

Fa évgyűrű analízis módszerének ismertetése és alkalmazása: környezetgeokémiai vizsgálatok Ajka városában és környékén

Koczur Szilvia

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar,
Kőzettani és Geokémiai Tanszék,
Litoszféra Fluidum Kutató Labor
Környezettan BSc

Témavezetők:

Szabó Csaba PhD

ELTE TTK, FFI, Kőzettani és Geokémiai Tanszék,
Litoszféra Fluidum Kutató Labor

Völgyesi Péter

Doktorjelölt, ELTE TTK, FFI, Kőzettani és Geokémiai Tanszék,
Litoszféra Fluidum Kutató Labor



Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet
Litoszféra Fluidum Kutató Labor

Budapest

2014. január 27.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	5
2.	Fák környezetgeokémiája	6
2.1.	A fatörzs szerkezete	6
2.2.	A fa évgyűrű vizsgálat alkalmazhatósága	9
2.3.	Hazai dendrológiai kutatások.....	9
3.	Kutatási terület.....	10
3.1.	Földrajzi és természeti környezet	10
3.2.	Ipartörténet.....	11
	Szénbányászat	11
	Az Ajkai Hőerőmű.....	14
	Egyéb ipari tevékenységek.....	17
1.	Mintavételi helyszín kiválasztása	17
1.1.	Devecseri Széki-erdő Természetvédelmi Terület.....	19
1.2.	Ajka-Csingervölgy Parkerdő	22
1.3.	Ajka város	24
1.	Mintavételezés előkészítése és mintavételezés	26
1.	Mintaelőkészítés	31
1.1.	Alkalmazható módszerek bemutatása	31
1.2.	Saját minták feldolgozása	33
2.	Eddigi műveletek összegzése és következtetések	37
3.	Köszönetnyilvánítás.....	38
4.	Irodalomjegyzék.....	39

Ábra- és táblázatjegyzék

1. ábra	Tilia típusú vastagodás (Bóka et al., 2007).....	7
2. ábra	Homoxyl (bal oldali kép) és heteroxyl (jobb oldali kép) fatest szerkezetének térbeli ábrázolása (BÓKA ET AL., 2007)	8
3. ábra	Ajka elhelyezkedése	10
4. ábra	Az ajkai szénmedence (KOZMA, 1995)	12
1. táblázat	Ajka széntermelése a kezdetektől 1990-ig (KOZMA, 1995)	13

5. ábra Ajka és környéke (MŰHOLDFELVÉTEL). Az Ajkától északnyugatra és délkeletre fekvő erdők (sötétzöld összefüggő halmazok) a mintavételi területet jelölik.	18
6. ábra Részletes térkép Ajkáról és a három mintavételi területről. A kék szaggatott vonalak jelölik a három mintavételi területet. Az egyes területeken belül a mintázott fákat pontok jelölik. A zöld pontok a hozzátartozó számokkal a fenyőfélék, a barnák a tölgyek mintavételi helyeit és a minták jelét jelölik. Al: Alumínium ipar, CP: Szén erőmű.	19
2. táblázat Devecseri Széki-erdőben mintázott fák fontosabb adatai (TEREPI MINTAVÉTELI JEGYZŐKÖNYVEK ALAPJÁN)	21
3. táblázat Ajka-Csinger Parkerdőben mintázott fák fontosabb adatai (TEREPI MINTAVÉTELI JEGYZŐKÖNYVEK ALAPJÁN)	23
4. táblázat Ajka városban mintázott fák fontosabb adatai (TEREPI MINTAVÉTELI JEGYZŐKÖNYVEK ALAPJÁN)	25
7. ábra Növedékfúró részei: Extractor Tray - minta kivevő kanál, Auger - fúró, Handle - fogantyú (HTTP://PUBS.EXT.VT.EDU)	26
8. ábra A növedékfúró és a minta kivevő kanál fél fordulat visszafelé tekerés után. AJK22TR erdeifenyő minta (TEREPI FELVÉTEL)	27
9. ábra A fúrómag kivétel után azonnal műanyag szívószálba tétetett (TEREPI FELVÉTEL)	28
10. ábra Fúrómag minta felszámozva, fekete nyíllal jelölve a fa közepe felé mutató vége (TEREPI FELVÉTEL)	28
11. ábra A fúrás helyét vizes alapú faseb és oltványkezelő pasztával kezeltük (TEREPI FELVÉTEL)	29
12. ábra A terepen használt mintavételi jegyzőkönyv	30
13. ábra Fekete luc (Picea mariana) törzsének keresztmetszete (WATMOUGH, 1999)	32
14. ábra Kb. 80 µm átmérőjű lézer ablációs lyukak (WATMOUGH, 1999)	32
15. ábra Összefoglaló ábra a mintaelőkészítésről.....	35
16. ábra Analitikai mérleg és elektrosztatikus töltést csökkentő berendezés.....	36
17. ábra Teflon edények és minták a mikrohullámú feltáráshoz.....	36
18. ábra Az elmúlt 72 év és az ajkai ipari tevékenység kutatás szempontjából fontos dátumai az AJK012-es fenyő minta alapján.....	38

1. Bevezetés

Az ember évezredek óta tartó természetátalakító tevékenységének lenyomatai számos helyen megjelennek környezetünkben, így a fák évgyűrűiben is. Régóta ismeretes, hogy a fa évgyűrűk növekedését befolyásolják a különböző klimatikus hatások és a fő éghajlati tényezők változása nyomon követhető a gyűrűk fejlődéséből, így hosszú időre visszamenőleg képet kaphatunk a klímaváltozásokról (FRITZ, 1976). Számos szerző kimutatta, hogy a levegő szennyezése is befolyásolhatja – növelheti vagy csökkentheti – a gyűrűk vastagságát (BENOIT ET AL., 1982; THOMPSON, 1981; FOX ET AL., 1986).

Mivel a népesség egyre nagyobb hányada él városokban, vagy azok környékén, ezért az ilyen területek állapotának (és változásának) felmérése fontos feladat. Az ENSZ jelentése szerint 2010-ben Magyarország népességének (9 984 ezer fő) 68 %-a élt városi környezetben (ENSZ, 2011).

A dolgozat munkahipotézise, hogy a fák a környezetükből képesek beépíteni a szennyező elemeket az évgyűrűikbe, így azok vizsgálatával képet kaphatunk az elmúlt évtizedek ipari tevékenységének a környezetre gyakorolt hatásáról. A dolgozat célja a dendrokémia alkalmazhatóságának bemutatása.

A vizsgált terület Ajka és környéke, amely a korán kezdődő iparosodás (19. század vége) és városiasodás következtében a huszadik század végére az egyik legszennyezettebb magyarországi ipari várossá vált. Bár a legtöbb ipari tevékenység mára már lecsökkent, leállt, vagy korszerűbbé vált, a közel másfél évszázados szénbányászat, az erre épülő hőerőművek, a timföld- és az üveggyár üzemelése jelentős környezeti ujjlenyomatot hagyott maga után.

A városban található - és a mintavételezés szempontjából megfelelő - fákon kívül két, városon kívüli helyszínen történt mintavétel. Az uralkodó szélirány felől, Ajkától északnyugatra található a Devecseri Széki-erdő Természetvédelmi Terület (az innen gyűjtött minták még mentesek a városi levegő szennyező hatásaitól). Továbbá az Ajka-Csingeri Parkerdő (amely Ajkától délnyugatra található) fái az iparvároson áthaladó szennyezett levegőn nevelkedtek.

A dolgozatban ismertetem a fák környezetgeokémiai szempontból fontos tulajdonságait, a dendrokémiai vizsgálati módszerek lényegét, a mintavételezés előkészítését és folyamatát, valamint a mintaelőkészítés lépéseit.

2. Fák környezetgeokémiája

Dendrokémiai mintavételezésre nem minden fafaj alkalmas, azonban annyi megállapítható, hogy a mérsékelt övezetben az évenkénti növekedés miatt a fák felhasználhatók ilyen célú kutatásokra, mivel az aktív és passzív növekedési időszakok egymást követve tavasszal világos, míg télen egy sötétebb, vékonyabb gyűrűréteget hoznak létre (FRITTS, 1976). Fontos kiemelni, hogy a fák nem passzív lenyomatai a külső környezetnek, így az egyes fák biológiai hátterét (pl. tápanyagfelvevő képesség, szállító rendszer, anyagcsere folyamatok) is érteni kell ahhoz, hogy a dendrokémiai adatsor elemzéséből a megfelelő következtetéseket lehessen levonni.

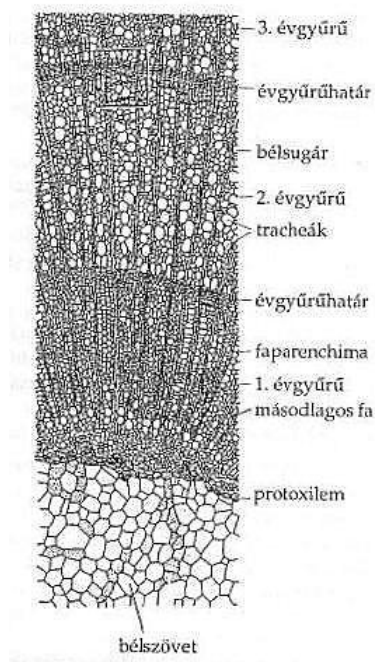
A fák mintavételezésének nagy előnye, hogy sok fafaj extrém nagy fémkoncentráció mellett is életben marad. A fémek koncentrációjának növekedése a fában nem feltétlenül jár együtt a gyűrűk vékonyodásával. Az, hogy a toxikus fémek miképpen jutnak be a fába nem egyértelmű. Három bejutási útvonal különíthető el – a gyökéren, leveleken vagy kérgen keresztül –, ám az, hogy melyik útvonal a legfontosabb, nem tisztázott (LEPP, 1974). Ha a fém vándorlása a vastag háncsrészen vagyis a kérgen keresztül történik - lévén ez egy lassú folyamat – a fák évgyűrűi az elemek időbeli változásának monitorozásra alkalmatlanok. Az esszenciális elemek (pl. Cu, Zn) növekedése a külső gyűrűk felé tendál, míg a nem esszenciális fémek (pl. Cd, Pb) nem mutatnak radiális eloszlást (WATMOUGH, 1999A). Valószínűsíthetően a kérgen keresztüli felvétel a fő útvonala a fába való beépülésnek az olyan fontos fémeknél, mint az ólom (Pb). Azonban az, hogy a felvétel a kérgen vagy a talajon keresztül történik-e, nagyban függ a fa fajtájától, a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaitól és a csapadék kémiai összetételétől is (WATMOUGH, 1997). A különböző fafajok közti eltérés -, mint az elemek eloszlását befolyásoló tényező - nem zárható ki, de úgy tűnik, hogy a lomb által abszorbeált fém mennyisége és az áthelyeződés mértéke a fa egyéb részeibe a kapott dózistól (a toxikus elemek mennyiségétől) függ (WATMOUGH, 1999B).

2.1. A fatörzs szerkezete

A fatermetű növények évszázadokig, akár évezredekig is élhetnek, miközben *Tilia*- vagy *Ricinus*-típusúnak nevezett vastagodással a szállítószöveik folyamatosan képződnek, ezáltal pedig száruk (törzsük) vastagodik. A mérsékelt éghajlaton kifejlődő fák az évszakok váltakozása miatt ún. évgyűrűs szerkezetet mutatnak. Ez a struktúra jól tükrözi a fa élete során lejátszódott különböző változásokat, legyen az éghajlati (lehülés,

száraz és esős periódusok) vagy egyéb környezeti tényező. Az ilyen vizsgálatokhoz elegendő egy sugárirányú fűrőmagot venni a fa törzséből, ami a legkíméletesebb mintavételi eljárás (pl. GRISSINO MAYER, 2003).

