

Ajtayné Károlyfi Kitti

Látszóbeton felületek tervezési és értékelési módszerének új aspektusai

doktori tézisek

Témavezető:
Papp Ferenc
egy. tanár, az MTA doktora
Széchenyi István Egyetem
Építés-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar
Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszék

Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése
Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

Győr, 2022

TARTALOMJEGYZÉK

1.	A téma ismertetése, célkitűzés.....	3
2.	Előzmények	4
3.	A kutatás során alkalmazott módszerek.....	7
4.	Tézisek.....	8
5.	A kutatás összefoglalása	12
6.	További kutatási irányok	13
7.	Irodalomjegyzék	15

1. A TÉMA ISMERTETÉSE, CÉLKITŰZÉS

Doktori kutatásom során a modern építészetben közkedvelt tartószerkezeti és egyben felületképző anyagnak, a látszóbetonnak (1. ábra) a tervezési és értékelési kérdéseivel foglalkoztam. A látszóbeton olyan nyersen maradó betonfelület, amely előre meghatározott, esztétikus és tartós megjelenéssel bír, ezért tervezése és kivitelezése nagy szaktudást és technológiai felkészültséget igényel.



1. ábra: Látszóbeton felületek: a) Tétényi úti metróállomás, Budapest [1], b) Laposa Borászat, Badacsonytomaj [2], c) Fővám téri metróállomás, Budapest [3]

Alkalmazását azonban nehezíti az a körülmény, hogy jelenleg nincs érvényes szabványos előírás a látszóbeton felületek tervezésére és kivitelezésére. Ezzel szemben a felületi minőség értékeléséhez rendelkezésünkre állnak hazai és nemzetközi szabványok, illetve irányelvek. Az értékelési módszerek azonban kivétel nélkül kézi megoldáson alapuló eljárások, amelyek amellyel, hogy időigényesek, több szempont esetében csak szubjektív értékelést tesznek lehetővé. Ebből adódóan az értékelési eljárás objektívabbá tétele és automatizálása aktuális feladat.

A látszóbeton felületi minőségét számos tényező befolyásolja: az alkalmazott betonösszetétel, a zsaluhéj, a zsaluleválasztó szer, az időjárási körülmények és a kivitelezés minősége. Kutatásom a látszóbeton felületek minőségének egyik fő befolyásoló tényezőjére, a betonösszetételre, ezen belül is a péptelítettségre irányul. Gyakorlati tapasztalatok alapján elmondható, hogy látszóbeton esetében a túltelített keverékek magasabb felületi minőséget eredményeznek, azonban arra

vonatkozóan nincs részletesebb adatunk, hogy milyen mértékű túltelítettséget javasolt alkalmazni különböző szerkezeti elemek és minőségi követelményszintek esetén. Feltételezhető, hogy az optimális telítettség jelentős mértékben függ a szerkezeti elem geometriai méreteitől, arányaitól. Ahhoz, hogy a péptelítettség és a felületi minőség összefüggését vizsgálni tudjuk, ismernünk kell az adalékanyag halmaztömörtségét is, amely jellemző azt fejezi ki, hogy mennyire hatékonyan tudják kitölteni az adalékanyag szemcsék a rendelkezésre álló teret. Erre vonatkozóan a szakirodalmi adatok alapján közelítő értékek és modellek állnak rendelkezésünkre, ezért az eredeti problémát visszavezettem egy még elemibb kérdésre. A doktori kutatásom célkitűzései a következők voltak:

- a zsaluzati vastagság az adalékanyag halmaztömörségére gyakorolt hatásának meghatározása a tömörítési mód figyelembevételével
- a zsaluzati vastagság és a péptelítettség hatásának tisztázása a látszóbeton felületi minőségére
- digitális képfeldolgozáson alapuló eljárás kidolgozása a látszóbeton felületek pórustartalmának értékelésére.

