

GYÁRTÓKAPACITÁS TELEPÍTÉSÉNEK TERVEZÉSE ÉS A KIVÁLASZTÁS SZEMPONTJAI A FENNTARTHATÓSÁG ÉRDEKÉBEN

Csontos Barna – Gál József

Absztrakt: Tanulmányunkban megvizsgálunk egy építési technológia fejlesztését a fenntartható, modern építkezés érdekében. Közismert tény, hogy az épített környezetünk legalább száz évig kihat életünkre, tehát nem lényegtelen, hogy a jövő technológiájában milyen környezetbarát technológiát alkalmaztunk.

A vizsgált vállalat fő terméke a „zöld beton”. Ezt a fajta betont „zöldnek” hívják, mivel nem tartalmaz portlandcementet. Mivel 1 tonna portlandcement előállításához 1 tonna CO₂ kibocsátással készül, amely nem tekinthető fenntarthatónak.

Holisztikus módon közelítettük meg a problémát, hogy megtaláljuk a legjobb helyet gyártóhely felállításához, és felhasználtuk a LEAN alapelveit a termelésben és a logisztikában is.

Először megpróbáltuk azonosítani a kockázatokat és megoldásokat keresni; végül elkészítettük az ideális tényezők listáját. Végül megtaláltuk a megfelelő helyet a gyár felépítéséhez.

Abstract: We examine developing a building technology for sustainable modern construction. Well-known fact is that our built environment assigns our living for one hundred years at least, so it is not irrelevant how future-proof and eco-friendly the technology we used.

Main product of examined company is called ‘green concrete’. This kind of concrete is called ‘green’, because it doesn’t contain Portland cement. Producing 1 ton Portland cement emits 1 ton CO₂ that is not sustainable.

We approached the problem via holistic way to find the best place to set up our factory and use LEAN principles in production and logistics as well.

First, we tried to identify the risks, and seek solutions; finally, we made a list of features of ideal site. At the end of the project, we found the suitable place to build the factory.

Kulcsszavak: tervezés, gyártás, logisztika, LEAN, „zöld beton”

Keywords: planning, production, logistics, LEAN, ‘green concrete’

1. Bevezetés

A tanulmányban szereplő cég olyan építési technológia fejlesztésén dolgozik, amely fenntartható megoldást nyújt a modern építészet számára. Tekintettel arra, hogy az épített környezet legalább 100 évre meghatározza környezete működését, nem mindegy, hogy mennyire „jövőbiztos” és környezetbarát technológiát és anyagokat használunk.

A „folyékony kőnek” is nevezett beton használata nem fenntartható, hiszen egy tonna cement előállításához ugyanennyi CO₂ kibocsátással jár. A cég által kifejlesztett ún. „zöld beton” nem tartalmaz cementet, sőt a kötéséhez CO₂-t köt meg a légtérből, tehát csökkenti a légköri szén-dioxid mennyiségét.

A „zöld beton” gyártásának telepítése során is igyekezni kell a környezetvédelmi- és fenntarthatósági szempontokat figyelembe venni, hogy a gyártó lehető legkisebb környezeti terhelést okozzon, miközben a lehető legjobb minőséget állítsa elő,

közben minimalizálva a veszteségeket. A cég – a LEAN-elvek szerint (Jones–Womack, 2009) – veszteségnek tekinti az anyagmozgatásból és a készletezésből származó olyan költséget is, amely felmerülése nem növeli a hozzáadott értéket.

Vizsgáltunk olyan nagy projekteket, mint például az Empire State Building építése, amely 1930-ban kezdődött, és rekord sebességgel felépült (1931. április 11-re) a világ legmagasabb épülete lett, és amely ezt a címet 1970-ig tartani tudta. A siker titkát többek között a LEAN-elvek alkalmazása, a szereplők szervezett együttműködése, az előre gyártott elemek beépítése és a szállítási utak tervezettsége adta (Hardin–McCool, 2015).

Ez a tanulmány a kiválasztás szempontrendszerét és a folyamatát mutatja be, melynek eredményeként sikerül megtalálni az alkalmas helyszínt, amely a fenntarthatósági szempontjainknak megfelel, miközben valós lépéseket tesz az építőipar által kibocsátott CO₂ csökkentése érdekében (Sustania Global Opportunity Report, 2018).

