

Életciklus analízis a tribológia szempontjából – Globális gondolkodás lokális döntésekben

Life Cycle Assessment from a tribological standpoint – Global thinking in Local decisions

TÓTH-NAGY Csaba,¹ Jan ROHDE-BRANDENBURGER¹

¹Széchenyi István Egyetem, Belsőégésű Motorok és Járműhajtások Tanszék,
9026 Győr, Egyetem tér 1., bmt.sze.hu

Abstract

What is the fuel consumption of a vehicle? What is the amount of its exhaust emissions? Most people are less interested in the emission values than in the fuel consumption of a vehicle. This is perfectly logical because one can feel the fuel consumption on one's wallet. It is even less considered that the energy consumption and emission values of a vehicle reach far beyond place and time of its use. The present paper summarizes the development of the calculating method of vehicular exhaust emissions and energy consumption from onsite emissions and consumption to life cycle assessment. The paper expands the life cycle assessment to global optimization of emissions and consumption. Then the paper turns the focus on friction and wear from a life cycle assessment standpoint.

Keywords: Life cycle assessment, friction, wear, CO₂, global emissions, global optimization

Kivonat

Mennyit tüzelőanyagot fogyaszt egy gépjármű? És mennyi károsanyagot bocsát ki? A legtöbb embert a károsanyagkibocsátás kevésbé érdekli, mint a fogyasztás, hiszen a fogyasztás zsebre megy. Abba még kevésbé gondol bele az átlagember, hogy a jármű energiafelhasználása és kibocsátása messze túlnyúlik a felhasználás helyén és idején. A jelen cikk összefoglalja a járművek károsanyagkibocsátását és energiafogyasztását kiszámító életciklusanalízist, kiterjeszti globális gondolkodási méretű optimalizációvá, majd ez alapján fókuszba helyezi a súrlódás és kopás problémáját életciklus analízis szempontjából.

Kulcsszavak: Életciklus analízis, súrlódás, kopás, CO₂, globális kibocsátás, globális optimalizáció

1. BEVEZETŐ

A járműfejlesztő mérnökök és kutatók utóbbi 30 éve a károsanyagkibocsátás és az energiafogyasztás csökkentésének jegyében telt. A fejlesztők és a felhasználók kibocsátás- és fogyasztás-optimalizációra törekvő gondolkodása sokat változott ezen idő alatt. A károsanyagkibocsátási és energiafogyasztási számítások eljutottak a jármű felhasználás helyén történő kibocsátásától (tüzelőanyagtartálytól a kerékig – mennyit fogyaszt a jármű?), azon keresztül, hogy hozzáadják az energiahordozóelőállítás során kibocsátott károsanyagok és a felhasznált energia mennyiségét (kőolajkúttól a tüzelőanyagtartályig – mennyi is a károsanyagkibocsátása egy villanyautónak?), egészen addig, hogy beleszámítják a jármű és alkatrészeinek gyártása és újrahasznosítása vagy megsemmisítése során történő károsanyagkibocsátást és energiafogyasztást (életciklus analízis – mennyi is a környezetterhelés valójában?) .