2. ELŐZMÉNYEK

A betonösszetétel tervezésekor fontos tényező a telített állapothoz szükséges cementpép mennyisége, melynek számításához elengedhetetlen az adalékanyag halmaztömörségének ismerete. Feret [4] és Abrams [5] kutatásai óta ismert, hogy beton készítéséhez a maximális tömörségű adalékanyag a legjobb, ezért a 19. század végétől számos kutatás témájává vált. Több javaslat született a maximális halmaztömörséghez tartozó ideális szemeloszlási görbékre [6], amelyek bár praktikusán alkalmazhatóak a gyakorlatban, nem adnak egyértelmű megoldást. Továbbá az ideális szemeloszlási görbék főként geometriai megfontolásokon alapuló folytonos modellek, amelyek feltételezik, hogy a tömörégi, tömöríthetőségi tulajdonságok a lépték változtatásával – azaz a szemcse- és

zsaluzati méretek növelésével vagy csökkentésével – nem változnak [7]. Mindemellett a legtöbb ilyen módszer nem veszi figyelembe a szemcsék közötti, valamint a zsaluzat és a szemcsék közötti interakciók halmaztömörségre gyakorolt hatását. Erre a problémára kínálnak megoldást a diszkrét számítási eljárások, melyek célja a szemeloszlás, valamint az egyes komponensek saját halmaztömörségének ismeretében a keverék halmaztömörségének számítása. Közös jellemzőjük, hogy a keverékeket felépítő egyes komponenseket merev, azonos átmérőjű gömbökként kezelik. Az első matematikai modellt Furnas [8] dolgozta ki 1928-ban, amely kétalkotós keverékek hézagterfogatót határozta meg egymással interakcióba nem lépő komponensek esetére. Számos további modell került kidolgozásra, melyek alkalmasak a kétalkotós, a háromalkotós és a többalkotós keverékek halmaztömörségének becslésére, figyelembe véve a lehetséges interakciók hatását. Utóbbiak közül kiemelném De Larrard CPM (*Compressible Packing Model*) modelljét [9], amely a szakirodalmi adatok alapján [10] megfelelő egyezést mutat a kísérleti adatokkal. A zsaluzati méretnek az adalékanyag halmaztömörségére gyakorolt hatását kevés kutatás taglalja, csupán néhány szakirodalmi adat áll rendelkezésre hengeres zsaluzatok kapcsán [9,11,12,13]. A témában rejlő kutatási lehetőségeket felmérve vizsgáltam a halmaztömörség változását különböző méretű zsaluzatok esetében.

A látszóbeton felületi minőségét jelentős mértékben befolyásolja az alkalmazott alapanyagok és zsaluzatok típusa, minősége, a betonösszetétel, a kivitelezés módja és minősége, valamint az időjárási körülmények. Disszertációmban részletesen bemutatom a különböző nedvszívó képességű zsaluhéjak és a formaleválasztó szerek felületre gyakorolt hatását, valamint a beton alapanyagaira és összetételére vonatkozó ajánlásokat. Látszóbeton felületek készítésekor a gyakorlatban általában túltelített betonösszetételt szoktak alkalmazni a jobb felületi minőség elérése érdekében. A téma azonban rendkívül kevésbé kutatott, szakirodalmi anyagok

jelenlegi ismereteim szerint nem állnak rendelkezésre. Látszóbetonnal, betontechnológiával foglalkozó szakemberek tapasztalatai alapján az $50-70 \text{ l/m}^3$ -rel túltelített keverék ideális magas minőségű felület létrehozására. A betonösszetétel tervezése során fontos szempont, hogy a túltelítettség negatív hatással van a megszilárdult beton mechanikai tulajdonságaira és tartósságára. Ujhelyi [14] vizsgálatai alapján ismert, hogy a nyomószilárdság a beton telített állapotában a legnagyobb, ha a beton fokozatosan telítetlenné válik, a szilárdság jelentős mértékben csökken, míg ha fokozatosan túltelítetté válik, a szilárdság kisebb mértékben csökken. Ezen szakirodalmi adatokra alapozva vizsgáltam a péptelítettség és a zsaluzati méret felületi minőségre gyakorolt hatását, valamint a beton mechanikai tulajdonságainak változását a péptelítettség függvényében.