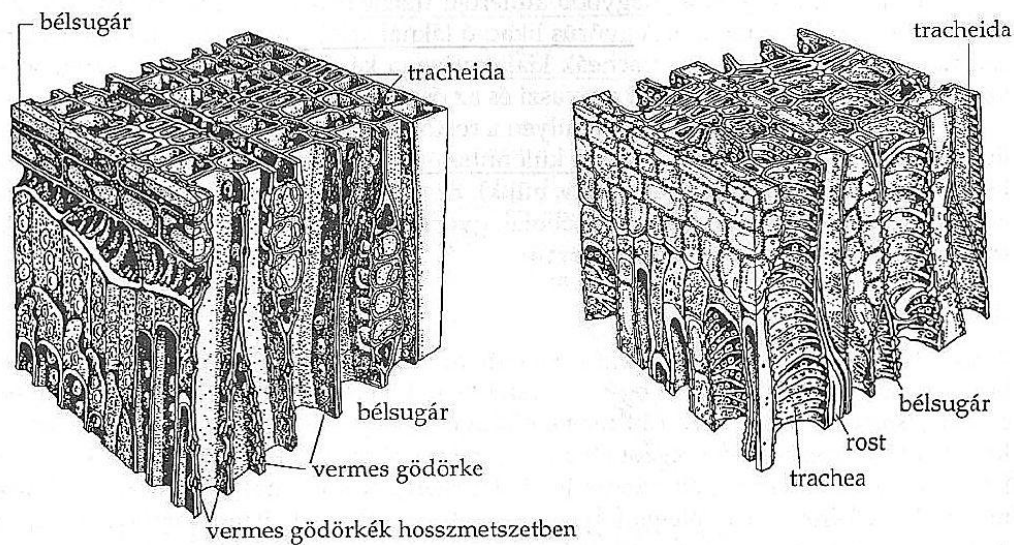
A fa évgyűrűit az egy év alatt keletkezett xilém elemek összessége (protoxilém, másodlagos xilém, tracheák) alkotja (BÓKA ET AL., 2007) (1. ábra). Tavasszal a téli nyugalmi periódust követően a fák vízfelvétele hirtelen intenzívvé válik a lombzat kialakítása és a vegetációs periódus kezdete miatt, ekkor tágabb üregű, viszonylag vékony falú sejteket képeznek. Az őszi időszakban, mikor a növény vízfelvétele csökken, szűkebb, de vastagabb falú sejtek képződnek. Ez, az úgynevezett tavaszi és őszi pászták váltakozása eredményezi a fák gyűrűs szerkezetét. A téli időszakban átmenetileg szünetel a sejtkepződés, ekkor egy évgyűrűhatár jön létre, majd az új évgyűrű kialakulása a tavaszi pásztával kezdődik. Ezek a periódusok jól megfigyelhetők egy-egy sugárirányú fűrőmagban.



1. ábra Tilia típusú vastagodás (Bóka et al., 2007)

Bár a fent ismertetett szerkezeti felépítés minden fatermetű növény esetében hasonló, a nyitva- és zárwatermő fatest sejtjes elemeinek összetételében jelentős különbségek vannak. A nyitwatermőkre a homoxyl, a zárwatermőkre pedig a heteroxyl fatesttípus jellemző. A homoxyl (homogén xilém) fákban nincsenek külön szklerenchimatikus szilárdító rostok, a fát csak egyféle szállító sejt, a tracheida

(viszonylag kis átmérőjű sejt) építi fel, amely a szállítás mellett a szilárdítás feladatát is ellátja (2. ábra).



2. ábra Homoxyl (bal oldali kép) és heteroxyl (jobb oldali kép) fatest szerkezetének térbeli ábrázolása (BÓKA ET AL., 2007)

A nyitvatermők a faipari megkülönböztetés szerint az ún. puhafák közé tartoznak, vagyis a fa testét alkotó sejtek falában több cellulóz és kevesebb lignin található. Ilyen nyitvatermők például a fenyőfélék (*Pinaceae*) családja is, amelyeket a dendrokémia tárgyal (WATMOUGH, 1999). A heteroxyl (heterogén xilém) fák (2. ábra) belül az évgűrűk szerkezete alapján két típust különíthető el. Az ún. gyűrűs likacsú fáknál (pl. hársfa) a nagy átmérőjű tracheák kialakulása szinte kizárólag a tavaszi pásztára szorítkozik, az őszi pásztában csak szűkebbek képződnek. A szórt likacsú fáknál (pl. csertölgy) a korai és a késői pászta nem különül el határozottan, egész évben nagyjából egyenletesen keletkeznek a kisebb és nagyobb átmérőjű tracheák. A cellulóz és lignin arány alapján a heteroxyl fákban belül növény szerkezeti szempontból keményfát és puhafát különíthetünk el. A puhafák gyorsan nőnek, nem gesztelkednek (geszt: fatest belső évgűrűi, amelyek nem vesznek részt a szállításban, a mikrobiális lebontásnak ellenállnak), hanem gyorsan odvasodnak (pl. nyárfák). A keményfák lignintartalma elérheti akár a 30 %-ot is, ilyenek például a bükk- vagy a tölgyfák, amelyeket szívesen használnak dendrokémiai kutatásokra (pl.: EKLUND, 1995; HAGEMEYER, 1995; BELLIS ET AL., 2004; BÓKA ET AL., 2007).

2.2. A fa évgyűrű vizsgálat alkalmazhatósága

Számos tanulmány javasolta, hogy a sugárirányú transzport miatt a fák inkább térbeli, mintsem időbeli monitorozásra alkalmasak (pl. LUKASZEWSKI ET AL., 1988; ZAYED ET AL., 1992). Éppen ezért a jól felépített mintavételezési protokoll és labormunka, valamint a fák biológiai működésének megfelelő ismerete elengedhetetlen egy dendrokémiai adatsor megfelelő értelmezéséhez.

Kevés olyan tanulmány látott napvilágot, amely összekötné a fákban mérhető kiugró fémkoncentrációt az adott területen megtalálható szennyező forrással. Például EKLUND (1995) szoros kapcsolatot fedezett fel egy ólmot és kadmiumot kibocsátó fémfeldolgozó üzem és a környezetében lévő tölgyek nagy Pb és Cd tartalma között. Egy másik példa szerint MARCANTONIO és munkatársai (1998) mocsárciprusban mértek ólomizotóp szennyezést a Trepagnier mellékfolyó mellett Lousianában. A területen található olajfinomító 2 km-es körzetében vizsgált fákban az ólomkoncentráció értéke a háttérértéknél jóval nagyobb volt az 1920-as üzemnyitást követően keletkezett gyűrűkben. A legnagyobb Pb koncentrációt az 1940-50-es években kialakult gyűrűkben mérték, ami jól korrelált a mellékfolyó akkori kotrásával.

Élettani tulajdonságokra alapozva LEGGE ET AL. (1984) azt következtette, hogy a faanyag természete miatt a nehézfém szennyezések történeti rekonstrukciójához a tűlevelűek a legmegfelelőbbek, habár a kísérleti tanulmányok eredményei azt mutatták, hogy a tölgy (*Quercus*) (EKLUND, 1995; JONNSON ET AL., 1997) és a juhar (*Acer*) (ROLFE, 1974; FRELICH ET AL., 1989; WATMOUGH AND HUTCHINSON, 1996; WATMOUGH ET AL., 1988B) is sikeresen használható dendrokémiai kutatásokra.

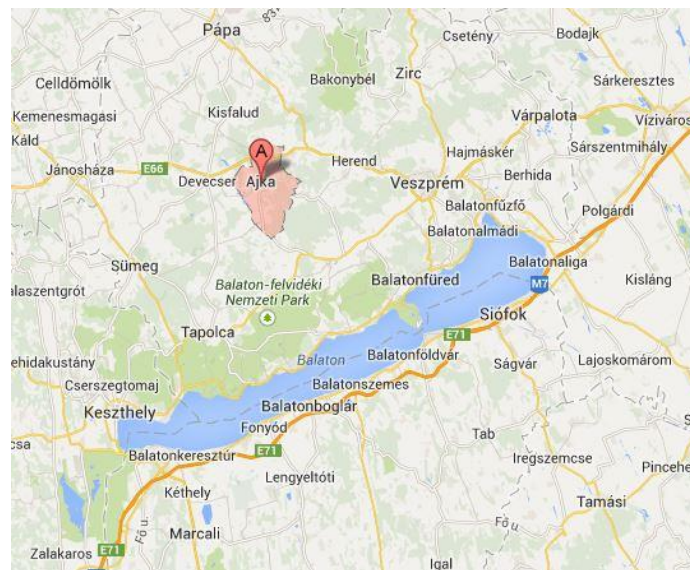
2.3. Hazai dendrológiai kutatások

Magyarországon az első dendrológiai témájú kutatás 1941-ben jelent meg, de komolyabban a témával az 1980-as évekig nem foglalkozott senki. A kutatások kezdetekor alapvető feladat volt, hogy meghatározzák Magyarország területe egy dendrokronológiai zónát alkot-e. Ezen kutatáshoz kizárólag recens tölgyfamintákat használtak az ország 13 területéről. A kutatás eredményeként azt állapították meg, hogy az elmúlt 2500 év alatt Magyarország dendrokronológiai zónázottsága legalább egyszer megváltozott (GRYNAEUS, 2009). A régészeti terület mellett restaurátori (MORGÓS 2002), hidrológiai (HORVÁTH, 2004) és erdészeti (SZABADOS, 2006) témájú kutatások is folytak. Az éghajlatváltozás és az évgyűrűk kapcsolatának vizsgálata (BABOS, 1984; SZABADOS, 2006) itthon a ritkán kutatott témák közé tartozik. KÁZMÉR (2003)

geomorfológiához kapcsolódó dendrokémiai kutatásokat végzett. Éghajlat és évgyűrűk, valamint barlangi jég változásának összefüggéseiről KERN (2010) doktori disszertációjában olvashatunk.

3. Kutatási terület

A mintavételi terület Ajka és környéke, amely Veszprém megyében, a Bakony hegység északnyugati peremén található (lásd 3. ábra). A várost ma több település együttese alkotja: Ajkarendek, Bakonygyepes, Ajka, Bódé, Csinger, Tósokberénd és Padragkút.



3. ábra Ajka elhelyezkedése

A város fejlődése a XIX. század második felétől indult meg, amikor Ajka legnagyobb földbirtokos családjának, az Ambuszter Családnak a földbirtoka alatt megtalálták azt a barnakőszén, ami elindította a térség ipartörténetének mindmáig tartó folyamatát. Az ajkai üveggyár, téglagyár, kriptongyár, új bányák létesítése, az Ajkai Hőerőmű és a vele együtt épült Timföld és Alukohó voltak az iparosodás fő állomásai (KOZMA, 1995).

3.1. Földrajzi és természeti környezet

Leggyakoribb szélirány észak-északnyugati, jelentős még ezen kívül a délnyugati, délkeleti szélirány, a szélesnapok száma kevés. Ajka város a Torna-, a Széles-, a Csinger- és a Csigere-patak vízgyűjtőterületén helyezkedik el, ezek az élővízfolyások alkotják a csapadékvizeinek főbb befogadóit (AJKA.HU).

A környezetet pusztuló talaj- és ennek következtében a pusztuló természetes növényzet - jellemzi, mint a Bakonyt általában. Uralkodó talajtípusok között van a sötét színű, sekély termőrétegű és humuszban szegény rendzina (a délre eső mediterrán tájak mészkőhegységeit is ezek jellemzik), valamint a szintén gyenge termőképességgel rendelkező savas kémhatású erdei talajok. Az átlagos (balti) tengerszint feletti magasság 205 m. Az éghajlati elemek lényegében megegyeznek az országos átlaggal. Ajka évi középhőmérséklete 10,5 °C (a januári átlag -0,9 °C, a júliusi pedig 22,2 °C). Az évi csapadék az országos átlagnál (kb 500 mm) némileg nagyobb: 660 mm. A nyugati, északnyugati irányból érkező csapadék jelentős részét felfogja az Észak-Bakony. Ha ősszel és télen nem érvényesülne a szubmediterrán hatás, a körzet lényegesen szárazabb lenne (WWW.AJKA.HU).

