

A városi közlekedés innovatív megoldásainak hatása a karbon lábnyomra

2015

A városi közlekedés innovatív megoldásainak hatása a karbon lábnyomra

The effects of innovative solutions in urban transport to the carbon footprint

Kézirat lezárása: 2014. május 1.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
2. A városi közlekedés fenntarthatósága és környezeti hatásai.....	4
2.1. A fenntartható mobilitás.....	4
2.2. A fenntartható fejlődés mutatói.....	8
2.2.1. A fenntartható fejlődés mutatóinak szükségessége.....	9
2.2.2. A fenntartható fejlődés mutatóinak szempontrendszer.....	10
3. A karbon lábnyom definiálása és alkalmazásának módszertana.....	13
3.1. A karbon lábnyom definíciójának meghatározása.....	13
3.2. A karbon lábnyom előnyei és hiányosságai.....	19
3.3. A karbon lábnyom alkalmazása és a használat módszertana.....	22
3.3.1. A releváns környezeti hatások számbavételének módszertana.....	23
3.3.2. Referenciaértékek meghatározása a szemléltetéshez.....	26
4. A városi közlekedés innovatív megoldásainak vizsgálata.....	35
4.1. A kiválasztás szempontjai.....	35
4.2. A projektek vizsgálata.....	36
4.2.1. Energia-visszatáplálás a villamosközlekedésben lendkerékkel.....	36
4.2.2. Energiatermelő buszterminálok.....	38
4.2.3. Eco-driving a közösségi közlekedésben.....	41
4.2.4. Gyalogos híd az autóforgalom csökkentésére.....	44
4.3. A transzferabilitás vizsgálata.....	48
5. Eredmények.....	51
5.1. A módszertan segítségével kapott eredmények összevetése.....	51
5.2. Következtetések.....	52
5.3. Javaslatok további vizsgálatokra.....	53
Irodalomjegyzék.....	55

Táblázatjegyzék

1. táblázat: A fenntartható közlekedési rendszer célkitűzései.....	5
2. táblázat: A fosszilis tüzelőanyagok eltüzeléséből származó PM10-kibocsátás ágazati megoszlása Magyarországon 2009-ben.....	7
3. táblázat: A fenntarthatóság vagy a környezeti teljesítmény mérésére gyakrabban használt mutatók.....	11
4. táblázat: A karbon lábnyom előnyei és hiányosságai.....	21
5. táblázat: 2012-ben Magyarországon forgalomba helyezett új személyautók.....	29
6. táblázat: Információk a 7-es buszsalád kapcsán.....	31
7. táblázat: A meghatározott karbon lábnyom referenciaértékek.....	34
8. táblázat: Transzferabilitási lehetőségek.....	50
9. táblázat: A kiszámított karbon lábnyomok összehasonlítása.....	51

Ábrajegyzék

1. ábra: Folyamatábra a karbon lábnyom alkalmazásának módszertanáról.....	26
2. ábra: Az első egységérték fiktív városrészének rajza.....	28
3. ábra: Villamosközlekedés Freiburgban.....	37
4. ábra: Napelemek a sevillai buszterminál tetőszerkezetén.....	39
5. ábra: A szolnoki Tiszavirág híd.....	44
6. ábra: A Tiszavirág híd karbon lábnyom különbsége az érintett járművek számának függvényében.....	47

1. Bevezetés

Bármennyire is messzire merészkedünk a környezet-gazdaságtan képzeletbeli útvesztőjében, első körben mindig arról kell megbizonyosodjunk, hogy megfogalmazott üzenetünk – legyen az bármi – valóban megfelelően tisztázott, és így az általunk remélt formában jut el a befogadóhoz. Ennek oka nemes egyszerűséggel az, hogy a környezet, mint fogalom nem feltétlenül ugyanazokat az asszociációkat indítja el mindenkiben, így amikor környezeti hatásokról, környezeti elemekről, környezet-gazdaságtanról vagy éppen bármilyen más hasonló dologról beszélünk, egyértelművé kell tennünk, hogy mit is értünk környezet szó alatt.

Sokan hajlamosak egyenlőségjelet tenni a környezet és a természet szavak közé, ám valójában jóval többről van szó, mint a bennünket körülvevő élő és élettelen elemek összességéről. A környezet ugyanis éppúgy jelenti a technoszférát (vagyis épített környezetet), mint a gazdasági és szociális környezetet (Szlávik, 2008). Ezen alrendszerek ráadásul szoros kölcsönhatásban vannak egymással, így amikor fenntartható fejlődésről, környezeti fenntarthatóságról beszélünk, akkor kötelességünk egymás függvényében vizsgálnunk a bioszféra, a társadalom és a gazdaság hármását – függetlenül attól, hogy a fenntarthatóságnak éppen melyik értelmezését tartjuk szem előtt.

Bármilyen fenntarthatósági problémáról legyen is szó, mindig szem előtt kell tartanunk tehát azt, hogy nem közelíthetjük meg a dolgokat kizárólag a természet oldaláról. Ez alapvetése a fenntarthatóságnak, és rengeteg félreértésre – vagy ha úgy tetszik, téves sztereotípiára – ad okot, amikor „zöld” szemléletről beszélünk. Hiába fontos ugyanis a természeti tőke védelme, a bioszféra megóvása nem mehet végbe olyan kezdeményezések, beruházások és folyamatok révén, melyek gazdasági szempontból nem életképesek, vagy éppen a társadalom részéről nem élveznek támogatást. A rendszerszintű szemlélet tehát kulcsfontosságú – ezért is szükséges, hogy a környezet fogalmát illetően megfelelően stabil alapokra építkezzünk, máskülönben könnyen elveszítenénk a fókusz vizsgáldásaink során.

Mindez persze nem jelenti azt, hogy nincsenek prioritások – sőt, jelen dolgozat szempontjából különösen fontos, hogy legyenek. Hiszen maga a környezet-gazdaságtan is azáltal válik a közgazdaságtan egy rész tudományává, hogy a környezetszennyezéssel, a természeti tőkével kapcsolatos problémákkal, és összességében a környezeti szempontból releváns kérdésekkel foglalkozik. Mi is erre fogjuk kihegyezni a különféle megoldások

vizsgálatát – ahogy az a dolgozat címéből is kiderül, egy megfelelő környezeti mutató használatával –, sosem megfélekezve azonban a gazdaság és a társadalom szempontjából levont következtetésekről.

Bevezetés gyanánt egy dolgot még mindenképpen érdemes tisztázni, ez pedig nem más, mint a közlekedés és a környezet kapcsolata. Ha számba vesszük az egyes alrendszereket (ilyenek például az autóipar, a személyszállítás és az áruszállítás), akkor látatlanban is könnyen megállapíthatjuk, hogy a világ egyik – ha nem a – legnagyobb iparágáról van szó, melynek nyilvánvaló környezeti hatásai (levegőszennyezés, zajártalom, kisajátított földterület stb.) egy laikus számára is viszonylag egyszerűen megállapíthatóak. Mindezek tükrében egyáltalán nem véletlen, hogy a közlekedés rendre előtérbe kerül a fenntartható fejlődéshez köthető törekvések kapcsán: a fogyasztások és a kibocsátások visszaszorítása, a hatékonyság javítása a mobilitási igények kielégítésében mind-mind olyan trendek, melyek jellemzik ezt az ágazatot. Ezen célok elérése érdekében innovatív megoldások egész sora jelent és jelenik meg, melyek nem feltétlenül a megszokott lépések mentén közelítik meg az említett problémaköröket. Egy-egy fejlesztés vagy projekt haszna azonban sok esetben rendkívül nehezen számszerűsíthető – különösen akkor, ha környezeti szempontból szeretnénk megragadni az eredményeket –, ezért szükség van olyan mutatókra, melyek képesek szemléltetni ezeket.

Dolgozatom elsődleges célja – melynek fókuszában a városi közlekedés, és annak különféle ágazatai állnak majd – az, hogy bemutassa, miként számszerűsíthetjük egy-egy innovatív megoldás hasznait egy környezeti indikátor segítségével. Ehhez a karbon lábnyom mutatót fogom alkalmazni, melynek nem csak a sajátosságai kerülnek majd bemutatásra, hanem alkalmazhatóságára is kitérek, saját módszertant kidolgozva erre. A dolgozat lényegi részében konkrét projekteket és esettanulmányokat vizsgállok majd, melyek olyan innovatív megoldásokat alkalmaznak, ahol a karbon lábnyom, mint környezeti indikátor rendkívül erős szemléltető jelleget tud betölteni, ennek elősegítése érdekében pedig a városi közlekedés szempontjából releváns egységértékeket (referencia karbon lábnyomokat) fogok bevezetni, melyek az összehasonlíthatóságot segítik majd. Ezt követően levonhatóvá válnak a megfelelő következtetések annak kapcsán, hogy az egyes megoldások milyen mértékben járulnak hozzá a mutató csökkentéséhez, illetve hogy a fenntarthatóság szempontjából mennyire képviselnek komoly értéket.

A dolgozat céljai:

- ◆ A karbon lábnyom definiálása során felmerülő kérdések, dilemmák számbavétele és elemzése.
- ◆ Módszertan kidolgozása a karbon lábnyom mutató alkalmazására a városi közlekedést érintő fejlesztések esetében.
- ◆ A városi közlekedés szempontjából releváns referenciaértékek kidolgozása és meghatározása a szemléltetéshez.
- ◆ Innovatív megoldások hasznainak számszerűsítése a karbon lábnyom mutató segítségével.
- ◆ Fejlesztések transzferabilitásának vizsgálata és a mutató alkalmazása alapján levont következtetések összefoglalása.

Dolgozatom elkészítése során a legfőbb motivációt az jelentette, hogy felhívjam a figyelmet a karbon lábnyom, mint környezeti mutató előnyeire, valamint hogy egy módszertan kidolgozásával bemutassam, miként illeszkedhet jól használata a városi közlekedéssel kapcsolatos fejlesztések környezeti hatásainak előrejelzésére és szemléltetésére. A fenntartható fejlődés különféle indikátorai a gyakorlati alkalmazásuk és megbízhatóságuk tekintetében még igencsak gyerekcipőben járnak, így véleményem szerint nagy szükség van arra, hogy ezeken javítsunk, hiszen – ahogyan az a későbbiekben bemutatásra kerül majd – ezen mutatók létjogosultsága megkérdőjelezhetetlen.

A karbon lábnyom természetesen csak egy lehetséges út – ezen dolgozat pedig annak egyik lehetséges, szerény leágazása – a sok közül. Személyes célom ennek megfelelően nem az indikátor felsőbbrendűségének kinyilatkozása és torz megalapozása, sokkal inkább a benne rejlő lehetőségek, valamint az elkerülhetetlen hiányosságok feltérképezése, elősegítve ezzel későbbi, mélyebb vizsgálatokat és elemzéseket.

2. A városi közlekedés fenntarthatósága és környezeti hatásai

Mielőtt mélyebbre ásánk, a dolgozat lényegi témáit feszegetve, mindenképpen meg kell vizsgálnunk azt, hogy környezeti és fenntarthatósági szempontból milyen „elvárásokkal” néz szembe a közlekedés, vagyis hogy melyek azok az eszmék, amiket követnünk kell, ha az ágazat „jobbá tételét” tűzzük ki célunk gyanánt. Ehhez első körben azt kell tisztáznunk, mit értünk fenntartható mobilitás, fenntartható közlekedési rendszer alatt.

2.1. A fenntartható mobilitás

Kiindulópontként nyugodtan használhatjuk a **fenntartható fejlődés** definícióját, ennek központi gondolata ugyanis megkerülhetetlen alappillérnek számít, bármilyen fenntarthatósági törekvésről is beszéljünk. A leghíresebb, legtöbbet idézett definíció az ENSZ keretében létrejött Környezet és Fejlesztés Világbizottsághoz (World Commission on Environment and Development), más néven a Brundtland Bizottsághoz köthető, amely elsőként fogalmazta meg a hosszú távú környezeti stratégia alapgondolatát, méghozzá az alábbi módon: *„A fenntartható fejlődés olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen generáció szükségleteit, anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő generációk esélyét arra, hogy ők is kielégíthessék szükségleteiket.”* (WCED, 1987)

A fenntarthatóság kulcsmozzanata tehát a hosszú távban történő gondolkodás, melyet így a **fenntartható közlekedési rendszer** meghatározásánál is elsődleges szempontként kell szem előtt tartani. Nem szabad természetesen figyelmen kívül hagyni az iparág sajátosságait, vagyis alapvető funkcióit (mobilitási igények kielégítése) és velejáróit (emisszió) sem. Emellett a fenntarthatóságot, valamint a természet-gazdaság-társadalom korábban már ismertetett hármas szemléletét ezen területeken is alkalmazni szükséges. Mindezeket szem előtt tartva a Városi Közlekedés Tanács (Urban Transportation Council) 1996-ban az alábbi pontokban foglalta össze a fenntartható közlekedési rendszer legfontosabb célkitűzéseit. (Duncan – Hartman, 1996)

1. Környezeti célkitűzések:

- ◆ Az emisszió és a hulladék a városi környezet befogadó-, újrahasznosító- és megtisztuló képességéhez illeszkedő mértékűre csökkentése.
- ◆ A fosszilis és más nem megújuló természeti erőforrások fogyasztásának csökkentése.
- ◆ A megújuló erőforrások használatának növelése.
- ◆ A járművek és az infrastruktúra terén használt természeti erőforrások újrahasznosítása.

2. Társadalmi célkitűzések:

- ◆ Az egyenlő elérhetőség javítása a generációkon belül és a generációk között.
- ◆ Az emberi egészség és biztonság javítása.
- ◆ Az épített és a természeti környezet esztétikai minőségének javítása.

3. Gazdasági célkitűzések:

- ◆ Megfizethető rendszer biztosítása mindegyik generáció számára.
- ◆ Gazdaságilag is fenntartható rendszer biztosítása.
- ◆ A haszonmaximalizálásra és a költségminimalizálásra történő törekvés.

1. táblázat: A fenntartható közlekedési rendszer célkitűzései

Forrás: saját szerkesztés Duncan – Hartman (1996) alapján

Környezet	Társadalom	Gazdaság
emisszió korlátozása fenntartható energiafelhasználás újrahasznosítás	elérhetőség biztosítása egészség és biztonság javítása esztétikai minőség javítása	megfizethetőség gazdasági fenntarthatóság haszonmaximalizálás költségminimalizálás

Ha összegezzük a felsorolt szempontokat a környezet, a társadalom és a gazdaság mentén, akkor a **fenntartható közlekedési rendszer jellemzői** az alábbi három pontban foglalhatóak össze. (Duncan – Hartman, 1996)

- ◆ Az ember és az ökoszisztéma egészségét és biztonságát, valamint a generációkon belüli és generációk közötti méltányosságot szem előtt tartva biztosítja az egyéneknek, a vállalatoknak és a társadalmaknak az alapvető mobilitási és fejlesztési igények kielégítését.

- ◆ Megfizethető, tisztességesen és hatékonyan működik, választási lehetőséget kínál a közlekedés módjára és támogatja a gazdaság versenyképességét és a kiegyensúlyozott regionális fejlődést.
- ◆ A bolygó számára befogadható szintre korlátozza az emissziót és a hulladékot, a megújuló erőforrásokat lassabb ütemben használja fel, mint az újratermelődésükhöz szükséges idő, a nem megújuló erőforrásokat pedig az azokat helyettesítő megújuló erőforrások üteménél lassabban használja fel, miközben korlátozza a földhasználat és a zaj hatását.

Ha még kompaktabb formában szeretnénk magunknak tudni a fenntartható közlekedési rendszer definícióját, akkor érdemes a Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet, vagyis az OECD megfogalmazását használni, amely szintúgy tartalmazza a fontos „alkotóelemeket”: *„A fenntartható közlekedés olyan közlekedést jelent, amely nem veszélyezteti a lakosság egészségét és az ökoszisztémákat, továbbá a közlekedési igényeket úgy elégíti ki, hogy a megújuló erőforrásokat lassabb ütemben használja fel, mint az újratermelődésükhöz szükséges idő, a nem megújuló erőforrásokat pedig az azokat helyettesítő megújuló források előállítási üteménél lassabban használja fel.”* (OECD, 1996)

Több ízben is szó esett emisszióról, környezeti terhelésről, érdemes azonban konkretizálni, hogy pontosan miket értünk ezek alatt. Mind közül a legfontosabb a **levegőszennyezés**, a fejlettebb államokban ugyanis a közlekedés számít a legnagyobb mesterséges eredetű levegőszennyezőnek, többek között port, kormot és szén-hidrogéneket juttatva a levegőbe (Parti, 2011).

Ha kifejezetten hazai adatokat szeretnénk vizsgálni, akkor megállapíthatjuk, hogy a közlekedés – a háztartásoktól éppen csak lemaradva – a második legnagyobb PM10-kibocsátónak számít, éves szinten több mint 15 ezer tonna szennyező anyagot juttatva a levegőbe (Levegő Munkacsoport, 2013). PM10 alatt a 10 mikrométernél kisebb részecskéket értjük, melyek a levegőben diszpergált állapotban fordulnak elő, vagyis aeroszolok alkotóelemei. Az alábbi táblázat a kibocsátás megoszlását mutatja be az egyes ágazatok között.

**2. táblázat: A fosszilis tüzelőanyagok eltüzeléséből származó
PM10-kibocsátás ágazati megoszlása Magyarországon 2009-ben**

Forrás: Vidékfejlesztési Minisztérium, Levegő Munkacsoport (2013)

Ágazat	Kibocsátás	
	ezer tonna	százalék
háztartások (közlekedés nélkül)	16,534	43,1
közlekedés	15,568	40,6
ipar	4,382	11,4
szolgáltatások	1,492	3,9
erőművek	0,248	0,6
mezőgazdaság	0,148	0,4
távfűtés és gázmotorok	0,000	0,0
összesen*	38,373	100,0

**Ezen felül még 2,15 ezer tonna PM10 került a levegőbe egyéb technológiai folyamatok következtében.*

Ha a dolgozat témáját tekintve különösen fontos üvegházhatású gázokra koncentrálnunk, akkor elmondható, hogy a közlekedés a világszintű kibocsátás közel egynegyedéért felel, ami a szén-dioxid viszonylatában 6,3 gigatonnát jelent. (IPCC, 2007).

