

**Szénlábnyom-elemzés készítése a
faiparban**



**Magyar Mérnöki Kamara
Kiadványsorozata 60.**

Szénlábnyom-elemzés készítése a faiparban

**MMK FAP azonosító:
2020/116-EFAT**

Sopron, 2020. szeptember 28.

A sorozat szerkesztője:
NAGY GYULA
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Erdőmérnöki, Faipari és Agrárműszaki Tagozatának gondozásában, a 2020. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

Szerző:
Dr. Bejó László

Lektorálta:
Dr. Németh Gábor

Kiadó:
Magyar Mérnöki Kamara
1117 Budapest, Szerémi út 4.
info@mmk.hu, www.mmk.hu

TARTALOMJEGYZÉK

1. Vezetői összefoglaló.....	7
2. Bevezetés	8
2.1. Alapfogalmak	8
2.2. A szénlábnym-elemzés hatóköre.....	10
3. A faipar környezetterhelése	13
3.1. A faanyag felhasználásának környezeti hatásai	14
4. Szénlábnym-elemzés a faiparban.....	16
4.1. Az alapanyagok szénlábnyma	17
4.1.1. A faanyag szénlábnyma	17
4.1.2. Egyéb alapanyagok szénlábnyma	20
4.2. Az alapanyagok szállítása.....	21
4.3. Energia előállítás és felhasználás.....	24
4.3.1. A villamos energiafogyasztással összefüggő kibocsátás	24
4.3.2. A fosszilis energiahordozók felhasználásából származó kibocsátás	26
4.3.3. A biomassa energiatermelésből származó kibocsátás.....	27
4.3.4. Az üzemi anyagmozgatásból származó kibocsátások	29
4.4. Hulladékgazdálkodás	29
4.5. Egyéb környezetterhelések figyelembe vétele	31
4.6. Használat, megsemmisítés, újrahasznosítás.....	32
5. Szénlábnym-számítási útmutató	34
5.1. Az üzem bemutatása	34
5.2. Az alapanyagok szénlábnyma	35
5.2.1. A fa- és faalapú anyagok szénlábnyma	35
5.2.2. Kötő- és segédanyagok	40
5.2.3. Az alapanyagok összesített szénlábnyma.....	45
5.3. Energiafelhasználás.....	45
5.3.1. A felhasznált energiahordozók és azok elosztása az üzemegységek között 46	
5.3.2. Az egyes folyamatok energiafelhasználásból eredő kibocsátásai	48
5.3.3. Az egyes termékek gyártásához felhasznált energia szénlábnyma	50
5.4. Egyéb kibocsátások figyelembe vétele.....	51

5.5.	Az egyes termékek összesített szénlábnyoma.....	52
6.	Az eredmények értékelése; megbízhatóság és limitációk.....	57
7.	Köszönetnyilvánítás.....	61
8.	Irodalomjegyzék.....	62

1. Vezetői összefoglaló

E segédlet célja bemutatni a szénlábnym-elemzés módszertanát, és annak alkalmazását faipari cégek és termékek esetében, melyek, az alkalmazott alapanyagnál fogva speciális helyet foglalnak el az ipari folyamatok és termékek között.

A bevezető fejezet általános áttekintést ad az ipari folyamatok környezeti hatásainak értékelésével, és azon belül a szénlábnym elemzéssel kapcsolatban. A szénlábnym elemzéssel kapcsolatos alapfogalmak tárgyalását követően tárgyaljuk a szénlábnym elemzés hatókörét, az elemzett rendszer vertikális és horizontális határait.

A harmadik fejezet tárgyalja a faipar és a fa termékek speciális helyzetét, amely elsősorban a faanyag széntárolóképeségén, és az ebből eredő negatív szénlábnymon alapszik, de hozzájárulnak ehhez a fa egyéb előnyös műszaki és ökológiai tulajdonságai is. A szénlábnym elemzés során a helyes megközelítés, ha a fa negatív szénlábnyma mellett figyelembe vesszük a faanyag meg- és kitermelése, valamint szállítása során keletkező kibocsátásból eredő pozitív szénlábnymot is.

A negyedik fejezet sorra veszi azokat a területeket, amelyeket egy bölcsőtől-kapuig megközelítésű szénlábnym elemzés során értékelni szükséges, nevezetesen:

- Az alapanyagok gyártása vagy kitermelése során keletkező kibocsátások
- Az alapanyagok szállításából származó kibocsátások
- Az üzemben belüli folyamatokkal kapcsolatos kibocsátások
- Az üzemi hulladékok kezelésével kapcsolatos kibocsátások
- Egyéb környezetterhelések

A fenti területek speciálisan a faipari folyamatok és termékek szempontjából kerülnek bemutatásra. Bár az itt bemutatott metodológia bölcsőtől-kapuig elemzések esetében használható, röviden tárgyaljuk a használat, megsemmisítés és újrahasznosítás területeit is.

Az 5. fejezet egy részletes szénlábnym-számítási útmutató, amelyben egy széles termékskálával rendelkező forgácsológyár példáján mutatjuk be a szénlábnym-elemzés módszerét. A fejezetben részletesen tárgyaljuk az egyes területeken jelentkező kihívásokat és az arra adható válaszokat. Az itt használt széndioxid-egyenértékek (CO₂e) kibocsátási értékek egy része közvetlenül alkalmazható az ilyen jellegű elemzésekben.

A 6. fejezetben összegezzük az előző fejezetben bemutatott elemzés eredményeit, értékeljük azok megbízhatóságát, és tárgyaljuk az ilyen jellegű számítások limitációit, kihívásait is.

2. Bevezetés

Napjaink egyik kiemelt jelentőségű kérdése és kihívása az emberi tevékenység környezeti hatásainak a mérséklése, a környezet megóvását célzó megoldások megkeresése, fejlesztése, bevezetése. Kedvezőtlen környezeti hatások gyakorlatilag az emberi tevékenység minden területén jelentkeznek, beleértve a szükségleteink kielégítését, az energiafogyasztást, a közlekedést, a lakhatást, sőt – a jelentős túlnépesedés miatt – pusztán létezésünk hatását is. Mindezekkel a tényezőkkel összefüggenek, és a környezetszennyezés egyik legjelentősebb összetevőjét jelentik az ipari folyamatok, amelyek az emberi létezéshez szükséges különböző fogyasztási cikkek, termékek és szolgáltatások megteremtését célozzák.

Az ipari folyamatok környezeti hatásainak mérséklése szempontjából elengedhetetlenül fontos először is a különböző folyamatok hatásainak a felmérése, minél pontosabb kimutatása, elemzése. Ilyen tanulmányok nélkül nincs lehetőség a különböző opciók vizsgálatára, összevetésére. Fontos, hogy a különböző hatástanulmányok pontosak, elfogulatlanok, és egymással összevethetők legyenek, annak érdekében, hogy döntéseinket tájékoztatottan és felelősségteljesen tudjuk meghozni.

E segédlet célja, hogy bemutassa a környezeti hatástanulmányok készítésének módszerét, a benne rejlő lehetőségeket, nehézségeket, buktatókat és hibaforrásokat. A tanulmány elsősorban a faipari cégek tevékenységére fókuszál, melyek hatása legtöbb elemében nem tér el jelentősen az egyéb ipari tevékenységektől. Az alkalmazott, speciális alapanyag megtermelése és megmunkálása mégis jelentősen befolyásolja az ilyen tevékenység hatását, mint azt a 2. fejezetben részletesen is kifejtjük. A számítási eljárások általános 3. fejezetben található bemutatásán túlmenően, a 4. fejezetben egy számítási példán keresztül konkrétan ismertetjük egy faipari cég tevékenységének szénlábnyom elemzését, ami alapján elsajátítható az ilyen elemzések készítéséhez szükséges lépések.

2.1. Alapfogalmak

E segédlet az ipari folyamatok szénlábnyomának meghatározásával foglalkozik. Emiatt először is fontos tisztázni, hogy mit is értünk pontosan szénlábnyom alatt.

Szénlábnyom alatt az emberi tevékenység eredményeképpen kibocsátott üvegházhatású gázok mennyiségét értjük, széndioxid mennyiségben kifejezve. *(A szénlábnyom eredetileg az ökolábnyom számítás egyik összetevőjeként a fosszilis erőforrások elégetéséből, a földhasználat-változásból és kémiai folyamatokból keletkező CO₂ elnyeléséhez szükséges erdőterület hektárban kifejezett méretét*

jelentette, azonban ma már gyakrabban használják átvitt értelemben, egyenértékű CO₂ kibocsátásként – ebben a segédletben is ezt az értelmezést használjuk.)

Nem csak a tevékenység során közvetlenül keletkező CO₂ kibocsátást értjük ez alatt, hanem a tevékenység, vagy a termék életciklusának egyes szakaszai alatt közvetlenül vagy közvetetten keletkező összes kibocsátást. [1] Míg a széndioxid a legjelentősebb, emberi tevékenységből származó üvegházhatású gáz, természetesen más üvegházhatású gázok kibocsátásával is számolni kell. Az összehasonlíthatóság érdekében ezeket át kell váltani egyenértékű CO₂ kibocsátásra.

A **széndioxid egyenérték**, vagy CO₂ ekvivalens (CO₂e) olyan mértékegység, amellyel összehasonlíthatóvá tehető a különböző üvegházhatású gázok klímaváltozást okozó hatása. A gyakorlatban a különböző gázok mennyiségét átváltjuk arra a CO₂ mennyiségre, amely ugyanolyan mértékű klímaváltozási hatás előidézésére képes.

A számítások során nem csupán a saját tevékenységünk helyben jelentkező hatásait kell figyelembe venni. A különböző felhasznált erőforrások hatását az ún. kibocsátási tényező segítségével jellemezzük. A kibocsátási tényező hivatalos definíciója „üvegházhatású gáz átlagos kibocsátása a forrásanyag tevékenységére vonatkozó adatokhoz képest, az égetés során teljes oxidációt, más vegyi reakciók esetében pedig teljes átalakulást feltételezve.” Kicsit érthetőbben fogalmazva: a kibocsátási tényező egységnyi mennyiségű erőforrás (pl. 1 kg. alapanyag, vagy 1 Joule elektromos energia, stb.) előállítása során keletkező összes kibocsátást jelenti, széndioxid egyenértékben kifejezve (kgCO₂e/kg, vagy kgCO₂e/J, stb.) Amennyiben ebben a formában értelmezhető, az általunk előállított termék esetében is legjobb ilyen, egységre vetített kibocsátási értékeket meghatározni (pl. kgCO₂e / m³ fűrészáru, vagy m² furnér.)

Az ipari folyamatok szénlábnyomának egyik nagyon jelentős összetevője az energiahordozókkal kapcsolatos kibocsátás. Bármilyen energiahordozót használunk is (pl. elektromos energiát a berendezéseink működtetéséhez, biomasszát a fűtéshez, vagy fosszilis energiát az anyagmozgató berendezésekhez), azok megtermelése szintén CO₂ kibocsátással jár, amit figyelembe kell venni a szénlábnyom számításakor. Ennek figyelembe vételére szolgál az ún. **primer energia**. Ennek lényege, hogy a nem megújuló energiák esetén nem csupán a közvetlenül szükséges energiahordozókat (az ún. szekunder energiahordozót) vesszük figyelembe, hanem az annak előállításához, átalakításához és szállításához felhasznált energiahordozókat (és az ezekkel kapcsolatos kibocsátásokat) is; így a valós energiafelhasználás nagyobb, mint a gyártás során közvetlenül jelentkező energiafelhasználás [2]. (Az egyes energiahordozók kibocsátási tényezői ideális esetben primer energia alapon kerülnek meghatározásra, így ezeket később már nem kell korrigálni.)

2.2. A szénlábnyom-elemzés hatóköre

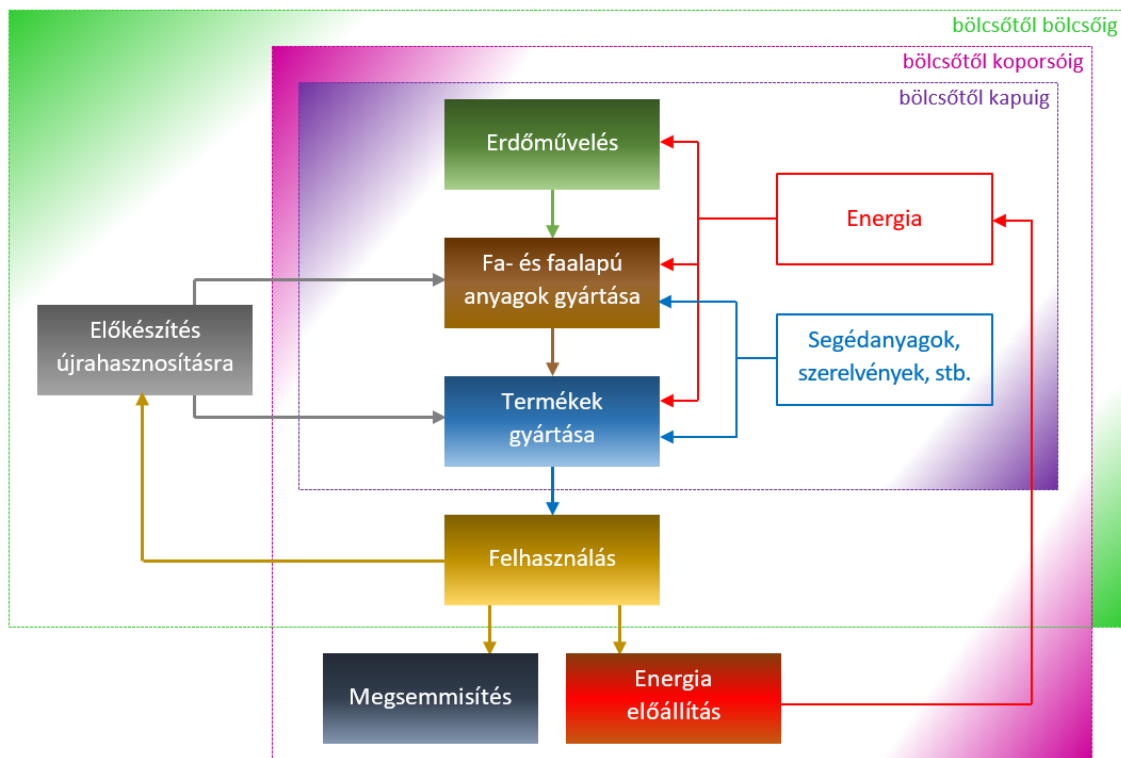
Szénlábnyom-elemzés készítése során fontos kérdés, hogy hol húzzuk meg az elemezni kívánt rendszer határait. Ha pl. egy termék környezeti hatásairól gondolkodunk, kérdés, hogy csak a termék gyártását vesszük-e figyelembe, vagy a felhasználása során jelentkező kibocsátásokat is (pl. karbantartáskor, megsemmisítéskor keletkező kibocsátás, újrahasznosítás, stb.) Szintén érdekes kérdés, hogy meddig terjed egy adott termék hatása; pl. figyelembe kell-e venni a gyártó berendezések előállításával, karbantartásával kapcsolatos kibocsátásokat, stb.? Ennek megfelelően beszélhetünk vertikális és horizontális lehatárolásról.

A rendszer vertikális határai szempontjából leggyakrabban a következő lehetőségek merülnek fel:

- *Bölcsőtől kapuig* (Cradle-to-Gate): ez a számítási módszer figyelembe veszi az összes kibocsátást, az alapanyag megtermelésétől és szállításától kezdve a gyártó üzemi termelés, logisztika, energiafelhasználás és egyéb üzemi tevékenységekből fakadó kibocsátásig, egészen addig, amíg a termék el nem hagyja a gyártó üzemet.
- *Bölcsőtől koporsóig* (Cradle-to-Grave): ilyenkor az előállítás során keletkező kibocsátás mellett figyelembe vesszük a termék felhasználásakor keletkező összes kibocsátást is, a használatba vételtől a karbantartáson keresztül a megsemmisítésig. Ezáltal jóval pontosabb képet nyerünk a termék teljes környezeti hatásáról, azonban szükségszerűen bizonyos feltételezésekre kell hagyatkoznunk a termék élettartamára, a felhasználás és megsemmisítés módjára vonatkozóan, így a számítás kevésbé pontos. Mivel ilyenkor a termék teljes életciklusát figyelembe vesszük, az ilyen elemzéseket életciklus-elemzésnek (Life-Cycle Assessment, LCA) is szokták nevezni.
- *Bölcsőtől bölcsőig* (Cradle-to-cradle): mivel újabban egyre nagyobb mértékben törekszünk a termékek és anyagok újrahasznosítására, a termék életciklusának a végén sok esetben nem megsemmisítés, hanem az újrahasznosításra történő előkészítés, majd újrahasznosítás történik. Ennek megfelelően, az elemzés nem az termék megsemmisítéséig, hanem az új termék gyártásának megkezdéséig tart.
- A fentiek mellett léteznek további vertikális lehatárolási lehetőségek. Ezek közé tartozik a *kaputól kapuig* (Gate-to-Gate) történő számítás, ahol csak a hozzáadott érték előállításakor keletkező kibocsátást vesszük figyelembe (pl. egy asztalos üzemben nem számolunk a fatörzs, rönk, majd fűrészáru vagy faalapú anyag előállításának és szállításának a szénlábnyomával), vagy a

küttől keréig (well-to-wheel) lehatárolás, amit a gépjármű üzemanyagok esetében alkalmaznak, stb.

A három leggyakrabban alkalmazott vertikális lehatárolást szemlélteti az **1. ábra** egy hagyományos faipari gyártási lánc esetében. Természetesen ez egy egyszerűsített ábra, mely sok lehetőséget elhanyagol (pl. a másodlagos faiparban keletkező hulladékok újrahasznosítását, vagy az üzemben belüli energiatermelést, stb., amelyeket egy körültekintően elkészített szénlábnym elemzésben mindenképpen figyelembe kell venni), de jól szemlélteti a különböző vertikális lehatárolási lehetőségeket.



1. ábra – az elemzett rendszer vertikális lehatárolásának lehetőségei a faiparban (egyszerűsített ábra.)

A **horizontális határok** megállapítása jóval kevésbé egyértelmű, mint a vertikális lehatárolás. Első megközelítésben egyértelműnek tűnhet, hogy mit kell figyelembe venni: pl. egy bölcsőtől-kapuig terjedő elemzésben az alap- és segédanyagok előállításából, az üzemben belüli gyártáshoz szükséges energia megtermeléséből, üzemi logisztikából és hasonló tényezőkből származó kibocsátásokat. Kicsit mélyebben belegondolva azonban további, közvetettebb kibocsátási források is előfordulnak. Pl. szükséges-e figyelembe venni az üzemben belüli gyártó berendezések előállításából származó kibocsátásokat (illetve annak az adott termékre eső részét, a könyvelésnél alkalmazott amortizációs számításhoz hasonlóan)? Mi a helyzet az azokat előállító berendezésekkel – és így tovább?

Sok olyan tényező is fontos szerepet játszhat, amelyre nem is gondolnánk. Ilyen például a munkások utaztatása, munkahelyre jutása. Európában kevésbé jellemző, de pl. Észak-Amerikában sokan akár 80-100 kilométert is ingázhatnak a munkahelyükre, majd vissza, jellemzően saját gépjárművel. Ennek már igen jelentős hatása lehet a gyártási folyamatokkal, illetve az előállított termékekkel kapcsolatba hozható kibocsátásra, és ezt igen ritkán veszik figyelembe a szénlábnyom-számításokban. (Jó példa erre a Tesla kaliforniai gyártóüzeme, amely kb. 40 kilométerre van a legközelebbi nagyobb településtől, Renotól. Naponta több ezer autó teszi meg ezt az utat oda-vissza, amely közvetett módon jelentősen növeli a Tesla elektromos autók környezetterhelését [3]. Ez nem feltétlenül negálja az elektromos autók környezeti előnyeit, de jelentősen növelheti azok szénlábnyomát. Természetesen ez a hagyományos járművek gyártására is igaz lehet, a megbízható adatokon alapuló összehasonlításhoz azonban sokszor nagyon fontosak lehetnek az ilyen, jellemzően elhanyagolt tényezők!)

Egyes esetekben a közvetett kibocsátásokat szándékosan, elfogultságból kifolyólag nem veszik figyelembe; ezek elhanyagolása kedvezőbb színben tüntetheti fel a cég vagy a termék szénlábnyomát. Legtöbb esetben azonban praktikus okai vannak a közvetett kibocsátás elhanyagolásának.

Minél távolabb megyünk az adott gyártási folyamattól, a kibocsátási tényezők hatása annál kisebb jelentőségű. Általában a külső tényezők (un. externáliák) hatása sem számottevő, egy-két, a fentihez hasonló, kirívó kivételtől eltekintve. Emellett, míg a gyártási folyamat közvetlen adatairól (pl. a befektetett erőforrások mennyisége, energiafogyasztás, stb.) általában viszonylag megbízható információkkal rendelkezünk, a közvetett hatások figyelembe vételéhez általában külső információforrásokra, általánosításokra, sokszor csupán becslésekre hagyatkozhatunk. Ennek ellenére törekednünk kell a közvetett kibocsátási források minél teljesebb figyelembe vételére, és őszintén be kell mutatnunk az elemzésben azokat a további, elhanyagolt tényezőket, amelyek esetleg módosíthatják az eredményeket.

3. A faipar környezetterhelése

A faipar és a fából készült termékek alapjaiban nem különböznek más iparágaktól és azok termékeitől. A beépülő alapanyagok, azok előállítása, szállítása, esetleges előkészítése, valamint üzemben belüli feldolgozása, illetve az elkészült termékek értékesítése, használata, karbantartása és megsemmisítése mind-mind energia- és erőforrás-felhasználással jár, és kibocsátásokhoz vezet. Miért szükséges mégis külön foglalkozni a faiparral és annak termékeivel?

