

CeMBeton
az építés alapja



AZ ÉPÍTŐANYAG-IPAR SZEREPE A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁGBAN

LEHETETLEN KÜLDETÉS, VAGY REÁLIS JÖVŐ?

2020

AZ ÉPÍTŐANYAG-IPAR SZEREPE A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁGBAN

Lehetetlen küldetés, vagy reális jövő?

Készült:

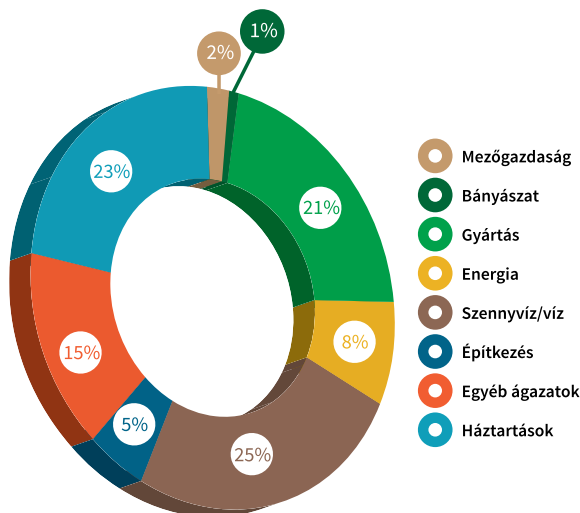


Összefoglalás	/4
1. Lineárisból a körforgásos gazdaságba	/7
2. A körforgásos gazdaság eszközei	/9
2.1. Fenntarthatóság.....	/9
2.2. Megosztás	/9
2.3. Karbantartás, javítás	/9
2.4. Felújítás.....	/9
2.5. Újragyártás.....	/10
2.6. Újrahasznosítás	/10
2.7. Újrafelhasználás	/10
3. Ipar 4.0 a körforgásos gazdaságban	/11
4. Iparágak összekapcsolódása	/12
5. Építőipar	/15
6. Építőanyag-ipar	/17
7. Beton a körforgásos gazdaságban	/19
7.1. Kitermelés, bányászat	/20
7.2. Mészke és agyag aprítás.....	/20
7.3. Nyersanyagőrlés	/20
7.4. Klinkerégetés	/20
7.5. Cementőrlés	/21
7.6. Cement – innovatív kötőanyag fejlesztés.....	/21
7.7. Transzportbeton gyártás.....	/21
7.8. Bedolgozás, betonelemgyártás, építés	/22
7.9. Karbantartás, javítás	/22
7.10. Felújítás.....	/22
7.11. Bontás, újrafelhasználás	/22
7.12. Beton szerepe az épített környezetben.....	/23
7.13. Karbonátosodás	/24
7.14. Beton összefoglaló értékelése	/24
8. A betonipar és a szabályozás előtt álló feladatok	/27
9. Út a jövőbe	/30
Források	/31

ÖSSZEFOGLALÁS

A XXI. század fogyasztói társadalmának egyik legnagyobb kihívása, hogy miközben folyamatosan kitermeli a Föld erőforrásait, megoldást találjon az általa termelt hulladék problémájára. Emiatt társadalmunk közös célja a hulladékmentes világ elérése. Becslések szerint a termékgyártás során felhasznált anyagok csupán egy százaléka marad „használatban” 6 hónappal az értékesítés után, és szinte követhetetlen mi történik a többi 99 százalékkal. A nagyvállalatok egyre nagyobb hányada tekinti stratégiai célként, hogy az általuk felhasznált anyagok folyamatosan használatban maradjanak. Ez a koncepció tulajdonképpen a körforgásos gazdaság, amely a fenntarthatóságot kereső új fogyasztók, az egyre kritikusabban csökkenő nyersanyagkészletek, és a negyedik ipari forradalom részeként áttöréseket hozó új technológiai megoldásoknak köszönhetően vált a nagyvállalati stratégiák hangsúlyos elemévé.

Hulladékok keletkezésének aránya, EU-28, 2016



Forrás: Eurostat

Ez a rendszer jóval túlmutat a fenntartható fejlődésen, a körforgásos gazdaság egy olyan modell, amelyben nincsenek hulladékok, és amelyben a ma termékei egyben a jövő alapanyagai. A mai fogyasztói társadalmakra épülő rendszer jellemzően lineáris, amikor a terméket legyártjuk, felhasználjuk majd kidobjuk. A szelektív hulladékgyűjtés, az energiaintenzív iparágak fosszilis tüzelőanyagának helyettesítése alternatív – jellemzően hulladékból származó – tüzelőanyagokkal, más iparágak folyamataiban keletkezett „hulladék” felhasználása nyers- és kiegészítő anyagokként mind fontos mérföldkövek a hulladékhoz való viszonyunkban, de önmagukban nem jelentenek megoldást. Olyan szemléletre, hosszú távú gondolkodásra van szükség, amelynek során már a tervezési folyamatban tudjuk azt, mi lesz a gyártás során keletkezett melléktermékekből, hulladékokból, illetve magából a termékből miután a felhasználó megváltik tőle. A körforgásos gazdaságban a termékek a hulladéklerakók (és sajnos a tengerek, erdők, mezők...) helyett visszakérülnek a gyártásba nyers-, kiegészítő-, tüzelőanyag formájában, jellemzően egy másik iparágban.

A körforgásos gazdaság több mint újrahasznosítás, jellemzően egy értékláncokon és iparágakon átívelő gazdasági modell, amely újradefiniálja a terméktervezés, gyártás, felhasználás folyamatát, ezzel megnyitva új, eddig kiaknázatlan (másod) piacokat a vállalatok számára.

Az Európai Unió kiemelt célja az áttérés a körforgásos gazdaságra, amelyben a termékek, alapanyagok és erőforrások értékét a lehető legtovább megőrzik a gazdaságban, a hulladék keletkezését pedig a minimálisra csökkentik. Az európai versenyelőny biztosításának alapja a fenntartható, karbonszegény, erőforrás-hatékony és egyben versenyképes gazdaság kialakítása.

A Föld véges erőforrásainak egyre növekvő kitermelése mellett a keletkezett hulladék oly mértékben növekszik, amelyet már képtelenek vagyunk kezelni. Megoldás a körforgásos gazdasági modell, amelyben nincsenek hulladékok, és amelyben a ma termékei egyben a jövő alapanyagai.

Magyarországon a körforgásos gazdaságra való átállás koordinálása és szabályozása – összhangban az EU rendeletekkel, irányelvekkel – az Innovációs és Technológiai Minisztérium (ITM) kereteiben történik. Kiemelt szerepe van az olyan szabályozási környezet kialakításának, amely támogatja a magyar gazdaság „átvezetését” a körforgásos gazdasági modellre. Az iparágak is elkötelezettek a körforgásos gazdaságra való áttérésre, folyamatos párbeszédre töreksenek olyan szabályozók kialakítása érdekében, amelyek biztosítják az átállást, a magyar gazdaság és a vállalatok versenyképességének javítását.

A körforgásos gazdaság iparágakon (országhatárokon) átívelő modell, amelynek során a szabályzó, állami és gazdasági szereplők együttműködésével valósul meg az iparágak és a vállalatok stratégiájába építése, az átmenet végrehajtása.

A tanulmány bemutatja, hogy a körforgásos gazdaság gondolata, a hulladékcsökkentés és hatékonyabb erőforrás-felhasználás egyre nagyobb teret nyer az építőiparban. Ezen belül is az építőanyag-iparban, a cement, beton és a belőlük előállított épületek, szerkezetek, műtárgyak terén. Az iparági szereplők stratégiájában már ma is kulcsszerepe van a fenntarthatóságnak, a hatékonyság növelésének, a felhasznált erőforrások csökkentésének, a kutatás-fejlesztés és innováció ösztönzésének, mindezzel megalapozva a körforgásos gazdaságra való átállást. A 7. fejezetben részletesen kifejtjük hol tart most az iparág, milyen erőfeszítéseket tesz már napjainkban is.

A Beton körforgásos gazdasági modellt felállítva a cement- és betonipar előtt álló feladat, hogy az előállítás további kezelést igénylő hulladékoktól mentes legyen, minimális bányászott természeti erőforrás felhasználásával szénsemlegessé váljon, életciklusa minél hosszabb és a végén 100 százalékban újrahasznosítható legyen. A beton előállításakor már ma is számos alternatív nyers-, tüzelő- és kiegészítő anyagot képes felvenni más iparágak melléktermékeiből, ipari és lakossági hulladékokból.

Mindez azonban elképzelhetetlen egy jól működő gazdasági és szabályozási környezet nélkül, amelynek fókuszterületei:

- ***a cementipar hulladékgazdálkodási hierarchiához illeszkedése,***
- ***a CO₂-leválasztás, tárolás, szállítás és újrafelhasználás megvalósítása,***
- ***az építési anyagok nyomon-követhetőségi rendszerének kiépítése,***
- ***az innovatív technológiákat és anyagokat támogató szabványosítás, szabályozás.***



1. LINEÁRISBÓL A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁGBA

A termékeknek van egy életciklusuk, mely az első ipari forradalom során vált lineárisrá, azaz az ipar a nyersanyagokat ki-termelte, termékeket állított elő, majd ezek használatba kerültek, végül pedig megszabadultunk tőlük. Az erőforrások szű-kössége (az ezzel együtt járó költségnövekedés), a technológia fejlődése, az új generációk felelős gondolkodása magával hozta a XX. század végére a fenntarthatóság elvét: „A fenntartható fejlődés olyan fejlődési folyamat, amely kielégíti a jelen szükségleteit anélkül, hogy csökkentené a jövő generációk képességét, hogy kielégítsék a saját szükségleteiket” (Brund-land Report, ENSZ, 1987). A fenntarthatóság jegyében három területnek kell szimbiózisban léteznie, amelyek a **gazdaság**, a **társadalom** és a **természeti környezet**. Fő cél ezen három terület olyan fejlődése, amely egymást erősíti és nem egymás rovására valósul meg. A vállalati társadalmi felelősségvállalás (CSR) egyben a fenntarthatóság vállalati megnyilvánulásának formájává vált, amely biztosítja a gazdasági érdekek érvényesülését a negatív környezeti és társadalmi hatások csökkentése mellett.

A körforgásos szemlélet ezt kiterjeszti a termékek újrahasználásával, újragyártásával vagy újrahasznosításával. A XXI. szá-zad egyre gyorsuló technológiai fejlődése hatékonyabbá teszi a gazdasági folyamatokat, olyan megoldásokat tesz lehetővé, amelyek során a hulladék visszakerül az értékteremtési folyamatokba.

