

LÉGSZENNYEZÉS BECSLÉSE ZUZMÓK SEGÍTSÉGÉVEL

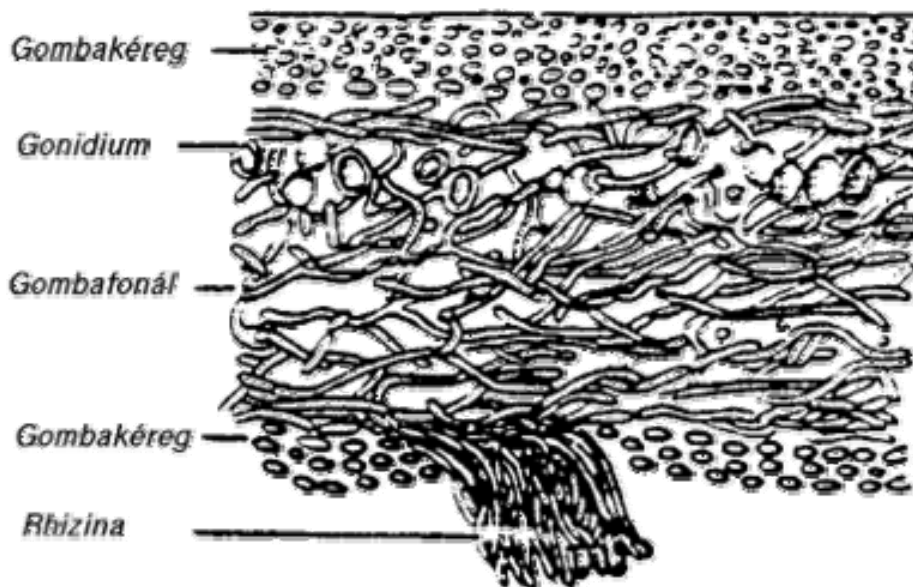
Az emberi tevékenységgel előidézett környezeti változások felmérésekor azokra a fajokra támaszkodhatunk, melyek a károsító hatásokra érzékenyebben reagálnak mint az ember, így eltűnésük vagy látható elváltozásai figyelmeztetnek a bennünket fenyegető veszélyre. A légszennyezés becslésének legelterjedtebb jelzőnövényei a zuzmók, felhasználásuk módszertana már a hetvenes években kialakult és azóta folyamatosan tökéletesedik. A mintavételnek és az adatfeldolgozásnak általánosan elfogadott módszerei vannak, melyek a kutatott terület nagyságától, természeti adottságaitól, valamint a becslés módját és pontosságát illetően is különböznek egymástól. A továbbiakban az ún. térképezési módszerekről lesz szó, melyek alapja a vizsgált területen természetesen előforduló zuzmók felmérése.

Magyarországon is végeztek ilyen típusú felméréseket, de a hivatásos szakemberek figyelme gyorsan elfordult a témától. Annál nagyobb az érdeklődés a kutatással nem hivatásosan foglalkozó, környezeti problémák iránt fogékony körökben. Az érdeklődők főként külföldi eredetű irodalmi forrásokra támaszkodhatnak, melyek kritika nélküli átvétele erősen rontja a kapott eredmények hitelét. E rövid ismertető megkísérli összefoglalni azokat az egyszerű módszereket, melyek felhasználhatók lehetnek a környezeti oktatás keretein belül is.

Miért használhatók a zuzmók jelzőnövényként?

Minden élőlény a maga sajátos módján viszonyul környezetéhez, annak egyes tényezőit különböző módon érzékeli. A zuzmók például a nedvesség és a hőmérséklet szélsőséges ingadozásait is képesek elviselni, míg a megvilágítottságot illetően már szűkebb a toleranciájuk, megosztva őket fény- és árnyékkedvelő fajokra. Különösen széles skálán változik az alzattal kapcsolatos igényük.

A zuzmók fonalagomák és egysejtű vagy fonalás kék- illetve zöldmoszatok együttéléséből keletkezett minőségileg új szervezetek. A levegő minőségével szembeni érzékenység szerkezetükkel magyarázható: gombafonalak sűrű szövevényébe ágyazott algasejtekből épülnek fel, felületüket erősen nedvszívó, sűrűbb hifaréteg borítja (lásd alábbi ábra).