A levegőszennyezés legfőbb következményének nyilvánvaló módon az **egészségkárosító hatás** tekinthető, vagyis egy olyan környezeti hatásról beszélhetünk, amely közvetlen módon befolyásolja a társadalom és az emberek életkörülményeit. Miután a fenntartható közlekedési rendszer definiálása során beláttuk, hogy az emberi egészség védelme is szerepel a legfontosabb szempontok között, ezért mindenképpen egy olyan tényezőről van szó, melynek hatásainak csökkentése ajánlott és szükséges.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség tanulmánya szerint Magyarországon éves szinten körülbelül 16 ezer ember hal meg a részecskeszennyezés következtében (Agren, 2010), ami azt jelenti, hogy ha hazánkban éves szinten 130 ezer halálozással számolunk (KSH, 2005), akkor kijelenthetjük, hogy nagyjából minden nyolcadik halálozás hátterében a levegőszennyezés áll. Miután – ahogy azt a fenti táblázat is megmutatta – ebben komoly szerepe van a közlekedésnek is, ezért könnyen belátható, hogy a közlekedés negatív hatásai az emberi közlekedésre cseppet sem mondhatóak elhanyagolható tényezőnek.

Ha a közlekedés kimeneti oldaláról, vagyis a levegőszennyezésről szó esett, akkor nem

mehetünk el szó nélkül az egyik lényeges bemenetről, az **energiafelhasználásról** sem. A közlekedés szerepe ezen a területen is óriási: a világ energiafelhasználásának nagyjából az egynegyedéért felel, ezen felhasználás pedig az előrejelzések szerint éves szinten 2 százalékkal növekszik (EIA, 2013). Fontos részlet emellett az is, hogy hiányzik a diverzitás a felhasznált energiaforrásokat illetően: a közlekedés, mint iparág első sorban a fosszilis forrásokra, azon belül is kőolajszármazékokra támaszkodik, még hozzá rendkívül komoly mértékben, 95 százalékkal (IPCC, 2007). Nem csak az említettek miatt fontos szót ejteni ráadásul az energiafelhasználásról, hiszen ne felejtjük el azt sem, hogy a közlekedés által felhasznált energia megtermelése és levegőszennyezéssel jár. Mindez tehát azt jelenti, hogy az iparág óriási energiaigénye közvetett módon is hozzájárul az üvegházhatású gázok kibocsátásához.

A levegőszennyezéssel már nem hozhatóak közvetlen kapcsolatba, de mindenképpen érdemes legalább felsorolás szintjén kitérni a közlekedés egyéb főbb hatásaira, mint például a **zajszennyezésre**, a **savasodásra** vagy az **eutrofizációra**. Ezen terhelésekhez szintén jelentős mértékben hozzájárul az iparág (Princz-Jakovics, 2011), így a csökkentésükre szintén törekednünk kell, ha fenntartható mobilitásban gondolkodunk.

Ezen fejezetre, vagyis a közlekedés környezeti hatásainak bemutatására azért is volt szükség, mert pontosan ezek azok a szempontok és mutatók, melyeken keresztül lépéseket tehetünk a karbon lábnyom csökkentése érdekében. A később bemutatásra, illetve vizsgálat alá kerülő projektek, esettanulmányok és beruházások mindegyikéről elmondható tehát, hogy valamely környezeti hatás (vagy hatások együttesének) csökkentésével éri el a dolgozat alapjául szolgáló környezeti indikátor javulását.

2.2. A fenntartható fejlődés mutatói

Még mielőtt rátérnék a dolgozat központi témájára, a karbon lábnyomra, mindenképpen szükséges általánosságban is foglalkozni egy keveset a fenntartható fejlődés különféle mutatóival, hiszen magának a karbon lábnyomnak a létjogosultságát is így érthetjük csak meg igazán. A következő alfejezetekben bemutatom, hogy milyen igények állnak ezen indikátorok létrejötte mögött, vagyis hogy mi indokolja ezek szükségességét, valamint kitérek a mutatók jellemző szempontrendszerére is.

2.2.1. A fenntartható fejlődés mutatóinak szükségessége

Manapság már nem számít különösebben meglepőnek, ha a nemzeti elszámolások terén leggyakrabban alkalmazott közgazdasági mutatók, a GDP (Gross Domestic Product, Bruttó Hazai Termék) és a GNP (Gross National Product, Bruttó Nemzeti Termék) kritikájáról hallunk, hiszen hiába ezen mérőszámok viszonylagos egyszerűsége, pontosan ebből adódik az is, hogy rendkívül félrevezetőek tudnak lenni. A GDP-nél maradva: ha vetünk egy gyors pillantást a mutató összetevőire (vagyis a fogyasztásra, a beruházásokra és a nettó exportra), akkor láthatjuk, hogy a mérőszám a gazdasági növekedéssel ragadja meg a jólét növekedését. De valóban használható ez jóléti mutatóként? Szolgálja egy efféle indikátor a környezet, a gazdaság és a társadalom bevezetőben felvázolt hármasszemléletét? Egy rendkívül egyszerű példa segítségével könnyen belátható, hogy nem.

Szemléltetés gyanánt vegyük elő példaként az árvizeket (de beszélhetnénk bármilyen természeti káreseményről). Ha a GDP szemszögéből nézzük a dolgokat, akkor elmondható, hogy hiába okoznak az efféle események nyilvánvaló károkat az élő és az épített környezetben, a károk helyreállítására fordított hatalmas összegek miatt ezek mégis gazdasági növekedésként csapódnak le, hiszen alapvetően beruházásról, adott esetben kormányzati költsékezésről beszélünk, melyek mind növelik a GDP-t. Legbelül persze mindannyian érezzük, hogy ennél jóval többről van szó, hiszen eközben olyan környezeti károk történtek, melyek lényegében semmilyen szinten nem befolyásolják negatívan ezt a mutatót.

A legalapvetőbb gazdasági mérőszámok tehát több szempontból is kifogásolhatók (Szlávik, 2008). Egyrészt – ahogy arra a fenti példa is kitért – nem veszik számba, hogy milyen változások következtek be a természeti tőkében. Másrészt rejtve maradnak a természet által nyújtott szolgáltatások, melyek közvetlen és közvetett módon befolyásolják az életminőséget – ilyen például a környezet öntisztító képessége. Harmadrészt pedig – és ezt szintén lefedtük részben a rövidke példánkban – meg kell állapítani azt is, hogy a környezetvédelemmel vagy emissziókorlátozással párosuló környezetszennyező tevékenység kétszeresen növeli a GDP-t (egyszer a termelés, egyszer pedig a környezetvédelmi beruházás által), miközben az anyag- és energiatakarékos megoldások az alacsonyabb felhasználás következtében negatívan befolyásolják a mutatót.

A fentiek következtében tehát megszületett az igény az olyan indikátorok bevezetésére, melyek a fenntartható fejlődés eszméjét szem előtt tartva vizsgálják a

nemzetgazdaság teljesítményét, figyelembe véve a különféle externáliákat, illetve a társadalom jólétében, illetve a környezet minőségében bekövetkező olyan változásokat, melyek a gazdasági tevékenységek közvetlen és közvetett következményeként jönnek létre. Fontos szempont emellett az is, hogy olyan mérőszámok jöjjenek létre, melyek nem csak makro, hanem mikro szinten is alkalmazhatóak, vagyis nem csak nemzeti teljesítményt képesek mérni, hanem akár egy vállalkozás, egy projekt, vagy akár egyetlen ember környezeti hatásait is szemléltetni képesek.

2.2.2. A fenntartható fejlődés mutatóinak szempontrendszere

Az eddigiekből kiderült, hogy a fenntartható fejlődés mutatóira azért van szükség, hogy lehetőségünk legyen olyan indikátorok használatára, melyek a természeti tőkében bekövetkező változásokat is szem előtt tartják. **Természeti tőke** alatt az alábbi elemeket kell érteni (Szlávik, 2008):

- ◆ nem megújuló, ökoszisztémákból kitermelt erőforrások;
- ◆ megújuló, ökoszisztémák által előállított, illetve fenntartott erőforrások;
- ◆ környezeti szolgáltatások.

Mindezek mellett – újból visszatérve a bevezetőben pedzegetett témához – nem mehetünk el szó nélkül a társadalmi környezetet érintő hatások mellett sem, ezek az új fajta mutatók ugyanis a társadalom jólétében bekövetkező változásokat is igyekeznek valamilyen módon számszerűsíteni.

3. táblázat: A fenntarthatóság vagy a környezeti teljesítmény mérésére gyakrabban használt mutatók

Forrás: Bartus – Szalai (2012)

Mutató	A mutató angol elnevezése	A mutató kifejlesztője és az első közlés éve
<i>A.) A GDP-ből továbbfejlesztett mutatók</i>		
ISEW	Index of Sustainable Economic Welfare	Cobb, 1989
GPI	Genuine Progress Index	Cobb et al, 1995
WI	Well-Being Index	Prescott-Allen, 2001
GS	Genuine Savings Index	Hamilton et al, 1997
EDP	Environmental Adjusted Domestic Product	Hanley, 2000
<i>B.) Az emberi élet feltételeit mérő indexek</i>		
HDI	Human Development Index	UNDP, 2005
CDI	City Development Index	UNCHS (HABITAT), 2001
<i>C.) Környezeti állapot és menedzsment mutatók</i>		
ESI	Environmental Sustainability Index	Esty et al, 2005
EPI	Environmental Performance Index	Esty et al, 2006
EF	Ecological Footprint	Wackernagel és Rees, 1997
LPI	Living Planet Index	WWF, 1998
HI	Heinz Index	Heinz Center, 1999
EVI	Environmental Vulnerability Index	SOPAC, 2005
<i>D.) Az anyagáramok mérésén alapuló indexek</i>		
MFA / TMR	Material Flow Analysis / Total Material Requirement	EUROSTAT, 2001

A környezeti hatások makroszintű figyelembevételével két alapvető koncepció mentén próbálkoznak (Bartus – Szalai, 2012). Az egyik esetben (a táblázat A. és B. osztálya) a GDP továbbalakítására törekkenek, figyelembe véve a természeti tőkében bekövetkezett változásokat, a különféle externáliákat, valamint a társadalom jólétét befolyásoló tevékenységeket. Ezen kategória legátfogóbb, leginkább előrehaladott mutatója az 1995-ben kifejlesztett **GPI** (Genuine Progress Index, Valódi Fejlődés Mutató), amely figyelembe veszi többek között a jövedelem-egyenlőtlenség mértékét, valamint a különféle társadalmi és ökológiai költségeket, hasznokat és externáliákat is. Szempontrendszere valójában rendkívül

aprólékos, és több tucat összetevőből áll – ilyenek például a személyes fogyasztás, az önkéntes munka értéke, a szabadidő csökkenése, a levegőszennyezés költségei, a zaj költségei vagy a hosszú távú környezeti károk (Szlávik, 2008) –, éppen ezért nagyon bonyolult és időigényes az előállítása.

A másik irányzat (a táblázat C. és D. osztálya) egy teljesen önálló mutató létrehozására törekszik, ahol az anyaghasználat és a környezeti teljesítmény kerül előtérbe. Ide sorolható például az **EF** (Ecological Footprint, Ökológiai Lábnyom), melyről a későbbiekben még szó fog esni, hiszen elnevezéséből következően valamiféle „rokonságban” áll a dolgozat témájával, vagyis a karbon lábnyommal – legalábbis ezt sejthetjük. Anélkül, hogy belemennénk az indikátor definiálásába: ebben az esetben az emberi létesítmények területfoglalása, az egy év alatt elhasznált természeti erőforrások, valamint az ez idő alatt megtermelt hulladék képezik a mutató alapját (Bartus – Szalai, 2012).

Részletesebben nem vizsgálom a különféle fenntarthatósági mutatókat: a fentiekkel csupán azt szerettem volna bemutatni, hogy mennyire sokrétű területről van szó, hiszen ahhoz képest, hogy lényegében csak az elmúlt egy-két évtizedben született meg az igény a bevezetésükre, rengeteg különféle indikátort dolgoztak ki a környezet-gazdaságtan terén jártas elmék. Ezek alkalmazása persze már gyökeresen eltér – mind a méreteket, mind pedig a figyelembe vett tényezőket illetően –, a szempontrendszerbe történő betekintés során azonban látható volt, hogy a természeti tőke rendre visszaköszönt, vagyis a különbségek mellett találunk hasonlóságokat is, melyek összekötik ezeket a mutatókat.

Miután beláttuk a fenntarthatósági indikátorok feladatát és céljait, rátérhetünk a dolgozat által kiszemelt „példányra”, a karbon lábnyomra, mely a fenti táblázatban kiemelt mutatóknál is fiatalabb kezdeményezés – nem véletlenül maradt ki a felsorolásból sem. Ez azonban még nem jelenti azt, hogy újabb felesleges, „sokadik” indexről van szó. A Bartus – Szalai (2012) szerzőpáros is kiemeli, hogy a környezeti állapot jellemzőinek egyetlen mutatóval történő kifejezéséhez jelentős fejlődésre és további kutatásokra van szükség, jelenleg ugyanis még egyáltalán nem lehetünk biztosak abban, hogy ezek az indexek valóban azon dolgokat mutatják, amire az eredeti szándék szerint kifejlesztették őket. Új módszerekre tehát mindig szükség van, jelenleg ugyanis nincs olyan széles körben elfogadott fenntarthatósági mutató, amely maradéktalanul képes kifejezni a környezeti hatások súlyát, és amely kellően rugalmasan igazodik bármilyen vizsgálati törekvéshez.

3. A karbon lábnyom definiálása és alkalmazásának módszertana

Megérkeztünk a dolgozat központi eleméhez, a karbon lábnyomhoz, mely egy viszonylag friss kezdeményezésnek mondható a környezeti indikátorok területén. Ebből adódóan a mutató széles körű alkalmazása még nem történt meg, rendkívül erős szemléltető jellege miatt – melynek köszönhetően előrejelzésre is jól alkalmazható – azonban érdemes lenne ezen változtatni – dolgozatomban is erre szeretném felhívni a figyelmet.

A most következő fejezetben bemutatásra kerülnek a karbon lábnyom definiálása során felmerülő kérdések és dilemmák, melyek kapcsán későbbi javaslataimat is meg fogom alapozni, emellett pedig kitérek a mutató sajátosságaira is, beleértve erősségeit és hiányosságait. Ezt követően az itt felmerülő megállapítások alapján kidolgozásra kerül a későbbi vizsgálatok alapjául szolgáló módszertan, az eredmények szemléltetésének elősegítése érdekében pedig néhány egységértéket (referenciaértéket) is kidolgozok, melyek viszonyítási alapként szolgálhatnak majd.

3.1. A karbon lábnyom definíciójának meghatározása

A 2000-es évekre a karbon lábnyom egyre többen hangoztatott kifejezés lett a klímaváltozás kapcsán, tudományos szempontból azonban ekkoriban még igencsak gyerekcipőben járt a fogalom jelentésbeli háttere. Thomas Wiedmannban és Jan Minxben 2007-ben fogalmazódott meg (Wiedmann – Minx, 2007), hogy szükség lenne egy akadémiai definícióra a karbon lábnyom kapcsán, hiszen ezáltal nem csak az értelmezésbeli különbségeket lehetne semmissé tenni, hanem az indikátor alkalmazásának módszertanát is erőteljesebb és egyértelműbb fókusszal lehetne javítani a jövőben.

A definíció megalkotása közel sem egyszerű feladat, ha ugyanis elkezdünk mélyebbre ásni a karbon lábnyom jelentését illetően, számos lehetséges félreértéssel és dilemmával találkozunk. Az elsővel rögtön akkor, amikor az ökológia lábnyommal próbáljuk szembeállítani, hiszen egyértelmű, hogy a karbon lábnyom elnevezés ebből a fogalomból eredeztethető – sőt, lényegében egy részmutatójának is tekinthető. Érdekes tehát ebből kiindulni.

Wackernagel és Rees (1996) szerint az **ökológiai lábnyom** nem más, mint „*az a termékeny föld- és vízterület, mely az emberiség számára az összes elfogyasztott erőforrás*

megtermeléséhez és az összes megtermelt hulladék elnyeléséhez szükséges, bárhol is legyen ez a föld és víz a világon.” Egy rendkívül összetett mutatóról van tehát szó, mely az emberi termelés és fogyasztás mindenféle változatát figyelembe veszi, ezek környezeti hatásait pedig egy területegységre levetítve szemlélteti. Ebből kiindulva megfogalmazhatóak azok a kérdések is, melyek mentén definiálhatóak a karbon lábnyom fogalmának kulcsmozzanatai.

Mit is mérünk pontosan a karbon lábnyom esetén? El kell dönteni, hogy a mutató kizárólag a szén-dioxid emissziót vizsgálja-e, vagy esetleg kitérjen más tényezőkre (például az összes szén-alapú gázkibocsátásra, vagy éppen minden üvegházhatású gázra) is?

Hol húzzuk meg a vizsgálat határát? Egy tevékenység vagy egy termék előállításának közvetlen emissziói viszonylag egyszerűen beazonosíthatóak, de vajon mi a helyzet a közvetett kibocsátásokkal? Minden folyamat egy másik megelőző folyamatból ered (például egy termék legyártásához alapanyagra van szükség, de az alapanyagot is ki kell nyerni, elő kell állítani), így kis túlzással a végtelenségig mélyíthetnénk vizsgálódásainkat. A végén pedig már ott lyukadunk ki, hogy a levegő minőségének védelmével kapcsolatos jövő heti franciaországi sajtótájékoztatónk karbon lábnyomát elemezve (csak hogy legyen plusz egy érdekes adatunk) a prezentációnk során használt kivetítőket gyártó tajvani gyáróriás kínai alkalmazottjának a munkába járási útvonalát és étrendjét számolgatjuk. A határt nyilvánvalóan meg kell húzni valahol, el kell dönteni, hogy egy folyamat életciklusán belül mely tényezőket szeretnénk figyelembe venni, és melyeket nem.