A szemlélet nem új, sok tudóst évtizedek óta foglalkoztat, beszívargott a köztudatba is, a gazdasági szabályzások, nagy-vállalatok stratégiájában is egyre nagyobb teret nyer. A körforgásos gazdasági szemlélet térnyerésének hátterében három tényező áll:

- 1. Átalakuló fogyasztói igények:** Kutatások igazolják, hogy a fogyasztók 30-40 százaléka hajlandó többet fizetni a környezetbarát vagy fenntartható alapanyagokból készült termékekért. Ez különösen fontos az Y és Z ge-nerációknak (35-20-15 évesek), ezzel is kikényszerítve a vállalatokból, hogy felelősen működjenek, ne csak kommunikációban használják az elveket.
- 2. Szűkös erőforrások:** A népesség növekedése egyre több erőforrást igényel, miközben a Föld erőforrásai kor-látozottak. Ma már ott tartunk, hogy a WWF (World Wide Fund for Nature - Természetvédelmi Világalap) által meghatározott „World Overshoot” (egy éven belül meghatározott dátum, amikor a Föld regenerációs képessé-gén túl használjuk ki a természeti erőforrásokat) egyre korábbra tolódik (2019-ben július 29. volt), vagyis éven belül ezt a dátumot meghaladó időszakban a jövő generáció természeti nyersanyagait vesszük igénybe. Az erőforrások szűkössége a nyersanyagárak jelentős ingadozását is okozza, amely hátrányos a vállalatok, végső soron a fogyasztók számára is.
- 3. Technológiai áttörések:** A negyedik ipari forradalom időszakát éljük, amelyet a digitalizáció és a hatalmas mennyiségű adat, annak feldolgozása jellemez (az első a textilipar, gőzgép – XVIII. sz.; a második a nehéz- és vegyipar, elektromos áram – XIX. sz. második fele; a harmadik a programozás, automatizálás – XX. sz. 70-es évek voltak). Ellentétben az első ipari forradalommal (megismerkedtünk a hulladékkal), a negyedikben rej-lik annak lehetősége, hogy a hulladékot megszüntesse, de legalábbis nagymértékben csökkentse. Az ipar 4.0 olyan technológiai modell, amely megújuló erőforrásokat használ, a Föld készleteiből származó véges anya-gokat végtelen körforgásban tartja.

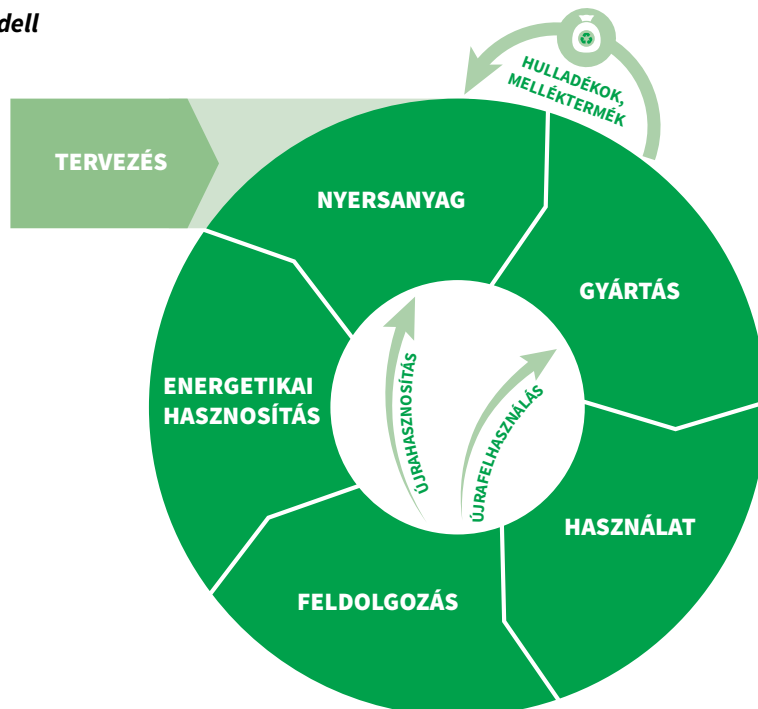
A gazdaság, a társadalom és a természeti környezet szimbiózisán alapuló fenntarthatósági szemléletet a körforgásos modell a termékek akár ipará-gakon és országhatárokon átívelő újrahasználásával, újragyártásával, vagy újrahasznosításával terjeszti ki.



2. A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁG ESZKÖZEI

A körforgásos gazdaság eszközei nem újak (pl. a szelektív hulladékgyűjtés igen fontos mérföldköve), de ezeknek az értéklánc egészében jelen kell lenniük (a tervezési folyamatól kezdve a gyártáson keresztül a termékhasználatig, majd az értékteremtési folyamatba visszakerülésig), a szereplőknek összehangoltan kell használniuk.

Körforgásos gazdasági modell



2.1. Fenntarthatóság

Már a tervezés során olyan alapanyagok, funkciók kerülnek kiválasztásra, amelyek a termék teljes életciklusára minimalizálják annak környezeti lábnyomát. Olyan termékeket terveznek, amelyek időállóak (lassan forognak, hosszú ideig használatban vannak), moduláris felépítésűek (egyes elemeik könnyen elérhetőek, cserélhetőek) és olyan alapanyagokat választanak, amelyek fenntarthatók, újrahasznosíthatók, lebomlók.

2.2. Megosztás

A sharing economy-ra építő vállalatok (pl. Airbnb) elsősorban az informatikai fejlődésnek és az emberi igények (pl. tulajdonlás) változásának köszönhetően futottak fel. A legnagyobb áttörést az önvezető autók térnyerésétől várják a szakértők, amelyek során nem kell autót fenntartanunk (és parkolót, garázst...), hanem házhoz rendelünk, ha szükségünk van rá, és ha végeztünk elküldjük. A megosztás révén kevesebb termékre van szükség, ezáltal is csökken a hulladék mennyisége.

2.3. Karbantartás, javítás

Az ipar 4.0 olyan eszközöket (pl. szenzorok, informatikai megoldások) bocsát ki, amelyeket alkalmazva a termék használati értéke hosszabb távon fenntartható. A karbantartás tudatosan felépített tevékenység, amely megelőzi a meghibásodásokat, míg a javítás visszaállítja a termék használati értékét. Ezen eladás utáni szolgáltatások az egyszeri eladás forgalmának akár a háromszorosát is elérhetik, nem beszélve a márkahűségéből adódó előnyökről.

2.4. Felújítás

Hasonlóan a javításhoz, cél a használati érték visszaállítása, de ebben az esetben sokkal nagyobb mértékű a beavatkozás, hogy az eredeti használati értéket visszanyerje a termék. Az eredeti funkciók megtartása mellett egy esztétikai felújítás újszerű állapotot eredményez, ugyanakkor egy energetikai felújítás nagyban növeli a használati értéket, csökkentheti a környezeti terheket.

2.5. Újragyártás

Minimális erőforrás felhasználásával cél az eredeti használati szint visszaállítása vagy új termék létrehozása. Ennek során a terméket elemeire bontják, javítják vagy kicserélik, majd összeszerelik, így csökkentve a hulladék kibocsátást, nyersanyag- és energiaigényt.

2.6. Újrahasznosítás

Az újrahasznosítás többet jelent, mint a szelektív hulladékgyűjtés, és két formáját különböztetjük meg: értéknövelő újrahasznosítás esetén úgy hozunk létre teljesen más terméket, hogy az anyagot nem bontjuk elemeire, míg értékcsökkentő újrahasznosítás esetén az anyagot lebontjuk és más minőségében használjuk tovább.

Újrahasznosítás a gyártási folyamat során: a gyártási folyamat során keletkező melléktermékeket hasznosítjuk vagy újrahasznosítjuk.

2.7. Újrafelhasználás

Ha egy termék már nem bír a tulajdonosa számára használati értékkel, eladhatja vagy elajándékozhatja. Az ipar 4.0 adta lehetőségeket kihasználva a hagyományos csatornák (pl. karitatív szervezetek gyűjtőpontjai) mellett olyan online platformok alakultak, amelyek az újrafelhasználást nagymértékben leegyszerűsítették, kényelmessé tették.



3. IPAR 4.0 A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁGBAN

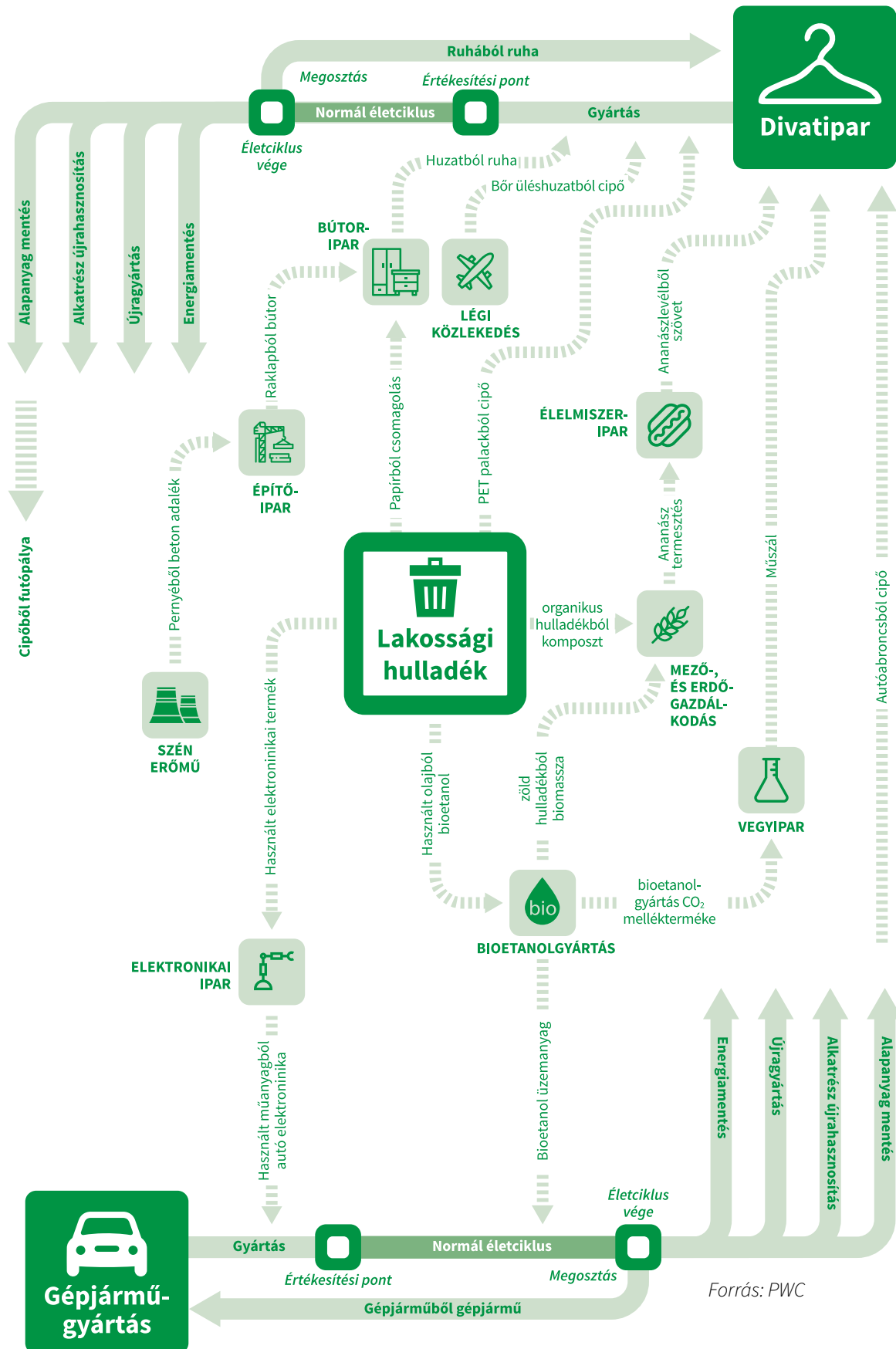
A technológiai fejlődésben tapasztalt megfigyelésen alapuló Moore-törvény (amely szerint az integrált áramkörök összetettsége körülbelül 18 hónaponként megduplázódik) beigazolódott, így ma már olyan léptékű technikai fejlődés tanúi lehetünk, amely magával hozta a 4. ipari forradalmat. Ezen eszközök felgyorsíthatják a körforgásos gazdaságra való átállást, miközben maguk is tovább fejlődnek elindítva a gazdaságot a hulladékmentesség felé. Ilyen innovatív technológiai megoldások például:

- Az internetes megosztás és adatelemzés új lehetőségeket jelentenek az IoT technológiák és a karbantartás területén, az okos hulladékgyűjtés megvalósításában.
- A mesterséges intelligencián és tanuló algoritmusokon alapuló vezérléssel támogatott robotika egyre több tevékenység esetén teszi lehetővé a gépi munkát, ezzel csökkentve a hulladékot, meghosszabbítva a termék élettartamát.
- A 3D nyomtatásban számos lehetőség van, ilyen pl. az alacsony sorozatszám mellett is bonyolult egyedi formák, alkatrészek gyártása (csökkentve a készletezést). A már nem gyártott alkatrész egyedi előállításának fontos szerepe van a termék élettartamának meghosszabbításában, vagy akár a régi termékek újrafelhasználásában.
- Az anyagtechnológiák fejlődésével ugyanaz az alapanyag kisebb erőforrás felhasználásával állítható elő, illetve biológiailag lebomlik vagy szétszerelhető és újrahasznosítható.

Az ipar 4.0 olyan technológiai modell, amely megújuló erőforrásokat használ, a Föld készleteiből származó véges anyagokat végtelen körforgásban tartja, felgyorsítva a körforgásos gazdaságra való átállást, miközben maguk is tovább fejlődnek, elindítva a gazdaságot a hulladékmentesség felé.

4. IPARÁGAK ÖSSZEKAPCSOLÓDÁSA

A körforgásos gazdaság egy országhatárokon és iparágakon túlmutató rendszer, amelynek során pl. egyik vállalat hulladéka, mellékterméke egy másik iparágban működőnek az alapanyaga lesz. Ez akkor következik be, ha a saját értékláncába nem tudja visszaforgatni, de változatlanul – vagy minimális változtatással – másik vállalat, iparág fogadni tudja azt a saját értékláncában. Ez ma már a vállalatok körében működő gyakorlat, erre mutat példát a következő ábra:



Jelenleg a körforgásos átállás kezdeti időszakát éljük, világszerte számos kormány (EU) tesz erőfeszítéseket a körforgásos gazdasági átállás elősegítésére, alakítja ki a szabályozást, támogatja a vállalatok ez irányú törekvéseit.

A körforgásos gazdasági modell fókuszterületei:

- Vizsgáljuk meg a terméket, hogy funkció-, értékvesztés nélkül kivethető-e belőle alapanyag (pl. por állapotban, koncentrátum formában hozzuk forgalomba).
- Nézzük meg, hogy a termékünk létrehozható-e fenntartható alapanyagokból. Ha nem, innovációval, kutatással induljunk ebbe az irányba.
- Vezessünk be olyan üzleti modellt, amely növeli a fogyasztók termék(újra)használati tudatosságát.
- A termékek gazdaságos karbantartási és javítási infrastruktúrájának kiépítésével ösztönözzük, hogy a termék minél tovább használatban maradjon.
- Kétirányú logisztikával tegyük lehetővé, hogy a fogyasztók használat után visszajuttassák a terméket.
- Keressünk, alakítsunk ki olyan másodlagos piacot, ahol az első vásárlón túl a használt termékeknek, vagy a gyártási melléktermékeknek is lehet piaca.
- Kövessük figyelemmel a körforgásos gazdaságot támogató kezdeményezéseket, javaslatcsomagokat, üzleti megoldásokat.

A körforgásos gazdasági modellben minden iparágnak megvan a maga szerepe (olaj, textil, élelmiszer...), a továbbiakban az építőiparral foglalkozunk.

A körforgásos gazdaságban az egyik szereplő hulladéka, mellékterméke egy másik iparágban működőnek az alap-, vagy tüzelőanyaga lesz.



5. ÉPÍTŐIPAR

Az épített környezet társadalomra és természetre (nagy mennyiségű nyersanyagot igényel) gyakorolt hatása miatt megke-
rülhetetlen, ha fenntarthatóságról, körforgásos gazdaságról beszélünk. Emiatt is kiemelten fontos az építőiparban fellel-
hető körforgásos kapcsolódási pontok kiaknázása. A környezetre gyakorolt hatása a kivitelezés befejezésével sem zárul le,
hiszen épületeink használati élettartama során is terhelik a környezetet: a primer energiafogyasztás több mint 40 százaléka
köthető hozzá, és a károsanyag-kibocsátások is számottevőek. Az életciklus végeztével pedig a bontás környezetre gyako-
rolt hatása is jelentős.

Ennek következtében a körforgásos gazdaság nem csak az építőanyagok gyártásában, felhasználásában jelenik meg, ha-
nem az üzemeltetésben és fenntartásban, végül az előregedett épületek rehabilitációjában, bontásában és a keletkezett
hulladékok kezelésében is. Már a tervezés során is több szakági tervező dolgozik együtt (építész, gépész, villamos, stati-
kus...), így kiemelt szerepe van ezek összehangolásának, az építményekkel szembeni egyre szigorodó követelményeknek
való megfelelés érdekében. A Környezettudatos Építés Egyesület (World Green Building Council) globális projektje, a Net
Zero azt a célt tűzte ki, hogy 2050-re minden épület szén-dioxid kibocsátása közel nulla legyen. A projekten túl számos olyan
minősítési rendszer létezik (BREEAM, DGNB, LEED), amelyek az épületek körforgásos gazdaságba integrálását segítik elő. Az
IoT (Internet of Things) technológiával ellátott zöld épületek térnyerése – magasabb építési költségek mellett – alacsonyabb
üzemelési költségekkel párosulva összességében növelik az ingatlan értékét, használhatóságát. Ma már nem csak az okos
irodákra fókuszálunk (amelyek nagymértékben hozzájárulnak az irodák öko-lábnyomának csökkentéséhez), hanem a dol-
gozók valós idejű helyzetét elemző smart beacon technológiát alkalmazva a kihasználatlan terekről, funkciókról, tárgyak
foglaltságától, de akár a sorbanállásról is rendelkezünk adatokkal. Ezzel lehetővé téve a helykihasználás további optima-
lizálását, kombinálva pl. az egyre terjedő otthoni munkavégzéssel (home office). Változóban vannak a vállalati kultúrák, a
technológiát alkalmazva az irodai környezet és a munkarend kialakítása jelentősen javíthatja a munkamorált, inspirálóan
hathat a szellemi munkát végzőkre.

Az építményeinket hosszú távra tervezzük, élettartamukat végig kíséri a javítás-karbantartás. A funkcióját veszített épüle-
teknél egyre gyakoribb a kisebb anyagvesztéssel és környezeti terheléssel járó **rekonstrukció**, ami a régi szabványok és
technológiák miatt komoly mérnöki kihívás, és a szándék ellenére sokszor kiderül, hogy műszakilag/gazdaságilag nem ren-
tábilis. A technológiák fejlődésével egyre több olyan példával találkozunk, ahol ez megvalósul, sokszor komplett város(rész)
rehabilitációs programjának keretében.

Az építőipar legnagyobb „hulladéktermelése” a **bontás** során valósul meg elsősorban a szállópor, és a nagymennyiségű bon-
tási hulladék környezetterhelő hatásaként, amely jelentősen csökkenthető. A bontási (gyakorlatilag fordított sorrendben
végezzük, mint az építést) és feldolgozási technológiák fejlődésével, a bontási hulladékok szétválasztásával (szükség esetén
további kezelésével) gyakorlatilag szinte minden építési elem hasznosulhat anyagában vagy energetikailag a körforgásos
gazdasági modellben (pl. acél, üveg hulladék azonnal az új termék alapanyagává válhat, de akár újra is hasznosítható).

Magyarországi mintaprojekt volt a pécsi magasház bontása, amiből több, mint 22 ezer tonna betontörmelék keletkezett.
Ez jól hasznosítható volt feltöltéshez, útépitéshez, de akár betonkészítéshez is. A technológiák rendelkezésre álltak, és ez a
projekt bebizonyította, hogy a jól megtervezett bontási folyamat miként szolgálja az elbontott anyagok újrafelhasználását.
Az épület bontásának kiírása a bontási hulladék gyűjtéséről, szállításáról, kezeléséről és a bontott beton terméké minősí-
téséről is rendelkezett, ami a legnagyobb tömegben keletkezett. Ezt lehetővé tette, hogy ma már egyre több építési termék
szabványa rendelkezik a bontási hulladékok újrafelhasználásáról, annak műszaki előírásairól, lehetővé téve, hogy pl. beton
esetében akár új beton alapanyagaként, adalékanyag építési terméként (annak szabályrendszerében) újrahasznosuljon.

Példa egy „zöld” közbeszerzési kiírás kritériumrendszerére (EU ajánlás):

- Életciklus-értékelés elvégzése, a fő elemek életciklusra gyakorolt hatása.
- A szénlábnyom mérése, a fő útelelemek globális felmelegedési potenciáljának felmérése.
- Igazolni kell a főbb elemek újrahasznosított anyag- és újrahasznált anyagtartalomra vonatkozó előírásoknak
való megfelelését.
- A nagy tömegű anyagok szállításából eredő CO₂ kibocsátás csökkentés követelménye.