A telepeset kialakító hifa-fonadék szivacszerűen veszi fel a vizet, és mivel a levegő páratartalmát is hasznosítja, az abban lévő anyagok akadálytalanul jutnak be a telep belsejébe. A fonalak között gyűlő nedvesség alkotja a moszatsejtek vízi környezetét, melyben elsősorban a savas ionok hatnak pusztítóan. A magasabb rendű növények leveleit epidermisz védi, ezért többségük csak erősen szennyezett levegőben károsodik. Velük ellentétben a zuzmóknak nincs külső védőrétegük, és a

felhalmozódó káros anyagokat sem képesek eltávolítani testükből. Lassú kezdeti növekedésük miatt csak négy-hat év múlva mutatják ki a javulást a levegő minőségében, míg érzékenységüknek köszönhetően a rosszabbodó körülményekre már néhány hónapon belül az egyes fajok telepeinek elhalásával reagálnak.

Szaporodásuk többféle módon történik, a moszatok osztódással és rajzóspórákkal szaporodnak, a gombák spórákkal, de teleprészek szétesésével is új egyedek jöhetnek létre.

Az anyagcseréjük során zuzmósavakat termelnek, amelyek a kőzetet mállasztják, baktericid hatásúak.

Közhelynek számít, hogy „pionír növények, csupasz sziklákon, fák törzsén, talajon egyaránt megtalálhatóak”. Csakhogy... más fajok élnek a csupasz szikla déli, és mások az északi oldalán, sőt különbségeket találunk a szikla nedvesebb alsó és szárazabb felső része között is. A hasonló igényű zuzmók társulásokat képeznek, amelyek könnyen felismerhetők jellegzetes fajaik alapján. Öreg fákon a fiatal és idős ágak kérgének, fény- és páraviszonyainak különbözősége olyan élőhelyi változatosságot teremt térben és időben, hogy egyazon törzsön a társulások szukcessziójának több állapotát is megtalálhatjuk.

A szennyezett levegőt élőhelyi stressznek tekinthetjük, melyet a zuzmók különbözően tolerálnak. Légszennyezést mérő állomások közelében gyűjtött zuzmók és az ott mért értékek felhasználásával rangsorolhatók a fajok ellenállóképességük szerint, ún. érzékenységi skálát alkotva. Az ilyen skálák élén találjuk a nagy felületű, bokor alakú zuzmókat, melyek az alföldi településekről hiányoznak, ugyanis túl száraz és poros számukra a levegő. A levél alakúak egy része megtalálható a városokban is, de a valóban szennyezett levegőt csak néhány kéregtelepű zuzmó viseli el egy bizonyos határig. Ezen a szennyezési szinten túl alakul ki az úgynevezett zuzmósivatag, ahol a fák törzsén nem élnek zuzmók, de falakon, tetőkön, mészkövön még megtalálhatóak. Mivel a városok száraz levegője önmagában is kedvezőtlen számukra, nedvesebb klíma alatt egyes zuzmófajok toleránsabbnak bizonyultak, mint szárazabb éghajlatú vidékeken. Úgy tűnik, a fajok érzékenysége az éghajlattól függően változhat, ezért nem használhatjuk a német, brit, lengyel vagy skandináv eredetű érzékenységi sorozatokat Magyarországon. Meg kell említeni azokat a munkákat is, amelyek valamely faj jelenlétét a helyi SO₂ szennyezés mg/m³-ben kifejezett számszerű értékeihez köti. Az ilyen adatok természetesen csak meghatározott statisztikai valószínűséggel és csak az adott területen érvényesek, ahol nagyszámú mérési adat alapján határozták meg őket. Más tájegységben, sőt szinte kontinentális léptékben alkalmazni ezeket a skálákat (van rá példa!), a szakértelem teljes hiányára vall.