2. GÉPJÁRMŰVEK KÖRNYEZETTERHELÉSE

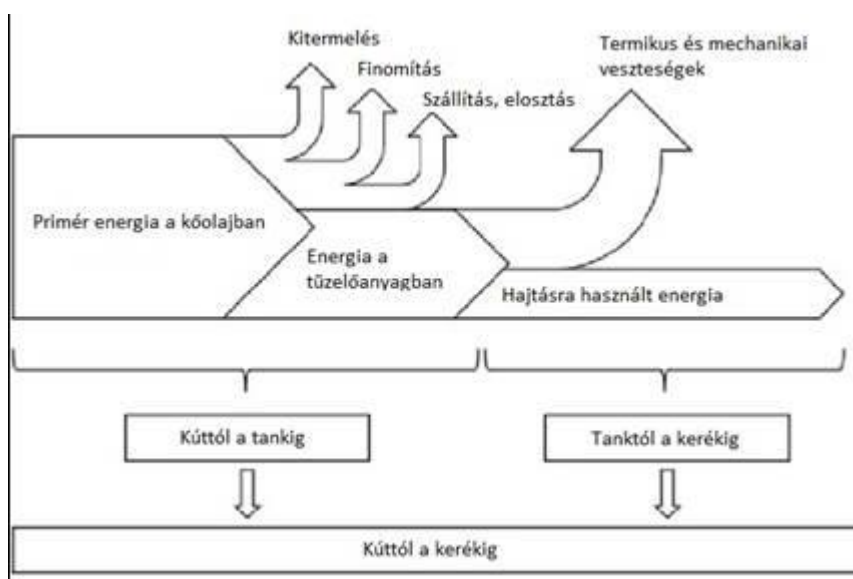
A gépjárművek környezetterhelése három csoportba sorolható a környezetre gyakorolt hatás szempontjából: apadó kőolajforrások, üvegházhatás, városok légszennyezése.

- 1, A fosszilis tüzelőanyagforrások folyamatos kiapadása a gazdaságok energiaellátását veszélyezteti. Sorell és társai [1] azt jósolták, hogy az olajkitermelés csúcsa valahol 2020 és 2030 közé fog esni, onnét csökken majd az olajkitermelés és ennek okaként a kiapadó kőolajforrásokat nevezik meg.
- 2, CO₂ kerül a légterbe a fosszilis tüzelőanyagok elégetésével, ami az üvegházhatása miatt a globális klímaváltozásért felelős [2].
- 3, A kipufogógázok károsanyagtartalma rontja a városok levegőjét, egészségkárosító hatása van [3].

3. KÜTTŐL A KERÉKIG KONCEPCIÓ

A járművek kibocsátása történelmileg eleinte csak a felhasználás helyén történő tüzelőanyagfogyasztást, vette figyelembe. Logikus, hiszen a felhasználót az érdekelte csak, hogy mennyire megy az ő zsebére a járműhasználat, mennyit fogyaszt a jármű és mennyi a tüzelőanyag költsége. Később a járművek elszaporodásával a károsanyagkibocsátás is egyre nagyobb figyelmet kapott. Ezt a használat során történő tüzelőanyagfogyasztást és károsanyagkibocsátást megállapító módszert a szakirodalom tank-to-wheel (tüzelőanyagtanktól a kerékig) koncepciónak nevezi [4].

A villamos járművek megjelenése felvetette a kérdést: a villamos járműveknek valóban nulla a károsanyag kibocsátásuk? Erre a kérdésre keresve a választ alakult ki a kőolajkúttól a kerékig koncepció, ami két részből adja össze a kibocsátás és fogyasztás értékeit: kőolajkúttól a tüzelőanyagtankig + tüzelőanyagtanktól a kerékig (well-to-wheel = well-to-tank + tank-to-wheel), 1. ábra.



1. ábra: Kőolajkúttól a kerékig koncepció [5].

A kúttól a kerékig koncepció értelmet ad a villamos járművek károsanyagkibocsátásának, hiszen felszámítja a primér energiahordozó kitermelését, finomítóba szállítását, finomítását, erőműbe szállítását, erőmű hatásfokát, és a villamos energia felhasználási helyre történő szállítását. Nagy [8] szimulációs módszerekkel meghatározta egy Audi Q7 jármű fogyasztását dízel, villamos és soros hibrid hajtással WLTC menetcikluson. Nagy azt találta, hogy a kúttól a kerékig fogyasztás dízel: 8,76 l/100km; villamos: 11,18 l/100km; hibrid: 5,05 l/100km. Villamos energia előállítás hatásfoka Európában szénből 43.5% [6] az USA-ban szénből és gázból 35% és földgázból 45% és az energiaszállítás hatásfoka 90% körüli [7]. Akku hatásfok 80-90% töltéskor és 80-90% kiürítéskor, ami tovább rontja az összhatásfokot, így érthetővé téve az eredményeket.