2. Gyártás megtervezése

A cég témamegközelítése holisztikus, az épületet egésznek tekinti, amely annál jobban képes megfelelni a kihívásoknak, minél kevesebb anyagfajtából épül, de a lehető legjobb energia-hatékonysággal képes működni, akár ún. passzívház-ként.

Komplett építési rendszer kidolgozását vette tervebe, amely komponenseinek egy részét saját gyártásban állította elő, más részének előállítását az építkezés helyszínén, helyben kapható anyagokból gazdaságosan megoldhatónak látta az általa fejlesztett célgépekkel.

A gyártásnál az alapanyagok minőségének biztosítása és beszállítása, majd a késztermék kiszállítása, illetve az építkezések lebonyolítása több kérdést vetett fel, amelyek megválaszolása nélkül nem lehet meghatározni a megfelelő gyártási helyszín kiválasztásának szempontjait.

2.1. Saját gyártás alapanyagaival kapcsolatos kérdések

Az építési technológia alapkomponeense a „zöld beton”, amely fizikai tulajdonságait tekintve jellemzően meghaladja a hagyományos beton értékeit (pl. kötésidő, zsugorodás, víztartalom, kopásállóság, nyomószilárdság stb.).

Gyártása – a lényegét tekintve – 4-5 por alakú alapanyag meghatározott arányban történő összekeverése és 25 kg-os zsákokba töltése. A kötési reakció elindításához a por alakú alapanyag és egy oldat meghatározott arányban történő összekeverése szükséges. Az oldat ivóvíz és egy, a cég által előállított és szállított kristályos anyag összekeverésével állítható elő a helyszínen. A kristályos anyag külön kiszerezésben kerül odaszállításra. Mindkét anyag gyártásának részletei és összetétele üzleti titok, illetve védett technológia (know-how).

A legnagyobb nehézséget az adja, hogy az egyik alapanyag szemcseeloszlása nagyon fontos minőségi előírás, mivel a „zöld beton” rendkívül érzékeny erre a paraméterre.

Sajnos, közismert fizikai jelenség, hogy a szállítás során az apróbb szemcsék kiválnak, illetve a súrlódás miatt a szemcseméret változik. Azt tapasztaltuk, hogy

500-600 km szállítás (közelebb nincsen ilyen anyag bányászatára mód) big-bag zsákban komoly változást okoz a szemeloszlásban, mivel a bányában mért értékek és a big-bag kiürítések vett minta lényeges eltérést mutat, amely nem tolerálható.

Szabványbeli kategóriát szerinti szitázással azt tapasztaltuk, hogy a vasúti- és a közúti szállítás által okozott szemeloszlás-változás különbözik, amely azzal magyarázható, hogy a közúton nagyobb rázkódás, ezért többszörös súrlódási hatás éri az alapanyagot, így az apróbb szemcsék száma jelentősen megnő.

A szállítás tehát minőségbiztosítási szempontból olyan kockázat, amit a gyártásnál figyelembe kell venni. Nagy mennyiségű (napi 20-40 tonna) és tömegű alapanyag ($1\text{m}^3 = 2\,500\text{ kg}$) felhasználásáról van esetünkben szó, miközben a szemcseméret 1 mm és 0,01 mm között szóródnak. Az ABC elemzés alapján ennek az alapanyagnak a kategóriája „A”, és azon belüli is kiemelt jelentőségű, így nagyon fontos paraméter.

Ezt a problémát – elméletileg – több módon is lehet kezelni:

- amennyiben a bánya képes előállítani bármilyen szemeloszlást, és ezt garantálni is tudja, a vevő (a vizsgált cég) a rendelést úgy módosítja, hogy a várható súrlódási változások miatt nagyobb szemcseméret-igényt ad meg, hogy a megérkezéskor éppen az elvárt értékre csökkenjen az,
- a bányától külön veszi a frakciókat, és azokat megfelelő arányban keveri a saját gyárában, figyelembe véve az előbb említett súrlódási változásokat is,
- saját szeparátort épít, amely a gyárban képes a frakciókat szétválogatni, és a gyártáshoz szükséges arányokat helyben beállítani.

