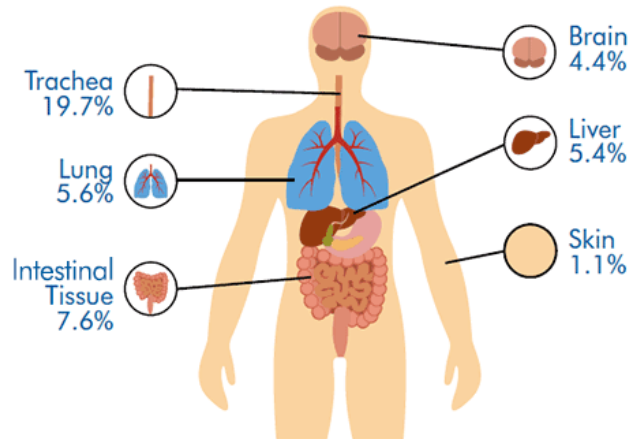
legtávolabbi állományába eljuttatni a levegőt, illetve azért is, hogy a benne megtapadó anyagoktól a tüdő megszabadulhasson (például poros szennyeződések). Leginkább a legyengült immunrendszerrel rendelkező, vagy a légutakat irritáló anyagoknak tartósan kitett embereknél, jellemzően nitrogén-monoxid és kén-dioxid ismételt belégzése által alakul ki. Ahogy azt a korábbiakban is taglaltam, a londoniak több napon keresztül a légutakat súlyosan károsító anyagoknak voltak kitéve, illetve a londoni szmog extrém mennyiségű kén-dioxidot tartalmazott. Ezen tényezők a hörghurut kialakulását tökéletesen elősegítették. Továbbá a légutakba került korom és más káros részecskék miatt a város lakosai feketés-szürkés színű váladékot köhögtek fel. Számos haláleset fulladás által következett be, ugyanis a légszomjjal küzdő betegek vagy nem jutottak elég levegőhöz a köhögés közben, vagy a nagy mennyiségű nyálkát nem bírták felköhögni, és rövid időn belül megfulladtak. (A hörghurut tünetei és kezelése, 2022)



2. ábra: Tüdőgyulladás (forrás:Gyógyszer.ész)

A másik megbetegedés a hörghuruthoz hasonló tüneteket produkáló **tüdőgyulladás** volt (2. ábra). Ezesetben maga a tüdő, illetve a légzőrendszer betegszik meg, pontosabban a tüdőben található légzőhólyagok gyulladnak be és telítődnek meg izzadmánnyal. Leggyakrabban bakteriális vagy vírusos fertőzéssel, viszont ritkább esetekben maró gőzök és gázok hatására is kialakulhat. A londoni szmog hatására történt megbetegedésekre az utóbbi eset ad okot. A probléma leginkább abból adódott, hogy míg a feltehetően bakteriális tüdőgyulladást antibiotikumokkal tudták kezelni és gyógyítani, addig a káros anyagok hatására kialakult típusút sehogy sem. Sajnos a legtöbb ilyen esetben influenzára vagy a bakteriális típusú megbetegedésre gyanakodtak, viszont ez a fajta gyógymód nem bizonyosult sikeresnek. Hasonlóan a hörghuruthoz, a maró gázok hatására keletkezett tüdőgyulladás is légszomjjal,

köhögéssel, továbbá mellkasi fájdalommal és lázzal járt. A londoni szmog idején ebben a betegségben szenvedők jelentős százalékának a tüdeje vagy elteltítődött a léghólyagokban felhalmozódott izzadmánnyal, vagy csak szimplán leállt a tüdő működése. Ezek a betegek szintén fulladás által vették életüket, akár csak a hörghuruttal küzdők. (Tüdőgyulladás)



3. ábra: Hypoxia (forrás: Novus Biologicals)

További jellemző betegségnek számított még a **hypoxia** is, ami a szervezet oxigénhiányos állapota (3. ábra). Ez akkor következik be, amikor a test meg van fosztva a számára megfelelő oxigénmennyiségtől. Egy egészséges embernél hypoxia általában akkor léphet fel, amikor alacsony oxigéntartalmú gázt lélegeznek be tartós időn keresztül. A londoni füstköd nem csak oxigénhiányos volt, de erősen szennyezett is, így elég gyakori volt a lakosok körében ez a fajta megbetegedés. Ahogy az előző két betegség is, a hypoxia is nagy részben fulladásos kimenetelű volt. (Hypoxia and hypoxemia, 2022)

A megbetegedések mellett számos, a korábbiakban említett rossz látási viszonyok miatt történő baleset által bekövetkezett haláleset is előfordult a londoni szmog ideje alatt. Beszámolók szerint történtek például olyan abszurd szituációk is, mint például azon emberek esete, akik a sűrű füstködben nem látták, hogy pontosan merre mennek, és véletlenül beleestek a jéghideg Temzébe, majd halálukat a folyóban lelték.



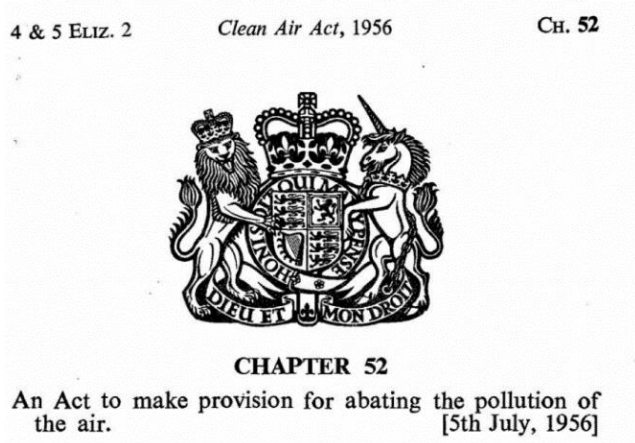
4. ábra: A gyilkos szmog (forrás: Schoalistic Scope)

A halálozási arány még hónapokkal a füstköd feloszlása után is magas maradt. Néhány 1952-es feljegyzés az influenzajárvány számlájára akarta felírni a rohamos megbetegedések okát, ám ezt sohasem fogadták el, mivel fény derült arra, hogy csupán a betegek kis százaléka vesztette életét influenzában. Mindezek mellett a halálozási számokban sem mutatták vissza a teljes igazságot. A legelső orvosi jelentések szerint mindössze 4000 ember halt meg a szennyezett levegőtől és 25 000-en szenvedtek enyhébb-súlyosabb egészségügyi károsodást. Leginkább az idősek és a csecsemők köreiből voltak jellemzők a megbetegedések. A londoni szmog öt napja alatt a halálozási számok ütték az 1866-os kolera járvány áldozatainak számát (4. ábra). Későbbi orvosi jelentésekben viszont ez a halálozási szám már 6000-re lett kibővíve. Azonban 2004-ben egy modern kutatás szerint bebizonyosodott, hogy az elhunytak száma a londoni szmog idején ez utóbbinak majdnem a duplája, körülbelül 12 000 volt, illetve a megbetegedések elérték a 100 000-et is (The Great Smog of London: Air pollution pt. 1., 2022)



5. ábra: Mielőbbi intézkedésekre volt szükség (forrás: ASP)

Anglia történelmének legsúlyosabb légszennyezése, az infrastruktúra összeomlása, a bűnözési esetek megugrása, és a magas halálozási számok arra ösztökélte a brit kormányt, hogy újra gondolja a levegő tisztításával, és ezzel egyetemben a légszennyezés csökkentésével kapcsolatos intézkedéseket, amihez a korszerű és hatékony környezetvédelmet látták megoldásnak (5. ábra). A londoni szmog után 4 évvel, 1956-ban megalkották és elfogadták a „Clean Air Act”, azaz „Tiszta Levegőt!” környezetvédelmi törvényt, aminek célja a károsanyag-kibocsajtás csökkentése volt (6. és 7. ábra). Ennek lényege a következők voltak: korlátozták a korábbiakban említett erőművek működését, a villamosokat ismét forgalomba helyezték, ezáltal a dízelüzemű buszok számát lecsökkentették, kedvezményt adtak azon lakosoknak, akik a széntüzelésű tűzhely helyett gázra váltottak, a későbbiekben pedig már büntetéssel járt, akik hidegebb időben a széntüzelést választották. (Clean Air Act, 1956)



6. ábra: Clean Air Act, 1956.
(forrás: Historia Sanitaria)

Clean air policy cuts smog death rate

By our Parliamentary Staff

The lower level of smoke pollution were only a few hundred deaths brought about by the clean air attributable to the weather; but applications for admission to hospital and the sickness rate showed sharp increases. On both occasions, the new claims for sickness benefit rose by 50 per cent in a week.

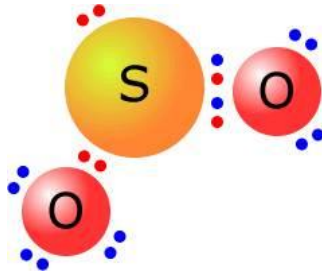
This is the conclusion of the Ministry of Housing and Local Government in its report for 1962, published yesterday (Stationery Office, Cmd 1976, 4s 6d). The report emphasizes that it is dangerous, nevertheless, to base con-

7. ábra: Intézkedések a tisztább levegő érdekében
(forrás: The Guardian)

2.2. Legjelentősebb légszennyező anyagok

2.2.1. Kén – dioxid (SO₂)

Ez a színtelen, szúrós szagú, mérgező gáz a London – típusú szmog egyik fő komponense, emellett az egyik legveszélyesebb szennyező anyag (8. ábra). Habár az '52 – es londoni katasztrófa óta Nyugat - és Közép – Európában is folyamatosan csökkent a kén – dioxid kibocsátása, az iparilag gyors ütemben fejlődő országok (például Kína) kén – dioxid emissziója miatt továbbra is növekvő tendenciát figyelhetünk meg.



8. ábra: Kén - dioxid molekula (forrás: Légszennyezés,hu)

Természetes forrásai közül a leglényegesebbek a bioszféra által kibocsájtott redukált kénvegyületek oxidációja. Azonban az antropogén kén – dioxid legnagyobb részében a fosszilis tüzelőanyagok égetéséből származik – főként a szénégetésen alapuló energiatermelésből és háztartási fűtésből. Az 1952 – es londoni szmog kialakulásának egyik legmeghatározóbb vegyülete volt, hiszen a rossz minőségű lignit kéntartalma igen magas, így égetése során a kén és oxigén reakciójából az emberi egészségre ártalmas SO_2 keletkezett. (

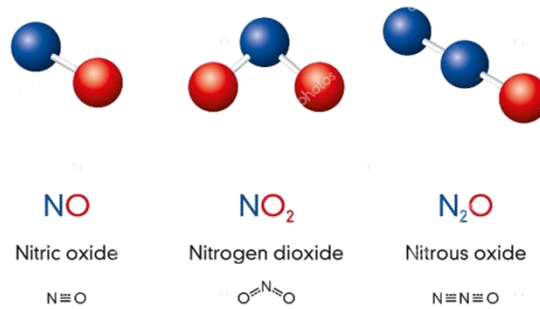
A kén – dioxid további emberi tevékenységen alapuló forrásai a kőolajfeldolgozók, bányák, kohók, cementipar, valamint papírgyárak. Mindemellett a gázolaj kéntartalma miatt a dízelüzemű gépjárművek kipufogógázain keresztül szintén a légtérbe jut.

A SO_2 szulfátok formájában nedves ülepedéssel távozik a légkörből, ami a talaj és a víz savasodását is okozhatja. Emiatt a kén – dioxid az épített környezetre is erősen rányomja a bélyegét. A vízcseppekben oldott szulfátionok terméke kénsav lesz, ami reakcióba lép a kalcium-karbonáttal, aminek eredménye vízben jobban oldódó gipsz ($CaSO_4$) lesz (Légszennyezők, 2023):



2.2.2. Nitrogén-oxidok (NO_x)

Többféle nitrogén-dioxidot ismerünk, ezek közül légszennyezettségi szempontból a dinitrogén-oxid (N_2O), nitrogén-dioxid (NO_2) és a nitrogén-oxid (NO) jelentős – utóbbi két oxidot együttesen NO_x – nek nevezzük (9. ábra).



9. ábra: Nitrogén - oxidok (forrás: Depositphotos)

Dinitrogén – oxid (N₂O): Ez az üvegházhatású gáz a talajban lévő denitrifikáló anyagok tevékenysége folytán kerül a levegőbe. Mivel a tartózkodási ideje a troposzférában viszonylag nagy (körülbelül 150 év), így megjelenhet a sztratoszférában is, ahol kémiai és fotokémiai reakciók termékeként NO keletkezik, amely katalitikus reakcióban bontja az ózont.

Nitrogén – oxidok (NO_x): Légszennyezés mérésénél ezen anyagok mérése történik. Ezek hő hatására jönnek létre, fő természetes forrásuk a villámlások, illetve a talaj kibocsátása. Emellett emberi tevékenység eredményeként is kerülhet a levegőbe fosszilis tüzelőanyagok égetése által, például üzemanyag elégetésekor, hőerőművekben vagy háztartásban használt kályhákban/kazánokban. Magas hőmérsékleten a levegő nitrogénjével együtt a tüzelőanyagban megtalálható nitrogéntartalmú anyagok is oxidálódnak.

A nitrogén-dioxid a kénsavhoz hasonlóan szerepet játszik a savas esők kialakulásában is, esőcseppekben oldódva a kimarja mészkőből készült tárgyak felületét. Emellett a NO_x vegyületek az emberi szervezetre is káros hatással vannak. Az 1952-es londoni szmog idején is jelen volt a szemet és nyálkahártyát egyaránt irritáló anyag, ami nem volt más, mint a nedves szöveteken adszorbeálódott NO_x, azaz salétromos- illetve salétromsav. (Légszennyezők, 2023)

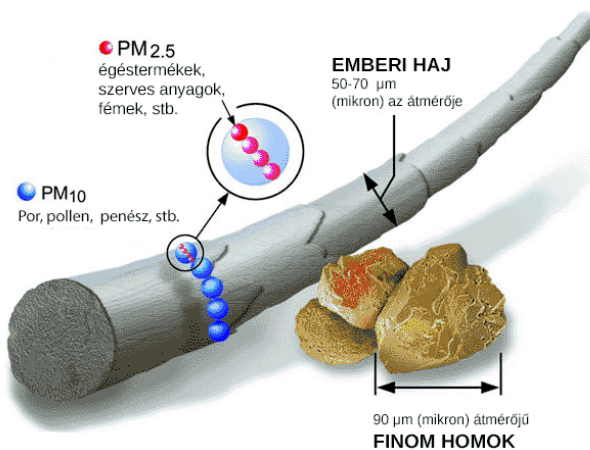
2.2.3. Szállópor (PM₁₀ és PM_{2,5})

Légtörő aeroszol a levegőben finoman elosztatott szilárd és folyékony részecskék elegye. Szállópor alatt azon aeroszol részecskék halmazát értjük, amelyek hosszabb ideig tartózkodnak a légtérben. Ezen részecskék mérete 2 nanométertől 100 mikrométerig terjedhet. Az aeroszol szennyezettség onnan ismerhető fel, hogy gyakran sárgás - barnásra színezi az eget viszont, ha ezek az aeroszokok vízpárával keverednek, akkor az eget inkább opálosnak láthatjuk (10. ábra).



10. ábra: Magas szállópor koncentráció okozta sárgás – barnás szín (forrás: Hello Vidék)

Az emberi egészség szempontjából a nagyobb méretű részecskék egészségkárosító hatása nagyságrendekkel kisebb, hiszen ezek a felső légutakban kiszűrődnek, így nem jutnak be a tüdőbe. Az egészségünkre elsősorban a 10 nanométernél kisebb részecskék jelentenek veszélyt (ezek alkotják a PM₁₀ méretfrakciót). Ezen frakcióba sorolható anyagok igen sokfélék lehetnek, tartalmazhatnak elemi szenet, halogéntartalmú szerves vegyületeket, alifás és aromás vegyületeket, fémeket (beleértve a nehézfémeket is), nyomelemeket, a fentiekben említett nitrátokat, szulfátokat és egyéb sókat, mindemelett élő eredetű részecskéket is, mint például spórákat vagy polleneket. Ezek a részecskék belélegzésnél a garaton túl jutnak, leggyakrabban a felső légutakat irritálják (11. ábra).



11. ábra: Részecskék méretének összehasonlítása (forrás: levego.enum.hu)

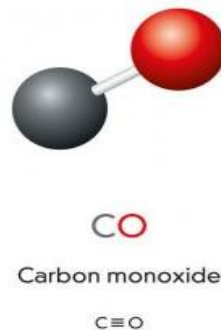
A PM₁₀ szállópor általánosan használt mértékegysége $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ezen részecskék légköri koncentrációjának módosulásait az Országos Légszennyezetségi Mérőhálózat (OLM)

segítségével követhetjük nyomon. Kihelyezett automata mérőállomásait a Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségek üzemeltetik.

A másik nagyobb csoportot a PM_{2,5} méretfrakcióba tartozó, azaz a 2,5 mikrométernél kisebb finom szemcsék alkotják. Ezek mérete körülbelül 30-szor kisebb, mint az emberi haj átmérője. Ezen részecskék még nagyobb rizikót jelentenek az emberi szervezet számára, hiszen ezek olyan apró részecskék, hogy a légutakon túljutva egészen a tüdőig juthatnak. (Légszennyezők, 2023)

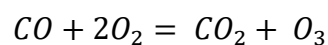
2.2.4. Szén – monoxid (CO)

A szén – monoxid az egyik legalattomosabb mérgező gáz, ugyanis nemcsak színtelen, de még szagtalan is, így nagyon sok esetben későn realizálják a jelenlétét. Veszélyes hatása annak tudható be, hogy már kis koncentrációban is csökkenti az idegrendszer működését, illetve belélegezve sokkal jobban kötődik az ember vérében lévő hemoglobin molekula oxigént szállító vasatomjához, mint maga a szállított oxigénmolekula. A szén – monoxid ezáltal mind az oxigén felvételét, mint annak a sejtekhez való szállítását is megakadályozza (12. ábra).



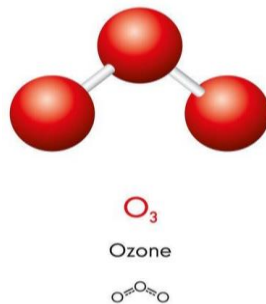
12. ábra: Szén - monoxid molekula (forrás: Can Stock Photo)

Természetes úton a metán és más szénhidrogének oxidációja során képződik, ráadásul ehhez hozzájárul a fosszilis tüzelőanyagok, üzemanyagok és biomassza égetéséből származó kibocsátás. Fő légköri elnyelője az OH – gyökkel (OH[•]) történő katalitikus oxidáció (Légszennyezők, 2023):



2.2.5. Talajközeli ózon (O₃)

Az atmoszférában lévő ózon körülbelül 90 százaléka a sztratoszférában található, így egészen a 20. század közepéig azt gyanították, hogy a talajközeli ózon fő forrása a magaslégkör. Később fény derült arra, hogy közvetlen ózonkibocsátás nincs, hanem az emberi tevékenység által a levegőbe került gázok fotokémiai reakciója során képződik (ahogy az a CO katalitikus oxidációjának egyenletében is látható), ezért is nevezzük a troposzférikus ózont másodlagos szennyezőnek. Ezek mellett létrejöhet még növényzet által kibocsátott reaktív szerves vegyületekből, illetve villámlás hatására is.