A választ magában az alapanyagban találjuk. A faanyagnak több olyan speciális tulajdonsága van, amely jelentősen befolyásolja a fafeldolgozás környezetre gyakorolt hatását általában, beleértve a faipar és fatermékek szénlábnyomát is:

- A fa – szemben legtöbb más anyaggal – viszonylag rövid távon megújítható alapanyag. A fa évtizedek alatt újratermelhető, így kevésbé kell félnünk tőle, hogy kifogyunk belőle. (Fontos hangsúlyozni, hogy ez csak abban az esetben igaz, ha a felhasznált faanyag ún. tartamos erdőgazdálkodásból származik, azaz a kitermelés során ügyelnek az erdők megújítására. Ennek tanúsításával több cég is foglalkozik. Bár Magyarországon a legtöbb cég nem rendelkezik az ezt igazoló FSC vagy PEFC tanúsítással, jó tudni, hogy az erdeinkben létrejövő folyónövedéknek csak mintegy 50%-át használjuk, tehát semmiképpen nem zsákmányoljuk ki az erdőket! [4])
- A fa speciális szerkezetének köszönhetően kitűnő műszaki és esztétikai tulajdonságaihoz viszonylag alacsony sűrűség és önsúly társul. Ennek műszaki szempontból számos előnye van, környezetvédelmi szempontból pedig fontos, hogy szállításához és megmunkálásához viszonylag alacsony energiabefektetésre van szükség.
- A fából készült termékek jelentős része életciklusuk végén megfelelő odafigyeléssel és gondossággal újrahasznosítható – méghozzá jellemzően több ciklusban, akár 4-5 alkalommal is, végül pedig energiát nyerhetünk ki belőle (ezt nevezzük szekvenciális vagy kaszkád-hasznosításnak [5]).
- Amellett, hogy megújuló anyag, a fák a növekedés során a fatest mintegy 50 %-át kitevő szén a légköri széndioxid megkötésével állítják elő a fotoszintézis során. Ezzel jelentős mennyiségű üvegházhatású gáz megkötéséről gondoskodnak; nem véletlen, hogy az utóbbi években olyan nagy az érdeklődés a fák ültetése, az erdősítés iránt.

Amennyiben a fák természetes úton haldokolnak el és dőlnek ki az erdőben, ez a jelentős mennyiségű megkötött szén néhány éven, legkésőbb 1-2 évtizeden belül felszabadul, és CO₂ formájában visszakerül az légkörbe, míg a

fatermékekben jellemzően 50-100 évig, vagy – a korábban említett kaszkád újrahasznosításnak köszönhetően – akár még hosszabb ideig is megkötve maradnak, nem járulnak hozzá a globális felmelegedéshez.

A fenti szempontok közül a szállításhoz és megmunkáláshoz szükséges alacsonyabb energiaszükséglet közvetlenül és előnyösen befolyásolja a faipar szénlábnymát. A faanyagban megkötött széndioxidot emiatt „negatív szénlábnymként” szokták figyelembe venni, a biomassa energiát pedig (ami leggyakrabban a fa energetikai hasznosításából ered) szénszemlegesnek tekintik [6]. Kérdés, hogy ez a megközelítés mennyire realisztikus?

3.1. A faanyag felhasználásának környezeti hatásai

Mint korábban írtuk, felismerve, hogy a fák milyen fontos szerepet játszanak a légköri széndioxid megkötésében, az utóbbi időben a faanyag ipari és energetikai hasznosításának megítélése jelentősen javult, környezetvédelmi szempontból. Ez azonban sok esetben túlegyszerűsítésekhez vezet. A fatest jelentős része valóban légkörből felvett széndioxidból épül fel, azonban ez nem jelenti azt, hogy a dendromassa (és egyéb biomassa) energetikai hasznosítása tökéletesen szénszemleges (tiszt) energiát biztosít. Hasonlóképpen, a széndioxid hosszú távú megkötése a faanyagban és fatermékekben egyértelműen hozzájárul a globális klímaváltozási probléma megoldásához, de itt is számolni kell bizonyos kibocsátásokkal, már az alapanyag megtermelése során is. Konkrétan, figyelembe kell venni az alábbi kibocsátási forrásokat:

- Erdősítés, erdőgazdálkodás: a tartamos erdőgazdálkodás részét képezi a kivágott erdők újraterelítése. Az erdő magától nem nő vissza, vagy legalábbis nem olyan minőségben, ami kívánatos lenne. A későbbiekben a csemetéket, majd a fiatal és idősebb fákat gondozni kell; ebbe beletartozik a vadkár elleni védelem, a gyérítő vágás, ágtisztítás, és egyéb erdőgazdálkodási műveletek. Ezek a tevékenységek energiát és eszközöket igényelnek; ezek megtermelése pedig kibocsátással jár;
- Szintén eszköz- és energiaigényes a fa kitermelése, közelítése, erdei rakodóra juttatása;
- Természetesen a fát be is kell szállítani az erdőből a fűrészüzembe, falemezgyárba, vagy éppen az erőműbe, így a szállításból eredő kibocsátással is számolni kell;
- Végül, energetikai hasznosítás esetén figyelembe kell venni az energetikai folyamatok hatásfokát, és a biomassa-körforgás egyensúlyát is. Az égetés folyamán a fa ugyanúgy széndioxidot bocsát ki, mint a fosszilis

energiahordozók, azonban az előbbi jóval hamarabb (50-100 év alatt) újratermelődik, míg az utóbbihoz évmilliók szükségesek. Azonban a fák szénfelvevő képessége nem képes lépést tartani a biomassza energiatermelés kibocsátásával. Mindent egybevetve, a fa égetése nem teljesen CO₂ semleges, de a kibocsátás nagy részét ellensúlyozza a fák CO₂ felvevő képessége, ha az erdei növekmény egyenlő vagy nagyobb, mint az energiatermelésre és ipari célokra felhasznált faanyag mennyisége.

Mint a fentiekből látható, a faanyag ipari és energetikai hasznosításának a tényleges szénlábnymát meghatározni nem egyszerű feladat. Az ipari hasznosítás során a faanyagba és fatermékekbe beépülő szenet negatív szénlábnymaként figyelembe venni helyes megközelítés, azonban, ha reálisan gondolkodunk, ezt a nagyon pozitív környezeti hatást mérsékeli a faanyag meg- és kitermelése, valamint szállítása során keletkező kibocsátás. Bár az EU előírások ezt lehetővé teszik^{Hiba! A könyvjelző nem létezik.}, a biomassza energiát sem helyes tökéletesen szénsemleges energiaforrásnak tekinteni; itt is figyelembe kell venni a faanyag megtermelése és szállítása során keletkező kibocsátásokat, valamint az üzemek hatásfokát. A 4. fejezet megfelelő részeiben bemutatjuk, hogy hogyan tudjuk mindezt realiztikusan kiszámítani.

4. Szénlábnyom-elemzés a faiparban

Mint a korábbiakban már említettük, minden ipari folyamat (és valójában minden emberi tevékenység) hatással van környezetünkre. A felelősségteljes magatartás azt kívánja, hogy körültekintően mérlegeljünk az egyes alternatívákat, és kiválasszuk a legkevésbé káros opciót. A faipari folyamatok és termékek szénlábnyom tekintetében komoly előnyökkel rendelkeznek, elsősorban a fa szénmegkötő képessége miatt, illetve kisebb részben a viszonylag alacsony energiafelhasználásnak (és az ebből fakadó alacsonyabb kibocsátásnak) köszönhetően a szállítás és feldolgozás során. Az efféle általánosításokat azonban fontos tényekkel alátámasztani; erre szolgál a szénlábnyom elemzés.

Annak érdekében, hogy egy ipari folyamatról pontos képet kapjunk, sorra kell venni a termék gyártása során felmerülő kibocsátási forrásokat. Az alábbi általános felsorolás gyakorlatilag bármilyen ipari folyamat esetében érvényes, ám a tárgyalás során elsősorban a faipar szempontjából fogjuk áttekinteni ezeket. Az ipari folyamatok során tehát az alábbi kibocsátási forrásokkal kell számolni:

- Az alapanyagok gyártása vagy kitermelése során keletkező kibocsátások
- Az alapanyagok szállításából származó kibocsátások
- Az üzemben belüli folyamatokkal (logisztika, energiagazdálkodás, stb.) kapcsolatos kibocsátások
- Az üzemi melléktermékek/hulladékok kezelésével kapcsolatos kibocsátások
- Egyéb környezetterhelések (pl. vízhasználat, irodai és kommunális tevékenység, karbantartás, dolgozók munkába jutása, stb.)

Mivel ez a segédlet elsősorban a faipari gyártási folyamatok szénlábnyomával foglalkozik (bölcsőtől-kapuig megközelítés), a fenti tevékenységekkel kapcsolatos kibocsátásokat részletesen tárgyaljuk ebben a fejezetben (illetve a következő fejezetben egy tényleges számítási példán keresztül is bemutatjuk.) A termékek teljes környezeti hatásának figyelembe vételekor ezt még ki kell egészíteni az azok használatával, illetve a termék megsemmisítésének vagy újrahasználatával/hasznosításával kapcsolatos kibocsátásokkal is. Ennek a részletes bemutatása túlmegegye a segédlet keretein, azonban ebben a fejezetben röviden és általánosságban ezeket a területeket is tárgyaljuk.

A számítások alapját minden esetben az adott cég nyilvántartásából származó adatok képezik. A pontos szénlábnyom kiszámításához elengedhetetlen, hogy a cég pontos adatokkal rendelkezzen az általa használt erőforrások áramlásáról; a beérkező és a termékbe beépülő alap- és segédanyagokról, a felhasznált energiahordozókról, a hulladékok vagy melléktermékek mennyiségéről, azok kezeléséről és

megsemmisítéséről vagy másodnyersanyagként történő felhasználásáról, stb. Amennyiben ezek az adatok nem pontosak, a szénlábnym számítás is pontatlan lesz, ami nem az elemzést készítő, hanem az illető cég vagy üzem felelőssége.

4.1. Az alapanyagok szénlábnyma

Míg a kaputól-kapuig megközelítés csak az adott ipari folyamat által hozzáadott értéket, és az azzal kapcsolatos kibocsátásokat veszi figyelembe, az általunk alkalmazott bölcsőtől-kapuig elemzés során minden környezetterhelést figyelembe veszünk, az alapanyag megtermelésétől és beszállításától egészen a termék (vagy félkésztermék) elkészültéig.

Az alapanyagok megtermelése kívül esik az adott üzem hatókörén. Ennek megfelelően jóval nehezebb információt szerezni a szénlábnymokról, mint a saját hozzáadott érték esetében. Egyes esetekben tájékozódhatunk a beszállítóktól, ám ma még nem jellemző, hogy a cégek megbízható adatokkal rendelkezzenek termékeik szénlábnymáról. Precíz információk hiányában sok esetben kénytelenek vagyunk általánosításokra, irodalmi adatokra, vagy – legrosszabb esetben – becslésekre hagyatkozni. Alapelve, hogy minden esetben törekedni kell a minél pontosabb adatok beszerzésére.

Mint korábban már utaltunk rá, alapvető különbség van a faanyag és az egyéb – a faiparban is használt – anyagok szénlábnyma között, elsősorban a fa széntároló képessége, és az ebből fakadó negatív szénlábnym miatt. Ennek megfelelően az alábbiakban ezeket a faanyagot és az egyéb anyagokat külön tárgyaljuk.

4.1.1. A faanyag szénlábnyma

Számos kutatás foglalkozott a faanyag szénttartalmának meghatározásával. A legtöbb esetben a szénttartalom a faanyag tömegének a 46 és 55%-a közé esik [7]-[13], bár létezik olyan becslés, amely kívül esik ezen a tartományon (40%). Ez utóbbi nem méréseken, hanem a sejtfal elemi összetétele alapján végzett számításokon alapul [14]. A fenyőfélék széntartalma általában valamivel magasabb, 50 % feletti, míg a lombosok kissé alacsonyabb, valamivel 50 % alatt. A legtöbb elemzésben jellemzően 50%-kal számolnak a fa szénttartalmának számításakor [15]-[18]. Egy közelmúltban megjelent tanulmány szerint ezt az értéket felül kell vizsgálni a jövőben, mivel „a leggyakrabban használt, 50%-os általános szénttartalom szisztematikus hibához vezet a számításokban, amely a mérsékelt égövi, főleg fenyőerdők esetében az elhanyagolható, 0,1%-tól akár 8,9 %-os túlbecslésig is terjedhet, a többnyire zárvatermőkből álló trópusi erdőkben” [19]. Mivel tudományos körökben nincs teljes egyetértés a pontos szénttartalommal kapcsolatban, jelenleg az 50%-os szénttartalom

elfogadható a szénlábnyom számításakor, különösen a mérsékelt égövi erdőkből származó faanyag esetében.

Az üzemi anyagáramlás adataiból meg tudjuk határozni a beérkező, valamint a termékekbe beépülő faanyag tömegét (ez általában térfogatként áll rendelkezésre, azonban a fafajokra jellemző sűrűség értékek felhasználásával átváltható tömegre), aminek az 50%-át tekinthetjük széntartalomnak. Ez a szén a légköri széndioxidból származik, és a fotoszintézis során kötődik meg a faanyagban. Mivel a szén móltömege 12, a széndioxidé pedig 44, a fában található szén tömegét $44/12 = 3,67$ -tel megszorozva kapjuk meg a megkötött CO₂ mennyiségét. Mivel a fa tömegének kb. 50%-a szén, a megkötött szén-dioxid tehát az abszolút száraz (ún. „atro”) fatömeg 1,89-szerese.

Ahogy korábban tárgyaltuk, a fában megkötött széndioxid negatív szénlábnyomként vehető figyelembe, hiszen ennyivel csökken a légkörben található CO₂ mennyisége. Ezt a negatív szénlábnyomot csökkenti az a kibocsátás, amely az erdők telepítése, az erdőművelés, és az fakitermelés során keletkezik.

Az erdőtelepítés, gazdálkodás és fakitermelés során keletkező kibocsátások mennyiségét a '90-es évektől kezdve sok tanulmány igyekezett megbecsülni, melyek eredményei jelentős eltéréseket mutatnak, attól függően, hogy milyen folyamatokat vettek figyelembe, és milyen technológiai, termelékenységi és üzemanyagfogyasztási adatokkal számoltak. Egy közelmúltban megjelent tanulmány [20] megpróbálta összegezni a megelőző két évtized eredményeit. Megállapították, hogy a rönkfa megtermelése, a teljes erdőgazdálkodási láncolatot figyelembe véve, a terep előkészítésétől az üzembe vagy vásárlóhoz juttatásig 6.3–67.1 kgCO₂e/m³ kibocsátással számolhatunk. Ez a fában tárolt szén mennyiségének 0,8...9 %-ának felel meg, amennyiben az erdőterület csökkenéséből származó negatív hatásoktól eltekinthetünk (azaz a faanyag tartamos erdőgazdálkodásból származik). Sajnos nagyon kevés hazai tanulmány áll rendelkezésre ezen a területen. Egy nemrégiben lezajlott kutatás [21] kimondottan a kitermelés során keletkező kibocsátásokat vette alapul; számításai szerint fafajtól és fahasználati módtól (előhasználat/véghasználat) függően 29,13...80,42 kgCO₂e/m³ fosszilis energia kibocsátással kell számolni az erdőhasználat során, ami valamivel magasabb, mint a nemzetközi tanulmányokban szereplő értékek. Összességében elmondható, hogy **az erdőgazdálkodás és használat során keletkező kibocsátás** nagyon konzervatív becslések alapján **sem haladja meg a fában megkötött szén 10%-át** (azaz a számítások szerint konzervatív módon kb. ennyivel csökkenthetjük a fában megkötött szén mennyiségét az erdei folyamatok figyelembe vételére.)

A másodlagos faiparban, ahol a faanyagot nem rönkként, hanem valamilyen feldolgozott formában – pl. fűrészárúként, vagy valamilyen faalapú lemezként –

használjuk fel, természetesen az ezek gyártása során keletkezett kibocsátásokat is figyelembe kell venni, tehát a negatív szénlábnyom érték tovább csökken. A legpontosabb becslést ebben a helyzetben az jelentené, ha visszamennénk egészen a félkésztermékek gyártójáig, és elkészítenénk az ő szénlábnyomelemzésüket is, ez azonban aligha megvalósítható, mivel a befektetett munka ezzel megsokszorozódik, és sok esetben nem is feltétlenül ismerjük a termékek gyártóját, illetve gyártóit. Emiatt ilyenkor kénytelenek vagyunk irodalmi, vagy különböző adatbázisokból nyert adatokra hagyatkozni. Ez csökkenti a szénlábnyomelemzés pontosságát, de legtöbb esetben még mindig ez a legpontosabb adat, amihez hozzá tudunk férni.

Mind a fa félkésztermékek, mind más anyagok esetében egyszerű és kevésbé megkérdőjelezhető információkat kínálnak a különböző adatbázisok, amelyek számos anyagról és termékről kínálnak szénlábnyom adatokat. Ezeket a következő fejezetben tárgyaljuk. A másik lehetőség irodalmi adatok használata. Több tanulmány foglalkozott a különböző fa és faalapú anyagok környezeti hatásaival. Az **1. táblázat** például egy átfogó, sokféle fa- és faalapú anyagra kiterjedő finn tanulmányból származó adatokat mutat be.

1. táblázat: a fa és faalapú anyagok (félkésztermékek) kibocsátási tényezői egy 2013-as finn tanulmány alapján [22]

Fa(alapú) anyagok	Kibocsátás gCO ₂ e/kg	Szén- megkötés gCO ₂ /kg	Nettó szénlábnyom gCO ₂ e/kg	Sűrűség kg/m ³	Nettó szénlábnyom kgCO ₂ e/m ³
Fenyő fűrészáru	119	1637	-1518	485	-736
Lombos fűrészáru	167	1636	-1469	761	-1118
Gyalult f. fűrészáru	152	1638	-1486	485	-721
Fenyő rétegelt lemez	605	1708	-1103	450	-496
Nyír rétegelt lemez	718	1188	-470	660	-310
Nyers MDF	652	1418	-766	730	-559
Laminált MDF	788	1458	-670	730	-489
Nyers HDF	661	1437	-776	900	-698
Nyers faforgácslap	409	1564	-1155	670	-774
Laminált forgácslap	467	1527	-1060	670	-710
OSB	208	1692	-1484	600	-890

(Megj.: a [22] tanulmány az adatokat csak tömegre vetítve szolgáltatja, a m³-enkénti értékek ebből kiszámíthatók.)

Az egyes anyagok kibocsátási tényezőit (szénlábnyomát) rengeteg tényező befolyásolja. Az adatok nagymértékben eltérhetnek időben és térben, a kibocsátásokat

nagyban befolyásolják az alkalmazott anyagok és technológiák, szállítási távolságok, a felhasznált energiahordozók fajtája és mennyisége, a vizsgált rendszer határai, és még más tényezők is [23]. Az **1. táblázatban** szereplő adatok pl. nyugat-európai (többnyire németországi) technológiák és termékek figyelembe vételével, a 2010-es évek második felében kerültek meghatározásra, körültekintő módszerekkel. Más időszakban, körülmények között és számítási módszerekkel meghatározott adatok eltérő eredményeket adhatnak. Ezekkel a tényekkel fontos tisztában lenni, és felhívni a figyelmet az elemzés során.

Érdemes emellett figyelni az esetleges anomáliákra az elemzés során (pl. ha az elemzésünkben az azonos fafajú rönkfa szénlábnyma magasabb, mint a belőle készült fűrészárué, akkor gyaníthatóan valamilyen eltérés van a két metodológiában, pl. a fűrészáru szénlábnym számítása során nem vették figyelembe az erdőgazdálkodási és/vagy kitermelési műveletek szénlábnymát, vagy eltérő szén-részaránnyal számoltak, stb.) Érdemes ügyelni arra, hogy az elemzésünk ebben az esetben koherens képet mutasson (pl. a fenti esetben az 1. táblázatban szereplő nettó CO₂e értékek a kibocsátás értékkel csökkenthetjük a rönkfa negatív nettó szénlábnymát.)

4.1.2. Egyéb alapanyagok szénlábnyma

A faipari termékek gyártása során számos egyéb anyag (pl. ragasztó- és segédanyagok, felületkezelő anyagok, faanyagvédőszerek, kárpitszövet, stb.), valamint kötőelemek, vasalatok, egyéb félkésztermékek felhasználására is szükség van. Bár ezek mennyisége jellemzően nagyságrendileg alacsonyabb a felhasznált faanyaghoz képest, előállításuk sok esetben nagyon energiaintenzív, és ennek megfelelően jelentősen hozzájárulhatnak az ipari folyamatok és termékek szénlábnymához (egyes források szerint pl. a faalapú anyagokba beépülő energia, és az ebből eredő kibocsátás mennyisége elsősorban ennek köszönhetően, akár a természetes faanyag 2-3-szorosa is lehet [24], [25]; ezt támasztják alá az 1. táblázat kibocsátási adatai is.)

A legmegbízhatóbb szénlábnym adatot nyilvánvalóan akkor kapjuk, ha a beszállító maga is rendelkezik szénlábnym-elemzési adatokkal, és azt hajlandó a rendelkezésünkre bocsátani. Sajnos a legtöbb esetben nem tudunk hozzájutni ilyen adatokhoz; ilyen esetben általában jó tájékozódási alapot jelenthetnek a különböző szénlábnym vagy szénleltár adatbázisok. Ezek egy része ingyenesen is hozzáférhető, mások (jellemzően a legalaposabb és kiterjedtebb adatbázisok) adatait pénzért, egyenként vagy csomagban vásárolhatjuk meg. Néhány példa ezekre:

- Az angol Bath egyetem adatbázisa [26];
- A brit kormány üvegházhatású gáz kibocsátási beszámolókra vonatkozó útmutatója [27];

- Az Ecoinvent adatbázis (www.ecoinvent.org), mely számos szektorban és földrajzi régióban gyártott anyagról és termékről biztosít adatokat;
- A hasonlóan kiterjedt, az életciklus elemzésben széleskörűen használt GaBi adatbázisok (www.gabi-software.com);
- Az IPCC Kibocsátási Tényező Adatbázisa (www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/);
- stb.

