

3D BETONNYOMTATÁS – A GAZDASÁGOS HÁZÉPÍTÉS FORRADALMA



Szögi Tamás

<https://doi.org/10.32969/VB.2021.4.2>

Az építőipar területén az innováció és a digitalizáció kiemelten fontos szerepet kap napjainkban, hiszen legtöbbször az egyszerűbb, olcsóbb és gyorsabb megoldásokat keresik a piacon való versenyképesség megtartásához. Az egyik ilyen innováció a 3D betonnyomtatás, mellyel akár szabadabb formavilágú, egyedülálló, íves szerkezeti elemeket is létrehozhatunk. A munkaerőhiány, a növekvő építőanyag árak, valamint a környezetszennyezés mind arra ösztönzik a beruházókat, hogy alternatív, hatékonyabb építésmódokat keressenek. Az automatizált technológiának köszönhetően pontosabb kivitelezés mellett csökkenthető a károsanyag-kibocsátás mértéke is. A 2020-as évben készített TDK kutatásom során a betonnyomtatás gazdasági hatékonyságát elemeztem, majd az iparban jellemző árakat felhasználva összehasonlítottam a monolit vasbetonépítés költségeivel.

Kulcsszavak: 3D betonnyomtatás, innováció, építéstechnológia, gazdaság, TDK

1. BEVEZETÉS

Napjainkban hazai keretek között is tapasztalható probléma, hogy a kínálat, azaz a termelési kapacitás nem tudja utolérni a fokozott keresletet az építőipar területén. A rezsióradíjak az utóbbi 8 évben megduplázódtak (ÉVOSZ weblap), ennek következtében az élő munkaerő foglalkoztatása költségessé vált, ellátása pedig hiányos, azaz a hatékonyság fokozása elengedhetetlen. A kivitelezők nehezen tartanak lépést az elvárt határidőkkel, az esetek 20%-ában túllépik azt, valamint 80%-ában a beruházásra szánt összeget is meghaladják (McKinsey weblap, 2016). Ennek ellenére a cégek általában éves bevételüknek csak 1-2%-át fordítják digitalizációra (Agarwal, 2016). Általában az innováció magas költsége miatt nem, vagy csak keveset fektetnek újításokba és nem látják pontosan, hogy mire tudnák használni a technológiát (Zhang et al., 2019).

2. 3D BETONNYOMTATÁS AZ ÉPÍTŐIPARBAN

2.1 Az innováció szükségessége

A jövőt ma már az építőipar digitalizációjának felgyorsulása, a hatékonyság fokozása és a gyors építési technológiák jelentik. A szerkezetépítés területén az egyik ilyen újítás a 3D betonnyomtatás. Ez egy olyan létező technológia, amellyel akár betonacél erősítés nélkül, rétegről rétegre, a megrendelő igényeinek megfelelően kialakítva teljes lakóházak is megvalósíthatók. Olyan eszköz, amellyel építésszek nagyobb tervezési szabadságot kapnak, ugyanis a szabadabb formavilágú, komplex geometriájú épületek kialakítása sem okoz gondot a nyomtatónak. A vasbetonszerkezetek esetében az íves falak kialakítása az egyeneshez képest extra költséget jelent, sokszor egyedi zsaluzat készítésére is szükség van, melyek felhasználása kevésbé gazdaságos és környezetbarát.

Továbbá a nyomtató esetében több formázási lehetőség is adott, például ívben történő nyomtatásra is alkalmas.

