



BETONFELÜLET OPTIKAI VIZSGÁLATA

OPTICAL INSPECTION OF CONCRETE SURFACE

Gobesz Ferdinánd-Zsongor,¹ Máthé Aliz Éva²

¹ Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezet-mechanikai Tanszék, Kolozsvár, Románia, go@mecon.utcluj.ro,

² Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezet-mechanikai Tanszék, Kolozsvár, Románia, aliz.mathe@mecon.utcluj.ro

Abstract

In order to obtain accurate and reliable data on the properties of concrete surfaces, professional testing methods and specialised equipment may be required. Optical inspection can be carried out as part of, or as preparation for, diagnostic testing. This paper describes a procedure that can be applied to microscopic inspection too, as it is based on data obtained from the use of a software package developed for biological digital image processing. As an example, the quantification of cavities on the side of a concrete cube specimen is described, step-by-step, but such a convenient procedure could also be used to evaluate other surface features.

Keywords: concrete, surface, inspection, digital image processing.

Összefoglalás

Ahhoz, hogy pontos és megbízható adatokat lehessen nyerni a betonfelületek jellemzőiről, szakszerű vizsgálati módszerekre és különleges berendezésekre lehet szükség. Az optikai vizsgálatok a diagnosztikai vizsgálatok részét vagy előkészítését képezhetik. A dolgozatban egy olyan eljárás kerül ismertetésre, mely mikroszkopikus vizsgálatra is alkalmazható, ugyanis egy biológiai digitális képfeldolgozásra fejlesztett programcsomag alkalmazásából származó adatokra támaszkodik. Példaként egy betonkocka próbatest oldalán levő üregek mennyiségi számítását ismertetjük, lépésenként, de ilyen kézenfekvő eljárással más felületi jellemzőket is értékelni lehetne.

Kulcsszavak: beton, felület, vizsgálat, digitális képfeldolgozás.

1. Bevezetés

A beton az egyik legelterjedtebb anyag az építőiparban, mivel előállítása könnyű és költséghatékony. A friss beton képlékeny, így szinte bármilyen formát fel tud venni, megszilárdulása után pedig nyomásterhelésre ellenálló és hosszú élettartamú lesz. Minősége főleg az alapanyagoktól (cement, víz, adalékanyag, ásványi és vegyi kiegészítő anyagok), a kivitelezési technológia megfelelőségétől, illetve a karbantartástól függ. A beton szilárdságát és tartósságát nemcsak az adalékanyag és a cement fajtája, hanem a cementpép szilárdulása után kialakuló cementkő pórustartalma (a pórusmérettel és a póruseloszlással) is

befolyásolja [1]. A megszilárdult beton porozitása nemcsak szilárdság és tartósság miatt fontos, hanem a fagyállóság, vízzáróság és a felületi kopás miatt is, az estleges esztétikai követelmények mellett. A cementek fajtáját a környezeti hatásoknak megfelelően kell kiválasztani, ügyelve a megfelelő víz-cement tényezőre [2].

A friss beton összetevőinek a minőségét engedélyezett laboratóriumokban végzett vizsgálatokkal ellenőrzik, a hatályos jogszabályok és szabványok [3] szerint.

A bedolgozott beton tulajdonságait is ellenőrizni kell [4], ezt általában próbatesteken végzik, de előfordulhat, hogy in situ vizsgálatok is szükségesek.

2. Betonfelület kinézete

A beton felületének optikai vizsgálata során általában a következő jellemzőket lehet értékelni:

- szín;
- egyenletesség;
- textúra;
- kopás;
- repedések;
- esetleges szennyeződések;
- hőmérséklet;
- nedvesség;
- porozitás.

A betonfelület színe és kinézete építészeti (esztétikai és funkcionális) szempontból lehet fontos. A felület egyenletessége a kivitelezés minőségéről tanúskodik, a simaság, érdesség, esetleges szabálytalanságok főleg a közlekedési felületeknél fontosak, illetve olyan burkolatoknál, ahol a textúra is szerepet játszik. A felületi kopás és elhasználódás mértéke, az erózió vagy a felületi károsodások egyéb formái a karbantartás vagy javítás szükségességének a meghatározásában lényeges. A betonfelületen lévő repedések jelenléte, mérete és kiterjedése kulcsfontosságú lehet a beton szerkezeti épségének és tartósságának az értékeléséhez. Szintén a tartósságra utal a felületi kúszás vagy zsugorodás mértéke. A karbantartás és tisztítás szempontjából fontos a betonfelületen lévő esetleges szennyeződések, kivirágzás vagy biológiai szaporodás jelenlétére utaló foltok értékelése. A betonfelület hőmérsékletének mérése hasznos lehet a kötési és szilárdulási folyamat értékeléséhez, a lehetséges termikus igénybevételek azonosításához vagy az energiahatékonyság optimalizálásához szabályozott hőmérsékletű környezetben. A betonfelületen jelen lévő nedvesség mennyisége szintén a kötési folyamat értékelését segíti, de esetleges problémák, például vízszivárgások azonosítását is segítheti. A felület porozitási adatai segítenek értékelni a betonfelület permeabilitását, ami kulcsfontosságú a tartósság, valamint a betonfelület nedvességgel vagy vegyi behatolással szembeni ellenálló képességének az értékeléséhez.