További osztályozásuk

- Életforma típustól függően a zuzmók fánlakó (*epifiton*), falonlakó (*epilitikus*) és talajlakó (*epigeion*) kategóriákba oszthatók. Az epilitikus fajok szorosan tapadnak az aljzathoz vagy anyagát feloldva bele is hatolnak, így a felszabaduló karbonátos ionok semlegesítik a savakat a zuzmó „első oldatában”, csökkentve a szennyezés romboló hatását. A látszólag azonos típusú, de különböző eredetű és korú cserép, téglák és habarcs pufferoló képessége más és más, emiatt a rajtuk élő zuzmók nem mindig tükrözik a levegő szennyezettségi fokát. Az epifiták esetében az aljzat változatossága szemmel látható, ezért a zuzmótérkép elkészítésénél csak ezeket veszik figyelembe.
- Telepes testük lehet *homoimer*, ha a gombahifák között az algák egyenletesen oszlanak el, illetve *heteromer*, ha a hifák és a gonidiumok külön rétegekbe rendeződnek

Mintavétel

Minden zuzmótelep nagyszámú környezeti tényező hatása alatt áll. Vizsgálatunk tárgyául ugyan a levegő minőségét választjuk, de nem hagyhatjuk figyelmen kívül a környezet többi elemét sem, melyek számunkra bizonytalansági tényezőként lépnek fel. Minél hasonlóbb mikro-élőhelyeket hasonlítunk össze a város különböző pontjain, annál valószínűbb, hogy a zuzmók elterjedésében tapasztalt különbségek fő oka a légszennyezés.

A városi tetőkön, falakon élő fajok szorosan tapadnak az alzathoz vagy anyagát feloldva bele is hatolnak, így a felszabaduló karbonátos ionok semlegesítik a savakat a zuzmó „belső oldatában”, csökkentve a szennyezés romboló hatását. A látszólag azonos típusú, de különböző eredetű és korú cserép, téglák és habarcs pufferoló képessége más és más, emiatt a rajtuk élő zuzmók nem felelnek meg feltételeinknek. Hasonlóan a holt fa is (kerítés, oszlop) különböző módon kezelt és különböző mértékben korhadt. Az epifiták, vagyis a fák kérgén élők esetében az alzat változatossága szemmel látható, ezért könnyen tudunk hasonló helyzetű és állapotú törzseket választani mintavétel céljára.

A mintavételi helyek kijelölésekor következetesen tartani kell magunkat néhány szabályhoz. Mivel munkánk eredményét csak mint valószínűséget értékelhetjük, szükséges a magas mintaszám, amely részben ellensúlyozza a minták elkerülhetetlen változatosságából eredő szórást. A megfelelő fák kiválasztásához használt módszereket megtaláljuk a szakirodalomban, vegyük sorra a legfontosabbakat.

1. Fényviszonyok

A száraz városi klímát tűrő zuzmók a fénykedvelő fajok közül kerülnek ki, ezért a törzs legyen jól megvilágított.

2. A fa kora

Egy felismerhető zuzmótelep kifejlődéséhez 6-7 év is szükséges, így a fiatal fák törzsén csak a szukcessziós sorozat első tagjait találjuk. Általában 15-25 évre becsülik a mintavételre alkalmas fák alsó korhatárát, ami kb. 20 cm törzsátmérőt jelent. Szennyezés hatására a szukcesszió „elakad”, ezért felső korhatárt szükségtelen megjelölni. A tiszta levegőjű területeken viszont a fák kora jelentős tényezővé válik, ezért egy bizonyos fajgazdagság elérése után a további hasonlítóztatás és osztályozás messze túlmutat az ilyen munkák keretein.

3. A törzs helyzete

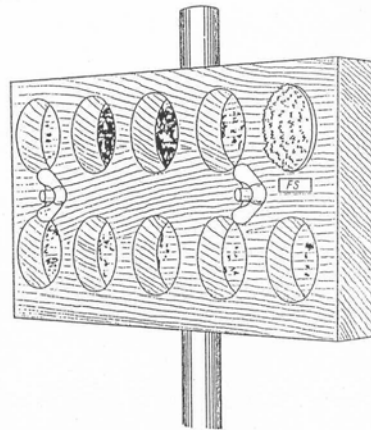
A mintavételt 0.5-2 m magasságban végezzük (a törzs alja más típusú élőhely!) szabadon álló fán, melyet nem zárnak el falak, bokrok a légáramlatoktól. Ilyenek az utcai sorfák, vagy a parkok peremén lévőek.

