

Sr			< 0,01	< 0,01	0,04	2	10
Zn	µg/l	10,2	12,21	14,7	17,2	65	200

## 13.6. KŐSZERKEZETEK ÉS ÉPÜLETEK KŐANYAGÁNAK DIAGNOSZTIKÁJA

A követ és a kőépületeket sokan az időállóság és az örökkévalóság szimbólumának tekintik. Sajnos a kőzet, amint a bányából kikerül, más környezetbe jut, hosszabb-rövidebb idő alatt fizikai és kémiai változásokon megy keresztül. Ezek a változások kezdetben és sok esetben csak esztétikai eltérések, pl. elszíneződik a kőzet, de egy idő után szerkezeti változás is végbemegy, amely az esztétikai mellett statikai problémákhoz is vezethet.

A mérnöki gyakorlatban, különösen az építészeti feladatok során sokszor előfordul, hogy egy kőépület erősen leromlott állapotú, elhanyagolt. Az alábbiakban rövid összefoglalása következik annak, hogy egy adott kőépületet vagy szerkezetet milyen módszerekkel lehet vizsgálni, és milyen okok vezetnek az építé-

si kőanyagok tönkremeneteléhez. A külső tényezők változásához a kőzet megpróbál „alkalmazkodni”. Ez a „környezetváltozás” visszafordíthatatlan folyamat megindulásához, a beépített kőzetanyag mállásához vezet.

A kőzetmállást három tényezőcsoport befolyásolja: a kőzet minősége, a klimatikus viszonyok, beleértve a légszennyeződést is és a külső hatások (talajvíz, sók stb.). Az időjárás hatásai közül hazánkban elsősorban a csapadék mennyisége és formája (köd, csendes eső, zápor, havazás stb.), a hőingadozás (napi és hosszabb periódusú, pl. éves), az olvadási-fagyási ciklusok száma és a légszennyezettség dominál. Az általános tendenciák mellett az egyes kőelemek mikroklimatikus elhelyezkedése (esőnek kitett vagy szélvédett, É-i vagy D-i fekvés stb.) a műemléken belül is jelentős mállási különbségekhez vezet. A kőzetek mállással szembeni ellenálló képességét, azaz időállóságát elsősorban ásványi összetételük és szöveti tulajdonságuk befolyásolja.

Kicsit hasonlít az orvosi gyakorlathoz a műemlékek és kőépületek diagnosztikája, ugyanis egy kórelőzményt

fel kell tární, azonosítani kell a károsodást (betegséget), és végül egy terápiát kell biztosítani.

Kórelőzményként célszerű megismerni az adott kőszerkezet építéstörténetét és egyéb tényezőit. A legfontosabb meghatározandó előzmények közé tartoznak:

- kőszerkezet, épület (pl. műemlék)-azonosítás: tulajdonos, méretek, bejuttás, engedélyek stb.,
- helyszín jellemzése,
- történet (levéltár, helyi szakemberek),
- építések, átépítések,
- kőzetanyag származása,
- korábbi funkciók és hasznosítás,
- környezeti tényezők elemzése (meteorológia, légszennyezettség, talajvíz stb.).

A kőanyag diagnosztikájának a főbb lépései a következők:

- helyszíni elemzések,
- laborvizsgálatok,
- mállási kísérletek (anyagtulajdonosság) (opcionális),
- esetleges kezelőszerkezet hatékonyságának elemzése,
- kisméretű helyszíni vizsgálati felületek kialakítása és tesztelése.

A kőszerkezet/épület kőanyagának helyszíni vizsgálatakor a 10. fejezetben leírt módszerek alkalmazhatók, de célszerű az állapotfelvételt előtt egy alaprajzot és egy fallkiosztás-rajzot vagy egy részletes homlokzat-stb. rajzot beszerezni. Ez szolgál a felmérés alapjául, erre a rajzra visszük fel térképszerűen a helyszínen tapasztaltakat.

A kőzetanyag tönkremeneteli formáit és elváltozásait négy nagy csoportba oszthatjuk:

- kőzetanyag-vesztés,
- elszíneződés/leülepedés,
- leválás,
- repedés/deformáció.