A jelen cikk a járművek CO₂ kibocsátásra fókuszál, aminek két oka van: egyrészt a fosszilis tüzelőanyagokat használó járművek CO₂ kibocsátása megfeleltethető a tüzelőanyagfogyasztásnak; egyszerű szén- vagy oxigénegyensúly egyenlettel kiszámolható egyik a másikkól, másrészt a kibocsátott más károsanyagok mennyisége nagyban függ a kipufogógáz utánkezelő rendszertől, ami közel nullára is csökkentheti a kibocsátott károsanyagok mennyiségét, így jelen szempontból ezeket nem érdemes tárgyalni.

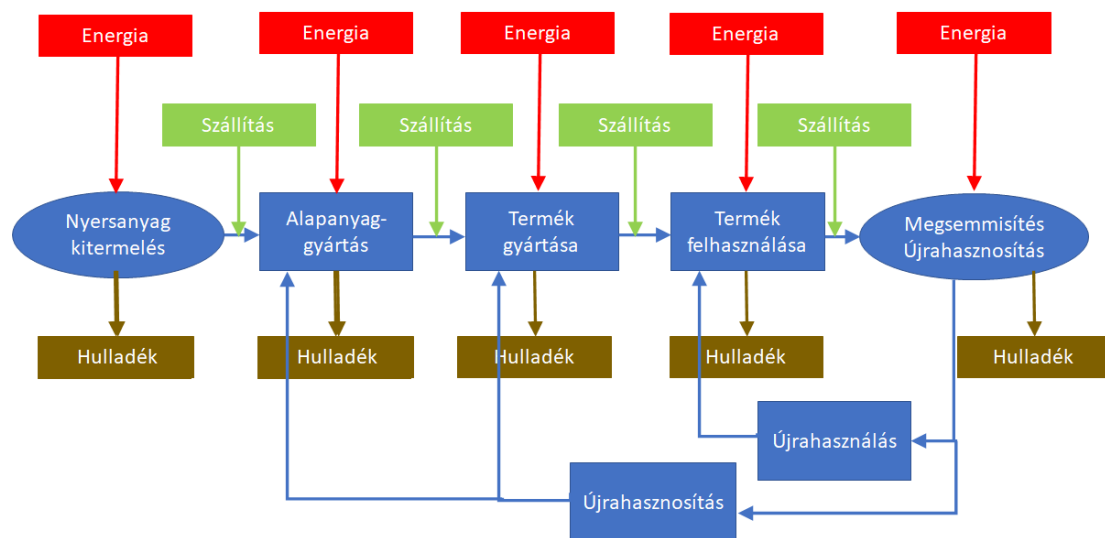
A termékek környezetterhelését Ellingsen et al. [13] több szempontból vizsgálja: globális felmelegedés, fosszilis energiahordozók kiapadása, ózonréteg vékonyodás, foto-oxidáció, részecske-formálódás, savasóképződés, édesvizek túltelítődése, tengerek túltelítődése, földkéreg túltelítődése édesvizek mérgezése, tengerek mérgezése, földkéreg mérgezése, emberek mérgezése, fémérc források kiapadása. Látható, hogy a

környezetterhelés milyen sok téren vizsgálható, mindazonáltal a jelen tanulmány fókuszában a CO₂ kibocsátás áll, ennek példáját használja, mint üvegházhatást növelő, ami nagyban felelő a globális felmelegedésért.