A látszóbeton felület megjelenési módjának pontos meghatározása a tervező feladata, amely magába foglalja a készítendő szerkezettel kapcsolatos elvárásokat, követelményeket, az alkalmazandó vizsgálati módszereket és a megfelelőség 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 [15]. A hazai és nemzetközi szabványok, illetve irányelvek általában négy látszóbeton osztályt különböztetnek meg, melyekhez meghatározott szempontok szerint tűréshatárokat rendelnek. Kutatásom során a hazai szabványt [16], a német [17] és az osztrák [18] irányelvet alkalmaztam a felületek értékelése során. Az előírások által meghatározott vizsgálati módszerek minden esetben kézi mérésen alapuló, valamint szemrevételezéses eljárások. Néhány kritérium esetében a vizsgálat időtartama aránytalanul hosszú (felületi pórustartalom), vagy csak szubjektíven értékelhető az adott szempont (színeltérés). Az eljárás hatékonyságának növelése érdekében Stanke [19,20] kutatásaiban digitális képfeldolgozáson alapuló eljárást javasolt a látszóbeton felületek egyes

szempontjainak értékeléséhez. A kutatásom során a felületi pórustartalom vizsgálatára dolgoztam ki automatizált értékelési módszert új megközelítéssel.

3. A KUTATÁS SORÁN ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

Disszertációmban összefoglaltam a témára vonatkozó hazai és nemzetközi irodalmak eredményeit. Megvizsgáltam a vonatkozó előírásokat, szabványokat és irányelveket. Laboratóriumi körülmények között vizsgáltam az adalékanyag frakciók, komponensek valamint az MSZ EN 12620:2013 szerinti „A” és „C” határgörbéknek megfelelő minták zsaluzati mérettől függő halmaztömörségét laza és tömörített állapotban. A kapott eredményeket elemeztem és összehasonlítottam a szakirodalmi adatokkal. A „C” határgörbe vizsgálati eredményeiből meghatároztam a telített állapothoz szükséges cementpép mennyiségét, majd különböző péptelítettségű keverékek és különböző falvastagsággal rendelkező zsaluzatok alkalmazásával látszóbeton próbatesteket készítettem. A próbatesteken vizsgáltam a felületi minőséget a hazai szabvány, valamint a nemzetközi irányelvek alapján, továbbá vizsgáltam a megszilárdult beton mechanikai tulajdonságait. A felületi pórustartalom értékeléséhez a Python programozási nyelvet felhasználva digitális képfeldolgozáson alapuló eljárást dolgoztam ki, amelyet 40 mintán teszteltem, valamint alkalmaztam a próbatestek értékelése során. Az eredményeket összehasonlítottam a szabványos vizsgálati módszerrel kapott értékekkel.

4. TÉZISEK

1. Tézis *(disszertáció 2.3 fejezet)*

Kísérletileg igazoltam, hogy a zsaluzat vastagságának változása befolyásolja az adalékanyag halmaztömörtségét. Az alábbi összefüggéseket állapítottam meg:

1.1 Tézis

Kísérletileg igazoltam, hogy az általam vizsgált, 4/8, 8/16 és 16/32 mm szemmagyságú bányászott kvarckavics adalékanyag frakciók halmaztömörősége fenolfilm bevonattal ellátott nyír rétegelt lemez zsaluhéj alkalmazásával, tűvibrátoros tömörítés mellett, 60 cm szélességű és magasságú zsaluzat esetében a falvastagság 10-20 cm közötti változtatásával csökken, 20-50 cm közötti változtatásával kismértékben nő.

1.2 Tézis

Kísérletileg igazoltam, hogy az általam vizsgált, 4/8, 8/16 és 16/32 mm szemmagyságú bányászott kvarckavics adalékanyag frakciók halmaztömörősége furnérlemez zsaluhéj alkalmazásával, rázóasztalos tömörítés mellett, 30 cm szélességű és magasságú zsaluzat esetében a falvastagság 10 cm-ről 20 cm-re való növelésével nem változik jelentősen, 20 cm-ről 30 cm-re való növelésével nő.

