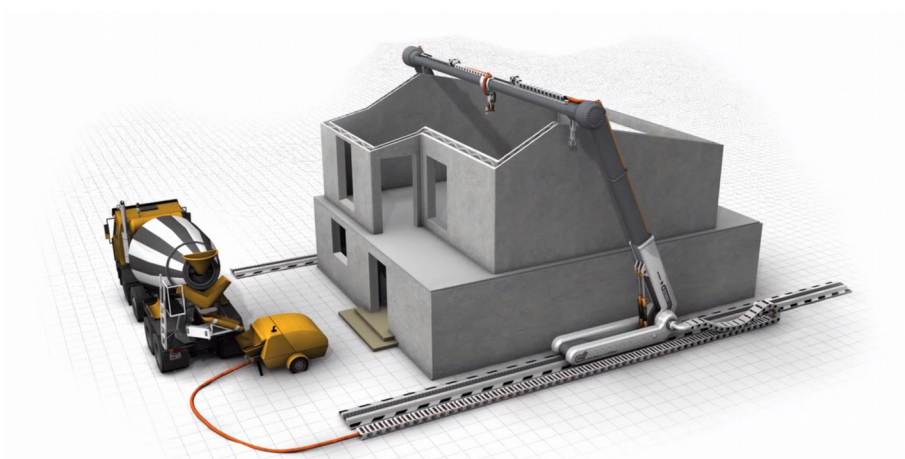


3D nyomtatás az építészetben

Készítette: Illés Anna

Konzulens: Klujber Róbert



Tudományos Diákköri Konferencia
Építészmérnöki Kar
Építéskivitelezés és építészeti geometria
2013



"We shape our buildings; thereafter they shape us."

Winston Churchill

Tartalomjegyzék

Prológus.....	1
Technológia.....	4
Szerkezet.....	4
Anyag.....	6
Funkciók automatizálása.....	7
Szoftver.....	9
Összevetés.....	11
Gazdasági vonzerő.....	11
Szerkezeti előállítás.....	11
Idő.....	12
Fenntarthatóság.....	14
Szociális hatás.....	15
Építészeti alkalmazásai.....	15
Epilógus.....	18
Forrásjegyzék.....	20
Tanulmányok.....	20
Power Point anyagok.....	20
Cikkek.....	20
Videók.....	22

Prológus

Napjainkban gyakran hallhatunk a három dimenziós nyomtatásról és lehetőségeinek kimeríthetetlen tárházáról. Azonban mikor rátaláltam a dolgozatom témájára, a Contour Crafting-ra (CC), teljesen lenyűgözött a léptéke és az, hogy bár számos felhasználási területét ismerem a 3D nyomtatási technológiának, mégsem találkoztam még olyan bátor fejlesztővel, aki mert ekkorát álmodni, és itt most nemcsak a szellemi tartalomra, hanem a tényleges méretre is értem. Izgatottan cikáztak a fejemben a gondolatok a projekt kapcsán, milyen dolgokra lehetne használni, mennyi életet lehetne jobbá tenni, micsoda építészeti szabadságot jelenthetne. Így úgy döntöttem, hogy ez lesz TDK dolgozatom tárgya, hiszen ha valami ennyire inspiráló már az első perctől kezdve, akkor azt érdemes mélyebben megismerni, illetve úgy érzem, hogy ez egy igen időszerű téma a mai világban, melyben az emberek mindent azonnal és rögtön ott helyben szeretnének tudni, látni, fogni, érzékelni. Minél gyorsabban, minél jobb minőségben, minél olcsóbban. Ez a három fogalom, az idő, a minőség és a költségek gazdaságunk alapját képezik. Az a fejlesztés válhat sikeressé, mely ezeket optimalizálni tudja és véleményem szerint a Contour Crafting képes lehet erre.

Először pár mondat erejéig a feltalálót mutatnám be. Az iráni származású Dr. Behrokh Khoshnevis a University of Southern California tanára. Professzora az Industrial & Systems Engineering és a Civil & Environmental Engineering karoknak, a vezetője a Center for Rapid Automated Fabrication Technologies (CRAFT)-nak, illetve a Manufacturing Engineering Graduate Program-nak a USC-n (University of Southern California). Aktívan foglalkozik CAD/CAM rendszerekkel, robotikához és mechatronikához kötődő projektekkel, melyek a Rapid Prototyping (például a Contour Crafting) eljárásokat is magukban foglalják, ezen túlmenően a lehetséges orvosi felhasználását is tanulmányozza a technológiának. Több igen neves szervezet tagja (Institute of Industrial Engineering, Society for Computer Simulation, Society of Manufacturing Engineering), és számos szabadalom köthető a nevéhez, melyek igen jelentős publicitást kaptak. A Contour Crafting-ot 2006-ban a National Inventors Hall of Fame és a History Channels Modern Marvels programok a 25 legjobb találmány közé választották.

Nézzük, mit is takar pontosan ez a találmány. A CC egy olyan szabadalmaztatott, nagy léptékű, additív jellegű, rétegekből építkező gyártási technológia, mely teljes mértékben

számítógépek által vezérelt és alkalmas lehet arra, hogy 24 óra alatt szerkezetkészben felépítsen egy kétszáz négyzetméteres családi házat. Alapját két párhuzamos tevékenység, az anyagok kipróbálása és azok elsimítása egy vakolólapátra emlékeztető tárggyal, képezi. Így érik el a sima és igen pontos, szabadon formált felületeket.

Az ötlet egy 1994-es földrengés után fogalmazódott meg Dr. Khoshnevis-ben, miközben házának megrepedt falát javította egy vakolólapáttal. „Amíg betömtem a rést, észrevettem, hogy ez az egyszerű eszköz milyen jól tudja alakítani az anyagot és milyen szép lesz a végeredmény. Ezzel párhuzamosan épp egy RP (Rapid Prototyping) folyamaton dolgoztunk, és úgy gondoltam, hogy kombinálom a kettőt egymással. Először különböző kerámiákkal kezdtem, majd azt gondoltam: „Miért ne építsünk házakat?”- nyilatkozta a Building Magazine UK-nek.

Kezdeményezését számos jól ismert szervezet támogatta, úgymint a NASA Jet Propulsion Laboratory, az Office of Naval Research, a U. S. Army Construction Engineering Research Laboratory és az Air Force Research Laboratory.