2.2 A betonnyomtatási technológia

A betonnyomtatók több típusát különböztetjük meg, leggyakoribb a robotkaros és a portálnyomtató. Költségelemzésemhez ez utóbbit választottam, mivel a robotkar esetében általában limitált a terület, amelyet egy fix pozícióból képes elérni. Ezzel szemben a modulokból álló állványzat méretét az épület befoglaló méreteihez igazítva akkora területet tudunk lefedni, amekkora szükséges, így időben is gyorsabb lehet a teljes folyamat. Számításaimhoz a dániai COBOD cég által gyártott BOD2 nyomtató (1. ábra) paramétereit és költségeit használtam fel (www.cobod.com), ugyanis ez a gép egyedülálló módon akár az 1 m/s-os sebességével is képes nyomtatni. Az üresjárási idő és a biztonsági tartalékok miatt, valamint az egyenletes anyagáram biztosítása érdekében viszont egy lassabb, 0,3 m/s-os nyomtatási sebességet feltételeztem.

A nyomtató egyik legnagyobb előnye, hogy akár 2 fős, speciális technikusai képesítéssel rendelkező személyzet elegendő az eszköz felállításához, elbontásához, valamint

1. ábra: Építési helyszínen felállított BOD2 nyomtató (Forrás: PERI)



üzemeltetéséhez. A különleges építéstechnika újfajta gondolkodásmódot igényel, ugyanis a folyamatos fejlesztések mellett jelenleg még kevés a piaci alkalmazás során szerzett tapasztalat.

2.3 A nyomtatható beton

A nyomtatás során felhasznált beton összetétele különbözik a legtöbb, monolit vasbetonépítés során használt receptúrától. Általában szálerősítésű, alacsony víz-cement tényezőjű, kiegészítőanyagokat (folyósítószer, kötőgyorsító) tartalmazó betont alkalmaznak annak érdekében, hogy egyaránt könnyen pumpálható, formálható és állékony is legyen. A fokozott figyelmet igénylő anyagtechnológia miatt több gyártó is kínál olyan előregyártott cementkeveréket, amelyhez csak víz adagolása szükséges, ezzel megkönnyítve a kivitelezők feladatát. A nyomtatott beton általános jellemzője a gyors szilárdulás és a nagyobb teherbírás: akár 100 MPa-os nyomószilárdság (Paul et al., 2018).

Emellett a zsaluzott vasbetonnal szemben pontosabb anyaglerakás érhető el, azaz csak oda nyomtatnak betont, ahol az statikai vagy egyéb szempontból szükséges. Ezen felül a betonba újrahasznosított építési hulladék is adagolható, így a lehető legkisebb környezeti terheléssel dolgozhatunk, jobban kihasználva az erőforrásokat. Optimalizált szerkezeti elemek megvalósítása is lehetséges nyomtatással, mellyel tovább csökkenthetjük betonfelhasználást. Az anyagköltség nagymértékben függ a beton összetételétől, ezért egy, a szakirodalomban jellemző receptúrával kalkuláltam.

3. KÖLTSÉGELEMZÉS

3.1 Modellek

A technológia sajátossága, hogy nemcsak épületek, hanem bármilyen kialakítású betonelem nyomtatására alkalmazható, mint például belső térelemek, közműaknák, kerítések, valamint benmaradó zsaluzatok. A lakóépületek differenciált piacán azonban több egyedi kialakítás lehetséges, amelyekre leginkább a 3D betonnyomtató alkalmas. Kutatásomban ezek összevetéséhez három különböző geometriájú egyszintes nyaralóépületet modelleztem meg, hogy megvizsgáljam az íves geometriából eredő esetleges többletköltség mértékét. Ezek függőleges szerkezeteinek építési költségeit határoztam meg valós, magyar piaci árak segítségével. Költségtényezőnként történi elemzésem során pedig külön vizsgáltam az anyagköltséget, az élómunka költséget, valamint a gép- és bérleti költségeket.

A 3D betonnyomtatás esetében két különböző technikát is figyelembe vettem, a teljes szerkezeti szélességű- (3-30 cm szélességben), és a Contour Crafting technikával történő nyomtatást. Míg az első esetben a nyomtatófej egyszer halad végig egy adott szakaszon, addig az utóbbinál a több, kisebb szélességű nyomtatott sáv miatt háromszor. Egy ilyen üreges falszerkezet létrehozásával, valamint a nyomtatási vastagság és szélesség optimális megválasztásával anyagot spórolhatunk meg, viszont a nyomtatási folyamat időtartama is megnövekszik.