1.3 Tézis

Kísérletileg igazoltam, hogy az általam vizsgált, 0/4 mm szemmagyságú bányászott kvarchomok adalékanyag frakció halmaztömörősége 60 cm szélességű és magasságú, fenolfilm bevonattal ellátott nyír rétegelt lemez zsaluzat alkalmazásával tűvibrátoros tömörítés mellett, valamint 30 cm szélességű és magasságú furnérlemez zsaluzat alkalmazásával rázóasztalos tömörítés mellett magasabb a 4/8, 8/16 és 16/32 mm szemmagyságú bányászott kvarckavics frakciók halmaztömörőségénél.

1.4 Tézis

Az MSZ EN 12620:2003 szabvány szerinti „A” és „C” ($D_{\max}=32$ mm) határgörbének megfelelő adalékanyag minta halmaztömörsege furnérlemez zsaluhéj alkalmazásával, rázóasztalos tömörítés mellett, 30 cm szélességű és magasságú zsaluzat esetében a falvastagság 5 cm-ről 20 cm-re való növelésével nem változik jelentősen, 20 cm-ről 30 cm-re való növelésével nő.

Vonatkozó saját publikációk: [b] [h]

2. Tézis (disszertáció 3.3 fejezet)

Kísérletileg igazoltam, hogy a betonkeverék péptelítettsége és a zsaluzat vastagságának változása befolyásolja a látszóbeton felületek minőségét. Nem nedvszívó, fenolfilm bevonattal ellátott nyír rétegelt lemez zsaluhéj alkalmazásával, 60 cm szélességű és magasságú zsaluzat esetében, CEM II/A-S 42,5 R típusú cement és $v/c = 0.50$ víz-cement tényező, valamint MSZ EN 12620 szerinti „C” határgörbének megfelelő adalékanyag alkalmazásával, tűvibrátoros tömörítés mellett az alábbi összefüggéseket állapítottam meg:

2.1 Tézis

A péptelítettség 76 l/m^3 -ről 101 l/m^3 -re való növelésével, 10 és 20 cm-es zsaluzati vastagság mellett a látszóbeton felületek 0.5 és 15 mm közötti átmérő tartományban vizsgált pórustartalma nő, a péptelítettség 101 l/m^3 -ről 150 l/m^3 -re való növelésével jelentősen csökken. 30 cm-es zsaluzati vastagság alkalmazása mellett a péptelítettség 76 l/m^3 -ről 150 l/m^3 -re való növelésével a felületi pórustartalom jelentősen, 98%-kal csökken. A felületi pórustartalom a 30 cm-es zsaluzati vastagsághoz viszonyított eltérő változásának oka a 10 és 20 cm-es zsaluzati vastagság esetében az adalékanyagnak a számított átlagnál kisebb halmaztömörsege és nagyobb pépigénye. A póruseloszlást 0.5 mm-re kerekített átmérőnként vizsgálva **a péptelítettség 76 l/m^3 -ről 101 l/m^3 -re való növelésével a pórusok átlagos átmérője, valamint szórása csökken. A zsaluzati vastagság**

10cm-ről 30 cm-re való növelésével a látszóbeton felületek átlagos pórustartalma 35%-kal csökken, a pórusok eloszlása, valamint az átlagos átmérő nem mutat jelentős változást. A 126 l/m^3 és 150 l/m^3 péptelítettséggel készült próbatestek felületi pórustartalma 0.3% alatt van minden zsaluzati vastagság mellett, így teljesítik a legmagasabb követelményszintet az MSZ 24803 magyar szabvány, az osztrák Richtlinie Geschalte Betonflächen és a német Merkblatt Sichtbeton irányelvek szerint.