Az ágazatban jelentős erőforrás-hatékonysági teljesítőképesség jelezhető előre, újra kell gondolni az építőipari értékláncot
és folyamatokat. Az építési termékek gyártásának fejlődése, a fenntartható beépítési eljárások, a környezetet lényegesen
kevésbé terhelő korszerű technológiák, alapanyagok új lehetőségeket teremtenek az iparág számára. A mielőbbi átállás

létfontosságú a magyar gazdaság számára, hiszen a nemzetközi versenyképesség fokozása, a tartós gazdasági növekedés és új munkahelyek teremtése kiemelt kormányzati törekvés. Ezért a készülő kormányzati stratégia az építésgazdaság általános fejlesztését, az építőanyagok hazai gyártásának fejlesztését, újrafelhasználására és újrafeldolgozására vonatkozó, életciklus-értékelésen alapuló célokat határoz meg.

A politikának központi szerepe van az alacsony szén-dioxid-kibocsátású, körkörös és versenyképes építőipari ágazat létrehozásában, ami összehangolt erőfeszítésekkel érhető el. Csodafegyver vagy egyetlen megoldás nem áll rendelkezésünkre, a sikeres átálláshoz elengedhetetlen az építésztervezők, a szakági tervezők, a rendeletalkotók, a szabványok készítői, az anyaggyártók, az építőipari kivitelezők szaktudása, a végfelhasználók szempontjai. Az értéklánc valamennyi szereplőjének együttműködésével azonban egy valóban szénszemleges jövő építhető fel.

Ezt a törekvést nevezzük az 5C fogalmának, aminek a jelentése: Clinker (klinker), Cement, Concrete (beton), Construction (szerkezet, épített környezet), Carbonation (karbonátosodás).

Olyan szabályozási és normatív keretekre van szükség, amelyek:

- azonos versenyfeltételeket biztosítanak régiók, valamint az egyes iparágak között,
- anyagsemlegesek és életciklusteljesítmény-alapúak,
- a keresleti és kínálati oldalt egyenlő súllyal veszik figyelembe,
- támogatják az áttörést jelentő technológiákat és ezek fejlesztését.

Az építőiparban fellelhető körforgásos kapcsolódási pontok kiaknázása kulcskérdés, hiszen épületeink a kivitelezés befejeztével, használati élettartamuk során is terhelik a környezetet, életciklusuk végeztével pedig a bontás környezetre gyakorolt hatása is jelentős.



6. ÉPÍTŐANYAG-IPAR

Az építési termékekre vonatkozó 305/2011/EU (valamint a nem harmonizált területet szabályozó 275/2013. (VII. 16.) Korm.) rendeletbe az építményekre vonatkozó követelmények új elemeként bekerült a természeti erőforrások fenntartható használata. Mind a szabályozás, mind a gyártók gazdasági érdeke abba az irányba hat, hogy a körforgásos gazdaság eszközeit a vállalati felelősségvállalás részeként kezeljék, beruházásaikat és fejlesztéseiket e szempontoknak vessék alá. A gyártók elkötelezettek a rendelkezésre álló legjobb technológiák (BAT) alkalmazása mellett. Az ipar 4.0 a mai gyártástechnológiákban is megjelenik, egyre több termékszabvány kezeli a szűkülő erőforrásokat, az újrahasznosítást.

Az európai ipari szektornak (beleértve az építőipart is) szén-semlegesnek, körforgásosnak kell lennie, miközben versenyképes marad – ez nem könnyű feladat a globális világban.

A víz után a beton a második leggyakrabban használt anyag a Földön, ami az építőipar legnagyobb tömegben használt anyaga. Évszázados hagyományokra tekint vissza, mégis innovatív, tartós, biztonságos és sokféleképpen használható, már a XXI. század technológiájával. A fejlődés valódi és elengedhetetlen motorja, a fenntartható és modern építkezés alapja, a körforgásos gazdaság elképzelhetetlen nélküle. Jelentőségéből adódóan éppen ezért az életciklusának végén ebből az anyagból keletkezik a legtöbb hulladék is, ezért a következőkben a beton teljes életciklusára vetítve bemutatjuk az iparág körforgásos gazdaságban betöltött szerepét, a már megvalósított, folyamatban lévő és a jövőben várható fejlődési lehetőségeket, az iparág „körforgásossá” válását.

Az évszázados hagyományokkal rendelkező építőanyag gyártók technológiáiban már ma is megjelenik az ipar 4.0, a szektornak szén-semlegesnek, körforgásosnak kell lennie, miközben versenyképességét is meg kell őriznie.



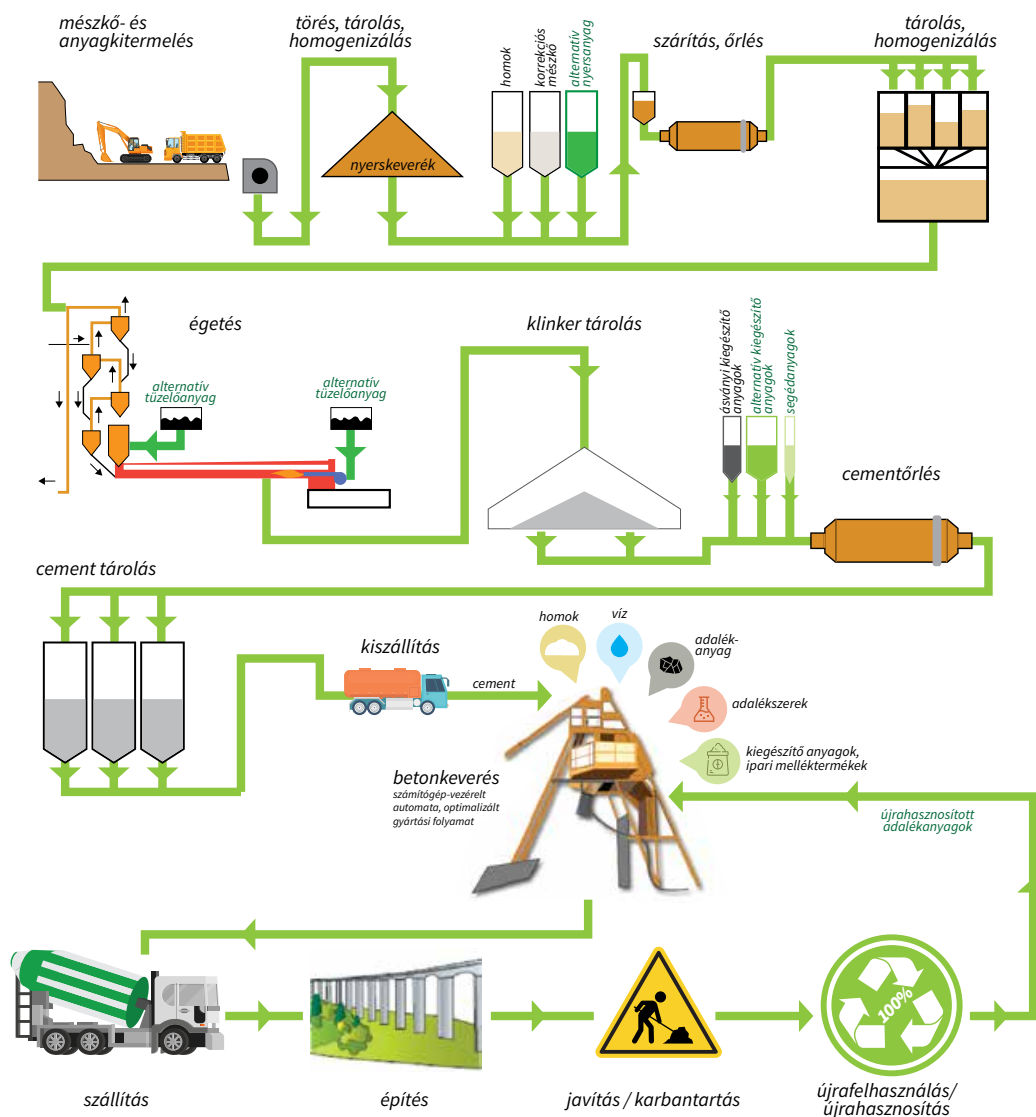


7. BETON A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁGBAN

A beton nagy tömegben előállított, hosszú élettartamú (a kétezer éves Pantheon dómja ma is a világ legnagyobb vasatlan beton kupolája), természetbarát anyag, a lineáris gazdasági modellben természetkárosítás nélkül lerakható, akár bányá re-kultiváció során is alkalmazható. Az előállítása környezetterheléssel jár, ugyanakkor hosszú élettartamának köszönhetően „versenyképes” építőanyag, és talán kevesen tudják, hogy egész életciklusa alatt jelentős mennyiségű CO₂-t képes megkötni a levegőből – miközben előállítása, elsősorban a cementtechnológiából adódóan CO₂ kibocsátással jár.

A körforgásos gazdaságra való áttérés, a betonban rejlő lehetőségek megértéséhez elengedhetetlen életciklusának elemzése, a cement- és betongyártás technológiai folyamatainak az ismerete.

A beton életciklusa



A beton (főként a cement) előállítása során – volumenéből adódóan – már kis fejlesztésekkel is jelentős lépéseket teszünk a szén-semleges, körforgásos gazdaság felé.

A következőkben az anyagelőállítás egyes technológiai elemeinek a szerepét mutatjuk be az értékláncon keresztül a teljes életciklusát tekintve a körforgásos gazdasági modellben. Az egyes elemeknél ismertetjük hol tart most az iparág, és milyen jövőbeni fejlődés várható, illetve szükséges a körforgásos gazdaság eléréséhez.

7.1. Kitermelés, bányászat

Az agyagot és mészkövet robbantással jövesztik, kitermelése homlokrakodókkal, exkavátorokkal történik. A bányászati és szállítási technológiák folyamatos fejlődésével csökken az iparág környezeti terhelése, olyan technológiákat alkalmaznak, hogy a már kinyert területeket szinte eredeti állapotában adhassák vissza a természetnek. Ezzel egyidejűleg – az alternatív nyersanyagok térnyerésével – csökken a természeti nyersanyagigény.

7.2. Mészkeő és agyag aprítás

A lerobbantott követ, illetve a kitermelt agyagot törlik, aprítják, majd homogenizálják és kialakítják a nyersanyag kémiai összetételét. A folyamatos technológiai hatékonyság fejlesztés mellett az egyéb aktív elemek fejlesztése is kiemelten fontos az ipar számára annak érdekében, hogy diverzifikáltabb és kevésbé karbon intenzív (pl. acélsalakkó) tartalmú nyersanyagkeverékeket használjon a technológiában.

7.3. Nyersanyagórlés

Az előkészített nyersanyagkeveréket golyós, görgős malomban lisztfinomságúra őrlik. Az őrlési technológiák fejlődésével nem csak energetikai megtakarításokat ér el az ipar, hanem kedvezőbb őrlési tulajdonságokat is, amely fejlődés napjainkban is tart.