A fentiek mellett természetesen számos más adatbázis, illetve rengeteg tudományos és szakmai cikk, adatforrás áll a rendelkezésünkre. Azok a tanulmányok, amelyeken ezek az adatok alapulnak, földrajzilag, időben, a vizsgált folyamatok technológiai fejlettsége, az alkalmazott metodológia, rendszerhatárok és sok más szempontból jelentős eltéréseket mutatnak, így ugyanarra az adatra vagy termékre meglepően eltérő adatokat eredményezhetnek. Ez nyilvánvalóan bizonytalanságot jelent az ezeken alapuló szénlábnym elemzésekben is. Fontos, hogy ezzel kapcsolatban az elkészült elemzéseinkben őszinték legyünk (pl. jelezhetjük, hogy az adott anyagra vagy vasalatra vonatkozó adatok más földrajzi régióból, vagy más időszakból származnak, stb.). Ugyanakkor ezek az anyagok vagy kiegészítők jellemzően nagyságrendekkel alacsonyabb mennyiséget képviselnek a termelésben vagy a termékben, mint a fa- és faalapú anyagok, így a végeredményre gyakorolt hatásuk általában korlátozott.

Egyes esetekben nagyon specializált anyagokkal vagy termékekkel kell számolnunk, amelyek nem találhatók meg az adatbázisokban – sőt, bizonyos esetekben a pontos kémiai összetételük sem feltétlenül ismert. Ilyenek pl. a falemezgyártásban használt egyes adalékanyagok. Ezeknek a mennyisége legtöbb esetben végképp elenyésző, de ilyenkor is törekedni kell a figyelembe vételükre valamilyen módon, pl. közelítéssel, lehetőleg konzervatív értékeket vagy becsléseket alkalmazva (pl. a 4. fejezetben bemutatott számításnál több ilyen anyag esetén a Bath University adatbázisában található, viszonylag magas, a műanyagokra vonatkozó átlag kibocsátási tényezőket vettük figyelembe.)

4.2. Az alapanyagok szállítása

A közlekedésből és szállítmányozásból eredő kibocsátások nagyon jelentősen hozzájárulnak az összes üvegházhatású gáz kibocsátáshoz. 2010-ben a közlekedési ágazat 7,0 GtCO_{2e} közvetlen kibocsátást termelt, ami kb. az összes energiával kapcsolatos kibocsátás 23%-át jelenti globálisan [28]. Ennek mérséklése az EU egyik nagyon fontos célkitűzése [29]-[31].

A szállításból eredő kibocsátások kiszámításához alapvetően három adatra van szükségünk: 1) a szállított mennyiségekre (t), 2) a szállító jármű fajlagos kibocsátására tonnánként és km-enként (gCO_{2e}/t-km), és 3) a szállítási távolságokra. Az első adat

kinyerhető a vállalat logisztikai nyilvántartásából, míg a másik kettő meghatározása sokszor nem egyszerű feladat.

Az alapanyagok beszállítása különböző módokon történhet, az anyagtól, a cég elhelyezkedésétől, és számos egyéb tényezőtől függően. Magyarországon túlnyomó részben a szárazföldi szállítás a jellemző. A szárazföldi szállítóeszközök közül is elsősorban a közúti beszállítás terjedt el, ami leggyakrabban nehéz tehergépjárművekkel történik. Amennyiben nem ismert, hogy pontosan milyen szállítóeszközt használtak a beszállításhoz, feltételezhetően ezzel kell számolnunk.

Számos tanulmány foglalkozott a teherautók üzemanyagfelhasználásával, és a fogyasztási adatok jelentősen eltérhetnek a körülményektől és a jármű típusától függően (részletesen ld. itt: <https://www.hbefa.net/e/index.html> és itt: <http://www.theicct.org/>). Az IPCC útmutatója [18] szerint a nehéz tehergépjárművek kibocsátása 76 és 178 gCO₂e/t-km között változik. A szállítási intézkedések hálózatainak adatbázisa (NTM Calc 4.0 [32]) részletesebb adatokat tartalmaz, itt, járműtípustól függően, 64 és 812 gCO₂e/t-km-t adnak meg. McKinnon és tsai. (2015) [33] szerint a kibocsátás 84-584 gCO₂e/t-km között van. A mérések szerint a nagyobb járművek fajlagos kibocsátása kisebb. A tény, hogy a járművek szállítóképessége nincs mindig kihasználva, tovább bonyolítja a helyzetet. McKinnon és Piecyk (2010) [34] 40-44 tonnás változó kihasználtságú teherautókat vizsgáltak, az üres visszaútak figyelembevételével, ők 39.7 and 151.1 gCO₂e/t-km között állapították meg a kibocsátást.

A faiparban figyelembe kell venni azt is, hogy a rönkszállítás legalábbis részben erdei utakon történik, ami növeli az üzemanyagfelhasználást, és ezzel együtt a kibocsátást is. Ilyenkor a terep domborzata is növeli a fogyasztást, mind az erdei, mind a közúton. Erdei úton történő szállításkor sík terepen 6 %-kal, dombos terepen 70 %-kal, hegyi utakon pedig 196 %-kal nő a fogyasztás közutakhoz képest. (Whittaker és tsai. 2010) [35].

Mint a fentiekből látható, akárcsak az alapanyagok esetében, a szénlábnyom meghatározása a szállítás esetében sem egyszerű. Mivel ennyire eltérő értékek találhatók a szakirodalomban, nehéz gépjárművel történő szállítás esetén javasoljuk az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) honlapján található átlagérték figyelembe vételét, amely 2014-ben **139.8 gCO₂e/t-km** volt [36].

2. táblázat – Tájékoztató adatok különböző járművek és szállítási módok kibocsátásával kapcsolatban (gCO₂e/t·km)

Szállító eszköz / szállítási mód	NTM Calc 4.0 ^{Hiba!} A könyvjelző nem létezik.	EEA 2014 ^{Hiba! A} könyvjelző nem létezik.
Kis teherautó	176,8	139,8
Teherautó	129,5	
Pótkocsis teherautó, nyerges vontató	71,5 - 82,5	
Vasúti szállítás	23,0	15,6
Tengeri szállítás	157,3	135,8
Légi szállítás	261.900,0	---

Ritkábban, de előfordulhat a más járművekkel történő szállítás is. A **2. táblázatban** megadunk néhány tájékoztató adatot különböző járművek illetve szállítmányozási módok esetében.

A szállítási távolságok meghatározása sem mindig egyértelmű feladat. Bizonyos esetekben számos különböző beszállítótól vásárolunk akár hasonló vagy azonos alapanyagokat (pl. faanyag, falemezek, stb.), és ezeket nehéz logisztikailag követni. Másik probléma, hogy a beszállító nem minden esetben közvetlenül a gyártó (pl. kötőelemek, vasalatok esetében, stb.) Ilyenkor talán ismert a távolság a közvetlen beszállító (pl. kereskedő, logisztikai központ) telephelyétől, de nem tudjuk, hogy oda milyen úton jutott el az anyag vagy alkatrész. Ilyen esetekben ismét valamilyen becsléshez kell folyamodnunk; pl. a beszállítótól a kapuig számított távolsághoz hozzáadjuk a gyártó ország fővárosától (vagy, ha ismert, a gyártó telephelyétől) számított távolságot. Ha Magyarországon, de ismeretlen helyen gyártott termékről van szó, akkor számolhatunk valamilyen átlagos belföldi távolsággal (pl. 150-200 km). Ez nyilván nem lesz egészen pontos adat, hiszen a beszállítói láncolat akár több szereplőt is tartalmazhat, és az adott anyag vagy alkatrész esetleg kerülő úton, jóval nagyobb távolságot megtéve jutott el a gyártóhoz. Fontos, hogy próbáljuk megtenni, ami tőlünk telik, a minél pontosabb adatok beszerzésére.

(Megjegyezzük, hogy szállítási távolságtól függően az alapanyagok és alkatrészek beszállítása a legtöbb esetben az adott erőforrással kapcsolatos kibocsátásnak csupán néhány százaléka, így az ezekkel kapcsolatos bizonytalanságok általában nem befolyásolják jelentősen a végeredményt. Természetesen ez alól is vannak kivételek – pl. interkontinentális szállítás, pl. egy szibériai fenyő anyag esetében, vagy ha valamit légi úton szállítanak be. Az ilyen ritka kivételek esetében természetesen különösen fontos odafigyelni a szállítási távolságok pontos figyelembe vételére.)

4.3. Energia előállítás és felhasználás

A fejezetben szereplő adatok és számítások jelentős részben Dr. Németh Gábor egy. docens (Soproni Egyetem) munkáját tartalmazzák, akinek ezért külön köszönetet mond a szerző.

A különböző folyamatok szénlábnyomának egyik legnagyobb összetevője az energetikával, nevezetesen a hő előállítással és a villamos energiafelhasználással kapcsolatos kibocsátás. Az üzemben belüli logisztika (targoncák és egyéb szállítójárművek fogyasztása) szintén energiát igényel. Változó, hogy az egyes tanulmányok ezt az energiafelhasználást hova sorolják; ebben a segédletben a belső logisztikát is itt tárgyaljuk.

Az egyes ipari folyamatokkal vagy adott termékkel kapcsolatos, energiafelhasználásból eredő kibocsátás meghatározásához alapvetően két dologra van szükség: a felhasznált energiahordozók mennyiségére, és az energiahordozók kibocsátási tényezőire. A mennyiségek meghatározása általában ismét az üzemi logisztikai vagy energiafogyasztási adatokból származtatható, azonban ezek meghatározásakor is könnyen találkozhatunk kihívásokkal. Különösen igaz ez akkor, ha a cégnél különböző termékeket gyártanak, és a kibocsátási értékeket adott termékhez szeretnénk rendelni.

Viszonylag egyszerű a helyzet, ha a különböző termékeket (vagy komponenseket) külön gyártócsarnokokban vagy gyártóegységeken készítik, amelyek külön fogyasztásmérőkkel vannak felszerelve, ez azonban sajnos a legritkább esetben van így. Amennyiben a fogyasztás nem választható egyértelműen szét, valamilyen arányosítási megoldással kell élni (pl. az adott csarnokban készülő három termék közül „A” termék felel a villamos energiafogyasztás 25 %-áért, „B” termék a 35 %-áért, és „C” termék a maradék 40 %-ért.) A legtöbb esetben ilyenkor durva becslésekre kényszerülünk, különösen széles termékpaletta esetén. (Ilyenkor lehet, hogy csak nagyon elnagyolt megoldásokkal tudunk élni, pl. az energiafogyasztást a termékek között azok tömegének, vagy darabszámának az arányában osztjuk el. Természetesen ilyenkor is lehet súlyozni; pl. ha tudjuk, hogy valamelyik termék energaintenzívebb gyártási folyamatokon megy keresztül, akkor a fogyasztás értékek ennek megfelelően korrigálhatók, ehhez azonban az ipari folyamatok mélyebb ismerete szükséges.)

4.3.1. A villamos energiafogyasztással összefüggő kibocsátás

A villamos energia ún. szekunder energiahordozó, amelyet erőművekben, elsődleges energiahordozókból állítanak elő. Az ehhez kapcsolódó szén-dioxid kibocsátás nem közvetlenül a vállalatnál történik, tehát egy közvetett kibocsátásról beszélhetünk, melyet a magyarországi kibocsátási tényező segítségével lehet meghatározni.

A villamos energiára vonatkozó kibocsátási tényező értéke, országonként és évenként eltérő. Az elmúlt években irodalmak és jelentések számos különböző értéket láttak napvilágot, ezért ezekből néhány fontosabbat az alábbiakban összegyűjtöttünk:

- 1.) 2010-ben kiadott „A fenntartható energiával kapcsolatos cselekvési tervhez (SEAP) kapcsolódó formanyomtatvány” útmutatójának technikai mellékletében [37] Magyarországra az alábbi értékeket adták meg:
 - Szabványos kibocsátási tényező: $0,566 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$
 - LCA (életciklusra vetített) kibocsátási tényező: $0,678 \text{ tCO}_2\text{e}/\text{MWh}$
- 2.) A fent szereplő $0,566 \text{ tCO}_2\text{e}/\text{MWh}$ -a értéket adták meg irányadó értéknek az IEE 2013 dokumentumában is [38].
- 3.) Számos energetikai szakreferensi jelentésben találkozhatunk számításokkal, melyek esetében jellemzően $0,32 \text{ tCO}_2\text{e}/\text{MWh}$ értéket használtak.
- 4.) Egy 2018-as nemzetközi kiadványban [39] $0,3040 \text{ tCO}_2\text{e}/\text{MWh}$ -val kalkulálnak.

A fentiekből látható, hogy a kibocsátási tényezők nagymértékű eltéréseket mutatnak. Az ilyen nagymértékű változásokat nem lehet indokolni a villamos energia előállításán belüli megújuló energia térnyerésével.

Sajnos a fent említett, országspecifikus adatok eléggé elavultak. További lehetőség, hogy saját számításal határozzuk meg a szükséges értéket. 2017-es adatokat alapul véve bruttó 32.584 GWh villamos energia termelés történt Magyarországon a háztartási méretű kiserőművek és egyes saját felhasználásra termelő kiserőművek nélkül, melyhez $9,58$ millió tonna CO_2 kibocsátás társult [40]. Ennek alapján 1 kWh villamosenergia felhasználás során 2017-ben $0,294 \text{ kg}$ széndioxid kibocsátás történt. A kibocsátási értékek számításánál azonban inkább a nettó fogyasztás adja vissza legjobban a valóságot így ezt figyelembe véve $0,314 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$ -val számolhatunk. Ezt az értéket befolyásolja még az, hogy a Magyarországon felhasznált villamos energia hazai és az importenergia részaránya $28,6\%$ volt 2017-ben [40]. A különböző országokból bejövő villamos energiához társított kibocsátási tényező értékei eltérőek. Erre vonatkozó adatok nem állnak rendelkezésre hiteles formában, így feltételezzük, hogy átlagban közel azonos kibocsátási paraméterekkel rendelkező villamos energia vásárlása történik. Korábbi években a MAVIR adatai alapján a kibocsátás $\sim 0,296 - 0,350 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$ között változott, így elmondható, hogy a 2017-es év kapcsán számított érték reálisnak mondható.

Az egyenértékű CO₂ faktor meghatározásához egy korábban már említett dokumentum („A fenntartható energiával kapcsolatos cselekvési tervhez (SEAP) kapcsolódó formanyomtatvány”) [37] alapján számítható arány használható. A 0,678/0,566 arányt figyelembe véve az egyenértékű kibocsátási tényező értéke **0,37 tCO₂e/MWh-ra adódik**. Ez az érték reális, megfelelően illeszkedik az irodalmakban és hivatalos jelentésekben fellelhető adatokhoz, így javasolható az alkalmazása.

4.3.2. A fosszilis energiahordozók felhasználásából származó kibocsátás

A faiparban a fosszilis energiahordozókat elsősorban hő előállítására, másodsorban pedig a közlekedési eszközök üzemeltetésére használjuk. Az előállított hőbe beleértjük az ún. technológiai hőt (pl. hőprések, szárítóberendezések üzemeltetése, stb.), illetve a kommunális hő előállítását is. Más célokra (pl. saját villamos energia előállítás) csak nagyon ritkán használnak fosszilis energiahordozókat.

A villamos energiánál bemutatott kibocsátási tényezők itt is fellelhetők, azonban itt már sokkal egyértelműbb értéket kapunk, hiszen nem másodlagos (szekunder) energiahordozóról beszélünk, hanem egy elsődlegesekről, melyeknél a kapcsolódó energetikai adatok többé-kevésbé állandónak, azonosnak tekinthetők a világ bármely részén.

A tüzelésből származó CO₂ kibocsátás meghatározása a következő általános képlet segítségével történik:

$$Q = E \cdot c_q \cdot c_o, \quad [1]$$

ahol Q a kibocsátás mértéke (kgCO₂e), E a bevitt energia mennyisége (J) c_q a kibocsátási tényező (kgCO₂e/J), és c_o a tüzelőanyag országspecifikus oxidációs tényezője; ez utóbbi a jelenlegi jogi szabályozás alapján Magyarországon 1-nek tekinthető [41].

A bevitt energiatartalmat a felhasznált fosszilis üzemanyagból számíthatjuk az alábbiak szerint:

$$E = M \cdot c_f, \quad [2]$$

ahol M a felhasznált tüzelőanyag mennyisége [t, vagy m³] c_f pedig tüzelőanyag (nettó) fűtőértéke [J/t, vagy J/m³].

A fenti számításokhoz szükséges tüzelőanyag mennyiséget a cég logisztikai nyilvántartásából tudjuk kinyerni. A 601/2012/EU bizottsági rendelet lehetővé teszi országspecifikus fűtőérték és kibocsátási tényező alkalmazását. A **3. táblázat** a

410/2012. (XII. 28.) Korm. rendelet 5. mellékletben és a 601/2012/EU bizottsági rendelet VI. melléklet 1. pont 1. táblázatában található értékeket veszi alapul, és tartalmazza mind a fűtőértéket, mind az egyes tüzelőanyagok kibocsátási tényezőit.

3. táblázat – Néhány jellemző tüzelőanyag fűtőértéke és kibocsátási tényezője

Üzemanyag	Fűtőérték (c_f)	kibocsátási tényező (c_{ϕ} kgCO _{2e} /GJ)
Fűtőolaj ^[41]	42,0 MJ/kg	74,1
Benzin ^[42]	44,3 MJ/kg	69,3
Gázolaj ^[42]	43,0 MJ/kg	74,1
Földgáz ^[41] *	34,0 MJ/m ³	56,1
LPG ^[42]	46,3 MJ/kg	63,1
PB gáz ^[42]	47,3 MJ/m ³	63,1

* 15 °C-ra vonatkoztatva 1013,25 hPa nyomáson. A 0 °C-ra vonatkoztatott érték 35,87 MJ/Nm³ 1013,25 hPa nyomáson

Akárcsak a villamos energia esetén, itt is kihívást jelent a felhasznált üzemanyagok vagy energiamennyiségek szétosztása a különböző folyamatok vagy termékek között. Itt is az ott feltüntetettekhez hasonló megoldásokkal élhetünk.

4.3.3. A biomassza energiatermelésből származó kibocsátás

A technológiai és kommunális hő előállítása során a fosszilis energiahordozók egyre népszerűbb alternatívája a biomassza alapú energiatermelés, jellemzően az üzemben termelődő melléktermékek (faanyag, azaz dendromassza) felhasználásával. Ez nyilván gazdasági előnyt is jelent a cégnek, hiszen nem kell drága fosszilis energiahordozókat vásárolni, azonban környezetvédelmi szempontból is előnyösebb.

A biomassza égetés során a CO₂ hasonlóan távozik a rendszerből, mint a fosszilis technológiáknál. EU-s iránymutatás alapján [42] a biomassza energia kibocsátási tényezője ennek ellenére nulla (amennyiben tartamos erdőgazdálkodásra létrehozott tanúsítási rendszereket alkalmazó erdőkből származó faanyag felhasználásáról van szó), azaz a fa hőhasznosítása (közvetlen tüzelés, elgázosítás) „CO₂ semleges”, mivel az energetikai hasznosítás során felszabaduló CO₂ az alapanyag újratermelése során viszonylag rövid idő alatt (néhány évtized, szemben a fosszilis energiahordozók keletkezéséhez szükséges évmilliókkal) megkötődik. Ezt a megközelítést az utóbbi időben számos kritika érte, elsősorban azért, mert nem veszi figyelembe az erdőtelepítés, az erdőművelés, a fakitermelés és beszállítás környezeti hatásait. E folyamatok CO₂ kibocsátással járnak, így a dendromassza alapú energetikai alapanyagok inkább **közel CO₂ semlegesnek** tekinthetők. A kibocsátás meghatározása

során ezt ún. nettó CO₂ kibocsátás értékkel vehetjük figyelembe, mely abban különbözik a hagyományos CO₂ kibocsátás értékétől, hogy a fotoszintézis során felvett CO₂ érték levonásra kerül a teljes - tüzelés és egyéb folyamatok során távozó - kibocsátott szén-dioxid értékéből.

A megújuló energiák - és ezen belül a bio- és a dendromassza - hasznosításával az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása csökkenthető. A pontos környezeti hatást számos tényező befolyásolja (pl. az alkalmazott erdészeti és szállítmányozási technológiák, az erdőgazdálkodás tartamossága, az energetikai berendezések hatásfoka, az ún. föld alatti dendromassza kezelése, stb.) A fa tüzelésével és a (nettó) CO₂ kérdéskörrel összefüggésben számos külföldi publikáció látott napvilágot, elég eltérő számokkal. Elsősorban a villamos energiatermelésre vannak használható eredmények. Az alap tüzelőberendezések hasonlósága miatt ezen eredmények a hőtermelésre is jól adaptálhatók a megfelelő hatékonyságbéli különbségek átszámításával. Korábbi felmérések [43] alapján elmondható, hogy egységi villamos energia előállításához - korszerű hőtermelő és hasznosító rendszer esetén - mintegy 2,4-szer több bevitt energiára (Az átlagos villamos energia előállítás hatásfokát 35%-ra, és a hőtermelését 85%-ra felvéve.), azaz jelen esetben ennyivel több faalapú tüzelőre van szükség, mint hőelőállítás során. Ennek megfelelően az alább megadott kibocsátási értékek átszámíthatók és elemezhetők a hőfelhasználás oldaláról:

- 1.) A Környezetvédelmi Ügynökség [44] megállapította, hogy a bioenergiából származó villamos energia szén-dioxid kibocsátása általában - de nem mindig - alacsonyabb, mint a legkisebb szén-dioxid kibocsátásúként nyilvántartott, fosszilis tüzelőanyagot használó gázüzemű CCGT (kombinált ciklusú gáztrubina) esetében. Például a rövid vágásidejű energetikai faültetvényekről származó aprítékból előállított villamos energia becsült szénlábnyomata 60–270 gCO₂e/kWh [45], ami minden esetben alacsonyabb, CCGT esetében kapott 365 gCO₂e/kWh érték.
- 2.) Egy korábbi külföldi jelentésben [46] azt mutatták be, hogy a közvetlen égés két alternatívája - gázosítás és pirolízis - által termelt villamos energia alacsonyabb szénlábnyommal vehető számításba. Az erdészeti maradékanyagokból, vagy a rövid vágásfordulójú ültetvényekről származó faanyag gázosításából származó villamos energia esetében a széndioxid lábnyomok 25 gCO₂e/kWh-t tettek ki [47].
- 3.) Kanadai adatok [48] közvetlenül hő előállítást mutatták be 2013-ban: 110 kgCO₂eq/tonna biomassa, azaz 0,03 kgCO₂eq/kWh nettó kibocsátást feltételeztek biomasszából történő hőelőállítás során
- 4.) A brit kormány a biomasszából történő villamos energia előállításakor a **4. táblázat** kibocsátási tényező értékeit veszi figyelembe.