2.2 Tézis

A péptelítettség 76 l/m^3 -ről 150 l/m^3 -re való növelésével a színeltérés mértéke és mennyisége jelentősen csökken. A zsaluzati vastagság 10 cm-ről 30 cm-re való növelésével a színeltérések mértéke és mennyisége jelentősen csökken, a 30 cm vastagságú zsaluzattal készített felületek összképe homogén. A színeltérés szempontjából a 150 l/m^3 péptelítettséggel készült próbatestek felületei teljesítik a legmagasabb követelményszintet az MSZ 24803 magyar szabvány, az osztrák Richtlinie Geschalte Betonflächen és a német Merkblatt Sichtbeton irányelvek szerint. A kivérzés és fészkeség mértéke a péptelítettség 76 l/m^3 -ről 150 l/m^3 -re való növelésével jelentősen, a zsaluzati vastagság 10 cm-ről 30 cm-re való növelésével kismértékben csökken.

2.3 Tézis

Kimutattam, hogy a látszóbeton felületek póruseloszlása és az eloszlásfüggvény jellemzői összefüggésben állnak a betonösszetétel változásával. A péptelítettség 76 l/m^3 -ről 150 l/m^3 -re való növelésével nő a kisebb átmérőjű pórusok aránya, így csökken az átlagos átmérő és a szórás, azaz az eloszlás egyre kisebb intervallumot fed le, melyet alátámaszt az eloszlásfüggvény ferdeségi együtthatójának 28%-os, csúcsossági

együtthatójának 68%-os növekedése, valamint a két együttható közötti lineáris összefüggés.

Vonatkozó saját publikációk: [a] [b] [i]

3. Tézis (*disszertáció 4.2 fejezet*)

Kidolgoztam egy módszert a látszóbeton felületek porozításának digitális képfeldolgozáson alapuló értékelésére. A vizsgálathoz a felületről közel merőleges pozícióból, jelölőkörrel ellátott fénykép készítése szükséges. 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 az eredeti képből kivágott, 50x50 cm-es referenciafelületen, a szegmentálás módszerével történik, melynek szűrőfeltételeit a manuális vizsgálatokkal kapott eredmények alapján állítottam be. A kidolgozott módszerrel kapott eredmények átlagosan 5%-kal magasabbak a kézi módszerrel kapott eredményeknél. A gépi módszer átlagos időtartama 12 perc, amely így 85%-kal csökkenti a vizsgálati időt a kézi módszerhez viszonyítva.

Vonatkozó saját publikációk: [c] [d] [f] [g] [j]

5. A KUTATÁS ÖSSZEFOGLALÁSA

Doktori kutatásom során a látszóbeton felületek tervezési és értékelési kérdéseivel foglalkoztam. A kutatás három részre tagolódik. Az első részben az adalékanyag halmaztömörtségét vizsgáltam a szemeloszlás és a zsaluzati vastagság függvényében, melynek segítségével az adalékanyag pépigénye meghatározható. A második részben a látszóbeton felületek minőségét vizsgáltam a betonösszetétel péptelítettségének, valamint a zsaluzat méretének függvényében, felhasználva az első rész kísérleti eredményeit. A harmadik részben a látszóbeton felületi pórustartalmának értékeléséhez dolgoztam ki digitális képfeldolgozáson alapuló eljárást.

Az adalékanyag halmaztömörtségét 0-32 mm szemnagyságú, négy frakcióból álló mintán, valamint a frakciókból előállított MSZ EN 12620:2013 szerinti „A” és „C” határgörbén vizsgáltam laza és tömörített állapotban. Vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy 30 cm magasságú és szélességű zsaluzat és rázóasztalos tömörítés alkalmazása mellett a halmaztömörség a zsaluzati vastagság 5 cm-ről 20 cm-re való növelésével nem változik jelentősen, 20 cm-ről 30 cm-re való növelésével nő. Megállapítottam továbbá, hogy 60 cm magasságú és szélességű zsaluzat és tűvibrátoros tömörítés alkalmazása mellett a vizsgált frakciók halmaztömörősége a zsaluzat vastagságának 10 cm-ről 20 cm-re való növelésével csökken, 20 cm-ről 50 cm-re való növelésével kismértékben nő.