A cél az építőipar forradalmasítása, mely a gazdaság szignifikáns részét képezi. Bár ez az ágazat rengeteget fejlődött az elmúlt évtizedekben, megrekedni látszik a robotizáció egy bizonyos szintjén. Számos cég fejlesztett ki gépeket a különböző kivitelezési feladatok ellátására, ám az áttörő siker elmaradt, részben talán azért, mert ezek nem, vagy csak nehezen kombinálhatóak egymással és így egy-egy ilyen alkalmazása nem okoz megfelelő méretű gazdasági előrelépést. Azonban az kétségtelen, hogy az építőiparnak szüksége van valamire, ami túlmutat a jelenlegi határain és kimozdítja az aktuális állapotából, mely alatt főként az igen alacsony minőséget, a lassú és költséges kivitelezést, a számos munkahelyi, akár halálos, balesetet és a szakképzett munkaerő hiányát értem.

Amennyiben sikerülne ezt a célkitűzést megvalósítani, úgy számos globális problémára, feladatra jelenthetne megoldást a technológia. Nevezetesen többek között a körülbelül egy milliárd hontalan és nyomornegyedekben élő ember megfelelő életkörülményeinek a biztosítására, a természeti katasztrófák áldozatainak mihamarabbi kártalanítására és akár még a világűrben való terjeszkedésre is.

Mindezt tennénk gyorsabban, olcsóbban, magasabb minőségben és kevesebb szennyező anyag kibocsátása mellett. Ezért gondolom, hogy ez a találmány igen időszerű.

A következőkben a technológia bemutatására törekszem, így a „nyomtató” szerkezetére, a felhasznált anyag összetételére és tulajdonságaira, az építészeti alkalmazásaira és a szoftverre, mely vezérli, térek ki. Ezt követően összevetést készítek a hagyományos építési eljárások és a vizsgált metódus között. Ennek alapját a különböző módszerek erősségei, gyengeségei, lehetőségei, veszélyei, korlátai, gazdasági és környezetvédelmi tényezői alkotják. Végezetül pedig a fejlesztés jelenlegi állásáról, jövőbeni fázisairól, a megoldandó problémákról szólok majd röviden, kiegészítve ezt a saját elképzeléseimmel, terveimmel a technológiával kapcsolatban.

Technológia

Alapvetően kétféle gyártási folyamat létezik, a szubtraktív, ide tartozik többek között a CNC marásos technika, az esztergályozás és a vésés, és az additív, mely a zsaluzattal történő monolit építési módot, a hagyományos és a modern réteges gyártást foglalja magába.

Ez utóbbiba tartozik a Contour Crafting, mely mint már említettem, egy nagyléptékű gyártási technológia, melynek célja, hogy additív módon relatív vékony rétegekből építsen fel akár épületeket is, számítógépek által vezérelve.

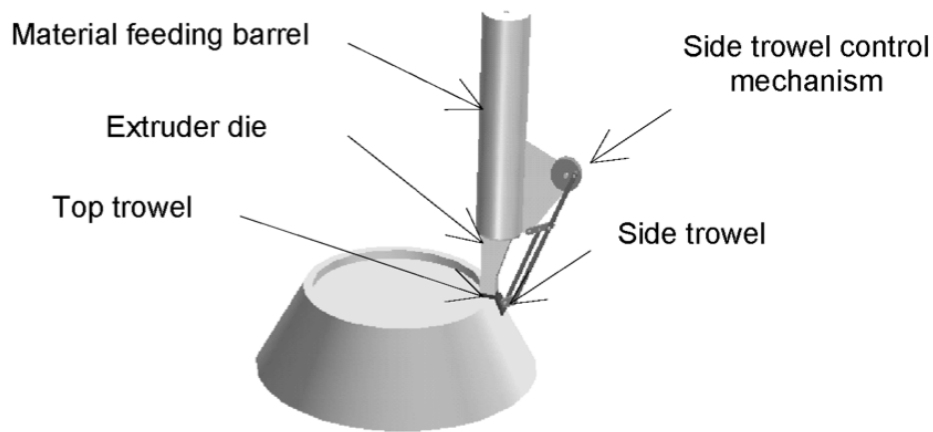
Szerkezet

A gépet gyakorlatilag egy hatalmas állványzat jelenti, mely a leendő épület mellett elhelyezett sín párokon tud majd mozogni előre-hátra (1. ábra).



1. ábra: A Contour Crafting "daru"

Ezen a rendszeren található az anyagtartály is. A két oldalt összekötő gerendán a jobbra-balra mozgás biztosított. Ezen helyezkedik el a legfontosabb rész, a nyomtatófej, ami a precíziós koordinációért felelős, melyben a rajta elhelyezett lézerek segítik. Egy időben préseli ki magából az anyagot, igen magas nyomáson, és simítja el a külső felületet.



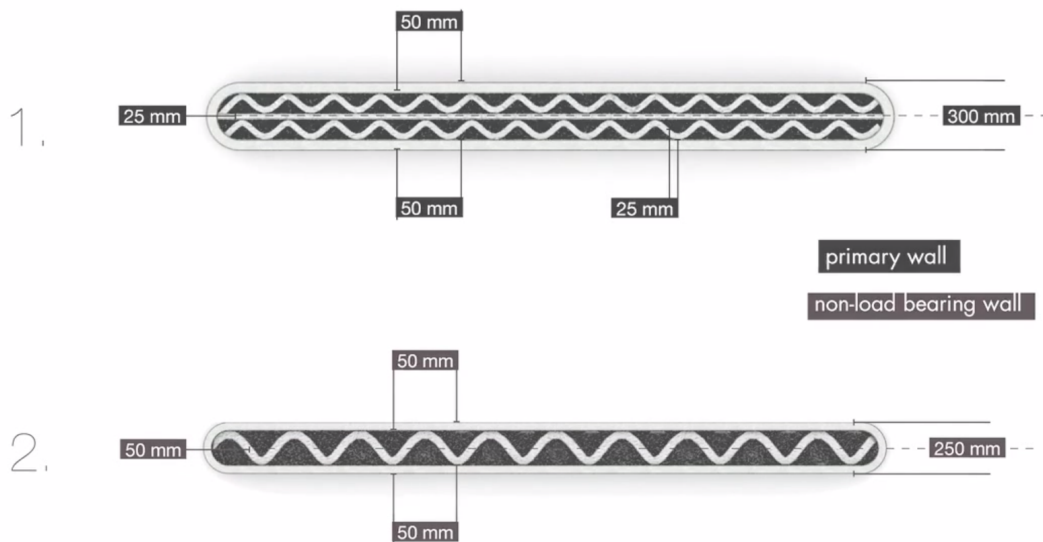
2. ábra: Eredeti nyomtatófej

A kezdetekkor, mikor még csak kisebb méretű kerámia 2,5D-s és 3D-s elemeket gyártottak, a szórófej a 2. ábra szerint nézett ki, tehát látunk egy felül elhelyezkedő simító felületet, illetve egy oldalsót, mely mozgatható, láthatjuk a csövet, amelyen keresztül érkezik az anyag és magát a nyomtatófejet.