Miben mérjük a karbon lábnyomot? Ahogy arra korábban már kitértünk, az ökológiai lábnyom esetében a végeredményt területegységben (jellemzően hektárban) kapjuk meg, de vajon mi lenne jelen esetben a legkézenfekvőbb? Talán ez a legnehezebb kérdés mind közül. Hiszen dönthetünk úgy, hogy maradunk az ökológiai lábnyom által bevezetett módszerhez, és azt mondjuk, hogy a karbon lábnyom az a földterület, mely adott mennyiségű szén-dioxid (vagy üvegházhatású gáz, ha korábban így döntöttünk) kibocsátás semlegesítéséhez szükséges. Dönthetünk úgy is, hogy kizárólag a kibocsátás mennyiségére fókuszáljuk, és azt mérjük – praktikusán tonnában –, hogy mekkora szén-dioxid kibocsátásért felel az adott folyamat, termék vagy vállalat. De korábbi döntéseink függvényében választhatjuk azt is, hogy az összes üvegházhatású kibocsátás hozzuk „egy tető alá” egy szén-dioxid egyenérték (CO₂-eq) segítségével, mely azt mutatja meg, hogy az üvegházhatás szempontjából mekkora mennyiségű szén-dioxidnak felel meg az adott szennyezés.

Látható tehát, hogy a feladat nem egyszerű, hiszen értelmezéstől függően a karbon

lábnyom számos dolog lehet. A szakirodalmi vizsgálódás során ráadásul kiderül, hogy sokan csupán egyfajta szinonimaként használják a karbon lábnyomot a szén-dioxid kibocsátásra (az ökológiai lábnyomhoz hasonlóan ezt a fogalmat is kezdi felkapni a média, innen eredeztethető sok pontatlanság), de a definíció-szerű megfogalmazások is elképesztően széles skálán mozognak. Érdemes megnézni ezek közül néhányat, hiszen ezáltal láthatóvá válik, hogy az előbbiekben felvázolt kérdéseket valóban tisztázni szükséges, a megfogalmazott értelmezésbeli lehetőségekből adódó eltérések ugyanis kézzel foghatóak.

„A karbon lábnyom a személyes napi aktivitásból származó szén-dioxid kibocsátás mennyisége – legyen szó a szennyes ruhák kimosásáról, vagy arról, hogy iskolába visszük a gyerekeket autóval.” (BP, 2007)

„Az üzleti tevékenység által okozott összes direkt és indirekt szén-dioxid kibocsátás mennyisége.” (Energetics, 2007)

„A karbon lábnyom egy olyan mértékegység, mely az emberi tevékenység környezeti hatását méri a megtermelt üvegházhatású gázok mennyiségének szempontjából, szén-dioxid tonnában megadva.” (ETAP, 2007)

„Annak a biokapacitásnak a mértéke, mely az üzemanyagok elégetéséből származó szén-dioxid emisszió elnyeléséhez szükséges (fotoszintézisen keresztül).” (Global Footprint Network, 2007)

„A karbon lábnyom azon szén-dioxid kibocsátásnak a mértéke, mely az üzemanyagok elégetése következtében jön létre. Üzleti vállalkozás esetén annak a szén-dioxid kibocsátásnak a mértéke, mely közvetlen és közvetett következménye a vállalkozás mindennapi működésének.” (Grubb & Ellis, 2007)

„Egy olyan módszer, melynek segítségével megbecsülhető egy adott termék teljes életciklusa során kibocsátott üvegházhatású gázok mennyisége karbon egyenérték formájában kifejezve, kezdve a gyártáshoz szükséges nyersanyagok előállításától a késztermék leszállításáig (de nem mérve a használat közbeni kibocsátást).” (Carbon Trust, 2007)

„A karbon lábnyom egy folyamat vagy termék teljes életciklusa során kibocsátott szén-dioxid és egyéb üvegházhatású gázok mennyisége. Kifejezni gCO₂-eq/kWh formában lehet, vagyis a kibocsátás szén-dioxid egyenértékben mérve, grammal kifejezve, osztva a fogyasztással kilowattórában.” (POST, 2006)

Látható, hogy nem igazán beszélhetünk értelmezésbeli egyetértésről. A fenti definíciók

számos ponton eltérnek egymástól, elolvasásukat követően pedig újból a korábban felvázolt kérdések merülhetnek fel bennünk. Látható, hogy egyes megfogalmazások szerint kizárólag a szén-dioxid kibocsátást kellene figyelembe venni, mások azonban az összes üvegházhatású gázról beszélnek, és inkább szén-dioxid egyenértékben adnák meg a karbon lábnyom nagyságát. A vizsgált rendszer határait illetően is nagyok az eltérések. Egyes definíciók szerint kizárólag az üzemanyagok elégetéséből származó emissziót szükséges figyelembe venni, mások viszont teljes életciklus- és folyamatelemzésről szólnak. De olvashatunk az ökológiai lábnyom meghatározásával egybecsengő megfogalmazást is, mely a kibocsátás semlegesítéséhez szükséges biokapacitás mértékével tenné egyenlővé a karbon lábnyomot.

Wiedmann és Minx (2007) a fentiek, illetve a felvázolt kérdések tükrében az alábbi **munkadefiníciót** fogalmazta meg 2007-ben a karbon lábnyomra:

„A karbon lábnyom azon szén-dioxid kibocsátás mértéke, mely egy termék teljes életciklusa vagy egy tevékenység direkt és indirekt következményeként jön létre, méghozzá kizárólagos módon.”

A definíció egyes kulcsszavait illetően a szerzők mélyebb magyarázatokkal is szolgálnak, egyértelműsítve, hogy ők mit is értenek karbon lábnyom alatt (Wiedmann – Minx, 2007).

- ◆ A tevékenységek alanyai lehetnek egyének, közösségek, a kormány, vállalatok, szervezetek, folyamatok vagy akár egyes iparágak is, míg termékek alatt a fizikai jószágokat és a szolgáltatásokat is lehet érteni. Bármilyen esetről is legyen szó, figyelembe kell venni minden közvetlen (helyben jelentkező, vagyis belső) és közvetett (nem helyben keletkező, vagyis külső, beleértve a kutatást, a kitermelést és a feldolgozást) kibocsátást.
- ◆ Az emisszió tekintetében kizárólag a szén-dioxidot kell figyelembe venni. Nyilvánvalóan léteznek más üvegházhatású gázok is, melyek környezeti hatásai adott esetben még súlyosabbak is lehetnek, mint a szén-dioxidé, ezek kiválasztási kritériumai azonban nem egyértelműek (melyeket vegyünk figyelembe, és melyeket ne?), és számszerűsíteni sem egyszerű mindegyiküket. A szerzők szerint az üvegházhatású gázok együttes hatását egy külön mutatóval lenne érdemes vizsgálni, a karbon lábnyomot pedig „meg kell hagyni” a szén-dioxid számára.
- ◆ A karbon lábnyom kifejezésére tömegegységet (kilogramm, tonna stb.) javasol a definíció, és tartózkodik a területegységre (hektár, négyzetméter, négyzetkilométer

stb.) történő átváltásról, vagyis ilyen téren nem von párhuzamot az ökológiai lábnyommal. Ezáltal csökkenteni lehet a hiba lehetőségét és a bizonytalanság mértékét, melyekre egy esetleges átváltás egyaránt negatívan hatna.

- ◆ Végezetül rendkívül nagy körültekintéssel kell meghúzni azon rendszer határát, melyen belül az indirekt (vagyis közvetett) kibocsátásokat vizsgáljuk, itt ugyanis számos ponton elcsúszhat a számításunk. Olyan módszertanra van szükség, amely biztosítja, hogy ne hagyjunk ki fontos folyamatokat, bármilyen termékről vagy tevékenységről legyen is szó, ugyanakkor ügyelni kell arra is, nehogy bizonyos kibocsátásokat kétszer vegyünk számba. A kizárólagosság éppen ez utóbbit jelenti: azokra az emissziókra kell fókuszálni, melyek kifejezetten az adott folyamat közvetlen vagy közvetett következményei.

A továbbiakban én is a fenti definíciót alkalmazva (de ahhoz nem minden áron ragaszkodva!) fogom vizsgálni a karbon lábnyomot, mindenképpen meg kell jegyezni azonban, hogy a mai napig nincs olyan széles körben használt és elfogadott meghatározás a fogalom kapcsán, amelybe teljes nyugalommal bele lehetne kapaszkodni. Mindez a korábban felvázolt kérdésekre vezethető vissza, hiszen nem elég, hogy az egyes problémaköröket több szempontból is vizsgálhatjuk (gondolva itt a számba vett kibocsátásokra, vagy éppen a mértékegységre), de könnyen lehet, hogy bizonyos esetekben az egyik megközelítés sokkal hasznosabb, mint valamelyik másik, és persze fordítva.

Véleményem szerint az a legbiztosabb megoldás, ha kijelölünk magunknak egy kiindulópontot (jelen esetben a fenti definíciót), ám ugyanakkor fejünkben tartjuk a karbon lábnyom idézőjeles változóit is, és ha szükséges, akkor kellő rugalmassággal változtatunk ezeken. Hogy miért van erre szükség, az – akárcsak a fenntartható fejlődés mutatóinak létjogosultságának bizonyításakor – most is könnyű szerrel szemléltethető egy egyszerű példa segítségével.

Tegyük fel, hogy karbon lábnyomot szeretnénk mérni, méghozzá két teljesen eltérő, nehezen összevethető projekt vagy beruházás kapcsán. Az egyszerűség kedvéért kapcsolódjon mindkettő egy képzeletbeli fuvarozó céghez, amely rendkívül elhivatott környezeti hatásainak, és így karbon lábnyomának csökkentése iránt. Az egyik törekvés a járműpark modernizálását helyezi előtérbe: az átlagosan öt évvel alacsonyabb életkorú járművek károsanyag-kibocsátása a modernebb technológiának hála csökkenne, vagyis közvetlen

módon szorítanák vissza a vállalkozás szén-dioxid kibocsátását. A másik törekvés a cég telephelyéhez kapcsolódik, ahol egy körülbelül 7 hektáros, rossz állapota miatt jelenleg teljesen kihasználatlan területet parkosítanának a dolgozók munkakörülményeinek javítása érdekében, miután a cég jelentős létszámbővítést tervez. Érezzük, hogy környezeti szempontból mindkét beruházás „jó”, ennek felmérésére azonban nehezen tudnánk éppen ugyanazon módszertant alkalmazni, hiszen jellegüket (és céljukat) tekintve teljesen különböző megoldásokról van szó. Sőt, utóbbi törekvés esetében nem is feltétlenül egyértelmű, hogy miként kapcsolódik a karbon lábnyomhoz, hiszen a szó szoros értelmében nem beszélhetünk kibocsátásról, vagy annak csökkentéséről. Azonban minden csak szemléletmód kérdése: ha azt mondjuk, hogy a parkosítás olyan zöldterületet teremt a városrész számára, mely a növényzet fotoszintézisén keresztül hozzájárulhat a helyi szén-dioxid szennyezés megkötéséhez, akkor belátható, hogy az „abszolút” karbon lábnyom csökkentéséhez mégis csak hozzájárultunk.

Az élet nagy igazsága tehát, miszerint minden csak nézőpont kérdése a karbon lábnyomra is igaz. Nem szabad megfélekedezni arról, hogy az indikátor személyében egy rendkívül „új” dologról beszélünk, ami innovatív megoldások esetén – mint amilyenekről ez a dolgozat is szól majd – még tovább növeli vizsgálódásunk talajának ingoványosságát. Céлом ennek megfelelően nem az lesz a dolgozattal, hogy egy már létező módszertant húzzak rá az általam kiszemelt projektekre, hiszen a fenti – rendkívül egyszerű – példákon keresztül látható volt, hogy meglepően könnyen zsákutcába tudunk jutni, ha szorosan ragaszkodunk egy-egy modell kritériumaihoz. Sokkal inkább **egy olyan módszertan kidolgozását tűztem ki célul, amely kellően rugalmasan tud idomulni a városi közlekedés bármely környezeti szempontból releváns megoldásához**, így a karbon lábnyom minden esetben meghatározhatóvá – és így maga a mutató is összevethetővé – válik.

Mielőtt azonban erre sort kerítenék, mindenképpen tisztázni kell egy fontos kérdést: nevezetesen azt, hogy miért is jó a karbon lábnyom, hiszen amilyen sokat foglalkoztunk eddig a körülírásával, olyannyira kevés szó esett a tényleges hasznairól. A következő fejezetben ennek megfelelően ezekről – valamint az elkerülhetetlen hiányosságokról – lesz szó.

3.2. A karbon lábnyom előnyei és hiányosságai

A definíciók tengeréből kiúszva éppen ideje tisztázni, hogy mire is jó pontosan a karbon lábnyom. Ez szerencsére jóval egyszerűbb feladat, mint felállítani egy minden szempontból kifogástalan alapfogalmat: a karbon lábnyom segítségével szemléltethetjük, hogy egy cég, egy projekt, egy esemény, egy folyamat vagy éppen egyetlen személy (a sort hosszasan folytathatnánk) mekkora közvetlen és közvetett szén-dioxid kibocsátással járul hozzá a világban végbemenő üvegházhatású gáz emissziókhoz. Egyszerűbben megfogalmazva: a karbon lábnyom egy bizonyos kritérium (nevezetesen a szén-dioxid) alapján számszerűsíti valaminek a környezeti hatásait.

Az első, és talán legfontosabb **előnyként** tehát a **szemléltető jelleget** kell kiemelni: a karbon lábnyom egy laikus számára is viszonylag könnyen értelmezhető mutatószám segítségével fejezi ki egy tevékenység környezeti hatásait. A különböző vizsgálatok során kapott eredményeket ezek után össze lehet hasonlítani, ami azt jelenti, hogy a karbon lábnyom a döntési folyamatok során is segítséget nyújthat, hiszen ha kifejezetten a környezetterhelő hatást szem előtt tartva szeretnénk dönteni két beruházás között, akkor ezen indikátor segítségével közelebb kerülhetünk az ideális választáshoz. Az összehasonlítás és a viszonyítás kapcsán megemlíteném, hogy különféle egységértékek (referenciaértékek) bevezetésével még erősebbé tehető a szemléltető jelleg – a későbbiekben ezek meghatározására is sort fogok keríteni.

A karbon lábnyom nem csak az összehasonlíthatóságot teszi lehetővé, hanem az **előrejelzés** területén is remekül alkalmazható. Miután a szén-dioxid emisszióhoz kapcsolódó környezeti hatások viszonylag jól becsülhetők a tervezett megoldások ismeretének tükrében, ezért egy-egy projekt tervezésének már igen korai szakaszában végezhetünk számításokat a karbon lábnyomra vonatkozóan.

Mint minden fenntarthatósági mutató esetében, így a karbon lábnyomnál is fontos szerep jut a fenntartható fejlődés egyik sarkalatos törekvésének, az **externáliák internalizálásának**. Mindez azt jelenti, hogy az indirekt módon jelentkező külső hatásokat igenis figyelembe kell venni, a karbon lábnyom elemzése pedig kitűnő alap ehhez, hiszen egy kibővített rendszerben szemléli a tevékenység következményeit. Azzal, hogy egy termék esetében a teljes életciklust megvizsgáljuk a környezeti hatás szempontjából, vagy hogy a felhasznált energia előállításakor keletkező emissziókat is figyelembe vesszük (a példákat itt

is hosszasan lehetne sorolni), elérjük azt, hogy olyan hatásokat is „magunkévá” tesszünk, melyekért közvetlenül nem mi vagyunk felelősek. Ez a felelősségteljes hozzáállás a fenntarthatóság szempontjából egy kiemelten követendő attitűd, a karbon lábnyom pedig jellegéből adódóan szükségszerűen magával hozza ezt a szemléletet.

A közvetett negatív következmények számba vétele mellett nagy előnye a karbon lábnyomnak az is, hogy képes **nehezen megfogható hatásokat is számszerűsíteni**, melyek hasznait (esetleg kárait) más módon csak rendkívül nehezen (vagy sehogy sem) tudnánk kifejezni. Hogyan számszerűsíthetjük például egy villamospálya fűvesítésének hasznait? A karbon lábnyom segítségével – még ha nagyvonalú becslésekkel is, de – választ adhatunk az ehhez hasonló fogós kérdésekre.

Végezetül fontos előnynek mondható még **a mutató rugalmassága a vizsgálat méreteit tekintve**. Jellegéből adódóan karbon lábnyomot makro és mikro szinten is alkalmazhatjuk: vizsgálhatjuk akár nemzeti szinten is, de iparágak, városok, nagyvállalatok, vállalkozások, beruházások, folyamatok vagy akár egy-egy személy szintjére is lemehetünk. Fontos megjegyezni, hogy becslésünk megbízhatósága a vizsgált egység méretének növekedésével fokozatosan csökkenni fog, hiszen a rendelkezésre álló adatok, valamint a vizsgálat határainak bizonytalansága ebben az esetben egyre nő.

Ezzel rá is térhetünk a mutató **gyengeségeire és hiányosságaira**, ahol az előzőeknek megfelelően mindenképpen meg kell említeni a már korábban is felmerült **bizonytalanságokat**. Jelenleg nincs egyértelmű álláspont arra vonatkozóan, hogy mit (csak a szén-dioxidot vagy minden üvegházhatású gáz kibocsátást) és miben (a kibocsátás mennyiségében, vagy az ökológia lábnyomhoz hasonlóan a szennyezés fenntarthatóságának biztosításához szükséges terület nagyságában) kellene mérni a karbon lábnyom esetében. Emellett a vizsgálat ésszerű határait is nehéz meghúzni, ezeket ráadásul gyakran csak önkényesen tudjuk megtenni, ami egyértelműen növeli mérésünk bizonytalanságát.