4. Kéregtípus

A repedezett fakéreg zuzmófajai eltérnek a sima kérgű fáétól, mely utóbbin kevesebb fajt találunk. A különböző kéregtípusok okozta szóródást kétféleképpen kerülhetjük el: vagy nagyszámú azonos fajú v. nemzetséggű (pl. gesztenye vagy nyár) fáról veszünk mintát, minél egyenletesebb eloszlásban (legalább 5 fa/km²), vagy mintavételi egységeket jelölünk ki. Ezek olyan 50-100m átmérőjű területek, ahol több, a mintavételi kritériumoknak megfelelő fafaj is található. Egységenként meghatározott számú (5-10), de különböző fajú fáról veszünk mintát, és ezeket együttesen (egy pontként) értékeljük ki. Ilyen mintavételi területekből 2-3/km² már kielégítő eredményt ad. Egy előzetes felmérés a település fáról segíthet a döntésben, melyik módszerrel éljünk. Mindkét esetben érvényes, hogy amennyiben van módunk választani azonos korú, helyzetű és fajú fák közül, mindig a legfejlettebb zuzmóflórával rendelkezőt válasszuk.

A mintavétel módja: Késsel vagy finom vésővel, a kérget kímélve válasszuk le a szabad szemmel és nagyítóval megkülönböztethető fajok egy-egy példányát. Kezdők több példányt is gyűjthetnek ugyanabból a fából, ugyanis gyakran csak a határozáskor derül ki, hogy a látszólag azonos habitus mögött különböző taxonok rejtőznek. Nagyobb telepű, könnyen azonosítható fajokból elég letépni egy darabkát, kímélve ezzel a helyi zuzmóflórát. Ha a zuzmó leválasztásakor az élő kérget is megsértettük, a sebet azonnal kenjük be faoltó viasszal. A gyűjtött anyagot papírzacskóba helyezve tároljuk, melyre feljegyezzük a dátumot, a mintavételi helyet, a fa fajtát, törzsátmérőjét, esetleg a mintavételi egységen belüli helyzetét is. Ezek az adatok segíthetnek megítélni a mintavételi hiba lehetőségét abban az esetben, ha az eredmény kirívóan különbözik a környező egységektől.

Gyakran használnak ún. expozíciós táblákat, ahová különböző zuzmófajokat helyeznek el, és ezek túlélését vizsgálják.



14. ábra. Zuzmók expozíciós táblája

Értékelés

A mintavételi helyeket pontosan berajzoljuk a térképre. Elsőként azokat jelöljük meg, ahol nem találtunk zuzmót, így kirajzolódik a zuzmósivatag területe. A továbbiakban több eljárás közül is választhatunk, melyekkel légszennyezési zónákat határolunk el. A zuzmósivatagtól jobb állapotú területen lesznek a zuzmók küzdelmi zónái, általában az egy-három zuzmófajt tartalmazó, erősen szennyezett belső, és a kevésbé szennyezett külső küzdelmi zóna. Nagyvárosokban, nagyszámú minta és pontos fajmeghatározás esetén lehetséges egy középső zónát is elkülöníteni. A tiszta levegőjű, fejlett zuzmóflórájú területeket normál zónaként jelölhetjük meg. A „normális” zuzmóflóra megismeréséhez a település közelében kell mintavételi helyeket kijelölni, természetesen az ismertett feltételek alapján (pl. erdő belsejében álló fák nem jöhetnek számításba). Maga a zónafelosztás erősen szubjektív, legfeljebb a hasonló területen végzett kutatások eredményeire támaszkodhatunk. A zónákat a mintavételi pontok rajzolják ki, melyeket több elv szerint osztályozhatunk, az azonos osztályba tartozókat egyforma jelöléssel látjuk el a térképen. A zónák szinte sosem válnak el éles határokkal, hiszen a helyi viszonyok, mint például a beépítettség, légmozgások, zöldfelület közelsége módosítólag hatnak az eredményekre. Ezért kell kerülni az egy ponton kapott adatokra alapozott messzemenő következtetéseket.