Ezen belül megkülönböztetjük a különféle mállási formákat morfológiájuk alapján, kialakulási mechanizmusuk szerint és időbeni állandóságuk vagy fejlődésük szerint (Fitzner et al. 1995, magyarul még Kertész 1981, 1987, 1988, Gálos 1999, Török 2004b, 2005b). A tönkremenetelt előidézhetik fizikai, kémiai vagy biológiai folyamatok (lásd mállást, a 4. és 6. fejezetekben). Gyakorlati szempontból a legfontosabb káros hatások az időjárás, főképpen a hőingadozás és a csapadék, a

gázok és füstgázok, a szerves aktivitás (pl. zuzmók) és a sók.

A károsodások végső soron visszavezethetők:

- mechanikai mállásra,
- oldódásra,
- elváltozásra/leülepedésre,
- biológiai mállásra,
- emberi beavatkozásra.

A kőzetpusztulás a kőzetanyag egy részének elvesztésével jár. Ezek közé az elváltozási formák közé soroljuk a kőzetfelület lepusztulását, a felületi oldódás miatt kialakuló egyenetlen kőzetfelszínnek (relief) megjelenését és a kőzetfelület kitérését.

A kőzetfelület lepusztulását, a kőzet „hátrálását” okozhatják a kéregleválások. A kéregleválás bekövetkezhet hőingadozás vagy fagy hatására is, de a kőzet pórusaiban krikisztályosodó sók, vagy akár a jégkristályok feszítő ereje is okozhatja. A városi szennyezett levegőjű területeken a gipszes mállási kéreggel találkozhatunk leggyakrabban (13.41. ábra).

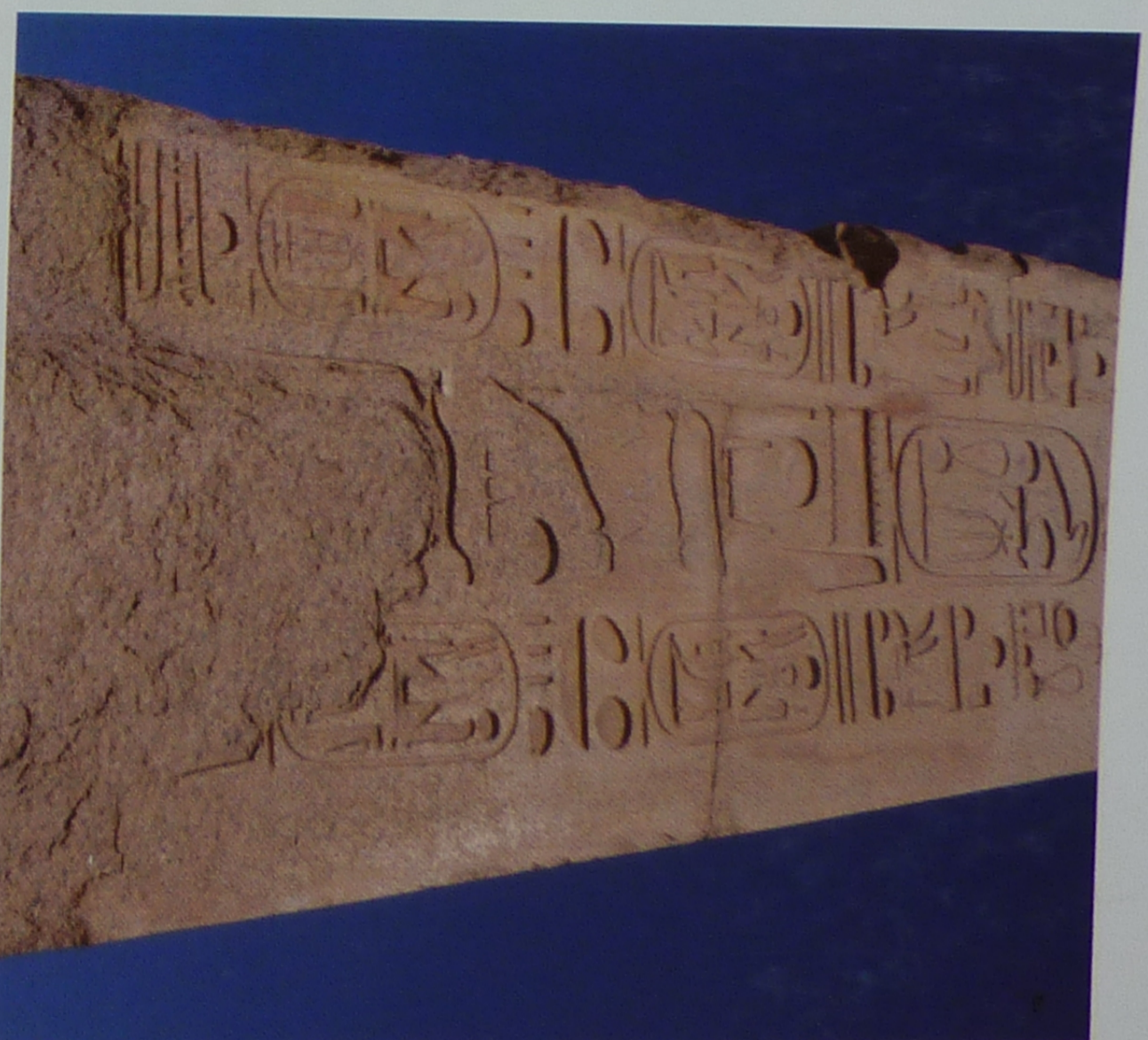
A mállási kéregek leválásának megjelenési formái közé sorolható a körkörös kéregleválás, a kéreg széleinek megemelkedése, a kéreg felcserepedése, felleveledése, a kéreg felhólyagosodása. A kéregleválás több mm-es vastagságú kőzetfelszínnek leesésével jár, míg a felleveledésnél csak mm-es vékonyságú „kőzetlemezek” jelzik a kőzetfelület pusztulását (13.42. ábra).