A fentiek mellett a különféle **torzító tényezők** is megnehezítik a mutató használatát. A korábbiakban már szó esett a kizárólagosság elvéről, ami azt jelenti, hogy törekednünk kell arra, hogy kizárólag azokat az emissziókat vegyük figyelembe, melyek – direkt vagy indirekt módon – kifejezetten az adott tevékenység következményei. Ez azonban nem mindig ilyen egyszerű és egyértelmű. Mi történik például akkor, ha egy kibocsátás egyszerre több tevékenységhez, piaci szereplőhöz vagy személyhez is köthető? Nagyon könnyen beleeshetünk abba a hibába, hogy egy bizonyos emissziót kétszer (vagy akár még többször) is

számba vesszünk. Vagy épp ellenkezőleg: egyszer sem, mert rossz tevékenységhez kapcsoljuk az adott kibocsátást. Sőt, még hibáról sem kell feltétlenül beszélnünk: elég csak elképzelnünk azt, milyen lehet a karbon lábnyomok „összessége”. Nem is feltétlenül a világon: egy aprócska település, vagy akár egy ipari negyed is megteszi. Nehéz elképzelni, hogy nincs legalább egy olyan környezeti tényező, melyet a különálló karbon lábnyom vizsgálat során egynél több cég vagy tevékenység esetében is figyelembe vettek (még hozzá nem feltétlenül fajlagos módon), márpedig ebben az esetben máris nagyobb karbon lábnyomot mutat a vizsgálat a ténylegesnél. (Meg kell jegyezni, ez még mindig a jobbik eset. „Jobb félni, mint megijedni”, ugyebár...) A kizárólagosság felismerése, illetve a fajlagos számbavétel tehát általában cseppet sem egyszerű és egyértelmű dolog.

Az utóbb említettekből egyenesen következik, hogy a karbon lábnyom megállapítása esetenként rendkívül **nehéznek, bonyolultnak és időigényesnek** bizonyulhat. Minden esetben fel kell tehát mérnünk és meg kell becsülnünk azt, hogy előreláthatólag mekkora erőforrást igényel a karbon lábnyom vizsgálata, és csak akkor ragaszkodjunk ehhez, ha valóban racionálisnak mondható.

4. táblázat: A karbon lábnyom előnyei és hiányosságai

Forrás: saját szerkesztés

Előnyök	Hiányosságok
◆ szemléltető jelleg ◆ használható előrejelzésre ◆ nehezen megfogható hatások számszerűsítése ◆ a méretek szempontjából rugalmas	◆ értelmezésbeli bizonytalanságok ◆ nehezen meghúzhatóak a vizsgálat határai ◆ torzító tényezők ◆ esetenként bonyolult és időigényes

Kár lenne tehát tökéletesnek beállítani a karbon lábnyomot, hiszen – mint az látható – ennek a mutatónak is megvannak a maga hiányosságai. Ha azonban tisztában vagyunk velük, és törekszünk arra, hogy minél kevesebb alkalommal kelljen ezekkel szembesülnünk – vagyis megfelelő módszerekre igyekszünk támaszkodni –, akkor egy rendkívül hasznos, sokrétű és jó szemléltető jelleggel rendelkező mutatót kapunk, amely kiváló segédeszköz lehet a környezeti hatások számszerűsítésére.

3.3. A karbon lábnyom alkalmazása és a használat módszertana

Miután mind a közlekedés, mind a fenntarthatóság, mind pedig a karbon lábnyom témakörét alaposan körüljártuk, itt az ideje összekötni ezt a három dolgot. A dolgozatomban olyan innovatív megoldások karbon lábnyomát fogom vizsgálni a városi közlekedés területén, melyek fenntarthatósági és környezeti szempontból relevánsnak mondhatóak. Ám mielőtt erre sor kerülne, bemutatni és részletezni szükséges az ehhez kapcsolódó módszertant – erre szolgál az aktuális alfejezet.

Ahogy az korábban röviden már felvázoltam, a célom egy olyan módszertan kidolgozása volt, amely kellően rugalmas és körültekintő ahhoz, hogy számszerűsíteni tudjuk segítségével a városi közlekedésben véghez vitt (illetve a jövőben tervezett) beruházások és megoldások hatását a karbon lábnyomra. Ennek segítségével elemezhetővé válnak a következő fő fejezetben bemutatásra kerülő projektek, illetve azok karbon lábnyoma.

A módszertan egyik sajátossága abból adódik, hogy a vizsgálat során az egyes megoldások hatását, vagyis a karbon lábnyom megváltozásának a mértékét szeretném kideríteni. Mindez azt jelenti, hogy azok a kibocsátások és egyéb hatások kerülnek minden esetben a fókuszba, melyek az adott megoldás hatására megváltoznak, vagyis valójában nem karbon lábnyomot, hanem karbon lábnyom különbözetet fogok mérni. Felmerül a kérdés: nem sérül ezzel a mutató szemléltető jellege? Hiszen hiába jönnek ki bizonyos értékek, ha nem tudjuk, hogy eredetileg mekkora volt a karbon lábnyom – vagyis nincs viszonyítási alap. Ezen probléma áthidalására egységértékeket (referenciaértékeket) fogok meghatározni, melyekhez viszonyítva érzékelhetővé válik, mekkora hatásnak felel meg az adott karbon lábnyom csökkenés.

A következőkben sorra veszem azokat a jellemző emissziókat, ahol jelen van a szén-dioxid, illetve azokat az egyéb környezeti hatásokat, melyek valamilyen módon visszavezethetőek a szén-dioxidra, ezáltal szerepet játszhatnak a karbon lábnyom változásának minél teljesebb számszerűsítésében. Ezután meghatározom azokat az egységértékeket, melyek megadják majd a viszonyítási alapot a későbbi vizsgálatokhoz.

3.3.1. A releváns környezeti hatások számbavételének módszertana

Az alábbiakban levezetésre kerül, hogy a városi közlekedésben végbe menő fejlesztések környezeti hatásai miként vezethetők le szén-dioxid kibocsátásként, és miként járulhatnak hozzá a karbon lábnyom mutatóhoz. A felvázolt módszereket sok esetben természetesen együttesen, egymással párhuzamosan kell alkalmazni.

A városi közlekedés terén jellemzően az alábbi esetekben beszélhetünk közvetlen vagy közvetett módon szén-dioxid kibocsátásról: üzemanyag felhasználása, hajtáshoz használt elektromos energia előállítása, infrastruktúra ellátásához szükséges elektromos energia előállítása. Fontos, hogy miután különbözetet vizsgálunk, ezért kizárólag azokat a tényezőket vesszük figyelembe, amelyek folyamatosan jelen vannak a rendszerben, az egyszeri beruházásokat (melyek az adott projekt vagy megoldás megvalósításához kapcsolódnak) nem. Figyelembe kell venni emellett azt is, ha egy megoldás valamilyen módon a szén-dioxid koncentráció csökkentéséhez járul hozzá.

- ◆ Amennyiben a megoldás járművek üzemanyag-felhasználásának csökkenésével jár, úgy az ilyen módon megspórolt üzemanyag feltételezett elégetésével járó szén-dioxid kibocsátás mennyiségét kell felszámolni karbon lábnyom különbözetként. Ehhez – amennyiben vannak – hozzá kell venni a hajtáshoz használt energiaforrás előállításához köthető emissziókat is.
- ◆ Amennyiben a megoldás célja a jelenlegitől eltérő energiaforrás használata (például üzemanyag helyett elektromos energia), úgy az üzemeltetéssel kapcsolatos emissziókat különböző előjellel kell figyelembe venni, és így számítható ki a karbon lábnyom különbözet. Ez azt jelenti, hogy a „rég” energiaforrás használatából következő direkt és indirekt emissziókat úgy kell tekinteni, mintha nullára csökkentek volna, vagyis ezek negatív előjellel szerepelnek, míg az új energiaforrás használatához köthető emissziók pozitív előjellel.
- ◆ Amennyiben a megoldás az infrastrukturális energiafelhasználás csökkenésével jár, úgy az ilyen módon megspórolt energia előállításánál jelentkező emissziót kell felszámolni karbon lábnyom különbözetként (feltételezve, hogy annak előállítása szén-dioxidot juttat a levegőbe).
- ◆ Amennyiben a megoldás járműforgalom csökkenésével jár (akár közvetett módon, alternatívát nyújtva), úgy azt kell figyelembe venni, hogy ez lényegében szintén

felfogható az üzemanyag-felhasználás csökkenéseként, csak éppen a közlekedési rendszer egészére vonatkozóan, nem pedig vállalaton belül. A levezetés során tehát itt is a kevesebb elégetett üzemanyagból adódó alacsonyabb szén-dioxid kibocsátásból kell kiindulni, természetesen itt sem megfélemlítve az előállításához köthető emissziókról.

- ◆ Amennyiben egy infrastrukturális fejlesztés nem csak csökkenti, hanem teljesen meg is szünteti adott területen a járműforgalmat (ilyen eset például az, amikor városi területeket kifejezetten a lágy mobilitási formák számára sajátítanak ki), úgy a teljes emisszió-csökkenés felszámolható karbon lábnyom csökkenésként.
- ◆ Amennyiben egy infrastrukturális fejlesztés következtében nagyobb zöldterület jön létre, úgy a megnövekedett megköthető szén-dioxid mennyiséget a karbon lábnyom csökkenéseként kell felszámítani. Ugyanez a teendő abban az esetben, ha egy fejlesztés valamilyen egyéb módon szolgálja a szén-dioxid koncentráció csökkenését.

A módszertan egyik nagy előnye, hogy miután kizárólag különbségeket vizsgálunk, ezért akarva-akaratlanul teljesítjük a kizárólagosság elvét. Hiszen ha egy számunkra releváns kibocsátás megváltozik a megoldás vagy a fejlesztés következtében, az egyértelműen ahhoz (és csak ahhoz) köthető, így a vizsgálandó rendszer határai a kibocsátások alapos feltérképezése esetén lényegében önmaguktól kirajzolódnak, jelentősen megkönnyítve a vizsgálatot, csökkentve a bizonytalanságot.

A módszertan másik előnye, hogy rugalmasan igazodik a karbon lábnyom definiálásakor felmerült „változókhoz”, és tetszőlegesen bővíthető más, a szén-dioxidhoz nem szorosan kapcsolódó elemekkel. Ha például az összes üvegházhatású gáz emissziót figyelembe szeretnénk venni, nem csak a szén-dioxidot, akkor csupán annyi a dolgunk, hogy az egyes üvegházhatású gázokat átszámítjuk szén-dioxid egyenértékre környezetterhelő hatásuk függvényében. A különbség ebben az esetben természetesen nem szén-dioxid tömegérték, hanem szén-dioxid egyenérték (CO₂-eq) tömegérték lesz. De tekinthetünk más környezeti hatásokat is, mind természeti, mind pedig társadalmi oldalról: ebben az esetben a pénzértékben történő kifejezés lehet segítségünkre.

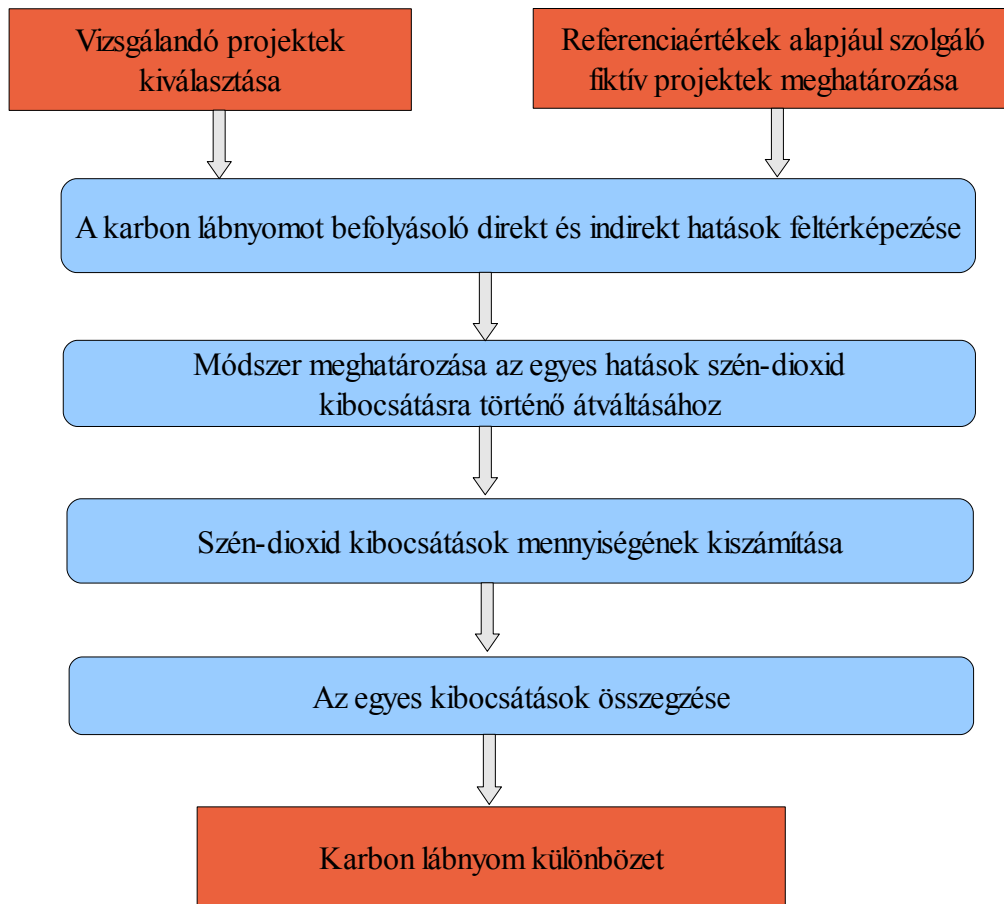
Felmerül a kérdés: miként fejezzük ki pénzértékben a szén-dioxid kibocsátást? Az egyik lehetséges megoldást a szén-dioxid kibocsátási kvóták kereskedelme nyújthatja, megvizsgálhatjuk ugyanis, hogy azok az országok, melyek teljesítették a Kiotói

Jegyzőkönyvben vállalt kötelességeiket a levegőszennyezési mutatókat illetően, milyen áron értékesíthetik „megspórolt” szén-dioxid kibocsátásról szóló jogait. Lényegében egy „szén-dioxid árfolyam” meghatározása a feladatunk. Ezután már csak az egyenlet másik oldalával kell foglalkoznunk: ha például egy olyan megoldásról van szó, amely csökkenti a közlekedés zajterhelését, akkor meg kell kísérelnünk kifejezni azt, hogy mit is jelent ez számszerűsítve, pénz formájában. Miután alapvetően a társadalmi jólétben, az élhetőségben következik be ilyenkor változás, ezért megpróbálhatjuk megragadni a zajterhelés csökkenését például úgy, hogy az növeli a közeli ingatlanok piaci értékét. Ha ezeket mind összeadjuk, és kiszámoljuk, hogy ez az általunk meghatározott „árfolyam” szerint mennyi szén-dioxidnak felel meg, megállapíthatjuk, hogy milyen mértékben járult hozzá a beruházás a karbon lábnyom csökkenéséhez. De közelíthetünk más oldalról is. Mondhatjuk például azt is, hogy a „megspórolt” szén-dioxid értéke megegyezik annak a zöldterületnek az értékével, amely képes az adott mennyiség semlegesítésére. A lényeg csupán annyi, hogy a módszertan kellően tisztázott legyen, és következetesen használjuk az egyes vizsgálatok során.

Az előbb említett megoldások a rengeteg átváltás és a kissé elvont szemlélet következtében természetesen sokkal torzabb képet nyújthatnak annál, mint amikor kizárólag kibocsátásokat vizsgálunk, de jól mutatják, hogy a nehezen megfogható dolgok számszerűsítése és szemléltetése sem lehetetlen feladat.

1. ábra: Folyamatábra a karbon lábnyom alkalmazásának módszertanáról

Forrás: saját szerkesztés



3.3.2. Referenciaértékek meghatározása a szemléltetéshez

A módszertan ismertetését követően következzenek azok az egységértékek (referencia karbon lábnyomok), melyek szerepe a szemléltetés során lesz fontos, ezekhez viszonyítva ugyanis még könnyebben meg tudjuk majd ítélni a később vizsgálandó projektek esetén „megspórolt” karbon lábnyomot, és hogy az nagyjából minnek is felel meg.

Ezeket az egységértékeket önkényesen választottam: a célom az volt velük, hogy egyszerűek, érthetőek és életszerűek legyenek. A referencia karbon lábnyomokat alábbi két esetre dolgozom ki a továbbiakban

- ♦ egy 25 hektáros terület lezárása az autóforgalom elől
- ♦ a budapesti 7-es buszcsaládhoz hasonló forgalmú viszonylat kiváltása

Fontos megjegyezni, hogy az egységértékek meghatározásánál ugyanazokat az elveket fogom követni, amit a módszertan bemutatása során felvázoltam, és a későbbi vizsgálatok során is alkalmazni fogok. Ez azt jelenti, hogy kizárólag azok az emissziók a lényegesek, melyek az adott megoldás következtében változnak (vagy szűnnek) meg. Ez alapján egyébként a módszertan igen földhözragadt, nem egy „mi lett volna ha” karbon lábnyom meghatározása egy cél. Egy buszviszonylat megszüntetésekor nem vonhatjuk le az adott busz legyártásának karbon lábnyomát, hiszen a jármű attól még elkészült – a tevékenység megszűnése ezen utólag már nem változtat. Ellentétben például az energiaforrással, hiszen a viszonylat megszüntetésével valóban beszélhetünk „nem felhasznált” üzemanyagról. (Persze – mint szinte mindenhol – itt is görgethetnénk tovább a gondolatmenetet, és elkezdhetnénk vizsgálni a különféle makro hatásokat, az autóbusz-kereslet és -kínálat viszonyának változását. Ez azonban már túlmutat a vizsgálat és a módszertan megrajzolt határain.) A lényeg tehát az, hogy azok a tényezők a fontosak, melyek egyfajta folyamatként vannak jelen a rendszerben, miután a végeredményeket minden esetben egy évre levetítve fogjuk megkapni. Az egyszeri kibocsátásokat tehát jelen esetben nem vizsgáljuk, a különbözet meghatározásában ezek nem játszanak szerepet.