7.4. Klinkerégetés

A forgókemencéből távozó forró füstgázok már a hőcserélőben fokozatosan felmelegítik az ellenáramban haladó kemencelisztet és megkezdődnek a kémiai folyamatok: a mészkő bomlása (dekarbonizációja) 800-900 °C-on, majd a kemencelisztet magas hőmérsékleten (kb. 1450 °C) égetik, az „zsugorodik”, olvadék képződik. A folyamat végére lejátszódnak a kémiai reakciók, amelyek során kialakulnak azok a vegyületek (ún. klinkerásványok), amik a cement tulajdonságait hordozzák. A mészkő kémiai bomlása során CO₂ szabadul fel (ezt hívjuk technológiai kibocsátásnak), majd a kémiai folyamatok hőigényének kielégítése és a reakciók lezajlásához szükséges hőmérséklet fenntartása további kibocsátással jár (égetésből származó kibocsátás).

A cementipar innovatív iparág, folyamatos K+F és technológiai beruházások jellemzik:

- **Hőfelhasználás:** a gyárak korszerűsítésével, új modern gyárak építésével a kemencék energiahatékonysága sokat javult. Az energiaintenzitást olyan jellemzők is befolyásolják, mint a nyersanyag nedvességtartalma és égethetősége, a tüzelőanyag típusa, a gyártási környezet, illetve a cementre vonatkozó szabványok.
- **Fosszilis tüzelőanyagokat** olyan alternatív anyagokkal **helyettesítik** (előkezelt hulladékok, biomassza), amelyek szilárdanyag tartalma a klinkerbe beépülve helyettesíti az elsődleges, bányászott nyersanyagokat is, tehát nem csak energetikailag, hanem anyagában is hasznosul, miközben nem befolyásolja a „végtermék” minőségét, és nem jár többlet károsanyag-kibocsátással. Mivel ez a folyamat csak a cementiparra jellemző, ezt a folyamatot a hulladékégetéstől (waste incineration) és hulladék együtt égetéstől (co-incineration) való megkülönböztetés érdekében szakszóval co-processingnek („együtt-alkalmazásnak”) nevezik, amelynek során a hagyományos eljárásokkal újra nem hasznosítható hulladékokat (például használt gumiabroncsokat, bizonyos típusú műanyagokat és egyéb vegyi anyagokat) hasznosítanak a klinkerásványok kialakulásához szükséges energiaigény fedezésére. A technológia már ma is adott, a megfelelő minőségű és mennyiségű hulladékokkal a fosszilis tüzelőanyagok akár 90 százaléka is helyettesíthető.
- **A cementben lévő klinker mennyiségének csökkentésére** irányuló törekvés eredményeként a klinker/cement arány – köszönhetően a kompozit és heterogén cementek bevezetésének – 76,4 százalékra csökkent. A várható új cementszabvány – a fejlesztéseknek köszönhetően – további klinkertakarékos cementek bevezetését teszi lehetővé, azonban a rendelkezésre álló klinkerhelyettesítők, hidraulikus kiegészítő anyagok (pl. széntüzelésből származó pernye, granulált kohósalak) fenntarthatósága bizonytalan.
- A jövőben a legnagyobb áttörés a **szén-dioxid leválasztással** érhető el, aminek során a technológiai kibocsátásból tiszta CO₂-t leválasztva, a tüzelőanyagok, szén-szálak és vegyi anyagok, de akár új építőanyagok nyersanyagává is válhat.

- Már tesztelik az **új típusú klinkert**, amit kb. 250 °C-al alacsonyabb hőmérsékleten állítanak elő. Ha beválik, a technológiából eredő CO₂ kibocsátás további 30 százalékkal csökken.
- Folynak kísérletek/vizsgálatok a **cementgyártás villamosítására** a szél-, napenergia felhasználásával, mindent kombinálva a CO₂ elkülönítésével, hasznosításával.

7.5. Cementőrlés

A kemencéből kijövő félkész terméket, a klinkert, gyors hűtés után tárolóba/silóba helyezik. A pihentetett klinkert 4-5 százaléki kötőanyagarányúval (gipszkő, REA-gipsz), egyéb adalékkal (granulált kohósalak, pernye, trasz, tiszta mészkő) együtt őrlve készül el a cement.

Az őrlés nagy energiaigényű folyamat, technológiája hatalmasat fejlődött az elmúlt évtizedekben, ami azonban nem állt meg, tovább folyik a jövőbeli aprítási, szemcseméret-eloszlási és osztályozási technológiák fejlesztése.

A cementipar folyamatosan csökkenti a cementek klinkertartalmát az adalékokkal, ezáltal is csökkentve a CO₂-kibocsátást. A mai cementszabvány 27 cementtípust különböztet meg, amiből 26 cementtípus klinkertartalma 20-94 százalék közötti. A folyamatos fejlesztések lehetővé tették, hogy – a beépítési tulajdonság, minőség megtartása mellett – újabb klinkertakarékos cementek jelenhessenek meg, ezzel is csökkentve a CO₂-kibocsátást, a természeti erőforrások felhasználását.

A silókban levő, különböző minőségű (52,5; 42,5; 32,5) és összetételű cementek néhány napos pihentetés után már szállíthatók.

7.6. Cement – innovatív kötőanyag fejlesztés

Azokban a régiókban, ahol különböző nyersanyagok állnak rendelkezésre (pl. égetett/kalcinált agyag, vas, bauxit) a portland-klinker helyett, újszerű alapanyagú alacsonyabb szén-dioxid-kibocsátású kötőanyag is ésszerű megoldás lehet. Mivel a beton szilárdságát, tartósságát, biztonságát a klinker-alapú cement biztosítja, a cementiparban folyamatos a nyersanyagkutatás az alacsonyabb CO₂-kibocsátással előállított cementek irányába. Ígéretes kísérletek folynak újabb cementtípusok előállítására, aminek során kevesebb mészkő, klinker kerül felhasználásra alacsonyabb égetési hőmérséklet, őrlési energiaigény mellett, mellyel további közel 30 százalékkal alacsonyabb CO₂-kibocsátással járó cementgyártási technológia valósítható meg.

7.7. Transzportbeton gyártás

A betontechnológia az elmúlt évtizedekben sokat fejlődött. A szilárdságra való tervezés mellett napjainkban a különféle környezeti hatásokra való tervezés egyre nagyobb hangsúlyt kap. A betonokat ezeknek a környezeti hatásoknak ellenállóvá tervezik, így a várható használati élettartamuk jelentősen megnő, ezzel is csökkentve a környezetterhelést.

A mai korszerű betonok számítógép vezérelt transzportüzemekben állíthatók elő, ahol a minőség mellett a szigorú technológia is garantálni tudja az optimális alkotórészek adagolását, a tervezett betonkeverék előállítását. A mai korszerű betonok adalékanyagból, kötőanyagból, keverővízből, adalékszerekből és kiegészítő anyagokból állnak. Az adalékanyag – a tervezett betonnal szembeni előírásoktól függően – különböző arányban bontott és előkészített betonnal (folynak kísérletek egyéb – pl. üveg, téglabontott anyagok újrahasznosítására is) kiváltható, csökkentve a bányászott nyersanyagok mennyiségét. A beton kötőanyaga a klinker-cement, amely a beton karbon-lábnymára jelentős hatással van. A karbon-lábnym tovább csökkenthető a különböző cementtípusok hatékonyabb használatával, a cementtartalom kiegészítő anyaggal (kohósalak, pernye, továbbá fenntartható új típusú kiegészítővel) való helyettesítésével, a keverék optimalizálásával és az adalékanyagok és vízfelhasználás finomhangolásával. Vannak már olyan karbonátos kötőanyagok, amelyek az újrahasznosított adalékanyagot egy szabályozott érlelőkamrában nagyon magas CO₂-kitettséggel érnek el olyan kémiai átalakulást, mely megköti a CO₂-t a betonban. Ellentétben a hagyományos hidraulikus kötőanyagokkal (amelyek vízzel lépnek reakcióba) a karbonátos kötőanyagok a füstgázokból származó CO₂-al teszik ugyanezt, sokkal gyorsabb (mindössze egy nap) kötőidőt eredményezve. Rendelkezésre állnak olyan technológiák, melyek a cementgyártás során 250 kg CO₂-kibocsátást takarítanak meg tonnánként innovatív klinker összetételekkel, és a betonban tartósan tárol egy tonna cementre vetítve további 300 kg CO₂-t. Ez a beton CO₂ lábnyomának 50-60 százalékos csökkenésének felel meg.

A mai fejlett adalékszereknek az elérhető betontulajdonságokon túlmutatóan jelentős szerepük van a beton eltarthatóságban, és olyan mérnöki szerkezetek építését is lehetővé teszik, amelyek azonos betontulajdonságok mellett sokkal karcsúbbak, ezáltal kevesebb természeti erőforrás felhasználást és környezetterhelést jelentenek.

A mai modern transzportbeton előállítási technológiának fontos szerepe van az újrahasznosításban, és további lehetőségeket rejt a beton CO₂ lábnyomának csökkentésében.

7.8. Bedolgozás, betonelemgyártás, építés

Az építési technológiák fejlődésének és a szemléletváltásnak köszönhetően az építési helyszíneken egyre kevesebb hulladék keletkezik, kisebb tömeg kerül beépítésre. Alapozásnál precíz munkagödör kiemeléssel, zsaluzással minimalizálni tudjuk a többletfelhasználást, míg a kivitelezési technológiák betartásával az építési, bontási hulladékot.

Különleges biztonsági követelmények esetén az előregyártás az optimális megoldás, hiszen az előregyártó üzemekben precíz, ellenőrzött technológia valósítható meg. Az időjárás viszontagságainak kitett kivitelezési helyszínen, a különböző környezeti feltételek, egyszerre több szakág egymást „zavaró” tevékenysége mellett ez nehezen biztosítható. A modern előregyártó üzemek olyan technológiákat alkalmaznak melyek az igényekhez igazodva, a további szerelésekhez is előkészített betonelemeket gyártanak 3D tervek alapján. Ilyen amikor egy szerkezet úgy kerül kialakításra, hogy akár egy lámpatest helye előre ki van alakítva és nem a helyszínen kell kivésni, ezáltal is felesleges hulladékot képezve. Mindezekon túlmenően előregyártott elemek használatával a kivitelezési idő is rövidebb, ezáltal a kivitelezési folyamat is kisebb környezetterheléssel jár.

A 3D nyomtatás kivitelezésben való megjelenése a jövő új kihívása. Térnyerését a munkaerőhiány is indokolja, de igazi előnye a rugalmasságából és a hulladékmentes kivitelezés megvalósíthatóságából adódik. A technológia már ma is rendelkezésre áll, léteznek olyan 3D nyomtató robotok melyek a memóriájukban tárolt 3D tervek alapján csupán emberi felügyelettel képesek konkrét szerkezetek kivitelezésére, melyhez természetesen a felhasznált anyag is a beton innováció révén áll rendelkezésre. Ne csak egy egyszerű határoló falra gondoljunk, hanem olyan szerkezetekre, melyekben a rugalmas formai megoldások mellett előre ki vannak képezve a villamosság, gépészet és egyéb elemek helye, nincs szükség azok utólagos bevésésére. Így időt is nyerünk, pontosabb szerkezeti megoldások születhetnek szinte hulladékmentesen.