3.2. Ipartörténet

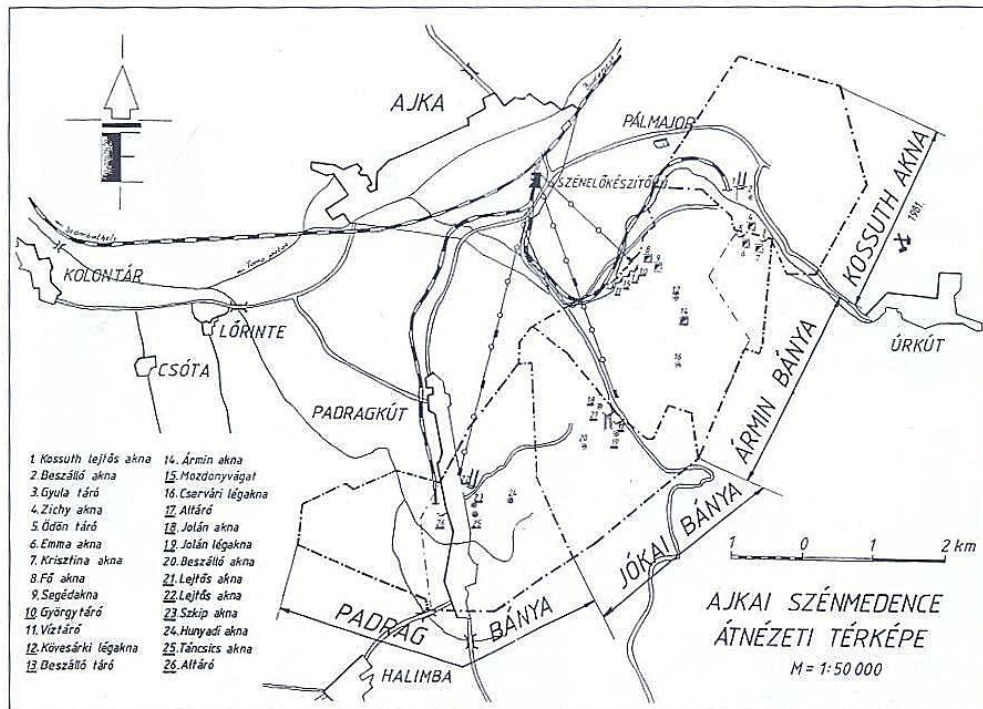
Ajka ipartörténetének bemutatását KOZMA (1995) alapján készítettem el. Ajka ipara a barnakőszén 19. századi megtalálása után először a kőszénre, majd az erre épülő erőműre támaszkodott. Később a környéken fellelhető egyéb nyersanyagoknak köszönhetően több, különböző ipari létesítményt is létrehozta. Ajka az ipari fejlődésnek köszönhetően egy évszázad alatt hatalmas változásokon ment keresztül.

Szénbányászat

Magyarországi kőszénfelhasználásról először a 18. század elején tettek említést, majd a 19. században a szénbányák fejlődése indukálta a vasúthálózat és az ipartelepek kiépítését, később pedig az erőműveket is.

Ajkán 1865-ben, két évvel a megtalálás után kezdték el a szénkibúvások kutatását. Hout bányamérnök Pudzor Gyula megbízásából az első 15 m mély kutatóaknában két vékony szénpadot talált. Szabó József – a magyar geológia atyja - 1872-ben „Az ajkai kőszéntelepek a Bakonyban” című munkájában nagy jövőt jósolt a területnek és kiemelte a vasút közelségének előnyét.

A szénbányászat kezdetének fontosabb dátumai: 1870-ben lemélyült az Emma és a Krisztina akna, 1871-72-ben megkezdték a Gyula és az Ödön tárók kihajtását, 1873-ban megtörtént az Emma és Krisztina bányatelek fektetése, ekkor regisztrálták az első termelési adatot (8200 tonna/év) és elkészült a Felsőcsingert Ajkával összekötő vasútvonal.



4. ábra Az ajkai szénmedence (KOZMA, 1995)

Ezzel megkezdődött az ajkai szénmedence élete, amelynek területén négy termelő aknaüzem létesült (ezek különböző szervezeti keretekben és különböző név alatt működtek) (4. ábra). Az ajkai szénmedence 1,5-2 km széles, északkelet-délnyugati irányban húzódik, kb. 10 km hosszan. A maximális vastagsága mintegy 120 m, és közel 130 szénpadot tartalmaz az összlet, amely jól azonosítható meddő beágyazásokkal alsó, középső és felső telepcsoporra osztható. Az alsó 14-25 méter vastag telepes csoport tartalmazza a legtöbb szénteletet. E telepek fűtőértéke 8-20.000 kJ/kg között változik. A középső telepes csoport vastagsága 4-7 m. A telep tisztaszén padjainak fűtőértéke kevesebb, mint az alsó telepes csoport rétegei. A felső felett 4-5 m szenes anyagot, agyagos szenet, molluszkás márgát tartalmazó rétegek jelölése a szakirodalomban 0, vagyis ennek megismerése a korábban elfogadott telepszámozás után történt. A telepben germánium, gallium, bizmut, tallium, vanádium is az átlagosnál nagyobb koncentrációban van jelen, ezért a Mecseki Ércbánya Vállalat 1958-1962 között részletes kutatást végzett a szenek sugárzóanyag-tartalmának meghatározására.

A terület megismeréséhez kezdetektől fogva bányabeli és külszíni fúrásokat is alkalmaztak, a bányamedence területén 207 db külszíni fúrást mélyítették összesen 37 348 fm hosszan.

Az 1990-es évekre az ajkai mélyművelésű szénbányák az akkori legkorszerűbb technikát alkalmazták, a szén gyakorlatilag emberi kéz érintése nélkül jutott el a bányából az erőműbe. A termelés első évtizedeiben csak a jó minőségű, meddőbeágyazás mentes szenet fejtették, később azonban már csak a kisebb fűtőértékű szénvagyon maradt. A bánya termelése évtizedekig 100-200 kt között stabil volt. Az 1940-es években a medence produktív területe ismertté vált az ajkai hőerőművel kapcsolatos bányaépítés után. A II. világháborút követő, romokból éledező ipar nagyobb szénigénye a termelési adatokból is jól kitűnik.

Az ajkai szénmedence 130 év alatt összesen kb 85 millió tonna szenet termelt, további adatokat az *1. táblázat* tartalmaz 1873-tól 1990-ig.

1. táblázat Ajka széntermelése a kezdetektől 1990-ig (KOZMA, 1995)

Év	Termelés (t)	Alkalmazottak létszáma (fő)
1873	8.200	200
1890	79.197	361
1900	106.404	622
1920	80.314	770
1940	320.740	943
1950	531.109	2.947
1960	1.360.111	4.387
1970	1.956.047	4.132
1980	1.664.430	3.155
1990	1.685.558	2.739

A bányák bezárása 1965-ben kezdődött az Ármin aknával, majd folytatódott 1997-ben Padrag bányával, 2000-ben a Jókai bányával, 2003-ban Balinka bányával, majd 2004-ben az Ármin bánya bezárásával végleg megszűnt a széntermelés.

Az Ajkai Hőerőmű

A villamos áram termelése és a szénbányászat korán egymásra talált a térségben, ugyanis az Ajkai Hőerőmű tüzelőanyagát biztosító szenet a környék szénbányáiból nyerték. Az első évtizedtől eltekintve – amikor még csak a szénbányászat volt jelen – a két terület együtt fejlődött. Ennek a kapcsolatnak köszönhető az is, hogy az ajkai szénmedencében mindenkor a legkorszerűbb technikát és bányagépeket alkalmazták. A széntüzelésű Kis Erőmű által termelt energia a lakóterületek villamosításán kívül segítette az ipartelepítést is: üveggyár, téglagyár települt a bánya közelébe.

A csingervölgyi Kis Erőművet 1912. augusztus 8-án Alsócsingerben helyezték üzembe, kazánházból, gépházból és a kazánház melletti szivattyúházból állt. A Kis Erőmű szolgáltatta az áramot egy-egy 3kV-os távvezetéken a cservári aknamélyítéshez, az Úrkúti mangánbányának élettartama alatt végig, Devecsernek, valamint 1934 után a téglagyárnak és Bódénak is. Az erőmű évente 15 000-20 000 tonna (2.500 kcal/kg) szenet használt fel. A Kis Erőmű működése 1943-ban az Ajkai Erőmű indításával fejeződött be.

Ajka I. Erőmű

Az Ajkai Erőmű tervezésének az oka az volt, hogy a Kis Erőmű bővítésekkel sem lett volna képes a kripton gyártás kapacitásának növeléséhez szükséges energiát előállítani. Évekig tartó igényfelmérések és egyeztetések után az 1. számú kazán üzembe helyezésére 1943. február 20-án került sor. Ekkor még akadtak problémák a gőzszolgáltatással, de a javítások után az I. gépcsoport 1943. május 13-án üzembe állt. Ezt követte egy héttel később a 2. számú kazán üzembe állítása, miközben folytak a 3. és 4. számú kazán és a II. gépcsoport szerelési munkálatai (ez utóbbit július 15-én helyezték üzembe). A 3. és 4. számú kazánnal még ugyanezen év végéig elkészültek, az 5. sz. kazánt 1944 júliusában, a 6. sz. kazánt – háborús események miatt – 1947 áprilisában helyezték üzembe. A kazánokat az ajkai kőszénbányából bányászott szénrel fűtötték, és az innen kinyerhető barnakőszén minőségére is tervezték.

A nyersvíz szükségleteket a Torna- és a Csinger-patakból nyerték (a patakok változó vízmennyiségét fűrt kutak pótolták). A patakok vize nem volt elegendő a turbinák kondenzátorainak átfolyó vízzel történő ellátásához (és az előlágítás is nagyon költséges lett volna az átfolyó víz esetében), ezért építettek egy természetes szellőztetésű hűtőtornyot 6000 m³/h kapacitással. Ehhez szükséges volt földalatti és föld feletti csatornarendszer kiépítése is. A hűtőtorny 60 millió kcal/h teljesítménye a

későbbi 85-90 millió kcal/h igényt nem tudta kielégíteni, ezért egy második hűtőtornyot is építettek, amely karcsúbb, hiperbolikus vonalú volt, kedvezőbb áramlástani kiképzéssel bírt. Ezt a tornyot később az Ajka II. nagybővítése miatt le kellett bontani, 6-8 évet üzemelt csupán.

A szénminőség romlása miatt a névleges teljesítmény megtartása érdekében 1952-től pótmalmokat építettek be. A szénport sarokégőkön keresztül fújták be, a salak és a hamu elvezetését nedves salakeltávolító berendezés végezte, többnyire lefedett csatornákkal, szifonrendszerű elzárásokkal, bolygató lövetyűkkel. A kazántölcsérből kézi működtetésű csappantyúkkal, időszakosan távolították el a salakot, ami a kazántest alatti zagycsatornába került. A füstgázok portalanítása a mechanikus rendszerű porleválasztókkal csak 50-60%-os leválást tudott biztosítani. A ventillációs, verőlapátos malmokkal megőrölték az ajkai barnakőszén, majd a porszenet a sarokégőkön keresztül a kazán tűzterébe fújták. A füstgázok a tüztéren, a túlhevítőkön, a tápvízmelegítőkön, a levegő előmelegítőkön, majd a porleválasztókon, szívóventillátorokon keresztül jutva a kéményen át a szabadba távoztak.

Két nagyon fontos feladat a kazánüzem fő technológiai folyamatán kívül a salak és a pernye le- és elválasztása volt a 20-22 %-os (majd később ennél nagyobb) hamutartalom és a kémiai tulajdonság (jelentős kalcium-tartalom) miatt. A salak és a leválasztott pernye is időszakos vizes mosással került a zagytérre. A pernyeleválasztók és a kazánok alatt fedlapos csatornákat építettek ki, amelyeken keresztül a zagy az ülepítő medencébe jutott. A medence aljára kavicsszűrőt helyeztek, amely a derített vizet átengedte, a besűrűsödött zagyot pedig markolóval eltávolították és a kijelölt tárolóhelyre szállították. Ezt a technológiát az elavultsága miatt az 1950-es években megszüntették, egyidejűleg új, a kohóval szemben lévő területet jelöltek ki a zagy tárolására. A zagy kezelését azóta teljes elmosatással és a víz visszaforgatásával valósítják meg.