Gyakori mállási jelenség a szemcse-kipergetéses mállás, amely a hazai durva mészkő műemlékeknél viszonylag gyakori jelenség, és a kőzetfelület rohamos pusztulásához és hátráláshoz vezet (13.43. ábra).

A kőfelületek differenciált mállásakor az ún. „relief” alakul ki. Ennek egyik legszembetűnőbb formája az ún. alveoláris mállás, de ide sorolható a cementált tömött mészkőből álló műemlékek felületén megjelenő „mikro-karsztos” oldódás is, amely a természetben előforduló mészkőhegysek karsztos formáihoz hasonlóan alakul ki, azaz a csapadékvíz oldja a mészkő felületét, azzal a különbséggel, hogy ez kisebb területen, kőzetblokkokon jelentkezik. A beépített kőzettömbök eleinek, sarkainak legömbölyödése, lekerelkedése is a kőzetpusztulás egy-egy formája. A kőzet szövetétől függően, az egyes kőzetalkotók oldékonysága, vagy mállással szembeni ellenálló képessége eltérő lehet. Ez a kőzetalkotók szelektív kímáltságához vezethet, amely megnyilvánulhat azok oldódásával kialakuló mélyebb felületben, vagy éppen ellenkezőleg, kevésbé mállékony alkotók kipreparálódásához (pozitív morfológia) vezethet. A szelektív mállásra gyakori pél-



**13.41. ábra.** Fekete leváló mállási kéreg alatt feltáruló fehér durva mészkő (BME központi épület, főhomlokzat)



**13.42. ábra.** Levelesen leváló gránit (obelisz, Karnak, Egyiptom)

dákat találunk a homokköveknél, ahol a homokköveket alkotó szemcsék és a kötőanyag (cement) eltérő tulajdonságokkal rendelkezhet, de egyes mészköveknél a héjtöredékek vagy akár az alapanyagban található különböző cementációjú részek (pl. cementált nyomfossziliák) is eltérő mértékű mállást mutathatnak (**13.44. ábra**).

A kőzetfelület kitorrése leginkább külső okokra vezethető vissza, pl. épület terhelése, földrengések stb. Hajszálrepedések, repedések és törések is kialakulhatnak