7.9. Karbantartás, javítás

Jól tervezett, kivitelezett és megfelelően utókezelt (biztosítjuk a beton kémiai hidratációjának zavartalanságát), a tervezett környezeti hatásoknak kitett beton szerkezet karbantartási igénye minimális. A betonszerkezet akkor tartós, ha az erőtani, alakváltozási igénybevételeket és környezeti hatásokat a tervezett használati élettartam alatt károsodás nélkül viseli. Ennek érdekében a szabvány az egyes környezeti hatásokkal összhangban ún. környezeti osztályokat vezetett be, és az egyes környezeti osztályoknak megfelelő követelményekre ad ajánlást. A beton karbantartásakor elsősorban a felületi és csatlakozó (pl. dilatációs hézagok kitöltő anyaga) szerkezetek rendszeres ellenőrzését, karbantartását kell elvégezni a minél hosszabb élettartam elérése érdekében. A betonszerkezetben előfordulhatnak – külső és belső hatások következtében – olyan károsodások, melyek a beton javítását teszik szükségessé. Ma már a beton karbantartására és javítására – a kivitelezés során a megelőzésre – rendelkezésre állnak azok az anyagok, technológiák mellyel a beton tervezett élettartama biztosítható, meghosszabbítható.

7.10. Felújítás

A beton nagyon tartós építőanyag, ennek ellenére az élettartama során a különböző fizikai/kémiai behatások következtében sérülhet a felülete, károsodhat a szerkezete. A felületi felújításra ma már számos anyag és technológia közül választhatunk, a felületet felcsiszolhatjuk, impregnálhatjuk, de akár új mintázattal is elláthatjuk. A legproblémásabb, amikor a vasbeton szerkezet sérül, és ez olyan mértékű, hogy a betonacélok kilátszanak. A szerkezetet – amennyiben statikailag nem indokolt – ebben az esetben sem szükséges visszabontani, a károsodást felújítással orvosolhatjuk. A betonacél korróziógátló tapadó bevonatot kap, majd a betontakarás speciális habarccsal biztosítható, de olyan pl. pillér esetében akár köpenybetonozást is alkalmazhatunk, mellyel a tartószerkezet teherbírását is visszaállíthatjuk, növelhetjük.

A beton hosszú élettartamának köszönhetően előállhat olyan helyzet is, amelyben új funkciót kap a szerkezet, építmény. Erre is láttunk már számos példát, pl. beton víztározó lakássá alakítását, de akár egy beton cementsiló felújítást követő lakáscélú felhasználását is.

7.11. Bontás, újrafelhasználás

Ahogy a pécsi magasház bontásánál a gyakorlatban is láttuk, a bontott beton – megfelelő előkészítéssel – újrahasznosítása egyre mindennapibbá válik. A lineáris gazdasági modellben úgy gondolkodtunk, hogy természetkárosítás nélkül elhelyezhetjük lerakókban, használhatjuk feltöltéshez, útalapként pedig jelentős része újrahasznosítható. A funkcióját veszített, bontásra ítélt betonépületek egyre nagyobb mennyiségben fogják „kitermelni” a bontott betont, így egyre nagyobb mennyiségben fog rendelkezésre állni, párhuzamosan a természetes adalékanyagok felhasználásának csökkentési kényszerével, így adja magát az igény, hogy a beton újrafelhasználásra kerüljön. Ma még nagyon az elején járunk, a beton adalékanyagként való újrahasznosítása jellemzően néhány százalékra tehető. Napjainkra a tört beton adalékanyagként történő újrahasznosításának műszaki akadályai nincsenek, rendelkezünk kellő tapasztalattal.

Az MSZ 4798:2016 beton szabványunk kezeli a frissbetonból mosással visszanyert, illetve az építési folyamatban fel nem használt, megszilárdult beton kérdését is. Az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 Kőanyag-halmazok (adalékanyagok) betonhoz szabvány pedig a bontásból származó újrahasznosított durva kőanyag-halmaz alkotóiként a betonon kívül olyan bontási anyagok újrafelhasználására ad lehetőséget, mint pl. az üveg, vagy akár a bitumen. De az Ütügyi Műszaki Előírások is támogatják az újrafelhasználást. Téves az a nézet, amely szerint az újrahasznosított adalékanyagból készült beton rosszabb jellemzőkkel bír, mint a szokványos adalékanyagú beton. Kísérletek igazolják, hogy megfelelő körültekintéssel, rendszeres alapanyag-vizsgálatokkal és precíz összetétel tervezéssel a szokványos adalékanyaggal készült betonnal megegyező, vagy még kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkező betont lehet gyártani. Már ma is létező, működő technológia pl. az ökobeton, amiben újrahasznosított, előkészített és mosott adalékanyagokat használnak a bányászott kavics és homok helyett.

7.12. Beton szerepe az épített környezetben

Európában a szén-dioxid kibocsátás 36 százalékát az épületek, további 40 százalékát az energiafogyasztás teszik ki, ezért az infrastruktúra és az épületek teljes életciklusának vizsgálata elengedhetetlen a kibocsátás-csökkentés ösztönzése érdekében. Valójában a cement és a beton CO₂-t nyel el az élettartama során, így kiemelt szerepe van.

A CO₂ csökkentés elérésére már ma is rendelkezésre álló eszközök (pl. közel nulla energiaigényű épületek, energetikai felújítás, épületmenedzsment, alacsony szén-dioxid-kibocsátású energia előállítás) mindegyikében a cement és a beton játszik jelentős szerepet.

Épület fűtés/hűtés

A hagyományos épületek energiafogyasztása évente 150-200 kWh/m², míg egy korszerű beton épületé kevesebb, mint 50 kWh/m² a termikus tömegáramlásnak, a tartós légtömorségének és egyéb megoldásoknak köszönhetően. A megújuló energiaforrásokra való áttéréssel és hatékonyságnöveléssel a beton kínálja a legjobb megoldást az alacsony CO₂-kibocsátású energia előnyeinek a kihasználására. Ennek oka, hogy a beton az épületek termikus tömegáramlásában az energia tárolására is alkalmas, miközben rugalmasan alkalmazkodik a változó megújuló energiaforrások igényeihez.

A beton kiváló hőtároló képessége kihasználható a naperőművek által megtermelt hőenergia tárolására, és az épületek fűtő-hűtő rendszerének „puffereként” is. A beton jó hőtároló képességét elsősorban viszonylag nagy tömege biztosítja, lényegében ugyanúgy működik, mint az évszázadokkal ezelőtt épült várak és templomok vastag kőfalai. Épületeinknél a fűtő-hűtő rendszer csővezeték hálózata a betonelemek (padló, mennyezet, falak) „magjában” fut, kellemes, huzatmentes és egyenletes hőeloszlású klímát biztosít. Az egész rendszer a szobahőmérséklet körüli szűk hőmérséklettartományban üzemel (belső tér ±5 °C), a hőtárolást és leadást a betonelemek hatalmas hőcserélő felülete biztosítja. Egy optimalizált rendszerrel alacsonyan tarthatók a bekerülési és az üzemeltetési költségek.

Tartósság

Az épületszerkezeteket és műtárgyakat legalább ötven évre tervezik, de komolyabb műtárgyaknál (pl. hidak, alagutak, völgyzáró gátak) ez több száz év is lehet. Természetesen a tervezett használati élettartama végén sem dől össze, de életciklusa alatt – mint minden mesterséges anyag – karbantartást igényel, ami összehasonlítva más építőanyagokkal, minimális. Vegyük pl. a betonutat, melyen 20 évig csak állagmegóvó fenntartásra van szükség. A hosszabb élettartam következtében a betonutak a közlekedési forgalmat is segítik, hiszen alkalmazásuk esetén kevesebb útlezárásra, terelésre van szükség. Amikor a meglévő épületek felújításáról van szó, a beton – tartósságának köszönhetően – több felújítási cikluson is áteshet, amíg újjá kell építeni. A betonból épült épületállomány energetikai korszerűsítéssel együtt járó megújítása sok esetben kedvezőbb gazdasági, energiahatékonysági és társadalmi szempontból is.

Okos beton

A mai modern épületmenedzsment eszközök a környezeti paraméterek között figyelembe veszik a felhasználók viselkedését is, így a termikusan aktivált betonra épült fűtési és hűtési vezérlések kommunikálnak az intelligens villamos-energia hálózatokkal, kihasználva a megújuló energiák adta lehetőségeket.

Beton a megújuló energiatermelésben és az alacsony CO₂-kibocsátású közlekedésben

A beton teljes életciklusát végigkísérő CO₂-kibocsátás csökkentő hatása jelentős az infrastrukturális felhasználás esetén is, köszönhetően tartósságának és ellenálló képességének. A betonhidak és az alagutak csökkentik a járművek kibocsátását, miközben a megújuló energia infrastruktúrában sok CO₂-csökkentő beruházás (pl. gátak, szélenergia) beton nélkül elképzelhetetlen.

Innovatív beton megoldások

Az építőipar szén-semlegessé válásában a technológiáknak és innovációknak fontos szerepe van, ezért a cement- és betonágazat folytatja hagyományosan innovatív stratégiáját az életciklusra vetített CO₂-csökkentés érdekében. A cél eléréséhez azonban a cement- és betonágazat erőfeszítése nem elég, ki kell egészíteni az építőiparra kiterjedő, illetve az építőiparon túlmutató egyéb innovációs elemekkel, mint pl:

- A digitalizált ipari gyártásnak és a 3D nyomtatásnak köszönhető fokozott pontosság, a teljes értéklánc optimalizálása csökkenti a CO₂-kibocsátást.
- Az épületek tervezésében az építészeknek is tovább kell lépniük a kivitelezés nagyobb modularitásának érdekében. Az épületek hosszú élettartamuk alatt funkcióváltáson eshetnek át, ezért az épületelemeknek modulárisra, újra felhasználhatóvá kell válniuk olyan megoldásokkal, amelyek csökkentik a szükséges anyag mennyiségét és a hulladékot, egyben növelve az anyag hatékonyságát. Erre a célra a legmegfelelőbb anyag a beton.
- A beton hatékonyan alkalmazható a megújuló energiacsúcsok következtében keletkezett feleslegek tárolására, lehetővé téve az épületek egész éves fűtését további költségek nélkül.
- Előregyártott betonelemek újrafelhasználása több mint 30 százalékkal csökkenti a költségeket az épület széndioxid lábnyomának jelentős csökkenését eredményezve.