13. ábra: Ózon molekula (forrás: Orvosi lexikon.hu)

A fotokémiai aktivitás általában a nyári hónapokban nagyobb, ezért az ózon mennyisége ezen hónapok alatt nő meg igazán, amikor a napsugárzás mértéke mellett a napsütéses órák száma is a legtöbb.

Az ózon is ártalmas hatást gyakorolhat az emberi szervezetre, hiszen erős oxidáló hatása miatt szem- és nyálkahártya irritációt, súlyosabb esetben tüdővizenyőt is okozhat (Légszennyezők, 2023).

3. A londoni szmog története és hatásai



14. ábra: Nagy londoni szmog, 1952 (forrás: Érdekes világ)

A világ egyik vezető globális városa, Isztambul és Moszkva után Európa harmadik legnépesebb települése, az Egyesült Királyság és azon belül is Anglia fővárosa, London (Davis és tsai., 2003). Ezt a nevet hallván az embernek általában két dolog jut azonnal eszébe. Először is az a rengeteg épített érték, amit a főváros rejteget, mint például a Parlament, a Big Ben óratornya, a Tower vagy akár a Westminster Apátság. Másodsor, a tipikus angol időjárás, amit a hideg, az eső, a szürkesség, a zordság és a városra telepedő köd jellemez leginkább. Ez a jelenség azonban a 20. század közepén egy olyan formájában mutatkozott meg, amely mind a mai napig bevészte magát az emberek tudatába a brit fővárossal kapcsolatban.

Ez nem más, mint az 1952-ben történt „The Great Smog of London” vagyis a „Nagy londoni szmog” (14. ábra).

Maga a „szmog” – magyarul füstköd - elnevezés is ebben az időszakban született meg, az angol füst („smoke”) és köd („fog”) szó összeolvastásából. A fentiekben is említett London-típusú szmog az 1952-es esetből kiindulva kapta az elnevezést, hiszen ezt a fajta füstködöt elsősorban a főleg szén alapú fosszilis tüzelőanyagok magasfokú felhasználása okozza.



15. ábra: Londoni-medence (forrás: NKP)

Ahogy az általánosságban a kontinensek nyugati területeire jellemző, a Brit-szigetek, azon belül is a Londoni-medence éghajlata a mérsékelt éghajlat legenyhébb változatának övében helyezkedik el, óceáni éghajlatú (15. ábra). Jellemzője az átlagosnál hűvösebb nyár, enyhe tél és az évi szinten egyenlő eloszlású, bőséges csapadék. Nagy-Britannia többi területéhez képest itt a legmagasabb az évszakonkénti hőmérsékletváltozás, hiszen a medence hőmérsékletét nagyban befolyásolja a szigetet körülvevő tengerek felszínének hőmérséklete. Ezen éghajlati tulajdonságok

kissé eltérnek a fentiekben említett redukáló szmog kialakulásának feltételeitől, de akkor hogyan keletkezhetett egy ilyen mértékű füstköd az angol fővárosban?



16. ábra: Rossz minőségű lignit
(forrás: Wikipédia)

A második világháború után az angol fővárosban egymást kísérték a szmogriadók, azonban arra senki sem számított, hogy az 1952-es „Great Smog” minden eddigi esetet felülmúlja (London, 1952: 12 ezer embert ölt meg a szmog, 2015). Az 1600-as években az akkori uralkodó, James I tett néhány intézkedést annak érdekében, hogy London levegőjének minősége javuljon, azonban az általa létrehozott és törvénybe foglalt szigorítások olyan sikertelenek bizonyosultak, hogy a levegő minősége nem, hogy javult volna, még tovább rosszabbodott. Erre csak rápakolt egy lapáttal az 1700-as évektől kezdődő iszonyatos gyorsaságú iparosítás. Az 1900-as évek legelején is próbálkoztak néhány, London levegőjének tisztításával kapcsolatos fejlesztéssel, ami szintén sikertelen kivitelezésbe torkollott, mivel a század közepére a légszennyezettség még mindig az egyik legfőbb problémát jelentette a fővárosban.

1952. december 4-et írtunk, egy a megszokottnál hidegebb nap volt ez Londonban. Az ekkor már több, mint 7 millió londoni lakos jól befűtött az olcsó, rosszabb minőségű, viszont annál magasabb kén tartalmú szénfélével, jellemzően lignittel. A lignit egy erősen fás szerkezetű kőszén, aminek nedvesség-, illetve hamutartalma nagyon magas, emiatt fűtőértéke alacsony (16. ábra). Ezzel ellenkezőleg az antracit azon kőszén, amelynek széntartalma a legmagasabb, körülbelül 90%, így belőle nyerhető ki a legtöbb hő. Mivel maga az antracit alig füstöl, illetve az éghetetlen salakanyag tartalma is kicsi, égetésével sokkal kevesebb káros anyag kerül a levegőbe. Ezt a jó minőségű antracitot viszont exportálta az ország, mivel a második világháború alatt felhalmozódott adósságait valamilyen módon vissza kellett fizetnie (17. ábra).



17. ábra: Jó minőségű antracit (forrás: Geologie.vsb)

Mindemelett a Londonban közlekedő gépjárművek kipufogó füstje is erősen hozzájárult a levegő minőségének romlásához, ugyanis ekkoriban szüntették meg az elektromos árammal működő

villamosokat, és helyüket dízelüzemű buszok váltották fel. Ezen felül a főváros külterületein, például Greenwichben, Bankside-ban, Fulhamben vagy a Kingston upon Thames-ben működő széntüzelésű erőmű is nagy mértékben növelte a levegőben lévő káros anyagok koncentrációját.



18. ábra: London, 1952
(forrás: Érdekes világ)

London azon városok csoportját erősíti, ami már a kezdetektől fogva rendkívül sűrűn lakott volt, illetve ahol az ipar és a lakosság egy helyre koncentrált (18. ábra). Légszennyezettségről már az 1300-as évektől kezdve beszélhetünk, amikor az emberek elkezdtek szénét égetni. Ez az állapot a város fejlődésével egyre csak romlott. Már a Viktoriánus időkben is kifogásolhatóbb volt a város levegőjének minősége, mint a más hozzá hasonló nagyvárosokban, tehát a fővárosi levegő már alap állapotában is szennyezett volt. Angliában a köd egy jellemző jelenségnek számított, így az ott élők erre is úgy tekintettek, mint az igazi angol időjárás egy tipikus és már megszokott példájára. December 4-én azonban a Londoni-medencét egy

hideg anticiklon zavarta meg, ami a szélségek miatt bent is ragadt a fővárosban és egy úgy nevezett inverziót hozott létre. Az inverzió tulajdonképpen úgy funkcionált, mint egy hatalmas meleg paplan a városon (19. ábra). Ez pontosan az ellenkezője annak, ami mindenki tudatában él: ahogy a légkörben felfelé haladunk, úgy csökken a hőmérséklet (The Great Smog of 1952 | A Short Documentary, 2021)



19. ábra: Az inverzió (forrás: VGF Szaklap)

Ez azt jelentette, hogy az anticiklon által hozott meleg légréteg maga alatt tartotta a hideg londoni levegőt. Ez a jelenség olyan környezeti változásokat hozott, amelyek maximálisan eleget tettek egy redukáló füstköd kialakulásának: mivel tél volt, a levegő megfelelően hűvös volt, a légmozgás gyakorlatilag a nullára csökkent, emellett a páratartalom 90 százalék fölé

emelkedett. Ezen időjárási körülmények között a kialakult szmog öt napon keresztül tombolt Londonban december 4. és 9. között (A szmog csökkentésére irányuló módszer, 2012)



20. ábra: Az 1952-es szmog idején működő széntüzelésű erőmű (forrás: Érdekes világ)

A füstköd viszont napról napra csak rosszabb és veszélyesebb lett. Ennek egyik, ha nem a legkimagaslóbb oka az volt, hogy a gyárak a széntüzelésű erőművekkel egyaránt továbbra is ömlesztették magukból a füstöt és a káros gázokat.

Továbbá a fűtésszezonnak köszönhetően a házak kéményeiből is az átlagosnál jóval nagyobb mennyiségben zúdult ki a szén-monoxid és kén-dioxid dúsította füst. A legnagyobb probléma abból adódott, hogy a légtérbe kibocsájtott összes káros anyag megragadt az utcaszinten, hiszen a város felett megülő meleg légréteg miatt a szmog nem tudott feloszlani (20. ábra).



21. ábra: Maró szmog (forrás: A világ titkai)

Rengeteg visszaemlékezés maradt meg az ezt átélő londoni lakosoktól. Egyikőjük így idézte fel az akkori körülményeket:

„Emlékszem, éppen úton voltam iskolába, amikor a nyakamban lévő kötött sállal szorosan befedtem az orromat és a számat, annyira marta a levegő. A szmog olyan sűrű volt, mintha sövényen mentem volna keresztül. Látni is alig lehetett pár méternél távolabbra, ezért az emberek kézen fogva közlekedtek, nehogy elhagyják egymást. Amikor beértem az iskolába, levettem a sálamat. Korom fekete volt.” (Recollection of Theresa P., 2012)

Egy másik jelenlévő visszagondolása alapján pedig: „The smog’s colour was like pea soup, and its smell was like rotten egg” (The Great Smog of 1952 | A Short Documentary, 2021), azaz „a szmog színe olyan volt, mint a borsóleves, szaga pedig, mint a záptojásé”. További beszámolók szerint London keleti részén, az úgy nevezett „Isle of Dogs” területén olyan sűrű volt a füstköd, hogy az emberek a saját lábfejüket sem látták. Ezek a tények pontosan azt támasztják alá, melyeket már a korábbiakban is kifejtettem, miszerint a levegőben extrém mennyiségű, az emberi szervezetre komoly veszélyt jelentő anyag volt található (21. ábra).



22. ábra: Az emberek kézen fogva mentek az utcákon
(forrás: Érdekes világ)



23. ábra: Borsóleves színű szmog
(forrás: Café blog)



24. ábra: A londoni metró, 1952. (forrás: Múlt-kor)

A szmog nem csupán az emberi szervezetre volt hatással, hanem a mindennapi életre is. Először a közlekedést, majd London lakóinak megszokott életét bolygatta fel teljes egészében. A tömegközlekedés teljesen leállt, ezzel egyetemben az egyéni közlekedés is, hiszen a füstködben csak pár méterre lehetett ellátni, emiatt egymást követték a balesetek (22 – 24. ábrák). A briteknek nem volt más választása, vagy gyalog, vagy kizárólag a londoni metróval tudtak utazni. Ez utóbbi következménye az lett, hogy a jegypénztáraknál hatalmas tömeg várakozott, ami miatt a lakosok szinte képtelenek voltak eljutni messzebb fekvő úticéljukig. Akik viszont a gyaloglást választották gyakran lehettek rablás áldozatai, ugyanis a rossz látási viszonyok és a rendőri intézkedés hiánya maximálisan kedvezett a zsebtolvajoknak. Éjszaka

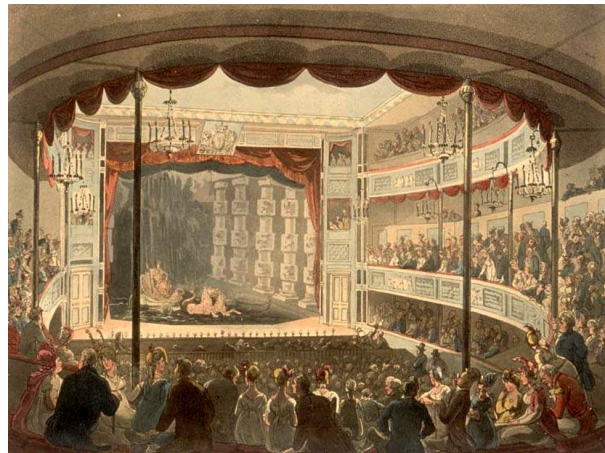
még rosszabb volt a helyzet, ugyanis a közvilágítást biztosító lámpák villanykörtékkel voltak felszerelve, amiknek a fénye nem hatolt át a sűrű füstködön. Mindezek mellett az emberek munkavégzését is nagyban befolyásolta a szmog. A dolgozókat hazaküldték munkahelyeikről, az iskolák és közösségi helyek bezártak, mivel a füstköd már az épületek belsejébe is beszivárgott (25. és 26. ábrák).



25. ábra: Teljesen leállt a közlekedés Londonban (forrás: All That's Interesting)



26. ábra: Hatalmas tömeg a londoni metrónál (forrás: Origo)



27. ábra: A londoni Sadler's Well színház (forrás: Wikimedia)

Egyik konkrét példa erre a Sadler's Well színház esete, amikor a La Traviata színdarabot félbe kellett szakítani, ugyanis az előadótér olyan szinten megtelt a sűrű füstköddel, hogy már az első sorokból is alig lehetett látni az előadást, illetve az emberek szüntelen köhögése miatt hallani sem nagyon lehetett a színészek beszédét (27. ábra). A házi orvosok sem tudtak házhoz menni gyógyítani, mivel a sűrű ködben nem találtak el a megadott házszámhoz. A kültéri sporttevékenységeket szintén nagyban akadályozta a szmog, például a labdarúgó játékosok sem a labdát, sem egymást nem látták (28. ábra). Ez a kormos füst egy idő után beleette magát az emberek ruháiba, aminek következménye az lett, hogy ahova a szmog nem szivárgott be, oda

az emberek vitték be magukkal a ruháikban, így már saját otthonaikban sem voltak biztonságban. London lakói sehol sem voltak védettek az iszonyú füstködötől, ennek következményeképpen egészségügyi helyzetük napról napra romlani kezdett (Great Smog of London, 2019).



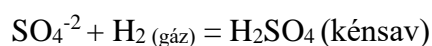
28. ábra: A kültéri sporttevékenységet ellehetetlenítő füstköd
(forrás: Flashback)



29. ábra: A megbetegedések exponenciálisan megugrottak (forrás: Earthjustice)

Az Egyesült Királyság Meteorológiai Intézetének felmérései alapján 1000 tonna füstreszecske, 370 tonna kén-dioxid, 140 tonna sósav és 14 tonna fluorvegyület került London levegőjébe, amiből 800 tonna súlyosan káros kénsavvá formálódott át. Ezen anyagok olyan komoly károsodást tudnak okozni az emberi szervezetben, ami halálos kimenetelű is lehet (29. ábra). Ez a londoni szmog ideje alatt be is bizonyosodott. A

levegőben lévő megannyi veszélyes anyag egy „halálos koktél” volt London lakóinak. A korábbiakban említett olcsó, magas kén tartalmú lignit égetése során a kén és az oxigén reakciójából a sokat említett kén-dioxid került óriási mennyiségben a levegőbe. A magas páratartalom miatt pedig a levegőben vízgőz részecskék voltak, amik elég nagy méretűek voltak ahhoz, hogy elősegítsék a kénreakciók végbemenetelét. A lignit égetése által megjelent szulfátionok ugyanis reakcióba léptek a levegőben lévő hidrogén gázzal, aminek végterméke a kénsav lett, ez pedig a füstköd erősen savas kémhatását okozta (That Deadly Fog in ‘The Crown’ Was Real. Here’s the Rest of the Story, 2020).





30. ábra: Légszomjjal küzdő emberek
(forrás: Earthjustice)

Ha a kénsav, vagy hozzá hasonló kémiai vegyületek bekerülnek a szervezetbe, azok teljesen fel tudják bolygatni a szervek problémamentes működését, ezzel együtt az ember egészségét is. Mivel a füstködben lévő mérgező részecskék a légutakon keresztül jutottak be az emberi szervezetbe, a leggyakoribb megbetegedések a légúti panaszokból adódtak. A lakosok szüntelen köhögéséből és légszomjából is erre lehetett

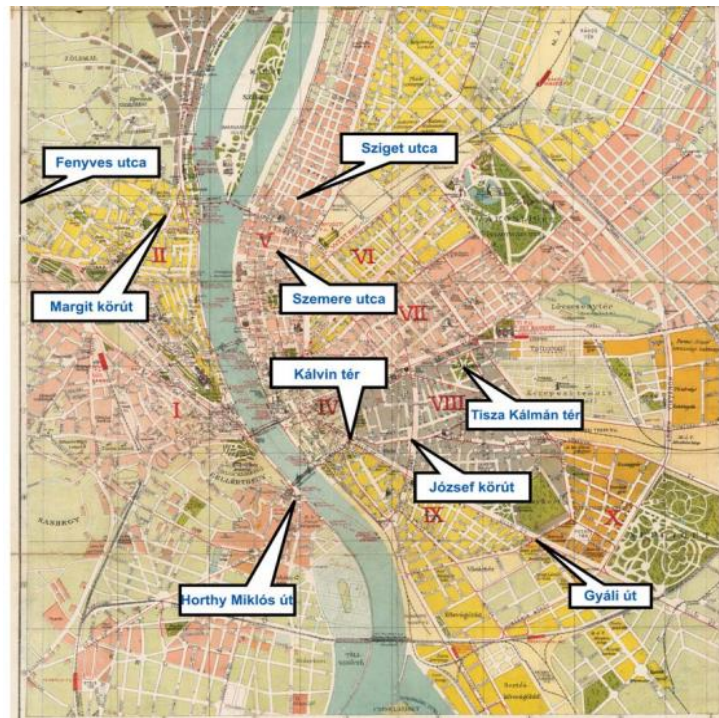
következtetni, ugyanis a toxikus részecskék lerakódtak a légutakban, ami szervi elváltozásokhoz vezetett. Ez jellemzően két betegségben jelentkezett (30. ábra).

3.1. A budapesti légszennyezettség mérésének története

Ha légszennyezettségről beszélünk, akkor mindenképp említést kell tenni Fodor Józsefről, aki elsőként végzett levegőminőséggel kapcsolatos méréseket az Orvostudományi Egyetemen az 1800-as évek végén, aminek hatására indultak el később a különféle légszennyezettségi megfigyelések.

Erre jó példa az 1930-as évek, amikor a légszennyezettség megfigyelése nagyobb teret nyert, ugyanis felismerték a légszennyezettség és az időjárási tényezők, valamint az energiahordozók minősége közti összefüggést. Ekkor kezdték el Budapest sűrűn lakott, forgalmasabb részein kihelyezni az egyes mérőállomásokat, majd később a város külterületein is. Elsők között voltak az 1935-ben kihelyezett Gyáli úti és a József körüti mérőállomások (31. ábra). Ezek segítségével a levegő koromtartalmát tudták azonosítani, melynek mértékét az Owens által készített elszíneződési skála alkalmazásával állapították meg mg/cm^3 egységben.

A méréseim során azért is volt meghatározó a pásztázó elektronmikroszkóp alkalmazása, mert az ezzel végzett felvételek részletessége lehetővé tette azt, hogy a vizsgált felületeken történő elváltozásokat is azonosítani tudjam. A dolgozatomban az egyik leggyakoribb elváltozásra helyeztem a hangsúlyt, amelyet a városi mészkövek felületén tapasztalhatunk. Ilyen például a levegőben lévő kén-dioxid (légszennyezés egyik okozója) illetve a mészkő kalcitjának reakciójaként keletkező termék, a gipsz megjelenése ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$).