4. ÖSSZEHASONLÍTÁS

4.1 Monolit vasbetonépítés árai

A hazai építőipari cégek által biztosított piaci árak alapján mindhárom modell esetében referencia költségeket határoztam meg, monolit vasbetonépítési technológiát feltételezve.

Ennek során külön kalkulációt végeztem a zsaluzatállításra vonatkozóan, mely alapján kiderült, hogy kisebb költségvonzata van a zsalu daruval történő mozgatásának, mintha ugyanazt kézi erővel végeznénk, ugyanis így gyorsabban elvégezhető a folyamat, ami végül lényegesen kedvezőbb zsaluzási árat eredményez.

4.2 3D betonnyomtatás költségei

A technológia újdonsága miatt még csak néhány cég rendelkezik hasonló berendezéssel és egyelőre nincs bérelhető állomány. Ezért a megfelelő méretű, moduláris nyomtató beszerzési költségének 10 000 üzemórás amortizációjával számoltam, ez azonban egy adott cégnél stratégiától függően változhat. A vételárba nemcsak a gépezet, hanem minden szükséges kiegészítő elem költségét is beleszámoltam, ami az üzemeltetéshez szükséges. Várhatóan, ahogy a technológia fejlődik egyre szélesebb körben lesz elérhető a kisebb cégek számára is.

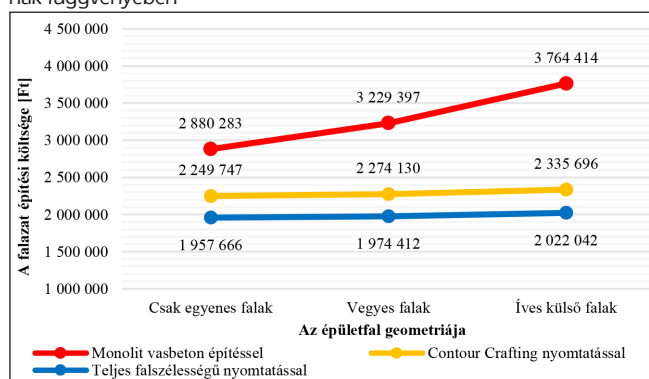
5. EREDMÉNYEK

Megállapítható, hogy a zsaluzat- és vasalásmentes betonzás következtében a monolit vasbetonépítéshez képest kedvezőbb költségű, valamint gyorsabb és pontosabb lesz az építési folyamat. Ennek köszönhetően egy épület függőleges tartószerkezete íves kialakítás esetén 38-47%-kal, míg egyenes falak esetében 22-32%-kal kevesebb összegből valósítható meg 3D betonnyomtatással (2. ábra).

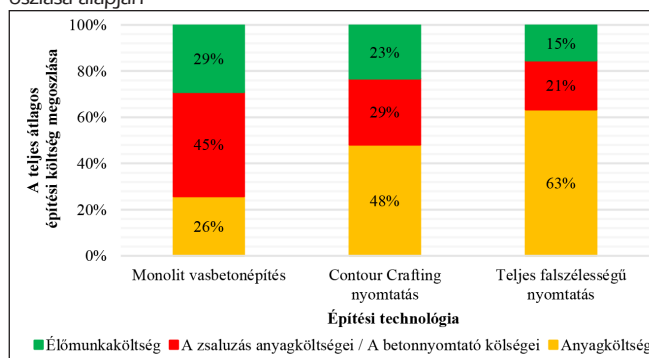
Ezen felül a betonnyomtató alkalmazása geometriától függetlenül több, akár 8-szor gyorsabb megvalósítást tesz lehetővé, azaz akár 24 óra alatt elkészíthetők egy kisebb épület vertikális elemei. A költségtényezőkre bontás alapján a végösszeg legnagyobb részét az anyagköltség teszi ki a speciális tulajdonságú beton miatt (3. ábra).