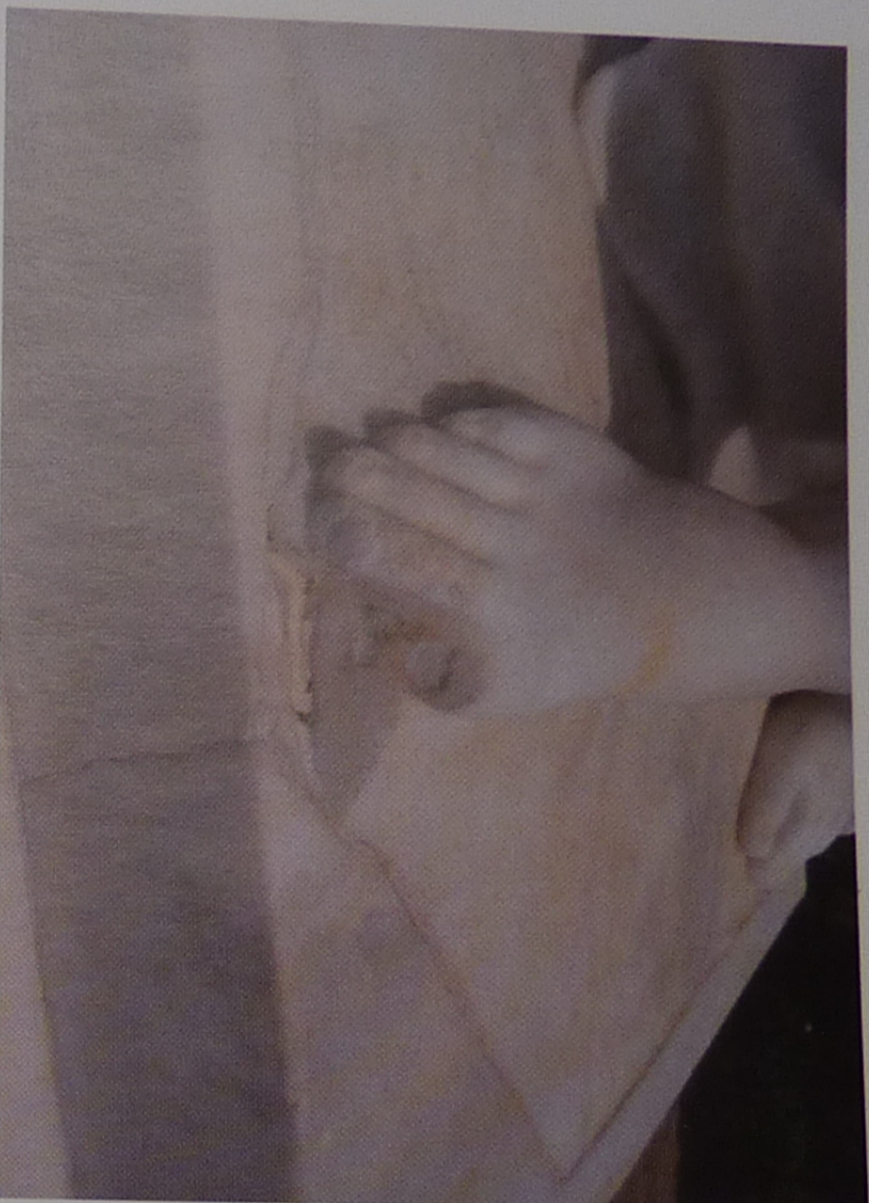


**13.43. ábra.** Erősen pusztuló szemcse-kipergéses durva mészkő (Citadella, Budapest)



**13.44. ábra.** Sztiliolit (agyagos ér) menti kőzetmállás, tömött mészkő (Portugália)

Hazánkban előforduló mészkövek közül ez különösen jellemző az ún. vörös mészkőre (gercesei/tardosi vörös tömött mészkő), amely külső elhelyezés esetén fakóvörössé válik, de a forrásvízi mészkő polírozott barnássárga lapjai is évek múltán fakó fehérés színt öltenek a mállás hatására. Ellenkező változást eredményez, ha a kőzetfelület az üde kőzetre nem jellemző erős színt



**13.45. ábra.** Kőzetrepedés márványban a kőzetanyag letöréséhez vezetett

kap a mállás hatására. Ezt okozhatja a kőzet szövetében található ásványok kioldódása, de külső felületi elszíneződés is (pl. zöldes színű patina réztartalmú szobrok oldódásából).

A sókiválások részben jól látható módon, a kőzetfelületen vagy az alatt jelentkeznek. A só alkothat összefüggő „sókéregget”, vagy megjelenhet kisebb kristálycsomók, foltok formájában (**13.46. ábra**). A só eredete változó, lehet a kőzet szövetéből mobilizált só, vagy származhat a talajvízből, de előfordul az is, hogy a nem megfelelő habarcs alkalmazásával kerül a kőzet pórusrendszerébe, majd a felületére a só.

A kőfelület károsodhat növények hatására, amelyek közül a zuzmók gyökérsavaikkal, míg a magasabb rendű növények a gyökérsavak mellett gyökereik feszítő erejével is károsíthatják a kőzeteket. Különösen a fűgákba tudnak meglepedni a növények. A mállás és a fizikai károsítás mellett a növényi bevonatok sok esetben negatív esztétikai hatást is keltenek (**13.47. ábra**).