31. ábra: Budapest elsőként kihelyezett mérőállomásai (forrás: Levegő.hu)

Az 1980-as évekre a széntüzelést fokozatosan felváltotta az olaj-, majd gáztüzelés, illetve a távfűtés. Emellett a gépjárművek számának növekedése a közlekedés szennyező hatását jelentősebbé tette, ugyanis egyre több kémiai anyag káros környezeti és egészségügyi hatását ismerték fel, így igény merült fel új határértékek megállapításra. Egy szakemberekből álló bizottság a WHO és a KGST ajánlásait figyelembe véve 306 anyagot csoportosított 3 veszélyességi osztályba. Az első csoportba azon anyagok kerültek, amelyek Magyarországon jelentős mértékben hozzájárultak a légszennyezettséghez, ilyen anyag például a kén – dioxid (SO_2), a szén - monoxid (CO), a nitrogén – dioxid (NO_2), a szálló- és üledő por. A második csoportba az ún. „határértékkel szabályozott szennyezőanyagok” kerültek, mint például a talajmenti ózon (O_3). A harmadik csoportba a maradék 300 anyagot sorolták be, ezek az ún. „tervezési irányszámokkal szabályozott anyagok”. Kezdetben a vizsgálandó anyagokat laboratóriumba szállították, majd csak ezt követően következett ezek feldolgozása. Azonban felmerült az igény egy olyan rendszer kialakítására, amely azonnali eredményeket tud szolgáltatni az esetlegesen megjelenő szmog kialakulásáról. E célból 1984-re létrehoztak egy 8 állomásból álló analitikai műszerekkel ellátott monitor mérőhálózatot.

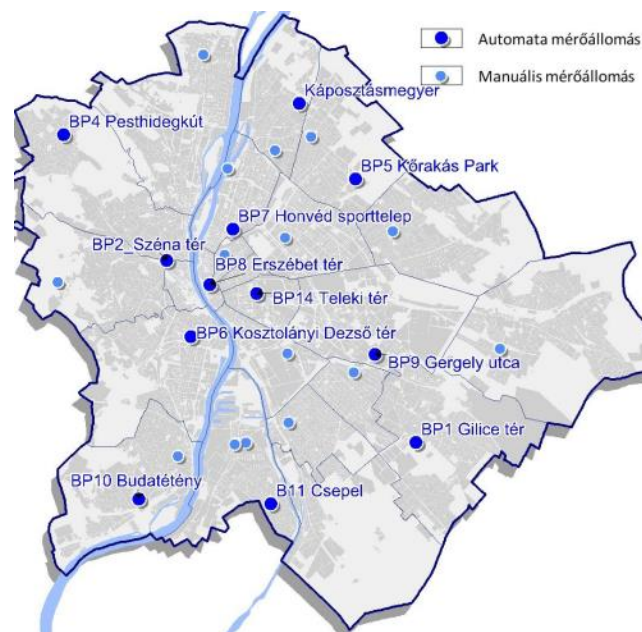
Az idő haladtával egyre jobban megnőtt a gépjárműforgalom, így az addig hagyományosan mért légszennyező anyagok mellett megkezdtek az egyre növekvő koncentrációjú

nitrozusgázok, a BTX anyagok (benzol, toluol, xilol), VOC (illékony szerves anyagok) és az ózon mérését is.

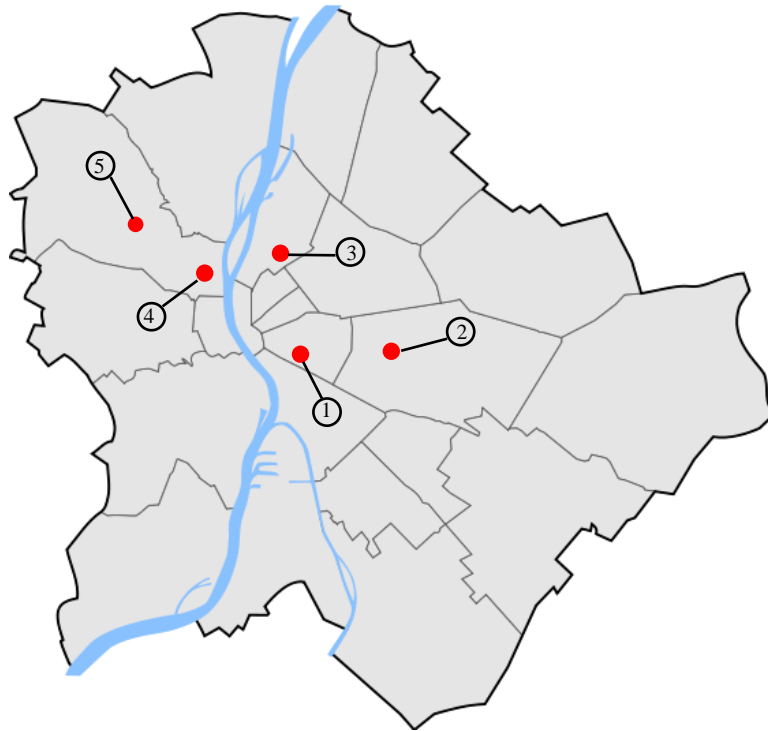
A ma is használt fővárosi monitorállomások műszerezettségi korszerűsítése 2002 és 2003 között történt. A mérőrendszereket az Európai Unió követelményeihez megfelelően hitelesítették az állomások számának és a hálózat minőségének biztosításával (Zihler és tsai., 2007).

4. Vizsgált területek, helyszínek, mintavételi pontok

A mintavételi helyszínek kijelölésének szempontja az volt, hogy Budapest különböző területeiről szedett minták alapján egy átfogó képet kapjunk arról, hogy a főváros különféle részein mennyire változó a légszennyezettség. A főváros öt különböző pontján történt a mintavétel a következő struktúra szerint: a forgalmasabb, szennyezettebb belvárostól haladtunk kifelé a tisztább, zöldebb külváros felé (32. ábra). Mindezek mellett a kijelölt helyszíneket a városban kihelyezett mérőállomások környékére helyeztem el (33. ábra).



32. ábra: Budapesti mérőállomások (forrás: Levegőminőségi terv Budapest, 2016)



33. ábra: Kijelölt mintavételi helyek Budapesten

1. Semmelweis Orvostudományi Egyetem I. sz. Sebészeti Klinika épülete (Üllői út 26.)
2. X. kerület, Kőbánya, Kolozsvári utca 47, villamossín melletti mészkőfal
3. XIII. kerület, Vágány utca, vasúti mészkőkerítés
4. II. kerület, Rózsadomb, Ankara utca, szerpentin mészkő támfala
5. II. kerület, Pasarét, Széphalom utca, villamossín alatti mészkőfal

A mintavétel során a konzulenseim is segítettek a munkámat. A folyamat megkezdése előtt minden egyes alkalommal feltérképeztem a vizsgálandó felületet, készítettem róluk egy-egy sematikus rajzot, majd kijelöltem azokat a pontokat, ahonnan a mintavételt el szerettem volna végezni. Minden esetben letről fölfele haladva kezdtem meg a mintaszedést, a mintavételi pontok magasságát mindig a földtől mérve jegyeztem fel centiméteres mértékegységben.

5. Minták

A Semmelweis Orvostudományi Egyetem I. sz. Sebészeti Klinika oldaláról vett minták gömbös kéregről kerültek le. A színük viszonylag világosabb volt, illetve felületük finom, világosabb színű porral volt fedve. A mintákhoz viszonylag nehezen lehetett hozzáférni, mivel nagyon erősen kötődtek a mészkő falazathoz.

A kőbányai Kolozsvári utcából szedett minták színe jóval sötétebbnek bizonyultak, feltételezhetően a bennük levő fémrészecskék miatt. Itt is látható volt a gömbös kéreg, ami sötétebb színű, fekete porral volt borítva.

A Vágány utcai V1 minta apró, hegyesebb, egymástól kissé elkülönülő gömbökből álló kérget alkottak a mészkő falazaton. Ezzel ellenkezőleg a V2 minta inkább egy sík kéregről lett leszedve, amin a szennyeződés réteg olyan vékony volt, hogy csak az alapkőzettel együtt lehetett eltávolítani.

Az Ankara utcából szedett minták színe volt talán a legsötétebb mindegyik minta közül. Ezekhez sokkal könnyebben hozzá lehetett férni, mivel a sok, egymásra épülő szennyezőréteg előbb megadta magát, mint a közvetlenül a mészkő elemhez kötődött szennyeződések. A kérgék felületén lévő por itt is inkább fekete színű volt, mint szürke.

A Pasarétről szedett mintákhoz volt a legnehezebb hozzáférni, mivel a szennyeződések itt kötődtek a leginkább a mészkő falazathoz, emiatt mindegyik esetben került egy kis alapkőzet is a minta mellé. A szennyezőréteg itt volt a legvilágosabb színű, hólyagos, illetve gömbös rétegről kerültek le a minták. Kevés por volt a felületükön, az is világosabb színű volt.

S1	S2	S3	S4	S5
sík réteg	por	gömbös kéreg	por	gömbös kéreg (+ alapkőzet)
75 cm magasságban	112 cm magasságban	150 cm magasságban	150 cm magasságban	160 cm magasságban

1. táblázat: a Semmelweis I. sz. Sebészeti Klinikánál gyűjtött minták szabad szemű leírása

K1	K2	K3
fekete poros kéreg	fekete poros kéreg	felhólyagosodott, poros kéreg
56 cm magasságban	109 – 112 cm magasságban	175 magasságban

2. táblázat: a Kolozsvári utcában gyűjtött minták szabad szemű leírása

V1	V2
gömbös kéreg	sík kéreg
100 – 110 cm magasságban	136 magasságban

3. táblázat: a Vágány utcában gyűjtött minták szabadszemű leírása

A1	A2	A3	A4	A5	A6
fekete por	fekete por	fekete por	hólyagos kéreg	fekete kéreg	fekete kéreg
27 cm magasságban	32 cm magasságban	50 cm magasságban	60 cm magasságban	91 cm magasságban	97 cm magasságban

4. táblázat: az Ankara utcában gyűjtött minták szabadszemű leírása

A1 kéreg	A2 kéreg	A3 kéreg
fekete poros kéreg	fekete poros kéreg	fekete poros kéreg
25 cm magasságban	30 cm magasságban	44 m magasságban

5. táblázat: az Ankara utcában gyűjtött kéregminták szabadszemű leírása

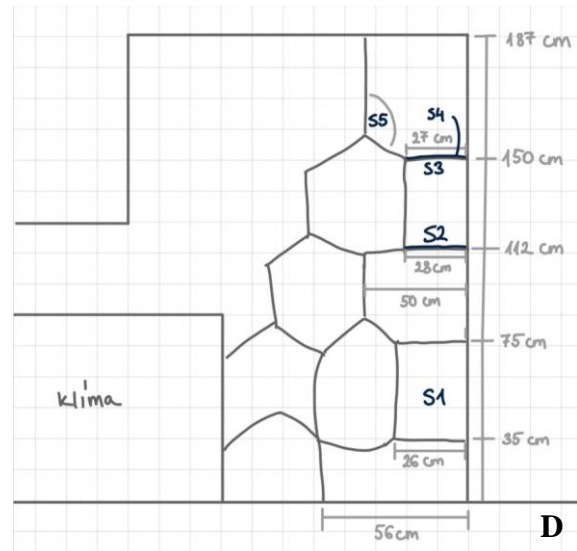
P1	P2	P3
felhólyagosodott kéreg	felhólyagosodott kéreg	felhólyagosodott kéreg
30 cm magasságban	40 cm magasságban	107 cm magasságban

6. táblázat: a pasaréti Széphalom utcában gyűjtött minták szabadszemű leírása

5.1. Semmelweis Orvostudományi Egyetem I. sz. Sebészeti Klinikája (Üllői út 26.)

Az ország egyik legjelentősebb klinika épülete, a legrégebbi hagyományokkal bíró sebészeti intézete. Az épületet 1909 – ben építették, ami akkoriban az egyik legmodernebb klinika épületnek számított. A betegellátás az épületben azóta is folyamatosan üzemel.

A külső homlokzat nem esett át jelentősebb felújításon, ami egy számunkra fontos információ, hiszen reményeink szerint az innen vett minták hűen bemutatják a város ezen részének levegőminőségét.



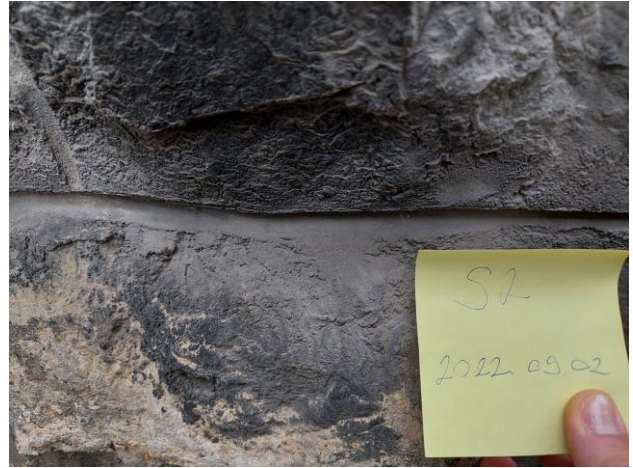
34. ábra: Semmelweis Orvostudományi Egyetem I. sz. Sebészeti Klinika épülete (Üllői út 26.) (A, B), a kijelölt mészkő falazat (C), mintavételi pontok sematikus rajzon ábrázolva (D)

Az első mintát S1-es jelöléssel láttam el, amit a földtől mérve 75 cm-es magasságban vettem egy nagyobb kőzetelemről, amit sík kéreg borított (34. ábra). A minta egy majdnem 20 cm-es darab volt, amit vésővel könnyedén le lehetett szedni az alapkőzetről (35. ábra).



35. ábra: Semmelweis Orvostudományi Egyetem I. sz. Sebészeti Klinika épületén megjelenő fekete kéreg mintázata (A), S1 minta gyűjtésének ehlyszíne (B), az S1 gyűjtött minta (C)

A mintavételeim során igyekeztem arra is ügyelni, hogy a mészkő elemek közti fugát se hagyjam figyelmen kívül, hiszen ezeken a helyenek tökéletesen meg tud ülni a finom szállópor. Így az S2-es jelölésű mintámat az S1-es kőzetelem felett lévő mészkő darab tetejéről, a fugából szedtem 112 cm-es magasságban. Ebben az esetben a mintavételt egy kefe segítségével végeztem (36. ábra)



36. ábra: S2 minta gyűjtésének helyszíne

Ezt követte az S3-as minta, amit a kőzetelem tetejéről, egy gömbös kéregről szedtem 150 cm magasságban (37. ábra). Ehhez a mintához vésőt és kalapácsot használtam, mivel sokkal nehezebben vált le az alapkőzetről. Közvetlenül az S3-as minta felett lévő fugában található pormintát S4-es jelöléssel láttam el, itt már szemmel láthatóan is sokkal több szennyeződés gyűlt össze, mint az alsó fugában (38. ábra).

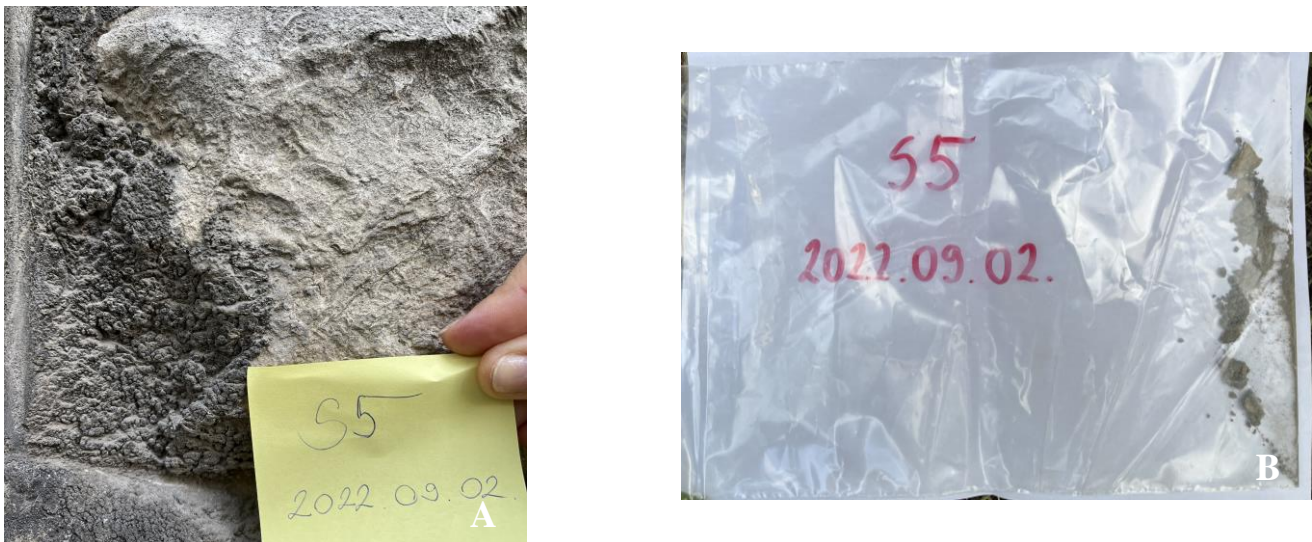


37. ábra: S3 minta gyűjtésének helyszíne



38. ábra: Gyűjtött S3 és S4 minták

Az utolsó mintavételi pont az előbb említett fuga felett található 187 cm magasra felnyúló mészkő elem legalja volt, ahol egy szintén gömbös kéreg volt látható körülbelül 160 cm magasságban. Az S5-ös mintavétel során azonban egy kevés alapkőzetet is belekrült a szennyezett réteg mellé, ugyanis véső és kalapács segítségével is csak nagyon nehezen lehetett leszedni a szennyeződést (39. ábra).

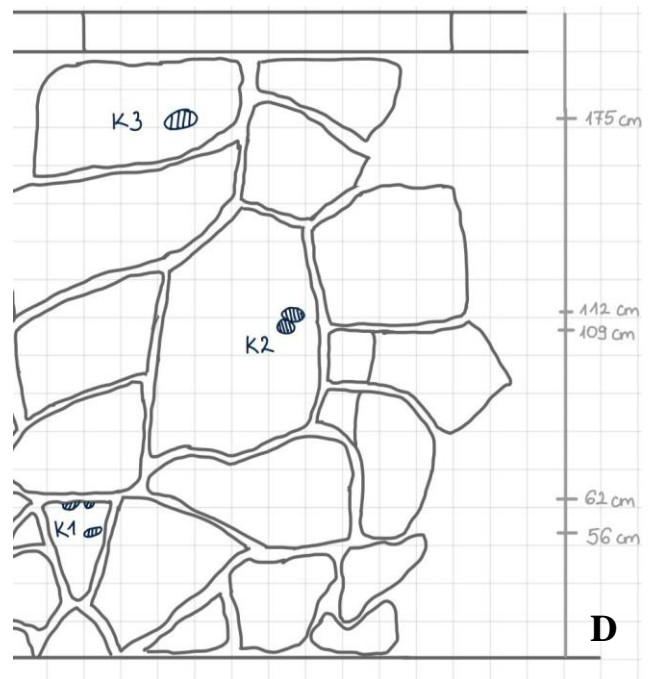


39. ábra: S5 minta gyűjtésének helyszíne (A), a gyűjtött S5 minta (B)

5.2. Kőbánya, Kolozsvári utca 47.

A helyszínek kijelölésénél mindenképp szerettem volna egy olyan mintavételi helyet kiválasztani, amely a belvárosban található és közvetlenül vasúti -, vagy villamossín mellett fekszik, így esett a választás a Kolozsvári utcára, ahol a lakóövezet mellett halad el a 37, illetve 37A jelű villamos közvetlenül az általam vizsgált mészkőfal mellett. Az itt szedett minták

laboratóriumi megvizsgálása előtt már feltételezni lehetett, hogy a szennyeződések tartalmazhatnak majd fémrészecskéket is, amik nagy valószínűséggel a villamossínről válhattak le a villamoskerék és a sín súrlódásának következtében.