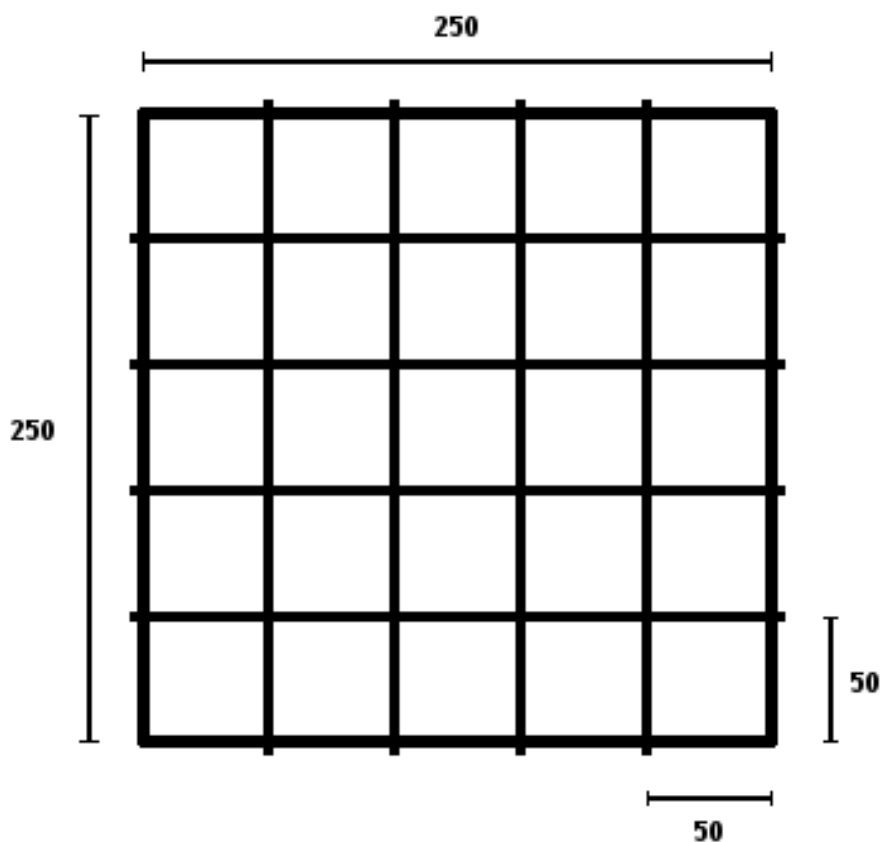
A referenciaértékek meghatározásánál bizonyos esetekben kénytelenek leszünk becslésekhez folyamodni, hiszen fiktív példák esetén nem állnak rendelkezésre valódi adatok, így nekünk kell azokat létrehozunk. Ez persze lehetővé teszi azt is, hogy tetszőleges számú egységértéket vezessünk be a jövőben. Ahol lehetséges, ott természetesen igyekszem valódi alapokon nyugvó adatokkal szolgálni (ilyenek lesznek a károsanyag-kibocsátással kapcsolatos értékek).

Első referenciaérték: autóforgalom kizárása

Tételezzük fel, hogy a városi önkormányzat úgy dönt, véglegesen lezár egy 25 hektáros területet az autóforgalom elől, és átadja azt a lágy mobilitási formák (gyalogos és kerékpáros közlekedés) számára. A teljesen szabályos felépítésű területen észak-dél és nyugat-kelet irányokban négy-négy egymással párhuzamos, egyenként 500 méter hosszú utca húzódik, összesen 4000 méteres úthálózatot alkotva. Hetente átlagosan 30 ezer behajtás (és ugyanennyi kihajtás) történik, melyek hossza az adott területen belül átlagosan 250 méter.

2. ábra: Az első egységérték fiktív városrészének rajza

Forrás: saját szerkesztés



A feladat tehát az, hogy a fentiek alapján meg kell határozni, mennyivel csökkenthetjük a karbon lábnyomot egy hasonló beavatkozással. Ezt a behajtások megszűnése, és így az autósok által megtett út csökkenése következtében el nem égetett üzemanyag által csökkenő szén-dioxid kibocsátás mértékének kiszámításával tehetjük meg.

Első körben meg kell határoznunk, hogy egy héten átlagosan mekkora utat tesz meg az adott területen az autósok összessége. Egy-egy behajtás és kihajtás átlagos hossza az adatok alapján 250 méter, hetente pedig átlagosan 30 ezer behajtás (és ugyanennyi kihajtás) megy végbe, melyek alapján egy egyszerű szorzással kiszámítható a kívánt érték.

$$\text{összes megtett út} = 250 \times 2 \times 30\,000 = 15\,000\,000 \text{ m/hét} = \mathbf{15\,000 \text{ km/hét}}$$

Ezt követően azt kell meghatároznunk, hogy az imént kiszámított út megtétele során mekkora károsanyag-kibocsátással számolhatunk. Ez önmagában cseppet sem számít

akadálynak, hiszen az autógyártók és autókereskedők információi alapján könnyedén meghatározhatjuk a járművek szén-dioxid emisszióját. Nem általánosíthatunk azonban egyetlen modellre, hiszen ez rontaná a példa hitelességét és életszagúságát, éppen ezért a 2012-ben Magyarországon forgalomba helyezett új személyautók statisztikái alapján elkészítettem egy olyan „járműkosarat”, mellyel viszonylag jól közelíthetjük a hazai járműforgalmat (miután statisztika csak az eladásokról készül, a járműállományról nem, ezért ezt találtam a leginkább reprezentatívnak).

Az egyes kategóriák megoszlását az eladott mennyiségek alapján, valamint az egyes kategóriák legnépszerűbb modelljeit az alábbi táblázat mutatja. Szükség lesz emellett ezen „kiemelt” modellek szén-dioxid kibocsátási adataira, melyek a gyártók honlapján elérhetők. Ahol az adott modell több különböző kivitelben is kapható (és ezek között van különbség a szén-dioxid kibocsátást illetően), ott a megadott adatok átlagát vettem figyelembe, egész értékekre kerekítve. (Opel, 2013) (Suzuki, 2013) (Škoda, 2013a) (Škoda, 2013b) (Dacia, 2013) (Ford, 2013a) (Ford 2013b) (Fiat, 2013) (Audi, 2013) (Mercedes-Benz, 2013).

5. táblázat: 2012-ben Magyarországon forgalomba helyezett új személyautók

Forrás: saját szerkesztés Datahouse (2013) alapján

Kategória	Eladott mennyiség	Piacrészesedés	Legnépszerűbb modell	CO ₂ emisszió (g/km)
Alsó közepkategória	16 238	30,60%	Opel Astra H	130
Kisautók	10 685	20,14%	Suzuki Swift	118
Közepkategória	8 519	16,06%	Škoda Octavia	116
Szabadidőautók	7 441	14,02%	Dacia Duster	150
Egyterűek	5 397	10,17%	Ford C-MAX	137
Minik	1 992	3,75%	Fiat 500	116
Felső közepkategória	1 773	3,34%	Škoda Superb	176
Sportkocsik	228	0,43%	Mercedes CLS-osztály	173
Luxusautók	94	0,18%	Audi A8	184
Egyéb	692	1,30%	Ford Transit	215
Összesen	53 059	100%		

Mindezen adatok ismeretében már meghatározhatjuk a Magyarországra jellemző „járműkosár” átlagos kilométerenkénti szén-dioxid kibocsátását, figyelembe véve az egyes járműkategóriák piacrészesedését, valamint az egyes kategóriák legnépszerűbb modelljeinek szén-dioxid kibocsátását.

$$\begin{aligned} &\textbf{járművek átlagos szén-dioxid kibocsátása} = \\ &= [30,6 \times 130 + 20,14 \times 118 + 16,06 \times 116 + 14,02 \times 150 + 10,17 \times 137 + 3,75 \times 116 + + \\ &\quad 3,34 \times 176 + 0,43 \times 173 + 0,18 \times 184 + 1,3 \times 215] / 100 = \textbf{131,24 g/km} \end{aligned}$$

Utolsó lépésben már csak össze kell szoroznunk két eredményünket, vagyis az összes jármű által megtett átlagos utat, valamint a járművek átlagos szén-dioxid kibocsátását. Miután a későbbi összehasonlítás érdekében a végeredményt éves mutatóként kell megkapnunk, ezért a fentieket még 52-vel is meg kell szorozni.

$$\begin{aligned} &\textbf{a járműforgalom karbon lábnyoma} = \\ &= 15\,000 \times 52 \times 131,24 = 102\,367\,200 \text{ g/év} = \textbf{102,367 t/év} \end{aligned}$$

Ezzel megszületett első referenciaértékünk: az egy évre eső járműforgalom karbon lábnyoma a korábban megadott behajtási adatok esetén közelítőleg 102 tonna CO₂. A végeredményt illetően érdemes néhány kiegészítéssel is élni:

- ◆ Némileg torzítják a végeredményt az áthajtások, hiszen feltételezhetjük, hogy nem mindenki úti célként közelíti meg az adott területet. Ezen járművek távolmaradása tehát valójában nem csökkenti a karbon lábnyomot, sőt, a közlekedés ezen szereplői épp hogy növelik valamelyest a karbon lábnyomot az előző állapothoz képest, hiszen az eredetnél valamivel hosszabb úton kénytelenek céljukhoz érni (feltételezve, hogy korábban optimális útvonalat választottak).
- ◆ Miután a területen a lágy mobilitási formák kerülnek előtérbe, ezért feltételezhetjük, hogy az átépítés valamekkora mértékű parkosítással is jár. Ebből következően növekszik a városrész zöldterülete, vagyis javul a növényzet szén-dioxid megkötő képessége, ami – korábban kifejtett logikánk alapján – tovább javítja a karbon lábnyomot.

Második egységérték: buszviszonylat kiváltása

Következő feltételezésünk jóval konkrétabb elemekre alapozik: tegyük fel, hogy Budapest önkormányzata és a BKK az újonnan létesülő metróvonal által nyújtott alternatíva miatt a 7-es buszcsalád kiváltása mellett dönt. Ezúttal tehát azt fogjuk megvizsgálni, hogy milyen hatása van egy efféle viszonylat üzemeltetésének a karbon lábnyomra. Ennek meghatározása hasonló elven történik majd, mint az első egységérték esetében.

6. táblázat: Információk a 7-es buszcsalád kapcsán

Forrás: saját szerkesztés BKK (2013) alapján

Járat	Útvonal hossza	Heti indulások száma
7	14,4 km	~ 1 824
7E	13,1 km	~ 2 078
107E	13,1 km	~ 2 078
7A	10,3 km	~ 1 712

A 7-es buszcsalád négy járatból (7, 7E, 107E, 7A) tevődik össze, melyek menetrend szerinti útvonalának hosszát, valamint a heti indulások számát a fenti táblázat foglalja össze. Az útvonal hosszának meghatározásához a Google Maps szolgáltatás útvonaltervezőjét használtam, a heti indulások számát pedig az adott járatok menetrendjéből (BKK, 2013) gyűjtöttem ki, ahol szükséges, ott átlagolást és becslést alkalmazva (bizonyos órákban csak a követési távolság van megadva időben, az indulás időpontja nem).

A táblázatban szereplő adatokból egy egyszerű szorzással kiszámítható, hogy az egyes járatokon közlekedő buszok mekkora távot tesznek meg egy év leforgása alatt. Figyelembe véve a garázsmeneteket, valamint az esetleges forgalmi dugókat (melyek plusz megtett távval ugyan nem járnak, megnövekedett emisszióval azonban igen), az eredményeket minden esetben 10 százalékkal megtoldottam.

$$[7] \text{ összes megtett út} = 14,4 \times 1\,824 \times 52 \times 1,1 = \mathbf{1\,502\,392,32 \text{ km/év}}$$

$$[7E] \text{ összes megtett út} = 13,1 \times 2\,078 \times 52 \times 1,1 = \mathbf{1\,559\,086,96 \text{ km/év}}$$

$$[107E] \text{ összes megtett út} = 13,1 \times 2\,078 \times 52 \times 1,1 = \mathbf{1\,559\,086,96 \text{ km/év}}$$

$$[7A] \text{ összes megtett út} = 10,3 \times 1\,712 \times 52 \times 1,1 = \mathbf{1\,008\,641,92 \text{ km/év}}$$

$$\Sigma \text{ összes megtett út} = 5\,629\,208,16 \text{ km/év}$$

A cél itt is a „meg nem történő” emisszió kiszámítása, ami azt jelenti, hogy ismételten szükségünk lesz károsanyag-kibocsátási adatokra. Az autóbuszok esetében ez egy fokkal nehezebb ügy, a gyártók ugyanis általában nem adnak meg ilyen adatokat (esetleg g/l helyett g/kWh értékeket adnak meg). Éppen ezért kiindulási alapként átlagfogyasztási adatokat választottam (Origo, 2010), méghozzá a 7-es viszonylatokon nagy arányban előforduló Ikarus 280-as csuklós, valamint a Volvo 7700A modellekre.

- ◆ Ikarus 280 (csuklós): 46,5 l/100 km
- ◆ Volvo 7700A: 55,9 l/100 km

Számítások alapján megállapítható, hogy egy liter gázolaj elégetése nagyjából 2,61 kilogramm szén-dioxidot juttat a levegőbe (Biomass Energy Centre, 2013). Ez természetesen változhat az egyes modellek károsanyag-kibocsátási mutatói alapján, de közelítő értéknek megfelel. Ennek alapján már kiszámíthatjuk a számunkra szükséges értéket, előbb azonban szükségünk van az érintett viszonylatokon közlekedő járművek átlagos fogyasztására. Ezt a két kiválasztott modell átlagos fogyasztásának számtani átlaga fogja adni, melyet egy kilométerre fogok megadni.

$$\text{járművek átlagos fogyasztása} = (46,5 + 55,9) / 200 = \mathbf{0,512 \text{ l/km}}$$

Természetesen fontos megjegyezni, hogy a járművek fogyasztását számos tényező befolyásolhatja. Az esetleges forgalmi dugókról már szót ejtettünk (ezt a megtett távba ugyebár már belekalkuláltuk), de befolyásolhatja a fogyasztást a járművek telítettsége is.

Következő lépésben számítsuk ki a korábban megadott adat és az imént kiszámolt érték alapján a járművek átlagos szén-dioxid kibocsátását.

$$\text{járművek átlagos szén-dioxid kibocsátása} = 2,61 \times 0,512 = \mathbf{1,337 \text{ kg/km}}$$

Ezt követően egy-egy újabb szorzás után megállapíthatjuk az egyes járatok éves átlagos szén-dioxid kibocsátásának karbon lábnyomát tonnában, felhasználva a megtett utak korábban kiszámított hosszát.

$$\text{[7] karbon lábnyoma} = 1\,502\,392,32 \times 1,337 / 1000 = \mathbf{2\,008,7\,t/év}$$

$$\text{[7E] karbon lábnyoma} = 1\,559\,086,96 \times 1,337 / 1000 = \mathbf{2\,084,5\,t/év}$$

$$\text{[107E] karbon lábnyoma} = 1\,559\,086,96 \times 1,337 / 1000 = \mathbf{2\,084,5\,t/év}$$

$$\text{[7A] karbon lábnyoma} = 1\,008\,641,92 \times 1,337 / 1000 = \mathbf{1\,348,6\,t/év}$$

$$\Sigma \text{ karbon lábnyom} = \mathbf{7\,526,3\,t/év}$$

Ezzel újabb referenciaértékek születtek meg: egy nagy forgalmú buszjárat éves üzemelésének karbon lábnyoma az üzemanyag elégetéséből származó szén-dioxid kibocsátás alapján 1 348 és 2 084 tonna közé tehető, a budapesti 7-es buszcsalád éves üzemelésének karbon lábnyoma pedig összességében több mint 7 526 tonna. Ebben az esetben is érdemes azonban élni néhány kiegészítéssel:

- ◆ A közvetlen emissziókat (vagyis a járművek károsanyag-kibocsátását) kiszámítottuk, de vajon mi a helyzet a közvetett emissziókkal? Egyáltalán fontosak ezek? Érdemes röviden megvizsgálni őket – pontosabban azt, hogy mivel jár még egy buszjárat megszüntetése. Első körben a karbantartás juthat eszünkbe, az ehhez kapcsolódó szén-dioxid kibocsátások (miután a javítások jellemzően helyben történnek a garázsokban) elhanyagolhatónak mondhatók – legalábbis a korábbi 10 százalékos becslésünk által képzett hibahatárba bőségesen beleférnek. Vizsgálhatnánk persze az új alkatrészek és a karbantartáshoz használt berendezések előállításához köthető emissziókat, ám korábban (amikor arról a dilemmáról volt szó, hogy miként számoljunk el a legyártott buszokkal) már beláttuk, hogy a vizsgálat során erre nem szükséges kitérni, annak minél inkább kézzel foghatónak és életszerűnek kell lennie.
- ◆ Felmerül a kérdés, hogy a mobilitási igények kielégítése szempontjából mit jelent egy efféle változtatás ténylegesen. Ha a közösségi közlekedés megfelelő és jobb alternatívát kínál a réginél, és több autós rátér erre (tehát a metróvonal összességében nagyobb utasszállítási teljesítményt mutat, mint a korábbi buszcsalád), akkor még tovább csökkenhet a karbon lábnyom, ha azonban ennek éppen az ellenkezője történik, és sokan inkább az autót választják, akkor a karbon lábnyom csökkenése kisebb lehet a vártnál. Ezek a bizonytalanságok a példa egyszerű és elméleti mivoltából adódnak.

Megszülettek tehát a referenciaként szolgáló egységértékek, melyekhez viszonyítani tudjuk majd a következő fejezetben vizsgált projektek karbon lábnyom különbségét.

