

Látszóbeton felületek értékelése digitális képfeldolgozással

1. BEVEZETÉS

A látszóbeton felület megjelenési módjának meghatározása a tervező feladata, amely magába foglalja a készítendő szerkezettel kapcsolatos elvárásokat, követelményeket, az alkalmazandó vizsgálati módszereket és a megfelelés feltételeit. A megjelenési mód meghatározása a magyar szabványokra, más nemzetek szabványaira, illetve irányelveire való hivatkozással, vagy a tervező által meghatározott vizsgálati szempontok, módszerek és tűrési értékek definiálásával történhet.² A felületek minőségének értékelését éppen a látszóbeton sokoldalúsága nehezíti, megítélése még a legjobb esetben is többnyire szubjektív, az ország kultúrájától függő, ezért szabályozása, szabványosítása is kihívást jelentő feladat. Hazánkban kifejezetten a látszóbeton felületekre vonatkozó szabvány nem készült, ebben az esetben az MSZ 24803:2010 Épületszerkezetek megjelenési módjának előírásai szabványsorozat 6-3, a monolit vasbeton szerkezetekre vonatkozó eleme³ alkalmazható. Hasonlóan a nemzetközi példákhoz, négy látszóbeton osztályt különböztet meg: az alap, a normál, a magas és a különleges követelményszintet. A szabvány a vizsgálati szempontokhoz osztályonként eltérő tűréshatárokat rendel, meghatározza a vizsgálati módszereket és az osztályba sorolás módját. Az elkészült szerkezet minden részének meg kell felelnie az előírt követelményeknek, a mintavétel pedig ott történik, ahol az értékelésnél bizonytalanság merül fel.² Hasonlóan a nemzetközi előírásokhoz, a vizsgálati módszerek kivétel nélkül kézi mérésen alapuló, illetve néhány esetben szemrevételezéses eljárások. Azok a vizsgálati szempontok, amelyek esetében a megfelelési kritériumok jól definiáltak és egyértelmű mérésekkel alátámaszthatók, könnyen és gyorsan értékelhetők. Ilyen szempontok például az él hullámossága, a felületek fogassága, vagy a cementpépkifolyás, melyek mértéke mm-ben meghatározható és ez alapján osztályba sorolható. Vannak azonban olyan vizsgálati szempontok, ahol a vizsgálat időtartama aránytalanul hosszú, vagy csak szubjektíven értékelhető az

[1] SZE Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola, Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszék, egyetemi tanársegéd, Témavezető: Dr. habil Papp Ferenc, egyetemi tanár, SZE Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar, Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszék.

[2] KAPU LÁSZLÓ: *Látszóbeton – Látványbeton*, 2014, TERC Kft, Budapest, 304.

[3] MSZ EN 24803-6-3:2010 *Épületszerkezetek megjelenési módjának előírásai, Monolit beton- és vasbeton szerkezetek, A helyi alakhűség és a felületi állapot követelményei*, 2010, Magyar Szabványügyi Testület, 26.

adott szempont. Ilyen például a felületi pórustartalom vizsgálata, amely a szabványos módszerrel legalább másfél órát vesz igénybe egy mintafelület esetében. Ugyancsak nehezen megítélhető a színeltérés mértéke, amely elsősorban szubjektív értékelésen alapul. Kutatásom során elsősorban e két szempont értékelési módszerének fejlesztésével foglalkoztam.

2. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI

A kutatás az Új Nemzeti Kiválóság Program keretein belül korábban megkezdett munka folytatása, illetve annak kiterjesztése. Korábbi kutatásom során a látszóbeton felületek pórustartalom vizsgálatára dolgoztam ki automatizált értékelési eljárást. A módszer kidolgozásához a Python 2.7 platformját, valamint az OpenCV modult alkalmaztam. A módszer alapja az eredeti képen manuálisan kijelölt hibamentes felületrészekre mint háttérre egy kétváltozós, harmadfokú polinom illesztése a legkisebb négyzetek módszerével, majd az eredeti képtől való eltérések hibaként történő megfeleltetése. A felületi pórusok detektálása a szegmentálás módszerével előállított képeken történő szűrőfeltételek alkalmazásával valósul meg. A kidolgozott módszerrel kapott eredmények legfeljebb 5%-os eltérést mutatnak a kézi módszerrel kapott eredményektől a vizsgált keretek között, továbbá az automatikus vizsgálat időtartama legfeljebb 11%-a a kézi módszer időtartamának. A kidolgozott eljárással vizsgálható a felületek póruseloszlása is, amely lehetővé teszi az eloszlásfüggvény jellemzőit és a betonösszetétel közötti összefüggések feltárását.⁴ A kutatás célja ezen eljárás kiterjesztése a színeltérések vizsgálatára.