Értékelési módszerek

1. Csak a **kéregtelepű és lombos** fajokat különböztetjük meg egymástól. Elterjedésük ábrázolásával így is három zónára oszthatjuk a várost: zuzmósivatag, csak kéregtelepűek által betelepített belső küzdelmi zóna, a levéltelepűekkel jelzett külső küzdelmi zóna pedig összeolvad a normál zónával. Ha a feltűnő sárga falizuzmót afféle "tűrhetően jó" levegőt jelzőnek vesszük, akkor elterjedésének bejelölésével már négy zónánk van, és térképünkön kirajzolódnak a leginkább szennyezett részek. A módszer nem tűnik túl tudományosnak, de alig marad el eredményében a többitől. Ha biztosan felismerjük a zuzmókat, nem szükséges az anyagot begyűjteni, csak feljegyezni, milyen típusú telepet látnak a fán, és így abszolút természetbarát felmérést végezhetünk. Persze, a mintavétel szabályai ez esetben is érvényesek maradnak.

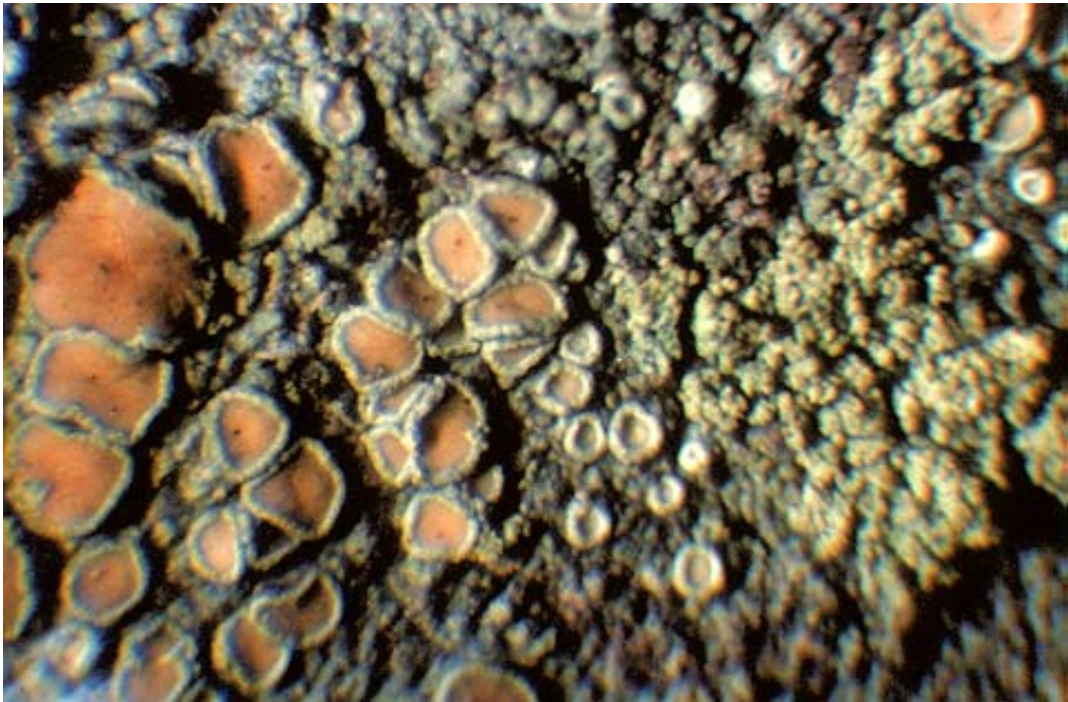
2. A mintavételi pontokra az ott élő **zuzmófajok számát** visszük fel, a zónákat a „tisztább levegő = több zuzmó” elv szerint alakítjuk ki. Ha a mintavételi helyek száma legalább 3-5/km² ezzel a módszerrel is jó térképet kaphatunk. Ebben az esetben nem kell meghatározni minden faj nevét, de a fel nem ismerteket is el kell különíteni egymástól.