40. ábra: A Kolozsvári utca 47. számnál található mészkő falazat (A, B, C), a mintavételi pontok sematikus rajzon ábrázolva (D)

Az első mintavétel egy fekete poros kéregről történt 56 cm – es, illetve 62 cm – es magasságban, amit véső és kalapács segítségével tudtam eltávolítani a felületről, és elláttam K1 – es jelöléssel (40. ábra). Amint az az alábbi képeken is látható, a szennyezettkéreg nagyon sötét színű volt, amit a sínek közelségéről feltételezve a kéregben levő fémrészecskék is okozhatnak (41. ábra).



41. ábra: Kolozsvári utca 47. számnál található mészkő falazaton megjelenő koromfekete kéreg mintázása (A), K1 minta gyűjtésének helyszíne (B), a gyűjtött K1 minta (C)

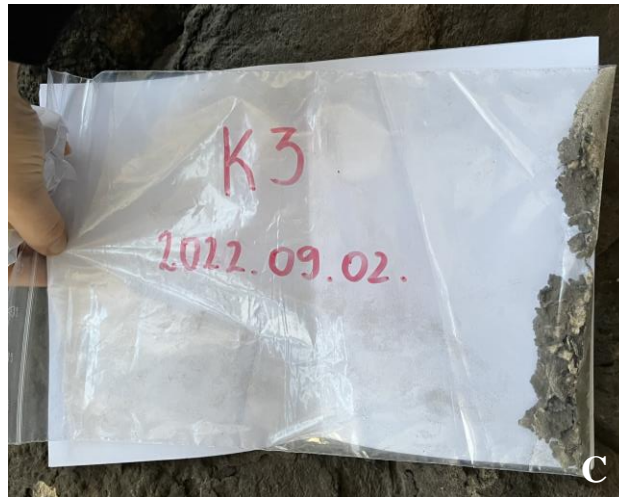
A K2 – es jelölésű mintát 109 és 112 cm – es magasságban szedtem szintén véső és kalapács segítségével (42. ábra).



42. ábra: A kijelölt mintavételi pont (A), K2 minta gyűjtésének helyszíne (B)

A harmadik minta a mészkőfal tetejéről történt 175 cm – es magasságból. Itt egy felhólyagosodott, poros kéregről szedtem le egy darabot ismét véső és kalapács segítségével (43. ábra).





43. ábra: A kijelölt mintavételi pont (A), K3 minta gyűjtésének helyszíne (B), gyűjtött K3 minta (C)

5.3. Vágány utca, vasúti mészkőkerítés

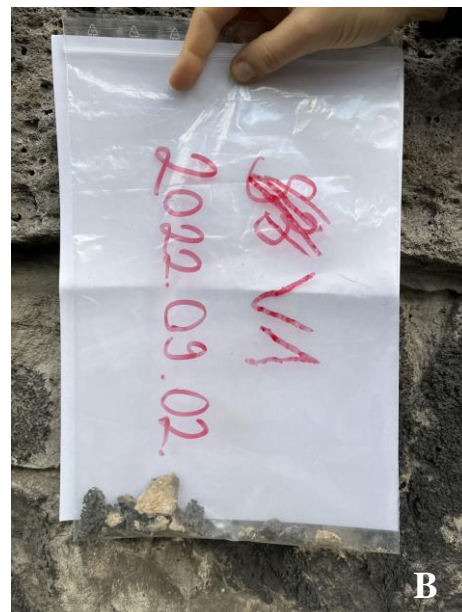
A Vágány utca egy rendkívül frekvenciált útszakasz, az autók mellett a BKK egyes járatai is közlekednek ezen a vonalon, emellett a vasút is a közelben van, ebből adódóan az ottani mészkő falazat nagy szennyezőanyag koncentrációnak van kitéve.

Pontos információink nincs a falazat építésével kapcsolatban, azonban nem tévedünk nagyot, ha azzal a feltételezéssel élünk, hogy a kerítést a közeli Keleti pályaudvarral egy időben, azaz az 1800-as évek végén, legkésőbb a századforduló közepén épülhetett. Azt is feltételezhetjük, hogy azóta felújítva, vagy letisztítva nemigen volt, így ez a helyszín ebből a szempontból is érdekes választásnak bizonyosult, hiszen így egy forgalmas vasútvonal melletti levegő minőségére is rálátást kaphatunk.



44. ábra: Vágány utcában található mészkőkerítés (A), a mintavételi pontok sematikus rajzon ábrázolva (B)

A mészkőkerítést feltérképezve azt láttam, hogy csak a falazat felső részein találhatóak lerakódások, szennyeződések, ezért kijelöltem két mészkő elemet mintavételi pontnak (44. ábra). Az első mintámat egy nagyobb darab mészkő elemről vettem 100 cm, illetve 110 cm – es magasságban. Ez egy gömbös kéreg volt, ami mellé került egy kis alapkőzet, aminek krémes színéből édesvízi mészkőre következtettem. A mintaszedéshez vésőt és kalapácsot használtam (45. ábra).



45. ábra: A kijelölt mintavételi pont (A), a gyűjtött V1 minta (B)

A második mintavételi pont 136 cm – es magasságban történ a mészkő falazat tetejéről, amit egy sík kéreg borított. A mintavétel nagyon nehéz volt, mivel a mészkőfal teteje valószínűleg forrásvízi mész volt, aminek apró mélyedéseibe beleültek a szennyeződések, így nagyon nehezen lehetett hozzáférni magához a vizsgálandó réteghez, ezért az alapkőzettel együtt távolítottuk el a mintát véső és kalapács segítségével (46. ábra).



46. ábra: A kijelölt mintavételi pont (A), V2 minta gyűjtésének helyszíne (B), a gyűjtött V2 minta (C)

5.4. Ankara utca, támfal

A szerpentin, ahonnan a mintavétel történt sokáig utcánév nélküli rész volt, és csak 2016-ban nevezték el Ankara utcának. A szerpentin mészkőfalának pontos építési idejét nem tudni, az általam talált kép 1970 – ből származik, ebből következtethető, hogy az ottani mészkő legalább 50 éves. Ez az útszakasz az előző helyszínekhez képest valamivel csekélyebb forgalmú, azonban a szennyezettség jelei itt is tökéletesen észrevehetőek voltak (47. és 48. ábra).

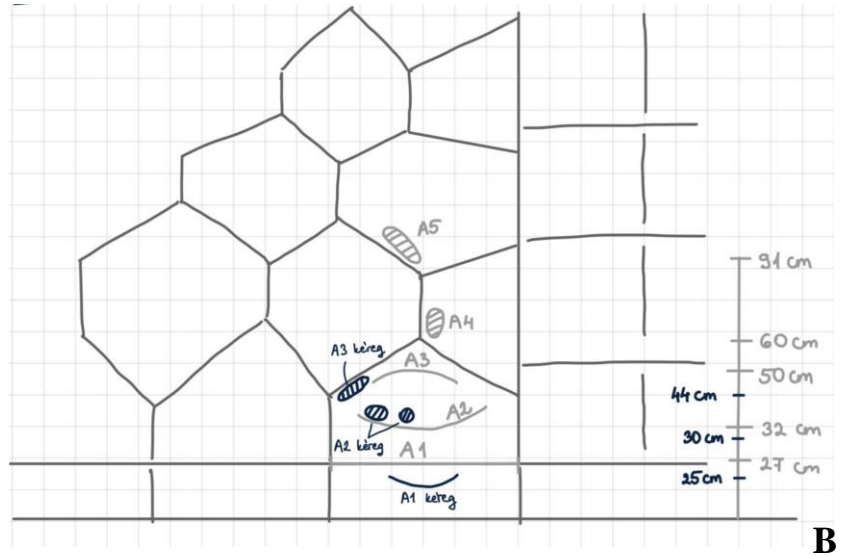
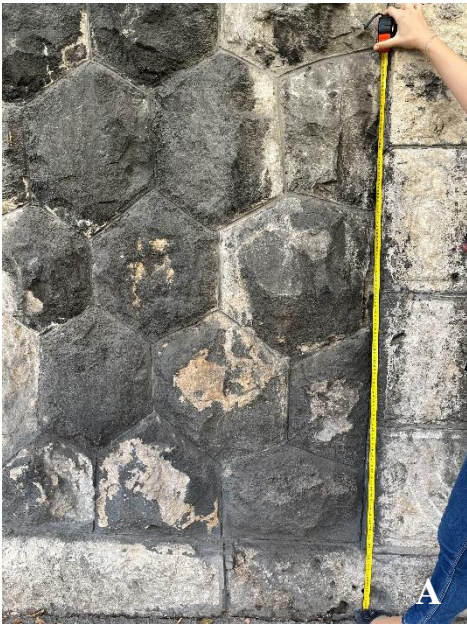


47. ábra: Ankara utca, 1970.

(forrás: Szeretlek Rózsadomb hivatalos Facebook oldala)



48. ábra: Ankara utca napjainkban

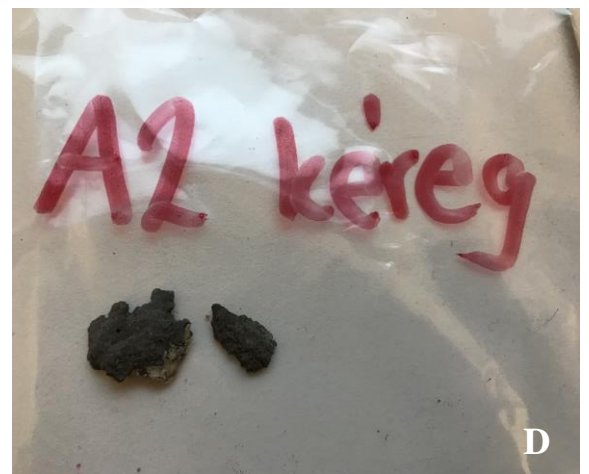
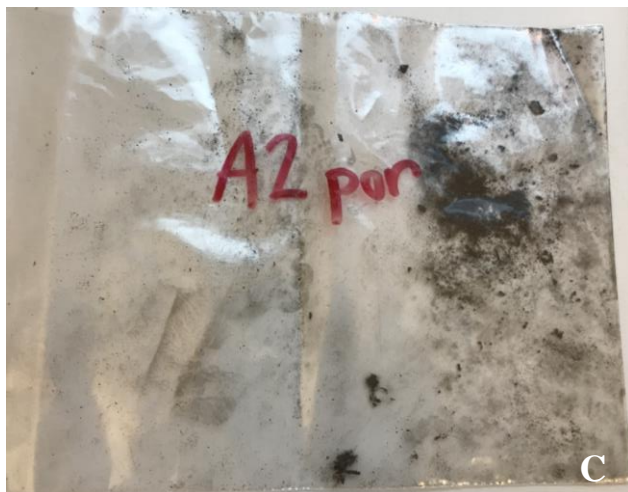


49. ábra: Ankara utcában található mészkő falazat (A), a mintavételi pontok sematikus rajzon ábrázolva (B)

A mintavétel menetét az első három esetben két részre osztottam: a kijelölt pontok tetején megült port, illetve annak felületén lévő kérget távolítottam el az adott mészkő elemekről. Amíg a finom port kefe segítségével szedtem le, addig a kérget darabokat kalapács és véső segítségével (49. ábra).

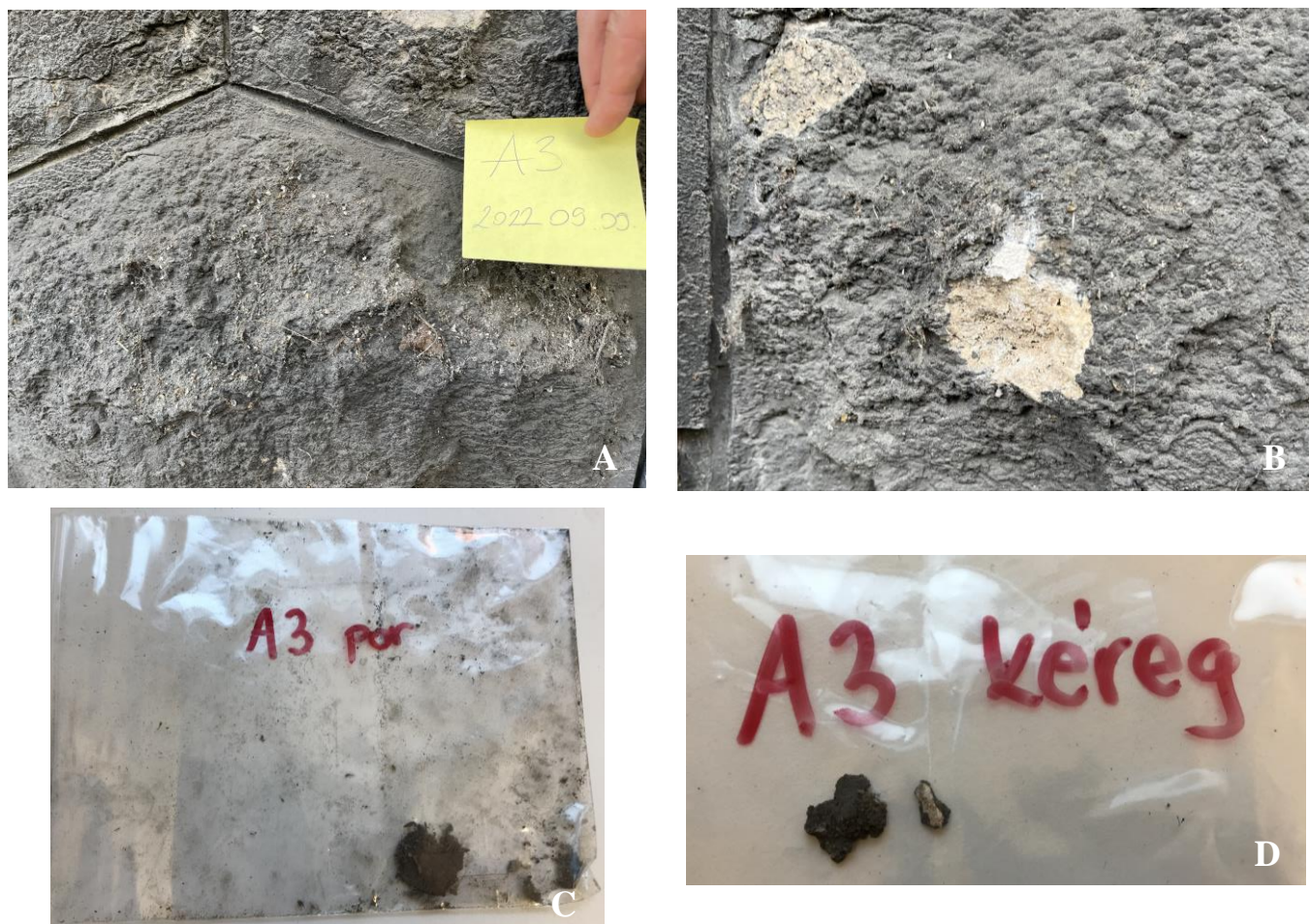


50. ábra: A1 minta begyűjtési helyszíne

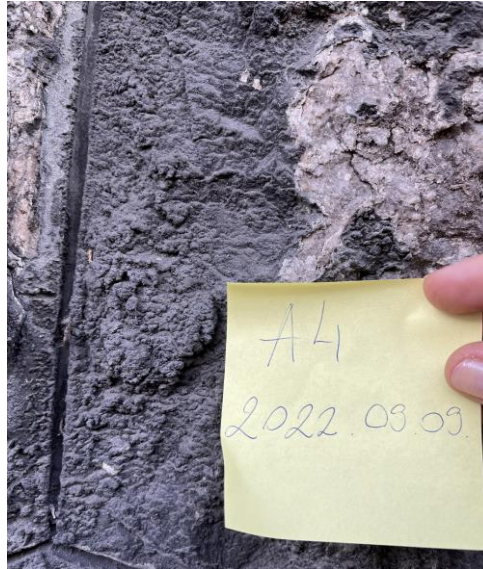


51. ábra: A2 porminta gyűjtésének helyszíne (A), A2 kéregminta gyűjtésének helyszíne (B), a gyűjtött A2 porminta (C), a gyűjtött A2 kéregminta (D)

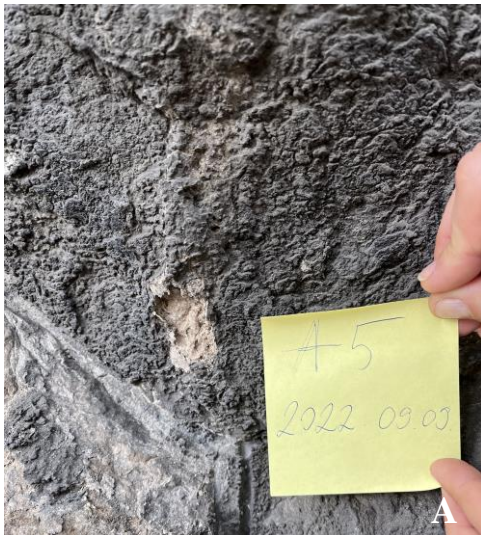
A mintavétel ezen esetekben jóval könnyedebben zajlott, mivel az egymásra rétegző szennyeződések sokkal könnyebben tudtam eltávolítani, mint például az előző helyszíneken.