3. ábra: Nyomtatófej

Azóta ez sokat fejlődött és így már üreges falak kialakítására is képes (3. ábra). Ez a fej annyiban különbözik az előzőtől, hogy két oldalt vékony kérget formáz két nyomtatófej segítségével, melynek külső oldalát szintén elsimítja, a középső szórófej pedig a faltól függően tömören vagy üregesen, hullámot formázva tölti ki a burkot (4. ábra).



4. ábra: Főfal (1.) és közfal (2.) szerkezete

Anyag

A kutatás elején a kisebb léptékű modellek (5. ábra) elkészítéséhez egyfajta kerámiát használtak, melyet az American Ware Company biztosított számukra. Ennek összetevői a következők: Taylor kaolin, Pioneer talkum, bárium-karbonát, nátrium szilikát és 35 tömegszázalék víz. A próbadarabok szobahőmérsékleten készültek, majd részben szárító kemencékben szilárdultak meg 1063-1066 °C-on, tíz órán keresztül. Ezután következett egy 8-9 órán át tartó, második égetés 1003 °C-on. Az égetési eljárások a matéria stabilitása szempontjából elhagyhatóak, mivel az agyag nedves szerkezeti szilárdsága igen magas.



5. ábra: 2,5D és 3D kerámia elemek, valamint beton falak

Ezt követően betonnal kezdtek el kísérletezni, melyben a USG (United States Gypsum

Company), egy multinacionális építőanyagokkal foglalkozó cég segíti őket. Sajnos a jelenleg használt elegy pontos összetétele üzleti titok, nem hozzáférhető, így konkrét ismertetése nem lehetséges. A rendelkezésemre álló információk szerint ez beton, gipsz és bizonyos rostok keveréke.

Az elmúlt években a technológia környezetbarátabbá tételéért egy német céggel, a Degussa-val is együttműködtek. Ők egyfajta vályogszerű anyag kutatásával foglalkoznak, hisz ez jelentősen tovább csökkenthetné az eljárás költségeit, gyakorlatilag kiiktatva az anyagszállítást.

További lehetőségeket jelenthet majd a későbbiekben bizonyos műanyagok alkalmazása, illetve epoxi gyantával elkevert fa őrlemény is megfelelhet a kívánt követelményeknek.

Réteges falak esetén (3. ábra) fontos megvizsgálni a kitöltő anyagokat. Ezeket alapvetően a fallal szemben támasztott igényeink határozzák meg. A rést kitölthetjük különböző hőszigetelő-, hangszigetelő anyagokkal, speciális tulajdonságú beton keverékekkel, de akár üregesen is hagyhatjuk. Az igények teljes mértékben a környezethez, az éghajlathoz igazíthatóak, gondolok akár itt a falak vastagságára is, mely tulajdonság igen gazdaságossá és fenntarthatóvá teszi a Contour Crafting-ot.

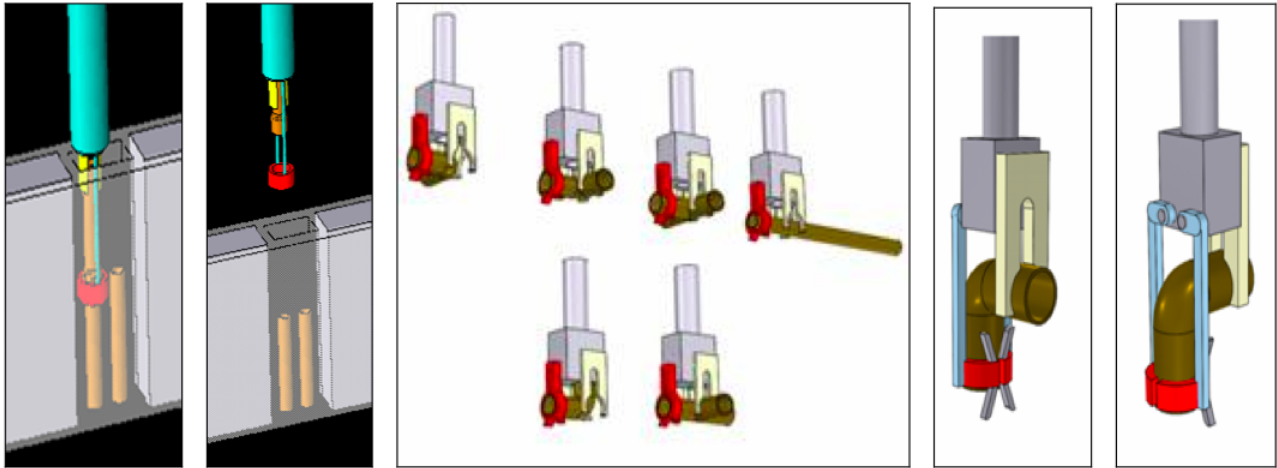
Funkciók automatizálása

A cél az építési folyamat teljes körű automatizálása, mely, amint a CC technológia infrastruktúrája készen áll, megvalósíthatóvá válik különböző robotkarok, kiegészítők által.

Az egyik legfontosabb ezek közül talán a merevítés megoldása. Ez többféleképpen is történhet. Egyrészt elképzelhetjük a hagyományos megoldáshoz legközelebb álló módon, acél vasalással. Először a rétegekbe beépítve három egyszerű moduláris elemet használunk fel, melyeket a képen is láthatunk. Ezeket egy adagoló rendszer lehelyezi a kijelölt helyre, illetve összeszereli őket, majd egy újabb beton réteg következik és kezdődik előről az egész. Fém vasalás helyett azonban rost erősített műanyagot, valamint üveg és szén szálak erősítő kötegeket is hozzáadhatunk, melyek a falazás során az anyagba keverve vagy a kipréseléssel párhuzamosan kerülnek beépítésre. A harmadik módszer egy utófeszített rendszer alkalmazását jelenti.