A III. számú turbinát 1947. december 10-én helyezték üzembe, ezzel az eredeti tervek és elgondolások szerint befejeződött az Ajka I. Erőmű építése. Hat kazános, három gépes üzemmel az erőmű maximálisan 50.700 kW teljesítményt tudott szolgáltatni.

Az 1950-es évek végén a teljesítmény növelése és a Timföldgyár tervezett bővítése miatt megkezdtek a 7. számú kazánvaló bővítés megtervezését. A 7-es kazán beruházásával párhuzamosan egy ellennyomású 10,7 MW teljesítményű turbógépcsoport beépítéséről is született döntés. Műszaki nehézségek, külföldi és

magyar szállítások elhúzóda és elsősorban az 1956-os forradalom miatt az 1957-re tervezett indulás helyett 1958. november 27-én tudták üzembe helyezni a kazánt. A turbinát 1961 áprilisában vették át, üzembe azonban az elhúzódo egyéb munkálatok miatt csak 1962 áprilisában helyezték. A 7-es kazán és a hármas számú gép üzembe helyezése volt az Ajka I. Erőmű kibővítése.

Ajka II. Erőmű

Az Ajka II. Erőmű létrehozásának ötlete a Timföldgyár és Alukohó, valamint a szénbányászat fejlesztéséhez kapcsolódott. Az 1954. január 15-én aláírt bővítési tervben 3 egyenként 32 MW kondenzációs turbina és 4 szénportüzelésű kazán építése szerepelt, meghatározva a létesítmény feladatát is. A második erőmű főturbinájának építése a kibővítés során megtörtént. Az erőmű szénigényének kielégítését a Padragbánya széntermelésével kívánták fedezni, a vízellátást pedig a tapolcafői források biztosították. Mivel azonban az Alukohó bővítése nem valósult meg, az új erőműrész teljes villamos energia termelését üzemszerűen a 120 kV-os hálózatba táplálták.

Az Ajka II. Erőmű szénigényét is az ajkai szénbányák fedezték, külső szénforrásra nem volt szükség. A vízigény kielégítése már nem volt ilyen egyszerű, összesen 4 forrás biztosította az elegendő mennyiségű vizet: a Torna-patak, a padragi bányavíz, Tapolcafői vízmű és a zagyvíz visszaforgatás. A vizet elsősorban lágyításra, szükség esetén pedig salak eltávolítási célokra használták.

Az erőműbe öt kazán lett beépítve a hozzájuk tartozó segédberendezésekkel együtt, ezek teljesítménye 23 MW volt. A kazánok alatt szénőrlő malmot, nyomólégventilátort, füstgázelszívó ventilátort és salakeltávolítót helyeztek el. A füstgáz a léghevítő után a Van Tongeren rendszerű pernyeleválasztóba jutott. Az égés során keletkezett salak és pernye kb. 20 %-a a tüztér alatt elhelyezett salakeltávolító teknőbe, kb. 60 %-a a pernyeleválasztókba, kb. 15%-a az Eco alatti tölcserbe jutott, a kéményen át csak kb. 5 % távozott. Az erőmű füstgáz tisztító rendszerének komolyabb fejlesztését 1988-ra végezték el. Ekkorra az erőműből kikerülő füstgáz portartalma a teljes mennyiség 1 %-a alá süllyedt.

Egyéb ipari tevékenységek

1943. február 5-én a bauxit kitermelésnek köszönhetően megkezdődött a timföldgyártás. Az erőművel együtt az 1960-as évek elején a timföldgyárat is bővítették, megépült az Ajka II Timföldgyár. A '80-as évek végén a termelés azonban visszaesett, majd a '90-es évek elején felszámolták az alumíniumgyártást. Egyik szomorú emléke a 2010. október 4-i vörösiszap katasztrófa, amikor a Kolontár és Ajka között elhelyezkedő vörösiszap tározójának gátja átszakadt (és 10 halálos áldozatot követelt), Magyarország legnagyobb ipari katasztrófája volt.

A korábban Úrkúton üzemelő üveggyár 1878-ban áttelepült Ajkára. A szükséges alapanyagot a Balaton melléki homokbányából szállították. Az üzem neve ma Ajka Kristály Kft., a termelés 96 %-át külföldre szállítják, elsősorban az Egyesült Államokba és az EU nyugati országaiba. Továbbá Japánban és Dél-Kelet Ázsiában is keresett árucikknek számít (AJKA-CRYSTAL.HU).

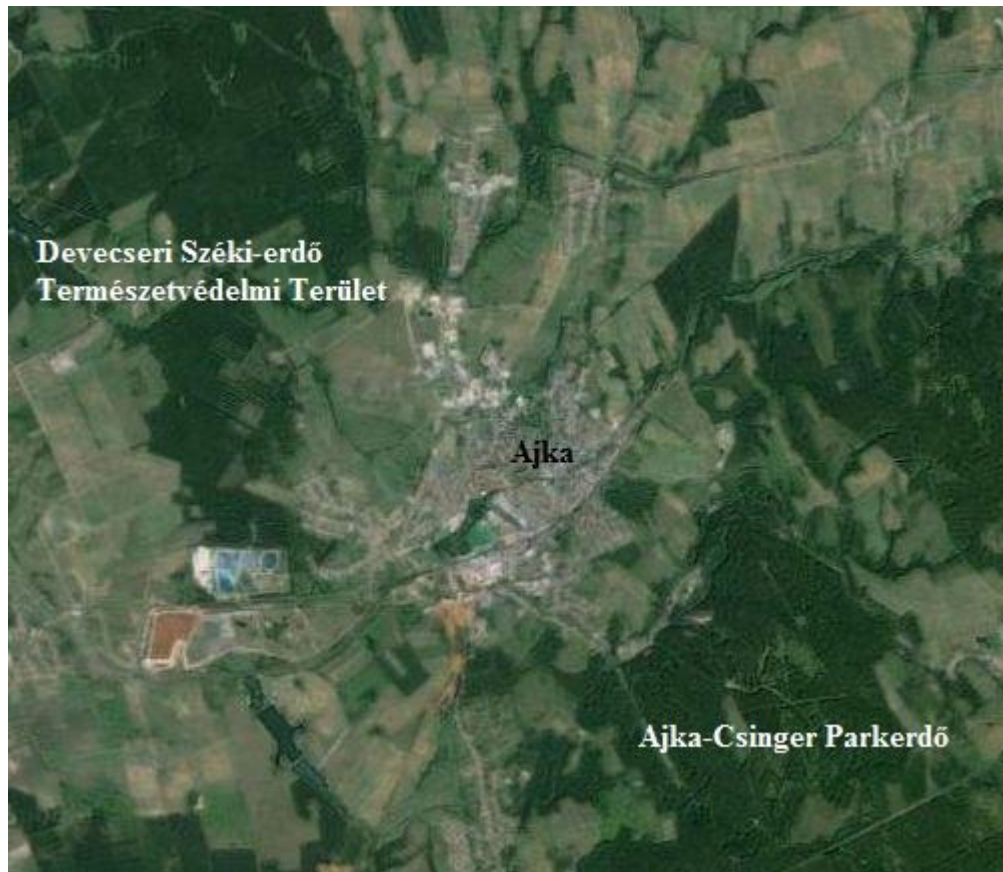
Ajka ipari tevékenységében tehát 2 sarkalatos pontot nevezhetünk meg: a füstgáz rendszer felújításának befejezését (1988) és az Ármin bánya bezárását (2004). Ez a két esemény 3 jól meghatározható vizsgálandó részre osztja a tanulmányozott időszakot környezeti szennyezések szempontjából.

1. Mintavételi helyszín kiválasztása

A térségben az északnyugati szélirány az uralkodó, a mintavételi helyszínek kiválasztásakor ez volt a fő szempont. Amint korábban szó volt róla, több tanulmány is javasolja a fenyőket dendrokémiai vizsgálatokhoz, megjegyezve, hogy többnyire a tölgyek is alkalmasak lehetnek (EKLUND, 1995; JONNISON ET AL., 1997). Veszprém megye erdeinek több mint 60 %-át tölgy, bükk és gyertyán alkotja (VESZPREM.ERDOINFO.COM), valamint kb. 10 %-ban találunk fenyveseket, így a terület ilyen szempontból alkalmas mintagyűjtésre. Három helyszínről történt a mintavételezés, az északnyugati „bejövő” oldalról, a délkeleti „kimenő” oldalról, valamint Ajka városából (lásd: 5. és 6. ábra).

A mintavételezés során minden helyszínről tölgyfa- és fenyőfamintákat vettünk növedékfűrő segítségével, 120-150 cm-es (DBH – diameter breast high) magasságban, az uralkodó széliránynak megfelelően. 8 fából duplikátumot („másodpéldányt”) is vettünk. Az adott fából vett dupla minta előnye, hogy ha egy mintát teszt célokra fel kell használnunk, vagy az előkészítéskor és az analitikai mérések kivitelezésekor

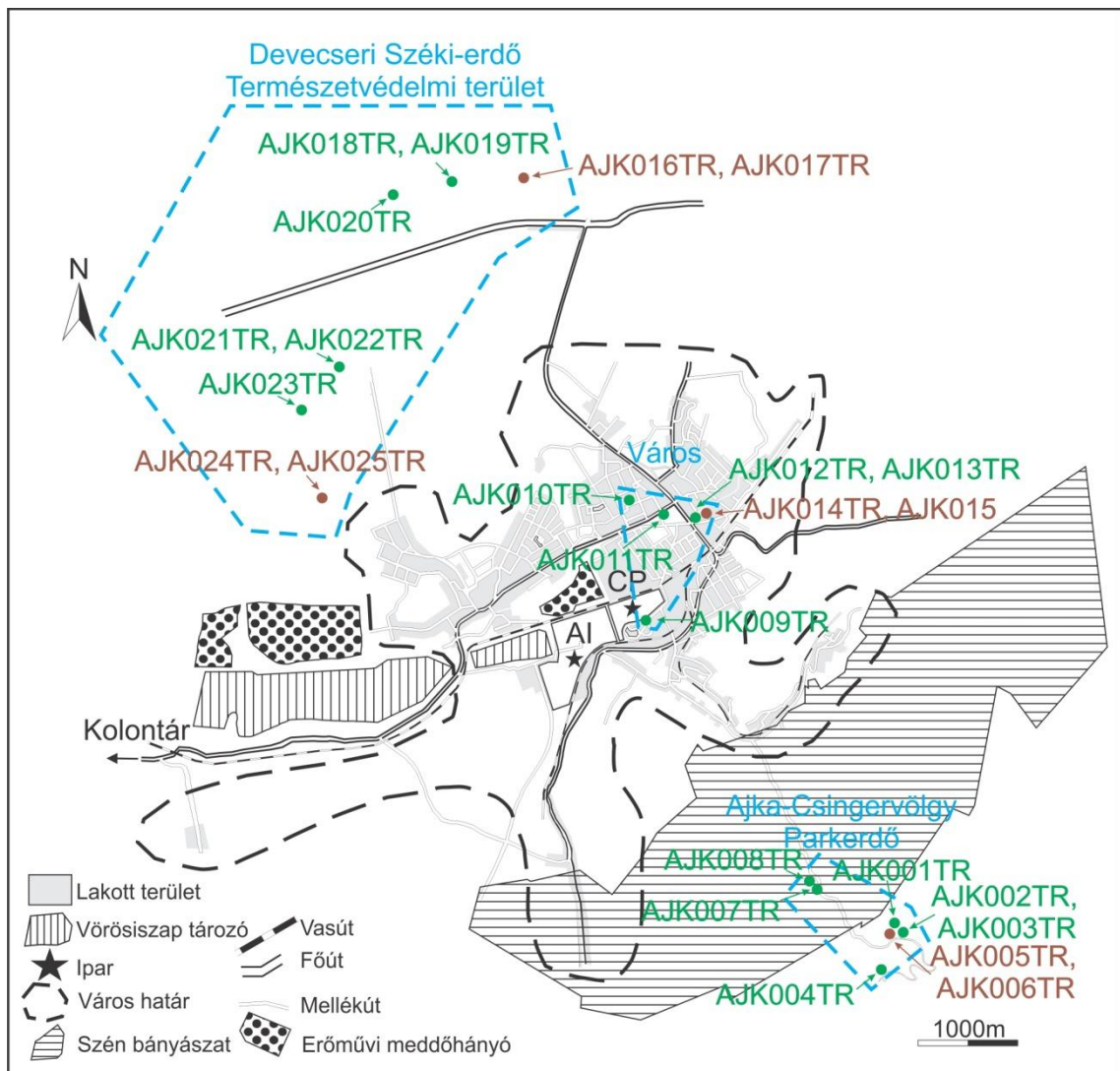
technikai problémák lépnek fel, akkor az elemzésre rendelkezésre áll még egy minta. A fa fűrőmagokon kívül minden helyszínről egy-egy talajmintát is gyűjtöttünk az EuroGeoSurveys nemzetközi protokollja alapján (ZACHÁRY, 2012), valamint gamma-dózisteljesítmény mérést is végeztünk.