A látszóbeton felületi minőségének a péptelítettség mértékétől és a zsaluzati vastagságtól függő vizsgálatához próbatesteket készítettem. A felületi minőséget a pórustartalom, a színeltérés, a fészkeség és a kivérzés szempontjából elemeztem. Vizsgálataim során elemeztem a péptelítettségnek a megszilárdult beton mechanikai tulajdonságaira gyakorolt hatását. A kísérleti eredmények alapján megállapítottam, hogy a péptelítettség növelése jelentős javulást eredményez a felületi minőségben, míg a zsaluzati vastagság növelése kismértékű minőségbeli változást okoz. Vizsgálataim alapján a különleges követelményszintű, 20 cm-nél kisebb szerkezeti vastagságú, beltéri látszóbeton felületek készítésénél 126-150l/m³

túltelítettséget javasolok alkalmazni, figyelembe véve az ezzel járó 4-13%-os nyomószilárdság-csökkenést.

A felületi pórustartalom értékeléséhez digitális képfeldolgozáson alapuló módszert dolgoztam ki a Python programnyelv alkalmazásával. A vizsgálathoz egy jelölőkörrel ellátott fénykép készítése szükséges. A módszer alapja a képből manuálisan kiválasztott hibamentes felületrészekre, mint háttérre egy kétváltozós harmadfokú polinom illesztése és az így kapott hibamentes kép eredeti képtől való eltéréseinek hibaként való megfeleltetése. Az eljárást mintafelületeken tesztelve megállapítottam, hogy az átlagosan 5%-kal magasabb pórustartalmat eredményez a kézi módszerrel kapott értékekhez képest, a vizsgálathoz szükséges időtartam azonban 85%-kal csökkenthető.

6. TOVÁBBI KUTATÁSI IRÁNYOK

Az adalékanyag halmaztömörségének kutatása kapcsán szükségesnek tartom további zsaluzati méretek (pl. oszlopszalu) és formák (hengeres zsaluzatok), valamint különböző szemeloszlású adalékanyagok kombinációinak vizsgálatát. Egy kiterjedt vizsgálat lehetővé tenné a diszkrét számítási eljárások a geometriai méreteket is figyelembe vevő fejlesztését. A vizsgálati adatok lehetőséget adnak továbbá az adalékanyag váz viselkedésének numerikus szimulációjára diszkrét elemes módszer (DEM) segítségével. A kísérleti adatok alapján kalibrált numerikus modell alkalmazható lenne a halmaztömörség előrebecslésére is.

A péptelítettség és felületi minőség összefüggései kapcsán további betonösszetételek és zsaluzati méret variációk vizsgálhatók. A kutatás nem tért ki például a kiegészítő anyagok alkalmazására, vagy a nemrégiben megjelent a beton tömörödési tulajdonságainak és a látszóbeton felületek minőségének javítására szolgáló adalékszerek hatására. A betontechnológiai fejlődésnek köszönhetően látszóbeton felületeket öntömörödő betonból is készíthetünk, amely különösen

előnyös kis szerkezeti vastagságok, sűrű vasalások esetében, a felületi minőségre gyakorolt hatásuk azonban egyelőre kevésbé kutatott.

A látszóbeton felületek értékelési módszerének számos fejlesztési lehetősége adott. A digitális képfeldolgozás felhasználásával a dolgozatban bemutatott példákon túl több vizsgálati szempont értékelése is lehetséges úgy, mint az élképzés hibája, az él hullámossága, 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.