Ahhoz, hogy pontos és megbízható adatokat lehessen nyerni a betonfelületek fent említett jellemzőiről, szakszerű vizsgálati módszerekre és különleges berendezésekre lehet szükség.

Az optikai vizsgálatok a diagnosztikai vizsgálatok részét vagy előkészítését képezhetik. Bár az ilyen vizsgálatoknak elég széles körű a palettája (pl. fotogrammetria, sztereoszkópia, felületi szkennelés, átvilágítás, sugárzás vizsgálat stb.)

dolgozatunkban csupán egy olyan digitális képfeldolgozásra alapuló eljárást ismertetünk, mely mikroszkopikus vizsgálatokból származik.

3. Digitális képfeldolgozás

3.1. Alapok

Optikai vizsgálatokkal csupán azokat a jellemzőket lehet értékelni, melyek optikailag érzékelhetők és mérhetők. Az optikai vizsgálat szemrevételezést, illetve optikai eszközök alkalmazására utal. A szemrevételezés sokszor pontatlan vagy elégtelen adatokkal szolgál, ezért ajánlott megfelelő optikai eszközök alkalmazásával kiegészíteni. Bár az analóg eszközök pontosak, a velük kapott adatokat nehezebben lehet kezelni, mint a numerikus adatokat. A digitális eszközök alkalmazásával könnyebben bővíthető az adatkezelés, például zavarok és zajok szűrésével, geometriai vagy morfológiai képtranzformációkkal, képszegmentálással stb.

A digitális fénykép elemi pontok (pixelek) halma, melyekhez általában 0–255 közötti színintenzitási értékek tartoznak. Színes képek esetén minden pixelhez több (képernyők RGB-komponensei esetén 3 érték, nyomtatók CYMK-komponensei esetén 4 érték), míg szürke skálájú képek esetén 1 érték szükséges. A fekete-fehér képek esetében nincsenek színintenzitási értékek, mert elég egy bit egy pixel jellemzésére. A digitális képfeldolgozás a jelfeldolgozás egy változata, mely során algoritmusokkal kezelik a képet alkotó adathalmazt.

A színek vagy a szürkesség intenzitási értékeinek az eloszlását hisztogrammal lehet ábrázolni. Amennyiben ez módosítható, a pixelek intenzitásainak a kiküszöbölésével a megjelenítés is változtatható.

3.2. Eljárás

Vizsgálataink során a szemrevételezés mellett digitális fényképezőgéppel készítettünk különféle betonfelületekről képeket, majd az így kapott képeket egy szoftver segítségével dolgoztuk fel, hogy könnyen értékelhető számszerű eredményekhez juthassunk.

Mivel a kutatásunkba építőmérnöki hallgatókat szerettünk volna bevonni, a digitális képfeldolgozáshoz olyan szoftvert kerestünk, mely alkalmazásához nem szükséges programozási nyelv ismeret. A digitális képfeldolgozáshoz előbb az Irfanview [5] szoftvert használtuk, mellyel könnyen ellenőrizhető a képminőség, és kivágható a vizsgálandó felület képe. Az így kapott digitális

képrést a Fiji [6, 7] szoftvercsomag segítségével vizsgáltuk, mely többek között lehetőséget nyújt a különféle foltok (részecskék) jellemzőinek az értékelésére is. Elvileg a következő lépéseket alkalmaztuk:

- a megnyitott digitális kép színintenzitási értékeinek küszöbvágása;
- maszkgenerálás a megjelenített képre;
- vizsgálati beállítások kiválasztása;
- vizsgálat futtatása.

A program vizsgálati beállításainak megfelelően, két szöveges táblázatban kaptuk a számszerű értékeket (pixelméret, minimális és maximális színintenzitási értékek, átlagok, eltérések stb.). A kapott pixelméreteket természetesen az elemzett digitális kép pixeleinek összege alapján kellett arányosan valós felületméretekkel alakítani.