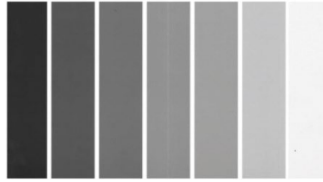
3. SZÍNELTÉRÉS VIZSGÁLATA AZ ELŐÍRÁSOK SZERINT

A hazai szabvány a színtónus egyenlőséget vagy színeltérést a minőségromlást eredményező vagy nem eredményező foltosság fogalmával jellemzi, amely értékelés elsősorban a referenciafelület és a mintafelület szemrevételezés útján történő összehasonlításán alapul. A hazai szabvány minőségromlást eredményező foltosság alatt a rozsdafoltokat és szennyeződésekért, így ezek megjelenése a felületen nem megengedett, további színeltérésekre azonban nem tér ki, alosztályokat nem különböztet meg. Az osztrák Richtlinie Geschalte Betonflächen⁵ irányelv leírásokkal definiálja az egyes osztályokon belül megengedhető színeltérések mértékét, valamint egy szürkeszín skálát (1. ábra) alkalmaz.

[4] KITTI, AJTAYNÉ KÁROLYFI – ANDRÁS, HORVÁTH – FERENC, PAPP: A new assesment methodology for fair-faced concretesur faces based on digital image processing, in: *Proceedings of the 13th International PhD Symposium in Civil Engineering*, 2020, Paris, France, 288–295.

[5] Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik (ÖVBB) Richtlinie: *Sichtbeton – Geschalte Betonflächen*, 2002, 20.

1. ábra: Szürkeszín skála az osztrák irányelv szerinti színeltérés vizsgálatához⁵



Ennek segítségével minden alosztály esetében meghatározza, legfeljebb hány szomszédos kategóriát térhet el a vizsgált felületek szintónusa. Az értékelés a szubjektív megítélésen alapul. Az előírás 3 alosztályt különböztet meg (FT1-FT3), ahol a legalacsonyabb esetében maximum 5, a legmagasabb esetében maximum 3 szomszédos szintónusbeli eltérést enged meg. A német Merkblatt Sichtbeton⁶ irányelv a különböző szintónusbeli osztályokhoz leírással határozza meg a megengedett színeltérések mértékét. Az előírás szintén három alosztályt határoz meg, melyek közül a rozsdás és szennyeződési foltok egyikben sem megengedettek, a világos vagy sötét elszíneződések az alacsonyabb osztályoknál megengedettek, míg a legmagasabb osztály esetében csekély mértékű színeltérés fogadható el.

4. VIZSGÁLATI MÓDSZER

A látszóbeton felületek színazonosságát próbatesteken vizsgáltam. A próbatestek 60 cm-es magassággal és szélességgel, valamint 10, 20 és 30 cm-es falvastagsággal rendelkeztek. Négy különböző péptelítettségű betonösszetétel alkalmazásával (1. táblázat) összesen 12 próbatest készült (2. ábra). A próbatestek jelölésében az első szám jelzi a zsaluzat vastagságát (1-10, 2-20, 3-30), a második a betonösszetétel sorszámát.

1. táblázat: Alkalmazott betonösszetételek⁷

Keverék jelölése	Cement	Víz	Adalékanyag	Telítettség
	[kg/m ³]	[l/m ³]	[kg/m ³]	[l/m ³]
1.	330	165	1893	+76
2.	360	180	1828	+101
3.	390	195	1763	+125
4.	420	210	1698	+150

[6] Deutscher Beton- und Bautechnik Vereine. V, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie: *Merkblatt Sichtbeton*, 2004, 52.