5. ábra Ajka és környéke (MŰHOLDFELVÉTEL). Az Ajkától északnyugatra és délkeletre fekvő erdők (sötétzöld összefüggő halmazok) a mintavételi területet jelölik.

Ajkát északnyugatról a Devecseri Széki-erdő Természetvédelmi Terület határolja, délen-délkeleten pedig az Ajka-Csingeri Parkerdő (5. ábra).

Az egyes mintavételi pontok elhelyezkedését Ajka város főbb ipari tevékenységeinek körzeteihez képest a 6. ábrán láthatjuk.



6. ábra Részletes térkép Ajkáról és a három mintavételi területről. A kék szaggatott vonalak jelölik a három mintavételi területet. Az egyes területeken belül a mintázott fákat pontok jelölik. A zöld pontok a hozzátartozó számokkal a fenyőfélék, a barnák a tölgyek mintavételi helyeit és a minták jelét jelölik. AI: Alumínium ipar, CP: Szén erőmű.

1.1. Devecseri Széki-erdő Természetvédelmi Terület

A terület és az egyes mintavételi pontok elhelyezkedése az 5. és 6 ábrán látható.

A mintavételezés egyik fő helyszíne a Devecseri Széki-erdő Természetvédelmi Terület volt, amely természetföldrajzi szempontból a Bakonyhoz tartozik. A területen a mészkő és a dolomit már a mélybe süllyedt, fiatalabb, miocén korú kvarckavics, valamint kisebb mennyiségben kvarc-konglomerátum található rajta. Növényföldrajzilag a Dél-dunántúli flóravidék zalai flórajárásába tartozik, jelentősebb erdőtársulásai a cseres-kocsánytalan tölgyes, a jobb vízellátású helyeken pedig a gyertyános-kocsánytalan tölgyes. A terület zoológiailag kevésbé ismert, van azonban

néhány jelentős faj: havasi tűzlepke, zanótboglárka, vagy a védett mocsári tarkalepke, gerincesek közül pedig a törékeny gyík. A terület kiszáradó láprétjei számos védett növényfajjal rendelkeznek, mint például a szibériai nőszirm, illatos hagyma, kornistárnics, zergeboglár, magyar lednek, poszméhangó vagy a sárga nőszirm ([HTTPS://WWW.BFNP.HU](https://www.bfnp.hu)).

A terület flórajellegéből következően nagyon kevés fenyő él a Széki-erdő területén. Ezek megtalálásához a Devecseri Erdészet erdészei nyújtottak segítséget. Három erdeifenyőt (*Pinus sylvestris*), egy feketefenyőt (*Pinus nigra*) és két kocsánytalan tölgyet (*Quercus petraea*) mintáztunk meg, a két tölgyből, valamint egy erdei és egy feketefenyőből duplikátumot is vettünk. Az egyes minták fontosabb tulajdonságait a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat Devecseri Széki-erdőben mintázott fák fontosabb adatai (TEREPI MINTAVÉTELI JEGYZŐKÖNYVEK ALAPJÁN)

Mintanév	Régió	Koordináták (EOV)			Faj	Kor (év)	DBH*	Minták száma	Mintavétel magassága (cm)	Fúrómag mérete (mm)	Környező ipari és egyéb befolyásoló tevékenység vagy jelenség
AJK16TR	820-as úttól északra	534975	201057	193 ±6	kocsányos tölgy	>80	194	2	132	5*220	8-as út 5-600 méterre
AJK17TR	820-as úttól északra	534975	201057	193 ±6	kocsányos tölgy	>80	200	2	115	5*225	8-as út 5-600 méterre
AJK18TR	Devecseri Széki-erdő 64B erdészeti térkép	533482	200871	250 ±4	feketefenyő	60	134	2	135	5*215	8-as út ~900 m-re van
AJK19TR	Devecseri Széki-erdő 64B erdészeti térkép	533482	200871	250 ±4	feketefenyő	60	137	2	125	5*225	8-as út ~900 m-re van
AJK20TR	Devecseri Széki-erdő 65A erdészeti térkép	532952	200839	233 ±5	erdeifenyő	41	102	1	140	5*240	8-as út 1200 m-re
AJK21TR	8-as úttól délre	533322	198090	210 ±3	erdeifenyő	<104	173	2	140	5*218	délre vörösiszap tározó
AJK22TR	8-as úttól délre	533322	198090	210 ±3	erdeifenyő	<104	170	2	116	5*220	délre vörösiszap tározó
AJK23TR	8-as út 2300 m-re, 44B erdészeti térkép	533033	197653	209 ±5	erdeifenyő	57	130	1	130	5*220	erdő
AJK24TR	8-as úttól délre	533400	197208	207 ±4	kocsányos tölgy	102	197	2	128	5*225	-
AJK25TR	8-as úttól délre	533400	197208	207 ±4	kocsányos tölgy	102	200	2	118	5*242,5	-

*DBH = Diameter at breast height – a fa kerülete a mintavétel magasságában

1.2. Ajka-Csingervölgy Parkerdő

A terület és az egyes mintavételi pontok elhelyezkedése az 5. és 6 ábrán látható.

A Parkerdő a Verga Zrt. (Veszprémi Erdőgazdaság Zártkörűen Működő Részvénytársaság) felügyelete alatt áll, a terület bemutatását a honlapjukon található információk alapján készítettem el (VERGA.HU). Az erdőgazdaság 1967-ig Balaton-felvidéki Erdőgazdaság néven működött 48,4 ezer hektáron, 8 erdészettel és 80 védkerülettel. A szervezeti struktúra többször változott. A HM VERGA zárt részvénytársaságot, amely ma is működött 1993. január 1-én alapították.

A Dunántúli-középhegység legnagyobb kiterjedésű tája a Bakonyvidék, amely délnyugat-északkelet irányban húzódik mintegy 3540 km²-nyi területen. Az itteni erdők hazánk legnagyobb erdős területei közé tartoznak, összesen mintegy 140 ezer hektáros területtel, amelynek közepén 50 ezer hektárnyi területen gazdálkodik a HM VERGA Zrt. Ennek legnagyobb része (~60 %) a Magas-Bakonyban található, 30 % a Déli-Bakony tájegységben, a fennmaradó 10 % pedig a Kelet-Bakonyhoz tartozik. A bakonyi táj mai arculata hosszú földtörténeti, gazdasági-, és kultúrtörténeti folyamatok eredménye. Északi és nyugati tömbje jura és krétakori mészkőből, keleti nyúlványai pedig a triászban képződött földolomitből állnak. A táj domborzata mérsékelten tagolt, találhatunk fennsíkokat, medencéket és bazalt „tanúhegyeket” is.

A környéket borító erdők zömében bükk, cseres és kocsánytalan tölgyeseket foglalnak magukba. Korábban telepítettek feketefenyő (*Pinus nigra*) és erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) állományokat is, emellett az őshonos fajok (pl. kőris, tölgy) is megtelepedtek. A telepített fenyőállományoknak és az erdő természetes flórájának köszönhetően bőséggel álltak rendelkezésünkre megfelelő fajtájú fák, néhánynak a kora a szükséges 40-50 évnél többnek is bizonyult. Az erdőgazdálkodás területéről három lucfenyőből (*Picea abies*), egy ezüstfenyőből (*Picea pungens glauca*) és egy tölgyfából gyűjtöttünk be duplikátumokkal együtt 8 mintát (3. táblázat).

3. táblázat Ajka-Csinger Parkerdőben mintázott fák fontosabb adatai (TEREPI MINTAVÉTELI JEGYZŐKÖNYVEK ALAPJÁN)

Mintanév	Régió	Koordináták (EOV)			Faj	Kor (év)	DBH*	Minta száma	Mintavétel magassága (cm)	Fúrómag mérete (mm)	Környező ipari és egyéb befolyásoló tevékenység vagy jelenség
AJK01TR	Hubertus Erdei Iskola	539913	192127	280±7	lucfenyő	~60	210	1	150	5*220	Jókai bánya
AJK02TR	Hubertus Erdei Iskola	539919	192097	280±6	lucfenyő	~60	163	2	155	5*230	Jókai bánya
AJK03TR	Hubertus Erdei Iskola	539919	192097	280±6	lucfenyő	~60	171	2	120	5*245	Jókai bánya
AJK04TR	Hubertus Erdei Iskola	539352	191795	368±8	feketefenyő	~50-60	144	1	148	5*210	Jókai bánya
AJK05TR	Hubertus Erdei Iskola	539865	192090	283±9	tölgy	~150	345	2	130	5*215	Jókai bánya
AJK06TR	Hubertus Erdei Iskola	539865	192090	283±9	tölgy	~150	350	2	105	5*165	Jókai bánya
AJK07TR	Jókai bánya bejáratánál	538926	192687	278±5	ezüstfenyő	~50	154	1	123	5*240	Jókai bánya
AJK08TR	Jókai bánya bejáratánál	538926	192687	279±5	lucfenyő	~50	164	1	120	5*235	Jókai bánya

*DBH = Diameter at breast height – a fa kerülete a mintavétel magasságában

1.3. Ajka város

A terület és az egyes mintavételi pontok elhelyezkedése az 5. és 6 ábrán látható.

Mivel a mintavételezés során az elmúlt 40-50 évre visszamenőleg szerettünk volna évgyűrűket gyűjteni, legalább ennyi idős fákra volt szükségünk. A városban a legtöbb fa ennél fiatalabb, így kevés lehetőségünk volt válogatni. A megfelelő korú fák megtalálásában az ajkai önkormányzat munkatársai nyújtottak segítséget. A város közterületein nehéz volt elég idős fákat találni, azonban az egykori Esterházy kastélypark területén szerencsénk volt, itt egy-egy legalább 70 éves tölgyet (két minta) és feketefenyőt (szintén két minta) fúrhattunk meg, az egyéb területeken begyűjtött három fenyőminta mellett (4. táblázat).

4. táblázat Ajka városban mintázott fák fontosabb adatai (TEREPI MINTAVÉTELI JEGYZŐKÖNYVEK ALAPJÁN)

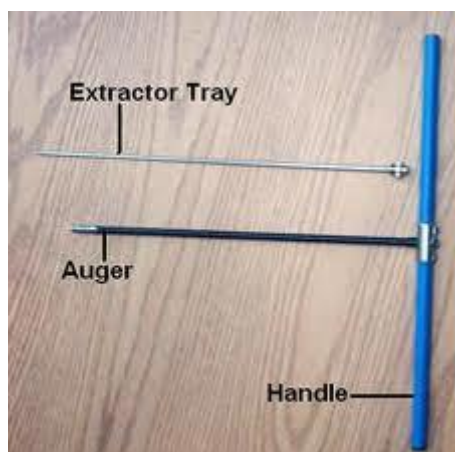
Mintanév	Régió	Koordináták			Faj	Kor (év)	DBH*	Minták száma	Mintavétel magassága (cm)	Fúrómag mérete (mm)	Környező ipari és egyéb befolyásoló tevékenység
AJK09TR	Kandó Kálmán lakótelep	537075	195577	242 ±4	erdeifenyő	40-45	135	1	118	5*200	Erőmű mellett
AJK10TR	Mikes Kelemen utca mögötti park	536948	196943	231 ±7	erdeifenyő	~40	115	1	131	5*225	belváros
AJK11TR	Városi könyvtár	537253	196793	234 ±8	feketefenyő	>45	154	1	147	5*220	belváros
AJK12TR	Kastélypark	537579	196742	228 ±5	feketefenyő	min 70	206	2	128	5*220	üveggyár
AJK13TR	Kastélypark	537579	196742	229 ±5	feketefenyő	min 70	210	2	120	5*220	üveggyár
AJK14TR	Kastélypark	537600	196749	221 ±10	tölgy	min 70	344	2	150	5*205	város
AJK15TR	Kastélypark	537600	196749	221 ±10	tölgy	min 70	344	2	130	5*215	város

*DBH = Diameter at breast height – a fa kerülete a mintavétel magasságában

1. Mintavételezés előkészítése és mintavételezés

A terepi munkát hosszú előkészítő folyamat előzte meg, amely a különböző témához kapcsolódó szakirodalmak feldolgozásából, mintavételezési folyamatok és eddigi kutatások megismerésével, a városi önkormányzattal és a környező erdészetekkel való kapcsolatfelvételtől és engedélykérésből állt, valamint tájékozódni kellett a területről és beszerezni a mintavételezéshez szükséges eszközöket.