7. táblázat: A meghatározott karbon lábnyom referenciaértékek

Forrás: saját szerkesztés

Vizsgált esemény	Karbon lábnyom különbség (CO ₂)*
Egy 25 hektáros terület lezárása az autóforgalom elől	102 t/év
Egy nagy forgalmú buszjárat (referencia: 7E) kiváltása	2 084 t/év
Egy nagy forgalmú járatcsalád (referencia: 7-es buszcsalád) kiváltása	7 526 t/év

** A megadott feltételek mellett*

4. A városi közlekedés innovatív megoldásainak vizsgálata

Elérkeztünk a dolgozat azon részéhez, amely miatt szükséges volt körüljárni a karbon lábnyommal kapcsolatos fontos kérdésköröket, és amiért az egész vizsgálati módszertan is megszületett. A következőkben olyan megoldásokat fogok elemezni a városi közlekedés területén, melyek környezeti (és karbon lábnyom) szempontból relevánsnak mondhatók, és így a karbon lábnyommal történő szemléltetés hasznosnak bizonyulhat mind az előrejelzés, mind pedig az utólagos vizsgálatok esetén. A cél lényegében az, hogy példát mutassak arra, miként lehet alkalmazni a karbon lábnyom mutatót ezen a területen.

4.1. A kiválasztás szempontjai

Mielőtt rátérnénk a tényleges projektekre, mindenképpen tisztázni szükséges a kiválasztás szempontjait, hiszen nem csupán annyiról van szó, hogy olyan megoldásokat választottam, melyek valamilyen módon visszavezethetők a karbon lábnyomra. Meg kell határozni például azt, hogy mit is értünk „innovatív megoldás” alatt. Innovációról jellemzően valamilyen „új dolog” vagy „új megoldás” kapcsán szoktunk beszélni, ám mivel ezek közel sem konkrét fogalmak, érdemes tisztázni, hogy az általam kiválasztott esetek miért számítanak annak.

A városi közlekedés folyamatosan megújul: modernebbnél modernebb technológiák váltják egymást, és mindig megfigyelhetők az uralkodó trendek. Jelenleg ilyen például a villamosközlekedés reneszánsza és az autóbusz-közlekedéssel járó környezetterhelés visszaszorítására történő törekvés. Miután az egész világot érintő iparágról beszélünk, nem ragaszkodhatunk ahhoz, hogy egy innovatív megoldás kizárólag világújdomság lehet. Sokkal megfelelőbb, ha azt mondjuk, hogy azon megoldások nevezhetők innovatívnak a városi közlekedés területén, melyek nem szokványos választ adnak egy többé-kevésbé szokványos problémára, és valamilyen szinten szembe mennek a nyilvánvaló megoldásokkal (vagy legalábbis más irányba). Rendkívül fontos tehát a kontextus is, hiszen egy megoldás azzal is válhat újítóvá, szokatlanná (szigorúan pozitív értelemben véve), hogy „másképpen” válaszol egy adott problémára a megszokottnál.

Fontos szempont volt a kiválasztásnál az is, hogy több területet is érintsek, bemutatva ezáltal, hogy a karbon lábnyom rendkívül széles körben alkalmazható a környezeti

teljesítmény és a környezeti hatások elemzésére. Ennek megfelelően lesz példa a lágy mobilitási formák, az autóbusz-közlekedés, a villamosközlekedés és az infrastrukturális fejlesztések kapcsán is.

4.2. A projektek vizsgálata

Az egyes projektek esetében a korábban felvázoltaknak megfelelően azt fogom vizsgálni, hogy mekkora különbséget jelent a karbon lábnyom tekintetében az adott beruházás. Másképp fogalmazva: azt fogom meghatározni, hogy mennyivel csökken a karbon lábnyom az adott megoldás következtében. A vizsgálat határait – vagyis azt, hogy milyen direkt és indirekt emissziók, illetve egyéb környezeti hatások érintettek – minden esetben fel fogom tüntetni, az eredmények pedig a végén összevethetőek lesznek egymással, valamint az előző fejezetben meghatározott egységértékekkel.

4.2.1. Energia-visszatáplálás a villamosközlekedésben lendkerékkel

Az energia-visszatáplálás nem számít újszerű megoldásnak a villamosközlekedés területén, hiszen számos vonalon – köztük Magyarországon is – találunk erre példát. Gyakorlatban arról van szó, hogy a villamos járművek motorjai képesek generátorként működni, és a fékezéskor felszabaduló energiát vissza tudják táplálni a vezetékhálózatba. Van azonban hátránya is a megoldásnak, az efféle rendszerek többsége ugyanis szakaszokra osztott felsővezeték-hálózattal működik, ahol csak az adott szakaszon belül közlekedő többi villamos képes gyorsításra használni a visszatáplált energiát. Mindez azt jelenti, hogy viszonylag sűrű követési távolság szükséges a hatékony működéshez, hiszen ellenkező esetben az ilyen módon visszatáplált energia elvész. Ezen hátrányt hivatott kiküszöbölni egy lendkerekes megoldás, melynek köszönhetően tárolhatóvá válik a fékezéskor visszatáplált energia, amely így késleltetve is felhasználhatóvá válik. Ezáltal még gazdaságosabbá tehető a villamosközlekedés, hiszen csökken a hálózat energiaigénye.

Bár a lendkerekes technika nem új keletű, mégis ritkán alkalmazott megoldásról beszélhetünk, melynek bevezetése a mai napig innovatív húzásnak mondható: legutóbb Freiburg városában vezettek be hasonlót, ahol jelenleg is zajlik a rendszer egyéves tesztelése (Eltis, 2013). A német városban egy villamosterminalnál telepítettek lendkerekes rendszert,

ahol a beérkező villamosok fékezéskor felszabaduló energiáját az állomásról távozó járművek hasznosítják. Becslések szerint éves szinten akár 250 ezer kWh energia is megtakarítható lesz ilyen módon, ami 145 tonna megspórolt szén-dioxidnak felel meg. Mindez azt jelenti, hogy minden egyes ilyen módon előállított kWh energia 580 gramm szén-dioxid emissziót vált ki.

3. ábra: Villamosközlekedés Freiburgban

Forrás: UConn Office of Environmental Policy



Ezen adatok alapján kiszámíthatjuk, hogy mekkora karbon lábnyom különbséget jelenthet a szintén Németországban, Zwickau városában telepített rendszer, ahol 2006-ban vezették be a lendkerekes megoldást (Eltis, 2008). A lendkereket egy vonalon alkalmazzák, ahol a villamosok legkisebb követési távolsága tíz perc, ám a rendszer így is hatékonyan

működik, hiszen 140 ezer kWh energiát képes megtakarítani egy év alatt, ami a vonal teljes energia-felhasználásának 25 százaléka – arányaiban tehát ennyivel használnak kevesebb energiát a villamosok.

Ha felhasználjuk a freiburgi példa esetében közzétett adatokat, akkor könnyedén kiszámíthatjuk a zwickau-i megoldás karbon lábnyomát.

$$\text{karbon lábnyom} = 140\,000 \times 580 = 81\,200\,000 \text{ g/év} = \mathbf{81,2 \text{ t/év}}$$

Jól látható tehát, hogy egyetlen vonalon alkalmazva is jelentős mennyiségű energiát és karbon lábnyomot képes megtakarítani éves szinten a lendkerekes megoldás, amely beruházásként – Zwickau példájából kiindulva – akár egy évtizeden belül megtérülhet (Eltis, 2008).

4.2.2. Energiatermelő buszterminálok

Sevillában található Spanyolország legnagyobb naperőműve, melynek hatása a város közlekedésére is rányomta a bélyegét, egészen innovatív módon oldották meg ugyanis a napenergia-hasznosítás növelését. [Eltis, 2011]

A 2008-ban megvalósított fejlesztés alapjául egy 315 járműnek „otthont adó” buszterminál szolgált, ahol a tetőszerkezet kihasználásában látták meg a lehetőséget a helyiek. A terminál ezen elemeinek alapvetően annyi lenne a funkciójuk, hogy védjenek az időjárás viszontagságai ellen, felismerték azonban, hogy napelemek telepítésével sokkal jobban hasznosíthatják a felületeket. A megoldás kapcsán az alábbi előnyök fogalmazhatóak meg.

- ◆ Az erőmű növelni tudja a megtermelt energia mennyiségét, melynek értékesítésével bevételei is megnőnek.
- ◆ A buszterminál a város központjában található, ahol az elektromos hálózat telítettsége miatt előfordulhatnak kimaradások. A megoldás révén azonban növelhető a hálózat kapacitása.
- ◆ A napelemek nagyobb árnyékolt felületet biztosítanak a terminálon, ami közvetett módon hozzájárul az autóbuszok fogyasztásának csökkenéséhez, hiszen kevesebb szükség van a légkondicionáló berendezések használatára.

4. ábra: Napelemek a sevillai buszterminál tetőszerkezetén

Forrás: Grupo Guascor



Ha ki szeretnénk számolni, hogy mekkora különbözetet jelent a karbon lábnyom tekintetében a fenti megoldás, akkor az alábbi tényezőket kell figyelembe vennünk.

- ◆ A megtermelt villamos energia környezetbarát módon kerül előállításra, ami azt jelenti, hogy az ugyanekkora mennyiségű más módon megtermelt villamos energia előállításával járó szén-dioxid emisszió mértékével csökkenni fog a karbon lábnyom.

- ◆ A járművek kedvezőbb üzemanyag-fogyasztása szintén hozzájárul a karbon lábnyom csökkenéséhez.

Az esettanulmány szerint [Eltis, 2011] szerint a buszterminálon alkalmazott megoldás éves szinten 2 770 000 kWh energiát képes előállítani, ami nagyjából 950 tonnával csökkenti a szén-dioxid emissziót éves szinten (vagyis ekkora kibocsátással járna az, ha ezt az energiát más, környezetszennyező módon állítanánk elő). Ez lesz a karbon lábnyom egyik komponense.

[energia-előállítás] karbon lábnyom = 950 t/év

Ezt követően ki kell számolnunk azt, hogy a járművek alacsonyabb üzemanyag-fogyasztásával mekkora szén-dioxid terheléstől kíméljük meg a környezetet. Ehhez a második egységérték meghatározásánál alkalmazott átváltást fogjuk használni, ahol is elfogadtuk, hogy egy liter gázolaj elégetése nagyjából 2,61 kilogramm szén-dioxidot juttat a levegőbe (Biomass Energy Centre, 2013). Az esettanulmányból kiderül, hogy a korábban felvázolt hatás (vagyis a tetőszerkezet megnövekedett árnyékolása) következtében éves szinten 56 700 literrel csökkent a járművek üzemanyag-felhasználása – a karbon lábnyom második komponensét ezen két szám összeszorozásával kapjuk meg.

[üzemanyag-felhasználás] karbon lábnyom = $56\,700 \times 2,61 = 147\,987$ kg/év

Ahhoz, hogy megkapjuk a keresett karbon lábnyom különbözetet, már csak össze kell adnunk a két kiszámított karbon lábnyom részértéket.

Σ karbon lábnyom = $950 + 147,987 = 1\,097,987$ t/év

A napelemes megoldás tehát az alternatív energiaellátás és a csökkenő üzemanyag-felhasználás révén éves szinten közel 1 100 tonnával csökkenti a karbon lábnyomot. A közvetett emissziókat illetően rendkívül érdekes és tanulságos következtetéseket vonhatunk le a fenti megoldás kapcsán. Ha ugyanis megvizsgáljuk, hogy az üzemanyag-felhasználás visszaszorításából adódó karbon lábnyom csökkenés mekkora hányadát adja a teljes

különbözetnek, akkor láthatjuk, hogy ez az érték 13 százalék. Pedig előzetesen joggal gondolhatnánk, hogy az alternatív energiára való átállás, illetve az árnyékolás hatásai közül utóbbi nagyságrendekkel kisebb mértékben befolyásolja a karbon lábnyomot. Ám ahogy azt a számítás is mutatja, egy efféle közvetett emisszió-csökkenés is lehet akkora, amely már közel sem számít elhanyagolhatónak.

4.2.3. Eco-driving a közösségi közlekedésben

Az eco-driving, vagyis a környezettudatos közlekedés koncepciója nem új keletű, a közösségi közlekedésben történő alkalmazásáról azonban nem szokás hallani. Pedig ha belegondolunk abba, hogy a városi közlekedést szervező és megvalósító cégek egyfajta vállalati filozófiaként is kommunikálhatnak ezt az alkalmazottak, vagyis a sofőrök felé, akkor rájövünk, hogy valójában egy kiaknázatlan területről van szó, hiszen a közösségi közlekedés nyilvánvaló módon jelentős mértékben hozzájárul egy város mobilitásához, és ezáltal a közlekedésből eredő környezeti hatásokhoz.

A környezettudatos vezetés a bevezetőben felvázolt környezet-társadalom-gazdaság hármast szem előtt tartva az alábbi módon fogalmazza meg a technika előnyeit (Ecodrive, 2013).

- ◆ A környezet oldaláról korlátozza az üvegházhatású gázok (és így a szén-dioxid) emisszióját, valamint csökkenti az egyéb levegőszennyező anyagok kibocsátását és a zajterhelést.
- ◆ A társadalom és az egyének oldaláról nézve növeli a felelősséget, a biztonságot és a komfortérzetet, valamint javítja a vezetési technikát.
- ◆ A gazdaság szempontjából csökkenti a költségeket, beleértve az üzemanyag-fogyasztáshoz, a szervizeléshez és a balesetekhez kapcsolódó kiadásokat.

Pécs városának önkormányzata és a helyi közlekedésért felelős társaság 2011-ben döntött úgy, hogy kísérletet tesz az eco-driving bevezetésével, melytől nem csak az utazási kényelem javulását, hanem az üzemanyag-felhasználás csökkenését is várták. A járművezetők kiképzésén túl összesen 91 gyorsulásmérőt szereltek fel a helyi közösségi közlekedést lebonyolító járatokra, melyek nem csak valós idejű visszajelzést nyújtottak a sofőrök számára a vezetési stílusukról (a járműre ható nehézségi erők minimalizálása a cél a minél

hatékonyabb vezetés elérése érdekében), hanem a készülékek által tárolt adatokat utólag is elemezni lehetett (Eltis, 2012).

Egyfajta finomhangolásról van szó tehát: egy olyan megoldásról, amely nem közvetlen technológiai, infrastrukturális, esetleg közlekedésszervezési beavatkozással igyekszik csökkenteni az emissziókat, hanem az emberi tényezőkön keresztül, közvetett módon (persze meg kell jegyezni, hogy segédeszközök is rendelkezésre álltak).

Ha tehát meg szeretnénk határozni a szóban forgó megoldás bevezetéséhez kapcsolható karbon lábnyom különbséget, akkor azt kell kiszámolnunk, hogy mekkora csökkenést lehet elérni az üzemanyag-felhasználás (és így a károsanyag-kibocsátás) terén. Ehhez a kapcsolódó esettanulmány részben segítséget nyújt (Eltis, 2012), abból ugyanis kiderül, hogy összességében a felhasznált üzemanyag 5-6 százalékát sikerült megspórolni az eco-driving segítségével. A feladat tehát az, hogy számszerűsítsük, mit is jelent ez az arány (a továbbiakban 5,5 százalékos csökkenéssel fogok kalkulálni).

Pécs város közösségi közlekedését jelenleg a Tüke Busz Zrt. látja el, méghozzá 162 darab autóbusszal, melyek a munkanapok során összesen több mint 24 ezer kilométert tesznek meg menetrend szerint (Tüke Busz, 2013). A következőkben azt fogom kiszámolni, hogy egy ilyen méretek mellett működő helyi közösségi közlekedési szolgáltatás esetében mekkora karbon lábnyom különbséget jelent a környezettudatos vezetés alkalmazása.

Első körben ki kell számolnunk, hogy éves szinten mekkora utat tesznek meg a társaság járművei. A fentebb említett valamivel több mint napi 24 ezer kilométer a munkanapokra értendő, melynél a szombati, valamint a munkaszüneti napokon kevesebbet járnak a buszok. Ám miután az egységérték-meghatározások korábbi hasonló példájában a menetrend szerinti útra rászámoltunk további 10 százalékot a garázsmenetek és az esetleges forgalmi dugók miatt, így ebben az esetben szükséges valamiféle „kompenzációt” bevezetni. Ezt jelen esetben úgy fogom megtenni, hogy minden egyes nap esetében 24 ezer kilométert számítok fel megtett útnak. Ez alapján már könnyen kiszámíthatjuk, hogy éves szinten mekkora utat tesznek meg az autóbuszok összesen.

$$\text{összes megtett út} = 24\,000 \times 365 = 8\,760\,000 \text{ km/év}$$

Következő lépésben szükség van az átlagos üzemanyag-fogyasztásra. Ennek meghatározásához a pécsi járműállományban legnagyobb darabszámban megtalálható

Mercedes-Benz Conecto, valamint Ikarus 280 modellek üzemanyag-fogyasztási adatait használtam alapul (közvetett forrásokból, miután a gyártók hivatalos formában nem tettek közzé ilyen adatokat) (BKV, 2008) (Origo, 2010).