52. ábra: A3 porminta gyűjtésének helyszíne (A), A3 porminta gyűjtésének helyszíne (B), a gyűjtött A3 porminta (C), a gyűjtött A3 kéregminta (D)



53. ábra: A4 minta gyűjtésének helyszíne



54. ábra: A mintavételi pont kijelölése (A), az A5 minta gyűjtésének helyszíne (B), a gyűjtött A5 minta (C)

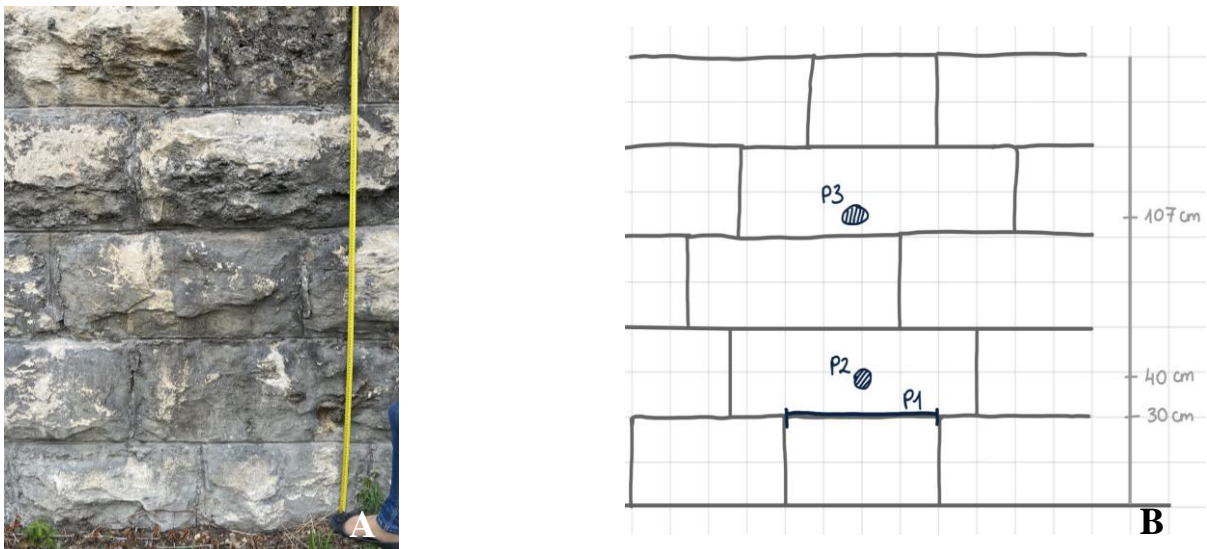


55. ábra: A6 minta gyűjtésének helyszíne (A), a gyűjtött A6 minta (B)

5.5. Pasarét, Széphalom utca, villamossín alatti mészkőfal

Pasarét volt az utolsó kiválasztott helyszín, hiszen az előző állomásokhoz képest kevésbé forgalmas, zöldebb terület a városközponttól távolabb, azonban itt sem beszélhetünk tiszta levegőről. Pasarét környékén is közlekednek a BKK egyes járatai, az általam vizsgált környéken a 61 és 56 – os jelölésű villamosok, emiatt itt is számolni lehet a mintákban megjelenő apró fémrészecskékkel.

Az 56 – os villamos 1900 óta közlekedik Pasaréten, ebből az a következtetés vonható le, hogy az általam vizsgált mészkőfalazat is ekkori időszakban épülhetett.



56. ábra: Pasarét, Széphalom utca mészkő falazata (A), mintatvételi pontok sematikus rajzon ábrázolva (B)

A mintavétel során minden alkalommal kalapács és véső segítségével távolítottam el a mintákat a mészkő felületről. Itt nem tapasztaltam olyan mértékű lerakódást, mint az előző helyszínek mészkő falazatain, azonban ahogy az a fenti képen is láthatóak a szennyeződések jelenléte, amit az elszíneződések mutattak (56. ábra).

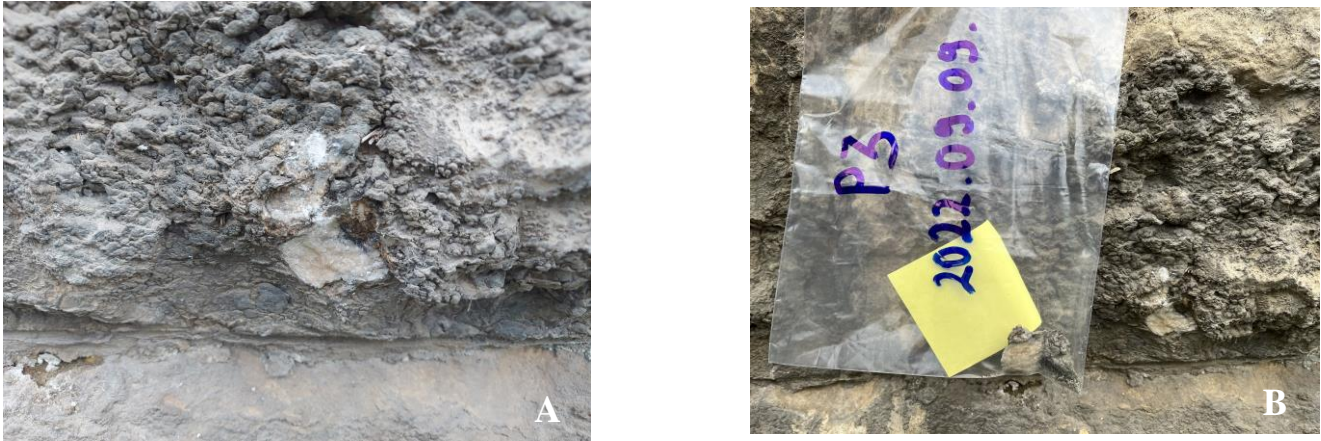
A mintákhoz nehezen lehetett hozzáférni, mivel a szennyeződésekkel kialakult réteg viszonylag vékony volt, illetve szinte teljesen megkövült a mészkőfal, ezért a vizsgálandó réteget csak az alapkőzettel együtt tudtam eltávolítani (57., 58., 59. ábra).



57. ábra: P1 minta gyűjtésének helyszíne (A), a gyűjtött minta (B)



58. ábra: P2 minta gyűjtésének helyszíne (A), a gyűjtött minta (B)



59. ábra: P3 minta gyűjtésének helyszíne (A), a gyűjtött P3 minta (B)

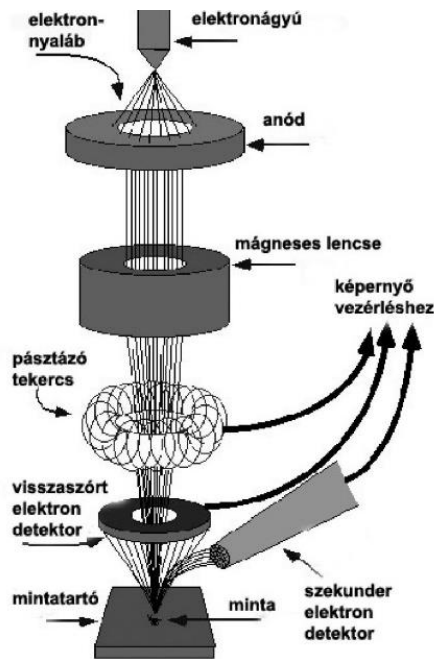
6. Alkalmazott analitikai módszerek

6.1. Sztereomikroszkóp

A sztereomikroszkóp két objektívvel és két okulárral rendelkező fénymikroszkóp. Az ilyen mikroszkópba tekintve a mintát térben, három dimenzióban látjuk. A két egybe épített mikroszkóptubus optikai tengelyei egymáshoz képest körülbelül 14° -ban állnak, ez a szög megegyezik az emberi szem két tengelye által bezárt szöggel. Mivel a mikroszkópban a tárgyhoz képest fordított állású a kép, ezért a sztereomikroszkópban a lencséken kívül egy képfordító prizmarendszer is van. Így lesz a kép egyenes állású és oldalhelyes. A sztereomikroszkópot csak kisebb nagyításokra (legfeljebb 100-szoros nagyításig) használjuk. Az épületek falazatáról származó fekete kérges általános alakú (morfológiai) és szöveti megfigyelését sztereomikroszkópos vizsgálatok segítségével végeztem el.

6.2. Pásztázó Elektronmikroszkóp (SEM)

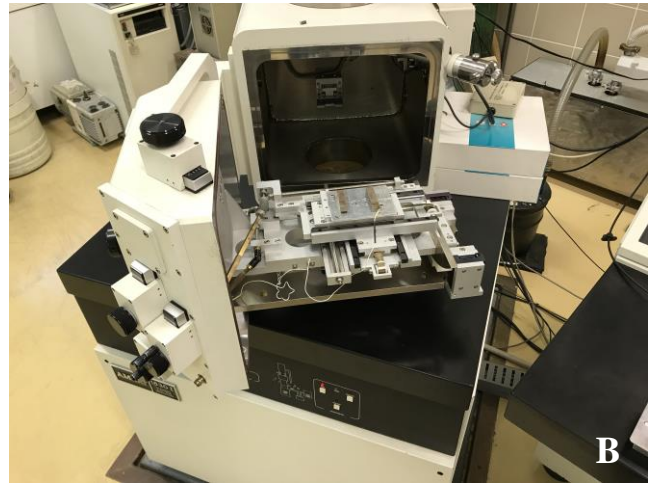
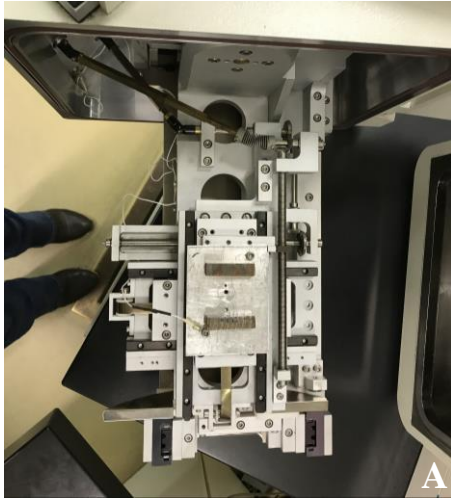
A méréseim során az egyik műszer, amit használtam a pásztázó elektronmikroszkóp volt, angolul Scanning Electron Microscope (SEM). Ennek működési elve közel azonos a fénymikroszkópéhoz, viszont a két műszer között az a különbség, hogy elektronmikroszkóp alkalmazásánál a vizsgált minták leképezése fénysugárnyaláb helyett elektronnyalábok segítségével történik.



60. ábra: Pásztázó elektronmikroszkóp vázlatos rajza (forrás: Levegő.hu)

Ha pásztázó elektronmikroszkóppal dolgozunk, akkor a vizsgálat megkezdése előtt a minta felületét vezetőképesé kell tenni. Ezt úgy érhetjük el, hogy a mintánkat vákuumgőzölőbe kell tenni, aminek felületén a rendszer nagyon vékony arany-, vagy grafitos bevonatot képez. Ha viszont a modernebb, az ún. környezeti elektronmikroszkópot használjuk (angolul (ESEM): Environmental Scanning Electron Microscope), akkor az előbbieken említett folyamatot nem kell elvégezni, mivel ennél a műszernél már a mintatérben vízgőzt alkalmaznak.

Pásztázó elektronmikroszkóp segítségével a mintákról igen nagy felbontású, akár nanométeres részletességű képet is kaphatunk. Ezekkel a műszerekkel akár 10 000-es nagyítást is kaphatunk a mintánkról, amely a fentiekben említett fénymikroszkópok nagyítását akár százszorosan is meghaladja. Ez annak köszönhető, hogy a minta felületének leképezésére általában 100 – 10 000 eV-ra felgyorsított, 0,123 – 0,012 nanométeres hullámhosszú elektronsugár-nyalábot alkalmaznak.



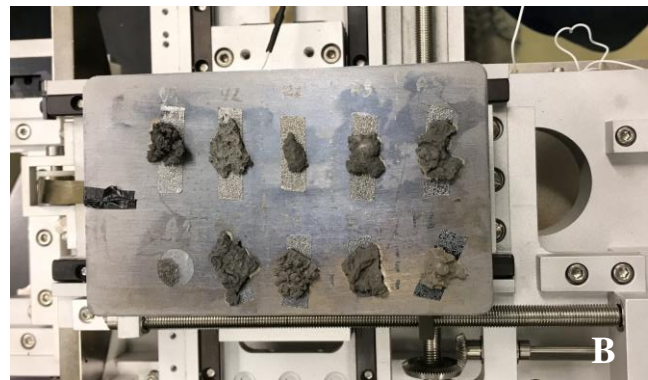
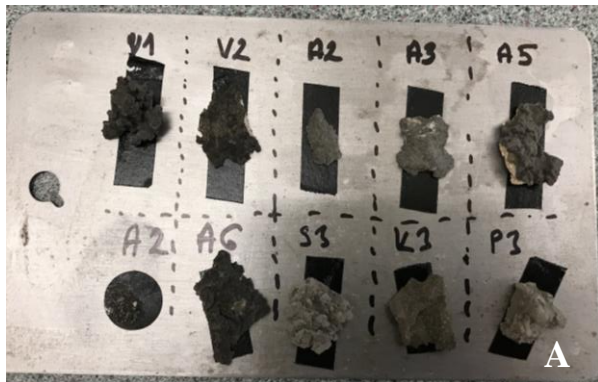
61. ábra: Pásztázó elektronmikroszkóp berendezés felül nézetből (A), nyitott állapotában (B), és a mérési környezet (C)

6.2.1. Mintaelőkészítés

A pásztázó elektronmikroszkóppal történő vizsgálatokhoz elektromosan vezető mintára van szükség, ezért vékony vezető réteggel szokás bevonni a felületet (62. ábra). Ez a réteg általában arany vagy szén, amelyet párologtatással lehet a felületre felvinni. A szén előnye, hogy a C atomok kevesebb elektront tartalmaznak, és ez röntgen analízis esetén előnyös, mert kisebb röntgen háttérrel eredményez. Fontos, hogy ez a vezető réteg egyenletes vastagságú és minél vékonyabb legyen. A felvitt vezető réteg további előnye, hogy növeli a kép fényességét, sőt a felbontást is. Ezen okokból kifolyólag a mintákat a mérés előtt szénrel gőzöltem le (63. ábra).



62. ábra: A szenező berendezés (A), a szenező búra (B)



63. ábra: Minták szenezés előtt (A), minták szenezés után (B)

6.2.2. Másodlagos elektron (SE) és visszaszórt elektronképek (BSE)

A pásztázó mikroszkópban képalkotásra, szöveti megfigyelésekre általában a szekunder elektron képet használják. A nyaláb által a külső elektronhéjakról kilökött szekunder elektronok energiája széles eloszlású, de kis energiával rendelkeznek ($E < 50 \text{ eV}$), így ezek az elektronok csak kis mélységből (1 - 10 nm) érik el a felszínt. Ezért a szekunder elektron kép elsősorban a felület közeli vékony rétegről hordoz információt, és jobbra a felületi morfológia vizsgálatára használatos. A visszaszórt elektronok maximális energiája megegyezik a bombázó elektronok energiájával, átlagos energiája pedig nagyjából a nyaláb energiájának fele. Ezért, mivel a visszaszórt elektronok energiája viszonylag nagy ($E \sim 15 \text{ keV}$), összegyűjtésük nehezebb, mint a kisenergiájú szekunder elektronoké. Ugyanakkor, a visszaszórt elektronok hozama függ

annak az atomnak a rendszámától (elektronszámától), amelyikről szóródik. Ezért a visszaszórt elektron kép úgynevezett Z-kontrasztot mutat.

A fekete kéregek további, részletes alaki (morfológiai) vizsgálatát, szövetük, szemcseméretük, szemcsealakjuk részletes jellemzését másodlagos elektron (SE) és visszaszórt elektronképek (BSE) segítségével végeztem. A SE-képek és BSE-képek az ELTE Közöttani és Geokémiai Tanszékén AMRAY 1830 I típusú pásztázó elektronmikroszkóppal készültek. A SE-képek és BSE-képek készítéséhez 15 kV gyorsítófeszültséget és 1 nA sugáráramot használtam.

6.2.3. Energiadiszerzív röntgenspektrométer

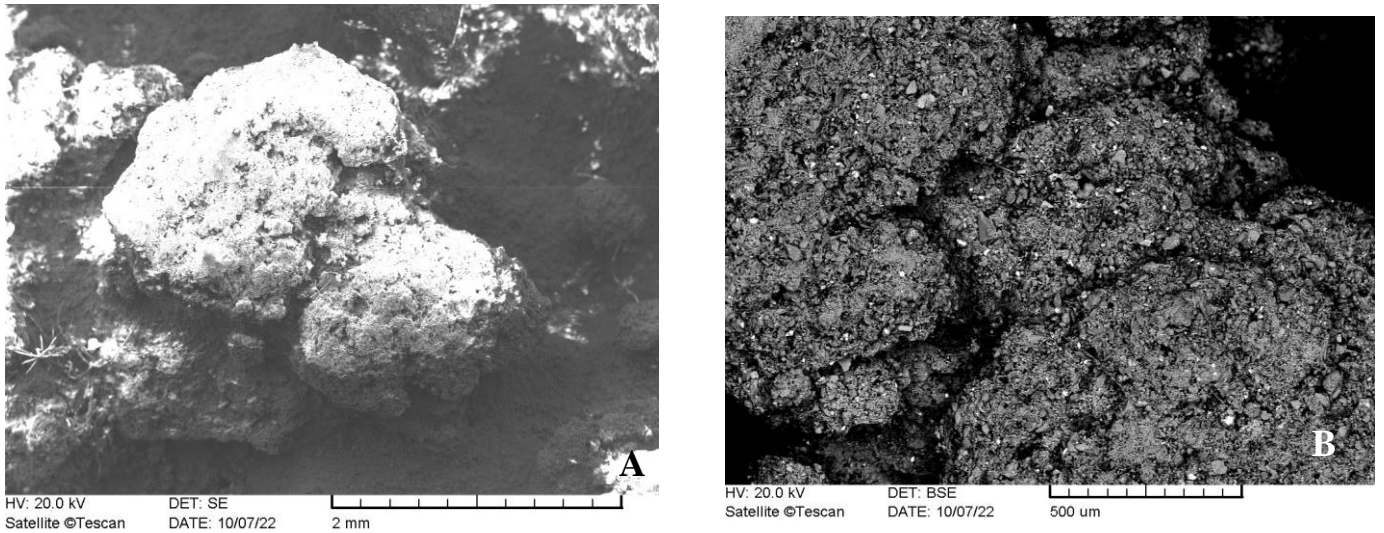
A pásztázó elektronmikroszkópokat gyakran felszerelik röntgen detektorral is. A röntgen detektorral az elektronnyaláb által kiváltott röntgen fotonokat detektáljuk. A röntgen fotonok energiája jellemző arra az atomra, amelyből kiváltódott. A kapott spektrum tehát tükrözi a minta atomi összetételét. Ez az energia diszerzív röntgen mikroanalízis (EDX = Energy Dispersive X-ray microanalysis) alapja.

A fekete kéregek ásványtani, kémiai elemzését pedig SEM EDX-vel végeztem. A mérések 15 keV gyorsítófeszültséggel és 15-20 nA sugárárammal történtek.