Figyelemmel a szállítás szemeloszlásra gyakorolt hatására, kizárólag a saját szeparátor (szétválogató-szitáló gép) működtetése jöhet szóba úgy, hogy az adott szállítási mód várható hatását is figyelembe kell venni a bányának megadott rendelésnél. Ebből következően a gyártást olyan helyre kell telepíteni, ahol a közúti- és a vasúti szállítás feltételei is megfelelőek, azaz a gyár és a rakodóhely közel van egymáshoz. Úgyszintén figyelembe kell venni azt is, hogy a bánya milyen távolságra van a vasúti rakodóhelytől, mivel a közúti szállítás hatása jelentős szemeloszlás-változást okozhat.

Könnyű belátni, hogy a gyártás és a készletgazdálkodás szempontjából az ideálisnak az a megoldás tekinthető, amely a beszállított alapanyag szemeloszlása és a szeparátorból kikerülő frakciók arányát tekintve ideális. Ellenkező esetben egyes frakciókból hiány, más frakciókból többlet állna elő, amely a folyamatos gyártás akadálya lenne.

Az építkezési helyszínre történő kiszállítás is okozhat szemeloszlási problémát, de a tesztek azt tanúsítják, hogy a 25 kg-os zsákban kiszerelt termék szállítása sokkal kisebb mértékben változtatja meg a szemcseméretet, mint a big-bag-ben történő szállítás.

A technológia másik fontos eleme a szabványos (EN 1090-1:1:2009+A1:2011(E)) ún. vékonyfalú acélszelemen, amely az épület tartószerkezetének kialakításához szükséges. A megfelelő méretű és formájú elemeket galvanizált acélszalagból állítja elő egy görgős présgép (roll forming machine), amely képes az épület kiviteli terve alapján készült gyártáslista alapján 1

mm-es tűréshatárral dolgozni. Ez a technológia lehetővé teszi, hogy az épület 3D-s elektronikus terve alapján (BIM = Building Information Modeling – Épületinformációs modellezés) a tartószerkezet előre legyártásra kerüljön, lapszerelt módon az építkezési területre lehessen szállítani, és ott a helyszínen szegecseléssel kerüljön rögzítésre.

A vékonyfalú acélszelemen alapanyaga az acélszalag, amely tekercs formájában kerül szállításra, jellemzően közúton. Tekintettel arra, hogy a felülete kezelt (galvanizált), párára (rozsdásodás) nem érzékeny, ezért sem a szállítás, sem a raktározás nem igényel különösebb figyelmet. Mozgatása emelővillás targoncával történik.

Az Európai Unió szabályozza az építési termékek forgalmazását. A Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU rendelete (2011. március 9.) az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált feltételek megállapításáról és a 89/106/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről (CPR), és a Kormány 275/2013. (VII.16.) Korm. rendelete az építési termék építménybe történő betervezésének és beépítésének, ennek során a teljesítmény igazolásának részletes szabályairól szóló jogszabályok alapján vizsgálatra és tanúsításra kijelölt szervezet, például az ÉMI (Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.) nemcsak a terméket ún. teljesítmény-állandósági tanúsítvánnyal, hanem az üzemi gyártást is tanúsítja, ún. üzemi gyártásellenőrzés megfelelőségi tanúsítványt ad ki. Ebből következően a gyártás állandó feltételeinek biztosítása is fontos – sőt jogilag kötelező - feladat.

2.2. Más által gyártott termékekkel kapcsolatos kérdések

Az építési technológia fejlesztése során átgondolásra került, hogy mely termékek gyártását tervezik saját cégen belül, illetve mely termékeket vásárolják meg az építés helyéhez közeli szállítótól.