4. táblázat – Biomassza alapú villamos energiatermelésnél figyelembe vett szén-dioxid kibocsátása az UK-ban (DEFRA [49] adatok) [50]

A biomassza formája	Nettó kibocsátási tényező
Rönkfa	61,523 kgCO ₂ e/t
	0,015 kgCO ₂ e/kWh
Faapríték	56,881 kgCO ₂ e/t
	0,015 kgCO ₂ e/kWh
Fapellet	70,473 kgCO ₂ e/t
	0,015 kgCO ₂ e/kWh

Ha ezeket az adatokat átszámítjuk, akkor egy-egy kiugró értéktől eltekintve 1,7-8 tCO₂e/TJ (jellemzően 1,7-8) közötti értékeket kapunk (figyelembe véve a hő és villamos energia alapanyaga közt fennálló, korábban bemutatott 2,4-es szorzó tényezőt). Látható tehát, hogy az irodalmi értékek meglehetősen eltérőek.

A faalapú energetika alapanyagok EROEI (Energy Returned On Energy Invested) értékének meghatározására irányuló korábbi kutatások [43] alapján Magyarországon mintegy 2-4 tCO₂e/TJ nettó kibocsátással számolhatunk (hasított, valamint erdőről és ültetvényről származó aprított tűzifa esetén). Ez a tartomány jó egyezést mutat a fent bemutatott irodalmi értékekkel, ezért a kibocsátási számítások során a magyarországi sajátosságokat figyelembe véve a **faalapú energetikai alapanyagok kibocsátása** esetében 4 tCO₂e/TJ értéket célszerű figyelembe venni.

4.3.4. Az üzemi anyagmozgatásból származó kibocsátások

Az üzemben belüli anyagmozgatások jelentős része alapvetően jellemzően nem különíthető el a termelő gépek és egyéb üzemi folyamatok (jellemzően elektromos) energiaszükségletétől. Ezeken túlmenően számolnunk kell még a pályához nem kötött, benzines vagy dízeles anyagmozgató berendezések (targoncák, teherautók, stb.) üzemben belüli használatával. A villamos energia felhasználásához és a hő előállításához képest ezek kibocsátása jellemzően elenyésző. Ebben az esetben még nehezebb a fogyasztásokat és kibocsátásokat adott termékhez rendelni, itt is valamilyen súlyozott átlag eloszlást kell alkalmazni. A kibocsátások számításához a fosszilis energiahordozókról szóló fejezetet, illetve a **3. táblázatot** lehet alapul venni.

4.4. Hulladékgazdálkodás

Az ipari folyamatok természetes velejárója a különböző hulladékok, melléktermékek keletkezése. Amennyiben lehetséges, a hulladékok minimalizálása, illetve a keletkezett melléktermékek minél teljesebb körű hasznosítása nem csupán környezetvédelmi

okokból kívánatos, de gazdaságossági szempontból is előnyös a cég számára. A faipar ilyen szempontból is előnyös helyzetben van, tekintve, hogy a fa és faalapú anyagok jól újrahasznosíthatók, akár üzemben belül, akár azon kívül.

Az egyéb anyagok – pl. műanyagok, fém, üveg, stb. – hulladékai sok esetben nem, vagy nem könnyen hasznosíthatók újra. Legrosszabb esetben gondoskondi kell a megsemmisítésükről, illetve – különösen veszélyes hulladékok, pl. vegyszerek, kémiai anyagok esetén – az ártalmatlanításukról. A hulladékok megsemmisítése és ártalmatlanítása szintén kibocsátással jár, amit figyelembe kell venni a szénlábnyom meghatározásakor.

A hulladékkezelés szénlábnyomának a meghatározása különösen nagy kihívást jelent. A hulladékok kezelésére nagyon sok módszer létezik az újrahasznosítástól a bakteriális lebontáson és égetésen keresztül egészen a – jellemzően legrosszabb alternatívaként számon tartott – hulladéklerakásig (deponálás). Az alkalmazott megoldásokon belül is sokféle technológiai lehetőség létezik, aminek a függvényében nagyon eltérő környezetterhelés és kibocsátás értékekre juthatunk.

Sajnos a hazai szakirodalomban nehéz konkrét adatot találni a hulladékkezelés szénlábnyomára. Nemzetközi források is nagyon eltérő eredményeket adnak, de legalább találunk adatokat a hulladékgazdálkodás különböző módozataira [51]:

- Hulladékbegyűjtés és szállítás: 0,04 ... 0,004 tCO_{2e} / t
- Újrahasznosítás: -19,3 ... -0,06 tCO_{2e} / t
- Komposztálás: -0,6 ... 1,7 tCO_{2e} / t
- Anaerob bakteriális lebontás: -0,01 ... -0,004 tCO_{2e} / t
- Égetés (potenciális energetikai hasznosítással): -0,22 ... 0,53 tCO_{2e} / t
- Lerakás: 0,02 ... 2,53 tCO_{2e} / t

Mint a fenti tartományokból látható, különböző tanulmányok jelentősen eltérő eredményekre jutottak a hulladékkezelés szénlábnyomával kapcsolatban. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy nem mindig ismert a (nem szelektíven gyűjtött) hulladék kezelésének a pontos módja. Amennyiben nem rendelkezünk erről pontos információkkal, hazai viszonyok között sajnos még ma is legjellemzőbb a hulladéklerakás. Ennek feltételezése – lévén a legmagasabb szénlábnyomú megoldás – konzervatív megközelítést jelent. A tartományon belül az átlagosnál kissé magasabb értéket felvéve (beleszámítva a begyűjtés és szállítás hatását is) **1,5 tCO_{2e} / t szénlábnyommal számolhatunk.**

4.5. Egyéb környezetterhelések figyelembe vétele

A korábbiakban bemutatott folyamatok és szennyezési források mellett több olyan tényező van, amelyet potenciálisan figyelembe kell venni a szénlábnyom meghatározásakor. A faipari üzemekben ezek jellemzően jóval kisebb nagyságrendet képviselnek, mint a korábbiakban bemutatott jelentősebb szennyezési források. Elsősorban akkor kell ezeket figyelembe venni, ha valamilyen oknál fogva komolyabb szennyezési forrást jelentenek, egyéb esetekben tipikusan elhanyagolhatóak. Az alábbiakban néhány ilyen lehetséges kibocsátási forrást nevezünk meg, a teljesség igénye nélkül:

- Vízfelhasználás, szennyvízkezelés: a legtöbb faipari üzemben nem jelentős kibocsátási tényező, azonban bizonyos esetekben – pl. ragasztóüzemi szennyvíz, permetezéssel vagy medencés rönktárolás, stb. – számottevő mennyiséget használnak, vagy jelentős szennyeződés léphet fel. A víz, fogyasztási helyre történő juttatása, majd a szennyvíz tisztítása energiát igényel. Ezen energiaigény minden vízszolgáltató esetén más és más, hiszen erősen függ a területi adottságoktól és az alkalmazott technológiáktól. Erre vonatkozóan elég kevés irodalom áll rendelkezésre. Az Egyesült Királyságban a vízszolgáltatás ökológiai lábnyoma 289 g CO₂ a szolgáltatott víz 1 m³-ére, a szennyvízkezelés esetében ugyanez 406 g CO₂ a szennyvíz minden m³-ére. [52] Egy másik irodalomban kezeléssel, tehát szennyvíztisztítással együtt 590 gCO₂/m³ értéket vesznek figyelembe. [53]
Magyarországi adatok csak elvétve találhatók. A Szegedi Vízmű Zrt. kapcsán megtalálhatók energiafelhasználási adatok a 2017-es évre vonatkozóan. [54] Az energiafelhasználási és az éves átlagos vízfogyasztási adatok alapján **0,514 kgCO₂e/m³ érték számítható**. Ez az adat illeszkedik más szakirodalmi adatokhoz, és jól használható, ha nem áll rendelkezésre az adott geográfiai területre vonatkozó adat.
- Irodai, közösségi tevékenység: itt elsősorban elektromos energia felhasználás, fűtés, esetleg vízhasználat jön szóba. Általában nem különíthető el az ipari tevékenységekből származó kibocsátástól, így abba automatikusan beleszámítódik.
- Karbantartás: a karbantartó üzem tevékenysége nem kapcsolódik közvetlenül a cég alaptevékenységéhez, de, mivel a gyártó tevékenységet szolgálja ki, az ezzel kapcsolatos kibocsátások is beleszámítanak a cég vagy a termékek szénlábnyomába. Ugyanakkor a karbantartóüzem fogyasztása (beleértve az energiafogyasztást és az anyagáramlást) ritkán különül el a gyártóüzemtől, így eleve figyelembe vesszük a szénlábnyom számításnál. Ha mégis elkülönül, akkor az ezzel kapcsolatos kibocsátásokat külön kell

számítani, majd valamilyen szempont szerint elosztani és hozzárendelni az egyes gyártási folyamatok, vagy termékek szénlábnyomához.

- Beruházás, amortizáció: szigorúan véve, mivel a gyártó berendezések, sőt, a gyártócsarnokok és egyéb infrastrukturális beruházások elsősorban, ha nem kizárólag a cég ipari tevékenységét, a termékek előállítását szolgálják, az ezekkel kapcsolatos kibocsátásokat is figyelembe kellene venni a szénlábnyom elemzésben. Ez azonban már általában olyan messzire vezet (hiszen bizonyos mértékig a beruházáshoz szükséges beruházásokat, és az azokhoz szükséges beruházásokat is figyelembe kellene venni, stb.), illetve olyan nehéz róla adatokat szerezni, hogy ezeket nagyon ritkán szokták beleértetni a szénlábnyom számításokba.
- Egyéb tényezők: az adott ipari folyamattól, a gyártás helyszínétől, és egyéb speciális körülményektől függően további tényezők is számításba kerülhetnek. Ilyen pl. a dolgozók munkába jutásának szénlábnyoma, amely a távolságtól és a közlekedés módjától is függően általában elhanyagolható, de egyes speciális esetben (mint pl. a korábban már említett példában) jelentős tényező lehet. Itt nyilván nem lehet minden ilyen lehetőségre kitérni, de törekedni kell arra, hogy az esetleges egyéb tényezőket feltárjuk, és, amennyiben a hatása jelentős lehet, a szénlábnyom számítás során figyelembe vegyük.

4.6. Használat, megsemmisítés, újrahasznosítás

Ez a segédlet elsősorban egy bölcsőtől-kapuig jellegű elemzés lépéseit ismerteti, így a termékek használatához kapcsolódó kibocsátásokra nem térünk ki részletesen. Amennyiben valaki teljes életciklus elemzést (bölcsőtől-koporsóig, vagy bölcsőtől-bölcsőig) kíván végezni, figyelembe kell venni a további, potenciálisan kibocsátással járó folyamatokat is, mint például:

- a termék kiszállítása
- a termék be- és/vagy összeszerelése, üzembe helyezése
- a termék használata
- a termék karbantartása, javítása
- a feleslegessé vált termék elszállítása, megsemmisítése vagy újrahasznosítása.

Míg az üzemben belüli, és az azt megelőző folyamatok szénlábnyomáról általában jó információkkal rendelkezünk, vagy legalább többé-kevésbé reális feltételezésekkel élhetünk, az életciklus további szakaszait illetően általában kénytelenek nagyon elnagyolt feltételezésekkel élni (pl. a szállítási távolságok, termék élettartam,

karbantartás, és a termék sorsa az életciklus végén.) A legtöbb faipari termék (pl. bútorok, belsőépítészeti elemek, építőanyagok) esetében a gyártáshoz képest ezek viszonylag alacsony kibocsátással járnak, de egyes esetekben (pl. kőház gyártás) pl. jelentős használati energiafelhasználással kell számolni.

5. Szénlábnyom-számítási útmutató

Ebben a fejezetben az előzőleg bemutatott módszertant egy konkrét példán keresztül szemléltetjük. A példa, amely egy forgácslapgyár szénlábnyom-elemzésének lépéseit ismerteti, egy valós szénlábnyom-elemzési tanulmányon alapszik, de az adatokat, és részben a termékszerkezetet is megváltoztattuk. Hangsúlyozzuk, hogy a bemeneti adatok fiktívek; különösen igaz ez az alkalmazott anyagmennyiségekre, amelyek technológiailag semmiképpen sem helytálló receptúrákat eredményeznének. (Ennek oka, hogy az útmutató célja nem a technológia, hanem a szénlábnyom elemzés módszerének a bemutatása, az eredeti technológiai adatok pedig ipari titoknak minősülnek.)

5.1. Az üzem bemutatása

Az elemzés tárgyát képező üzem egy forgácslapgyár, amely eredetileg csak szerves kötésű nyers forgácslapok gyártásával foglalkozott, később bővítette a termékskálát, és ma szervetlen kötésű (CK) forgácslapok, valamint felületborított (laminált, magasfényű és furnérozott) lemezek gyártásával is foglalkozik. A 2019-es termelési adatokat az 5. táblázatban láthatjuk. A táblázatban szereplő összes forgácslap mennyiség magában foglalja a később részletezett különböző termékeket (kvv. CK lapok). A felületborított lemezek esetén a térfogat mellett megadjuk a felületet is, ami a laminátum illetve furnérmennyiségek számításához lesz majd szükséges. Ezeket az adatokat az elemzés során az üzemi logisztikai nyilvántartásból lehet kinyerni.

5. táblázat – A cég 2019-es termelési adatai (fiktív mennyiségek)

Termék	Mennyiség (m ³)	Felület (m ²)
Összes forgácslap, amiből:	314 380	
Nyers forgácslap (NYF)	79 880 (25,4%)	
Laminált forgácslap (LF)	195 400 (62,2%)	10 855 556
Magasfényű forgácslap (MFF)	16 760 (5,3%)	931 111
Furnérozott forgácslap (FF)	22 340 (7,1%)	1 241 111
Cementkötésű forgácslap (CKF)	32 250	

Az alkalmazott alapanyagok közül a CK lapok gyártásához felhasznált faanyagot a cég elkülönítve kezeli és tartja nyilván, tekintve, hogy ehhez csak bizonyos fafajok megfelelőek. A maradék faanyag, mely több különböző forrásból származik, túlnyomó részt beépül a szerves kötésű forgácslapokba, egy kisebb része pedig biomassa energia előállítására fordítódik. Az impregnáláshoz és lamináláshoz szükséges papír,

műgyanta és egyéb segédanyagok, valamint a furnérozáshoz használt ragasztó és furnér mennyisége a precíz üzemi logisztikai nyilvántartások alapján pontosan hozzárendelhető az egyes gyártási folyamatokhoz, illetve ez alapján az egyes termékekhez. Az alapanyagok bemeneti adatait és a hozzájuk kapcsolódó szénlábnym számításokat a 4.2. fejezetben részletezzük.

A gyár működését tekintve több elkülönülő egységre bontható, úgy, mint forgácslap üzem, impregnáló csarnok, lamináló csarnok, furnérozó, illetve CK üzem. Ezek az egységek önálló elektromos mérőórával vannak felszerelve, tehát az elektromos fogyasztás elkülöníthető. A fűtéshez használt földgáz- illetve biomassza energia szintén viszonylag jól elkülöníthető, mivel az egyes technológiai folyamatok hőigényék jellemzően külön kazánok illetve hőcserélők elégítik ki; csak a technológiai hő egy kisebb részének és a relatív kevésbé jelentős kommunális hő biztosításához szükséges melegvizes rendszerhez tartozó fogyasztás nem különíthető el; ezt a részt az üzem becslése alapján osztották szét, és ennek megfelelően üzemegységenként biztosították az elemzéshez. Az üzemen belüli logisztika (a targoncák fogyasztása) nem volt csarnokonként vagy termékenként lebontható; ezt a gyártott mennyiségek arányában osztottuk szét. A különböző energiafélések szénlábnymát a 4.3. fejezet mutatja be, míg a 4.4. fejezet az egyéb kibocsátási forrásokat veszi számba.

5.2. Az alapanyagok szénlábnyma

Az 5.1. fejezetben leírtaknak megfelelően a számítási példában külön kezeljük a különböző fa- és faalapú anyagokat (ez utóbbihoz tartozik a papír is), amelyek, amennyiben tartamos erdőgazdálkodásból származnak (ami európai alapanyagok esetén feltételezhető), a szénmegkötés miatt negatív szénlábnymmal rendelkeznek. Ezt a szénmegkötés értéket csökkenti a faanyag meg- és kitermelése, beszállítása, valamint – furnér és papír esetén – beszállítás előtti feldolgozása során keletkező kibocsátás, amelyet levonva a megkötött CO₂ mennyiségéből megkapjuk a nettó CO₂ megkötést, ami negatív szénlábnymként értelmezhető. A további alapanyagok (ragasztó- és segédanyagok) szénlábnyma pozitív.

5.2.1. A fa- és faalapú anyagok szénlábnyma

Mint az 5.1. fejezetben említettük, az gyár logisztikai nyilvántartásában elkülönül a szerves kötésű és a CK forgácslapok alapanyagát képező faanyag. Az előbbi számos különböző forrásból származik, míg az utóbbit azonos fafajú, fenyő rönkök teszik ki. Szintén ide tartozik a furnérozott forgácslapok gyártásához beszerzett furnér, melynek szénmegkötési potenciálját csökkenti a furnérgyártáshoz kapcsolódó kibocsátás, valamint a KRAFT papír, ahol a gyártáshoz használt farostokban megkötött szénből eredő negatív szénlábnymot jelentősen csökkenti az energaintenzív papírgyártási

folyamat. Az előbbi a furnérozott, az utóbbit pedig részben a laminált, részben a magasfényű forgácslapok szénlábnyomához rendelhetjük.

A szerves kötésű forgácslap gyártásához felhasznált farost forrásokat és anyagmennyiségeket a **6. táblázat** első oszlopaiban láthatjuk. Az üzemi nyilvántartás az abszolút száraz mennyiségeket tartalmazza. A szállítás során természetesen nedves anyagot mozgatunk, így szükségünk van a nedves tömegekre is. Mivel a nedvességtartalom elég változó, és nem ismert az egyes anyagfélések esetében, rönkök és fűrészüzemi hulladékok esetében egy élőnedves állapothoz tartozó, 70 %-os, míg kommunális hulladéknál 12 %-os nedvességtartalmat feltételezünk. A szállítási távolságok a cég munkatársainak becslései.

Az alapanyagban megkötött teljes illetve nettó CO₂ mennyiségek a **6. táblázat** adatai alapján viszonylag könnyen számíthatók. Az eredmények a táblázat jobb oldali oszlopában vannak feltüntetve, míg a számítás módját a lábjegyzetében részleteztük. Mint látható, az erdőgazdálkodás, és a fa alapanyagok szállításának a szénlábnyoma csupán a fában tárolt szén töredék részét teszi ki, így a nettó CO₂ megkötés (amelyet úgy kapunk meg, hogy a tárolt szénből levonjuk ezeket a szénlábnyomokat) még mindig elég magas. **Ez az érték a későbbi számításokban negatív szénlábnyomként jelkentezik.**

Fontos megjegyezni, hogy az alapanyagban tárolt szén nem azonos a termékekbe beépülő szénmennyiséggel. Egyrészt, az itt látható mennyiségek magukban foglalják a biotermék üzemű kazánokban elégetett faanyag legnagyobb részét is (ez jellemzően a gyártási folyamatok során keletkező melléktermékek formájában kerül be a kazánba, de közvetlenül az aprítékhalmbokból is kivehetik). A másik probléma, hogy az adott évben beszerzett alapanyag mennyiségek nem feltétlenül egyeznek meg a forgácslapba beépülő anyagmennyiséggel (mínusz a biotermék energia felhasználás), azaz az év eleji nyitó, és az évvégi záró alapanyag készletek nem feltétlenül azonosak. A **2. ábra** szemlélteti az üzemi anyagáramlást. Mint látható, a különböző alapanyagokból származó anyag az aprítékképzést követően már nem különül el, így onnantól kezdve ezt homogén keverékként értelmezzük.