A nemzetközi gyakorlatban Fitzner és társai (1995) nyomán öt kőzetkárosodási kategóriát különítenek el, és minden egyes károsodási kategóriát külön színnel jelölnék. A kategóriák a következők: 1: nagyon enyhe kőzetkárosodás (halvány színek), 2: enyhe kőzetkárosodás, 3: közepes mértékű kőzetkárosodás, 4: jelentős



**13.46. ábra.** Sókivirágzás a tufa gyors kőzetpusztulását eredményezi (egri vár)

kőzetkárosodás, 5: nagymértékű kőzetkárosodás (sötét markáns színek). Az egyes kőzetkárosodási kategóriák párhuzamba állíthatók a beavatkozás, azaz a kőzetállag-megóvási munkák sürgősségével is. A gyakorlati életben, ezen kategóriák megállapításához, a kőanyag állapotról a helyszínen készíthetünk állapotfelvételt, amelyen rögzíthetjük az egyes kőzettípusok előfordulását, ún. kőkiosztás térképeken és térképi formában ábrázolhatjuk a legfontosabb kőzetelváltozásokat is. Ehhez először a helyszínen található kőzetek elváltozásait érdemes kategorizálni, majd ezt követően az egyes elváltozásokat a fal vagy a vizsgált épület/szobor stb. térképén ábrázolni. A módszer gyakorlati alkalmazhatóságáról pedig számos nemzetközi és hazai példa ismert, ezek közül Török et al. (2005) cikke alapján az egri Vár faláról készült kőzettani (litológiai) és mállási térkép-párt mutatja be a **13.48. ábra**.



**13.47. ábra.** Alga-bevonat márvány szökőkúton (melki kolostor, Ausztria)



- v-szürke horzszaköves riolittufa
- szürke kemény riolittufa
- rózsaszín dáccittufa
- barnás, közettörmelék-dús riolittufa
- fehér mallekony riolittufa
- fehér közettörmelék-dús riolittufa
- homokkő
- téglá