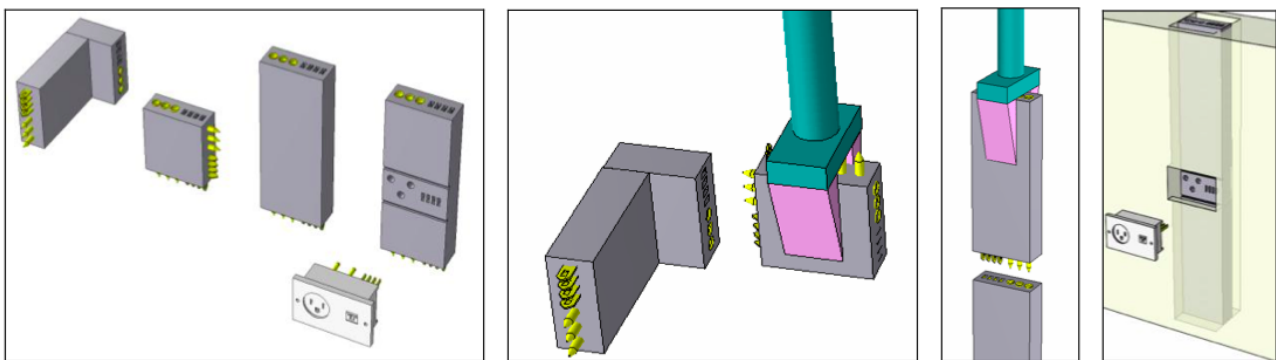
Következő igen jelentős plusz funkció, mely beépítésre kerülhet a rétegelés közben a

vízvezetékek (6. ábra). Egy kar összeillesztené a rézből, vagy más anyagból készült csöveket, melyek szélé forrasztófém bevonattal van ellátva, és egy melegítőgyűrű segítségével összehegesztené őket, ahogy azt a ábrán is láthatjuk. Alternatívát jelenthetnek a PVC csövek, ebben az esetben ragasztó tartaná össze őket.



6. ábra: Vívezetékek szerelése

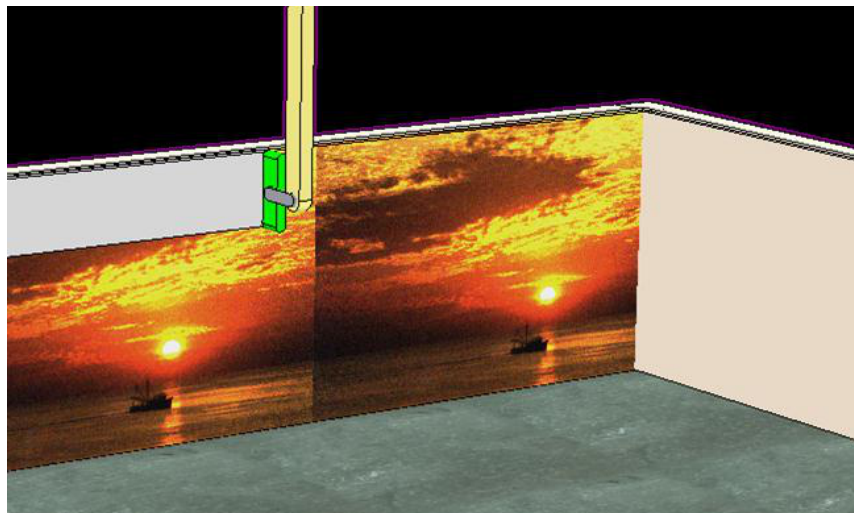
A vezetékek sorát tovább is folytathatjuk, hisz az elektromos- és a kommunikációs hálózat felépítésére is alkalmas lehet a technológia (7. ábra). Ezek egyfajta gyűjtő sínben elhelyezve kerülnének beépítésre. Minden részt egy egyszerű robotkar helyezne a megfelelő helyre és illesztene össze a szomszédos elemekkel. Az egyetlen manuális munkafázis a falon kívüli egységek, aljzatok beillesztése lenne.



7. ábra: Elektromos és kommunikációs kábelezés

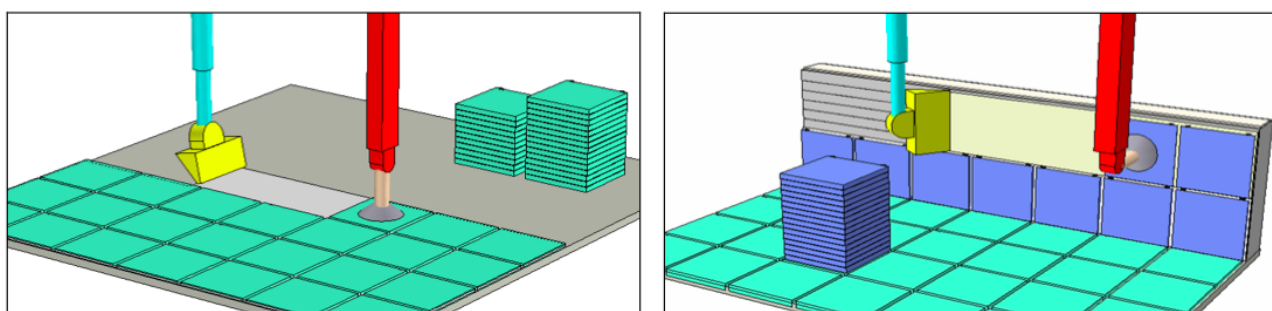
Különböző szenzorok és elektronikai eszközök, kiegészítők is beépítésre kerülhetnek. Beszélhetünk ennek kapcsán a „smart concrete” nevű találmányról, mely szén szálakkal dúsított beton, ami így alkalmassá válik arra, hogy a szerkezetben fellépő feszültséget jelezze, így például földrengés-biztosabbá téve a házat. Ide tartoznak a különböző mozgásérzékelők, hőmérséklet- és páratartalom mérő szenzorok is.

Végül, de nem utolsó sorban meg kell említenünk a festést és a csempézést, melyek lakásunk otthonosabbá tételéért felelnek. Szerencsére az előállított felületek annyira simák, hogy különösebb utókezelés nélkül, rögtön felvihető rájuk a festékanyag, illetve tintasugaras nyomtatófejekkel, akár mintákkal is elláthatjuk a falat (8. ábra).