6. táblázat – a forgácslapgyártáshoz felhasznált anyagmennyiségek; bemenő adatok és nettó CO₂ megkötés

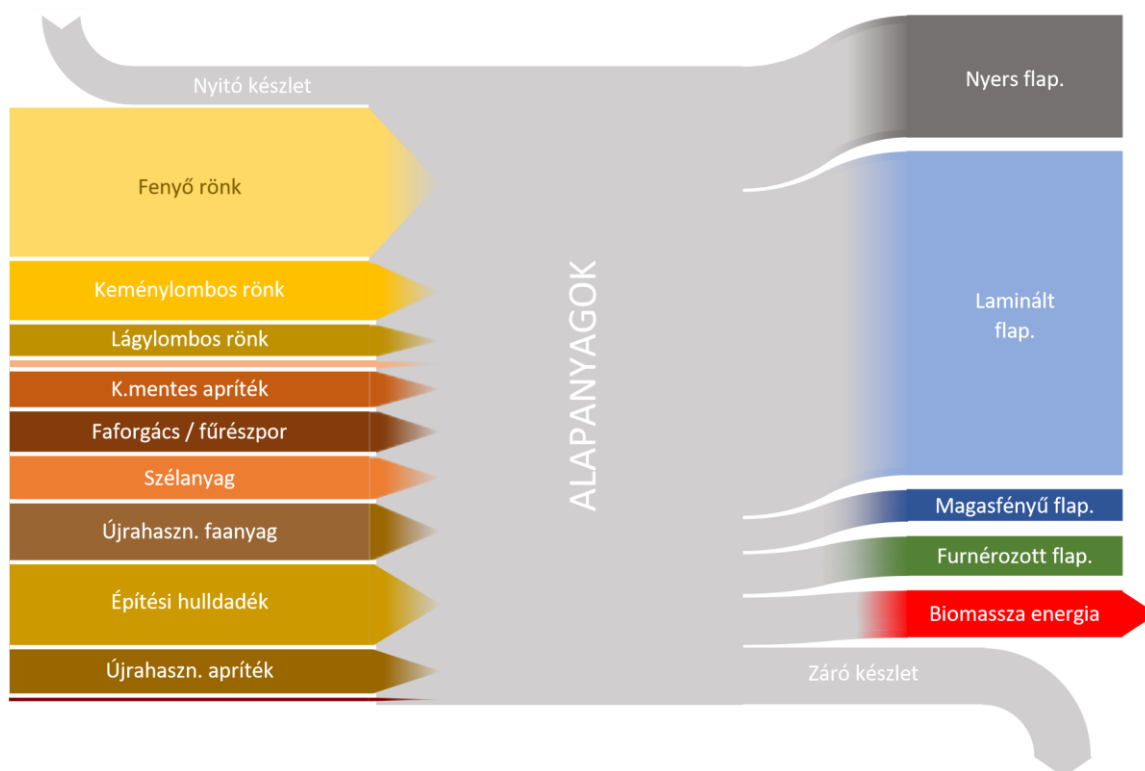
Bemenő adatok				Számított adatok				
Alapanyag	ATRO tömeg (t)	Nedvesség- tartalom	Átl. száll. távolság (km)	Nedves tömeg (t)	Tárolt CO ₂ menny. ^a (t CO ₂)	Erdészeti szénlábn. ^b (t CO ₂ e)	Szállítás szénlábn. ^c (t CO ₂ e)	Nettó CO ₂ megkötés (t CO ₂ e)
Fenyő rönk	60 786	70 %	123	103 232	111 238	11 124	1 775	98 339
Keménylombos rönk	25 047	70 %	85	42 537	45 836	4 584	505	40 747
Lágylombos rönk	14 239	70 %	113	24 183	26 058	2 606	382	23 070
Kéreggel szennyezett apríték	4 161	70 %	153	7 076	7 615	762	151	6 703
Kéregmentes apríték	15 870	70 %	153	26 953	29 043	2 904	577	25 562
Faforgács és rűrészpör	19 356	70 %	153	32 872	35 442	3 542	703	31 176
Szélanyag	11 042	70 %	153	18 752	20 206	2 021	401	17 785
Újrahasznosított faanyag	23 607	12 %	148	26 440	43 201	4 320	547	35 334
Építési apríték másodnyersa.	34 437	12 %	225	38 569	63020	6 302	1213	55 504
Újrahasznosított apríték	11 084	12 %	145	12 415	20 284	2 028	252	18 004
Hulladék forgácslap	625	12 %	188	700	1043	104	18	920
Összesen	220 255				402 967	40 297	6 525	356 145
CK – fenyő rönk	10 458	70 %	60	17 807	19 188	1919	149	17 119

^a a tárolt CO₂ mennyiségét a legtöbb anyag esetében az 50%-os széntartalomból levezetett 1,89-es szorzóval számítottuk az ATRO tömegből (ld. 4.1.1. fejezet).

Hulladék forgácslap esetén 45,1%-nak megfelelő 1,67-es szorzóval számoltunk.

^b beleértve az erdőgazdálkodás és a fakitermelés szénlábnymát. Konzervatív becsléssel, a tárolt CO₂ mennyiség 10 %-a (ld. 4.1.1. fejezet).

^c a nedves tömegből és a szállítási távolságból, 139,8 gCO₂e/t- km kibocsátási tényezővel számítva (ld. 4.2. fejezet)



2. ábra – A fa alapanyagok anyagárama a szerves kötésű forgácslap gyártása során

Sajnos példánkban a nyitó és záró készletekre nézve a cég nem rendelkezik pontos nyilvántartással, így az alapanyagra vonatkozó adatokból nem lehet egyértelműen meghatározni a forgácslapban megkötött CO₂ mennyiséget, illetve az ahhoz rendelhető nettó CO₂ megkötést. Ennek meghatározásához először meg kell becsülni a forgácslapban megkötött szén mennyiségét, hogy utána vissza tudjuk számolni, hogy a beérkezett alapanyag mekkora százaléka került be a termékekbe.

Míg a fa tömegének átlagosan kb. 50%-a szén, faalapú anyagok esetében ez az arány alacsonyabb. Egy 2010-es tanulmányban [55] található adatok alapján forgácslapnál 45,1%-os aránnyal számolhatunk, ami azt jelenti, hogy a forgácslap CO₂ tartalma a lemez tömegének 1,66-szorosa. A cég által gyártott standard forgácslap sűrűsége 650 kg/m³, azaz az éves termelés (314 380 m³) összesen 204 347 t terméknek felel meg, a megkötött CO₂ mennyisége pedig 339 216 t, azaz az összes alapanyagban megkötött összes szén 82,4%-a. Ennek megfelelően a nettó CO₂ megkötés 299 802 t, amely az 5. táblázatban megadott arányok szerint oszlik meg az egyes termékek között.

A szervetlen kötésű (CK) forgácslapok alapanyagait elkülönítve kezeli a cég. Az ehhez tartozó mennyiségeket és a számított szénmegkötést a 6. táblázat utolsó sora tartalmazza. A CK lapokban megkötött szénmennyiség lényegesen alacsonyabb a szerves kötésű lemezekhez képest, mindössze 16,3% (kgC/kg). A megkötött szénmennyiség a receptúrából számítható. A lemezek sűrűsége 1350 kg/m³, így az éves termelés (32 250 m³) 43 538 t, amiből kiszámítható a széntartalom és a megkötött CO₂

mennyisége; ez utóbbi 19 219 t. Ez csak minimálisan tér el az alapanyagban megkötött szén mennyiségétől, így feltételezhető, hogy a teljes beszerzett mennyiség beépült a termékekbe, azaz a CK lapokban megkötött nettó szénmennyiség 17 119 t.

A forgácslapok furnérozásához beszerzett 0,5 mm vastag fenyő színfurnér szénlábnyomának számítását a 7. táblázat tartalmazza. A furnérok a forgácslap alapanyagokhoz hasonlóan negatív szénlábnyommal rendelkeznek, az anyagban megkötött CO₂ miatt. A nettó CO₂ megkötés számításához az erdészeti és szállítási tevékenység mellett figyelembe kell venni a furnérgyártás szénlábnyomát is. Erre nézve sajnos nem találtunk irodalmi értékeket. A furnérgyártás energiaszükséglete összemérhető a fűrészáru gyártásával, azonban a hidrotermikus rönkelőkészítés energaintenzív és vízigényes folyamat. Emiatt a kibocsátási tényező meghatározásakor a fenyő fűrészárura vonatkozó értéket módosítottuk olyan módon, hogy a gyártási kibocsátást másfélszeresére növeltük. A külföldről beszerzett furnérok viszonylag magas szállítási távolsága miatt itt a szállításból eredő kibocsátás is viszonylag magas.

7. táblázat – A felhasznált 0,5 mm vastag fenyő színfurnér szénlábnyoma

		Vásárolt:	Felhasznált:
Bemenő adatok	A furnér mennyisége	2692000 m ²	2482222 m ²
		13460 m ³	12411 m ³
	Nedvességtartalom	10%	
	Szállítási távolság:	895 km	
Számított eredmények	ATRO tömeg:		6019,4 t
	Megkötött CO ₂ mennyiség		11015,5 tCO ₂
	Fajlagos nettó CO ₂ megkötés*:		0,7071 tCO ₂ e / m ³
	Nedves tömeg:	7180,9 t	
	Szállítási kibocsátás:	898,5 tCO ₂ e	
	Nettó CO₂ megkötés:		7877,8 tCO₂e

* az 1. táblázat fenyő fűrészárura vonatkozó értékeinek módosításával.

A furnérozott forgácslap nettó szénmegkötéséhez csak a felhasznált furnérmennyiséggel számoltunk (a forgácslap felületének kétszerese). Természetesen a cég ennél több furnérterítéket szerzett be a vizsgált időszakban (nagyobb furnérterítékek). Az extra furnér eltávolítás után energetikai hasznosításra került, így itt nem számolunk vele, azonban a szállítási környezetterhelésbe az extra furnér beszállítását is beszámítottuk a 7. táblázatban feltüntetett nettó CO₂ megkötés érték kiszámításakor.

A laminált és magasfényű lemezek gyártásához felhasznált KRAFT papír szintén faanyagból származó szenet tartalmaz, tehát a szénlábnyoma negatív. Ebben az esetben viszont, a viszonylag alacsonyabb széntartalom, és az energaintenzív gyártási folyamat miatt a nettó CO₂ szénmegkötés alacsonyabb. A **8. táblázat** tartalmazza a felhasznált papír mennyiségét és a szénlábnyom számítást, lebontva a kétféle lemez esetében. Amint látható, a termékekbe beépülő papír tekintetében szintén pozitív CO₂ megkötéssel (azaz negatív szénlábnyommal) számolhatunk, azonban ennek aránya jóval alacsonyabb a teljes megkötött CO₂ mennyiséghez képest. (Megj.: a papír esetében nem sikerült pontosan megállapítani a gyártási hulladék anyag arányát. A technológus tájékoztatása szerint a hulladék arány viszonylag alacsony ezért a teljes papírmennyiséget beépülőnek tekintettük.)

8. táblázat – A KRAFT papír szénlábnyoma

		Laminált flap.:	Magasfényű:
Bemenő adatok	A felhasznált papír mennyisége	23 882 222 m ²	3 910 667 m ²
	Fajlagos tömeg	85 g/m ²	
	Szárazanyag tartalom	0,9	
	Szállítási távolság:	345 km	
Számított eredmények	Tömeg:	1827,0 t	299,2 t
	Fajlagos széntartalom ^[18] :	0,386 tC/t	
	Széntartalom:	705,2 t	115,5 t
	A megkötött CO ₂ mennyiség:	2588,2 t	423,8 t
	Fajlagos gyártási kibocsátás ^[27] :	0,955 tCO ₂ e/t	
	Gyártási kibocsátás:	1744,8 tCO ₂ e	285,7 tCO ₂ e
	Szállítási kibocsátás:	88,1 tCO ₂ e	14,4 tCO ₂ e
	Nettó CO₂ megkötés:	755,3 tCO₂e	123,7 tCO₂e

5.2.2. Kötő- és segédanyagok

A különböző formában megjelenő, farost tartalmú alapanyagok mellett a gyártás során más anyagokat is felhasználnak a forgácslapok előállításához. Ide tartoznak a kötő- és impregnáló anyagok, katalizátorok, modifikáló anyagok, formaleválasztók, stb.

A kötőanyagok jellemzően szerves anyagok (kivéve a CK lapokhoz alkalmazott cementet), és a végtermékben jelentős arányban megtalálhatók. Sajnálatos módon ezek az anyagok jellemzően fosszilis forrásból származnak, így a széntároló képességük nem vehető figyelembe. A gyártásuk ezzel szemben energaintenzív folyamat, amely jelentősen hozzájárul az üvegház hatású gázok kibocsátásához.

A további vegyi anyagok viszonylag kis mennyiségekben vannak jelen. Ezek egy része (pl. a vízállóság javításához alkalmazott paraffin) egyszerű, egykomponensű anyag, melynek egyszerűen számítható a szénlábnyoma. Más anyagok, mint pl. az edzők és formaleválasztók, jellemzően több összetevőt tartalmaznak, és pontos összetételük sem feltétlenül ismert. Ezeknél kénytelenek vagyunk egyszerűsítő feltételezéseket, vagy akár durva becsléseket alkalmazni. Ezzel növeljük a szénlábnyom-meghatározás bizonytalanságát, azonban, a minimális mennyiségek miatt ez kevésbé befolyásolja a vizsgált termékek szénlábnyomát.

Számítási példánkban több ilyen anyag is szerepel. Az alkalmazott anyagmennyiségek gyártó üzemek és termékek szerinti lebontását a **9. táblázat** tartalmazza. Az egyes anyagok kibocsátási tényezőit az alábbiak szerint vettük fel:

- A Karbamid- és Fenol-Formaldehid műgyanta, illetve a CK lapokhoz felhasznált cement gyártási kibocsátási tényezői az angol Bath University adatbázisából származnak. [26]
- Az egyszerű vegyszerek, mint paraffin, ammonium-nitrát, vízüveg, karbamid és butándiol kibocsátási tényezőit az EcoInvent 2.2 adatbázisból vettük (elérhető a carbonfootprint.com oldalról).
- Az egyéb anyagok – edzők, formaleválasztók, modifikáló szerek – összetétele ismeretlen. Ezen anyagoknál a Brit kormány 2018-as útmutatójának ^{Hiba! A könyvjelző nem létezik.} anyaghasználati szekciójában található „Műanyagok: átlagos műanyagok” megnevezésű tételhez tartozó értéket vettük alapul. Ez a viszonylag magas érték vélhetőleg konzervatív becslést eredményez ezen anyagok szénlábnyomának tekintetében.

A cementtől eltekintve a többi anyag pontos beszállítási távolsága ismeretlen volt, így ezeknél az anyagoknál 150 km szállítást feltételeztünk.

9. táblázat – a különböző üzemegységekben felhasznált kötő- és segédanyag mennyiségek, lemezfelületenként lebontva (t)

Üzem- egységek Kötő- és segédanyagok	Forgácslapgyártás						Laminálás + Impregnálás			Furé- rozás	CK gyártás
	Összes	Nyers flap.	Laminált	Magasf.	Furn.		Összes	Laminált	Magasf.		
MF:KF = 1:8	13 658,5	3 470,5	8 489,3	728,2	970,6						
Paraffin emulzió	465,3	118,2	289,2	24,8	33,1						
Ammónium-nitrát	530,2	134,7	329,5	28,3	37,7						
Formalevlasztó	16,1	4,1	10,0	0,9	1,1						
Karbamid	1560,2	396,4	969,7	83,2	110,9						
KF műgyanta							1 826,3	1 608,7	217,6	204,4	
MF műgyanta							1 457,8	1 168,4	289,4		
Butándiol							50,4	48,1	2,3		
KF edző							16,3	14,3	2,0	1,3	
MF edző							16,4	13,8	2,6		
Modifikáló szer							145,0	121,9	23,0		
Térhálósító							36,3	30,5	5,8		
Portland cement											19 132,3
Vízüveg											647,0

^a a tárolt CO₂ mennyiségét a legtöbb anyag esetében az 50%-os széntartalomból levezetett 1,89-es szorzóval számítottuk az ATRO tömegből (ld. 4.1.1. fejezet). Hulladék forgácslap esetén 45,1%-nak megfelelő 1,67-es szorzóval számoltunk.

^b beleértve az erdőgazdálkodás és a fakitermelés szénlábnymát. Konzervatív becsléssel, a tárolt CO₂ mennyiség 10 %-a (ld. 4.1.1. fejezet).

^c a nedves tömegből és a szállítási távolságból, 139,8 gCO₂e/t- km kibocsátási tényezővel számítva (ld. 4.2. fejezet)

A **10-14. táblázatok** foglalják össze a kötő- és segédanyagok szénlábnyomát, termékféleségenként lebontva.

10. táblázat – A nyers faforgácslap gyártásához felhasznált kötő- és segédanyagok szénlábnyoma

Kötő- és segédanyagok	Menny. (t)	Szállítás (km)	Kibocs. tényező tCO ₂ e/t	Gyártás szénlábny. tCO ₂ e	Szállítás szénlábny. tCO ₂ e	Összes szénlábny. tCO ₂ e
MF:KF = 1:8	3 470,5	150	2,920	10 133,8	72,8	10 206,5
Paraffin emulzió	118,2	150	0,829	98,0	2,5	100,5
Ammonium-nitrát	134,7	150	8,553	1 152,1	2,8	1 155,0
Formalevlasztó	4,1	150	3,119	12,8	0,1	12,9
Karbamid	396,4	150	3,310	1 312,2	8,3	1 320,5
Összesen:				12 708,8	86,5	12 795,3

11. táblázat – A laminált forgácslap gyártásához felhasznált kötő- és segédanyagok szénlábnyoma

Kötő- és segédanyagok	Menny. (t)	Szállítás (km)	Kibocs. tényező tCO ₂ e/t	Gyártás szénlábny. tCO ₂ e	Szállítás szénlábny. tCO ₂ e	Összes szénlábny. tCO ₂ e
MF:KF = 1:8	8 489,3	150	2,920	24 788,9	178,0	24 966,9
Paraffin emulzió	289,2	150	0,829	239,8	6,1	245,8
Ammonium-nitrát	329,5	150	8,553	2 818,3	6,9	2 825,2
Formalevlasztó	10,0	150	3,119	31,2	0,2	31,4
Karbamid	969,7	150	3,310	3 209,8	20,3	3 230,1
KF műgyanta	1 608,7	150	2,760	4 440,1	33,7	4 473,8
MF Műgyanta	1 168,4	150	4,190	4 895,6	24,5	4 920,1
Butándiol	48,1	150	4,354	209,5	1,0	210,5
KF edző	14,3	150	3,119	44,5	0,3	44,8
MF edző	13,8	150	3,119	43,0	0,3	43,3
Modifikáló szer	121,9	150	3,119	380,4	2,6	382,9
Térhálósító	30,5	150	3,119	95,2	0,6	95,9
Összesen:				41 196,1	274,6	41 470,7

12. táblázat – A magasfényű forgácslap gyártásához felhasznált kötő- és segédanyagok szénlábnyma

Kötő- és segédanyagok	Menny. (t)	Szállítás (km)	Kibocs. tényező tCO ₂ e/t	Gyártás szénlábnym. tCO ₂ e	Szállítás szénlábnym. tCO ₂ e	Összes szénlábnym. tCO ₂ e
MF:KF = 1:8	728,2	150	2,920	2 126,2	15,3	2 141,5
Paraffin emulzió	24,8	150	0,829	20,6	0,5	21,1
Ammonium-nitrát	28,3	150	8,553	241,7	0,6	242,3
Formalevlasztó	0,9	150	3,119	2,7	0,0	2,7
Karbamid	83,2	150	3,310	275,3	1,7	277,1
KF műgyanta	217,6	150	2,760	600,5	4,6	605,1
MF Műgyanta	289,4	150	4,190	1 212,6	6,1	1 218,6
Butándiol	2,3	150	4,354	10,0	0,0	10,1
KF edző	2,0	150	3,119	6,3	0,0	6,3
MF edző	2,6	150	3,119	8,2	0,1	8,2
Modifikáló szer	23,0	150	3,119	71,8	0,5	72,3
Térhálósító	5,8	150	3,119	18,0	0,1	18,1
Összesen:				4 593,8	29,5	4 623,3

13. táblázat – A furnérozott forgácslap gyártásához felhasznált kötő- és segédanyagok szénlábnyma

Kötő- és segédanyagok	Menny. (t)	Szállítás (km)	Kibocs. tényező tCO ₂ e/t	Gyártás szénlábnym. tCO ₂ e	Szállítás szénlábnym. tCO ₂ e	Összes szénlábnym. tCO ₂ e
MF:KF = 1:8	970,6	150	2,920	2 834,1	20,4	2 854,5
Paraffin emulzió	33,1	150	0,829	27,4	0,7	28,1
Ammonium-nitrát	37,7	150	8,553	322,2	0,8	323,0
Formalevlasztó	1,1	150	3,119	3,6	0,0	3,6
Karbamid	110,9	150	3,310	367,0	2,3	369,3
KF műgyanta	204,4	150	2,760	564,0	4,3	568,3
KF edző	1,3	150	3,119	4,1	0,0	4,1
Összesen:				4 122,4	28,5	4 150,9

14. táblázat – A CK forgácslap gyártásához felhasznált kötő- és segédanyagok szénlábnyma

Kötő- és segédanyagok	Menny. (t)	Szállítás (km)	Kibocs. tényező tCO ₂ e/t	Gyártás szénlábnym. tCO ₂ e	Szállítás szénlábnym. tCO ₂ e	Összes szénlábnym. tCO ₂ e
Portland cement	19 132,3	236	0,950	18 175,7	631,2	18 806,9
Vízüveg	647,0	150	1,097	709,8	13,6	723,3
Összesen:				18 885,4	644,8	19 530,2

15. táblázat – Az alapanyagok összesített szénlábnyma

	Nyers flap.	Laminált flap.	Magasf. flap.	Furn. flap.	CK flap.
Faaanyag	-90 492,0	-221 358,7	-18 986,5	-25 307,8	-17 119,4
Furnér				-7 877,8	
Papír		-755,3	-123,7		
Segédanyagok	12 795,3	43 253,8	4 915,3	4 150,9	19 530,2
Összes szénlábnym:	-77 696,7	-178 860,1	-14 194,9	-29 034,7	2 410,8
Termék menny. (m ³)	79 880	195 400	16 760	23 581*	32 250
<i>Fajlagos szénlábnym (tCO₂/m³)</i>	<i>-0,973</i>	<i>-0,915</i>	<i>-0,847</i>	<i>-1,231</i>	<i>0,075</i>

* A furnérozott forgácslap térfogata a vastagságnövekedés következtében megnövekszik.

5.2.3. Az alapanyagok összesített szénlábnyma

Az 5.2.1. fejezetben megvizsgáltuk a fa- és farost tartalmú alapanyagokban megkötött szén, és kiszámítottuk a nettó CO₂ megkötés értékét, ahol is figyelembe vettük az erdőgazdálkodás, fakitermelés, szállítás, és – furnérok illetve papír esetében – a feldolgozás szénlábnymát. Az így megkapott érték negatív szénlábnymként vehető figyelembe. Az 5.2.2. fejezet tartalmazza a gyártás során felhasznált kötő- és segédanyagok szénlábnym számításait. A 15. táblázat összesíti az így kapott eredményeket.

Amint a táblázatból látható, az egyes termékekben felhasznált alapanyagok összesített szénlábnyma továbbra is erősen negatív. Kivételt képez ez alól a cementkötésű forgácslap, amelynél a nagy mennyiségű, jelentős ÜHG. kibocsátással gyártott cement ellensúlyozza a fában megkötött széndioxid mennyiségét, így az alapanyagok szénlábnyma már kis mértékben pozitív.