7. IRODALOMJEGYZÉK

A disszertáció témakörében megjelent publikációim

- [a] Kitti Károlyfi: *The effect of saturation degree of cement paste on fair-faced concrete surfaces*, Építőanyag: Journal of Silicate Based and Composite Materials, 69 (2) (2017) 55-58. (Független idéző: 1)
- [b] Kitti Károlyfi, Ferenc Papp: *The correspondences between formwork geometry and concrete composition in the case of fair-faced concrete elements*, Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences, 13 (2) (2018) 43-54.
- [c] Kitti Károlyfi, Ferenc Papp: *Evaluation of fair-faced concrete surfaces using digital image processing*, Proceedings of the 12th International PhD Symposium in Civil Engineering, Prague, Czech Republic, (2018) 1003-1010. (Független idéző: 1)
- [d] Károlyfi Kitti: *Látszóbeton felületek értékelése digitális képfeldolgozással*, Új Nemzeti Kiválóság Program 2017/2018 Tanulmánykötet, Széchenyi István Egyetem, (2018) 161-169.
- [e] Károlyfi Kitti: *A digitális képfeldolgozás alkalmazási lehetőségei a katasztrófakezelésben*, Műszaki Katonai Közlöny, XXVIII. (1) (2018) 16-26.
- [f] Ajtayné Károlyfi Kitti: *Látszóbeton felületek értékelése digitális képfeldolgozással*, Új Nemzeti Kiválóság Program 2019/2020 Tanulmánykötet, Széchenyi István Egyetem, (2019) 225-231.
- [g] Kitti Ajtayné Károlyfi, András Horváth, Ferenc Papp: *A new assesment methodology for fair-faced concrete surfaces based on digital image processing*, Proceedings of the 13th International PhD Symposium in Civil Engineering, Paris, France (2020) 288-295.
- [h] Kitti Ajtayné Károlyfi, Dániel Harrach, Ferenc Papp: *Investigation of the effect of formwork shape on packing density of aggregates*, Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences, 15 (3) (2020) 124-135.
- [i] Kitti Ajtayné Károlyfi, Ferenc Papp: *Laboratory study of the effect of saturation degree on quality of fair-faced concrete surfaces*, Építőanyag: Journal of Silicate Based and Composite Materials, 73 (3) (2021) 115-118.
- [j] Ajtayné Károlyfi Kitti: *Látszóbeton felületek értékelése digitális képfeldolgozással*, Új Nemzeti Kiválóság Program 2020/2021 Tanulmánykötet, Széchenyi István Egyetem, (2021) 207-214.

- [k] Kitti Ajtayné Károlyfi, András Horváth, Ferenc Papp, *Digital image processing method for evaluation of discoloration on fair-faced concrete surfaces*, Építőanyag: Journal of Silicate Based and Composite Materials (beadott kézirat)

Más témában megjelent publikációim

- [l] Károlyfi Kitti, László Gabriella: Lovasközpont a Csepel-szigeten, Építészforum, Online, <http://epiteszforum.hu/lovaskozpont-a-csepel-szigeten>, (2016)
- [m] László Gabriella, Károlyfi Kitti: *Szabad formájú épület koncepcionális tervezése – az építészeti és szerkezeti koncepció összefüggéseinek vizsgálata*, Magész Acélszerkezetek, 13 (3 (2016)) 116-125.
- [n] Kitti Károlyfi, Gabirella László, Raymond Bükkösi, Ferenc Papp: *Architectural and Structural Design of Free-form Structures – Case Study*, Acta Technica Jaruinensis, 11 (2) (2018) 44-60.
- [o] Papp Ferenc, Károlyfi Kitti: *A számítógépes tervezési módszer hatása a hidak építészeti kialakítására*, Hidak esztétikája, 1. kötet, Széchenyi István Egyetem (2018) 21-27.
- [p] Károlyfi Kitti, Papp Ferenc: *A híd, mint mérnöki alkotás – a szerkezet és a forma egymásra hatása*, Hidak esztétikája, 1. kötet, Széchenyi István Egyetem (2018) 29-38.
- [q] Ajtayné Károlyfi Kitti, Szalai Dóra, Szép János, Horváth Tamás: *Gyakorlatorientált BIM oktatás az építő- és építészmérnöki képzésben*, XXV. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia – ÉPKO (2021) Elérhetőség: <https://ojs.emt.ro/index.php/EPKO/article/view/539/515>
- [r] Kitti Ajtayné Károlyfi, Dóra Szalai, János Szép, Tamás Horváth: *Integration of BIM in architecture and structural engineering education through common projects*, Acta Technica Jaruinensis 14 (2021) 424-439.
- [s] János Szép, Kitti Ajtayné Károlyfi: *BIM data management in AEC disciplines*, Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (2021) 615-620.