8. ábra: Falak festése tintasugaras technológiával

A vízszintes és függőleges felületek burkolását két karral könnyen megoldhatjuk (9. ábra). Az egyik a ragasztóanyagot (habarcsot) teríti el, míg a másik előre meghatározott helyükre rögzíti a csempéket. A pontosság itt nem kérdés, hiszen gépekről beszélünk és míg a manuális technika alkalmazása során a munkaidő 60%-a a precíz elhelyezéssel megy el, ez itt másodpercek kérdése.



9. ábra: Burkolás

Szoftver

A technológia megjelenése lehetőséget teremt arra, hogy teljes méretű épületeket hozzunk létre közvetlenül 3D-s CAD fájllokból. Ehhez azonban komoly fejlesztésekre van szükség az informatikai infrastruktúra terén is. Jelenleg az ipari gyakorlat inkább megosztja és elszeparálja egymástól a különböző tudományágakat, azonban ennek meg

kell változnia. Egy olyan keretprogramra van szükség, mely jól tudja az ágazatokat (építészet, mérnöki tervezés, kivitelezés, logisztika, műszaki ellenőrzés) kombinálni és integrálni. Fontos részét jelenti az építészeti modell elkészítése, de talán ennél is izgalmasabb kérdés az, hogy az alkalmazás miként tudja majd a házakat olyan alegységekre bontani, melyeket fel tud építeni. Ehhez létfontosságúak a nagyon pontos szerkezeti analízisek, melynek részeként el kell készülnie egy részletes kiviteli tervnek, mely megmutatja a gyártási folyamat lépéseit. A technológia sebessége igen nagy, és ebből származóan bármilyen késlekedés más területeken komoly hatással lehet a teljes kivitelezés ütemére. Így nagyon fontos az is, hogy a tervezéssel párhuzamosan készüljön a logisztikai, ütemezési terv is, valamint, hogy a kivitelezést fejlett érzékelőrendszerekkel támogatott, gyors minőség-ellenőrzés kísérje.

Alapvetően azonban a program, amint említettem építészeti CAD modellekkel dolgozik. Akár az ArchiCad is alkalmas lehet ilyen jellegű felhasználásra, amennyiben a geometriát egy fajta absztrahált építési leírásnak tekintjük. A programnak azt kell tehát megoldania, hogy hogyan lehet az egyszerűsített CAD modellt robot vezérlési feladatokká alakítani.

Összevetés

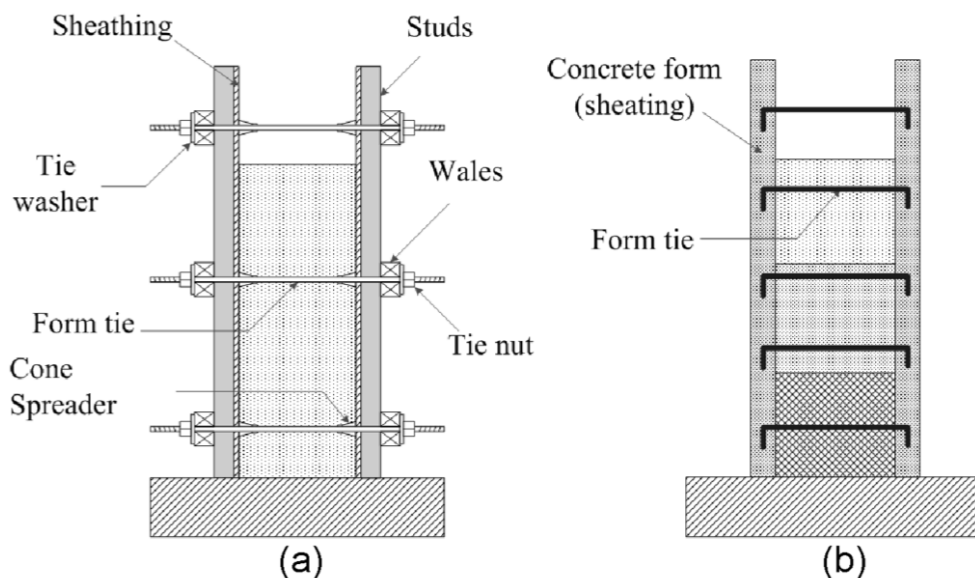
Ebben a részben, miután már van egy átfogó képünk a metódusról, azt szeretném megmutatni, hogy milyen előnyei és hátrányai vannak a CC technológiának a hagyományos építkezési módszerekkel szemben. Alapvetően a gazdasági vonzerejét, a fenntarthatósággal kapcsolatos érdekességeket, a szociális hatását és építészeti alkalmazásait fogom vizsgálni, számos szempont alapján.

Gazdasági vonzerő

Az előzőekben már említett gyorsaság, magas minőség és alacsony költségek azok, amelyek ezt az eljárást gazdaságilag vonzóvá teszik. Nézzük meg alaposabban, hogy mik ennek a építési folyamatnak az anyagi komponensei.

Szerkezeti előállítás

Ha a hagyományos építési technológiákra gondolunk, akkor vagy a falazóblokkokkal történő konstruálás, vagy a monolit vasbetonozás juthat először eszünkbe. Ezek azonban igen időigényesek, drága és nagy precizitást követelő módszerek, hisz az elemek megfelelő összeillesztése, az ideális zsaluzat kialakítása, a felületek utólagos kezelése, mind ehhez járulnak hozzá.



10. ábra: Hagományos (a) és CC (b) fal metszete

A képen láthatjuk egy monolit beton fal kialakításának sematikus rajzát (10. (a) ábra). Észrevehetjük mi magunk is, hogy számos olyan komponens kerül alkalmazásra, melyre a későbbiekben nincs szüksége, tehát ezek előállítás, szállítás az építkezés végén kidobott energiának, pénznek minősül. A CC technológia ezzel ellentétben, amint a 10. (b) ábrán is látható, nem használ fel felesleges rögzítő elemeket, csak annyi anyag kerül beépítésre, amennyi szükséges. Ezzel időt is spórolunk, hisz nem kell semmit sem eltávolítani, és felületképzése is olyan pontos, hogy akár azonnal festhető, burkolható, nem igényel többlet munkát.