Fontos megjegyezni, hogy megnyitott kép minősége és a színintenzitások küszöbértékének a vágása (amely igencsak befolyásolja a maszk generálását) döntően kihat a számszerű eredmények mennyiségére és pontosságára. A vizsgálati eljárás részletesebb ismertetését a következő példával tesszük.

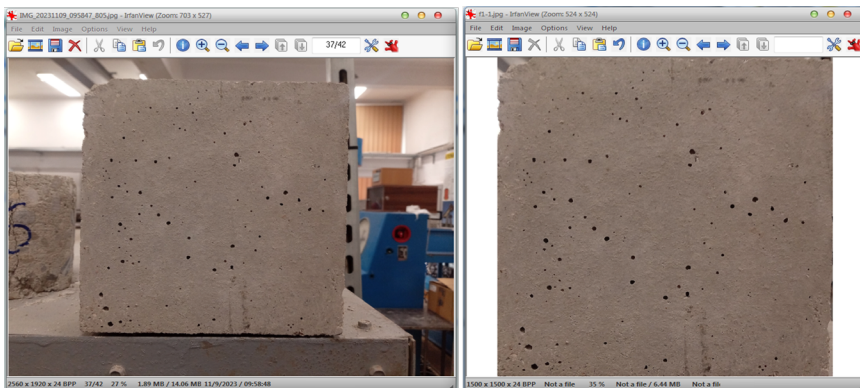
3.3. Alkalmazási példa

Gyakorlati órákon az építőmérnöki hallgatók betonkocka próbatesteket öntenek, majd nyomószilárdsági tesztnek vetik alá ezeket.

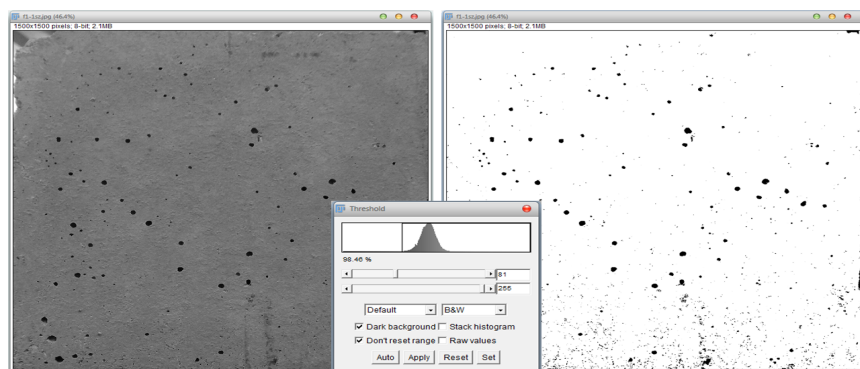
Egy ilyen, C20/25-ös betonból kiöntött kocka oldalát fényképeztük le, miután a felülete szín és textúra szempontjából megfelelőnek tűnt. Mivel 150 mm-esek a kocka élei, a csak az oldalt ábrázoló, kivágott, digitális képrést 1500×1500 pixelre méreteztük át a számítások egyszerűsítése végett (1. ábra). A vizsgálat céljaként a kocka oldalán látható üregek számszerű értékelését választottuk.

A kivágott és átméretezett kép megnyitása után 8-bit szürke árnyalatúvá változtattuk a Fiji programban, majd a hisztogram segítségével az intenzitások küszöbértékét vágással változtattuk (2. ábra). A megfelelő küszöbvágás beállítása kulcsfontosságú az utána látható képrészletek szempontjából.

A program mérési beállításai közül ki lehet választani a foltok felületei mellett a kerületeiket, árnyalataikat és sok más jellemzőjét is, de jelen esetben csupán az üregek számára és méreteire



1. ábra. A betonkocka laborbeli fényképe (balra) és az oldal kivágott, átméretezett képe (jobbra)



2. ábra. A szürke árnyalatú kép (balra) és a hisztogramos küszöbvágás (középen) utáni kép (jobbra)

szorítottunk. A küszöbvágás után fekete-fehér maszkot generáltunk, és az értékeléshez számozott körvonalak fedési ábrázolását választottuk (3. ábra). Az automatikusan generált maszk részletei a küszöbvágás mértékétől függenek, alacsonyabb küszöbértékkel kevesebb és kisebb felületű foltok lesznek, míg magasabb küszöbértékkel a foltok nagyobbak lesznek, és az apróbb zajok is megjelennek.