A fák fúrása egy kb. 25 cm hosszúságú teflonbevonatú növedékfúróval történt, amely három részből, a fúróból (auger), a fogantyúból (handle) és a minta kivevő kanálból (extractor tray) áll (7. ábra). A minta kivevő kanál lényegében egy vékony, félbevágott fémhenger, amelynek a vége ki van élesítve.



7. ábra Növedékfúró részei: Extractor Tray - minta kivevő kanál, Auger - fúró, Handle - fogantyú ([HTTP://PUBS.EXT.VT.EDU](http://pubs.ext.vt.edu))

Dendrokémiai mintavételezés során a fúrómagokat azonos oldalról célszerű venni, mindig szemben a feltételezhető szennyező forrással, ezért fontos a mintavételi terület megfelelő ismerete. A fák megsérülhetnek a gyökéren vagy a kéreg felszínén, ezáltal patogén és abiotikus hatások érvényesülhetnek. A védekező mechanizmusoknak köszönhetően előfordulhat, hogy a fertőzött határrétegen belül nagyobb a szennyező elemkoncentráció, mint az egészséges területen, ezért elszíneződött famagot (amely a betegségre utal) nem szabad használni (GREEN ET AL., 1981; SMITH ET AL., 1981; SMITH AND HOUSTON, 1994; WATMOUGH ET AL, 1998A).

A vizsgálati terület mintavételezése során a duplikátumokkal együtt összesen 25 fa (13 fenyő és 4 tölgy), valamint 14 talajmintát gyűjtöttünk be.

A kiválasztott fának iránytű segítségével meghatároztuk az északnyugati oldalát, majd kijelöltük a fűrés helyét 120-150 cm magasan (DBH) a felületre merőlegesen, sugárirányban, a fa közepe felé. Figyelni kell, hogy olyan fát válasszunk ki, amely egyenesen nőtt ki a talajból, mert ha ferdén áll, nagyobb az esélye, hogy a gyűrűket ferdén fűrjük meg, ami megnehezíti a mérést.



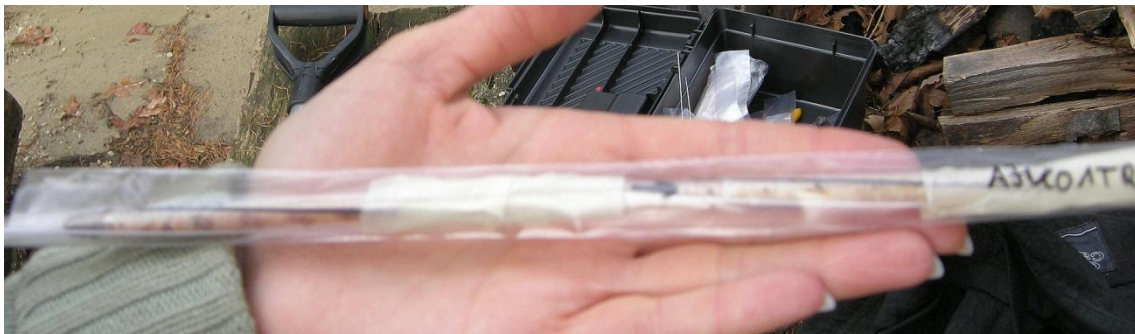
8. ábra A növedékfűró és a minta kivevő kanál fél fordulat visszafelé tekerés után. AJK22TR erdeifenyő minta (TEREPI FELVÉTEL)

Fűrés közben ügyelni kell, hogy a növedékfűró ne billenessen meg nagyon, mert így megtörhet a mag, ami később nehezíti a gyűrűhatárok egyértelmű azonosítását (GRISSINO-MAYER, 2003). Amelyik fából több mintát vettünk, ott az első fűrés helyétől mintegy 10 cm-rel függőlegesen és 10-20 cm-rel vízszintesen elmozdulva választottuk ki a második fűrés helyét. A fába való betekerés után becsúszattuk a felső oldalra a minta kivevő kanalat, majd egy fél fordulat visszafelé történő tekerés következtében a fűrómag legbelső része is elszakadt a fától (8. ábra). Ezután a kanál kifelé húzásával kivehetővé vált a famag, amelyet azonnal műanyag szívószálba tettünk (9. ábra) és mindkét végén lezártunk papír ragasztószalaggal.



9. ábra A fűrőmag kivétel után azonnal műanyag szívószálba tétetett (TEREPI FELVÉTEL)

A szívószálakat külön erre a célra készített hosszúkás zacskóba tettük, feliratoztuk a minta számával, illetve megjelöltük, hogy a fűrőmag melyik oldala mutat a fa közepe felé (10. ábra)



10. ábra Fűrőmag minta felszámozva, fekete nyíllal jelölve a fa közepe felé mutató vége (TEREPI FELVÉTEL)

A fenyőfákat könnyebb volt megfűrni, a tölgyeknél előfordult, hogy a mag csak nehezen, vagy egyáltalán nem jött ki. Egy esetben (AJK20TR) le kellett törni a mag egy részét és újabb fűréssel kiszedni a bent maradt részt. A fűrés befejezése után a keletkezett lyukat vizes alapú faseb és oltványkezelő pasztával kezeltük (11. ábra), hogy a fa ne szenvedjen maradandó károsodást.



11. ábra A fúrás helyét vizes alapú faszab és oltványkezelő pasztával kezeltük (TEREPI FELVÉTEL)

A jegyzőkönyvbe (vázlatát lásd: *12. ábra*) feljegyeztük a minta számát, pontos GPS koordinátákat, a fa fajtáját, becsült korát, fúrás magasságát és a mintavételi ponton mért fakerületet, a kivett famag hosszúságát. Emellett gamma-dózisteljesítmény mérést is végeztünk az egyes mintázott fák körül három ponton 0 és 1 m-es magasságban. Minden fűrőmagról és talajmintáról külön jegyzőkönyv készült. A jegyzőkönyvben rögzítettünk minden említésre méltó tényezőt a környékről, mint például az ismert ipari és környezeti állapotot, továbbá egy vázlat is készült az egyes környékbeli objektumok egymáshoz való viszonyáról.



Dendrochemistry Field Sheet



TREE SAMPLE ID _____ Date _____ Time _____ sampler _____
--

SAMPLE SITE LOCATION

Region _____ Forest Name (optional) _____

COORDINATES Easting _____ Northing _____ Altitude (m) _____

SAMPLING CONDITIONS

Forest constitution: _____

Sampled tree species: _____ (lat.) _____

Age of the tree: _____

Diameter of the tree (cm) _____

Number of samples: _____

Height (m) _____ size of core: _____ mm x _____ mm

Soil sample _____

SURROUNDINGS Wind direction _____ Surrounding industry _____ Landscape _____ Land use Agriculture <input type="checkbox"/> specify crop _____ Pasture, grassland, fallow field <input type="checkbox"/> Wetland <input type="checkbox"/> Forest: Deciduous <input type="checkbox"/> Coniferous <input type="checkbox"/> Mixed <input type="checkbox"/> Non-cultivated, moorland, etc. <input type="checkbox"/> Parkland <input type="checkbox"/> Other <input type="checkbox"/>
--

GAMMA RADIATION

1. pont: 0m _____/1m _____

2. pont: 0m _____/1m _____

3. pont: 0m _____/1m _____

NOTES

SKETCHES:

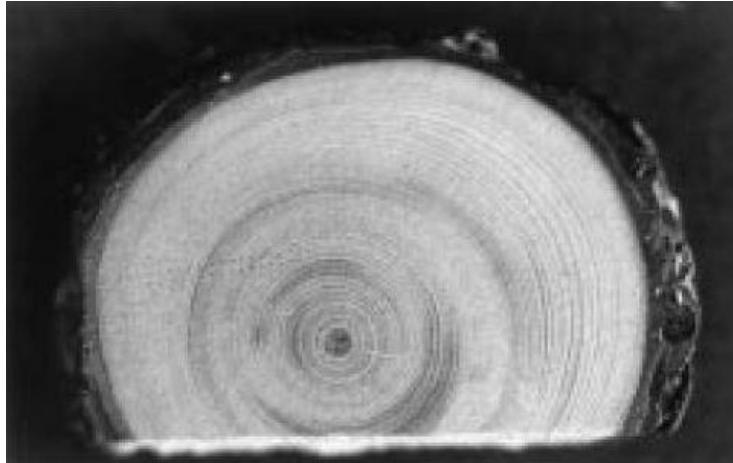
12. ábra A terepen használt mintavételi jegyzőkönyv

1. Mintaelőkészítés

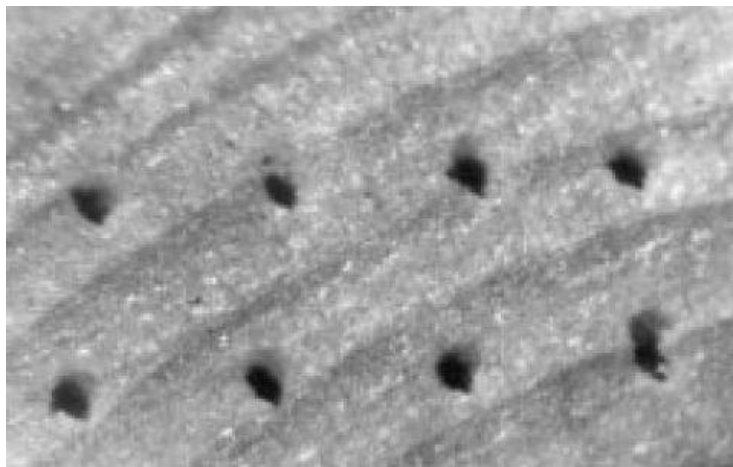
1.1. Alkalmazható módszerek bemutatása

A korábbi tanulmányok (pl. HAGEMEIERS ÉS SCHÄFER, 1995) atomabszorpciós spektroszkópiát (AAS) használtak az évgyűrűk elemzésére. Ez ma már mérsékeltén használt technika a nagy kimutatási határok és a viszonylag hosszú elemzési idő miatt. A korai tanulmányok többnyire több évgyűrűt - tulajdonképpen évblokkokat - vizsgáltak egyszerre (pl. WATMOUGH, 1999A). HAGEMEIERS ÉS SCHÄFER (1995) kadmium, ólom és cink koncentrációváltozásait vizsgálták Németországban bükkfák törzsében és úgy vágták fel a fűrőmagokat (amiket előtte fagyasztva tároltak, majd 105 °C-on kiszárítottak), hogy azok 5 vagy 10 évgyűrűt tartalmazzanak. Ezután a mintákat teflonedényben nyomás alatt tömény salétromsavban tárták fel 150 °C-on. A Cd és Pb koncentrációt grafitkemencés AAS-sel, a Zn koncentrációt pedig láng AAS-sel (Perkin-Elmer 5100) vizsgálták. A minták esetén történő salétromsavas feltárását más kutatók is előszeretettel használták sikeresen (MARCANTONIO ET AL., 1998; SAINT-LAURENT AL., 2011).