Woo et al. [9] kiszámította a kúttól a kerékig koncepcióval, hogy mennyi a benzines, dízel, és a villamos járművek CO₂ kibocsátása. Figyelembe vette, hogy a villamosenergiatermelés környezeti hatása különbözik az előállítási technológiától függően. Figyelembe vette továbbá azt is, hogy az országoknak különböző a villamosenergiaelőállítási portfóliója. Megvizsgálta subkompakt, kompakt, luxus, és SUV kategóriákban a CO₂ kibocsátás alakulását. Azt találta, hogy a kompakt kategóriában a kúttól a kerékig koncepció a dízel hajtáslánccal 96,1 g/100km, benzines hajtáslánccal pedig 119,7 g/100km. Különböző primer energiából előállított villamosenergiát használó hajtáslánccal meghatározott fogyasztások a következő képpen alakultak: szén: 123 g/km, földgáz: 62,8 g/km, kőolaj: 99,8 g/km, atom: 0,9 g/km, víz: 0,6 g/km, szél: 1,5 g/km, biomassa: 5 g/km, napenergia: 6,8 g/km. Woo et al. figyelembe vette továbbá azt is, hogy az országoknak különbözik a villamosenergiaelőállítási portfóliója és meghatározta a különböző országokban használt villamos járművek kúttól a kerékig fogyasztását átlagos portfólió értékkel. Kína: 88,9 g/km, India: 93,6 g/km, Japán: 71,6 g/km, USA: 67 g/km, Németország: 64,8 g/km, EU: 44,1 g/km, Middle East: 72,6 g/km, Délafrikai köztársaság: 115,5 g/km. Woo et al. megadja a globális értéket a globális villamos energia portfóliót használó járművek CO₂ kibocsátására, ami 70 ország átlaga: 67,6 g/km. Azt találta, hogy a dízel járművek kibocsátása minden kategóriában a villamosenergia portfólió kibocsátási szélsőértékei közé esnek.

4. ÉLETCIKLUS ANALÍZIS

Az életciklus analízist a hetvenes évek elején kezdték el kidolgozni azzal a céllal, hogy a termékek valós környezetterhelését meghatározzák a nyersanyag kibányásztól kiindulva a megsemmisítésig. Az életciklusanalízis segíti azt, hogy a környezetterhelési értékek ne legyenek más területekre áthárítva, elfedve, vagy elfelejtve. A főbb szinterek egy termék életciklusában: nyersanyagkitermelés, alapanyaggyártás, gyártás, felhasználás, megsemmisítés (2. ábra). Minden szintér, az anyaghasználaton túl, energiát fogyaszt és hulladékot bocsát ki, aminek szintén van környezetterhelése.



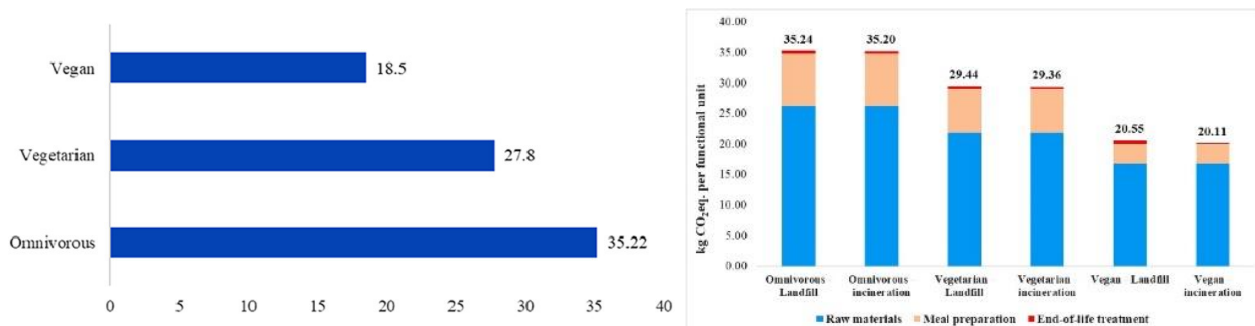
2. ábra: Az életciklusanalízis elvi folyamatábrája.

