La kontribuo de la tekstilindustrio al la evoluo de karbonpiedsigno*)

Károly Lázár
lazarky2@gmail.com

Ŝlosilvortoj: Karbonpiedsigno, Forcej-efikaj gasoj, Tekstilindustrio

Abstraktaĵo

La produktado kaj uzo de krudaĵoj kaj ŝtofoj por tekstilaĵoj kaj la uzo de produktaĵoj mem kontribuas signife al la formado de forcej-efikaj gasoj dum ilia tuta vivociklo. La artikolo diskutas la originon kaj amplekson de tiuj forcej-efikaj gasoj kaj la karbonsignon de tiuj produktoj.

Difinoj kaj konceptoj

La karbonpiedsigno estas mezuro de la efiko de homa aktiveco sur la medio. Ĝi povas esti uzata por mezuri kiom homa aktiveco kontribuas al mondvarmiĝo.

Koncerne la karbonpiedsignon, ekzistas tri ĝeneralaj difinoj en sciencaj cirkloj [6]:

1. karbonpiedsigno estas la karbondioksida (CO_2) ellaso de la brulado de fosiliaj brulaĵoj per homa aktiveco;
2. karbonpiedsigno estas difinita kiel la CO_2 kaj aliaj forcej-efikaj gasoj elsenditaj de produktaĵoj, tra la tuta vivociklo de fonto, produktaĵo, distribuo, uzo kaj reakiro de krudmaterialoj;
3. en la kerno de la koncepto de karbonpiedsigno estas la mezurado de la efikoj de homaj agadoj, surbaze de la rekta kaj nerekta CO_2 transformo de la klimata ŝanĝoefiko de tiuj agadoj.

La karbonpiedsigno apartenas al la familio de malsamaj piedspurindikiloj kaj konsistigas signifan parton de la ekologia spuro. La karbonpiedsigno montras kiom multe da forceja gaso estas nerekte kaj rekte liberigita en la aeron kiel rezulto de la agadoj de firmao, la vivstilo de persono aŭ la vivociklo de produktaĵo. Ĉiuj forcejgasaj emisioj devas esti konvertitaj al tunoj da karbondioksidekvivalento (t CO_{2e}), kio ankaŭ estas la mezurunuo por la karbonpiedsigno. Ju pli granda estas la karbonsigno, des pli granda la efiko al klimata ŝanĝo. La tiel nomata karbonpiedsigno de produktaĵoj povas esti kalkulita surbaze de vivociklo-analizo.[9] La vivociklo de produktaĵo estas la etapo de la minado/produktado/kultivado kaj preparado de la necesa krudaĵo, tra la produktado de la produktaĵo, ĝis la uzo de la produktaĵo kaj la utiligo aŭ traktado de la rubo kreita post uzo. Kaze de procezo aŭ servo, la mediaj efikoj de materiala kaj energiuzo, same kiel la procezo mem, estas ekzamenitaj.[1, 8]

La mondvarmiĝo spertita sur la Tero kaj la akompananta klimatŝanĝo estas la tn. sekvo de forceja efiko. La forceja efiko influas la varmoretenon de planedoj, kies atmosferoj transdonas la lumon de sia stelo (enen), sed ne parton de sia propra temperatura radiado (eksteren). Tial parto de la varmo el la surfaco de la planedo ne rekte revenas al la spaco, sed estas implikita en diversaj fizikaj kaj meteologiaj procezoj. Tiuj pliigas la temperaturon de la surfaco kaj la pli malaltan atmosferon. (Simila sed ne sama procezo tenas varmegajn forcejojn, el kio la fenomeno ricevas sian nomon.) Gasoj, kiuj sorbas la temperaturradiadon de la planedo, estas nomataj forcej-efikaj gasoj. Naturaj forcej-efikaj gasoj en la tera atmosfero kaj ilia partoprenprocento en la forceja efiko [2]:

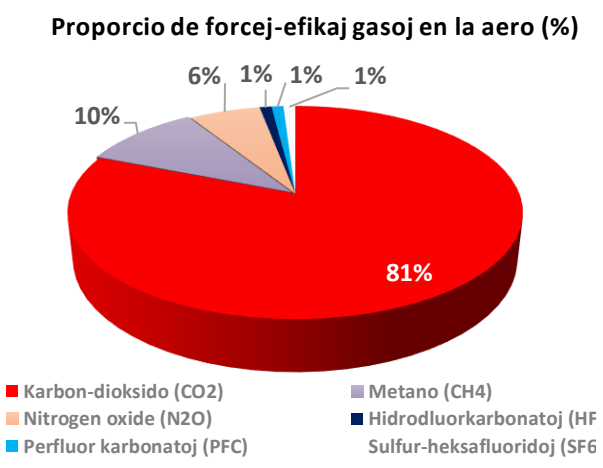
akvovaporo	36–70%
karbondioksido	9–26%
metano	4–9%
ozono	3–7%

Laŭ datumoj de 2012, la kvanto de forcej-efikaj gasoj liberigitaj en la atmosferon fare de Aŭstralio, Eŭropo, Britio kaj Usono de Ameriko estis kiel montrita en Figuro 1 [5].