Mindemellett olyan építészeti formák válnak elérhetővé, melyek a hagyományos módon túlzott mértékű költségük miatt szinte kivitelezhetetlenek voltak. A görbülő falak nem jelentenek akadályt, hisz a számítógépek által vezérelt gép ugyanúgy és ugyanannyi pénzből képes létrehozni őket, mint egyenes társaikat. Ezzel az építészeti szabadsággal egy tradicionális technika sem veheti fel a versenyt.

Idő

Kitűnik az előző részből is, hogy az idő mennyire fontos faktor az építőiparban. Hozzá kell tennünk, hogy ha a munkabérek emelkedő tendenciáját is figyelembe vesszük, akkor még aktuálisabb az olyan technológiák, mint a CC megjelenése, hiszen a teljes automatizáció jelentősen csökkenti az építkezéssel töltött időt, illetve a munkások számát is.

Jelenleg átlagosan 6-9 hónap szükséges egy tipikus családi ház elkészítéséhez. Ez a Contour Crafting-gal 24 óra leforgása alatt kivitelezhető lenne. A piacra kerülési idő ilyen mértékű csökkenése felfoghatatlan változásokat tudna elindítani és minden egyes további beépített automatizált funkció csak tovább növelné ezt a fajta gyorsaságot. A szállítással eltöltött órák száma is markánsan csökkenne, hisz csak a gépezetet kell a helyszínre vinni, illetve a kellő anyagmennyiséget, de tekintve a technológia alkalmazkodó képességét a helyi anyagokhoz, ez minimalizálható. Az elszállítás kapcsán pedig szintén kizárólag csak a berendezés transzportjáról beszélhetünk, hisz hulladék gyakorlatilag nem keletkezik, ezt azonban a következő pontban fejtem ki majd részletesebben.

Előtte azonban még egy számszerűsített kimutatást ismertetnék, mely tanulmányozása közben nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy a minőség a hagyományos és a CC technológiákat összevetve semmiképp sem rosszabb, sőt inkább magasabb a Contour

Crafting esetében, mivelhogy ez egy számítógép által létrehozott objektum, így az emberi pontatlanságból fakadó hibák kiküszöbölhetőek. Ráadásul az automatizáció kiterjesztésével egyéb funkciókra sokkal biztonságosabb szerkezetekhez juthatunk, akár gondoljunk itt a földrengések érzékelésére vagy a különböző beépített hő- és mozgás érzékelőkre. Tehát lássuk a táblázatot, melynek a becsült adatait a Caterpillar-ral és a USG-vel (United States Gypsum Company) együttműködve alakították ki, felhasználva a két cég jelentős tapasztalatát.

- Szerkezeti amortizáció, biztosítás, adók: \$150 000 /év
- 50 munkahét/év, 6 munkanap/hét
- A CC használata 2 építkezéshez hetente, 24 órás használat építkezésenként, összesen 48 óra
- Gyártási sebesség a CC teljes sebességével: 1 négyzetláb/12 másodperc = 300 négyzetláb/óra
- Működési-karbantartási-energia költség: 0,25
- A működés 3 dolgozót igényel: \$ 40 /óra/személy
- Becsült anyagköltségek a USG szerint: \$ 1 /négyzetláb

Ez a következőket jelenti:

- Működési órák száma egy évben: 50 hét x 48 óra/hét = 2400 óra/év
- A szerkezet költsége /óra: \$150 000 / 2400 óra/év = \$62,50 /óra
- A szerkezet költsége /négyzetláb = \$62,50 / 300 négyzetláb = \$0,21 /négyzetláb
- Dolgozók költsége /négyzetláb = (3 személy x \$40 /óra)/300 négyzetláb/óra = \$0,40 /négyzetláb
- Működési-karbantartási-energia költség /négyzetláb = 0,25 (\$0,21 /négyzetláb) = \$0,05 / négyzetláb
- Teljes kiviteli költsége a CC technológiának:
- A szerkezet költsége + Működési-karbantartási-energia költség + Dolgozók költsége = \$0,66 /négyzetláb + \$2,50 /négyzetláb (Anyagköltség²) = \$3,16 /négyzetláb

Tehát a CC technológiánál \$3,16 egy négyzetláb elkészítése, míg a hagyományos technológiáknál ez a legolcsóbb esetben is \$5,49.

Fenntarthatóság

Ez a napjainkban igen időszerű fogalom is szorosan kötődik a találmányhoz. Miért is ilyen fontos az építészet kapcsán? A válasz egyszerű. A világon az anyagok 40%-át építkezésekhez köthető tevékenységek során használják fel és körülbelül az energia fogyasztásnak is hasonló hányadát teszi ki ez az iparág. Így, amennyiben egy olyan szerkezet áll rendelkezésre, mely ezeket a számokat redukálni képes, elengedhetetlen a használatba vétele az ökológiai lábnyomunk csökkentése és a jövőnk érdekében. A CC a hagyományos építőipar adataival szemben egészen lenyűgöző eredményeket produkál.

Az építkezéshez meghatározóan kevesebb anyag szükséges, mivel ezek mennyiségét számítógépes kalkulációk határozzák meg. Ebből kifolyólag gyakorlatilag nincs hulladék keletkezés sem, amely komoly hatással van az anyagszállítás mértékére is, mely jelentősen hozzájárul ahhoz, hogy ez a találmány környezetbarátabb legyen, hiszen így nincs a gépjárművek által fölösleges CO₂ kibocsátás. Hasonló módon segít csökkenteni a CO₂ termelődést az is, hogy kevesebb munkás utazik nap, mint nap az építkezések helyszínére. Továbbá káros zaj és por emisszió sincs, mivel a számítógépek által vezérelt, rétegelt építési technika lehetővé teszi ezek kiküszöbölését. Az anyagok előállítása is lényegesen kevesebb befektetett energiát igényel, mint például egy beton falazóblokké. A szállítás pedig a mi esetünkben gyakorlatilag csak a szerkezet helyszínre juttatására és onnan elszállítására vonatkozik, minimális anyag transzportáció mellett. Az alább látható táblázatokban számszerűsítve is megtekinthetjük a CC előnyeit a tradicionális módszerekkel szemben. Az adatok egy, a feltalálótól kapott tanulmányból származnak.