- ◆ Ikarus 280: 46,5 l/100 km
- ◆ Mercedes-Benz Conecto: 45,7 l/100 km

Miután a fogyasztási adatok igen közel állnak egymáshoz, ezért nyugodtan számolhatunk 46 literes átlagfogyasztással 100 kilométerenként. Korábban már megállapítottuk, hogy egy liter gázolaj elégetése 2,61 kilogramm szén-dioxidot juttat a levegőbe (Biomass Energy Centre, 2013), így a két érték összeszorozásával megkapjuk a járművek átlagos kilométerenkénti szén-dioxid kibocsátását.

$$\textbf{járművek átlagos szén-dioxid kibocsátása} = 46 / 100 \times 2,61 = \textbf{1,2 kg/km}$$

Az üzemanyag-felhasználás csökkenésével járó karbon lábnyom különbség kiszámításához már csak annyit kell tennünk, hogy összeszorozzuk az összes megtett utat és a járművek átlagos szén-dioxid kibocsátását, majd megnézzük, hogy mennyi ennek az 5,5 százaléka.

$$\textbf{karbon lábnyom} = 8\,760\,000 \times 1,2 \times 0,055 = \textbf{578 t/év}$$

Hogy milyen eredményei lehetnek az eco-drivingnak, azt a vizsgált esettanulmány már megadta, hiszen megtudtuk belőle, hogy az üzemanyag 5-6 százaléka is megspórolható egy efféle emberi közbeavatkozással. A számítással tehát valójában csak ennek számszerűsítése volt a célunk: megtudtuk, hogy egy Pécs méretű város közösségi közlekedése esetén éves szinten akár több mint 500 tonnával lehet csökkenteni a szén-dioxid emissziót a környezettudatos vezetés alkalmazásával. Ez a korábban vizsgált projektekhez, illetve a bevezetett referenciaértékekhez képest egyáltalán nem tűnik kevésnek, ráadásul mindenképpen figyelembe kell venni, hogy egy efféle megoldás bevezetése – amennyiben eltekintünk a sikerességhez nem feltétlenül szükséges valósidejű visszajelzést biztosító rendszer kiépítésétől vagy bérlésétől – lényegében minimális költségekkel jár.

4.2.4. Gyalogos híd az autóforgalom csökkentésére

A lágy mobilitási formák – vagyis a gyaloglás és a kerékpározás – „diadala” a személyautó-közlekedés felett egyre gyakoribbnak mondható a városi közlekedés modern törekvései kapcsán, Szolnok városa azonban nemrégiben szokatlan területen szavazott bizalmat az előbbinek. A Tisza partján fekvő város két oldalát egészen néhány évvel ezelőttig csupán kettő, egymástól igen távol elhelyezkedő híd kötötte össze, így jó ideje napirenden volt egy harmadik híd építése. És bár sokáig nyilvánvalónak tűnt, hogy egy hagyományos közúti híd lesz a megoldás a problémára, a szolnoki önkormányzat végül úgy döntött, hogy egy gyalogos- és kerékpáros híddal válaszol a felmerülő mobilitási igényekre. A 444 méter hosszú Tiszavirág hidat 2011-ben adták át, amely Közép-Európa leghosszabb gyalogos hídja lett.

5. ábra: A szolnoki Tiszavirág híd

Forrás: szolnokigyalogoshid.hu



A híd a város központi részét és a tiszaligeti városrészt köti össze, utóbbi a Szolnoki Főiskola, az élményfürdő, a sporttelep, valamint a nagy zöldterület miatt mindenképpen kiemelt úti célnak mondható Szolnokon belül. A két hídfő között a legrövidebb útvonal közúton a Google Maps térképe alapján 2 kilométer. Miután a híd által nyújtott új megközelítési lehetőségnek a város közlekedésére vonatkozó hatásáról még nem született tanulmány, ezért a továbbiakban becsléseket fogok alkalmazni a karbon lábnyom kiszámításához. Ennek következtében a módszertan is némileg más lesz az eddiginél.

Az említett 2 kilométer megfelelő lesz kiindulási alapnak: vehetjük úgy, hogy azok, akik a hidat az autóval való közlekedés alternatívájaként használják, azok átlagosan ennyivel kevesebb távot tesznek meg egy út alkalmával (a város úthálózatának felépítését megvizsgálva elmondhatjuk, hogy az úti céltól függően van, aki többet, van, aki kevesebbet fog „megspórolni”). Mondhatjuk tehát, hogy a becslés szerint egy, a híd megépítése által „befolyásolt” jármű egy munkanap során 4 kilométerrel kevesebb utat tesz meg. De vajon mennyi ezen járművek száma?

A módszer leginkább itt tér el az eddigiektől, végeredményként ugyanis a további adatok hiányában egy függvényt fogok elkészíteni. Ez az érintett járművek számától függő karbon lábnyomot fogja megmutatni. Egy sor becslésre minden esetre itt is szükség lesz.

Első körben határozzuk meg, hogy nagyjából hány személyautó lehet Szolnok városában. Amit a Központi Statisztikai Hivatal 2011-es adatai alapján egészen biztosan tudunk, hogy ekkor 3,6 millió gépjármű volt Magyarországon (ami a 9 938 000 fős népességet tekintve azt jelenti, hogy 2,76 főre jutott egy autó), Szolnok lakossága pedig 72 953 volt (KSH, 2011) (Piackutatasok.hu, 2012). Jász-Nagykun-Szolnok megyében valószínűsíthetően alacsonyabb a járművek aránya, mint országos szinten (Pest megye és Budapest gazdasági, demográfiai és egyéb okokból rendre „felfele húzza” az országos statisztikákat), így bizonyára nem hibázunk nagyot, ha azt állítjuk, hogy Szolnokon minden harmadik emberre jut egy autó. Kerekítéssel élve – figyelembe véve azt is, hogy a hír az agglomerációra és a környéki településekre is hatással lehet – mondhatjuk, hogy a feltételezés szerint 25 ezer a potenciálisan érintett járművek száma.

A ténylegesen érintett járművek számát illetően már nem fogok becsléssel élni: ezt változónak veszem majd, ez alapján fog megszületni az említett függvény. Egy feltételezett „járműkosár” átlagos szén-dioxid kibocsátását az első referenciaérték meghatározásánál már kiszámoltam: ez az érték 131,24 g/km volt. Az egy érintett járműtől származó egy év alatt

kibocsátott szén-dioxid mennyisége (4 kilométer átlagos utat és évi 250 munkanapot feltételezve) az alábbi módon számítható ennek fényében:

$$\text{egy jármű éves szén-dioxid kibocsátása} = 250 \times 4 \times 131,24 = \mathbf{131\,240\,g/év}$$

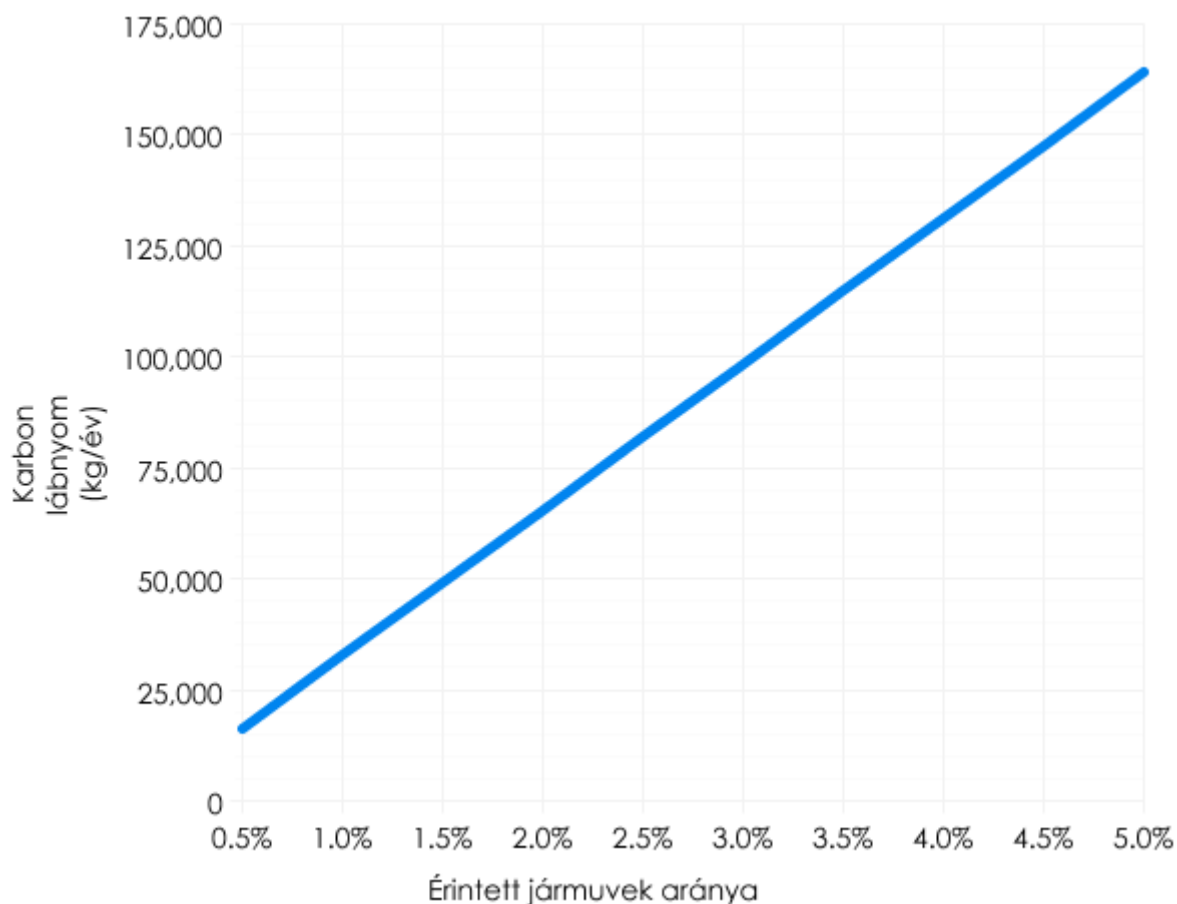
Mondhatjuk tehát, hogy minden egyes érintett jármű ennyivel járul hozzá éves szinten a karbon lábnyom csökkenéséhez. Ha az érintett járművek mennyiségét 'X' változóval jelöljük, akkor a kapcsolatot leíró függvényt az alábbi módon írhatjuk fel.

$$\mathbf{\text{karbon lábnyom} = X \times 131\,240\,g/év}$$

A potenciális járművek számára a függvény alapján nem lenne szükségünk, erre azonban azért adtam becslést, hogy ne kelljen minden függvényértéket ábrázolni. Ehelyett kézenfekvőbb, ha azt mondjuk, hogy pesszimista becslés esetén a potenciálisan érintett járművek 0,5 százaléka (vagyis 125 autó), optimista becslés esetén pedig a potenciálisan érintett járművek 5 százaléka (vagyis 1 250 autó) fog kevesebb utat megtenni (és így kevesebb üzemanyagot elégetni, kevesebb szén-dioxidot kibocsátani) a híd megépítése következtében napi szinten.

**6. ábra: A Tiszavirág híd karbon lábnyom különözete az érintett
járművek számának függvényében**

Forrás: saját szerkesztés



A fenti függvény tehát több közelítő becslés alkalmazásával jött létre, ám ha elfogadjuk a megadott feltételeket, akkor elmondhatjuk, hogy a pesszimista becslés (a potenciális autók 0,5 százaléka érintett) esetében évi 16,4 tonna, az optimista becslés (a potenciális autók 5 százaléka érintett) szerint pedig évi 164 tonna szén-dioxid különözetet jelenthet a Tiszavirág híd.

A számításokat illetően mindenképpen szükséges néhány kiegészítéssel élni, bizonyos nehezen becsülhető tényezők – melyeket a számítások során nem vettem figyelembe – ugyanis tovább csökkenthetik a karbon lábnyomot.

- ◆ Egészen biztosan torzítja a számítást az, hogy kizárólag a munkanapokat vettük figyelembe, feltételezve, hogy első sorban azon járműveket érinti a híd megépítése,

melyek számára rendszeres úti célnak számít a környék. A nem tervezett és eseti utazásokra már jóval nehezebb hiteles becsléseket adni.

- ◆ Könnyen előfordulhat, hogy valaki a híd megépítése következtében nem csak az útvonalát rövidíti le, hanem teljesen lemond az autóval történő közlekedésről valamelyik lágy mobilitási forma (jellemzően a kerékpár) kedvéért. Ebben az esetben a jármű által „meg nem tett” út akár jelentősen több lehet, mint a meghatározott átlag.

4.3. A transzferabilitás vizsgálata

Mielőtt levonnánk a végső következtetéseket, érdemes megvizsgálni a tárgyalt projektek kapcsán a transzferabilitás lehetőségét, vagyis azt, hogy alkalmazásuk – akár Magyarországon – milyen esetleges korlátokba ütközhet. Miután az egyes projekteket eddig első sorban – miután a karbon lábnyomra voltunk kíváncsiak – környezeti oldalról vizsgáltuk, ezért itt a gazdasági és a társadalmi szempontok is nagyobb hangsúlyt kapnak.

A **lendkerekes energia-visszatáplálás** kapcsán leginkább gazdasági oldalról merülhetnek fel kérdőjelek, hiszen a rendszer fenntarthatóságát főleg ilyen szempontból érdemes (és kell) megkérdőjelezni. Éppen ez áll annak háttérében is, hogy egyáltalán nem beszélhetünk széles körben elterjedt megoldásról, hiszen Freiburg példáján is láthattuk, hogy a lendkerekes rendszer egyelőre csak tesztelés alatt áll, és egyfajta referenciaként szeretnék felhasználni, megvizsgálva, hogy valóban elégséges hasznokkal jár-e a telepítése. Miután lényegében energiát állítunk elő, ezért nem kérdéses, hogy megtérülő beruházásról van szó, egyáltalán nem mindegy azonban, hogy ezt milyen időtávon teljesíti a projekt, hiszen a megvalósítás több mint 100 millió euróba (Eltis, 2013) is kerülhet.

Szót kell még ejteni a lendkerék telepítéséből adódó zajterhelésről, mely egy olyan környezeti hatás, amely városi közlekedés esetében a társadalom, a helyi lakosok életkörülményeiben csapódik le. Hasonló rendszer bevezetése esetén mindenképpen körültekintően kell eljárni a telepítés helyének kiválasztását illetően: a lendkereket olyan területen kell elhelyezni, ahol a megnövekedett zajterhelésnek nem lesznek további közvetett negatív hatásai.

Az **energiatermelő buszterminál** példája valóban igazi innováció – egy olyan szokatlan megoldás, mely a közeljövőben aligha lesz széles körben elterjedt. Ez persze nem hatékonyságának tudható be, hanem költségességének, hiszen hiába van nagy jövője a

napenergiának, hasznosítása a mai napig komoly beruházást igényel. Sevilla esete ennek megfelelően egyedi: már csak azért is, mert itt működik a világ első kereskedelmi erőműve, a PS10 (ENS, 2007), így a technológia további hasznosítása mögött egyéb érdekek is állnak.

Ha eltekintünk a megoldás gazdasági vonzataitól, még akkor is marad egy megvalósíthatósági korlát, ez pedig a napsütéses órák száma, hiszen ennek mennyiségétől nagyban függ, hogy a beruházás mértéke és a megtakarított – pontosabban megtermelt – energia költsége milyen időtávon egyenlítik ki egymást.

A **környezettudatos vezetés** példája jól mutatja, hogy az eco-driving bevezetésének a hazai közösségi közlekedésben nincsenek elméleti akadályai. Megfelelően kiképzett sofőrök esetén a megoldás remek és költséghatékony megoldás lehet a környezeti terhelés és a kiadások csökkentésére, amely ezáltal lényegében mindenkinek az érdekében kell, hogy álljon, de természetesen itt sem tekinthetünk el a bevezetés gazdasági vonzataitól. Pécs esete jól példázza (Eltis, 2012), hogy a különféle segédeszközök használata és a járművezetők folyamatos oktatása jelentős költségekkel járhat, így mindenképpen a becsült és remélt hasznok fényében érdemes kalkulálni az eco-driving ennyire céltudatos bevezetésével, hiszen alapvetően egy finomhangolás-jellegű megoldásról van szó.

A **gyalogos híd** példája szintén hazai volt, és miután hazánkban rengeteg folyóparti nagyváros található, ezért számos lehetőség adódna hasonló megoldás alkalmazására a mobilitási igények kielégítését illetően. A fő mozgatórugó itt tehát a társadalom igényéből adódik, mellyel jelen esetben a gazdasági érdekek állnak szemben, hiszen egy olyan beruházásról beszélünk, mely alapesetben nem jár jövőbeli közvetlen pozitív pénzáramokkal. Előnye azonban, hogy a megvalósítás jóval olcsóbb, mint egy közúti híd esetében, a lágy mobilitási formák támogatásával ráadásul az Európai Unió támogatás esélye is jóval nagyobb. A döntésben nagyban közrejátszanak a városfejlesztési prioritások, ám ennél is fontosabb, hogy a hagyományos, közúti híd létesítésével ne vállaljunk rizikót, és ne veszélyeztessük a város közlekedési rendszerének fenntarthatóságát.

8. táblázat: Transzferabilitási lehetőségek

Forrás: saját szerkesztés

Fejlesztés	Megvalósíthatóság
Lendkerekkes energia-visszatáplálás	A technológia jelenleg egyáltalán nem elterjedt, alkalmazását illetően, mindenképpen számolni kell a megtérülés idejével. Figyelembe kell venni emellett az esetleges zajterhelést is.
Energiatermelő buszterminál	A napenergia hasznosításának költségvonzata hatalmas, így bevezetéséhez rendkívül komoly pénzügyi háttér szükségeltetik. Fontos szempont emellett a napsütéses órák száma is. Kiváló példa az innovatív szemléletmódra.
Eco-driving a közösségi közlekedésben	Szinte kizárólag az emberi tényező alakításával képes az emisszió csökkentésére, így bevezetésének nincsenek elméleti korlátai. Miután azonban csak finomhangolásról van szó, mindenképpen ügyelni kell az esetleges járulékos költségek és az üzemanyag-felhasználás csökkenéséből adódó hasznok arányára.
Gyalogos híd az autóforgalom csökkentésére	Folyóparti városok esetén közúti híd helyett gazdaságosabb megoldás lehet, amely közvetett módon csökkentheti a helyi közlekedés emisszióját. Semmiképp sem veszélyeztetheti azonban a helyi közlekedési rendszer fenntarthatóságát, így a mobilitási igények pontos előzetes feltérképezése szükséges.