La karbonpiedsigno de la tekstilindustrio

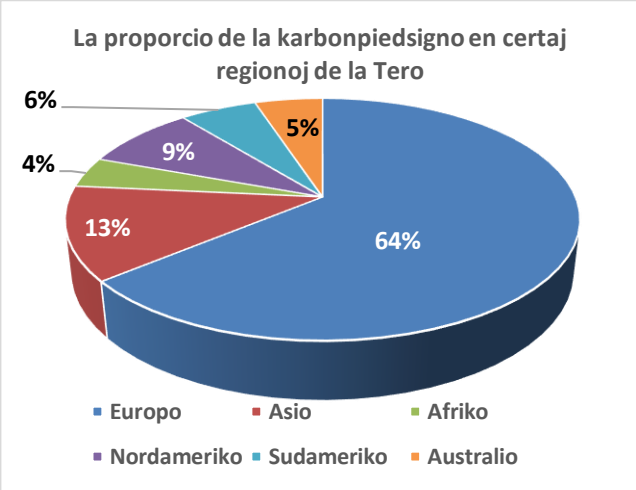
Videblas, ke karbondioksido estas la plej abunda malpurigaĵo en ambaŭ datumaj aroj, do indas rigardi ĝian originon el la perspektivo de la tekstila kaj vesta industrio. (Oni devas rimarki, tamen, ke la karbon-piedsigno de la „tekstila industrio" kaj „vesta industrio" kovras la tutan valorĉenon, de la kultivado/fabrikado de fibraj materialoj, tra la tuta prilaborado kaj transformoĉeno, inkluzive de ŝtof-produktado, tranĉado kaj kudrado, al distribuo, fina uzo kaj eĉ forigo de ruboj.)

La karbonpiedsigno estas la totala ellaso de forcej-efikaj gasoj por produktaĵo. En la tekstilindustrio, CO_2-emisioj estas aplikataj al 1 kg da tekstilproduktaĵo kaj esprimitaj en gramoj (aŭ kilogramoj). Dum la tuta vivociklo de tekstilproduktaĵo, ĉirkaŭ 50% de CO_2-emisioj estas kaŭzitaj de la valorĉeno (produktado de fibroj, fabrikado de la produktaĵo, komerco, transporto), kaj 50% de ĉiutaga uzo. (Tamen, ekzistas grandaj regionaj diferencoj en tio pro la metodo de produktado, sed tiuj estas ĉefe pro la havebleco kaj elekto de la energifonto.) [5]



Figuro 1

*) Ĉi tiu teksto estas traduko de la artikolo *A textilipar hozzájárulása a szénlábnyom alakulásához*. La originalo estas publikigita en la fakrevuo *Magyar Textiltechnika*, numero 2021/3, – legu ĉi tie: http://www.lazarky.hu/08pub/63_Szenlabnyom.pdf



Figuro 2

La produktado de unu tuno da tekstilproduktaĵoj rezultigas la ellason de proksimume 15–35 tunoj da CO_2-ekvivalenta forcej-efika gaso. En 2017, la produktado kaj manipulado de vestaĵoj, piedvestoj kaj hejmaj teksaĵoj konsumitaj en la 28-membra Eŭropa Unio rezultigis 654 kg da CO_2-ekvivalentaj ellasoj por persono.[3]

La tekstilindustrio de la mondo eligas 1,22–2,93 miliardojn da tunoj da karbondioksido en la atmosferon ĉiujare. Tio rezultigas kelkajn taksojn ke la vivociklo de tekstilaĵoj (inkluzive de lavado) respondecas pri 6,7% de ĉiuj tutmondaj forcejgasaj emisioj.[4]

La problemo plimalboniĝos, ĉar kaj tekstila produktado kaj konsumo de tekstilaĵoj forte kreskas. Ekde 1975, la tutmonda produktado de tekstilfibroj preskaŭ triobliĝis: 107 milionoj da tunoj estis produktitaj en 2018, kaj tiu nombro estas antaŭvidita atingi 145 milionojn da tunoj ĝis 2030.[4]