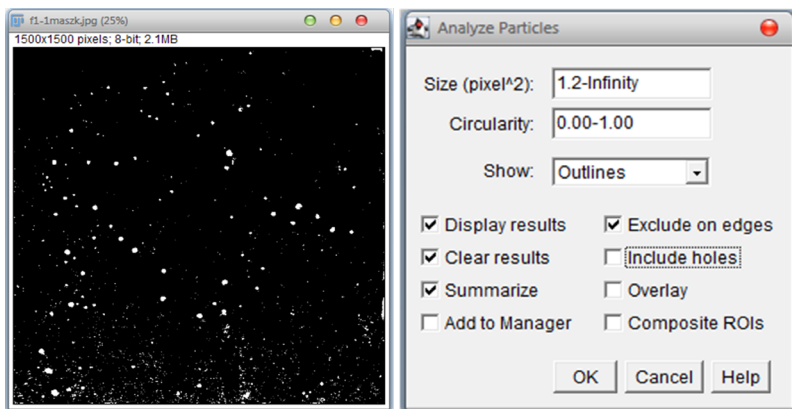
A betonkocka töredezett élei miatt figyelmen kívül hagytuk a maszk szélein levő foltokat. A számozott körvonalak átfedési rajza mellett a program két táblázatban nyújtotta a pixelmérés eredményét: egy összegzésben meg egy részletes táblázatban (mindkettőt vesszővel tagolt szöveges adattömbként), ahogy a 4. ábrán van érzékelteve. A részletes táblázat tartalmazza a foltok körvonalainak a számozását és pixelméreteit.

3.4. Számszerű eredmények

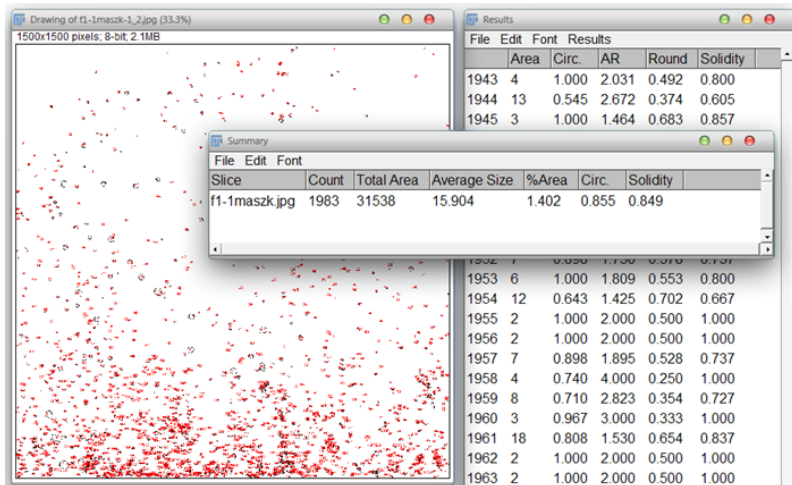
A kapott pixelmérési eredmények alapján ezek után ki lehet számítani a foltok valós méreteit, tudván, hogy az 1500×1500 pixelméretű kép egy 150×150 cm-es oldalnak felel meg (tehát 1 pixel = $0,1 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm}$, azaz $0,01 \text{ mm}^2$). A részletes mérési táblázatból így ki lehet számítani minden egyes bejelölt folt méretét, illetve igények szerinti statisztikai jellemzőket az észlelt foltokra (mérétek szerint is lehet szűrni vagy csoportosítani).

A képfeldolgozás eredményeként kapott adatok átdolgozása után az üregek összesített felülete $3,1538 \text{ cm}^2$, ami a 225 cm^2 -es oldalfelület $1,40\%$ -át teszi ki.

A képfeldolgozásból származó adatok természetesen a vizsgálathoz megadott paraméterektől is függnének, nemcsak a feldolgozandó digitális kép minőségétől. A 3. ábra jobb oldalán látható beál-



3. ábra. A bitmaszk (balra) és a foltmérési ablak (jobbra)



4. ábra. A számozott körvonalak átfedési rajza és a táblázatokként kínált eredmények.

lítás (1,2–végtelen pixel²) 1983 darab folt (ügy-nevezett részecske) lett felismerve, de a program alapbeállításával (0–végtelen pixel²) 2869 darab folt lett volna. Amennyiben az alapbeállításokkal dolgoztunk volna, a 2869 folt összterülete 32 424 pixel², azaz 3,2424 cm²-et tett volna ki, ami a betonkocka 225 cm²-es oldalfelületének 1,44%-át jelenti.