5. Eredmények

A dolgozat záró fejezete a korábbi vizsgálatok összesítését szolgálja. Első körben összevetésre kerülnek a kiszámított karbon lábnyom mennyiségek, ezáltal fejben képesek leszünk elhelyezni, hogy az egyes megoldások valójában mekkora környezeti hatással bírnak az emissziók szempontjából. Ezt követően a karbon lábnyom kapcsán levonható legfőbb következtetéseket összesítem, újból kitérve a dolgozat készítése során előjött legfontosabb meglátásokra. Végezetül pedig rövid javaslatokat fogok tenni a további vizsgálatokra is.

5.1. A módszertan segítségével kapott eredmények összevetése

Az egyes projektek vizsgálata előtt több referenciaértéket is bevezettem, melyek szerepe most fog igazán tisztázódni, hiszen a számításokat követően itt az ideje, hogy kontextusba helyezve is megvizsgáljuk az eredményeket. Az egységértékek itt egyfajta viszonyítási alapként fognak szolgálni, melyek segítségével jobban szemléltethetővé válik az egyes karbon lábnyomok mérete, illetve egymáshoz képesti viszonya.

9. táblázat: A kiszámított karbon lábnyomok összehasonlítása

Forrás: saját szerkesztés

A lábnyom alapja	Karbon lábnyom különbség (CO ₂ , tonna/év)
Egy nagy forgalmú buszjárat-család (referencia: 7-es buszcsalád) kiváltása*	7 526
Egy nagy forgalmú buszjárat (referencia: 7E) kiváltása*	2 084
Energiatermelő buszterminál Sevilában	1 098
Eco-driving Pécs közösségi közlekedésében	578
Gyalogos híd Szolnokon (az autók 5%-a érintett)	164
Lendkerekes energia-visszatáplálás Freiburgban	145
Egy 25 hektáros terület lezárása az autóforgalom elől*	102
Lendkerekes energia-visszatáplálás Zwickau-ban	81
Gyalogos híd Szolnokon (az autók 0.5%-a érintett)	16

**előzetesen bevezetett referenciaértékek a megadott feltételek mellett*

Egymás mellett vizsgálva az adatokat érzékelhetővé válik, hogy nagyjából mit is jelenthetnek az egyes karbon lábnyom értékek. Bár a kapott karbon lábnyom különbözetelek több nagyságrendet is lefednek, az egyes értékek az egymáshoz közeli értékek, illetve az időegységgel történő önkényes „játszadozás” révén könnyen összehasonlíthatóvá válnak. Az eco-driving látszólag parányi hatását például megfoghatjuk úgy, hogy akkora szén-dioxid kibocsátástól kímélhetjük meg általa a környezetet, mintha egy hétvégére lezártunk volna egy 25 hektáros területet az autóforgalom elől (a megadott feltételek mellett).

Összességében látható, hogy jellemzően az energia-felhasználást csökkentő, illetve az alternatív forrásból származó energiát biztosító megoldások esetében érhető el nagyobb csökkenés a karbon lábnyomot illetően (ez természetesen csak a jelenlegi projektekre igaz, hiszen a vizsgálatok összessége közel sem reprezentatív).

5.2. Következtetések

A leírtak, a szakirodalmak, a vizsgálatok és a módszertan alapján az alábbi következtetéseket vontam le a karbon lábnyom, valamint annak alkalmazása kapcsán.

- ◆ A karbon lábnyom, mint környezeti indikátor jelenleg – mint számos környezetgazdaságtani fogalom – még az értelmezés szintjén is rendkívül képlékenynek mondható, így ahhoz, hogy széles körben is alkalmazható legyen, mindenképpen közelebb kell hozni az egyes definíciókat, a különböző értelmezések ugyanis igen eltérő eredményeket szülhetnek. Tisztázni kell, hogy pontosan mi is az, amit mérni szeretnénk (az összes üvegházhatású gáz kibocsátást, vagy kizárólag a szén-dioxid kibocsátást), mi az a mértékegység, amiben ki szeretnénk fejezni a karbon lábnyomot (tonna szén-dioxid, szén-dioxid-egyenérték, esetleg földterület), valamint azt, hogy milyen szempontok szerint húzzuk meg a vizsgálat határait (direkt és indirekt emissziók, teljes életciklus).
- ◆ A különféle környezeti hatások nagy része kifejezhető szén-dioxid kibocsátásban, ám az átváltásokból adódó torzítások elkerülése érdekében leginkább akkor javasolt a karbon lábnyom használata, ha a vizsgált hatások és folyamatok nagy részéhez szén-dioxid emisszió köthető. Éppen ebből adódik, hogy a közlekedés környezeti hatásainak vizsgálata szempontjából egy kézenfekvő indikátorról beszélhetünk, hiszen

itt jellemzőnek mondhatóak az efféle kibocsátások, miután a világ szén-dioxid emissziójának jelentős hányada köthető a közlekedéshez.

- ◆ Kézenfekvő lehet a karbon lábnyom alkalmazása abban az esetben, amikor egy-egy környezeti szempontból pozitívnak mondható beruházás vagy fejlesztés környezeti hatásait szeretnénk számszerűsíteni, ekkor ugyanis – amennyiben kizárólag az ez által megváltozott direkt és indirekt emissziókra koncentrálnunk – „mesterségesen” kirajzolódik a vizsgálat határa. Az így kapott „karbon lábnyom különbség” ennek megfelelően igen nagy eséllyel számba vesz minden olyan folyamatot, mely a beruházás vagy fejlesztés következtében megváltozik, vagyis a módszertan ilyen szempontból hatékonynak mondható.
- ◆ A különféle karbon lábnyom mutatók összehasonlíthatók, több hasonló beruházás vagy fejlesztés esetében erős szemléltető jelleggel bírnak a környezeti teljesítményt illetően. A várható kibocsátás-csökkenések becslésével emellett előrejelzésre is alkalmas, így akár a döntéshozatal terén is segítséget nyújthat.
- ◆ A karbon lábnyom a méretek szempontjából rendkívül rugalmasnak mondható: egy-egy folyamatra, de akár makromutatóként is alkalmazható. Fontos azonban, hogy a torzítás és a bizonytalanság mértéke a léptékkel azonos arányban növekszik.
- ◆ Nem szabad lebecsülni az egyes megoldások közvetett pozitív környezeti hatásait, a karbon lábnyom ugyanis a vizsgálatok során bemutatta, hogy ezek mértéke is lehet komoly. Megfelelő lehet emellett a mutató a különféle finomhangolások eredményeinek számszerűsítésére is.

5.3. Javaslatok további vizsgálatokra

Ahogy maga a karbon lábnyom is csak „gyerekcipőben jár” még – legyen szó értelmezésről vagy módszertanról –, úgy a jelen dolgozat is a téma számtalan rétegének a felszínét kapargatta csupán, a városi közlekedés szempontjából vizsgálva a sok oldalról megközelíthető indikátort. Ez azt jelenti, hogy természetesen több lehetőség is adódik további vizsgálatokra, melyekhez remélem, hogy kellően motiváló érdekességgként szolgálhattak az eddig leírtak.

- ◆ Ha beruházásokról és fejlesztésekről van szó, akkor a környezeti hatások vizsgálata mellett érdemesnek tartanám egy költség-haszon elemzés elvégzését is. Ez több

további vizsgálatra is lehetőséget adna. Egyrészt meg lehetne nézni, hogy a karbon lábnyom szempontjából hasonló megoldások között mekkora a különbség a költségeket és a hasznokat illetően. Ennél még tanulságosabb lenne egy olyan vizsgálat, mely egy meghatározott karbon lábnyom-egységre jutó költségeket, illetve hasznokat vizsgálná.

- ◆ Végezhető számszerűsítés a karbon lábnyom értelmezése szemszögéből is. Ebben az esetben azt lehetne vizsgálni, hogy milyen eltéréseket mutathat a karbon lábnyom attól függően, hogy az indikátor definiálása során összegyűjtött dilemmák kapcsán milyen döntéseket hozunk, és milyen szempontokat helyezünk előtérbe a vizsgálatok során.
- ◆ A jelenlegi vizsgálatok során nagyrészt az emissziók kerültek előtérbe, mélyebben is el lehetne merülni azonban a más jellegű környezeti hatások karbon lábnyomban történő kifejezésében, tovább javítva a mutató használhatóságát a városi közlekedés kapcsán.
- ◆ Végezhető bizonyosan izgalmas lenne annak a mélyebb vizsgálata, hogy miként fejezhetjük ki pénzben a karbon lábnyomot, milyen módszereket alkalmazhatnánk erre.

Összegzésként megállapítható, hogy a környezeti indikátorok számtalan feltáratlan lehetőséget nyújtanak. A környezet-gazdaságtan tudományterülete alig több mint két évtizede foglalkozik csupán érdemben a fenntarthatóság kérdéskörével, ami azt jelenti, hogy az efféle mutatók kapcsán mindenképpen van igény, hely és motiváció a további kísérletezésre, az új elméletek és módszertanok bevezetésére. Ügyelnünk kell azonban arra, hogy ezen kísérletezés kellően kritikus és fókuszált legyen: mindig szem előtt kell tartani, hogy a környezeti mutatók megszületése milyen igényhez köthető. A végső cél ugyanis az, hogy olyan módszereket dolgozzunk ki, melyek a legjobban és a legpontosabban képesek szemléltetni a környezeti teljesítményt és a különféle környezeti hatásokat – akár léptéktől és vizsgálati területtől függetlenül. És miután a kritikus szemléletmód az előrelépés egyik kulcsa, ezért a dolgozat témájával kapcsolatosan sem lehetünk indokolatlanul elfogultak. Végső gondolatként így csupán annyit jegyeznek meg: meglátjuk, hogy hosszú távon segíteni tudja-e a karbon lábnyom a tudományterület előrelépését, és a további vizsgálatok képesek lesznek-e bizonyítani létjogosultságát.

Irodalomjegyzék

- Agren, C. (2010): Particles killing half a million, letöltve: 2013. október 10.
<http://www.airclim.org/acidnews/2010/AN2-10/particles-killing-half-million>
- Audi (2013): Audi A8 műszaki adatok, letöltés: 2013. október 25.
<http://www.audi.hu/modellek/a8/a8/motorok/>
- Bartus G. – Szalai Á. (2012): Környezetgazdaságtani problémák elemzése, letöltés: 2013. október 24. <http://plwp.jak.ppke.hu/images/files/2012/2012-42-Bartus-Szalai.pdf>
- BKK (2013): Utazási információk, Budapesti Közlekedési Központ, letöltés: 2013. október 25. <http://www.bkk.hu/tomegkozlekedes/utazasi-informaciok/menetrendek/>
- BKV (2008): Összefoglaló jelentés a Mercedes Conecto alacsonypadlós autóbusról, letöltés: 2013. október 20.
http://www.bkv.hu/ftp/tesztbuszok/mercedes_conecto_12_lezaro_jelentes.pdf
- Biomass Energy Centre (2013): Carbon emissions of different fuels, letöltve: 2013. október 25. http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,163182&_dad=portal&_schema=PORTAL
- BP (2007): What is a Carbon Footprint?, letöltve: 2013. október 13.
http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/STAGING/global_assets/downloads/A/ABP_ADV_what_on_earth_is_a_carbon_footprint.pdf
- Carbon Trust (2007): Carbon Footprint Measurement Methodology, Version 1.1, In: Wiedmann, T. – Minx, J. (2007): A Definition of 'Carbon Footprint'
- Dacia (2013): Dacia Duster műszaki adatok, letöltés: 2013. október 25. http://www.dacia-local.hu/pdf/arlista/arlista_duster.pdf
- Datahouse (2013): 2012-ben Magyarországon forgalomba helyezett új személyautók, http://galeria.vezess.hu/files/983/057/000/57983/57983_458161_1000x700.jpg letöltés: 2013. október 25.
- Duncan, B. – Hartman, J. (1996): Sustainable Urban Transportation Initiatives in Canada, letöltés: 2013. október 10. <http://www.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/pdf/sustainableinitiatives.pdf>

- Ecodrive (2013): Ecodriving – The Concept, letöltés: 2013. október 26. <http://ecodrive.org/>
- Eltis (2008): Trams save energy by flywheel energy storage, Zwickau, Germany, letöltés: 2013. október 1. http://www.eltis.org/index.php?id=13&lang1=en&study_id=1995
- Eltis (2011): Photovoltaic system for large bus parking area in Sevilla, Spain, letöltés: 2013. október 15. http://www.eltis.org/index.php?id=13&lang1=en&study_id=2923
- Eltis (2012): Large-scale trial phase of acceleration meter for eco-driving in local public transport buses concluded: results now available (Pécs, Hungary), letöltés: 2013. október 15. http://www.eltis.org/index.php?id=13&lang1=en&study_id=3340
- Eltis (2013): Innovative fly wheel energy storage tested in Freiburg (Germany), letöltés: 2013. október 26. http://www.eltis.org/index.php?ID1=5&id=60&news_id=4150
- EIA (2013): International Energy Outlook 2013, U.S. Energy Information Administration, http://www.eia.gov/forecasts/ieo/more_highlights.cfm, letöltés: 2013. október 12.
- Energetics (2007): The Reality of Carbon Neutrality, In: Wiedmann, T. – Minx, J. (2007): A Definition of 'Carbon Footprint'
- ENS (2007): First EU Commercial Concentrating Solar Power Tower Opens in Spain letöltés: 2013. október 28. <http://www.ens-newswire.com/ens/mar2007/2007-03-30-02.asp>
- ETAP (2007): The Carbon Trust Helps UK Businesses Reduce their Environmental Impact, Press Release, In: Wiedmann, T. – Minx, J. (2007): A Definition of 'Carbon Footprint'
- Fiat (2013): Fiat 500 műszaki adatok, letöltés: 2013. október 25. http://www.bravo.fiat.hu/katalogus/500e500C_2011.pdf
- Ford (2013a): Ford C-MAX műszaki adatok, letöltés: 2013. október 25. <http://www.ford.hu/szemelyautok/ujCmax>
- Ford (2013b): Ford Transit műszaki adatok, letöltés: 2013. október 25. <http://www.ford.hu/SBE/katalogus/p=1204914384541>
- Global Footprint Network (2007): Ecological Footprint Glossary, <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/glossary/>, letöltés: 2013. október 12.
- Grubb & Ellis (2007): Meeting the Carbon Challenge: The Role of Commercial Real Estate Owners, Users & Managers, Chicago, In: Wiedmann, T. – Minx, J. (2007): A Definition

of 'Carbon Footprint'

IPCC (2007): Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, letöltés: 2013. október 13.

<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter5.pdf>

KSH (2005): Halálozások a leggyakoribb halálokok szerint, letöltés: 2013. október 11.

http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_wnh001.html

KSH (2011): 2011. évi népszámlálás, Területi adatok, Jász-Nagykun-Szolnok megye, letöltés: 2013. október 20.

http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/nepsz2011/nepsz_03_11_2011.pdf

Levegő Munkacsoport (2013): Korommentes városok, letöltés: 2013. október 9.

<http://www.levego.hu/sites/default/files/kiadvanyok/korommentesvarosok.pdf>

Mercedes-Benz (2013): Mercedes CLS osztály műszaki adatok, letöltés: 2013. október 25.

http://www.mercedes-benz.hu/content/hungary/mpc/mpc_hungary_website/hung/home_mpc/passengercars/home/new_cars/models/cls-class/_c218/facts/technicaldata

OECD (1996): Towards Sustainable Transportation, letöltés: 2013. október 10.

<http://www.oecd.org/greengrowth/greening-transport/2396815.pdf>

Opel (2013): Opel Astra H műszaki adatok, letöltés: 2013. október 25.

http://www.opel.hu/gepjarmuvek/opel_range/autok/uj-astra/motorok-muszaki-adatok/motorok-es-sebessegvaltok.html

Origo (2010): 57 literes átlagfogyasztás a szmogriadó alatt, letöltés: 2013. október. 25.

<http://www.origo.hu/auto/20101104-57-literes-atlagfogyasztas-a-szmogriado-alatt.html>

Parti M. (2011): Környezetvédelem műszaki alapjai előadásanyag, BME

Piackutatasok.hu (2012): KSH – Közlekedési infrastruktúra, járműállomány, üzemanyagárak 2011, letöltés: 2013. október 20. <http://www.piackutatasok.hu/2012/12/ksh-kozlekedesi-infrastruktura.html>

POST (2006): Carbon footprint of electricity generation. POSTnote 268, October 2006, Parliamentary Office of Science and Technology, London, UK, In: Wiedmann, T. – Minx, J. (2007): A Definition of 'Carbon Footprint'

Princz-Jakovics T. (2011): Környezetértékelés előadásanyag, BME

Ballari, M.M. – Brouwers, H.J.H. (2013): Full scale demonstration of air-purifying pavement, letöltés: 2013. október 26.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389413001210#>

Skoda (2013a): Skoda Octavia műszaki adatok, letöltés: 2013. október 25.

http://www.skoda.hu/files/hu/download/datei/uj_octavia_techniki_adatok.pdf

Skoda (2013b): Skoda Superb műszaki adatok, letöltés: 2013. október 25.

http://www.skoda.hu/files/hu/download/datei/superb_muszaki_adatok.pdf

Suzuki (2013): Suzuki Swift műszaki adatok, letöltés: 2013. október 25.

http://www.suzuki.hu/pages/display/auto/modellek/swift/muszaki_adatok

Szlávik J. (2008): Környezetgazdaságtan, Typotex Kiadó, Budapest.

Tüke Busz (2013): Menetrend szerinti utasszállítás, Tüke Busz Zrt. letöltés: 2013. október 20.

http://www.tukebusz.hu/tartalmak/Menetrend_szerinti_utasszallitas

UN (2013): Carbon dioxide emissions, United Nations, letöltés: 2013. október 28.

<http://mdgs.un.org/unsd/mdg/SeriesDetail.aspx?srid=749&crid=>

Wackernagel, M. – Rees, W. (1996): Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on Earth

WCED (1987): 42/187. Report of the World Commission on Environment and Development,

<http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>, letöltés: 2013. október 10.

Wiedmann, T. – Minx, J. (2007): A Definition of 'Carbon Footprint', letöltés: 2013. október 9.

http://www.utm.my/co2footprintutm/files/2011/11/ISA-UK_Report_07-01_carbon_footprint.pdf