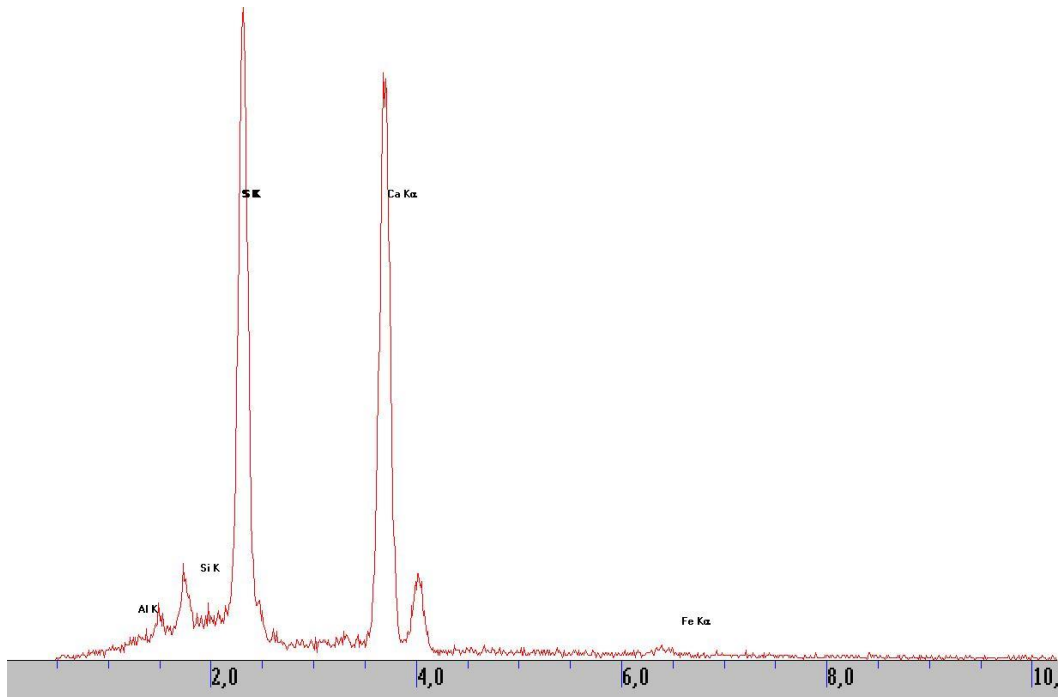
7. Eredmények és értékelésük

7.1. Semmelweis Orvostudományi Egyetem I. sz. Sebészeti Klinika épülete – S3 minta

Az S3 minta másodlagos elektronképén jól látható, hogy a teljes kéreg egy karfiolhoz hasonló morfológiát mutat (64. ábra, A). A visszaszórt elektronképen (64. ábra, B) az első, ami szembeötön, azok az apró fémes fényel csillogó részecskék, ami nem más, mint a vas – oxid. Emellett szögletes ásványszemcsék is láthatók, ami a sajátalakú dolomitra jellemző. A hólabda kinézetű részecskék az agyagásványok, amiknek gömbszerű alakjuk a puhaságukból fakad. Továbbá találunk még hosszú hegyes, tűszerű részecskéket is, ezek a gipszkristályok. Ahogy az az energiadiszerzív röntgenspektrumon is látható (65. ábra), a kalcium, illetve a kén csúcs kiugró értéket mutat, ebből következik az, hogy a mintánk magas gipsz ($\text{Ca}(\text{SO}_4)$) tartalommal rendelkezik.



64. ábra: S3 minta karfiolos morfológiájának másodlagos elektronképe (20 kV, 2mm) (A), S3 minta visszaszórt elektronképe (20 kV, 500 um) (B)

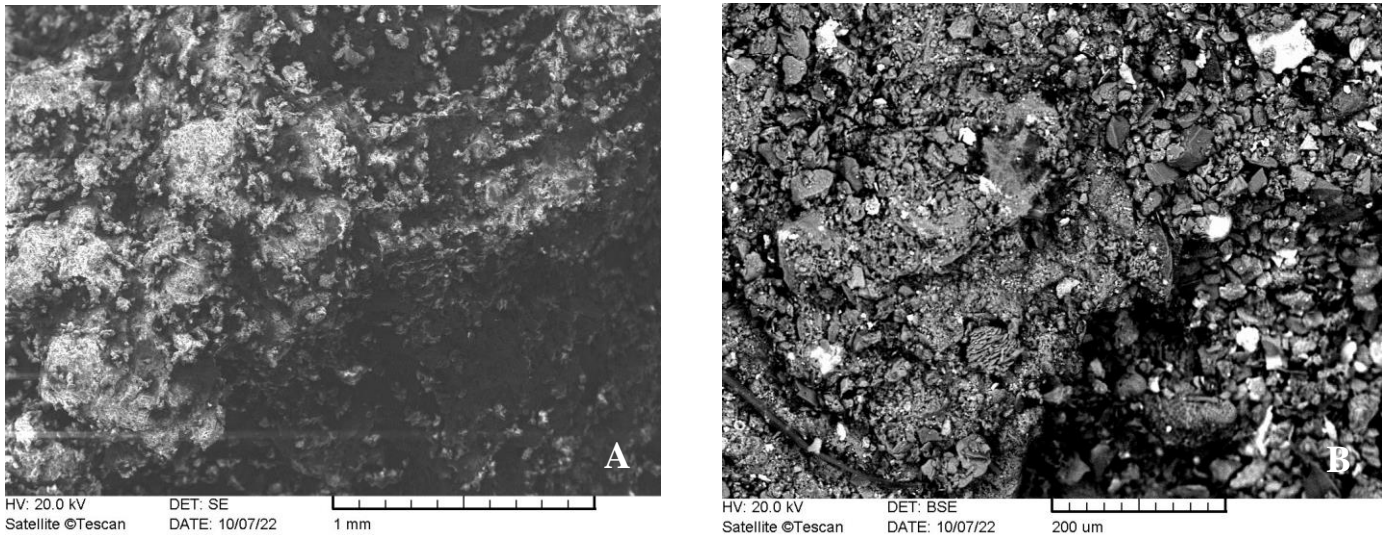


65. ábra: S3 mintában szereplő gipszkristályok energiadiszperzív röntgenspektruma

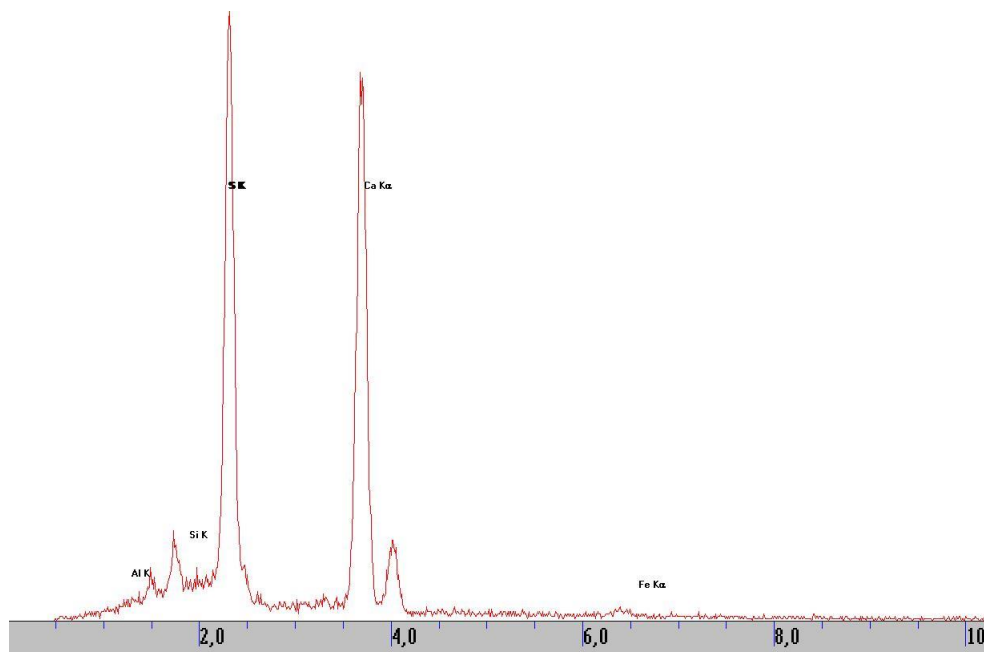
7.2. Kőbánya, Kolozsvári utca 47. – K3 minta

A visszaszórt elektronképen (66. ábra, B) ismét láthatóak a fémes fényű részecskék, amik a vas – oxid, illetve titán – dioxid szemcsék, az előbbi tartalma ebben a mintában volt a legmagasabb. Emellett még sok a kvarc szemcse is megjelenik, ezek a képen megjelenő lekerekített, kis háromszög alakú részecskék, amik néhol a vas – oxiddal összenőve jelennek meg. A kvarc egy

szél által szállított szemcse, aminek a kialakult formája a szemcsék egymással való ütközésének eredménye. A képen észrevehető még a lemezes morfológiával rendelkező karbonátásványok is, illetve hosszú, tűszerű szemcsék is, amik a gipszkristályok. Ahogy az az energiadiszerzív röntgenspektrumon is látható (67. ábra), a kalcium, illetve a kén csúcs kiugró értéket mutat, ebből következik az, hogy a mintánk magas gipsz ($\text{Ca}(\text{SO}_4)$) tartalommal rendelkezik.



66. ábra: K3 minta másodlagos elektronképe (20 kV, 1mm) (A), K3 minta visszaszórt elektronképe (20 kV, 200 um) (B)

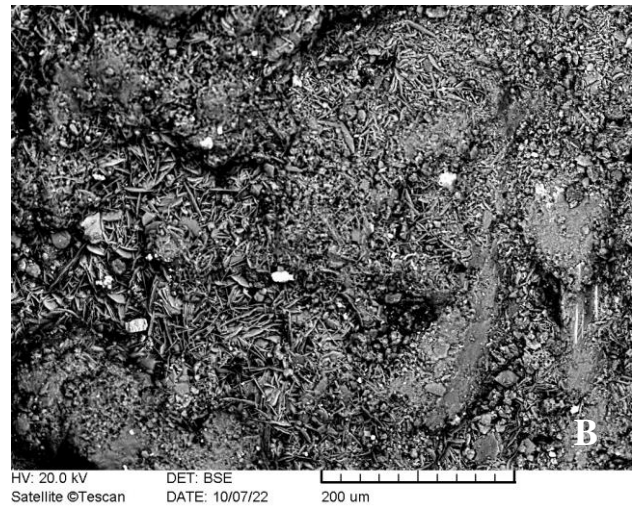
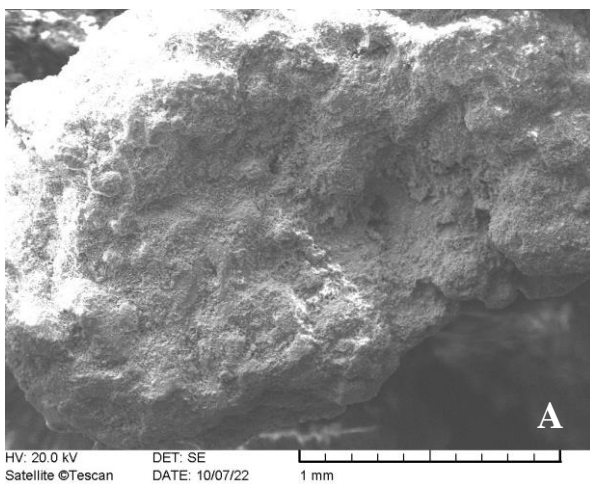


67. ábra: K3 mintában szereplő gipszkristályok energiadiszerzív röntgenspektruma

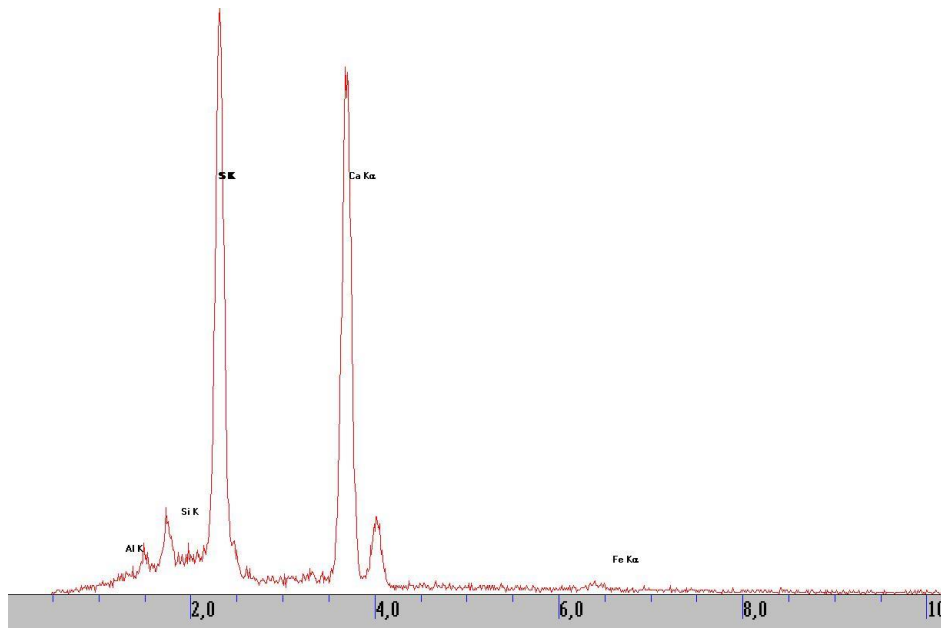
7.3. XIII. kerület, Vágány utca

7.3.1. V1 minta

A másodlagos elektronképen (68. ábra, A) egy hólyagos kéreg látható, ami tele van apró pórusokkal. A visszaszórt elektronképen (68. ábra, B) rengeteg hosszúkás, vékony tűszerű szemcsét vehető észre, ezek mind gipszkristályok. A lemezes morfológiával rendelkező kis részecskék a rétegszilikátok, amelyek agyagásvány mellett titánt is tartalmaznak. Továbbá a mintánkban sok vas – oxid is található, ez ismét az fémes fénnel rendelkező szemcsékből látható. Ahogy az az energiadiszperzív röntgenspektrumon is látható (69. ábra), a kalcium, illetve a kén csúcs kiugró értéket mutat, ebből következik az, hogy a mintánk magas gipsz ($\text{Ca}(\text{SO}_4)$) tartalommal rendelkezik, a mintán belül a Ca/S arány nagyon szór.



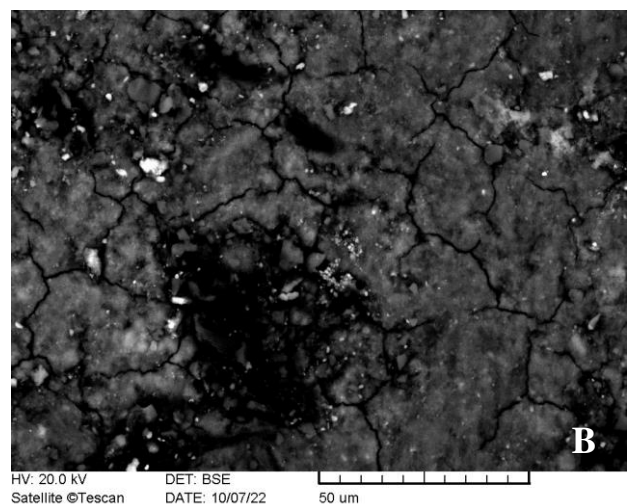
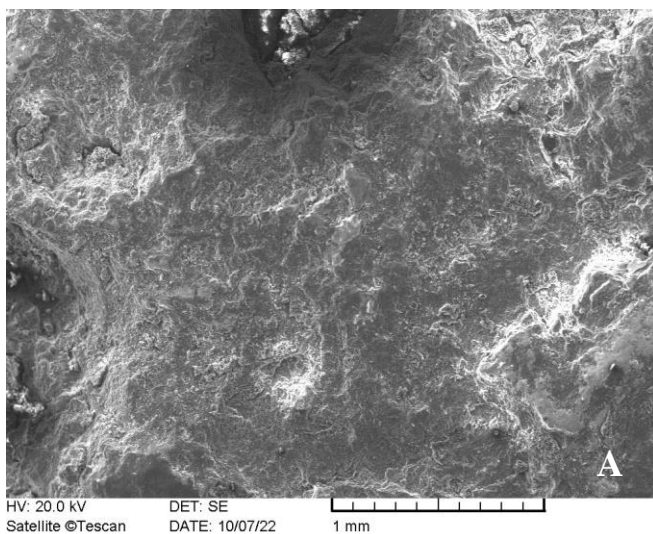
68. ábra: V1 minta másodlagos elektronképe (20 kV, 1mm) (A), V1 minta visszaszórt elektronképe (20 kV, 200 um) (B)



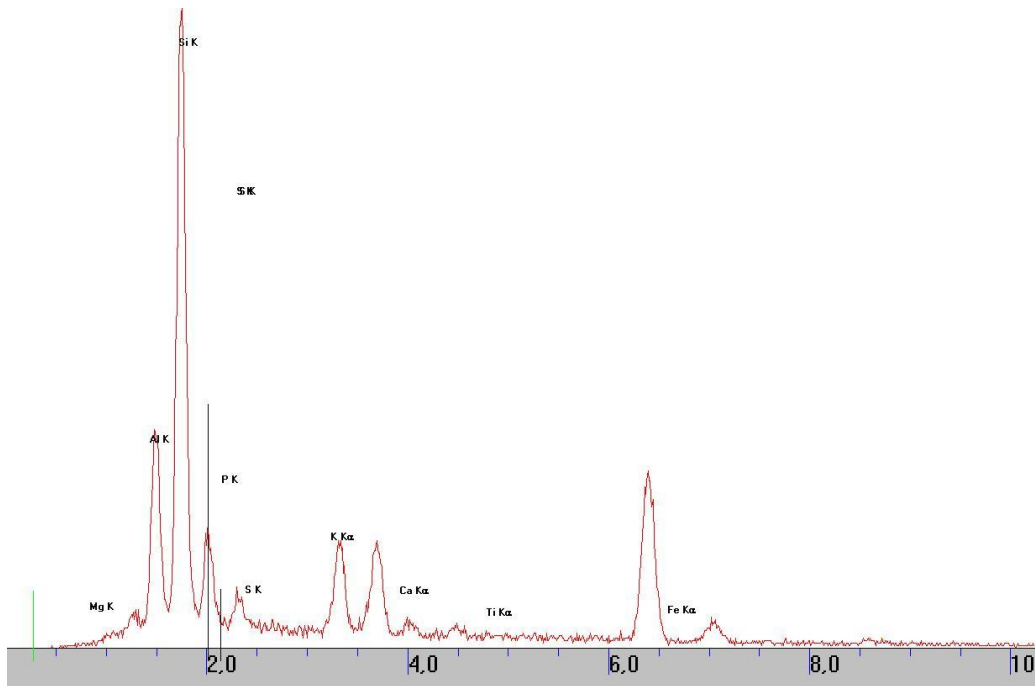
69. ábra: V1 mintában szereplő gipszkristályok energiadiszerzív röntgenspektruma

7.3.2. V2 minta

Ahogy az a másodlagos elektronképen (70. ábra, A) látszik, a V2 mintánk egy sokkal simább felszínnel rendelkezik, néhol repedéssel. A visszaszórt elektronképen többnyire lemezes morfológiájú szemcsék mutatkoznak, ezek foszfor tartalmú rétegszilikátok. Ahogy az az energiadiszerzív röntgenspektrumon is látható (71. ábra), a szilícium csúcs kiugró értéket mutat, ebből következik az, hogy a mintánk magas szilikát tartalommal rendelkezik.