5.3. Energiafelhasználás

Ebben a fejezetben bemutatjuk az üzemben felhasznált energiahordozók szénlábnymát. Az energiahordozóknál minden esetben primer energia értékeket vesszük figyelembe, amelyekhez a 4.3. fejezetben bemutatott kibocsátási tényező értékeket alkalmazzuk.

5.3.1. A felhasznált energiahordozók és azok elosztása az üzemegységek között

A gyártás során a berendezések üzemeltetéséhez és a világításhoz elektromos áramot, a fűtéshez (ipari és kommunális hő biztosítása) földgáz és biomassa energia alapú fűtőberendezéseket, az üzemben belüli anyagmozgatáshoz pedig gázolajat és PB gázt használnak. A felhasznált energiahordozók mennyiségét a **16. táblázatban** összesítettük.

A szénlábnyom-elemzés során sok esetben, így a mi példánkban is kihívást jelent az energiatermeléshez kapcsolódó kibocsátások elosztása az egyes termelési folyamatok, illetve termékek között. A mi esetünkben szerencsés körülmény, hogy az egyes üzemcsarnokok külön elektromos mérőórával rendelkeznek, így a különböző folyamatokhoz felhasznált elektromos energia mennyiségéről pontos adatokkal rendelkezünk (ld. **16. táblázat**.)

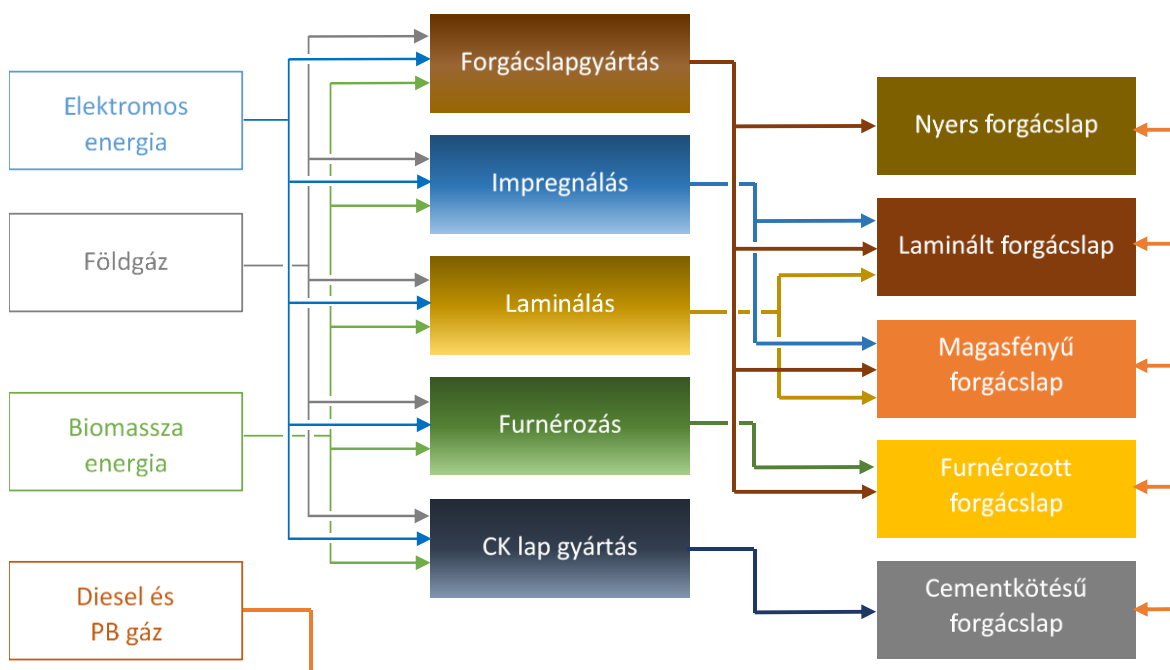
16. táblázat – A forgácsológyárban felhasznált energiahordozók mennyisége

Megnevezés	M.e.	Össz.	Forgács- lap gy.	CK flap. gyártás	Impreg- náló	Lami- náló	Furné- rozó
Elektromos energia	MWh	62 624	50 287	6 137	4 321	1 440	438
	GJ	225 445	181 032	22 094	15 556	5 185	1 578
Földgáz	MWh	40 848	26 551	7 353	1 838	4 902	204
	GJ	147 051	95 584	26 469	6 617	17 646	735
Biomassa energia	t	19 185	12 470	3 453	863	2 302	96
	MWh	84 414	54 869	15 195	3 799	10 130	422
	GJ*	303 890	197 529	54 700	13 675	36 467	1 519
Gázolaj	t	337					
	MWh	4 029					
	GJ	14 506					
PB Gáz	kg	2 816					
	MWh	37					
	GJ	133					
<i>Összesen</i>	<i>MWh</i>	<i>191 952</i>	<i>131 707</i>	<i>28 684</i>	<i>9 958</i>	<i>16 472</i>	<i>1 065</i>
	<i>GJ</i>	<i>691 026</i>	<i>474 144</i>	<i>103 263</i>	<i>35 848</i>	<i>59 298</i>	<i>3 833</i>

* A biomassa fűtőértéke összetételtől függően változó; számításainkban 15,84 GJ/t értéket vettünk figyelembe.

A különböző ipari folyamatok hőszükségletének előállításához és az épületek fűtéséhez a cég fejlődése során különböző fűtőrendszereket – pl. tisztán földgázüzemű fűtés, földgáz-biomassza vegyes üzemű kazán, kisebb biomassza generátorok a fűtőolaj melegítésére és a fűtésre, stb. Sajnos ezeknek a fogyasztását nem mérik külön-külön, és egy-egy berendezés sokszor több üzemet is kiszolgál, így lehetetlen elkülöníteni, hogy az egyes csarnokok hőszükségletének előállításához pontosan mennyi földgáz, illetve mennyi biomassza tüzelőanyagot használnak fel. Ehelyett az üzem technológusa becsülte meg azt, hogy a fűtési energia milyen arányban oszlik meg az üzemegységek között. A földgázt és a biomassza energiát is ennek megfelelően osztottuk fel, ezt tükrözik a **16. táblázatban** található értékek.

Az anyagmozgatás energiaszükséglete nagyságrendekkel alacsonyabb, mint az elektromos és a fűtési energiaszükséglet. Ezt az energiamennyiséget végképp lehetetlen pontosan felosztani az egyes üzemegységek között; ehelyett az anyagmozgatásból származó kibocsátásokat közvetlenül a termékekhez rendeljük, azok tömegének arányában.



3. ábra – Az egyes energiahordozók felhasználása (vékony vonal), és az üzemegységek kibocsátásainak hozzárendelése a különböző termékekhez (vastag vonal)

5.3.2. Az egyes folyamatok energiafelhasználásból eredő kibocsátásai

A **16. táblázat** tartalmazza az energiafelhasználás lebontását gyártóegységek (gyártási folyamatok) szerint (kivéve az üzemi logisztika energiafelhasználását). Az energiafelhasználásból eredő kibocsátásokat a megfelelő kibocsátási tényezők segítségével át tudjuk számítani primer energia szintű egyenértékű kibocsátássá. Az alkalmazott kibocsátási tényező érték elektromos energia esetében 87,2 kgCO_{2e}/GJ (0,314 kgCO_{2e}/kWh), földgáz esetében 56,1 kgCO_{2e}/GJ biomassa energia esetében pedig 4 kgCO_{2e}/GJ, a 4.3.1. – 4.3.3. fejezetekben leírtaknak megfelelően. Ezek alapján a különböző gyártóegységek kibocsátásait a **17-21. táblázatok** tartalmazzák.

Mivel ezek az egységek a legtöbb esetben több terméket / több termék komponenseit is gyártják, az energiafelhasználást le kell bontani termékek szintjére. A **4. ábra** szemlélteti, hogy ez egyes üzemegységek kibocsátásai mely termékek között oszlanak meg, illetve mely termékekhez rendelődnek hozzá. A megosztás arányait szerves kötésű forgácslap gyártás esetében a térfogatok arányában, laminálás esetében a laminált és magasfényű felületek arányában, impregnálásnál pedig az üzemi technológusok által becsült arányok szerint osztottuk szét az egyes termékek között. A furnérozó és CK üzemek kibocsátásai értelemszerűen teljes mértékben a megfelelő termékekhez rendelődnek hozzá. A **17-21. táblázatok** tartalmazzák a kibocsátások termékek szerinti megoszlását is.

17. táblázat – Energiafelhasználásból származó kibocsátások a forgácslapgyártó üzemben

		Összesen	Nyers flap.	Laminált flap.	Magasf. flap.	Furn. flap.
Elektromos energia	Energiamenny. (GJ)	181 032	45 998	112 519	9 651	12 864
	Kibocsátás, (tCO _{2e})	15 786,0	4 011,0	9 811,6	841,6	1 121,8
Földgáz	Energiamenny. (GJ)	95 583	24 287	59 409	5 096	6 792
	Kibocsátás, (tCO _{2e})	5 362,2	1 362,5	3 332,8	285,9	381,0
Biomassa energia	Energiamenny. (GJ)	197 529	50 190	122 772	10 531	14 036
	Kibocsátás, (tCO _{2e})	790,1	200,8	491,1	42,1	56,1
Összesen	Energiamenny. (GJ)	474 144	120 474	294 700	25 277	33 693
	Kibocsátás, (tCO _{2e})	21 938,4	5 574,3	13 635,6	1 169,6	1 559,0

18. táblázat – Energiafelhasználásból származó kibocsátások az impregnáló üzemben

		Összesen	Laminált flap.	Magasf. flap.
Elektromos energia	Energiamenny. (GJ)	15 556	13 036	2 520
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	1 356,5	1 136,7	219,7
Földgáz	Energiamenny. (GJ)	6 617	5 545	1 072
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	371,2	311,1	60,1
Biomassza energia	Energiamenny. (GJ)	13 675	11 460	2 215
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	54,7	45,8	8,9
Összesen	Energiamenny. (GJ)	35 848	30 041	5 807
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	1 782,4	1 493,6	288,7

19. táblázat – Energiafelhasználásból származó kibocsátások a lamináló üzemben

		Összesen	Laminált flap.	Magasf. flap.
Elektromos energia	Energiamenny. (GJ)	5 185	4 776	410
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	452,2	416,4	35,7
Földgáz	Energiamenny. (GJ)	17 646	16 252	1 394
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	990,0	911,7	78,2
Biomassza energia	Energiamenny. (GJ)	36 467	33 586	2 881
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	145,9	134,3	11,5
Összesen	Energiamenny. (GJ)	59 298	54 614	4 685
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	1 588,0	1 462,5	125,4

20 táblázat – Energiafelhasználásból származó kibocsátások a furnérozó üzemben

Elektromos energia	Energiamenny. (GJ)	1 578
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	137,6
Földgáz	Energiamenny. (GJ)	735
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	41,2
Biomassza energia	Energiamenny. (GJ)	1 519
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	6,1
Összesen	Energiamenny. (GJ)	3 833
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	184,9

21 táblázat – Energiafelhasználásból származó kibocsátások a CK lap üzemben

Elektromos energia	Energiamenny. (GJ)	22 094
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	1 926,6
Földgáz	Energiamenny. (GJ)	26 469
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	1 484,9
Biomassza energia	Energiamenny. (GJ)	54 700
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	218,8
Összesen	Energiamenny. (GJ)	103 263
	Kibocsátás, (tCO ₂ e)	3 630,3

5.3.3. Az egyes termékek gyártásához felhasznált energia szénlábnyoma

A 17-21. táblázatok termékekre lebontva tartalmazzák az egyes üzemegységek energiafelhasználásból származó kibocsátásait. Ezek alapján összesíthetők az egyes termékek gyártása során keletkező kibocsátások.

Az üzemi (pályához nem kötött) anyagmozgató berendezések kibocsátásai a 16. táblázatban szereplő üzemanyag illetve energiamennyiségekből számíthatók, a 3. táblázatban megadott kibocsátási tényezők segítségével (gázolaj esetében 74,1, PB gáz esetében pedig 63,1 kgCO_{2e}/GJ). Ennek megfelelően a dízel üzemanyagból származó összes kibocsátás 1074,9 tCO_{2e}, a PB gáz felhasználással kapcsolatos összes kibocsátás pedig 8,4 tCO_{2e}. Ezeket a kibocsátásokat nem lehet az egyes üzemegységekhez rendelni, ezért közvetlenül a termékekhez rendeltük őket, a tömegük arányában. Mindezek alapján az egyes termékek gyártása során felhasznált különböző energiahordozókkal kapcsolatos egyenértékű kibocsátás értékeket a 22. táblázatban összegezzük.

Mint a 22. táblázatban látható, a különböző szerves forgácslap féleségek fajlagos szénlábnyoma hasonló értéket mutat; ezen belül a nyers forgácslap a legalacsonyabb, a magasfényű forgácslap (mely több rétegű laminátumokból, nagyobb energiafelhasználással készül, mint a laminált forgácslap) a legmagasabb. A cementkötésű forgácslap gyártása során több energiát használunk, emiatt a szénlábnyom is magasabb, bár nem kiugróan. Az eredményeket összehasonlítva a 15. táblázat értékeivel láthatjuk, hogy szerves kötésű lapok esetén a gyártási kibocsátások egy nagyságrenddel alacsonyabbak, mint a nettó szénmegkötés.

22. táblázat – A felhasznált különböző energiahordozók szénlábnyoma termékenként

	Nyers flap.	Laminált flap.	Magasf. flap.	Furn. flap.	CK flap.	Összesen
Elektromos energia	4 011,0	11 364,8	1 097,0	1 259,4	1 926,6	19 658,8
Földgáz	1 362,5	4 555,7	424,2	422,3	1 484,9	8 249,6
Biomassza energia	200,8	671,3	62,5	62,2	218,8	1 215,6
Gázolaj	225,1	550,8	47,2	63,0	188,8	1 074,9
PB gáz	1,8	4,3	0,4	0,5	1,5	8,4
Összesen:	5 801,2	17 146,8	1 631,4	1 807,3	3 820,6	30 207,2
Termék menny. (m ³)	79 880	195 400	16 760	23 581	32 250	
<i>Fajlagos szénlábnyom (tCO₂/m³)</i>	<i>0,073</i>	<i>0,088</i>	<i>0,097</i>	<i>0,077</i>	<i>0,118</i>	

5.4. Egyéb kibocsátások figyelembe vétele

A forgácslapok gyártása során egyértelműen az alapanyagok ki- és megtermeléséből, szállításából, valamint az üzemben belüli energiafelhasználásból származó kibocsátások teszik ki a termékek szénlábnymának a legjelentősebb részét. Ehhez képest a további szénlábnym értékek egyértelműen nagyságrendekkel alacsonyabbak.

A minél pontosabb szénlábnym meghatározás érdekében még két tényezőt – az üzemben keletkező hulladékok kezelését és a vezetékes vízfelhasználást – fogunk figyelembe venni. A további tényezők hatása – mint pl. irodai és közösségi tevékenység, karbantartás, gyártó berendezések előállítása, és egyéb speciális tényezők, bővebben ld. a 4.5. fejezetben – vagy nem különíthető el az ipari folyamatoktól, vagy nem állnak rendelkezésre megbízható adatok, illetve elhanyagolható.

Hulladékgazdálkodás: a gyártás során jelentkező hulladékok jelentős részét (fahulladék, furnér és papír eselék, forgácslap szélezési eselék, stb.) az üzemben belül, másodnyesanyagként, vagy energiatermelésre hasznosítják. Emiatt csak kisebb mennyiségű hulladék keletkezik az ipari termelésben, illetve részben a kommunális jellegű hulladékként. Ezt a hulladékot egy 5 m³-es konténerben gyűjtik, amit a városi hulladékgazdálkodási kft. hetenkénti rendszerességgel ürít. A konténer telítettsége változó az üzemi technológusok becslése szerint alkalmanként átlagosan 1,5 t hulladékot visznek el. Ez azt jelenti, hogy évente 75 t hulladék elszállításával és lerakásával kell számolni. A 4.4 fejezetben megadott 1,5 tCO₂e / t kibocsátási tényezővel számolva **az üzemben keletkező hulladék éves szénlábnyma** tehát összesen **112,5 tCO₂e**. A hulladékok pontos keletkezési helyei nem ismertek, így ezeket az egyes termékekhez térfogatuk arányában lehet hozzárendelni.

Vízfelhasználás: az üzemi fő fogyasztásmérő óra állása szerint a cég kommunális víz fogyasztása 11 748 m³ volt. A 4.5. fejezetben megadott javasolt kibocsátási tényező (0,514 kgCO₂e/m³) alapján tehát **az üzemben felhasznált kommunális víz éves szénlábnyma 6,0 tCO₂e**. Sajnos az egyes üzemegységek fogyasztása nem ismert külön-külön, azonban a cement hidratációja miatt biztos, hogy a CK lap üzem vízfogyasztása jelentős; a technológusok becslése alapján kb. 9000 m³. Ennek megfelelően a víz szénlábnymának 75 %-át a cementkötésű lapokhoz rendeltük, míg a többit a térfogat arányában rendeltük hozzá a többi termékhez.

A hulladékgazdálkodás és a vízfelhasználás szénlábnymát a **23. táblázat** tartalmazza, különböző termékekre lebontva. Megjegyezzük, hogy ezekben a számításokban igen jelentős hibalehetőségek rejlenek, amely akár 2-3-szoros eltérést is eredményezhetnek. Ugyanakkor, a többi kibocsátási forráshoz hasonlítva ezeknek az értékeknek a jelentősége igen csekély (a **23. táblázatban** szereplő fajlagos értékek nem

t, hanem kgCO₂e/m³ egységben vannak megadva), így a pontatlanság nem befolyásolja jelentősen a végeredményt.

23. táblázat – A hulladékkezelés és vízfelhasználás szénlábnyoma

		Nyers flap.	Laminál t flap.	Magasf. flap.	Furn. flap.	CK flap.	Össz.
Termelt menny. (m ³)		79 880	195 400	16 760	23 581	32 250	79 880
Hulladékgazd.	tCO ₂ e	25,8	63,2	5,4	7,6	10,4	112,5
	kgCO ₂ e/m ³	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323	
Vízfelhaszn.	tCO ₂ e	0,4	0,9	0,1	0,1	4,5	6,038
	kgCO ₂ e/m ³	0,005	0,005	0,005	0,005	0,140	
Összesen	tCO ₂ e	26,2	64,1	5,5	7,7	15,0	118,5
	kgCO ₂ e/m ³	0,328	0,328	0,328	0,328	0,464	

5.5. Az egyes termékek összesített szénlábnyoma

Az 5.2, 5.3 és 5.4 fejezetekben rendre sorra vettük az alapanyagok (beleértve a beszállítást), az üzemi gyártás során felhasznált energiahordozók, illetve az egyéb tényezők szénlábnyomát. Ennek során az üzemi gyártás teljes éves szénlábnyomát lebontottuk az egyes termékek szintjére is, így nem csak az üzem, de a gyártott lemezféleségek szénlábnyomát is meg tudjuk határozni. Ehhez mindössze összesíteni kell a fenti fejezetben bemutatott számítások eredményeit. A **24. táblázatban** láthatjuk a gyártás összesített szénlábnyomát, míg a **25. és 26. táblázat** az egyes termékek fajlagos szénlábnyom értékeit tartalmazza.