A vékonyfalú acélszelemen gyártására már létezik mobil megoldás. Ebben az esetben egy 40 lábas konténerbe telepített gép az építkezés helyszínén kerül beüzemelésre. Ez a megoldás csak abban az esetben indokolt, ha az építkezés volumene (felhasználandó acél mennyiség) indokolja ezt, a helyszín alkalmas vagy könnyen alkalmassá tehető a feladatra (pl. ipari áram, terület stb.). Ököltszabálynak tekinthető, hogy az építkezés acélszerkezeti igényének legalább tízszeresének kell lennie az egy kamionnal a helyszínre szállítható szelemenek mennyiségének ahhoz, hogy a helyszíni gyártás gazdaságos legyen.

Az épületekkel szemben egyre szigorúbb energetikai elvárásokat fogalmaz meg a jogalkotó, amelynek a hagyományos építési technológiával épített épületek (pl. téglá, beton, fa) csak utólagos hőszigeteléssel tudnak megfelelni.

A népszerű hőszigetelő anyagok (pl. polisztirol, kőzetgyapot) egységes jellemzője, hogy térfogatukhoz képest a súlyuk kicsi, ezért szállításuk könnyű, de nem költséghatékony, mert nagy térfogatot foglalnak el. Például a polisztirol 120 köbméteres autószerelvénnyel történő szállításánál (1 m³ polisztirol súlya 15-20 kg) a gazdaságossági határ 100-200 km között van.

Felmerül a polisztirol saját gyártásba vételének a kérdése, de ezt elvetettük, mivel jelentős gyártókapacitás épült már ki bel- és külföldön egyaránt, annak

beszerzése nem okoz gondot. A gazdaságos termeléshez folyamatos üzemelés szükséges, amelyet a vizsgált cég építési kapacitása önmagában nem tud biztosítani, miközben a szükséges gépek beszerzése legalább 300-350 millió forint beruházást igényelne. Fontos szempontok még a polisztirollal, mint anyaggal kapcsolatos fenntarthatósági kérdések (pl. olajszármazékból készülő műanyag), illetve a tűzállósági kérdések megválaszolása.

A polisztirollal, mint hőszigetelő anyaggal természetesen még évekig számolni kell, ezért az építési technológiánkhoz illeszthető megoldást kell keresni. A polisztirol hőre lágyul, ezért elektromosan hevített dróttal (hot wire) könnyen vágható. A leg gazdaságosabb megoldásnak azt találták, hogy olyan CAD-vezérelt vágógépet fejlesztenek, amely bármilyen fedett helyen képes 1 mm pontossággal polisztirol tömbből formát vágni, így az építkezés helyszínén is.

Más, nem különösebben formálható szigetelőanyagok esetében (pl. kőzetgyapot) az optimális megoldás szintén az építkezés helyszínére történő időzített gyártói kiszállítás.

Tapasztalati tényként említhető, hogy amennyiben egy olyan méretű épületről van szó, amelyhez szükséges minden anyag elfér egy közúti szerelvényen (120 léghöbméteren), akkor a helyszíni gyártást alpból el kell vetni, de más esetben gondos tervezést és kalkulációt igényel a legoptimálisabb megoldás megtalálása.

3.3. Jövőkép

Egyértelműen látható, hogy egyre nagyobb igény van korszerű, fenntartható és egészséges lakókörnyezetet biztosító épületekre, amelyek a hagyományos építőanyagokkal (pl. égetett kerámia téglá, portland cementből készült beton) nem vagy csak nehezen kivitelezhető.

Már nem csak a passzív ház, hanem a nulla energiaigényű ház sem elérhetetlen álom, viszont tömegesen méretben ilyen házak építésére kevés technológia létezik.

A fentiekből következően arra kell számítani, hogy a cég által fejlesztett technológia iránti kereslet megnő, jelentős húzó erőt fog kifejteni a gyártásra, mind volumenében, ebből következően logisztikai szempontokból is figyelembe kell venni ezt a változást, amely nem csak mennyiségi, hanem minőségi szempontból is új helyzet elé fogja állítani az érintetteket.

A gyártókapacitás szűk keresztmetszetét a keverőgép adja, amely 8 óra alatt képes 40 tonna „zöld beton” alapanyag gyártására és zsákba töltésére. A kapacitás napi 120 tonnára, heti 5 munkanappal számolva 200 (egy műszak) tonnára, vagy 600 tonnára (három műszak) tehető. Az alapanyagok tárolhatók, a késztermék 12 hónapig tárolható.