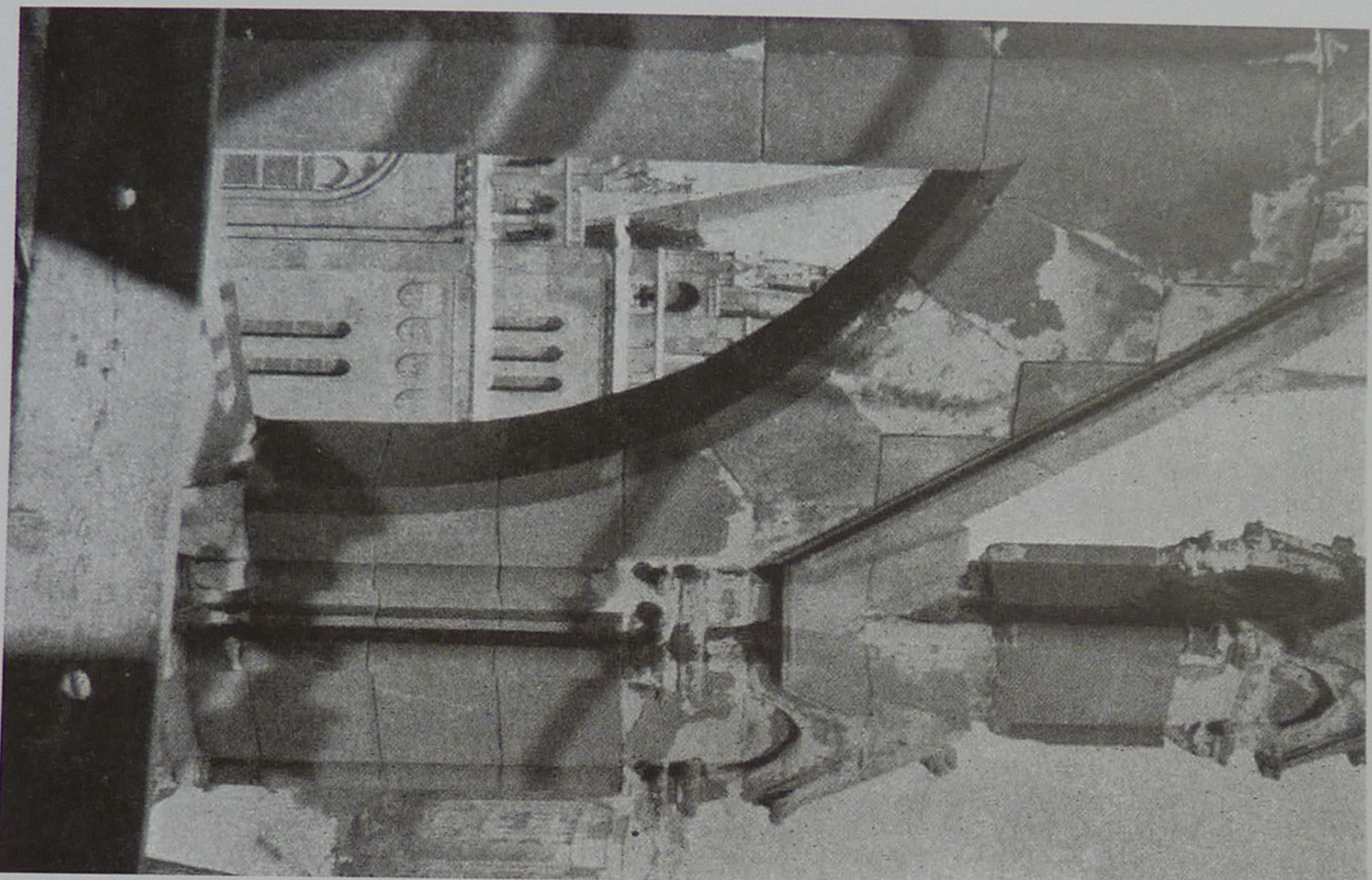


- felületi kiperogás
- szemcsekiiperogás
- kéregleválás
- többszörös kéregleválás
- fellevelesedés
- többszörös fellevelesedés
- differenciált mállás
- felület hátrálás
- felhólyagosodás
- repedés
- sókiválás
- mállási kéreg
- növény-bevonat
- kicserelt, új kőzet

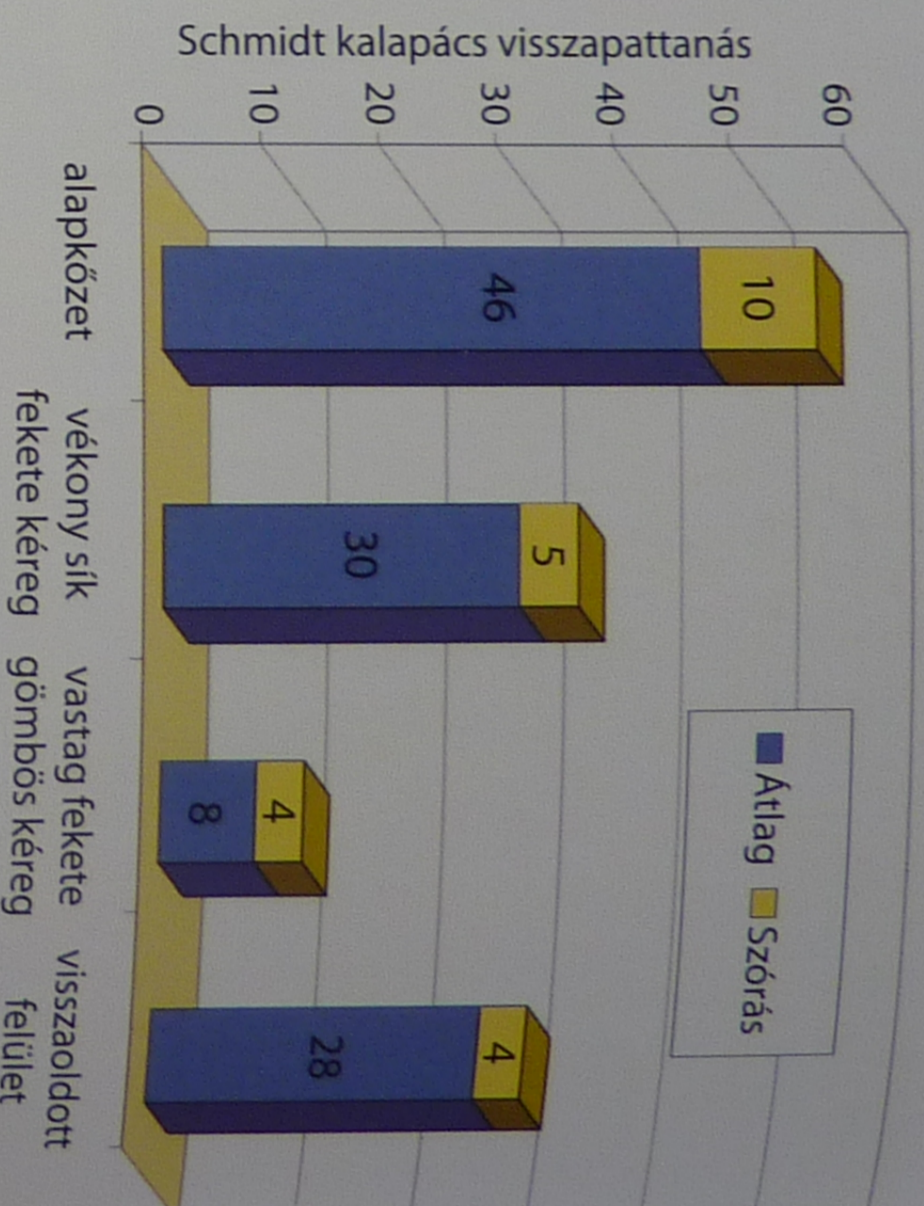
**13.48. ábra.** A kőzettpusok elterjedését bemutató térkép (fent) és a legfontosabb kőzetelváltozások térképi ábrázolása az egri Vár egyik falszakaszán (méretarány 0,5 m)