[7] KITTI, AJTAYNÉ KÁROLYFI – FERENC, PAPP: Laboratory study of the effect of saturation degree on quality of fair-faced concretesur faces, in: *Építőanyag: Journal of Silicate Based and Composite Materials* (megjelenés alatt).

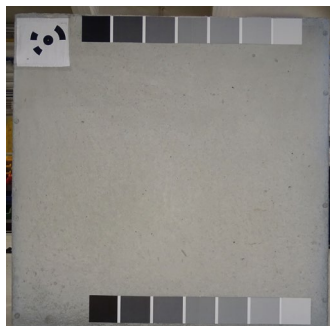
2. ábra: Vizsgált próbatestek



A színeltérés vizsgálati módszerének kidolgozásához az osztrák irányelvben szereplő szűrkeszín skálát vettem alapul, valamint a Python 2.7 programnyelvet alkalmazta. A próbatestek aljára és tetejére rögzítettem a hiteles szűrkeszínskálát, majd azonos megvilágítási viszonyok között, azonos távolságról fényképeket készítettem egy SONY DSC-HX350 típusú fényképezőgéppel (3. ábra). Ezt követően meghatároztam minden kép esetében az alsó és felső színskála tónusainak szűrkeértékeit a GIMP program segítségével, majd a két érték átlagát vettem. Ezek után a skála alapján a programban megadtam az alábbi szűrkeszín intervallumokat:

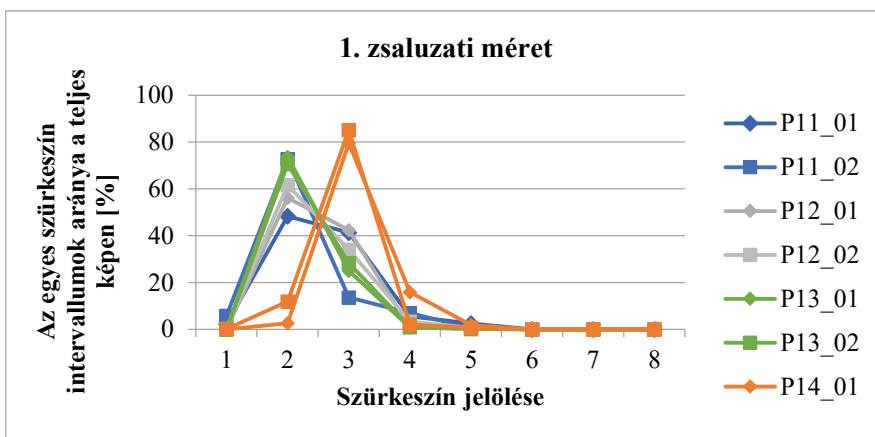
1. Az 1. szintónusnál sötétebb,
2. Az 1-2. szintónus közötti,
3. A 2-3. szintónus közötti,
4. A 3-4. szintónus közötti,
5. A 4-5. szintónus közötti,
6. Az 5-6. szintónus közötti,
7. A 6-7. szintónus közötti,
8. A 7. szintónusnál világosabb tartományokat.