A szinterek közötti szállítást járművek végzik, amelyek ugyanúgy termékek, mint a jelen példában tárgyalt termék, az ő életciklus analízisük során megállapított környezetterhelés része is a jelen terméket terheli. Mindazonáltal, a bölcsőtől a sírig koncepció, amit az ISO 14040 életciklus analízis tárgyalt [12], nem fedi le a kiszolgáló járművek, épületek, eszközök adott termékre eső környezetterhelését. De mennyire felel meg a valóságnak, hogy az életciklusanalízis csak a bölcsőtől a sírig vizsgálja a termék életét? Meddig kell visszamenni az előszükségletek kibocsátáselemzésében, ahhoz, hogy az életciklus analízis pontos képet adjon? A környezetterhelés vizsgálata ott ütközik falakba, ahol követhetetlené válik a modell bonyolultsága, vagy a hatások elhanyagolható méretűre csökkennek. A rendszer korlátlan és összetett volta miatt az életciklus analízis során meg kell határozni a határokat, amelyeken belül egy jármű környezetterhelését vizsgálja. Általános, hogy a villamos és hagyományos járművek összehasonlításakor beleveszik a járműgyártást, a felhasználást, a megsemmisítést, és a hajtást biztosító energiahordozót (kúttól a kerékig), a többi befolyásoló tényezőt elhanyagolják.

A villamos és hagyományos járművek környezetterhelésének összehasonlításakor a legnagyobb különbséket az akkumulátor jelenti. Ellingsen et al. [13] a lítium-ion akkumulátorok környezetterhelését vizsgálta az életciklus analízis módszerével a bölcsőtől a kapuig (amíg a termék a boltok polcaira kerül). Azt találta, hogy egy 26,6 kWh, 253 kg akkumulátor környezetterhelése 4,6 tonna CO₂. Egy 90 g/km-es használatkori CO₂ kibocsátást feltételezve ez 51000 km megtett út kibocsátásának felel meg.

5. EMBERI TÉNYEZŐ A KÖRNYEZETTERHELÉSBEN

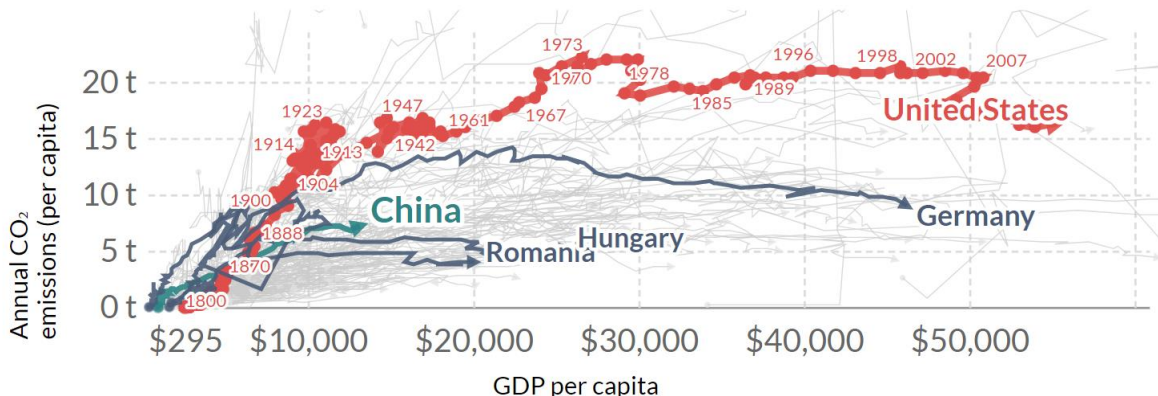
Egy szállítványozócég költségei négy részből tevődnek össze: jármű beszerzési költsége, tüzelőanyag költség, emberi költség (sofőr), infrastruktúra költség. A kúttól a kerékig koncepció a tüzelőanyag környezetterhelésére vetít fényt, az életciklus analízis a jármű környezetterhelésére, a jelen fejezet pedig az emberi környezetterhelést elemzi. Az ember életformája nagyban befolyásolja az ember környezetterhelését. Nem mindegy, hogy az ember melyik égvön lakik és hogyan temperálja a lakását: fűt, semleges, vagy légkondicionál. Nem mindegy, hogy az ember kis lakást fűt, vagy hatalmas villát. Nem mindegy, mivel fűt, milyen a ház hőszigetelése, milyen a fűtőberendezésének a hatásfoka. Nem mindegy, hogy gyalog jár dolgozni, kerékpárral tömegközlekedéssel, vagy sport SUV-val. Ezek különbségei könnyen beláthatók, mindazonáltal az sem mindegy, hogy az ember milyen étrenddel táplálja magát. Uctog et al. [10] azt vizsgálták, hogy az elfogyasztott élelmiszerek előállítása, elkészítése, és hulladékmegsemmisítése során kibocsátott CO₂ mennyisége hogyan alakul 2000 kilokalóriás vegán, vegetáriánus, és vegyes étrendben. Következésképpen, hatással van egy jármű környezetterhelésére, hogy Koreában gyártották, Indiában, Dél-Afrikában, vagy Kanadában.