7.13. Karbonátosodás

Kevésbé ismert tény a megszilárdult cementtel kapcsolatban, hogy betonban vagy cementkőben a teljes életciklusa alatt CO₂-t nyel el. Ez egy természetes folyamat, ami javítja a beton szilárdságát a pórusszerkezet szűkülésével. Az épített szerkezet életciklusa alatt ez az elnyelő képesség a mai technológiákkal előállított cement CO₂-kibocsátásának 25 százalékát is elérheti. A jelenlegi üvegházhatású gázok kibocsátási rendszerében ez nincs figyelembe véve, holott jelentős mennyiségről beszélünk.

Az életciklus alatti szén-dioxid megkötése a levegőnek kitett betonfelületeken természetes folyamat. A vasbeton szerkezeteket (a betonvas korróziójának elkerülése érdekében) úgy tervezik, hogy a szerkezet élettartama alatt ez a folyamat lassan történjen meg, majd bontás után gyorsabban. Az épületelemek és a bontási hulladékok újrahasznosításának optimalizálásával a karbonátosodási folyamatból eredő CO₂ megkötés maximalizálható.

7.14. Beton összefoglaló értékelése

A beton kulcsszerepet játszik a jelen és a jövő építésében, köszönhetően a mögötte álló tapasztalatoknak, innovációnak, és kiváló tulajdonságainak. Ellenérveket is megfogalmaznak vele szemben, ami óhatatlan egy ekkora mennyiségben használt anyagnál. Kulcsszerepe az építésben, a szén-semleges jövő megteremtésében vitathatatlan. Legyen szó akár a szélturbinák alapjairól, víz- vagy árapály-energetikai projektekről, energiahatékony épületekről, közlekedési infrastruktúráról, az éghajlatváltozáshoz történő alkalmazkodásról a beton rugalmas alkalmazhatóságával, tartósságával nélkülözhetetlen az építési értékláncban.

A betonnak már ma is elképesztő fenntarthatósági előnyei vannak, és az iparág keményen dolgozik azon, hogy a körforgásos gazdaságban is kulcsszerepet játsszon. A népesség globális növekedése, terjeszkedő városok is azt eredményezik, hogy a beton – mint helyi forrásból származó építőanyag – segítségével házakat építünk, és ezt a mai fenntartható szemléleten túlmutatóan a körforgásos gazdaság elve szerint tesszük, egy iparágakon és határokon átnyúló, globális rendszerben. Mindezen előnyök azt vetítik előre, hogy a betonnak fontos küldetése van a körforgásos gazdasági jövő kialakításában, melynek egyes elemei már ma is megvalósíthatók, például:

- **tervezhető újrafelhasználás:** könnyű, szétszerelésre alkalmas betonelemből készült épületek – részleges vagy teljes bontása utáni – betonelemeiből értékteremtő újrahasznosítás is megvalósulhat.
- **tartósság:** beton épületek életciklusa hosszabb, hiszen magasabb élettartamuk, kisebb karbantartási igényük, természeti hatásokkal szembeni magasabb ellenálló-képességük, és életciklusuk során többszöri újrafelhasználásuk következtében kevesebb a bontási és újjáépítési munka, miközben a bontott anyag kezelés után újrahasznosítható.

- **tűzállóság:** javítja a lakosok és a tűzoltók biztonságát, miközben minimalizálja a károkat, így az épület gyorsabban visszatérhet az eredeti funkcióihoz.
- **egészséges épületek:** a beton természetes összetevőiből adódóan olyan tulajdonságokkal rendelkezik (hangszigetelés, nem forrása illékony szerves vegyületeknek, sugárzás ellen is véd, stb.), amelyek egészségesebb életteret teremtenek.
- **fűtőelem:** 2D anyagokkal (pl. grafén) kombinálva bel- és kültéri fűtési panelek is előállíthatók.
- **passzív hűtés:** hőelnyelő és -tároló képessége következtében az épületek passzív hűtését is lehetővé teszi, csökkentve a túlmelegedést, hűtési igényt.
- **felület:** a mai technológiákkal olyan – akár színes, mintás – felületek is létrehozhatók, melyeket nem kell további burkolatokkal ellátni, ezáltal csökken az anyagfelhasználás, karbantartási igény.
- **környezeti terhelés csökkentése:** a cementgyártás hulladék együttégető kapacitásának kihasználásával nagymértékben csökken a foszilis tüzelőanyag igény, a hulladék szervesetlen anyag tartalma pedig beépül a klinkerbe, így csökken a bányászott nyersanyagigény, miközben a hulladék együttégetés nem jár többlet környezeti terheléssel, ellentétben a hulladékégetőkkel.
- **betontechnológia fejlődése:** a mai korszerű betonból karcsúbb szerkezetek épülhetnek, ezáltal is csökken az anyagszükséglet.

Azt is ki kell emelnünk, hogy a beton életciklusára vetítve alacsonyabb CO₂ kibocsátást építünk be, mint a legtöbb más építőanyaggal, például a fával (különösen a ragasztott, rétegelt fa), acéllal szemben. Sokoldalú, rugalmas alkalmazása, biztonságossága és tartóssága egyértelműen a beton versenyelőnyét támasztja alá, miközben az életciklusa végén 100 százalékban újrahasznosítható.

Az előzőekben már bemutattuk, hogy a cement és beton ágazatban már végbement és a jövőben várható fejlesztések következtében képes eljutni egy szén-semleges jövő megvalósítása irányába, amihez azonban a saját erőfeszítések mellett az iparágakon átívelő innovációra is szükség lesz. Az ágazat valós kísérleti projektekkel törekszik erre, mint pl.:

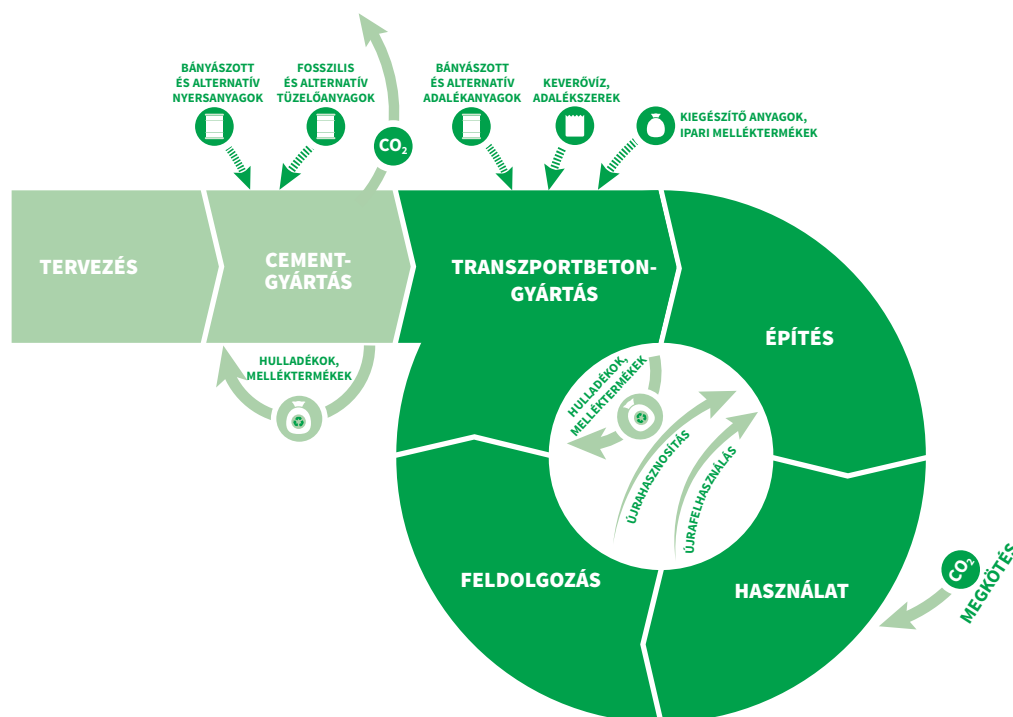
- CO₂ leválasztási technológiák,
- oxigénüzem projekt (CO₂ gázkibocsátás dúsítása),
- új, nem hidraulikus kötőanyag fejlesztése,
- kevesebb mészke és agyag felhasználásával, alacsonyabb hőmérsékleten égetett klinker,
- innovatív cementgyártási folyamat,
- alacsony CO₂ kötőanyagokon alapuló szigetelő betonrendszerek,
- olyan oxigénteknológia fejlesztése, amely tiszta oxigént használ fel a magas CO₂ koncentrációjú füstgázzal kombinálva a recirkuláció során,
- a cementgyártás során keletkezett CO₂ megkötése növényzeten, tárolóhelyre szállítása vagy újrafelhasználása.



8. A BETONIPAR ÉS A SZABÁLYOZÁS ELŐTT ÁLLÓ FELADATOK

Beton körforgásos gazdasági modell

A cement- és betoniparban, mint innovatív iparágban az elmúlt évtizedek folyamatos fejlesztéseinek köszönhetően a fenntarthatóság, a körforgásos gazdasági modell irányába ható rengeteg fejlesztés valósult meg vagy van folyamatban, illetve áll kísérleti fejlesztés alatt. Ennélfogva – mint a víz után a második leggyakrabban használt anyag a Földön – az iparág nélkül a körforgásos gazdaság megvalósítása elképzelhetetlen. A cement- és betonipar körforgásos gazdasági modellben betöltött szerepe jól meghatározható a termék életciklusának körforgásos gazdasági modellben való leírásával:



A cél annak elérése, hogy az előállítás további kezelést igénylő hulladékoktól mentes legyen (ma már megvalósítható), minimális bányászott természeti erőforrás felhasználásával szénsemlegessé váljon (jelen és a jövő kihívása), életciklusa minél hosszabb és a végén 100 százalékban újrahasznosítható legyen (műszakilag megoldható). A beton előállításakor számos alternatív nyers-, tüzelő- és kiegészítő anyagot képes felvenni más iparágak melléktermékeiből, ipari és lakossági hulladékokból. A cementgyártás CO₂ kibocsátása környezeti terheléssel jár, ugyanakkor a beton teljes élettartama alatt jelentős CO₂-t képes megkötni. A jövő kihívása, hogy az életciklusra vetített CO₂ kibocsátás mínusz hasznosítás és megkötés egyenlege csökkenjen, megforduljon (élettartama alatt több CO₂-t kössön meg a beton, illetve hasznosítsunk, mint amennyi az előállítása során keletkezik).

A cement- és betonipar erőfeszítései, iparágakon átívelő megoldásai (melyekre már ma is számos példát látunk kétoldali kapcsolatok formájában) önmagukban nem elegendők a körforgásos gazdaság megteremtéséhez. Ehhez a politikai akarat mellett elengedhetetlen egy jól működő szabályozási rendszer kialakítása, mely biztosítja a körforgásos gazdaság iparágakon és területeken/országhatárokon átívelő hatékonyan működő rendszerét.