70. ábra: V2 minta másodlagos elektronképe (20 kV, 1mm) (A), V2 minta visszaszórt elektronképe (20 kV, 50 um) (B)

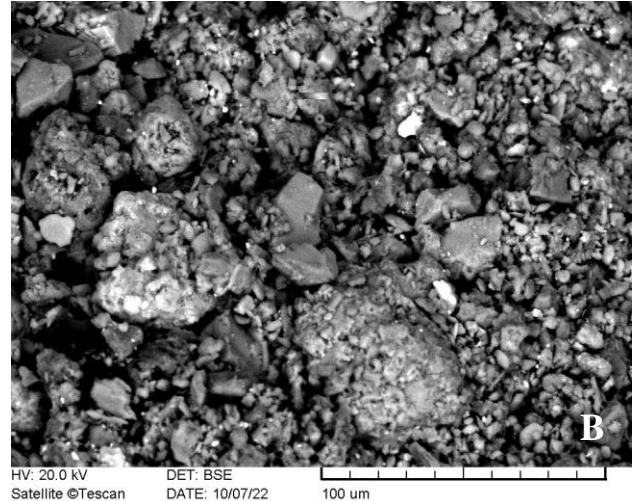
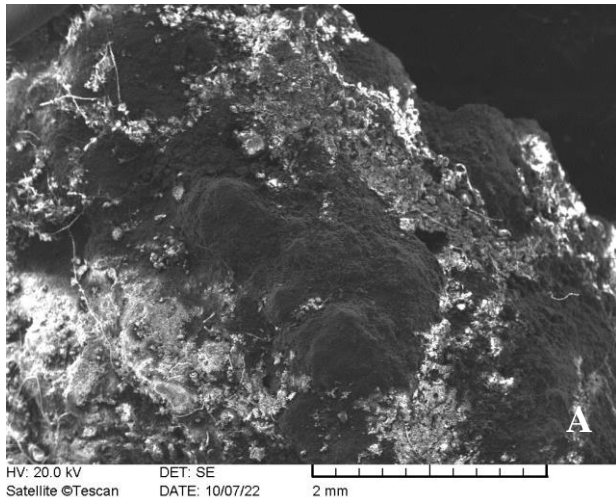


71. ábra: V2 mintában szereplő szilikátok energiadiszperzív röntgenspektruma

7.4. II. kerület, Ankara utca

7.4.1. A2 kéregminta

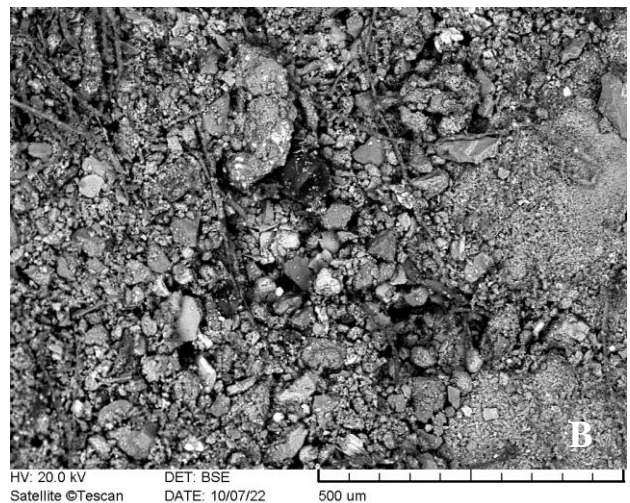
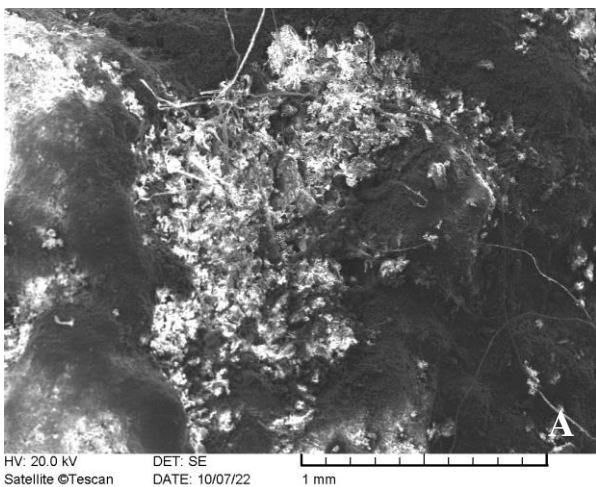
A másodlagos elektronképen (72. ábra, A) észrevehető, hogy a karfiolos szerkezet kialakulása elkezdődött. A minta összetétele nagy részben hasonló a V1 – es minta összetételével. A visszaszórt elektronképen (72. ábra, B) szembetűnőek a nagyobb méretű, szögletes dolomit részecskék, valamint a kisebb, de annál fényesebb szemcsék, amik ebben az esetben titán – dioxid és vas – trioxid szemcsék. Ezek mellett földes szerkezetű agyagásványok, valamint apró csillámlemez morfológiával rendelkező részecskék is láthatók, ezek a klór tartalmú szilikátok.



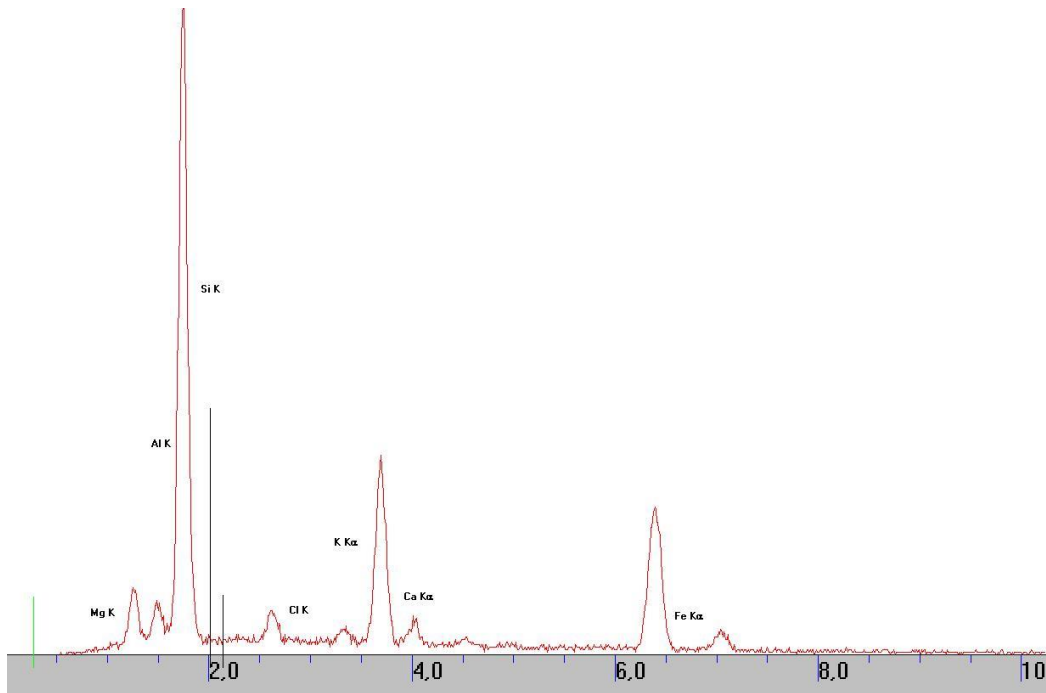
72. ábra: A2 minta másodlagos elektronképe (20 kV, 2mm) (A), A2 minta visszaszórt elektronképe (20 kV, 100 um) (B)

7.4.2. A3 minta

A másodlagos elektronképen (73. ábra, A) látható, hogy a mintánk nagyon koszos, a szennyeződések mellett különféle szálak is észrevehetőek. A visszaszórt elektronképen (73. ábra, B) leginkább a bal felső sarokban égre állított lemezek figyelhetők meg, ezek mind muszkovit szemcsék. A mintában a klór tartalom mind a csillámokban a rétegszilikátokban, mind a karbonátokban is megmutatkozik, ezek mellett a kisebb fémes fényű részecskék titántartalomra utalnak. Ahogy az az energiadiszperzív röntgenspektrumon is látható (74. ábra), a szilícium csúcs nagy intenzitással jelenik meg, ebből következik az, hogy a mintánk magas szilikát tartalommal rendelkezik.



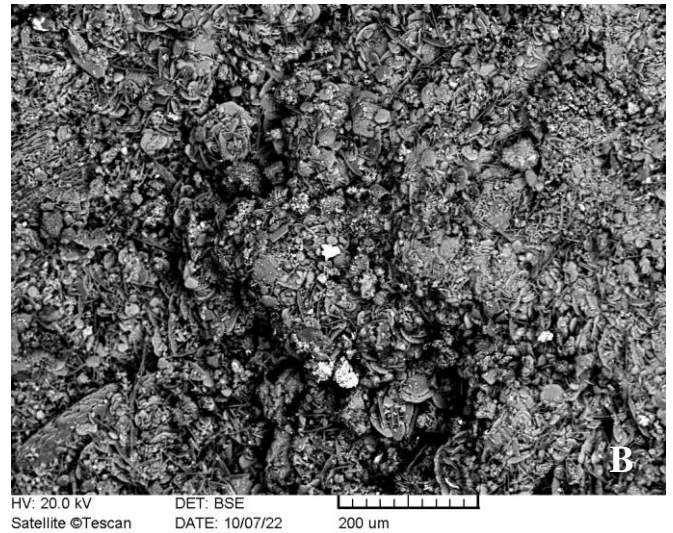
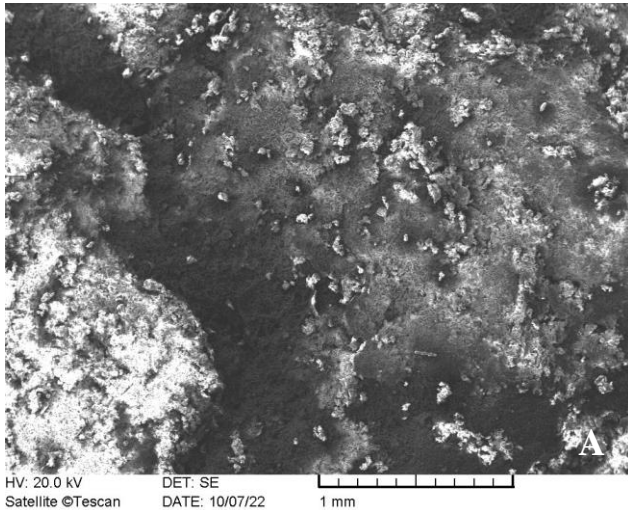
73. ábra: A3 minta másodlagos elektronképe (20 kV, 1mm) (A), A3 minta visszaszórt elektronképe (20 kV, 500 um) (B)



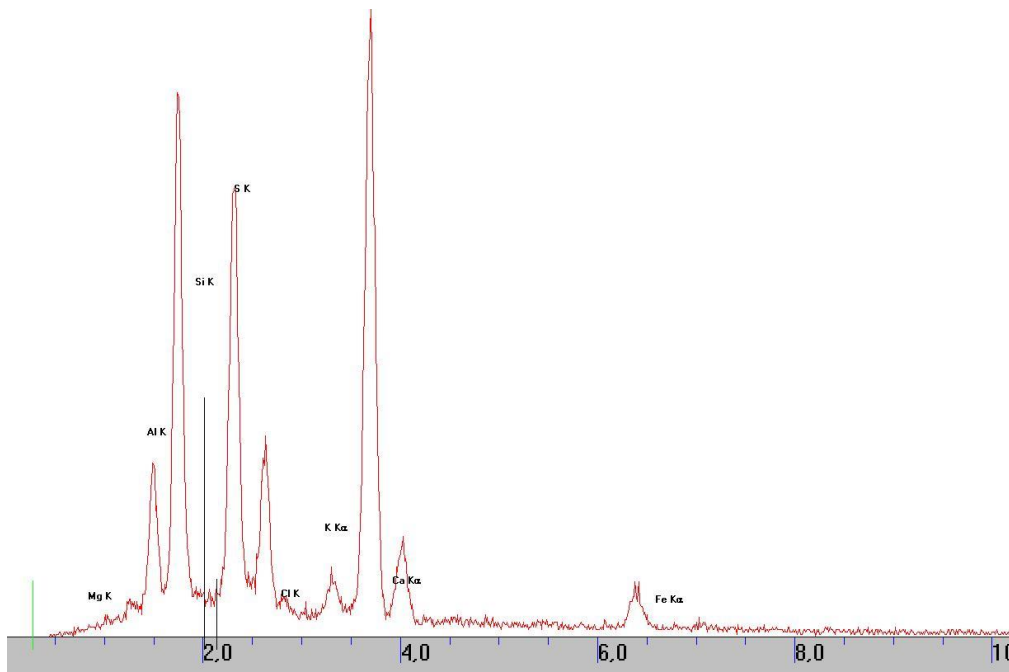
74. ábra: A3 mintában szereplő szilikátok energiadiszipatív röntgenspektruma

7.4.3. A5 minta

A másodlagos elektronképen (75. ábra, A) kis alakatlan porózus felületek láthatók. A visszaszórt elektronképen (75. ábra, B) nagy arányban hosszúkás, tűszerű gipszkristályok jelentkeznek. A lekerekített háromszög alakú kvarc szemcsék mellett kis fényes vas – oxid is látható. Ezek mellett a földes kinézetű agyagásványok itt is megjelennek, ennél a mintánál viszont ezek jelentős alumínium, illetve kálium tartalommal bírnak. Ahogy az az energiadiszipatív röntgenspektrumon is látható (76. ábra), az alumínium és a kálium spektruma kiugró értéket mutat, ebből következik az, hogy a mintánk magas alumínium és kálium tartalmú agyagásványokkal rendelkezik.



75. ábra: A5 minta másodlagos elektronképe (20 kV, 1mm) (A), A5 minta visszaszórt elektronképe (20 kV, 200 um) (B)

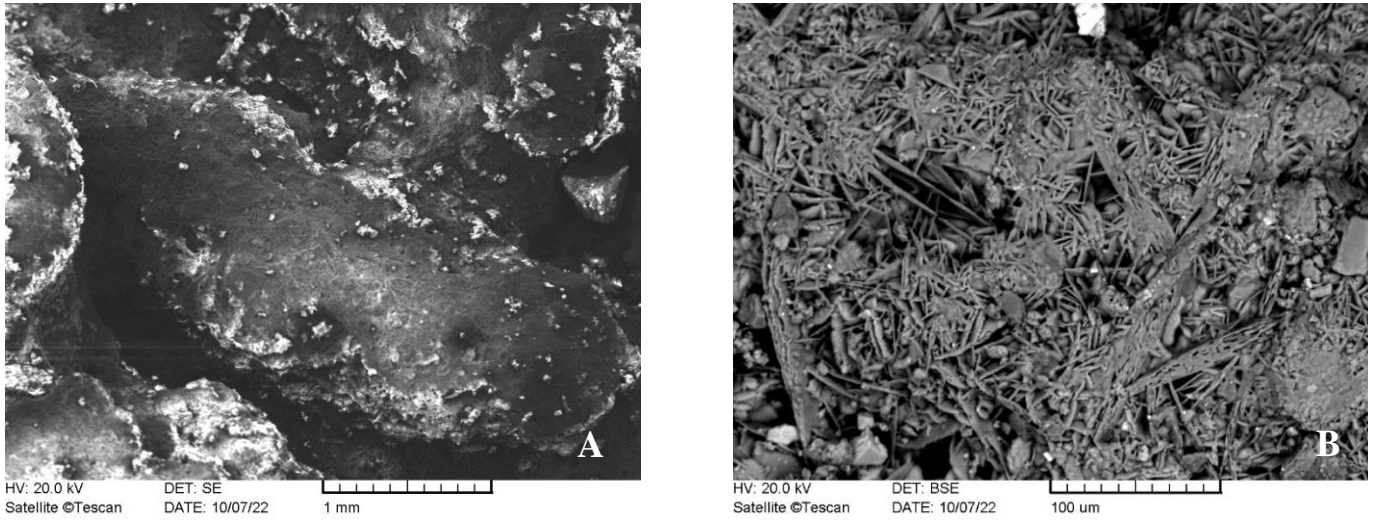


76. ábra: A5 mintában szereplő magas kálium és alumínium tartalommal rendelkező rétegszilikátok energiadiszperzív röntgenspektruma

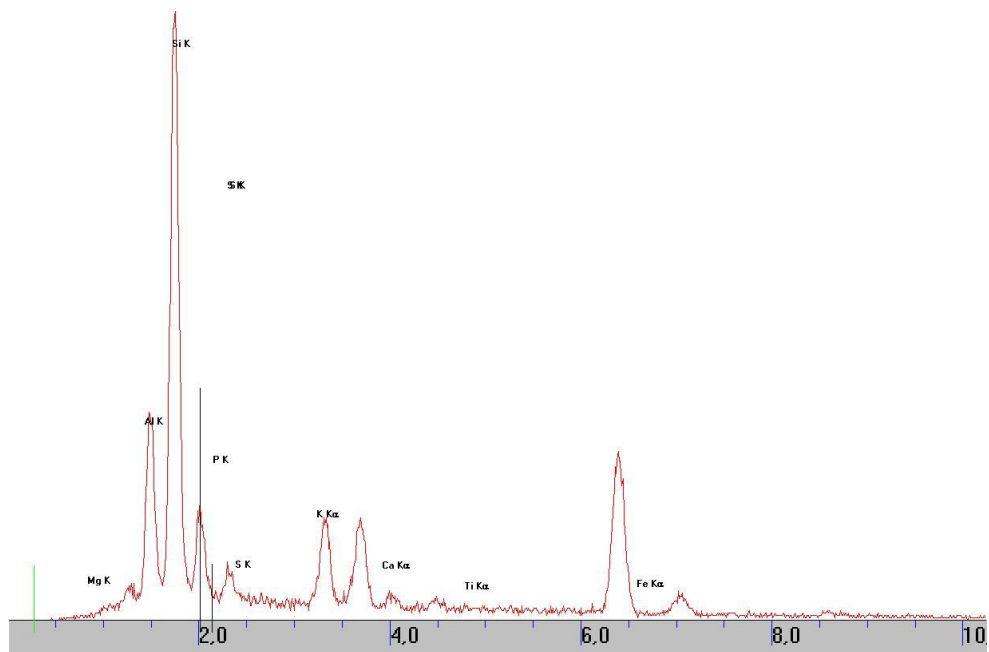
7.4.4. A6 minta

A másodlagos elektronképen (77. ábra, A) kis alakatlan porózus felületek mellett egyre feketébb kéreg jelenik meg. A visszaszórt elektronképen (77. ábra, B) nagy arányban hosszúkás, túszerű gipszkristályok jelentkeznek. A lemezes morfológiával rendelkező rétegszilikátok mellett fémes fényű vas – oxidok is láthatók. A vas tartalom itt olyan jelentős,

hogy a mintában levő rétegszilikátok is magas vas tartalommal bírnak. Ahogy az az energiadiszperzív röntgenspektrométeres képen is látható (78. ábra), a szilícium spektruma kiugró értéket mutat, ebből következik az, hogy a mintánk magas szilikát tartalommal rendelkezik.