3. ábra: 2000 kcal étrend CO₂ kibocsátása kg/személy/hét [10]. Átlagos étrend CO₂ egyenérték aránya nyersanyag (kék), elkészítés (narancs), megsemmisít (piros) kg/szem/hét [10].

6. CO₂ ÉS A BRUTTÓ HAZAI TERMÉK (GDP) KAPCSOLATA

Minden, amit a modern társadalom termel, terheli a környezetet. Az ipari termékek esetén ezt egyszerű belátni, de manapság a mezőgazdasági termékek előállítása során fellépő környezetterhelés is jelentős. A mezőgazdaság, ami elméletileg lehetne CO₂ semleges, valójában egyáltalán nem az. A gépesített földművelés és automatizált állattenyésztés mellett, a műtrágyázás, növényvédelem, teményfeldolgozás mind növeli a környezetterhelést. Minden értéknek, amit egy ország megtermel, van környezetterhelése. Ezt jeleníti meg a 4. ábra.



4. ábra: Egyes országok lakosonkénti CO₂ kibocsátása a lakosonkénti bruttó hazai termék függvényében 1750-2018 években [14].

Az ábrán a környezetterhelés az egyes országok lakosonkénti CO₂ kibocsátása a lakosonkénti bruttó hazai termék függvényében 1750-2018 években. Egy ország környezetterhelése egy adott évben: lakosonkénti CO₂ kibocsátás szorozva lakosonkénti GDP szorozva lakosok száma. Ezen gondolatmenet alapján, minden termék ára meghatározza a környezetterhelését, minden elköltött forint lefordítható CO₂ kibocsátásra.