3. ábra: A P31 próbatestről készített fénykép a szűrkeszín skálával

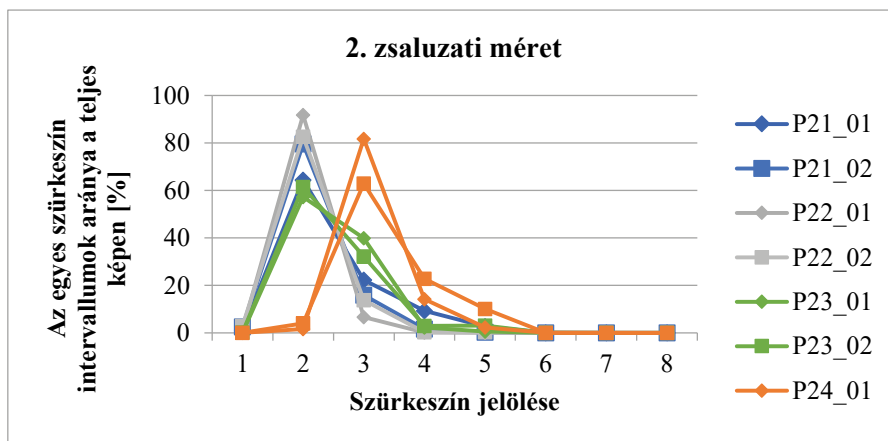


A színvizsgálat a felületi pórustartalom vizsgálatához kidolgozott program szerves része, így a vizsgálat tárgya a felületről már korábban elkészített 50x50 cm-es kivágott referenciafelület. A program ezen a felületen meghatározza az intervallumoknak megfelelő pixelek mennyiségét és kiszámítja százalékos arányukat a teljes felülethez viszonyítva, melynek eredményei a 4-6. ábrán láthatóak. A próbatesteket mindkét oldalukon vizsgáltam, ezt a diagramokon a próbatestek jelölése után szereplő 01, 02 sorszámmal jeleztem.

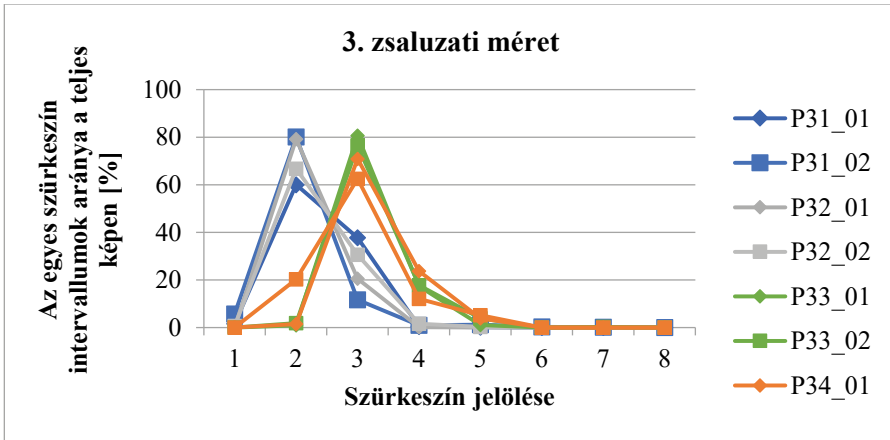
4. ábra: Szűrkeszín intervallumok aránya a vizsgált képeken az 1. zsaluzati esetben



5. ábra: Szűrkeszín intervallumok aránya a vizsgált képeken a 2. zsaluzati esetben



6. ábra: Szűrkeszín intervallumok aránya a vizsgált képeken a 3. zsaluzat esetében



A próbatesteket a zsaluzati méret szerint csoportosítva megállapítható, hogy a vizsgált felületek esetében a 2-3. szűrkeszín intervallum domináns. A zsaluzati méret növelésével a diagramok egyre szűkebb tartományt fednek le, ezzel párhuzamosan egyre homogénebbé, egyenletesebbé válik a színtónus. A betonösszetétel változása is hatással van a színtónus vizsgálat eredményeire: a 4. összetétel minden esetben világosabb felületet eredményezett, amelyet a diagram jobbra tolódása mutat. A zsaluzati méret növelésével ugyancsak egyre nagyobb arányban vannak jelen a felületen a világosabb intervallumok, a 3. zsaluzatot tekintve a 3-4. keverék esetében már a 3. színintervallum válik dominánssá. A színeltérések vizsgálatát a német Merkblatt Sichtbeton, valamint az osztrák irányelv alapján szemrevételezéssel is elvégeztem. A program által kapott százalékos értékek esetében az 5%-ot el nem érő intervallumokat nem vettem figyelembe az osztályba soroláskor. Az így kapott eredmények láthatóak a 2. táblázatban. A képfeldolgozással történő vizsgálat esetében az eredmények sok esetben magasabb kategóriát adtak, mint a szemrevételezéses, szubjektív eljárás során. Ezzel ellentétben, az összképében egységes P24 és P34 próbatestek esetében egy-egy intervallum éppen elérte a küszöbértéket, ezáltal a felület, ha csak kis arányban is, de több színtónust tartalmazott, emiatt alacsonyabb kategóriát ért el. Ezek alapján belátható, hogy a színeltérések vizsgálata során jelentős szerepe van a szubjektív megítélésnek, a felület összképének.