A részletes eredmények lementett szövegállományában szűrni lehet utólag a pixelfoltok méretei szerint az adatokat, és így jól érzékelhető a vizsgálat foltméretre vonatkozó beállításának a hatása. Az 1. és 2. táblázatoknak az első oszlopában „m” a számításba vett minimális pixelméret, a második oszlopában a minimális pixelmérettől nagyobb foltok darabszáma, a harmadik és negyedik oszlopában pedig a darabszámnak megfelelően összesített felület (pixelekben, illetve cm²-ben), az utolsó oszlopában pedig a 225 cm²-es betonfelülethez viszonyított százalékos érték szerepel.

1. táblázat. Az alapbeállítással (0–végtelen pixel²) kapott értékek

m	Foltok	Felület		
		[pixel]	[cm ²]	[%]
0	2869	32 424	3,2424	1,44
1	1983	31 538	3,1538	1,40
2	1484	30 540	3,054	1,36
3	1206	29 699	2,9699	1,32
4	997	28 863	2,8863	1,28
5	822	27 900	2,79	1,24

2. táblázat. A példabeli beállítással (1,2–végtelen pixel²) kapott értékek

m	Foltok	Felület		
		[pixel]	[cm ²]	[%]
0	1983	31 538	3,1538	1,40
1	1983	31 538	3,1538	1,40
2	1484	30 540	3,054	1,36
3	1206	29 699	2,9699	1,32
4	997	28 863	2,8863	1,28
5	822	27 900	2,79	1,24

Könnyen észrevehetőek az azonos értékek a 2. táblázat első két sorában, jelezve, hogy ez esetben nem voltak 1 pixel nagyságú pontok észlelve a vizsgálat által. A bemutatott példában alkalmazott paraméterrel gyakorlatilag ki lettek szűrve az 1 pixel nagyságú foltok, így a második sortól lefelé

mindkét táblázatban azonos foltszám és felületi értékek láthatók.

A betonkocka oldalát ábrázoló kivágott kezdeti képnek az átméretezése 1500×1500 pixel nagyságra vélhetően nem befolyásolta negatív módon az eredményeket, mivel eredetileg nagyobb méretű volt.

4. Következtetések

A megfelelő eredmények kiválasztásához érzékenységi tesztet is lehet futtatni. A digitális képfeldolgozások során sok esetben az adatok leszűkítése az egyik cél. Minél kevesebb adatot kell kezelni, annál gyorsabb és egyszerűbb az eljárás.

Végezetül felmerülhet az a kérdés, hogy mely eredmények helyesek, milyen paraméterekkel kell dolgozni? A helyes választ erre csakis az eljárást alkalmazó szakértelme és tapasztalata alapján lehet megadni, a megfogalmazott feladat függvényében.

A bemutatott optikai vizsgálat műszaki eszköze a digitális képfeldolgozásra alapozódik. Bár a kutatás során használt programcsomagot biológiai digitális képfeldolgozásra készítették, ez nem korlátozza más szakterületen való alkalmazását. Az optikai vizsgálat digitalizálása és a számítástechnikai eszközök alkalmazása számos előnyt kínál, a számszerű adatok kezelése pedig sok lehetőséget nyújt, de nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy az eredmények a bevitt adatokból születnek.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Nehme S. G.: A porozitás hatása a beton tartósságára. In: *Betonszerkezetek tartóssága*. (Szerk.: Balázs Gy., Balázs L. Gy.). Műegyetemi Könyvkiadó, Budapest, 2008. 12–140.
- [2] Kausay T.: *Beton. A Betonszabvány néhány fejezetének értelmezése*. Mérnöki Kamara Nonprofit Kft., Budapest, 2013. 47–52.
- [3] ASRO, Catalog standarde (ICS). SR EN 12350-1...12. <https://magazin.asro.ro/Search?q=EN+12350&ics=&l=&sp=1> (letöltve: 2023. október 31.).
- [4] ASRO, Catalog standarde (ICS). SR EN 12390-1...19. <https://magazin.asro.ro/Search?q=S-R+EN+12390&ics=&l=&sp=1> (letöltve: 2023. október 31.).
- [5] Irfan Skiljan: Irfanview Graphic Viewer. <https://www.irfanview.com/> (letöltve: 2023. október 4.).
- [6] Schindelin J., Arganda-Carreras I., Frise E. et al.: Fiji: an Open-Source Platform for Biological-Image Analysis. *Nature Methods* 9/7. (2012) 676–682. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>
- [7] Fiji: ImageJ, with "Batteries Included". <https://fiji.sc/> (letöltve: 2023. október 4.).