Szakasz	Betonfalazóblokk	CC
Előállítás, szállítás és gyártás	2.44E+05	2.77E+05
Helyszínre és a helyszínről való szállítás	4.57E+05	9.87E+03
Helyszíni kivitelezés	5.24E+03	4.83E+03
Összesen:	7.06E+05	2.92E+05

1. táblázat: CO₂ kibocsátás (kg)

Szakasz	Betonfalazóblokk	CC
Előállítás, szállítás és gyártás	7.92E+02	1.28E+03
Helyszínre és a helyszínről való szállítás	1.80E+04	1.11E+03
Helyszíni kivitelezés	2.70E+02	1.41E+01
Összesen:	1.90E+04	2.41E+03

2. táblázat: Befektetett energia (kJ)

Szociális hatás

A tényyszerű hatások elemzése után nézzük a kevésbé evidens elemeket. Gondolok itt például arra, hogy körülbelül évente csak az USA-ban 400 000-en sérülnek vagy halnak meg építkezési balesetek során. Az ő családjaik igen hálásak lennének, ha szeretteik kevésbé kockázatos körülmények között dolgozhatnának. Nem kéne attól tartani, hogy milyen veszélyes, káros anyagokkal érintkezik a bőrük, vagy éppen milyen kémiai anyagot, port lélegeznek be. Ez mindenképpen pozitív színben tünteti fel a találmányt.

Ami kétes visszhangot válthat ki a világban, az az, hogy vajon mi fog történni azzal a számos dolgozóval, akik a kivitelezés területén helyezkednek el jelenleg. Ezt többféle szemszögből vizsgálhatjuk. Részben igen, a hagyományos technológiák alkalmazása több ember számára jelenthet álláslehetőséget. Azonban az új technika is teremthet munkahelyeket, ha kisebb számban is, és ezek fizikailag sokkal könnyebb, de kreatívabb állásokat jelentenek.

Valamint valljuk be őszintén, egy újító folyamat mindig jelentős változásokkal, olykor áldozatokkal jár, de ezek lassan beépülnek a mindennapjainkba. Például gondoljunk csak az első autók megjelenésére. Sokan kétségbe voltak esve, hogy mi lesz a lovaskocsik és vezetőik sorsa, így többen ellenezték is a fejlődést. Azonban ma már senkiben sem merül fel kérdésként ez, és nem kérdőjelezi meg a gépkocsi létezésének létjogosultságát. Természetesen azon lehet vitatkozni, hogy ezek a fejlesztések a társadalom előnyére válnak-e vagy sem, de ez a filozófiai kérdés már túl mutat dolgozatom keretein.

Építészeti alkalmazásai

Amint látjuk, a CC technológia abszolút univerzális, hiszen teljesen egyedi tervezés alapján épülhetnek fel a házak, a falak vastagságát, összetételét az éghajlathoz, a környezethez igazítva. A tetőszerkezet részben készülhet akár a hagyományos építkezéseken megjelenő elemek bevonásával, tetőgerendák vagy áthidalók felhasználásával, de a végeredmény megszülethet történelmi építészeti formák megjelenítésével is, boltozatok és kupolák kialakításával. Ez a teljes építészeti szabadság korlátlaná teszi a lehetőségek számát. Azonban most mégis szeretnék három olyan speciális felhasználást kiemelni, mely számomra igen nagy jelentőséggel bír és rendkívül sok ember életét, vagy akár az emberiség jövőjét is megváltoztathatja.

Először a katasztrófák és a háborúk áldozatai számára készülő házakat említeném. Otthonunk elvesztése sokszor csak pillanatok kérdése, de hónapokba vagy akár évekbe telhet, mire újra állandó fedél lesz a fejünk felett. Ilyen esetekben gyakran előfordul, hogy bár az élelem, a ruhák és a gyógyszerek bizonyos humanitárius szervezetek által biztosítva vannak, a szakképzett munkaerő rendelkezésre állása és az építkezéshez szükséges anyagok szállítása nem megoldható, illetve az ehhez szükséges anyagi fedezet előteremtése is problémát jelenthet. A CC technológiát alkalmazva azonban a transzport költségek jelentősen csökkenthetőek, hisz helyben található anyagok felhasználására is lehetőséget teremt, továbbá gyorsaságát sem vitathatja senki, mivel 24 óra alatt akár több kisebb ház elkészítésére is képes lehet.

A sebességet és a szignifikánsan csökkentett költségeket akkor is érdemes szem előtt tartanunk, mikor a közel egy milliárd hontalan, illetve nyomornegyedekben élő emberről beszélünk, akiknek a körülményei igencsak kétségesek. Sajnos ahelyett, hogy ezeknek a negyedeknek a mérete csökkenne és visszaszorulnának, évről-évre 10%-kal növekednek a fejlődő országokban, míg a városok népessége ugyanitt csak 5%-kal nő. A hagyományos építési technológia képtelen ezt a léptékű igényt kielégíteni, hiszen túl drága és túl lassú hozzá. A CC alkalmazásával lehetőség nyílhat arra, hogy a folyamatot lelassítsuk, majd apránként megállítsuk és megfordítsuk.

A szociális felhasználásokkal párhuzamosan létezik egy igen speciális tudományos alkalmazása is. Ez az űrben való építkezés különböző égitesteken, jelenleg első sorban a Holdon és a Marson. A NASA tervei közt szerepel ugyanis az, hogy hosszabb ideig tartó kutatói munkát lehessen végezni ezeken a területeken. Ehhez viszont elengedhetetlen, hogy előre elkészült építmények várják a misszió részt vevő űrhajósokat. A CC egy olyan technológia, mely alkalmas lehet ezek előállítására, hisz felhasználható a égitestek felületén található regolit nevű anyag az építkezéseken. Az ehhez szükséges kísérleteket már el is végezték. Mivel a találmány teljesen működtethető távvezérléssel, illetve automatizáltan is, így ez sem jelenthetne gondot.

Összefoglalva tehát főként a gyorsasága, a költség hatékonysága, az alkalmazkodó képessége az, ami ennyire széleskörűen felhasználhatóvá és ígéretes technológiává teszi a Contour Crafting-ot. Természetesen, mivel egy kísérleti stádiumban lévő fejlesztésről beszélünk, felmerülhetnek kivitelezési problémák, de egyelőre nincs okunk azt feltételezni, hogy a már említett lehetőségek ne lennének megvalósíthatóak.

Továbbá érdekes kérdéseket vethet fel a technológia szabályozása, hogy milyen rendeletek mellett lehet majd alkalmazni. Egyelőre, amíg nincsenek pontosabb, rendelkezésre álló tapasztalati adatok létező épületek alapján, addig nem engedélyezhető a módszer használata huzamos emberi tartózkodást feltételező építményeknél.