A téziszűzetben szereplő hivatkozások jegyzéke

- [1] Magyar Cementipari Szövetség: Beton-virágzás – Látszóbeton a 4-es metró Tétényi úti megállójánál (Online Hírlevél) http://hirlevel.ferlingpr.com/upload/1141646130/tovabb.php?id=430&hir_id=1909 (Letöltve: 2021. 01. 22.)
- [2] Hoffmann Petra: Laposa Pincészet – Badacsonytomaj (Stilblog) <https://stilblog.hu/2010/08/19/laposa-pinceszeti-badacsonytomaj/> (Letöltve: 2021. 02. 08.)
- [3] Kultúrpárt: Mi történt a 4-es metró állomásaival? https://kulturpart.hu/2015/02/10/mi_tortent_a_4-es_metro_allomasaival (Letöltve: 2021. 02. 08.)
- [4] Rene Féret: *Packing density of mortars*, Annales des Ponts et Chaussées, Vol. 4, N. 2, (1982) 5-16.
- [5] Duff Andrew Abrams: *Design of concrete mixtures*, Bulletin 1, Structural Material Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago (1919) 20
- [6] Ujhelyi János: *A beton struktúrájának és nyomószilárdságának a tervezése*, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest (1989)
- [7] Sonja Fennis, Joost Walraven: *Using particle packing technology for sustainable concrete mixture design*, Heron, 57 (2) (2012) 73-101.
- [8] C. C. Furnas: *Grading Aggregates - I. Mathematical Relations for Beds of Broken Solids of Maximum Density*, Industrial and Engineering Chemistry, 23 (9) (1931) 1052-1058.
- [9] Francois De Larrard: *Concrete Mixture Proportioning – A Scientific Approach*, E&FN Spon, London (1999) 421
- [10] M. R. Jones, L. Zheng, M. D. Newlands: *Comparison of particle packing models for proportioning concrete constituents for minimum w/p ratio*, Materials and Structures, 35 (5) (2002) 301-309.
- [11] Chamod Hettiarachchi: *Development of a theoretical packing model incorporating the effect of vibration, shape and surface texture*, University of Moratuwa, Department of Civil Engineering (2018)
- [12] R. K. McGeary: *Mechanical Packing of Spherical Particles*, Journal of the American Ceramic Society, 44 (10) (1961) 513-522.
- [13] J. E. Ayer, F. E. Soppet: *Vibratory Compaction: I, Compaction of Spherical Shapes*, Journal of the American Ceramic Society, 48 (4) (1965) 180-183.
- [14] Ujhelyi János: *A beton levegőtartalmának hatása*, Magyar Építőipar, 8 (1980) 469-481.
- [15] Kapu László: *Látszóbeton – Látványbeton*, TERC Kft, Budapest (2014) 304

- [16] 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
- [17] Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie: *Merkblatt Sichtbeton*, (2004) 52
- [18] Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik (ÖVBB) Richtlinie: *Sichtbeton – Geschalte Betonflächen* (2002) 20
- [19] Gerd Stanke: *Schlussbericht zum Verbundprojekt Baustellenphotogrammetrie - Photogrammetrisches Verfahren als objektorientiertes Ingenieursystem zur Produktionssicherung in der Bauwirtschaft - Teilvorhaben: Sichtbetonalayse*, TU Dresden, Rolle Fototechnik, Dywidag, Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFaI), Berlin (2003) 36
- [20] Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFaI), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: *Schlussbericht Sichtbeton II./15940 B - Bildgeschützte Bewertungsverfahren für Sichtbetonoberflächen* (2003) 42