24. táblázat – A különböző termékek gyártása során keletkező összes szénlábnyom (tCO₂e)

	Nyers flap.	Laminált flap.	Magasf. flap.	Furn. flap.	CK flap.	Összesen
Faanyag*	-90 492,0	-222 113,9	-19 110,2	-33 185,6	-17 119,4	-382 021,2
Segédanyagok	12 795,3	43 253,8	4 915,3	4 150,9	19 530,2	84 645,5
Elektromos energia	4 011,0	11 364,8	1 097,0	1 259,4	1 926,6	19 658,8
Földgáz	1 362,5	4 555,7	424,2	422,3	1 484,9	8 249,6
Biomassza energia	200,8	671,3	62,5	62,2	218,8	1 215,6
Üzemi logisztika	226,9	555,1	47,6	63,5	190,3	1 083,3
Egyéb	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
Összesen	-71 895,5	-161 713,3	-12 563,6	-27 227,4	6 231,3	-267 168,3

* Beleértve a farost tartalmú anyagokat is (faforgács, furnér, kraft papír)

25. táblázat – A különböző termékek összesített fajlagos szénlábyoma (kgCO₂e/m³)

	Nyers flap.	Laminált flap.	Magasf. flap.	Furn. flap.	CK flap.
Faanyag*	-1132,8	-1136,7	-1140,2	-1407,3	-530,8
Segédanyagok	160,2	221,4	293,3	176,0	605,6
Elektromos energia	50,2	58,2	65,5	53,4	59,7
Földgáz	17,1	23,3	25,3	17,9	46,0
Biomassza energia	2,5	3,4	3,7	2,6	6,8
Üzemi logisztika	2,8	2,8	2,8	2,7	5,9
Egyéb	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Összesen	-900,0	-827,6	-749,6	-1154,6	193,2

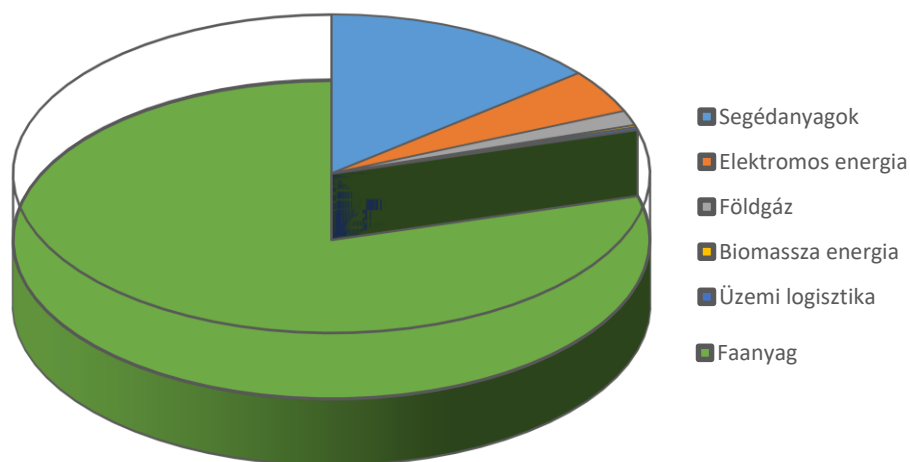
* Beleértve a farost tartalmú anyagokat is (faforgács, furnér, kraft papír)

26 táblázat – A különböző termékek összesített fajlagos szénlábyoma (kgCO₂e/t)

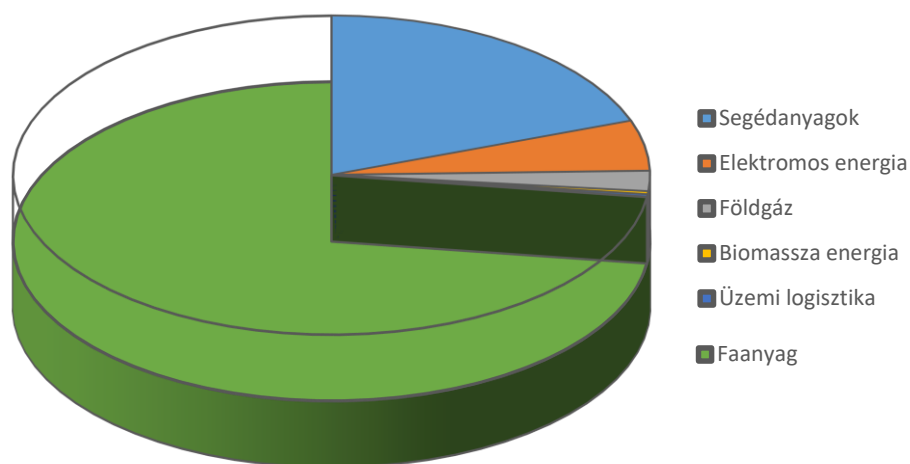
	Nyers flap.	Laminált flap.	Magasf. flap.	Furn. flap.	CK flap.
Faanyag*	-1742,8	-1748,8	-1754,2	-2285,4	-393,2
Segédanyagok	246,4	340,6	451,2	285,9	448,6
Elektromos energia	77,3	89,5	100,7	86,7	44,3
Földgáz	26,2	35,9	38,9	29,1	34,1
Biomassza energia	3,9	5,3	5,7	4,3	5,0
Üzemi logisztika	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
Egyéb	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Összesen	-1384,7	-1273,2	-1153,3	-1875,0	143,1

* Beleértve a farost tartalmú anyagokat is (faforgács, furnér, kraft papír)

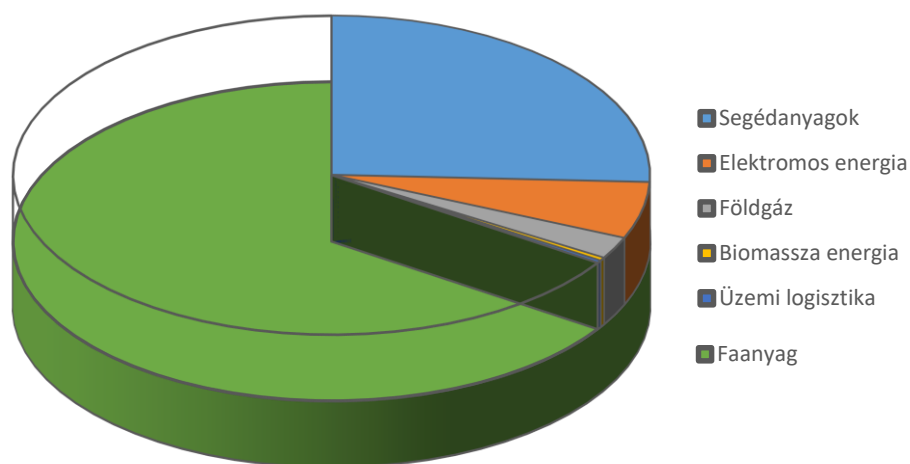
Mint a táblázatokból jól látható, miután figyelembe vettük a segédanyagok előállítása és beszállítása, a gyártási energiafelhasználás, üzemi logisztika és egyéb pozitív szénlábyom értékeket, szerves kötésű forgácslapok esetén mindezek a kibocsátások messze nem tudják ellensúlyozni a faanyagban tárolt nettó szénmennyiséget (az összes tárolt szén mínusz az erdőgazdálkodás és kitermelés szénlábyoma). A termékek szénlábyoma még így is masszívan negatív marad. Egyedül a cementkötésű forgácslap esetében kaptunk pozitív szénlábyomot, részint az alacsonyab farost részarány, részint pedig az energia-intenzív előállítású cement alapanyag magas részaránya miatt. Az **5-9. ábrák** szemléltetik a különböző kibocsátási források részarányát az egyes termékekben, a nettó szénmegkötéshez viszonyítva.



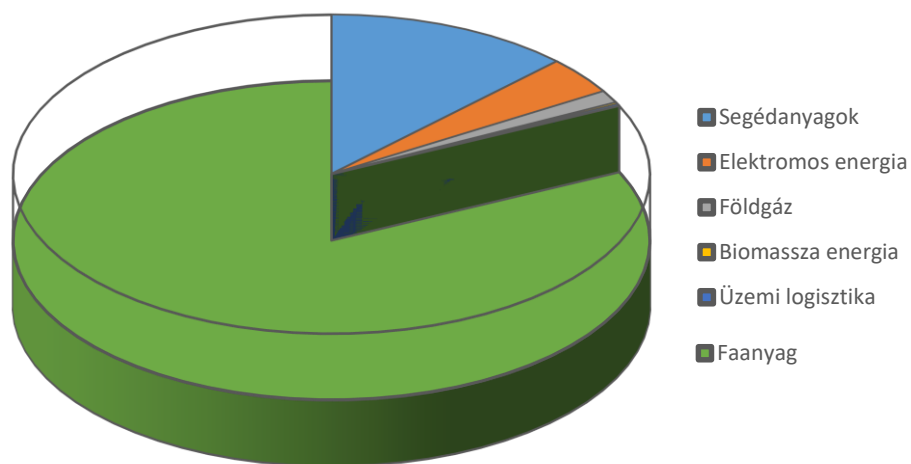
4. ábra – A nyers faforgácslap gyártási szénlábnomának összetevői



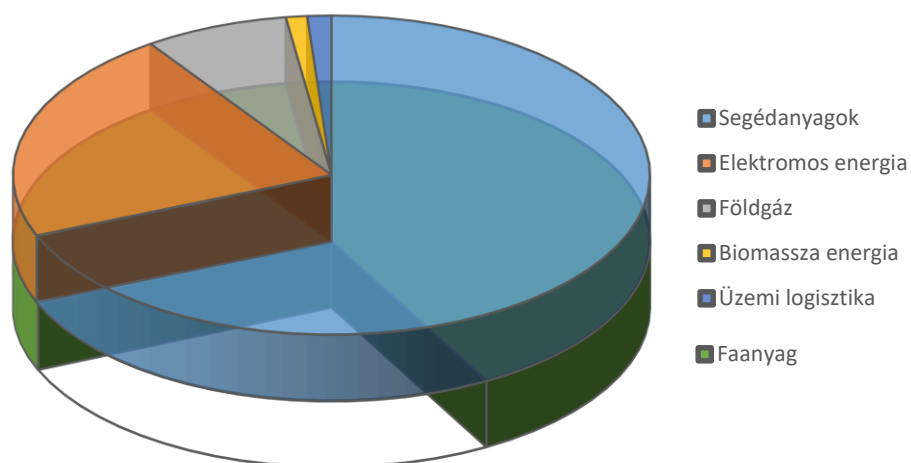
5. ábra – A laminált forgácslap gyártási szénlábnomának összetevői



6. ábra – A magasfényű forgácslap gyártási szénlábnomának összetevői



7. ábra – A furnérozott forgácslap gyártási szénlábnomának összetevői



8. ábra – A cementkötésű forgácslap gyártási szénlábnomának összetevői

Az **4-7. ábrákon** az alsó, zöld korong szemlélteti a faanyagban megkötött (nettó) szénmennyiséget, míg a felső kördiagrammon láthatjuk az egyes pozitív kibocsátási forrásokat. Az üres szelet nem más mint az összesített (negatív) szénlábnom. Mint az ábrákon látható, a segédanyagok előállítása és a gyártási folyamatok szénlábnoma lemezféleségtől függően csak a nettó szénmegkötés 18-34%-át ellensúlyozta, a maradék szénmegkötés eredményezi ezeknek a termékeknek a negatív szénlábnomát.

Végül, a **8. ábra** mutatja a cementkötésű forgácslapok szénlábnomának összetevőit. Ennek a terméknek a mérlege alapvetően eltér a többitől, hiszen itt a segédanyagokból és a gyártási folyamatokból származó szénlábnom összességében magasabb, mint a nettó szénmegkötés. Ennek megfelelően itt az alsó kördiagrammból hiányzik egy szelet, ami a termék pozitív szénlábnomának felel meg. A diagrammból jól

érzékelhető, hogy, bár a szénlábnyom ez esetben pozitív, a teljes kibocsátás jelentős részét, közel kétharmadát ellensúlyozza a faanyagban tartósan megkötött széndioxid, így más cement alapanyagú építőanyagokhoz képest a cementkötésű forgácslap is jóval környezetbarátabb.

A **8. ábrán** jól érzékelhető a pozitív kibocsátási források aránya is, amit az alábbiakban részletezünk:

- A pozitív CO₂ források közül a segédanyagok szénlábnyoma a legmagasabb (ez igaz a többi termékre is, bár azoknál a részarány valamivel alacsonyabb.)
- Az energiahordozók közül egyértelműen a felhasznált elektromos energia szénlábnyoma a legmagasabb, ezt követi a földgáz.
- A biomassa energia szénlábnyoma lényegesen alacsonyabb a földgázénál, annak ellenére, hogy a kinyert energiamennyiség üzemi szinten mintegy kétszer akkora (ld. **16. táblázat**). Ennek az az oka, hogy ez az energiahordozó megújuló, az európai szabályozás szerint akár szénsemlegesnek is tekinthető. Elemzésünkben nettó szénsemlegességgel számoltunk, azaz figyelembe vettük az erdőgazdálkodást és a beszállítás szénlábnyomát.
- Az üzemi logisztika szénlábnyoma szintén viszonylag alacsony, a biomassa energiahordozók szénlábnyomával összemérhető.
- Az egyéb kibocsátási források (hulladékgazdálkodás, vízfelhasználás) elhanyagolhatók, szénlábnyomuk nagyságrendekkel alacsonyabb, mint a korábban említett tényezőké. Ennek ellenére érdemes feltüntetni az ezzel kapcsolatos számításokat, hiszen ezzel igazoljuk, hogy hozzájárulásuk a termékek szénlábnyomához gyakorlatilag elhanyagolható.

6. Az eredmények értékelése; megbízhatóság és limitációk

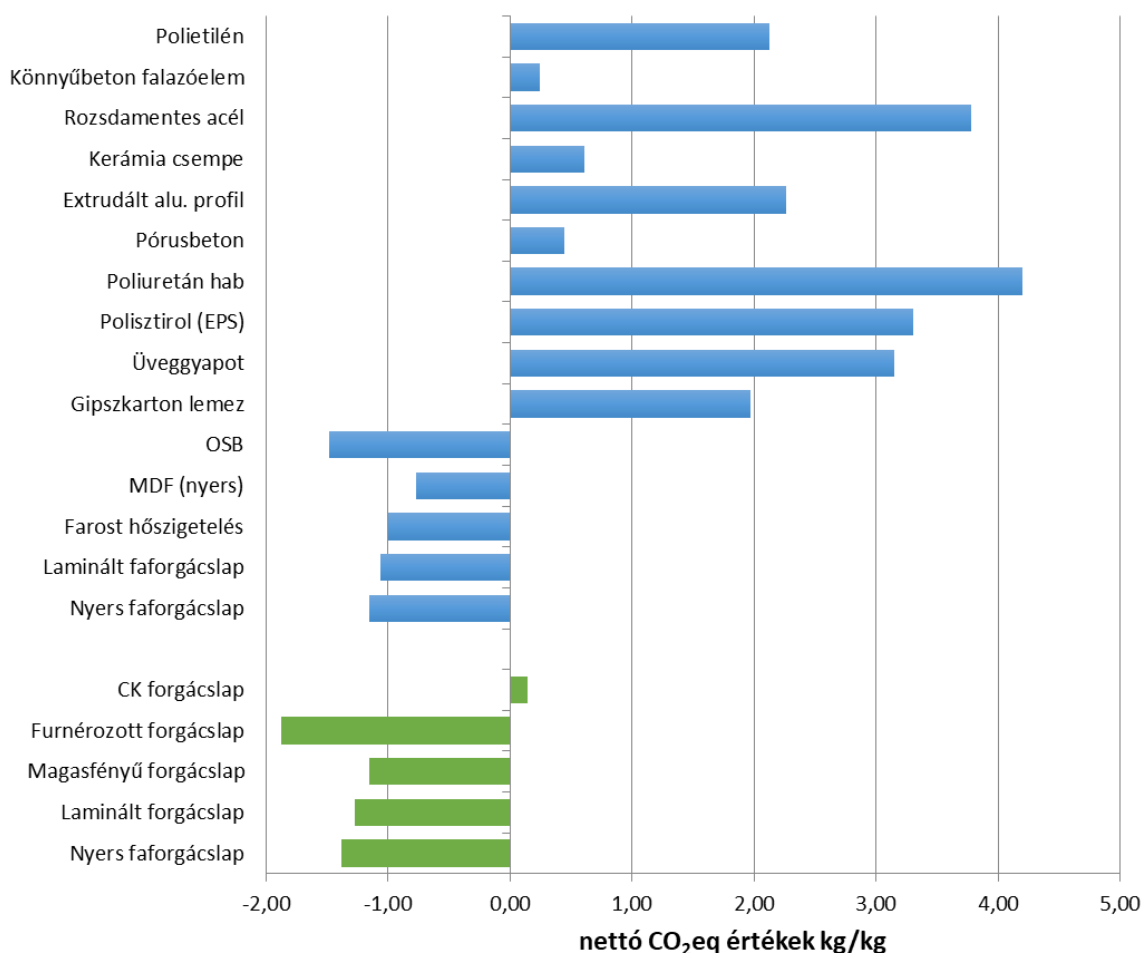
Az útmutatóban, a bevezető fejezetet követően először általánosságban tárgyaltuk a szénlábnyom-elemzés mibenlétét, jelentőségét és módszereit, majd egy rövidebb fejezetben megvizsgáltuk a faipar, fafeldolgozás és fatermékek speciális helyzetét ebből a szempontól. A negyedik fejezetben bemutattuk azt az általános módszertant, amivel egy faipari cég szénlábnyom elemzését el lehet készíteni, majd az ötödik fejezetben levezettünk egy konkrét, meglehetősen komplex példát; egy széles termékválasztékkal rendelkező faforgácslapüzem szénlábnyom elemzését.

Mint az 5.5. fejezetben részletesen bemutatott eredményekből látható, a különböző fajta (nyers, laminált, magasfényű és furnérozott) szerves kötésű forgácslapok szénlábnyoma erősen negatív értéket mutat. Ez igaz még akkor is, ha a számítások során a faanyagban tárolt széndioxid mennyiségéből levonjuk az erdőgazdálkodásból, fakitermelésből és szállításból eredő egyenértékű kibocsátásokat, azaz nettó széntárolással számolunk. (Fontos hangsúlyozni, hogy mindez csak akkor igaz, ha a felhasznált faanyag fenntartható erdőgazdálkodásból származik, amikor is a kitermelt fák pótlásáról, újraterelítéséről gondoskodnak.) A cementkötésű forgácslap esetén a szénlábnyom pozitív, azonban – a fa negatív nettó szénlábnyomának köszönhetően – jóval alacsonyabb, mint a legtöbb szerves építőanyagé.

Az útmutatóban bemutatott példa fiktív, de realisztikus bemeneti adatokon alapszik; a gyártási kapacitások, a felhasznált alapanyagok arányai és az energiamennyiségek nem valós értékek, de törekedtünk arra, hogy viszonylag reális számok legyenek. Ennek megfelelően egy hazai forgácslapüzem valós szénlábnyom elemzése várhatóan hasonló eredményeket mutatna.

Az eredmények megbízhatóságát szemlélteti a **9. ábrán** látható diagramm is. Ebben a számítási példában található eredményeket vetettük össze a szakirodalomban található adatokkal. ^{Hiba! A könyvjelző nem létezik.} Mint látható, a nyers forgácslapra és a laminált forgácslapra számított negatív szénlábnyom hasonló, bár kissé magasabb, mint a szakirodalomban található értékek. Ennek az oka lehet regionális vagy időbeli eltérés, kisebb eltérések a módszertanban, vagy akár csak a fiktív bemeneti adatokból származó eltérések, azonban az eltérés nem jelentős.

A **9. ábra** emellett jól szemlélteti a faalapú anyagok előnyeit az egyéb építészeti és belsőépítészeti anyagokkal szemben. Az egyéb természetes anyagok (mint pl. a szalmabála hőszigetelés) mellett a fa egyike azon kevés anyagoknak, amelyek szénlábnyoma – még a telepítési, kitermelési, szállítási és megmunkálási folyamatok kibocsátásának a figyelembe vétele után is – negatív, így a belőle készülő termékek szénlábnyoma is negatív, vagy legalábbis igen alacsony (pl. a CK forgácslap esetében.)



9. ábra – A számítási példa eredményeinek (zöld) összevetése az irodalomban található szénlábnyom értékekkel (kék); bölcsőtől-kapuiig megközelítés

Az útmutatóban bemutatott számítási eljárás robosztus és jól átlátható, viszonylag könnyen alkalmazható. A szénlábnyom elemzés azonban sajnos soha nem lehet teljesen megbízható és akkurátus; több olyan bizonytalansági tényezővel kell számolnunk, ami korlátozza az ilyen tanulmányok pontosságát. A legfontosabb limitációk a következők:

- **Vertikális behatárolás:** ebben az útmutatóban az ún. bölcsőtől-koporsóig megközelítést alkalmaztuk, ami a teljes termék életciklusnak, és így a termék teljes környezeti hatásának csupán egy része. A teljes életciklus elemzés (LCA) módszeréhez hozzátartozik a termék továbbfeldolgozásából, használatából és megsemmisítéséből vagy újrahasznosításából származó kibocsátások figyelembe vétele is. E fázisok elemzése sok olyan feltételezésen alapszik, ami jelentősen növeli a szénlábnyom-meghatározás pontatlanságát, és túlmegy e tanulmány keretein.
- **Horizontális behatárolás:** a szakemberek között sok vita folyik arról, hogy mi tartozik bele egy-egy gyártási folyamat környezeti hatásaiba. Figyelembe kell-

e venni pl. a gyártó berendezések előállításából, vagy a munkások üzembe jutásából, étkezéséből eredő kibocsátásokat? A szénlábnyom elemzése során ezeket a határokat valamennyire önkényesen vagyunk kénytelenek meghatározni. Törekednünk kell azonban arra, hogy minden jelentős kibocsátásforrást figyelembe vegyünk, ügyelve arra, hogy a földrajzi adottságoktól, az ipari folyamatok jellegzetességeitől és más tényezőktől függően egyes, általában elhanyagolható tényezők jelentősége megnövekedhet.

- A bemeneti adatok pontossága: az elemzés csak annyira lehet pontos, amennyire a bemeneti adatok pontosak. Ezeket általában az adott cég vagy üzem szolgáltatja. Különösen kényes ebből a szempontból az externális (a cégen kívülről jövő) erőforrások figyelembe vétele; ezek előállításának és szállításának környezetterheléséről sokszor csak pontatlan adatok, rosszabb esetben csak becslések állnak rendelkezésre. Szintén gondot jelenthet az erőforrások szétosztása egyes ipari folyamatok vagy termékek között. Az ilyen bizonytalansági tényezőkre vonatkozó stratégiákat a 4. fejezetben tárgyaljuk, és az 5. fejezetben láthatunk rá példákat.
- A széndioxid egyenértékek meghatározása: az egyes erőforrások környezetterhelését széndioxid-egyenértékkel vesszük figyelembe; azaz, hogy fajlagosan mennyi ekvivalens széndioxid kibocsátással (CO₂e) jár az adott erőforrás megtermelése. Erre vonatkozóan a beszállítóktól sajnos csak nagyon ritkán kapunk megbízható adatot. A fajlagos CO₂e értékeket általában saját számításokkal, irodalmi adatokból, vagy – leggyakrabban – ezek kombinációjával tudjuk meghatározni. Sajnos az irodalmi adatok sok esetben nagy szórást mutatnak; eltérőek lehetnek földrajzi hely, idő, ipari fejlettségi szint, az alkalmazott metodológia, és számos egyéb tényező függvényében. Ez sokszor jelentős hibatényezővé válhat. Minél jelentősebb tényezőt jelent egy adott erőforrás (pl. a forgácslapgyártásban a fa alapanyag) az adott termék vagy folyamat szempontjából, annál inkább törekedni kell a CO₂e értékek minél pontosabb meghatározására.
- Elfogultság: tagadhatatlan, hogy az szénlábnyom elemzést végző szakember irányultsága, elkötelezettsége, és főleg szakmai és pénzügyi érdekeltsége befolyásolhatja az eredményeket. A fent ismertetett bizonytalanságok, hibaforrások sok esetben állítanak választás elé minket, és ilyenkor – sokszor akár öntudatlanul is – hajlamosak vagyunk a saját érdekeltségünk szempontjából kedvezőbb értékeket, alternatívákat választani, vagy fontos kibocsátás-forrásokat elhanyagolni, hatásukat minimalizálni. Legyünk tudatában saját elfogultságunknak, igyekezzünk ellenállni ennek a kísértésnek, és lehetőleg minél elfogulatlanabb, felelősségteljesebb módon

járjunk el az elemzés elkészítésekor. (A bemutatott módszertan és példa esetében pl. ennek jegyében törekedtünk a faanyag esetében a nettó széntárolás, illetve energiatermeléskor a nettó szénsemlegesség elvét, annak ellenére, hogy egyes ajánlások és módszertanok lehetőséget biztosítanak a teljes tárolt szénmennyiség illetve teljes szénsemlegesség figyelembe vételére.)

7. Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet mond a Magyar Mérnöki Kamara Feladatalapú Pályázatának keretében nyújtott segítségért, amely nélkül ez az útmutató nem jöhetett volna létre.

Köszönet illeti ezen felül Dr. Alpár Tibort, Dr. Börcsök Zoltánt, Dr. Németh Gábort és Dr. Pásztory Zoltánt, a Soproni Egyetem munkatársait, akiknek a korábbi munkái sok információt és inspirációt szolgáltattak az anyag elkészítéséhez.

8. Irodalomjegyzék

- [1] Wiedmann T, Minx J. 2007. A definition of carbon footprint. ISAUK Research Report 07-01, Durham.
- [2] Giampietro, Mario; Mayumi, Kozo (2009). *The Biofuel Delusion: The Fallacy of Large Scale Agro-Biofuels Production*. Earthscan, Taylor & Francis group. p. 336. [ISBN 978-1-84407-681-9](#)
- [3] L. Alter. 2017. What's the carbon footprint of making a Tesla battery? <<https://www.treehugger.com/cars/whats-carbon-footprint-making-tesla-battery.html>> (Megtekintve: 2020.06.05)
- [4] Schiberna E. 2011. Fenntartható (tartamos) erdőgazdálkodás. In: Molnár S. szerk. Örök társunk a fa. NymE Kiadó, 11-15. old.
- [5] Alpár T. 2011. Újrahasznosítás, hulladékmentesség, a fa csodálatos tulajdonsága. In: Molnár S. szerk. Örök társunk a fa. NymE Kiadó, 31-34. old.
- [6] Commission Regulation (EU) No 601/2012 of 21 June 2012 on the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council Text with EEA relevance
- [7] Ragland, K.W., Aerts D.J. (1991): Properties of Wood for Combustion Analysis. *Bioresource Technology* 37: 161-168.
- [8] Birdsey R.A. (1992): Carbon storage and accumulation in united states forest ecosystems. USDA Forest Service General Technical Report WO-59.
- [9] Francis, J.K. (2000): Estimating Biomass and Carbon Content of Saplings in Puerto Rican Secondary Forests. *Caribbean Journal of Science*, 36(3-4): 346–350.
- [10] Gifford R.M. (2000): Carbon contents of above-ground tissues of forest and woodland trees. National Carbon Accounting System technical report; no. 22. ISSN: 14426838
- [11] Sampson N. (2002): Monitoring and measuring wood carbon. Colorado SWCS Conference on Carbon as a Potential Commodity, Denver, December 4, 2002.
- [12] Lamblom, S.H., Savidge R.A. (2003): A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy* (25): 381-388.
- [13] Telmo C., Lousada J., Moreira N. (2010): Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood. *Bioresource Technology* 101: 3808-3815. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.01.021
- [14] Jaakko Pöyry Consulting PTY LTD. (1999): Usage and Life Cycle of Wood Products. National Carbon Accounting System - Technical Report No. 8. (Australia) Australian Greenhouse Office, Canberra, 78 pp.
- [15] Barson, M.M., Gifford, R.M., (1989): Carbon dioxide sinks: the potential role of tree planting in Australia. In: SWAINE, D. (Ed.), *Greenhouse and Energy*. CSIRO Australia, Melbourne, pp. 433–443.
- [16] Dias, A.C., Louro, M., Arroja, L., Capela, I. (2005): The contribution of wood products to carbon sequestration in Portugal. *Annals of Forest Science* 62: 903-909.
- [17] Hassan, R., Scholes, R., Ash, N. (eds.) (2005): *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends, Volume 1. Millennium Ecosystem Assessment*, Island Press. Chapter 9. pp: 243-271.

- [18] IPCC (2014): 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds) Published: IPCC, Switzerland.
- [19] Martin A.R., Doraisami M., Thomas S.C. (2018): Global patterns in wood carbon concentration across the world's trees and forests. *Nature Geoscience* 11: 915-920. DOI: 10.1038/s41561-018-0246-x
- [20] Klein D., Wolf C., Schulz C. & Weber-Blaschke G. 2015: 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 20(4): 556–575. DOI: 10.1007/s11367-015-0847-1
- [21] Polgár A., Pécsinger J., Horváth A., Szakálosné Mátyás K., Horváth A.L., Rumpf J., Kovács Z. 2018. Erdészeti technológiák szénlábnyma és előrevetített klímakockázata. *Erdészettudományi közlemények* 8(1):227-245.
- [22] A. Ruuska 2013. Carbon footprint for building products. VTT Technology 115. VTT Technical Research Centre of Finland.
- [23] Bejő L. 2017. Operational vs. Embodied energy: A case for wood construction. *DRVNA INDUSTRIJA* 68(2):163-172.
- [24] Puettmann, M., J. Wilson. 2005. Life-cycle analysis of wood products; cradle-to-gate LCI of residential wood building materials. *Wood Fiber Sci. CORRIM Special Issue* 37:18–29.
- [25] Hammond, G.P. és C.I. Jones 2008. Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the Inst. of Civil Engineers* 161(2):87–98
- [26] Hammond, G.P., C.I. Jones (2011) Inventory of Carbon & Energy (ICE) Version 2.0. Sustainable Energy Research Team (SERT), Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK.
- [27] UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2018) Greenhouse gas reporting: conversion factors 2018. <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2018>
- [28] Sims R., Schaeffer R., Creutzig F., Cruz-Núñez X., D'agosto M., Dimitriu D., Figueroa Meza M.J., Fulton L., Kobayashi S., Lah O., Mckinnon A., Newman P., Ouyang M., Schauer J.J., Sperling D., Tiwari G. (2014): Transport. In: Edenhofer O. et al. (eds.): *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [29] Mainsell F. (2008): Reducing Greenhouse Gas Emissions from Heavy-Duty Vehicles: The Role of the European Commission. Interim Report 1 – Initial Review of Measures and Policies
- [30] Ricardo-AEA (2015): Light weighting as a means of improving Heavy Duty Vehicles' energy efficiency and overall CO2 emissions Heavy Duty Vehicles Framework Contract – Service Request 2 Report for DG Climate Action Ref: CLIMA.C.2/FRA/2013/0007
- [31] ICTT (2018): CO2 emissions and fuel consumption standards for heavy-duty vehicles in the European Union.
- [32] <https://www.transportmeasures.org/ntmcalc/v4/basic/index.html#/>

- [33] Mckinnon A.C., Whiteing A., Piecyk M. (eds.) (2015): Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics. Kogan Page Limited ISBN 978-0-7494-7185-9
- [34] Mckinnon A.C., Piecyk M. (2010): Measuring and managing CO2 emissions in European chemical transport. CEFIC.
- [35] Whittaker, C., Mortimer, N., Matthews, R.W. (2010). Understanding the carbon footprint of timber transport in the United Kingdom. North Energy, report.
- [36] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/specific-co2-emissions-per-tonne-2#tab-used-in-indicators>
- [37] <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC57789/com%20guidebook%20jrc%20format.pdf>; 91. old., 6. táblázat
- [38] Intelligent Energy Europe: Guidelines for the calculation of the IEE Common Performance Indicators (CPIs); March 2013; <https://ec.europa.eu/easme/sites/easme-site/files/guidelines-ieee-common-performance-indicators.pdf>
- [39] Carbon Footprint Ltd. által közölt kiadvány és Association of Issuing Bodies (AIB) adatok alapján: https://www.carbonfootprint.com/docs/2018_8_electricity_factors_august_2018_-_online_sources.pdf
- [40] MAVIR Zrt: Magyar Villamosenergia-rendszer (VER) 2017. évi adatai alapján
- [41] 410/2012. (XII. 28.) Korm. rendelet az üvegházhatású gázok közösségi kereskedelmi rendszerében és az erőfeszítés-megosztási határozat végrehajtásában való részvételről szóló 2012. évi CCXVII. törvény végrehajtásának egyes szabályairól
- [42] Európai Bizottság 601/2012/EU rendelete: az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának a 2003/87/EK európai parlamenti és tanácsi irányelvnek megfelelő nyomon követéséről és jelentéséről (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0601&from=ET>)
- [43] Németh G. (2014): "Decentralizált dendromassza alapú kiserőművek, falufűtőművek elterjedését támogató kutatások" című projekt féléves záró szakmai beszámolója
- [44] Houses of Parliament; Parliamentary Office of Science&Technology: Carbon Footprint of Electricity Generation; Number 383 June 2011
- [45] Bates J et al, 2009, Minimising greenhouse gas emissions from biomass energy generation
- [46] Elsayed et al, 2003, Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuels Options.
- [47] Houses of Parliament; Parliamentary Office of Science&Technology: Carbon Footprint of Electricity Generation; Number 383 June 2011
- [48] https://www.winnipeg.ca/finance/findata/matmgt/documents/2012/682-2012/682-2012_Appendix_H-WSTP_South_End_Plant_Process_Selection_Report/Appendix%207.pdf
- [49] Department for Environment Food & Rural Affairs: UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting (2018) (<https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting#conversion-factors-2018>)
- [50] <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2018>

- [51] A. Maalouf, M. El-Fadel. 2018. Carbon footprint of integrated waste management systems with implications of food waste diversion into the wastewater stream. *Resources, Conservation and Recycling* 133:263-277. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.021>
- [52] David J. C. MacKay: Fenntartható energia Mellébeszélés nélkül. (https://www.typtex.hu/upload/book/3398/MacKay_Hetkoznapi_hasznalati_targyaink.pdf)
- [53] <https://oco-carbon.com/metrics/the-carbon-footprint-of-tap-water/>
- [54] SZEGEDI VÍZMŰ ZRT. Éves energetikai szakreferensi jelentés (2017) <https://www.szegedivizmu.hu/userfiles/downloads/416.pdf>
- [55] Telmo C., Lousada J., Moreira N. (2010): Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood. *Bioresource Technology* 101: 3808-3815. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.01.021

A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

2017.

- | | | |
|----|---|---|
| 1. | NÉMETH András, MILÁVECH Richárd | Iparban használatos vízminőségek |
| 2. | DR. SZILÁGYI Zsombor, DR. SZUNYOG István | Mérések a gáziparban |
| 3. | DR. BARNÁ Lajos, EÖRDÖGHNÉ DR. MIKLÓS Mária, DR. SZÁNTHÓ Zoltán, DR. BALLA József | A biztonságos ivóvízellátás megteremtésének tervezési eszközei |
| 4. | BORBÁS Lajos Dr. | Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben |
| 5. | BERENCSI Miklós, BERECHY Ákos, HORVÁTH László, KOVÁCS Gergely, MIHÁLFY Krisztina | Kerékpárosbarát közlekedéstervezés |
| 6. | TÜDŐS Tibor, DR. VARJÚ György, DR. PETRI Kornél, GÁBOR András | A csillagpontkezelés legújabb külföldi és hazai eredményei (Útmutató és tervezési segédlet) |
| 7. | DR. GARBAI László, DR. JASPER Andor, VÁRADI András | Fűtési és használati melegvíz-igények kockázati elvű méretezése példákkal |
| 8. | KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint, LÁSZLÓ Csaba Tibor, JAKKEL Ottó | A közúti vasutak (villamos) tervezésével kapcsolatos kézikönyv |

2018.

- | | | |
|-----|---|---|
| 9. | BLAZSOVSZKY László | A gázfogyasztó készülékek égéstermék elvezetésével kapcsolatos szabályozások hiányosságai és ellentmondásai |
| 10. | CSORDÁS Szilveszter, FORGÁCS Lajos Dr., PÓLYA Endre ifj., RÉV Zoltán, UDVARDY Péter | Orvostechnológiai továbbképzés ismeretanyaga |
| 11. | NÁDASDY Tamás, EGYHÁZY Zita, KOVÁCS Ákos Sándor, SZECSŐ Dániel Géza | A közúti biztonsági audit (KBA) jelentések elkészítésének alkalmazási segédlete – A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezeléséről szóló jogszabályhoz és utügyi műszaki előíráshoz kapcsolódó értelmezési, kidolgozási és elfogadtatási javaslatrendszer |
| 12. | DR. SZILÁGYI Zsombor, HORÁNSZKY Beáta | Földgáz kereskedelem (mérnöki segédlet) |
| 13. | DR. SZILÁGYI Zsombor | Az energiahordozók jövője – kőolaj, földgáz, megújulók |
| 14. | S. VÍGH Judit, DOHÁNY Máté | Magános közlekedők baleseti súlyosságának csökkentése mobil applikáció segítségével |
| 15. | DR. BALIKÓ Sándor, DR. CSÜRÖK Tibor, NOVÁK Dániel, ORBÁN Tibor, DR. ZSEBIK Albin | Ötletlapok I. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai |
| 16. | DARABOS Zoltán, KOLTAI Henrik, SZABÓ Tamás, SZÁSZ Béla, VAJDA Sándor | Felvonók felújítása és átalakítása – Műszaki segédlet |
| 17. | TÜDŐS Tibor, KRUPPA Attila | Alapozásföldelők új tervezési elvei és kivitelezési módszerei – Tervezési segédlet és kivitelezési útmutató |
| 18. | FENYVESI Zsolt | Tűzvédelmi tervek tartalmi szabályainak átdolgozása |

19. GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Nagyméretű informatikai beruházásoknál (fejlesztéseknél) ajánlott szoftveroldali tervdokumentációk tartalmi elemeinek meghatározása (I. – II. kötet)
20. DR. DIVÓS Ferenc Az élő fák stabilitása – mérnöki megközelítés – Élő fák, mint teherhordó faszerkezetek
21. DR. KARÁCSONYI Zsolt Faanyagok tartós szilárdsága
22. BARNÁ Lajos Dr., ERDEI István, JASPER Andor Dr., TAKÁCS Gyula Segédlet épületek csatorna-berendezéseinek tervezéséhez
23. ANTÓK Péter István, FÜZÉR Ferenc, SÁRKÖZI András Fényvezető kábelszakaszok műszaki-minőségi ajánlás gyűjteménye
24. JANCsó Béla, DR. KULCSÁR Alexandra, NÉMETH Gábor, DR. VÍMI Zoltán, DÉRI Lajos, SZIMANDEL Dezső Vízügyi engedélyezési eljárással kapcsolatos dokumentációk és engedélyeztetéssel kapcsolatos követelmények a 2018.01.01-én hatályba lépett 41/2017. (XII.29.) BM rendelet alapján
25. DR. TAKÁCS Bence, DR. SIKI Zoltán, DR. ÉGETŐ Csaba, BÉNYI László Mérnökgeodéziában alkalmazott alapponthálózatok – A jó gyakorlat bemutatása mintapéldákkal
26. DR. MÓCZÁR Balázs, LAUFER Imre, TÓTH Gergő, WOLF Ákos Korszerű támszerkezetek tervezése
27. HALÁSZ Györgyné Dr., CSERVENYÁK Gábor, TUCZAI Attila, VIRÁG Zoltán Különböző funkciójú épületek klimatechnikája II.
28. KÁDI Ottó, JÓZSA Bálint Kerékpáros balesetek létesítmények szerinti vizsgálata
29. GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., PELLER József Bendegúz Hőteljesítményátviteli tényező alkalmazása távhőrendszerek optimális szabályozásának modelljében
30. GARBAI László Dr., SÁNTA Róber Dr., JASPER Andor Dr. A kompresszoros hőszivattyúk optimalizálása – Tervezés és üzemeltetés
31. LADÁNYI Gábor Dr. Diagnosztika a karbantartásban
32. MÉSZÁROS János, MOLNÁR Tibor, RITZL András KIÜRÍTÉSI ÉS MENEKÜLÉSI ÚTVONALBA ÉPÍTETT AJTÓK tervezési segédlet (2018)

2019.

33. BLAZSOVSZKY László Földgáz elosztóvezetékek üzemeltetése
34. DR. SZILÁGYI Zsombor A megújuló energiahordozók jövője Magyarországon
35. FORGÁCS Lajos Dr., HAIDEGGER Tamás Dr., PÓLYA Endre ifj. Új fejlesztések, innovatív megoldások az orvostechnológia terén
36. VARRÓ Beáta, DR. KIS András Magyarországon előforduló, épületekbe beépített faanyagokat károsító gombák vizsgálata és azonosítása DNS diagnosztikával
37. MANNINGER Marcell, SZEPESHÁZI Attila, SCHEURING Ferenc, MOLNÁR György Munkatér határoló szerkezetek
38. KORSÓS András, RÁDULY Zsolt A közterületi és belterületi térfigyelő kamerarendszerek tervezési irányelvei
39. GERGELY Edit, DR. BEZEGH András Módszertani útmutató az üvegházhatású gázok közvetlen és közvetett kibocsátásának számítására
40. DR. BEZEGH András, BITE Pálné Dr., GERGELY Edit Városi környezetvédelem (Fenntartható és okos városok)

41. GÓDOR Balázs, DR. KÁSA László, SZÉKELY Bence Híddaruk méretezési segédlete (2019.)
42. FÜRJES Andor Tamás, KOTSCHY András, NAGY Attila Balázs, CSOTT Róbert Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban
43. DR. KARÁCSONYI Zsolt Faanyagok tartós szilárdsága
Faanyagok szilárdságának változása az idő függvényében
44. DR. BALIKÓ Sándor, ORBÁN Tibor, VARGA Péter, DR. ZSEBIK Albin Ötletlapok II. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
45. PRIMUSZ Péter, PhD. Hajlékony útpályaszerkezetek méretezése talajstabilizációk figyelembevételével
46. NÉMETH Balázs, HÁMORI Sándor, KOSTYÁK Attila, VÍGH Gellért Különböző funkciójú épületek klímatechnikája III.
Segédlet ipari épületek lég- és klímatechnikai rendszereinek tervezése
47. JANCsó Béla, KAVECZKI Gergely, KÓCZÁN Gábor, LABORCZI Tamás, KNOLMÁR Marcell, RAUM László Csapadékvízgazdálkodás tervezési követelményei
Hogyan tervezzünk városi csapadékelvezető rendszereket
48. DOHÁNY Máté, SCHVANNER Norbert Kerékpárosok sebességének felülvizsgálata jelzőlámpás csomópontokban
49. JÓZSA Bálint, S. VÍGH Judit Sebességcsökkentés hatásainak vizsgálata gyorsforgalmi utakon
50. DR. ZSEBIK Albin, NOVÁK Dániel Projektlapok I. – Energiahatékonyság növelő javaslatok projektlapjai
51. DR. MÓGA István Beruházási projektek szabályozási és szabvány környezete, Tervezési követelmények meghatározása
52. DR. GÁBORI László, DR. BEINSCHRÓTH József, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Informatikai Tervező szakmai minősítő rendszere (Informatikai szakmai terület illesztése a Mérnök Kamarai működési rendbe és rendszerekbe)
I. kötet: Konceptió és modell
II. kötet: Modell illesztése
III. kötet: Tudástár
53. VIRÁG Zoltán, GYURKOVICS Zoltán, SZAKÁL Szilárd, VIRÁG Zsolt, ORCSI Attila Országos Tűzvédelmi Szabályzat épületgépész értelmezése a szakmai gyakorlatban
Segédlet a gyakorló épületgépész mérnökök számára I.

2020.

54. DR. KISS Jenő, CSERMELY Gábor JAVASLAT az egyszerű bejelentésű lakóépület megvalósításának – tervezés építés – módszerére
55. DR. SZILÁGYI Zsombor A hidrogén a környezetbarát energiahordozó, Hidrogén az energetikában
56. VARGA Tamás, DR. SZEDENIK Norbert, DR. KOVÁCS Károly, KRUPPA Attila, KULCSÁR Lajos, KAPITOR György, TURI Ádám A nem norma szerinti villámvédelem egységes műszaki követelményrendszerének kialakítása és javaslat a teljes villámvédelmi szabályrendszer jövőbeli egységesítésére
57. KÁDI Ottó A gyalogosközlekedés közúti keresztezései
58. MOLNÁR Szabolcs „Hulladékból konnektorba” A települési szilárd hulladék energetikai hasznosításának lehetőségei

- | | | |
|-----|--|--|
| 59. | VÁRDAI Attila | Segédlet szabadidős létesítmények tartószerkezeti tervezéséhez |
| 60. | DR. BEJÓ László | Szénlábnyom-elemzés készítése a faiparban |
| 61. | JANCSÓ Béla, NÉMETH Gábor, SZIMANDEL Dezső | Szakmai útmutató vízellátási-művelési tervezők számára a 2020 január 1-én hatályba lépett „VIZEK keretrendszer” használatához |
| 62. | FELLEGI Zsóka, KARAFI Balázs, KOCH Edina, KOVÁCS Gábor, MURINKÓ Gergő, TÓTH Gergely József | Munkagödrök és földművek víztelenítése |
| 63. | HOLÉCZY Ernő, OLÁH Róbert, DR. SIKI Zoltán, DR. TAKÁCS Bence, DR. TÓTH Zoltán, VARGA Tibor | Módszertani útmutató az elavult ingatlan-nyilvántartási térképek korszerű technológiákkal végzett felújításához |
| 64. | DR. GÁBORI László, DR. MOLNÁR Bálint, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás | Az Informatikai Tervező tervezési segédlete |
| 65. | NÁDASDY Tamás, TOMASCHEK Tamás, PALÁSTY István, SZECSŐ Dániel Géza | Dinamikus forgalomirányítás tervezői segédlete gyorsforgalmi úthálózat esetén |
| 66. | LENGYEL István | Szakmai útmutató szolgalmi jogok alapításához (mérnöki segédlet) |
| 67. | NÉMETH Balázs, SZLOVÁK Krisztián, VÍGH Gellért | Épületgépészeti tervezéshez praktikus, gyakorlati adatbázis |
| 68. | FÜRJES Andor Tamás, BORSINÉ Arató Éva, NAGY Attila Balázs, ILLYÉS László, BORSI Gergely | Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban (példatár) |
| 69. | DR. BORBÁS Lajos, GONDA Zoltán | Optikai feszültségvizsgálat – Kísérleti eljárás a konstrukció fejlesztésére, szerkezetek anyagfelhasználásának és teherhordó képességének optimalizálására |