A vizsgált cég tanulmányozta a Toyota által is alkalmazott ún. LEAN-elveket (Jones–Womack, 2009), illetve az épületmodellezés megoldásokat (BIM) és az építési menedzsment gyakorlatát (Hardin–McCool, 2015). A feladat azért összetett, mivel olyan építési technológiáról van szó, amelynek a vizsgált cég nem csak a fejlesztője és jogtulajdonosa, hanem egyes elemeinek gyártója is, miközben kivitelezést is folytat.

Áttekintve a külföldi előre mutató példákat, főleg az előre gyártott (off-site construction) és a helyszínen gyártott (on-site construction) épületelemek arányának eltolódását az előre gyártás irányába, feltételezhető, hogy a trend folytatódni fog. Ebből következően meg kell vizsgálni a paneles építés lehetőségeit. A félkész épületelemek gyárban történő előállítására számos előnnyel jár (pl. időjárás-kitérttség kizárható, pontosság fokozható), ellenben a helyszínre történő szállítás és az ottani mozgatás külön feladatok elé állítja a céget. A félkész elemek szállításánál a súly- és a méretszempontokat kell figyelembe venni, ezért egyes félkész épületelemek fejlesztésénél már tekintettel voltak ezekre. Ennek eredménye a hőszigetelt födém elem olyan fejlesztése volt, amely 7,5 méter hosszú, 1 méter széles, 25 cm vastag hőszigeteléssel félkész állapotban kézi erővel emelhető (súlya 100 kg), beépítése után (5 cm felbetonnal) 600 kg/m² lesz a teherbírása (1. ábra).

1. ábra: Födém elem terhelési teszt



Forrás: Szerzői felvétel (2018)

A fentiekre figyelemmel arra következtetésre jutottunk, hogy a gyártelepítés jelentősége kimagasló, hiszen a tevékenység összetettsége miatt nem mindegy, hogy a jelenlegi és a jövőben várható igényekhez mennyire tud alkalmazkodni a gyártás, és az ahhoz szorosan kapcsolódó logisztika, amely a készletgazdálkodással is összefügg.

4. A kiválasztott helyszín

A technológia fejlesztésének korai szakaszában megfogalmazódott, hogy a gyártás jellegéből fakadóan logisztikai szempontokat figyelembe kell venni, hiszen nagy mennyiségű alapanyag és késztermék mozgatása szükséges.

A terület kiválasztásának elsődleges szempontja tehát a lokalitás volt, amely lehetővé kell tegye a kombinált fuvarozást (multimodalitás), tehát a közúti-, vasúti- és a folyami szállítást egyaránt.

Tekintettel arra a tényre, hogy a Duna az Európai Unió legnagyobb hajózási útvonala, amely az Europakanal-nak (Duna-Rajna-Majna vízi út) köszönhetően

Rotterdamtól (Északi-tenger) Konstancáig (Fekete tenger) teszi lehetővé a folyami szállítást, a kiválasztásnál elsődleges volt dunai nemzetközi hajókikötő elérhetősége.

Fontos szempont volt a vasúti rakodóvágány területen belül, vagy területhez közeli elérhetősége, illetve a jó közúti infrastruktúra, elsődleges szempont az autópálya elérhetősége, másodlagos szempont pedig a Dunát keresztező híd közelsége volt.

Ennek a szempontrendszernek Dunavecse felelt meg, ezért a gyár telepítését erre a településre tervezését javasoljuk. A kiválasztott terület az alábbi adottságokkal rendelkezik:

- terület mellett található a Budapest-Solt vasútvonal, illetve Dunavecse vasútállomása (300 méter),
- 16 vagonos rakodóvágány áll rendelkezésre napi 24 órában (2. ábra).