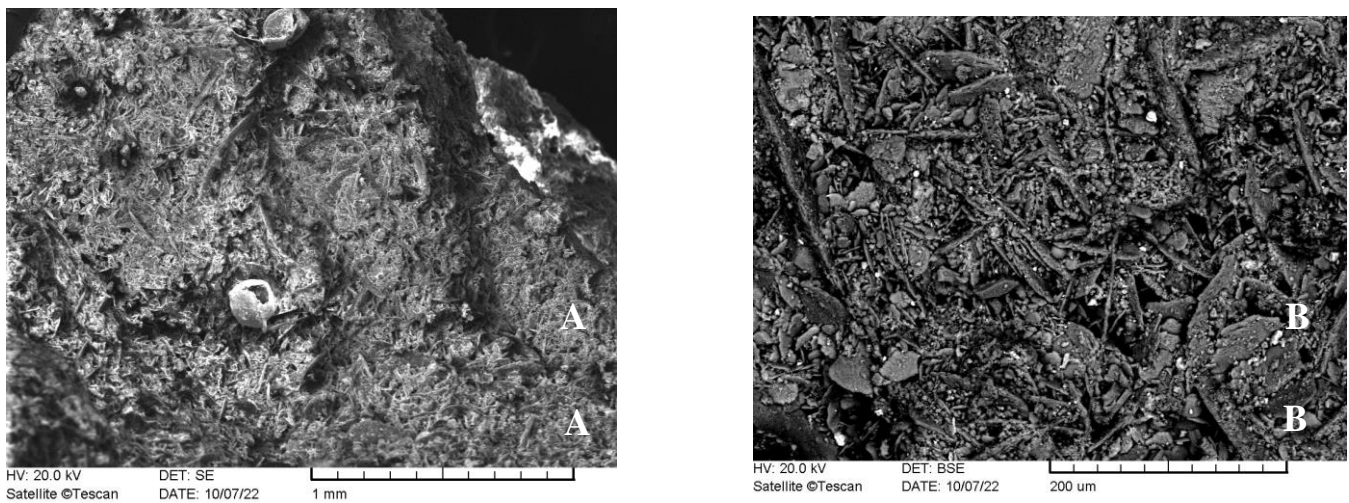
77. ábra: A6 minta másodlagos elektronképe (20 kV, 1mm) (A), A6 minta visszaszórt elektronképe (20 kV, 100 um) (B)



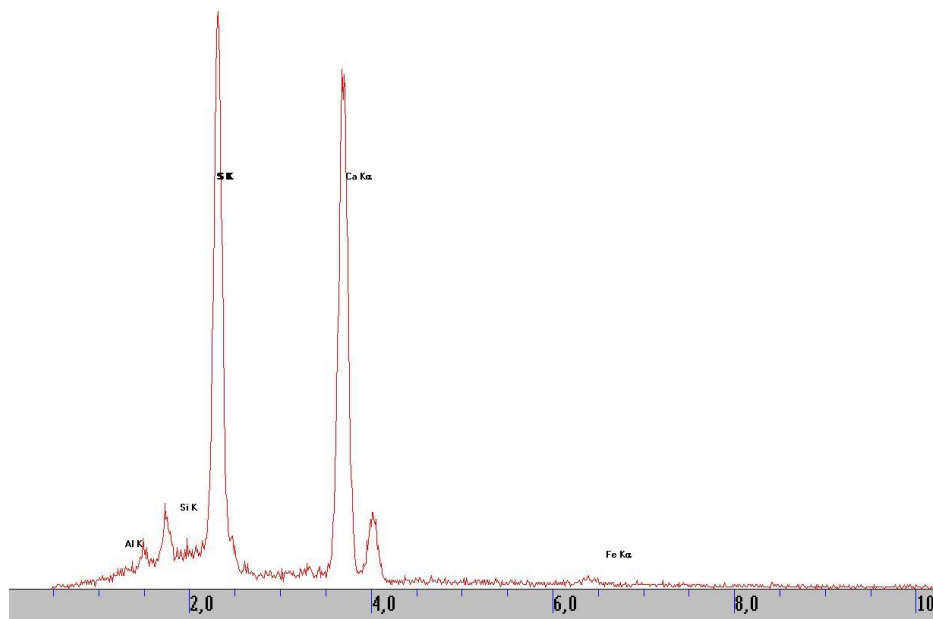
78. ábra: A6 mintában szereplő szilikátok energiadiszperzív röntgenspektroma

7.5. Pasarét, Széphalom utca – P3 minta

A másodlagos elektronképen (79. ábra, A) nagyon szálas, érdes felület jelenik meg. A visszaszórt elektronképen (79. ábra, B) nagyon nagy arányban hosszúkás, tűszerű gipszkristályok jelentkeznek. A mintában szögletes morfológiájú kalcit és diszperzív karbonát szemcsék is megjelennek, ezek azonban csak az 5 mm alatti mérettartományban láthatók. Ezek mellett kis fémes fényű titán – dioxid, illetve vas – trioxid részecskék, továbbá földes szerkezetű, gömb alakú agyagásványok is észrevehetők. Ahogy az az energiadiszperzív röntgenspektrumon is látható (80. ábra), a kalcium és a kén csúcsok kiugró értéket mutatnak, ebből következik az, hogy a mintánk magas gipsz ($\text{Ca}(\text{SO}_4)$) tartalommal rendelkezik.



79. ábra: P3 minta másodlagos elektronképe (20 kV, 1mm) (A), P3 minta visszaszórt elektronképe (20 kV, 200 um) (B)



80. ábra: P3 mintában szereplő gipszkristályok energiadiszperzív röntgenspektruma

8. Egészségügyi kockázat

A választott budapesti helyszíneken elemzett mészkőfelszíneken megjelenő fekete kéreg részletes szöveti vizsgálatával és kémiai elemzésével nem csak az egyes budapesti kerületek szennyezettségére tudunk következtetni, hanem egyben a szennyezett levegő környezetre és az emberi szervezetre gyakorolt hatásait is megmutatja. A dolgozat korábbi, 2.2.1 fejezete már részletesen bemutatja a szmog okozta betegségeket és annak egészségügyi hatását. Az a nemzetközi szakirodalomból is ismert (Slezakova tsai. 2011), hogy a légszennyezés hatása elsősorban tüdő és a légzőszervek károsodását okozza ezen belül a légszennyező anyagok közül a dolgozat bevezető fejezeteiben ismertetett por szennyeződés mellett az utóbbi években elsősorban a policiklikus aromás szénhidrogének (PAH) rákkeltő hatását elemezték (Boström et al. 2002, Okona-Mensah tsai. 2005, Kim tsai. 2013). Az európai épített környezetben, a köelemekre leülepedő por és fekete kéreg vizsgálata során megállapították, hogy az ülepedő por (Aruti tsai. 2012) és a fekete kéreg is PAH tartalmú (Farkas tsai. 2018), ezen belül a budapesti vizsgált épületeken található por és mállási kéreg is PAH tartalmú (Farkas tsai. 2018). Mindezek alapján azt a következtetést lehet levonni, hogy minél vastagabb és minél több szennyező anyagot tartalmaz egy fekete kéreg a vizsgált mészkőfalazaton, annál inkább veszélyes lehet az emberi szervezet számára. A szmogos levegőnek köszönhetően a lakosság jelentős részénél kialakulhatnak légzőszervi betegségek: hörghurut, tüdőgyulladás és hypoxia.

Mintáim elemzése során tapasztaltam, hogy vannak olyan mintavételi helyek, ahol a kéreg és az ülepedő por réteg vastagabb és sötétebb, ennek alapján feltételezhető, hogy ezek a jobban és kevésbé légszennyezett területekről származnak. Ez összecseng a budapesti mérőállomások légszennyezettségi mérési adataival is (ld. dolgozat korábbi fejezetében). A vizsgálataim során a kőbányai Kolozsvári utcát találtam a legszennyezettebbnek, ami nem meglepő, hiszen már szabad szemmel is tapasztalható volt, hogy ezen a helyszínen tűntek a legsötétebbnek a rétegek (41 – 43. ábra). Ez betudható a mintákban is mért extrém magas portartalomnak is és ehhez hozzájárul a megnövekedett vastartalom is, amit a vasúti sínpályák és a villamossín közvetlen közelsége okoz (66. ábra). A legkevésbé szennyezett helyszín Pasarét volt (56. ábra A, 57 – 59. ábra), ahol a minták szintén tartalmaztak porszemcséket és fémrészecskéket, azonban megközelítőleg sem olyan mértékben (79., 80. ábra), mint például az előbb említett Kolozsvári utcában. Mindemellett a mészkő falazaton lévő szennyeződésréteg már első ránézésre is sokkal világosabb színűnek tűnt, illetve közel sem rakódott le olyan vastagon a falazatra, mint az előbb említett helyszínen. Ezen információk alapján az a következtetés vonható le, hogy Budapest azon kerületei a leginkább érintettek az erős légszennyezés kapcsán, ahol sűrűn közúti

közlekedés. Ennek hatását még fokozhatja avasúti, illetve villamos forgalom jellemző, mint például V., VI., VIII., X. kerület. Ezzel ellenkezőleg Budapest legkevésbé szennyezett területei közé sorolhatók a közúti közlekedéssel kevésbé terhelt, járművek csekélyebb forgalmával rendelkező, kevésbé forgalmasabb, zöldebb régiók, mint például II., XI., XII. kerület. Mindezek alapján a minták mérési eredményeit is figyelembe véve az emberi egészségre jelentős kockázattal bíró és kevésbé kockázatos minta kategóriákat különítettem el. Ezt a vöröstől (kockázatos) a zöld színig (egészségre legkevésbé kockázatos légszennyezettségű) terjedő színskálával jellemeztem (7. táblázat).

Kőbánya, Kolozsvári utca 47.	II.kerület, Rózsadomb, Ankara utca	XIII.kerület, Vágány utca	Simmelweis Orvostudományi Egyetem I. sz. Sebészeti Klinika (Üllői út 26.)	II. kerület, Pasarét, Széphalom utca, villamossín alatti mészkőfal
------------------------------------	--	------------------------------	---	---

7. táblázat: A minta elemzések alapján az egyes helyszínek egészségügyi kockázatai besorolása: egészségre kockázatos – piros és a legkevésbé kockázatos - zöld légszennyezettségű területek

9. Összefoglalás

Dolgozatomban először bemutattam a legfőbb légszennyezés típusokat és azok egészségügyi hatásait, kitérve olyan erősen légszennyezett területekre, mint az egykori London. Ezen felül ismerttettem a budapesti légszennyezés mérő rendszert, amely segít a mészkő felületeken bekövetkező elváltozások hatásának megértésében, a helyi szennyeződés mértékének megadásában. A vizsgálatokat Budapest 5 különböző területéről származó mintákon végeztem el. A mintavételezést követően 9 mintát jelöltem ki laboratóriumi vizsgálatra. Fontosnak tartottam, hogy mind belvárosi, mind külvárosi eltérő légszennyezettségű helyszíneket tanulmányozzak.

A részletes szöveti megfigyeléseket és a kémiai elemzéseket pásztázó elektronmikroszkóppal végeztem, melynek során az adott minta összetételére voltam kíváncsi. Az első helyszín a Semmelweis Orvostudományi Egyetem I. sz. Sebészeti Klinika épülete volt az Üllői út 26. szám alatt. Innen az S3 – as mintát vizsgáltam, aminél a sok szálas, túszerű gipszkritály mellett a teljes kéreg egy „karfiolos” megjelenést mutatott, mindemellett pedig magas vas – oxid tartalmat is. A második helyszín Kőbánya volt, azon belül is a Kolozsvári utca 47., ahol a villamossín melletti mészkőfalról gyűjtött K3 – as mintát tanulmányoztam. Ebben a mintában

volt a legtöbb vas – oxid, emellett még az előző mintától eltérően titán – dioxidot is tartalmazott, valamint a nyúlt, túszerű gipszkristályok helyett lemezes morfológiával rendelkező karbontásványokat lehetett észrevenni. A következő helyszín a 13. kerületi Vágány utca volt, ahol a vasúti mészkőkerítésről vett V1 és V2 mintákat vizsgáltam. Amíg a V1 minta tele volt apró pórusokkal, addig a V2 minta egy sokkal simább felszínű darab volt tele kis repedésekkel, valamint az előző vizsgálatoknál nem látott foszfor tartalmú szilikáttal. A hasonlóság a fentiekben említettekkel kapcsolatban viszont a jellemző az agyagásvány - , valamint a magas vas – oxid tartalom. A belvárosból kifelé haladva a következő helyszín a 2. kerületben az Ankara utca volt, ahol az autópálya melletti támfalról gyűjtött A3, A5 és A6 minta, valamint az A2 kéregmintát elemeztem. A négy mintában közös jellemző volt a klór jelenléte, ami eltér az előző minták összetételétől. Mindemellett elmondható, hogy az A2 kéregminta összetétele nagy részben hasonlított az előző helyszínről gyűjtött V1 – es minta összetételéhez, valamint az fentiekkel közös jellemző még az agyagásvány tartalom is. Az utolsó állomás Pasarét volt, azon belül is a Széphalom utcában lévő mészkő falazat, ahonnan a P3 – as jelölésű mintát vizsgáltam meg. A jellemző magas vas – oxid és agyagásvány tartalom itt is jelen volt, emellett még kalcit, illetve diszperz karbonát is látható volt.

10. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni konzulenseim, Dr. Habil Török Ákos és Kis Annamária segítségét, munkáját és támogatását, illetve, hogy egyetemi teendőik mellett időt szakítottak a dolgozatomra és iránymutató tanácsokkal láttak el.

11. Irodalomjegyzék

A hörghurut tünetei és kezelése (2022): Házipatika www.hazipatika.com/betegsegek/horghurut

Látogatás dátuma: 2022.09.12.

Arruti, A., Fernández-Olmo, I., Irabien, A., 2012. Evaluation of the urban/rural particle bound PAH and PCB levels in the northern Spain (Cantabria region). *Environ. Monit. Assess.* 184, 6513-6526. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2437-4>

A szmog csökkentésére irányuló módszer (2012): Vgf & hkl <https://www.vgfszaklap.hu/lapszamok/2012/majus/2362-a-szmoz-csokkentese-re-iranyulo-modszer> Látogatás dátuma: 2022. 09. 21.

Az emberi tevékenység hatása a légkörre - A szmog: Sulinet Tudásbázis <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/foldrajz/meteorologia/az->

[emberi-tevekenyseg-hatasa-a-legkorre-a-szmoz/a-szmoz](#) Látogatás dátuma: 2022.09.20.

Boström, C-E., Gerde, P., Hanberg, A., Jernström, B., Johansson, C., Kyrklund, T., Rannug, A., Törnqvist, M., Victorin, K., Westerholm, R., 2002. Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air. *Environ. Health Persp.* 110, 451-488. <https://doi.org/10.1289/ehp.02110s3451>

Brochitis, azaz hörghurut (2019): Vaszildoktor hu <https://www.vaszildoktor.hu/2016-03-08-20-55-08/betegsegek-a-z/79-bronchitis>

Calparsoro, E., Maguregui, M., Giakoumaki, A., Morillas, H., Madariaga, J.M., 2017: Evaluation of black crust formation and soiling process on historical buildings from the Bilbao metropolitan area (north of Spain) using SEM-EDS and Raman microscopy. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 24, 9468-9480. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8518-3>

Clean Air Act 1956: The Health Foundation <https://navigator.health.org.uk/theme/clean-air-act-1956> Látogatás dátuma: 2022.09.15.

Davis D, Bell M, Fletcher T (2003): A Look Back at the London Smog of 1952 and the Half Century Since. *Environmental health perspectives* 110, A734-5. DOI: 10.1289/ehp.110-a734.

De Kock, T., Van Stappen, J., Fronteau, G., Boone, M., De Boever, W., Dagrain, F., Silversmit, G., Vincze, L., Cnudde, V., 2017. Laminar gypsum crust on lede stone: Microspatial characterization and laboratory acid weathering. *Talanta* 162, 193-202 <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.10.025>

Farkas O, Siegesmund S, Licha T, Török Á 2018. Geochemical and mineralogical composition of black weathering crusts on limestones from seven different European countries. *Environmental Earth Sciences*, 77: (5) Paper 211. 20 p, (<https://doi.org/10.1007/s12665-018-7384-8>)

Great Smog of London (2019): Britannica <https://www.britannica.com/event/Great-Smog-of-London> Látogatás dátuma: 2022.10.15.

Hypoxia and hypoxemia (2022): WebMD www.webmd.com/hypoxia Látogatás dátuma: 2022.09.12.

Ilyen volt a tömegvilkos szmog (2012): Origo. <https://www.origo.hu/idojaras/20121203-a-tomeggyilkos-szmog-40-eve-tortent-a-londoni-fustkod-legszennyezes.html> Látogatás dátuma: 2022.05.20

Kim, K-H., Jahan, S.A., Kabir, E., Brown, R.J.C., 2013. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. *Environ. Int.* 60, 71-80. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.07.019>

Környezet: Központi Statisztikai Hivatal
https://www.ksh.hu/stadat_eves_5?fbclid=IwAR25PVz2U_fJ82kEr407Vl6Z11ippkycT0RUF3tVF9n47cN-JMhpRQdsLF8 Látogatás dátuma: 2022.09.12

Légszennyezők (2023): Légszennyezés hu <https://www.legszenyez.es.hu/legszenyezo-anyagok/legszenyezk/> Látogatás dátuma: 2022.09.12.

London, 1952: 12 ezer embert ölt meg a szmog (2015): 24 hu <https://24.hu/tudomany/2015/12/05/london-1952-12-ezer-embert-olt-meg-a-szmog/> Látogatás dátuma: 2022.05.17.

Okona-Mensah, K.B., Battershill, J., Boobis, A., Fielder, R., 2005. An approach to investigating the importance of high potency polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the induction of lung cancer by air pollution. *Food Chem. Toxicol.* 43 (7), 1103-1116. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2005.03.001>

Recollection of Theresa P. (2012): The Guardian <https://www.theguardian.com/environment/> Látogatás dátuma: 2022.09.12.

Schiavon N, Zhou L (1996): Magnetic, Chemical, and Microscopical Characterization of Urban Soiling on Historical Monuments, *Environmental Science & Technology*, 30 (12), 3624-3629. DOI: 10.1021/es9604774

Slezakova, K., Castro, D., Begonha, A., Delerue-Matos, C., Alvim-Ferraz, M.da C., Morais, S., Pereira, M. do C., 2011. Air pollution from traffic emissions in Oporto, Portugal: Health and environmental implications. *Microchem. J.* 99, 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2011.03.010>

That Deadly Fog in 'The Crown' Was Real. Here's the Rest of the Story (2020): Earthjustice <https://earthjustice.org/article/that-deadly-fog-in-the-crown-was-real-heres-the-rest-of-the-story> Látogatás dátuma: 2022. 09. 21.

The Great Smog of 1952 | A Short Documentary (2021): Fascinating horror.
www.youtube.com/The-Great-Smog-of-1952 Látogatás dátuma: 2022.05.25.

The Great Smog of London: Air pollution pt. 1 (2022): ACS
<https://www.acs.org/pressroom/tiny-matters/the-great-smog-of-london-air-pollution-pt-1.html> Látogatás dátuma: 2022.09.15.

Török Á (2008b): Black crusts on travertine: factors controlling development and stability, *Environmental Geology*, 56, 583-597. DOI 10.1007/s00254-008-1297-6

Török Á (2012): Pásztázó elektronmikroszkóp, 21-25.

Török Á, Licha T, Simon K, Siegesmund S (2010): Urban and rural limestone weathering; the contribution of dust to black crust formation. *Environmental Earth Sciences* 63(4), 675-693. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0737-6>

Tudógyulladás: Wikipedia www.wikipedia.org/tudogyulladas Látogatás dátuma: 2022.06.12.

Zichler Sz, Ocskay R, Salma I (2007): Budapest levegőszennyezettségének története, Levegő Munkacsoport, Budapest, Magyarország
https://www.levego.hu/sites/default/files/kiadvanyok/bp_legszennyezettseg.pdf