A cement- és betonipart a körforgásos gazdaság modellbe illesztő szabályozás

- a. **Hulladék együttégetés (co-processing):** A fosszilis tüzelőanyagok káros környezeti hatása egyre fontosabbá teszi az alternatív tüzelő- és nyersanyaghasználat térnyerését. A gyárak jelentős fejlesztésekkel a cementgyártási technológiát alkalmazhatóvá tették erre. A megfelelő minőségű, előkészített hulladék égetése a cementgyártási technológiában olyan megoldás, amely tüzelő- és nyersanyag megtakarítással is jár, miközben a termék minőségét nem befolyásolja, nem jár többlet környezetterheléssel. Az alternatív nyers- és tüzelőanyagok folyamatba illesztése megoldást jelenthet az ipari és lakossági hulladék-elhelyezési gondokra is. Ehhez azonban szükséges a cementipar hulladékgazdálkodási hierarchiához illeszkedése az energia-visszanyerés és az ásványianyag-újrahasznosítás egyidejű kombinációjára vonatkozóan. A cementipar szezonális igénye ellentétes a hőerőművekével, így a két iparág képes – megfelelő koordináció mellett – egész évben a hulladék befogadására. Az újrahasznosításra vonatkozó célkitűzések eléréséhez fel kell becsléni az együttégetésre szánt újrahasznosítható települési szilárd hulladékok arányát és egyenletes versenyfeltételeket kell biztosítani a biomassa-hulladék felhasználásával szemben. Megfelelő eljárásokat kell kidolgozni a minőség-ellenőrzés céljából az anyag elfogadhatósága, nyomon-követhetősége, valamint hatásvizsgálata tekintetében.
- b. **Alacsony CO₂-kibocsátással járó innovatív technológiák és alkalmazásának támogatása.**
- c. **A beruházási biztonság és a megfelelő gazdasági keretek** előfeltételei az alacsony CO₂-kibocsátású innovatív technológiák Európai Unió belüli alkalmazásának, ezért hosszú távon biztosítani kell a szénszivárgás (a nagy energiaigényű iparágak áttelepítése olyan országokba, ahol kevésbé szigorú kibocsátási határértékek érvényesülnek) megakadályozását.
- d. **CO₂-leválasztás** és –tárolás, valamint újrafelhasználás támogatása, az iparággal együttműködve nemzetközi szabályozási keretek kidolgozása, szakmai képzések és a társadalmi elfogadottság kialakítása érdekében a lakosság és az érdekelt felek tájékoztatása.
- e. **A CO₂ szállítóhálózatokhoz** és a biztonságos tárolók kialakításához szükséges optimális infrastruktúrafejlesztéseket regionális, nemzeti és nemzetközi szinten össze kell hangolni pl. az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye, a biztonságos telephely kiválasztás megközelítéseinek harmonizálása, a CO₂ állandó tárolásának üzemeltetése, karbantartása és ellenőrzése területeken.
- f. **A klinker hatékony felhasználásának és a cement/klinker arány csökkentésének a támogatása.**
- g. Az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change - Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) deklarálta a karbonátosodás jelenségét, az országoknak megfelelő globális módszertant kell alkalmazniuk a **szén-dioxid-megkötés elszámolására** az összes előállított cement átlagos nettó kibocsátásának kiszámításához.
- h. **Az Európai Szabványügyi Bizottság (CEN) munkájának támogatása** a cementre és betonra (illetve azok nyers-, alkotó- és kiegészítő anyagaira) vonatkozó harmonizált szabványok kidolgozásában, melyek lehetővé teszik az újszerű cementek széleskörű használatát, miközben biztosítja a termék megbízhatóságát, biztonságát és tartósságát.
- i. Összhangban az Építési Termék Rendelettel a fenntarthatósági szabványokat és rendeleteket felül kell vizsgálni, és **előtérbe kell helyezni a szénsemleges anyagokat**, illetve az építmény (nem egyes alkotói) teljes életciklusára vonatkozó megközelítést. Az épített környezet a teljes életciklusa alatt érje el a szén-semlegességet.
- j. Használja ki a strukturális termikus hőáramlás előnyeit, **integrált, okos és szénmentesített energiahálózat, valamint épületállomány tervezésekor.**
- k. **A nyersanyagokhoz való hozzáférés** megkönnyítése, illetve a **hulladék és a melléktermékek újrahasznosításának ösztönzése.**

- l. Az **építési anyagok nyomon-követhetőségi rendszerének kiépítése** a teljes értékláncban.
- m. A technikailag megfelelő **alacsony klinkertartalmú cementek előtérbe helyezése** közbeszerzéseknél, nagyberuházásoknál.
- n. A cement és beton karbon-lábnyomának fókuszba helyezése helyett az **életciklus megközelítés alkalmazása a körforgásos gazdasági modellben**.
- o. A **tiszta energia beruházások** támogatása, rugalmasság biztosítása a helyi energiahálózatok számára.
- p. Kiemelten fontos az értéklánc minden területén az építésszek, mérnökök és vállalkozók **képzése** a cement és beton hatékony alkalmazására.
- q. Az épületek energiafelhasználásának csökkentését az **energiahatékonyságról szóló irányelv** (EPBD) végrehajtásán keresztül nemzeti szinten már a tervezési fázisban folytatni kell, beleértve a termikus hőáramlás energiahatékonyság előnyeit, integrált, okos és szénmentesített energiahálózatot.

A körforgásos gazdaság hatékonyan működő rendszerének kialakítása – az iparág erőfeszítésein túlmenően – elképzelhetetlen:

- *a cementipar hulladékgazdálkodási hierarchiához illeszkedése,*
- *a CO₂-leválasztás, tárolás, szállítás és újrafelhasználás megvalósítása,*
- *az építési anyagok nyomon-követhetőségi rendszerének kiépítése,*
- *az innovatív technológiákat és anyagokat támogató szabványosítás,*
- *versenyképes szabályozási környezet nélkül.*



9. ÚT A JÖVŐBE

Szaklapunk mottója: „Beton – tőlünk függ, mit alkotunk belőle.” Előállítás és a belőle készült szerkezetek, infrastruktúrák hatalmas technológiai fejlődésen mentek és mennek keresztül. A cement- és betonipar a technológiai fejlesztések mellett a kiszolgáló egységek energetikai korszerűsítését is kiemelten kezeli, a szabályozás előtt járva teljesíti az egyre szigorúbb követelményeket. A betonra hosszú ideig csak az alapozás, tartószerkezet, a szemlélő számára eldugott, burkolt anyagként tekintettünk, de ma már az építészek is előszeretettel alkalmazzák látvány épületelemként is. Az ipar 4.0 is jelen van az iparágban, Dubaiban már arra is láttunk példát, hogy a betonba kevert chippek által szolgáltatott adatok feldolgozásával követték a betonban lejátszódó folyamatokat. De vehetjük a 3D nyomtatást is, mely néhány éve még labor körülmények között, kisebb tárgyak előállítását jelentette, aztán elkezdünk nagyobb elemeket nyomtatni és a helyszínen összeszerelni, majd egyszerűbb egyszintes épületeket előállítani. Westerloban (Belgium) elkészült 3D nyomtatással az első kétszintes ház, mely nyolc méter magas és alapterülete 90 m². A teljes épület egyben került kinyomtatásra a helyszínen, nem igényelt zsaluzást, az anyag, idő és költség kb. 60 százalékát megtakarítva a hagyományos építéshez képest. Az egész ház akár két nap alatt kinyomtatható, a teljes kivitelezési idő mindössze három hét. A technológia lehetővé tette a hőhidak kiküszöbölését, egy alacsony energiaszükségletű ház került kialakításra, mely a mai modern technológiákat foglalja magába, beleértve a padló és mennyezet hűtést/fűtést, a speciális napelemeket és a hőszivattyút, valamint a zöld tetőt.

Ahogy az előzőekben bemutatottak a cement- és betonipar K+F tevékenységének eredményeként a beton körforgásos gazdasági modellbe illeszkedése realitás, teljes mértékben újrahasznosítható építőanyag, miközben számos ipari és lakossági hulladékot, mellékterméket képes hasznosítani a gyártás során. Az iparágban a karbonsemleges jövő sem fog múlni, láttuk azokat a fejlesztéseket, mellyel a CO₂ egyenleg (kibocsátás – elnyelés) javítható, de az iparágon kívül a CO₂ hasznosítás K+F eredményei is biztatóak. Ehhez szükség lesz a CO₂ technológiai leválasztására, a jelenlegi földgáz és kőolaj vezetékek alkalmazására a szállítására, mert a hasznosításra más iparágokban van/lesz lehetőség.

A körforgásos gazdaság iparágakon, országhatárokon átívelő modell, önmagában egy iparág és a kapcsolódó szabályozás nem elegendő, sok még a teendő a körforgásos gazdasági környezet szabályozása és kialakítása területén, pl.:

- A szelektív bontás és a keletkezési helyen történő szétválogatás előmozdítása.
- Az uniós iránymutatások (bontás előtti felmérés, hulladékkezelési protokoll) használata.
- Gazdasági eszközök igénybevétele a hulladékáramok hulladéklerakástól történő elterelése érdekében.
- A feltöltési műveletek korlátozása a hulladékokról szóló keretirányelv definíciójával összhangban lévő műveletekre.
- Az újrahasznosított anyagból készült termékek felhasználásának ösztönzése minőségi bizonyítványok és a hulladékstátusz megszűnésére vonatkozó kritériumok alkalmazása révén.
- Az újra feldolgozott anyagokat előíró zöld közbeszerzések gyakorlatának terjesztése.
- Statisztikák minőségének javítása a naprakész kimutatások segítségével.

Körforgásos gazdaság Lehetetlen küldetés, vagy reális jövő?

A cement- és betoniparon nem fog múlni, hogy megvalósuljon

A tanulmányt a Magyar Cement-, Beton- és Mészipari Szövetség (CeMBeton) Elnökségének megbízásából összeállította: Urbán Ferenc.

Források:

Európai Bizottság: Az anyagkörforgás megvalósítása – a körforgásos gazdaságra vonatkozó uniós cselekvési terv

PWC: Ha a kör bezárul – a körforgásos gazdaság jelentősége és lehetőségei

Cembureau: Building carbon neutrality in Europe. Engaging for concrete solutions

Fotók:

CRH (16-17., 27. oldal)

DDC (6., 8., 10., 29. oldal)

Lafarge (14. oldal)

Rácz Attila (18. oldal)

Urbán Ferenc (borító, hátsó borító)

CeMBeton
az építés alapja

 cembeton.hu

beton
érték generációknak



Magyar Cement-, Beton- és Mészipari Szövetség

H-1034 Budapest, Bécsi út 120. | H-1300 Budapest, Pf. 230
tel: +36 (1) 250 1629
cembeton@mcsz.hu

 cembeton.hu



beton.hu