3. Három vagy négy, különböző érzékenyséű **karakterfaj** elterjedését ábrázoljuk.

Zuzmót határozni, míg nem ismerjük fel az egyes csoportok jellemzőit, lehangolóan nehéz lehet. Ezért egyszerűbb, ha a különböző tűrőképességű zuzmók közül kiválasztunk néhány fajt, melyeket könnyen fel tudunk ismerni, és csak ezeket határozzuk meg az anyagból. Így is szükségünk lesz határozókulcsra és az abban leírt vegyszerekre, valamint egy mikroszkópra. Később, némi rutint szerevezve esetleg kedvet kapunk a többi faj megismeréséhez is. A karakterfajok kiválasztásához elegendő 8-10 minta meghatározása a település különböző részeiből, a peremétől a központig, és némi tájékozódás az irodalomban (a saját tájegységünkre vonatkozó cikket feltétlenül olvassuk el, még ha fordíttatni kell, akkor is).

Javasolt karakterfajok:

- Egyes *Lecanora* fajok a legellenállóbbak: *L. conizaeoides* domb- és hegyvidéken, a *L. hageni* és *L. umbrina* síkságon élnek.
- A gyakori *Buellia punctata* valamivel érzékenyebb, jellegzetes spórái miatt könnyű felismerni, más településen élő fajjal össze nem téveszthető.
- A lombos, pillás *Physcia ascendens*, valamint a *Pheophyscia orbicularis* már az előző zónában megjelenhet, de jól fejlett, nagy borítású telepeik mérsékelt szennyezett levegőt jeleznek, csakúgy, mint a gyümölcsfákon megjelenő *Hypogymnia physodes* (felfűjt, alul csupasz telepe első pillantásra felismerhető).
- Enyhén szennyezett levegőt visel el az egyedüli urbanizált sárga levéltelepű faj, a *Xanthoria parietina* de egyes helyeken már a *Parmelia sulcata* is megjelenhet a kissé árnyékoltabb törzseken.
- Tiszta levegőn, de többnyire a beépített területeken kívül élnek a *Parmelia* nemzetség többi fajai, valamint a bokros telepű zuzmók.



2. ábra. *Lecanora conizaeoides* apotéciumai (apotécium = a tömlősgombák csészeszerűen nyitott termőteste)



3. ábra. *Letharia vulpina* (rókazuzmó, Yosemite nemzeti park)



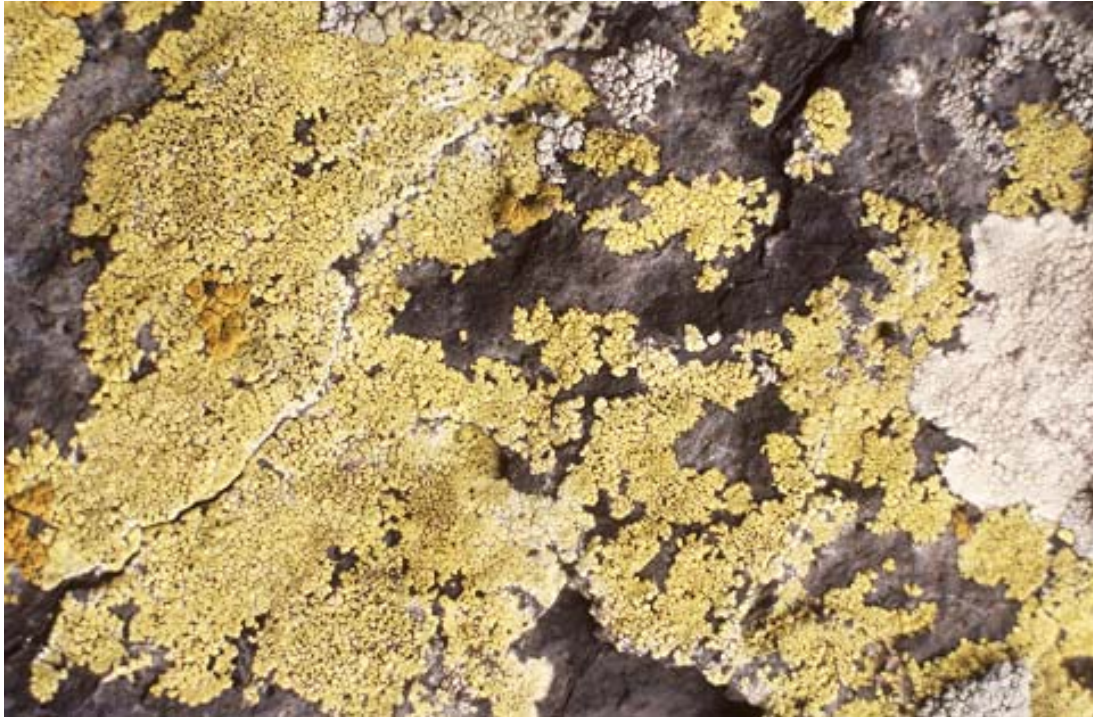
4. ábra. *Usnea* sp. (szakállzuzmó)