Az elmúlt 1-2 évtizedben a fejlődő technikák következtében lehetőség nyílt több elem vagy izotóp egyidejű mérésére, valamint kis kimutatási határok elérésére. A leggyakoribb technikák közé tartozik a neutron aktivációs elemzés (NAA), ionkromatográfia, röntgenfluoreszcenciás elemzés (XRF), induktív csatolású plazma tömegspektroszkópia (ICP-MS). A pontelemzési technikák megjelenésével - mint például a lézerablációs induktív csatolású plazma tömegspektroszkópia (LA ICP-MS) - lehetővé vált a minták roncsolásmentes vizsgálata. Az LA ICP-MS használatával a lézersugár kevesebb, mint 50 µm átmérővel tud ablálni, ami lehetővé teszi a nagyon öreg, lassan növő, terhelt évgyűrűk kémiai összetételének a meghatározását is. Jó példa erre az alábbi képen látható fekete luc törzsének keresztmetszete, amelyet LA ICP-MS-sel vizsgáltak a kanadai Churchill-ben (Észak-Manitoba). A vizsgált fa 69 éves volt (lásd 13. és 14. ábra WATMOUGH, 1999A).



13. ábra Fekete luc (*Picea mariana*) törzsének keresztmetszete (WATMOUGH, 1999)



14. ábra Kb. 80 μm átmérőjű lézer ablációs lyukak (WATMOUGH, 1999)

A vizsgálati módszer kiválasztásakor tehát több szempontot kell figyelembe venni.

BERNEIKE ET AL. (1987) szerint az elemek felismeréséhez az analitikai technikának érzékenynek, pontosnak és meglehetősen olcsónak kell lennie, ami képes legyen a kívánt elemek koncentrációját meghatározni. Ezek a feltételek – a jelenlegi ismeretek szerint - teljesülnek az induktív csatolású plazma atomemissziós spektrometria kombinációjában (ICP-AES) és a totálreflexiós röntgenfluoreszcens spektrometria módszerében (TXRF) (BERNEIKE, 1987).

A TXRF módszer használata során a mintát röntgensugárral besugározzák, a kibocsátott sugárzások hullámhossza pedig jellemző az adott elemre, a sugárzás intenzitása pedig az elem mennyiségével arányos. Az ICP-AES módszer során az induktív csatolású plazma állítja elő a gerjesztett ionokat, amelyek aztán olyan hullámhosszúságú elektromágneses sugárzást bocsátanak ki, amely jellemző az adott elemre.

BERNEIKE ET AL. (1987) lucfenyő mintákon használta a fentebb említett módszereket. A fa fűrómagokat szétvágta néhány évgyűrűnként (a külső réteget 3-3 gyűrűre, a maradékot

pedig 5-6 egyenlő részre) és max. 5 %-os nedvességtartalomig szárította ki. A mintákat nyomás alatt savas eljárással feltárta. Ezt követően 25 ml kapacitású teflonedényeket töltött fel 2,5 g salétromsavval (HNO_3) és 200 mg-nyi mintát hevített 140°C -on 6 órán át. Az oldatot desztillált vízzel hígította. A TXRF-nél a belső standardhoz kobalt-klorid oldatot adott. CHENG és munkatársai (2007) arzénkoncentrációt mértek több fafajban. A mintaelőkészítés során a fa és levél mintákat 7 ml-es teflonedénybe tették, majd hozzáadtak 1 ml nagy tisztaságú salétromsavat, majd a mintákat egy éjszakán át 150°C -os feltárásnak vetették alá. A teljes oldódás után $\sim 0,5$ ml nagy tisztaságú hidrogén-peroxidot (H_2O_2) adtak minden mintához, majd a kapott oldatot $70-80^\circ\text{C}$ -on lassan elpárologtatták, hogy a visszamaradó szerves anyagok is feloldódjanak. A salétromsavas hidrogén-peroxidos feltárást addig ismételték, amíg a feltárás teljes mértékben (maradék nélkül) végbe nem ment.

A Ca, K, Fe, Mn, Sr, Ba, S, Zn és Cu elemek mindkét módszerrel kimutathatók, azonban az Al, Mg, Na és P-t csak ICP-AES-sel lehet kimutatni. Az olyan elemeket, amelyek a fák szöveteiben az ICP-AES kimutatási határa alatti koncentrációban vannak jelen, mint pl. a Cd vagy a Pb, csak TXRF-vel detektálhatók.

1.2. Saját minták feldolgoása

Elemzési adatok februárban lesznek. Ezért a dolgozat jelen fázisában a minta előkészítés egyes fázisait mutatom be a mintavételezéstől a mérésig. A minta előkészítés a németországi Technische Universität Bergakademie Freiberg Egyetem Ásványtani Intézetében befejeződött Völgyesi Péter társtémavezetőm németországi ösztöndíja keretében.

A dolgozat célkitűzéseinek megfelelően első lépésben a 3 mintavételi területről egy-egy fenyő és tölgy mintát választottunk ki (15. ábra). A minták (a fafűrások) laboratóriumi körülmények között, szobahőmérsékleten több hetes szárítás után 5 éves periódusnak megfelelő kisebb darabokra (almintákra) lettek felvágva (15. ábra 2. kép). A felvágás során meghatároztuk, hogy az adott alminták melyik éveknek felelnek meg (pl. 21-25 éves minta). A szelektált fafűrások átlagban 13-15 almintára lettek felvágva, beleértve a kéreg mintát is, amelyet minden esetben külön kezeltünk (15. ábra 2. kép). A felvágáskor ügyeltünk arra, hogy az egyes alminták lehetőleg valóban 5 éves szakaszokat fedjenek le. Ez azonban nem minden esetben volt kivitelezhető az évgűrűk nagy sűrűsége miatt. A szeletelést követő, szárító szekrényben történő 60°C -os szárítás időtartama, a minták tömegállandóságának beállása szerint, 3-5 napig terjedt (15. ábra 3. kép). A tömegállandóság beálltának mérése előtt a minták 1 órát hültek exikátorban, ezt követően a tömegek analitikai mérlegben 2 tizedes pontossággal lettek meghatározva „mg” tömegegységben (pl. 165.76 mg) (15. ábra 4. kép, 16.

ábra). A minták erős töltődésének elkerülése érdekében (amely zavarta az egyes beméréseket, főként a legkisebb darabokra való felvágás után), egy, a minták elektrosztatikus vonzókéességének csökkentését elősegítő műszert használtunk (*15. ábra 4. kép, 16. ábra*).

Szárítás után a teljes feloldás érdekében a mintákat még kisebb egységekre kellett darabolni (*15. ábra 5. kép, 15. ábra 6. kép*), amihez vékony pengéjű kést használtunk (*15. ábra 5. kép*). Ezt követte a bemérés, a savas kezelés és a mikrohullámú feltárás. A beméréshez 100 mg mennyiségű fa évgyűrű minta kellett, amelyek ezután hőmérséklet és nyomás álló teflon edényekbe kerültek. (*17. ábra*)

A mintákhoz laboratóriumban, megfelelő védőfelszerelés (kesztyű, szemüveg, maszk) használata mellett kétszer desztillált salétromsavat adtunk hozzá (HNO_3), majd a mintákat egy éjszakán át állni hagytuk elszívó kamrában. Másnap a mikrohullámú feltárás előtt a mintákhoz 2 ml desztillált vizet és 1 ml nagy tisztaságú H_2O_2 -t adagoltunk. A víz hozzáadása a feltárás során keletkező heves reakciók csökkentésére történt. A mikrohullámú készülékbe egyszerre 10 minta fér bele, a vak mintával és a referencia mintával együtt (*16. ábra 7. kép*). A feltárás egy 60 perces program segítségével történt. Az első 30 percen 4 szakaszban történik a melegítés. Tíz perc alatt $75\text{ }^\circ\text{C}$ -ot érünk el, majd 6 perc alatt $135\text{ }^\circ\text{C}$ -ot. A harmadik szakaszban 4 perc alatt elérjük a maximális $210\text{ }^\circ\text{C}$ -ot, az utolsó, 10 perces szakasz pedig fenntartja ezt a hőmérsékletet. A maradék 30 percen a rendszer nagyjából $80\text{-}100\text{ }^\circ\text{C}$ -os hőmérsékletig hűl vissza. Ezt követően a mintákat szobahőmérsékleten tovább hűtöttük. Az előkészítés végső fázisában a feltárt mintát mérőlombikba dekantáltuk, desztillált vízzel 50 ml-re feltöltöttük és műanyag tároló edényekbe tettük (*16. ábra 8. kép*). A minták nyomelem (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sn, Tl, U, V, Zn, Ti, Sb) koncentrációjának meghatározása ICP-MS műszerrel történt (*15. ábra 9. kép*).



15. ábra Összefoglaló ábra a mintaelőkészítésről

- 1: Az évgyűriű minta.
- 2: 5 éves szakaszokra (almintákra) felvágott évgyűriű minta.
- 3: Szárítószekrény.
- 4: Analitikai mérleg a minták beméréséhez.
- 5: Az alminták aprítása kisebb darabokra.
- 6: Kisebb évgyűriű darabok a feltárás előtt.
- 7: Mikrohullámú feltáró.
- 8: A feloldott és 50 ml-re feltöltött minták.
- 9: ICP-MS műszer



16. ábra Analitikai mérleg és elektrosztatikus töltést csökkentő berendezés



17. ábra Teflon edények és minták a mikrohullámú feltáráshoz

2. Eddigi műveletek összegzése és következtetések

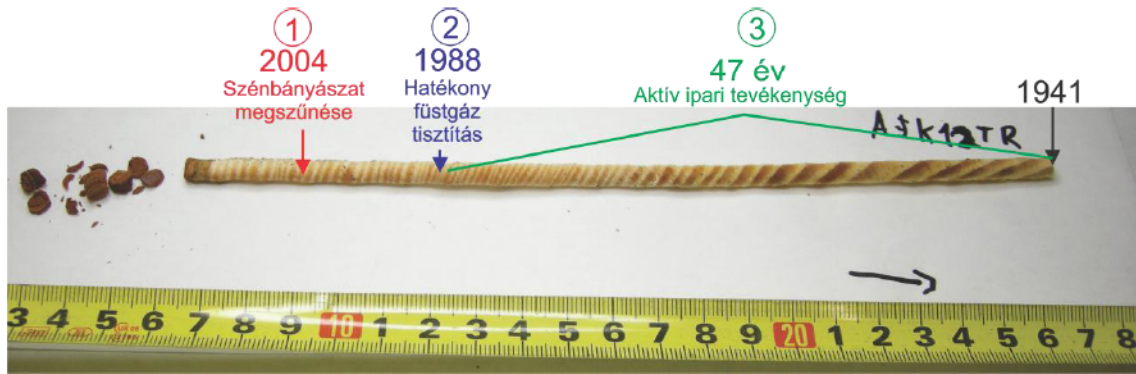
Dolgozatban a dendrokémiai vizsgálati módszerek általános tudnivalóit gyűjtöttem össze, valamint Ajka város ipari fejlődését és hanyatlását, továbbá a terepi mintavételezés egyes lépéseit mutattam be. A mintavételezés során az Ajkán kívül ÉÉNy-i irányban található Devecseri Széki-erdőből (háttérminták) és DDK-re lévő Ajka-Csingeri Parkerdőből is gyűjtöttünk mintákat. Szelektált minták kémiai elemzéseit februárban készülnek el, a dolgozat befejezéséig a mintaelőkészítés fázisáig sikerült eljutni.

A dendrokémiai vizsgálati módszerek időbeli és térbeli monitorozásra is alkalmazhatók, a sikerességét illetően azonban eltérnek az irodalomban megfogalmazott vélemények. Céloom a kutatás során kideríteni, hogy Ajka város ipari aktivitásának változása nyomot hagyott-e a fák elemi összetételében.

A 3 kiválasztott mintavételi terület révén lehetőségünk nyílt a feltételezhetően szennyeztelen ÉÉNy-i és szennyezett DDK-i irányból is minták gyűjtésére, valamint a városban található megfelelő fák mintázására. A fák fűrészt minden esetben a széliránynak megfelelő oldalon végeztük, vagyis szemben a lehetséges szennyező forrással.