A látható elváltozások bélyegei mellett a kőzet fizikai állapotáról a helyszíni roncsolásmentes vizsgálatokkal, esetleg roncsolásos fúrásos vizsgálattal győződhetünk meg. A 10. fejezetben már bemutatott Schmidt-kalapács visszapattanási érték tájékoztat a kőzet mállottságáról, és viszonyítási alapul szolgál arra, hogy ez a tönkremeneteli folyamat milyen mértékű (13.49. ábra). A Duroszkóp is jól használható, bár ez felületérzékeny műszer. Fontos tulajdonság és a beépített kőzetek időállóságát erősen befolyásolja a porusrendszerük. Ezt pípás vízbeszívással lehet helyszínen meghatározni (lásd 12. fejezet).

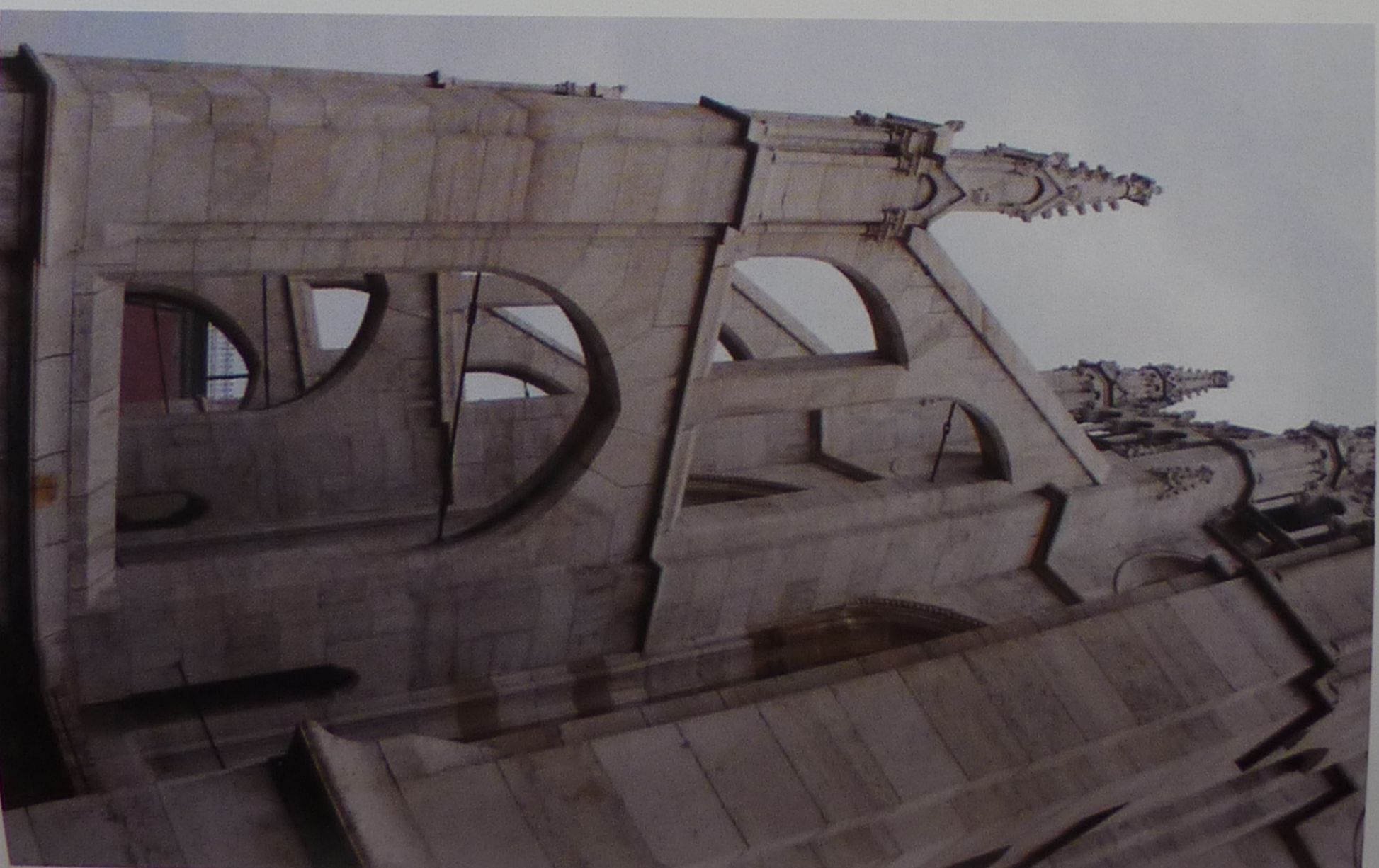
A tönkremenetel mértékét térképen is ábrázolhatjuk, és színeket rendelhetünk az egyes állapotú kőzetfajtákhoz. Ez a térképábrázolás segít a restaurálásban vagy a szerkezeti megerősítés tervezésében. A kőzetek légszennyeződések hatására bekövetkező pusztulása nem