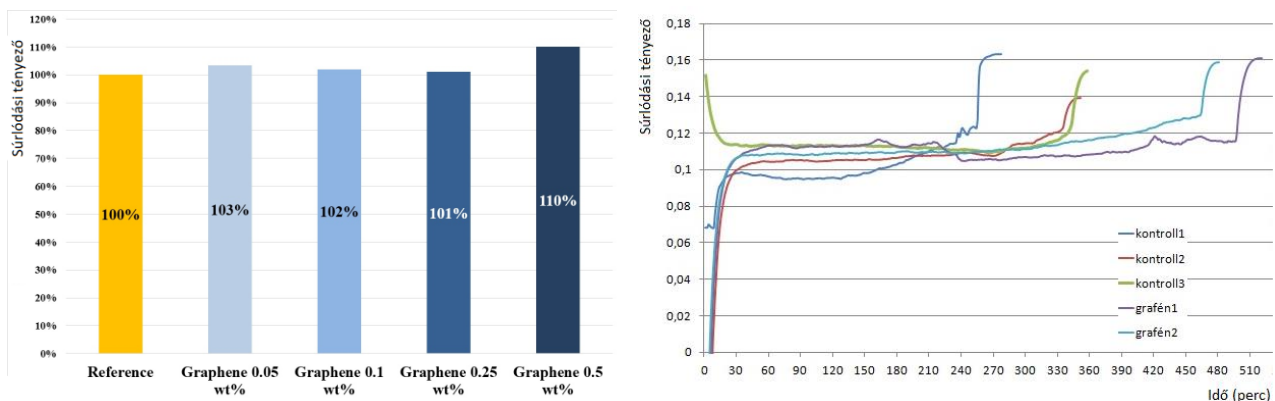
7. SÚRLÓDÁS – KOPÁS

A Széchenyi István Egyetem Belsőégésű Motorok és Járműhajtások tanszékén egyik tudomány terület a tribológia – a súrlódás, kopás és kenés tudománya. Az elmúlt évtizedben a fókusz a motorok súrlódásának csökkentésére irányult, mint fogyasztás- és környezetterhelés-csökkentő lehetőségre. Történtek motorolaj összehasonlítások, anyagpár összehasonlítások, geometriai összehasonlítások, alkatrészösszehasonlítások, ahol a súrlódás csökkentése állt a fókuszban. Történtek vizsgálatok tribométeren, alkatrészvizsgáló próbabapadokon, hidegjárató motorfékpadon ugyanúgy, mint teljes funkciós motorfékpadon.

A súrlódások csökkentésére irányuló erőfeszítések egyik globális trendje a motorolajok viszkozitásának csökkentése 10W40-ról, 5W30-n keresztül, 0W20-ra. Már megjelentek a 0W16-os olajok, amivel tovább csökkenthető a belső súrlódás. A súrlódási értékek a tanktól a kerékgig analízis eredményeit befolyásolják alig több, mint elhanyagolhatóan.

Az elmúlt években kisebb hangsúly került a kopás vizsgálatokra. Ezek a vizsgálatok általában az élettartam növelése helyett, az idő előtti meghibásodás elkerülésére irányulnak. Az élettartam növelése az életciklus analízis a nyersanyag gyártásból, alapanyag gyártásból, termék előállításból, és a szállításokból egy kilométer futásteljesítményre számított környezetterhelését csökkenti, abszolút nem elhanyagolható mértékben. Megduplázott futásteljesítmény felére csökkenti az életciklus analízis nyersanyag gyártásra, alapanyag gyártásra, termék előállításra, és a szállításokra számított környezetterhelést.

Kísérletek történtek nano méretű grafént, mint adalékot használva motorolajban. A kísérletek egy csapárcsás, forgó mozgást végző tribométeren történtek, amely folyamatos kenést biztosító olajadagolóval van felszerelve. A kenőolaj Castrol EDGE 0W-30, az adalék A-12 grafén nano-lapok, melyeknek tisztasága >99.5%, átlagos vastagsága <3 nm (3-8 monoréteg), 2-8 µm kiterjedéssel. A kísérletek két fázisban történtek: bejáratás és vészjáratás. A bejáratás 120 percig tartott 200 N terheléssel és folyamatos 100 fokos kenőolajadagolással. A vészjáratás körülményei annyiban különböztek, hogy megszűnt az olajadagolás 120 percnél és történt egy sűrített levegős olajeltávolítás. Az eredményeket az 5. ábra mutatja.



5. ábra: Grafén, mint nanoadalék hatása a súrlódási tényezőre és a vészjáratási időre.

A grafénlapok hatása elhanyagolhatóan kicsi volt a súrlódási tényezőre 0,5% alatti adalékolás esetén., és 0,5 tömegszázaléknál megnőtt a súrlódási tényező 10%-kal. A vészjáratási idő azonban már alacsony adalékolás mellett is nőtt mintegy 4 órától (adalékotlan olaj) 6 órára (0,05% grafénadalék). A súrlódási tényező növekedése a grafén viszkozitásnövelő hatásának tudható be. A vészjáratási idő növekedése arra utal, hogy a grafén lapok védőréteget képeztek az alkatrészek felületén, amely olajhiányos körülmények között segítette a felületi roncsolódás nélküli elmozdulást. A kérdés az, hogy érdemes-e használni adalékként a grafénlapokat: a kísérletek alapján igen, hiszen a motorok kopása főleg az indításkor fellépő vegyesúrlódási állapotokban történik. Annak ellenére, hogy a súrlódásra nincs hatással (ami egyébként is elhanyagolható környezetterhelés szempontjából), 50%-kal növeli a vészjáratási időt, ami számottevő környezetterhelés csökkenést jelent életciklusanalízis szempontjából.