2. ábra: Dunavecse vasútállomás rakodóvágány



Forrás: Szerzői felvétel (2018)

- vasútvonalon személyszállítás jelenleg nincsen, ezért a teherszállítás jól ütemezhető,
- Dunavecsét délről az M8 autópálya megépített szakasza, keletről az 51. számú főút határolja,
- az M8 autópálya nyugat-keleti irányban fogja átszelni Magyarországot, biztosítva M1-M7-M6-M5-M4 autópályák összekötését,
- M8 autópálya hídja megépült (Pentele híd), (3. ábra).
- Dunavecsén működik egy nemzetközi hajókikötő (telektől mért távolsága 1 600 méter) (4. ábra), illetve a Duna másik partján található a Dunaújvárosi nemzetközi kikötő,

3. ábra: Pentele híd, M8 autópálya



Forrás: Szerzői felvétel (2018)

4. ábra: Dunavecse nemzetközi hajó kikötő



Forrás: Szerzői felvétel (2018)

- a terület saját trafóállomással rendelkezik (3 x 400 A),
- a terület mellett 30 méterre található egy optikai hírközlési gerinckábel.

Ez utóbbi adottság lehetővé teszi a nagy megbízhatóságú és sebességű optikai adatkapcsolat biztosítását, amely alapfeltétele a BIM technológia alkalmazásának. Másrészt a cég elkötelezett híve a 4.0 ipari forradalomnak, a „dolgok Internete” (IoT – Internet of Things) megvalósítását célul tűzte ki, és a gyártásban résztvevő gépei IP-alapú (IP = Internet protokoll) adatkommunikációra alkalmasak, azaz a távfelügyelet és a távirányítás is adottságként értelmezhető.

5. Összegzés

A fejlesztési koncepció és a technológia igényei alapján meg kellett fogalmaznunk azokat az igényeket, amelyek meghatározóak voltak a gyártási hely kiválasztásánál. Ezeket a szempontokat nem csak elméleti alapon, hanem gyakorlati tapasztalatok

alapján kellett meghatározni, hiszen például a szállítási sűrűség jelentős hatását és kiszámíthatatlanságát kezdetben alábecsültük.

Figyelembe kellett venni a jelenlegi igények mellett a jövőbeni fejlesztések lehetséges módosító hatását, hiszen például az elemes építési módok népszerűvé válásával a folyami szállítás szerepe megnőhet, illetve a nemzetközi szállításoknál is költséghatékony megoldást jelenthet ez a mód.

Várható, hogy az épületekkel szemben támasztott energia-hatékonysági elvárások tovább szigorodnak, a vásárlók oldaláról pedig – jelenleg még nem domináns – szempontok is fel fognak merülni. Ilyen lehet a birtoklás teljes költsége (TCO: Total cost of ownership), amely megmutatja, hogy az ingatlan bekerülési (építés) költsége csak töredéke az üzemeltetéssel kapcsolatban felmerülő költségeknek (pl. fűtés-hűtés költsége), amelyet egy életciklus elemzéssel (LCA: Life cycle assessment) viszonylag jól lehet prognosztizálni. Új szempont lehet a fenntarthatóság gazdasági vetülete mellett a környezeti terhelés kérdése is, hiszen a megújuló energia felhasználása a nulla energiaigényű házak működtetését teszi lehetővé úgy, hogy az épület működés által okozott környezeti terhelés is nulla közeli értékre redukálható. Ezek és hasonló vásárlói igények jelentős lendületet adhatnak az általunk fejlesztett anyagok és technológia iránti piaci keresletnek.

Dunavecse, és ezen belül a konkrét helyszín minden korábban említett szempontnak megfelelt, ezért a kiválasztás sikeresnek tűnik, a megvalósításra ajánlható.

Irodalomjegyzék

- Hardin, B., McCool, D. (2015): *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*. Wiley & Sons. Indianapolis.
- Jones, D. T., Womack, J. P. (2009): *Lean szemlélet – Lean thinking – A veszteségmentes jól működő vállalat alapja*. HVG Könyvek Kiadó, Budapest.
- EN 1090-1:1:2009+A1:2011(E): Execution of steel structures and aluminium structures (2019.09.30.)
- ISO 565:1990: Test sieves – Metal wire cloth, perforated metal plate and electroformed sheet – Nominal sizes of openings (2019.09.30.)
- Sustainia: Global Opportunity Report 2018. DNV GL A.S. <https://issuu.com/sustainia/docs/global_opportunity_report_2018_1a5a0c3de3371d> (2019.09.30.)