A mintavételezést hosszú és alapos előkészítő folyamat előzte meg, ennek sikeressége kulcsfontosságú a további munkálatok során. Korábbi kutatások alapján, a mintaterület fafajtaí - amelyek fő képviselői közt van tölgy és fenyő is - tökéletesen alkalmasnak bizonyultak. Minden területről mindkét fajból sikerült a szempontjaink szerint alkalmas fát találni.

A mintaelőkészítés folyamán a fűrómagok 5 évenkénti hosszának megfelelően lettek feldarabolva. A minták feltárására szakirodalmak feldolgozása alapján a salétromsavat és hidrogén-peroxidot alkalmazó eljárást választottuk. A toxikus elemek mérésére ICP-MS technika áll rendelkezésre.



18. ábra Az elmúlt 72 év és az ajkai ipari tevékenység kutatás szempontjából fontos dátumai az AJK012-es fenyő minta alapján.

Az ipari események változásait az évgyűrűk számából adódóan 4-7 évtizedre visszamenőleg tudjuk vizsgálni. Az ajkai erőmű erőmű füstgáz rendszerének komolyabb fejlesztését 1988-ra végezték el, előtte 50-60 %-os pernyeválasztást tudott csak biztosítani, utána azonban kevesebb, mint 1 %-ot bocsátott ki. 2004-ben az Ármin bánya bezárásával végleg megszűnt az ajkai szénkitermelés. A 18. ábrán az egyik minta példáján szemléltetem a fenti mérőldköveket az elmúlt 70 évben. Feltételezéseink szerint az eredményeknek a három szakasz nyomelem összetételében különböző koncentrációt és különböző elemtársulást kellene mutatnia a különböző ipari aktivitás következtében. Ha ez reményeinknek megfelelően alakul, akkor igazolni tudjuk, hogy az évgyűrűvizsgálat alkalmazható egy alaposan kiválasztott terület környezetgeokémiai kutatására.

3. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik hozzájárultak a dolgozatom létrejöttéhez, elsősorban témavezetőmnek **Szabó Csabának** és konzulensemnek **Völgyesi Péternek**, akik időt és fáradságot nem kímélve segítettek munkám során. Köszönet illeti továbbá a mintavételezés során nyújtott segítségért **Zacháry Dórát** és **Páles Mariannt**, **Dr. Illés Gábort** a növedékfűróért, valamint az **Ajkai Önkormányzat** és az **Ajka-Csingeri Parkerdő** munkatársait a **Devecseri Erdészet** erdészeivel a helyszínen való segítségért a megfelelő fák felkutatásában. Köszönöm továbbá az **LRG** minden tagjának hasznos tanácsait és építő jellegű kritikáit.

4. Irodalomjegyzék

AJKA VÁROS HONLAPJA, elérhető: ajka.hu

AJKA KRISTÁLY KFT. HONLAPJA elérhető: ajka-crystal.hu

BABOS K. 1984: A csertölgy és néhány más fafaj évgyűrűszélesség és az éves csapadék összefüggés vizsgálata. - Botanikai Közlemények 71. pp.123-132.

BALATON-FELVIDÉKI NEMZETI PARK IGAZGATÓSÁG HIVATALOS HONLAPJA, elérhető: <https://www.bfnp.hu>

BELLIS, D.J., SATAKE, K., MCLEOD, C.W., 2004. A comparison of lead isotope ratios in the bark pockets and annual ring of two beech trees collected in Derbyshire and South Yorkshire, UK. Science of total Environment. 321, 105-113.

BENOIT, L.F., SKELLY, J.M., MOORE, L.D., DOCHINGER, L.S., 1982. Radial growth reductions of *Pinus strobus* L. correlated with foliar ozone sensitivity as an indicator of ozone-induced loss in eastern forests. Canadian Journal for Forest Research. 12, 673-678.

BERNEIKE, W., EHLERS, W., KNOTH, J., RADEMACHER, P., 1987. Element patterns in healthy and diseased Norway Spruce (*Picea abies*) measured by Inductively-Coupled Plasma/Atomic Emission Spectrometry and Total-Reflection X-ray Fluorescence Spectrometry. Analytica Chimica Acta. 195, 289-297.

BÓKA K., JAKUCS E., ZOLTÁN K., VÁGI P., 2007. Növényiszervezettani gyakorlatok, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 202.

CHENG, Z., BUCKLEY, B.M., KATZ, B., WRIGHT, W., BAILEY, R., SMITH, K.T., LI, J., CURTIS, A., GEEN, A., 2007. Arsenic in tree rings at a highly contaminated site. Science of total Environment. 376, 324-334.

CUTTER, B.E., GUYETTE, R.P., 1993. Anatomical, chemical, and ecological factors affecting tree species choice in dendrochemical studies. Journal. Environmental. Quality. 22, 611-619.

DEVECSERI SZÉKI-ERDŐ TERMÉSZETVÉDELMI TERÜLET leírása:
https://www.bfnp.hu/magyar/oldalak/devecseri_szeki_erdo_tt/1/1

EKLUND, M., 1995. Cadmium and lead deposition around a Swedish battery plant as recorded in oak tree rings. Journal. Environmental. Quality. 24, 126-131.

ENSZ, 2011. URBAN WALLCHART. 2011.
http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/urbanization/urbanPopDevEnnv_2011.shtml

FOX, C.A., KINCAIRD, W.B., NASH, T.H., YOUNG, D.L., FRITTS, H.C., 1986. Tree-ring variation in western larch (*Larix occidentalis*) exposed to sulfur Canadian Journal for Forest Research. 16, 283-292.

FRELICH, L.E., BOCKHEIM, J.G., LEIDE, J.E., 1989. Historical trends in tree-ring growth and chemistry across an air-quality gradient in Wisconsin. *Canadian Journal for Forest Research*. 19, 113-121.

FRITTS, H.C., 1976. *Tree Rings and Climate*, Academic Press, London.

GREEN, D.J., SHORTLE, W.C., SHIGO, A.L., 1981. Compartmentalization of discoloured and decayed wood in red maple branch stubs. *Forest Science*. 27, 519-522.

GRYNAEUS, A., 2009. Dendrokronológiai kutatások Magyarországon – a Magyar Dendrokronológiai Laboratórium tevékenysége. Hantken Kiadó, Budapest

GRISSINO-MAYER, H.D., 2003. A manual and tutorial for the proper use of an increment borer. *Tree ring research*. 59(2), 63-79.

HAGEMEYER J., SCHÄFER H., 1995. Seasonal variations in concentrations and radial distribution patterns of Cd, Pb and Zn in stem wood of beech trees (*Fagus sylvatica* L.) *The Science of the Total Environment*. 166, 77-87.

HORVÁTH E. 2004 Az évgyűrűs kormeghatározás hidrológiai vonatkozásai. - *Hidrológiai közlöny* 84/2 pp.37–57.

JOHNSON, A., EKLUND, M., HAKANSSON, K., 1997. Heavy metals in the 20th Century recorded in oak tree rings. *Journal Environmental Quality*. 26, 1638-1643.

KAZMER, M. (2003): Lejtőmozgások datálása fák évgyűrűivel. [Tree rings date landslides.] – *Földtani Kutatás* 40/3, 3–7,

KERN, Z., 2010. Éghajlati és környezeti változások rekonstrukciója faévgyűrűk és barlangi jég vizsgálata alapján. Doktori értekezés.

KOZMA K., 1996. Az ajkai erőmű története, Ajka, 399.

LEGGE, A.H., KAUFMANN, H.C., WINCHESTER, J.W., 1984. Tree-ring analysis by PIXE for a historical record of soil chemistry response to acidic air pollution. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. B3, 507-510.

LEPP, N.W., 1974. The potential of tree ring analysis for monitoring heavy metal pollution patterns. *Environmental Pollution*. 9, 49-61.

LUKASZEWSKI, Z., SIWECKI, R., OPYDO, J., ZEMBRZUSKI, W., 1988. The effect of industrial pollution on zinc, cadmium and copper concentration in the xylem rings of Scot's pine (*Pinus sylvestris* L.) and in the soil. *Trees* 2, 1-6.

MARCANTONIO, F., FLOWERS, G., THIEN, L., ELLGAARD, E., 1998. Lead Isotopes in Tree Rings: Chronology of Pollution in Bayou Trepagnier, Louisiana. *Environmental Science and Technology*. 32, 2371-2376.

MORGÓS A. 2002: A dendrokronológiáról. - *Erdélyi Magyar Restaurátor Füzetek* 2. Székelyudvarhely, pp. 13-25.

NÖVEDÉKFÚRÓ RÉSZEIRŐL KÉSZÜLT KÉP elérhető: <http://pubs.ext.vt.edu/2812/2812-1028/2812-1028.html>

PENNINCKX, V., MEERTS, P., HERBAUTS, J., GRUBER, W., 1999. Ring width and element concentrations in beech (*Fagus sylvatica* L.) from a periurban forest in central Belgium. *Forest Ecology and Management*. 113, 23-33.

ROLFE, G.L., 1974. Lead distribution in tree rings. *Forest Sci.* 20, 283-286.

SAINT-LAURENT, D., DUPLESSIS, P., ST-LAURENT, J., LAVOIE, L., 2011. Reconstructing contamination event on riverbanks in southern Québec using dendrochronology and dendrochemical methods. *Dendrochronologia*. 29, 31-40.

SMITH, K.T., HOUSTON, D.R., 1994. Metal concentrations in wood of sugar maple infected with sapstreak disease. *Canadian Journal for Forest Research*. 24, 185-188.

SMITH, K.T., BLANCHARD, R.O., SHORTLE, W.C., 1981. Postulated mechanism of biological control of decay fungi in red maple wounds treated with *Trichoderma hazianum*. *Phytopathology* 71, 496-498.

SZABADOS I 2006: The effect of the precipitation on tree ring width. – *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 1: p. 39 – 44

TÁJÉKOZTATÓ AJKA VÁROS KÖRNYEZETI ÁLLAPOTÁRÓL, 2005. hozzáférhető: ajka.hu

THOMPSON, M.A., 1981. Tree rings and air pollution: a case study of *Pinus monophylla* growing in east-central Nevada. *Environmental Pollution*. 26, 251-266.

VERGA VESZPRÉMI ERDŐGAZDASÁG ZÁRTKÖRŰEN MŰKÖDŐ RÉSZVÉNYTÁRSASÁG HONLAPJA, elérhető: verga.hu

veszprem.erdoinfo.com, ORSZÁGOS ERDÉSZETI EGYESÜLET VESZPRÉM FVM HELYI CSOPORT honlapja

WATMOUGH, S.A., HUTCHINSON, T.C., 1996. Analysis of tree rings using inductively coupled plasma mass spectrometry to record fluctuations in a metal pollution episode. *Environmental Pollution*. 93, 93-102.

WATMOUGH, S.A., HUTCHINSON, T.C., EVANS, R.D., 1997. Application of laser ablation inductively coupled plasma-mass spectrometry in dendrochemical analysis. *Environmental Science and Technology*. 31, 114-118.

WATMOUGH, S.A., HUTCHINSON, T.C., EVANS, R.D., 1998A. Development of solid calibration standards for trace elemental analyses of tree rings by laser ablation ICP±MS. *Environmental Science and Technology*. 32, 2185-2190.

WATMOUGH, S.A., HUTCHINSON, T.C., SAGER, E.P.S., 1998B. Changes in tree ring chemistry in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) along an urban-rural gradient in southern Ontario. *Environmental Pollution*. 101, 381-390.

WATMOUGH, S.A., 1999A. Monitoring historical changes in soil and atmospheric trace metal levels by dendrochemical analysis. *Environmental Pollution* 106, 391-403

WATMOUGH, S.A., HUTCHINSON, T.C., EVANS, R.D., 1999B. The distribution of ^{67}Zn and ^{207}Pb applied to white spruce foliage at ambient concentrations under different pH regimes. *Environmental and Experimental Botany*. 41, 83-92.

ZACHÁRY, D., 2012. Ajkáról és környékéről származó talajok környezetgeokémiai vizsgálata. Diplomadolgozat, Budapest.

ZAYED, J., LORANGER, S., KENNEDY, G., 1992. Variations of trace element concentrations in red spruce tree rings. *Water, Air, and Soil Pollution*. 65, 281-291.