Epilógus

A kezdeti kis léptékű 2,5D-s és 3D-s kerámia modellek után, először felépült egy 60 centiméter magas falszakasz. Azóta már elkészült egy 182 centimétert is meghaladó, körülbelül 10 centiméter vastag, rétegekből álló modell is.

Egy fal már áll. Stabilan, határozottan és visszavonhatatlanul. A következő lépés mindenképp egy épület létrehozása, melyet három éven belül terveznek megvalósítani egy kijelölt területen Marina del Rey-ben, melyet a California Institute of Earth Art ajánlott fel erre a célra. A dolgozatomban említett információk részben egyelőre elméleti síkon mozognak, bár nagyon komoly fejlesztések és számos kutatás eredményeként születtek meg. Tekintve, hogy már sikerült létrehozniuk életnagyságú komponenseit egy épületnek, így nincs okunk azt feltételezni, hogy egy egész épület kinyomtatása ne lenne lehetséges. Még sok nyitott kérdéssel kell szembenéznünk, számos technikai újításra is szükség lesz, de nem látom akadályát annak, hogy a korábban leírtak működjenek.

A feltaláló szerint 5-10 éven belül kereskedelmi forgalomba kerülhet a találmánya, melyet bérelhetnek majd, vagy nagyobb cégek meg is vásárolhatnak, hiszen becsült ára jelenleg nem haladja meg a 240 000 amerikai dollárt, mely hozzávetőlegesen 50 millió forintot jelent. A piac igen nyitottnak tűnik a Contour Crafting-ra, számos kivitelező, építészeti iroda, katasztrófa-elhárító szervezet érdeklődik iránta.

Számos feltérképezetlen adottságot még meg sem említettünk. Példának okáért rekonstrukciók során is alkalmas lehet a CC a tökéletes végeredmény eléréséhez, hiszen ennél pontosabb illeszkedés nem igazán érhető el más technológiákkal, vagy csak rendkívül időigényesen.

Véleményem szerint jelenlegi és jövőbeni aktualitása miatt igen fontos a Contour Crafting-ot mélyebben megismerni, hiszen akár jelentős részét is képezheti majd életünknek. Felelős, leendő építészként úgy gondolom, hogy a technológia által biztosított szociális lehetőségeket nem szabad elszalasztani, hiszen számos életet változtathatunk meg gyökeresen. Számomra ez a része képezi a legérdekesebb aspektust, így a jövőben szeretnék tovább foglalkozni ezzel az eljárással, és terveim között szerepel egy szociális program összeállítása, különböző optimalizációk mellett, a magyarországi viszonyokhoz igazítva.

Egy fal már áll, melyről egyesek úgy nyilatkoznak, mint a legjelentősebb történelmi falra a Kínai Nagyfal óta. Ezzel részben egyet kell értenem, hisz olyan események láncolatát indíthatja el, melyek átalakíthatják az egész világot, a bennünk élő emberekkel együtt. „Először mi formáljuk házainkat, majd azok formálnak minket.”- ahogy Winston Churchill is megfogalmazta.

Forrásjegyzék

Tanulmányok

- 1.) Dr. Behrokh Khoshnevis: Automated Construction by Contour Crafting – Related Robotics and Information Technologies, 2004
- 2.) Dr. Behrokh Khoshnevis: Automated Construction by Contour Crafting, 2013
- 3.) Dr. Behrokh Khoshnevis, Dooil Hwang, Ke-Thia Yao, Zhenghao Yeh: Mega-scale Fabrication by Contour Crafting, 2006
- 4.) Dr. Behrokh Khoshnevis: Lunar Contour Crafting – A Novel Technique for ISRU-Based Habitat Development, 2005
- 5.) Hongkyu Kwon: Experimentation and Analysis of Contour Crafting (CC) Process Using Uncured Ceramic Materials, 2002
- 6.) www.contourcrafting.org

Power Point anyagok

A <http://www.contourcrafting.org/powerpoint-slides/> oldalról

- 1.) Introduction
- 2.) Craft
- 3.) Publicity and Support
- 4.) Information Technology
- 5.) Construction Application
- 6.) Robotics
- 7.) Nozzle
- 8.) Other Automated Operations

Cikkek

- 1.) 3D Printing Industry – University of Southern California & the Realization of 3D

Printed Houses

<http://3dprintingindustry.com/2013/09/30/university-south-california-realization-3d-printed-houses/>

- 2.) Caterpillar Inc. Funds Viterbi 'Print-a-House' Construction Technology
<http://viterbi.usc.edu/news/news/2008/caterpillar-inc-funds.htm>
- 3.) New York Times
<http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/NYT.pdf>
- 4.) Discover Magazine
<http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/Discover.pdf>
- 5.) Popular Science Magazine
<http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/Popular-sci.pdf>
- 6.) Time Journal Of Construction and Design
<http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/paradigmshift.pdf>
- 7.) LA Times
<http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/LAtimes.pdf>
- 8.) Building Magazine UK
<http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/building.pdf>
- 9.) US Tech
<http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/USTech.pdf>
- 10.) Daily Telegraph
<http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/Daily-Telegraph.pdf>
- 11.) New Scientist
<http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/newscientist.pdf>
- 12.) LA Weekly
http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/LA_Weekly.pdf
- 13.) Professional Builder
http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/Professional_Builder.pdf
- 14.) Architecture Week
<http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/ArchitectureWeek.pdf>
- 15.) National Science Foundation

- <http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/NSF.pdf>
- 16.) Information Sciences Institute
<http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/ISI.pdf>
- 17.) NBC Nightly News Transcript
<http://motionbull.com/contourcrafting3/wp-content/uploads/2012/08/NBC.pdf>
- 18.) <http://craft.usc.edu/Description.html>
- 19.) <http://greenbuildingelements.com/2008/09/05/are-extruded-houses-green/>

Videók

- 1.) <http://www.youtube.com/watch?v=QxqROe8tevo>
- 2.) <http://www.youtube.com/watch?v=SLlwalOKfYc>
- 3.) <http://www.youtube.com/watch?v=JdbJP8Gxqog>
- 4.) <http://www.youtube.com/watch?v=wFwZspYK3Q4>
- 5.) <http://www.youtube.com/watch?v=tufTpAYqYDo>
- 6.) <http://www.youtube.com/watch?v=j6sH3Hs2MWw>
- 7.) <http://www.youtube.com/watch?v=kgll4gi2R-o>