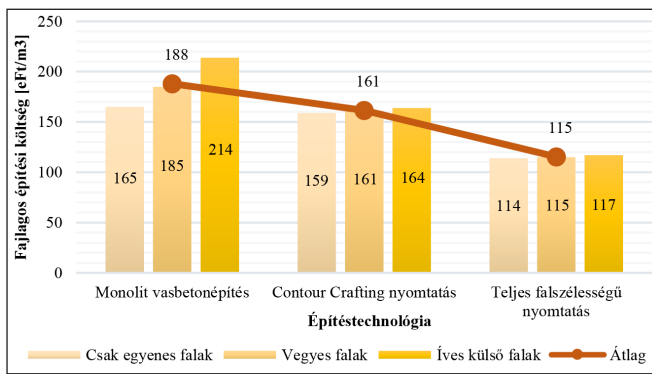
Monolit vasbetonépítési technológiával dolgozva az íves geometriával rendelkező épületek kialakítása többletköltséggel

2. ábra: A becsült építési költségek alakulása a falazat geometriájának függvényében



3. ábra: A modellek becsült építési költsége a tényezők átlagos megoszlása alapján





4. ábra: 1 m³ betontermék fajlagos előállítási költsége technológiák szerint

jár az egyeneshez képest, így fajlagosan megemeli a nettó alapterületre vetített négyzetméterárakat. Ezzel szemben betonnyomtatással dolgozva, azonos beruházási költség mellett, az íves geometriának köszönhetően nagyobb alapterületet vehetünk birtokba. Az 1. ábrán az is látható, hogy a nyomtatott beton épületek mindegyike gazdaságosabb, mint a monolit vasbetonépítéssel készült házak.

Az elemzésből kiderült továbbá, hogy a munkaerőhiányt is képes lehet mérsékelni a technológia elterjedése, ugyanis csak harmadannyi élőmunkaköltség társul a nyomtatáshoz, mint a monolit vasbetonépítéshez. Az egységnyi felhasznált betonmennyiségre vetített fajlagos építési költségek szintén kedvezőbbnek bizonyultak a nyomtatott beton elemek esetében (4. ábra).

Kutatásom során egy általános költségmodell megalkotása mellett, több különböző modellen keresztül sikerült igazolni a kisléptékű 3D betonnyomtatott épületek gazdaságosságát. Feltehetően az ilyen technológiával megvalósuló építmények költségbecslésének kidolgozását is hasonló rendszerben lehet majd elvégezni, mellyel a továbbiakban érdemes részletesebben is foglalkozni.

6. JÖVŐKÉP

6.1 Hazai piac

A technológia adaptálásának szempontjából felmérést végeztem a magyar cégek körében is, hogy átfogó képet alkossak a betonnyomtatás valós piaci terjedésével kapcsolatban.

A dvb Délmagyarországi Vasbetonipari Kft. egy kísérleti 3D betonnyomtató üzembe helyezésével és a teljes mértékben saját fejlesztésű berendezéssel komoly elköteleződést mutat a technológia iránt. 2022-ben már termelni is szeretnének ilyen eszközzel szegedi telephelyükön. A PERI Kft. pedig az első németországi és ausztriai projekteket követően, a következő évben hazánkban is tervezi egy betonnyomtató beszerzését, valamint az ilyen technológiával készült épületek megvalósítását.

6.2 Kihívások

Jelenleg a technológia az alátámasztás nélküli horizontális elemek in-situ nyomtatására nem képes, így főként falak, pillérek, és egyéb függőleges szerkezetek esetében alkalmazható. A 3D betonnyomtatott házak kivitelezésével kapcsolatban kevés információ áll rendelkezésünkre még, így a mérnököknek is újdonságot jelent az ezzel kapcsolatos problémák megoldása. Ennek megfelelően érdemes nagyobb léptékben, ténylegesen megvalósuló épületek esetén is megvizsgálni a technológia sajátosságait, a megvalósítási folyamat elemeit.

7. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A 3D betonnyomtatás tömeges gyakorlati alkalmazásának egyik kritikus tényezője a piacvezető cégek stratégiai hozzáállása az innovációhoz és a technológiához. Ennek megfelelően a technológia elterjedését nagymértékben befolyásolja a gazdaságossága is. Mivel a technológiát alkalmazó cégek előrejelzéseikben eltérő mértékű költségmegtakarítással számoltak, szerettem volna egy kutatással magyar viszonylatban is felmérni egy 3D betonnyomtató költségének megtérülési lehetőségeit. Több szempont szerint is megvizsgálva az analízisből kiderül, hogy az egyszintes épületek szerkezetét tekintve hatékonyabban építhetők és gazdaságosabban megvalósíthatók betonnyomtatással, mint monolit vasbetonépítési technológiát alkalmazva.

A kiemelkedően rövid átfutási idővel rendelkező építési mód döntő szerepet vállalhat a globális lakhatási krízis megoldásában, a katasztrófa sújtotta területek újjáépítésében, valamint az emberi beavatkozásra alkalmatlan területeken történő munkavégzés esetében is.

A következő években várhatóan tovább fog nőni azon projektek száma, amelyek nyomtatással valósultak meg, ugyanis az élőmunka költség fokozatosan emelkedik, és előtérbe kerülnek a fenntarthatóság szempontjából előnyösebb építési módok.

8. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani TDK kutatásom témavezetéséért dr. Vidovszky Istvánnak, valamint az Építéstechnológia és Építésmenedzsment Tanszéknek.

9. HIVATKOZÁSOK

- Agarwal, R. – Sridhar, M. – Chandrasekaran, S. (2016.06.24.), „Imagining construction's digital future” <https://www.mckinsey.com> (2021.11.12.)
 COBOD weblap, <https://cobod.com> (2021.11.12.)
 ÉVOSZ weblap, <https://evosz.hu> (2021.11.12.)
 McKinsey weblap, The Construction Industry is Ripe for Disruption Infographic (2016), <https://www.mckinsey.com> (2021.11.12.)
 Paul, S.C., van Zijl, G.P.A.G., Tan, M.J. and Gibson, I. (2018), „A review of 3D concrete printing systems and materials properties: current status and future research prospects”, Rapid Prototyping Journal, Vol. 24 No. 4, pp. 784-798.
 Zhang, X. – Flood, I. – Zhang, Y. – Moud, H. I. – Hatami, M. (2019), „A Cost Model to Evaluate the Economic Performance of Contour Crafting.”, Computing in Civil Engineering 2019, pp. 618-625.

Szögi Tamás (1999), negyedéves hallgató, aki 2021-ben az OTDK Műszaki Tudományi Szekció Építészet tagozatában Külföldi díjas lett, valamint a 2021/22-es tanévben Nemzeti Felsőoktatási Ösztöndíjban részesült. Emellett a Zielinski Szilárd Építőmérnöki Szakkollégium gazdasági alelnöki pozícióját tölti be. Örömmel foglalkozik betonnal kapcsolatos fejlesztésekkel és innovatív technológiákkal. Kutatását szeretné tovább folytatni diplomamunka keretein belül.

3D CONCRETE PRINTING - REVOLUTION OF THE ECONOMICAL HOUSE BUILDING

Tamás Szögi

In the field of construction, innovation and digitalisation are playing a key role today, as most people are looking for simpler, cheaper, and faster solutions to stay competitive in the marketplace. One such innovation is 3D concrete printing, with which we can even create unique, curved structural elements with a freer design. Labor shortages, rising building material prices, and pollution are all encouraging investors to look for alternative, more efficient construction methods. Thanks to automated technology, emissions can be reduced with more precise design. In my TDK research, conducted in 2020, I analyzed the economic efficiency of concrete printing using industry-specific prices and then compared it to the costs of monolithic reinforced concrete construction.