5. ábra. *Cladonia rangiferina* (rénszarvaszuzmó)



6. ábra. *Graphis scripta* (betűzuzmó, kéregtelepű)



7. ábra. *Rhizocarpon geographicum* (térképzuzmó, kéregtelepű)

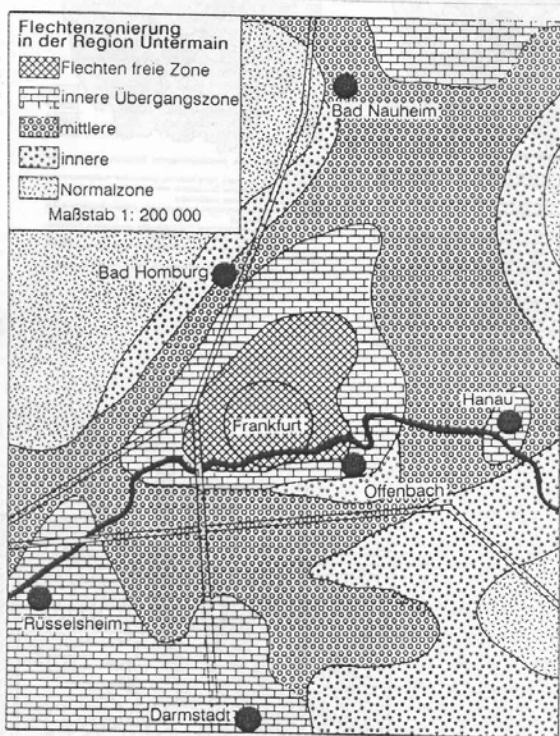
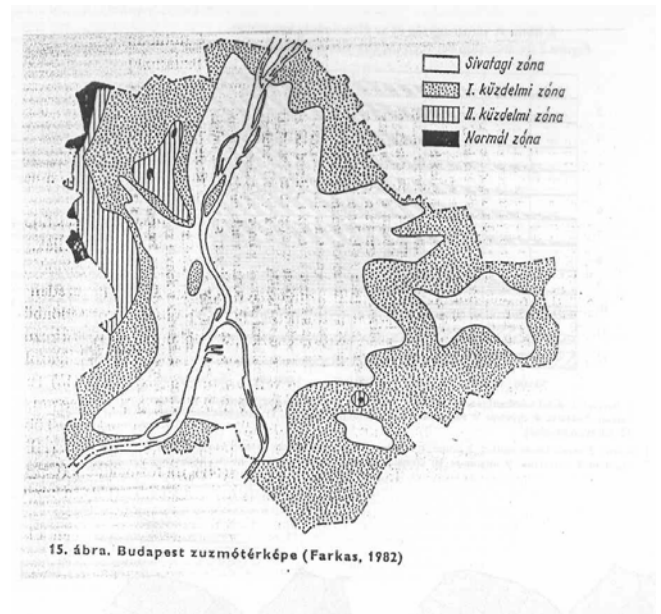


Abb. 3–12: Flechtenzonierung im Großraum Frankfurt (nach Steubing 1978).



15. ábra. Budapest zuzmótérképe (Farkas, 1982)