2. táblázat: A felületek osztályba sorolása a színvizsgálat alapján

Próbatest	Merbklatt Sichtbeton ⁶ szerinti osztály	RichtlinieGeschalte Betonflächen ⁵ szerinti osztály	Program által kapott osztály
P11	FT1	FT1	FT1
P12	FT2	FT2	FT3
P13	FT3	FT3	FT3
P14	FT3	FT3	FT3
P21	FT1	FT2	FT2
P22	FT3	FT2	FT3
P23	FT1	FT2	FT3
P24	FT3	FT3	FT2
P31	FT3	FT3	FT3
P32	FT3	FT2	FT3
P33	FT3	FT3	FT3
P34	FT3	FT3	FT2

5. ÖSSZEFOGLALÁS, TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK

A kidolgozott eljárás hatékonyan felhasználható a felületek összehasonlítása, valamint a betonösszetétel, zsaluzati méret és egyéb befolyásoló tényezők színeltérésre gyakorolt hatásának vizsgálata során. Jelen esetben az eredmények alapján jól látható tendencia a zsaluzati méret és a péptelítettség növelésének a színazonosságra gyakorolt kedvező hatása. A próbatestek az 5%-os küszöbérték alkalmazásával az esetek 17%-ában mindkét irányelvénél alacsonyabb és ugyancsak 17%-ban mindkettőnél magasabb kategóriát értek el, emiatt szükséges további küszöbértékek vizsgálata. Javasolom továbbá az eljárás kiegészítő alkalmazását a szubjektív értékelés mellett. A kutatás további szakaszában az egyes színtónusok automatikus felismerését szeretném kidolgozni és a programba foglalni, így egyetlen szoftverrel megoldhatóvá válik az értékelés. A módszer továbbfejleszhető annak érdekében, hogy a színintervallumok a felületen elfoglalt arányának számítása mellett azok elhelyezkedését, az egyes foltok kiterjedését is figyelembe vegye, így árnyaltabb képet kaphatunk a színeltérések mértékéről és az összképről. A látszóbeton felületek értékelési módszerének számos további fejlesztési lehetősége adott. A digitális képfeldolgozás felhasználásával további vizsgálati szempontok értékelése is lehetséges úgy, mint az élképzés hibája, az él hullámosága, az átkötési helyek állapota, vagy a rendezetlen ankerrúd- és zsalutábla kiosztás. A képfeldolgozásra használt szoftverek, mint például a Python OpenCV

modulja is számos alakfelismerő algoritmust tartalmaznak, amelyek hatékonyan felhasználhatóak a felületi hibák detektálásához és végső soron egy objektív és hatékony értékelési rendszer kidolgozásához.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani dr. habil Horváth Andrásnak a kutatás módszertanának kialakításában és a Python programozásban nyújtott segítségével.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Deutscher Beton- und Bautechnik Vereine. V, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie: *Merckblatt Sichtbeton*, 2004, 52.
- KAPU LÁSZLÓ: *Látszóbeton – Látványbeton*, (2014) TERC Kft, Budapest 304
- KITTI, AJTAYNÉ KÁROLYFI – ANDRÁS, HORVÁTH – FERENC PAPP: A new assessment methodology for fair-faced concrete surfaces based on digital image processing, in: *Proceedings of the 13th International PhD Symposium in Civil Engineering*, 2020, Paris, France, 288–295.
- KITTI, AJTAYNÉ KÁROLYFI – FERENC, PAPP: Laboratory study of the effect of saturation degree on quality of fair-faced concrete surfaces, in: *Építőanyag: Journal of Silicate Based and Composite Materials* (megjelenés alatt).
- MSZ EN 24803-6-3:2010: *Épületszerkezetek megjelenési módjának előírásai, Monolit beton- és vasbeton szerkezetek. A helyi alakhűség és a felületi állapot követelményei*, Magyar Szabványügyi Testület, 2010, 26.
- Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik (ÖVBB) Richtlinie: *Sichtbeton – Geschalte Betonflächen*, 2002, 20.