**13.50. ábra.** Légszennyezés hatására tönkrement durva mészkőelem az Országháznál, amelyet időállóbb süttői forrásvízi mészkőre cseréltek ki a felújítás során (baloldalt 1932-es kép Láczy O. felvétele, jobboldalt frissen felújított kőtorny-részlet)



**13.49. ábra.** A Schmidt-kalapács visszapattanási érték csökkenése mállás hatására, süttői forrásvízi mészkő





**13.51. ábra.** Intenzív kőzetpusztulás a máltai prehisztórikus templom hatalmas mészkő tömbjein (Hagar Qim, Kr.e. 3000-2500, Málta)

új keletű dolog, hiszen az Országgház megépítését követően néhány tíz év múlva már pusztulni kezdette a kőanyag (**13.50. ábra**).

A tengerparti környezet különösen agresszív lehet, hiszen a vízpárából a kőzetfelületre jutó só a pórusokba kristályosodva jelentős károsodást okoz (**13.51. ábra**).

A hazai városainkban, a mai korban, a légszennyezés bár bizonyos komponensekre nézve javuló tendenciát mutat, a porterhelés és leülepedés nem csak esztétikai károsodását okozza a műemlékeknek, hanem jelentős károsodással jár és anyagvesztéshez vezethet. A fekete mállási kéreg magas szerveszén-tartalma a légszennyeződés eredetű koromnak tulajdonítható. Budapesti durva mészkőből épült műemlékek fekete mállási kérgét vizsgálva megállapítható, hogy a mállási kéregekben a gipsz mennyisége elérheti a 70%-ot és a koromrészecskék a gipszkristályokba beépülve a kőzetfelület fekete színét okozzák (Török 2002, 2003) (lásd 12.3. ábra).

Az adott épületegyüttest vagy műemléket a terepi mérések mellett labormérésekkel is kell diagnosztizál-

ni. Általában kisméretű minták elemzésére a 12. fejezetben bemutatott módszerek alkalmasak. Egy ilyen, a helyszíni és laborvizsgálatok együttes alkalmazását igénylő komplex elemzést mutat be a következő eset-tanulmány is.

### **13.6.1. Esettanulmány: a Szabadtság híd köpilléreinek vizsgálata**

A hídszerkezetet 1894 és 1896 között építették (terv: Chatry S. és fia építési vállalkozó és Schikedanzen építész). A pillérek és a hídtők már 1885-ben elkészültek. A mederpillérek 28 m hosszú és 7,5 m széles alapresten állnak. A pillérek már építésükkor gránittal burkolták. A második világháború végén, 1945. január 16-án