8. ÖSSZEGRZÉS

A jelen cikk a kúttól a keréig módszer bemutatása után bevezette az életciklusanalízist, mint megfelelő módszert járművek környezetterhelésének összehasonlítására, majd szemügyre vette a súrlódás és kopás problémáját életciklusanalízis szempontjából egy grfénadalékolt olaj tribométeres vizsgálati eredményei kapcsán. Megállapítható, hogy akkor is megéri egy adalékot alkalmazni, ha a hatása súrlódás szempontjából semleges, de kopás szempontjából pozitív. A kopás csökkenése élettartam növekedést jelent, ami az életciklusanalízist alkalmazva számottevő környezetterheléscsökkenést mutat. Egy termék élettartamnövekedése azt eredményezi, hogy az adott típusú termékre kiadott költség csökken, ami a GDP-CO₂ kibocsátás kapcsolata alapján egyértelműen megmutatja a környezetterhelés pozitív változását, ha nő az élettartam.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Sorrell S., Speirs J., Bentley R., Brandt A., Miller R. *Global oil depletion: A review of the evidence*, Energy Policy, Volume 38, Issue 9, September 2010, Pages 5290-5295
- [2] Shaikh M., Shaikh P., Qureshi K., Bhatti I. *Green House Effect and Carbon Foot Print*, Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials, Volume 2, 2018, Pages 120-125
- [3] Bai X., Chen H., Oliver B. G. *The health effects of traffic-related air pollution: A review focused the health effects of going green*, Chemosphere, Volume 289, February 2022, 133082
- [4] Silva C., Gonçalves G., Farias T., Mendes-Lopes J. *A tank-to-wheel analysis tool for energy and emissions studies in road vehicles*, Science of The Total Environment, Volume 367, Issue 1, 15 August 2006, Pages 441-447
- [5] Chłopek Z., Lasocki J. *Comprehensive environmental impact assessment of the process of preparation of bioethanol fuels of the first and second generation*, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2013; 15 (1): 44–50
- [6] <file:///C:/Users/toth-/Downloads/eur%2024952%20en%20c.pdf>
- [7] <http://insideenergy.org/2015/11/06/lost-in-transmission-how-much-electricity-disappears-between-a-power-plant-and-your-plug/>
- [8] Nagy M. *Soros hibridjármű szabályozási stratégiájának optimalizációja szimulációs módszerekkel*, BSc szakdolgozat, Széchenyi István Egyetem, 2017
- [9] Woo J., Choi H., Ahn J. *Well-to-wheel analysis of greenhouse gas emissions for electric vehicles based on electricity generation mix: A global perspective*, Transportation Research Part D: Transport and Environment Volume 51, March 2017, Pages 340-350
- [10] Üctog F., Gunaydin D., Hunkar B., Öngelen C. *Carbon footprints of omnivorous, vegetarian, and vegan diets based on traditional Turkish cuisine*, Sustainable Production and Consumption, Volume 26, April 2021, Pages 597-609
- [11] Hunt R., Sellers J., Franklin W. *Resource and environmental profile analysis: A life cycle environmental assessment for products and procedures*, Environmental Impact Assessment Review, Volume 12, Issue 3, September 1992, Pages 245-269
- [12] ISO 14040:2006, Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework,
- [13] Ellingsen L., Majeau-Bettez G., Singh B., Srivastava A., Valøen L., Strømman A. *RESEARCH AND ANALYSIS Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack*, Journal of Industrial Ecology, Yale University, DOI: 10.1111/jiec.12072, 2013, Pages 113-124
- [14] <https://ourworldindata.org/grapher/co2-emissions-vs-gdp?xScale=linear&zoomToSelection=true&time=1750..2018&country=HUN~ROU~USA~DEU~CHN>
2022.04.01