La rapida kresko de la konsumo de vestaĵoj – kaj tiel la kresko de ellasoj de forcej-efikaj gasoj – ankaŭ estas kontribuata de la fakto, ke, kiel rezulto de la rapida modo tendenco, grava parto de la konsumanta publiko ŝanĝas sian vestaron tre ofte, kelkaj markoj nun liberigas ĝis 24 kolektoj en 12 monatoj *(fast fashion – rapida modo)*, kaj vestaĵoj ofte estas venditaj tre malmultekoste. Ĉi tio kaŭzas grandegan konsumon. Neuzataj pecoj, ofte aĉetataj tre malmultekoste, estas simple forĵetitaj kaj – krom se ili estas reciklitaj – finiĝas en la forbruligilo aŭ rubodeponejo, kontribuante al media poluado kaj pliigante la karbonsignon.[4]

La tekstilindustrio (kiu ĉi tie inkluzivas ankaŭ la vestaĵindustrion) – *kun emfazo sur la tuta vivociklo de tekstilaĵoj, de fibroproduktado/kultivado ĝis la fina forigo de rubo!* – estas konsiderata unu el la plej grandaj produktantoj de forcej-gasoj en la mondo. La tekstila kaj aluminia industrioj estas kalkulitaj kiel la plej grandaj forcej-efikaj gaselsendantoj po unuo de materialo. Laŭ la Usona Energio-Informadministracio (US Energy Information Administration), la tekstilindustrio estas la kvina plej granda elsendilo de CO_2 post primara metalprilaborado, nemetala minerala prilaborado, benzinproduktado kaj kemiaĵoj.[5, 7]

Tamen, oni ne povas ignori, ke la karbonsigno de tekstilaĵoj povas multe varii de regiono al regiono, kaj eĉ de lando al lando, depende de la energifontoj kaj la proporcioj uzataj de energioj en la malsamaj stadioj de fibrokreskado/produktado kaj tekstilaĵproduktado. Por doni nur unu ekzemplon, la ĉefaj energifontoj en Eŭropo estas petrolo kaj gaso, en Ĉinio karbo. La CO_2-emisioj de petrolhejtado estas nur ĉirkaŭ 50% de tiuj de bruligado de karbo. En Ĉinio, ĉirkaŭ 80% de la produktata elektro estas produktata en perkarbaj termikaj centraloj, do la karbonsigno de tekstilaĵoj faritaj en Ĉinio estas 40% pli alta ol en Eŭropo. Figuro 2 montras la karbon-piedspurproporciojn por malsamaj regionoj [5].

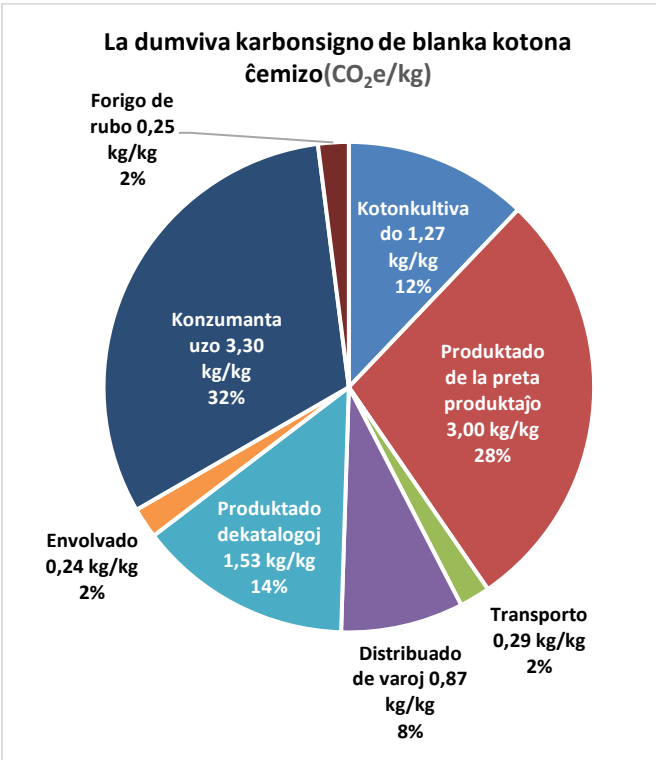
Karbonpiedsigno de la produktado de tekstilaj produktoj

La kultivado de naturaj fibroj, kun ĉiuj ĝiaj rilataj operacioj, kontribuas signife al la karbona piedsigno [5]. Ekzemple, en konvencia kotonproduktado, la plej granda kontribuanto estas la efiko de sintezaj insekticidoj: la produktado kaj uzo de 1 tuno da nitrogenbazitaj insekticidoj kontribuas 7 tunojn da CO_2-ekvivalenta al la karbonpiedsigno. De tio, karbondioksido mem respondecas pri 53%, kun nitrogena dioksido kontribuanta 45% kaj metano 2%. Organika kotono, pro la pli malalta energiintenso de sia kultivado, havas multe pli bonan rezulton, okupante nur 43% de la karbonsigno de konvencia kultivado.

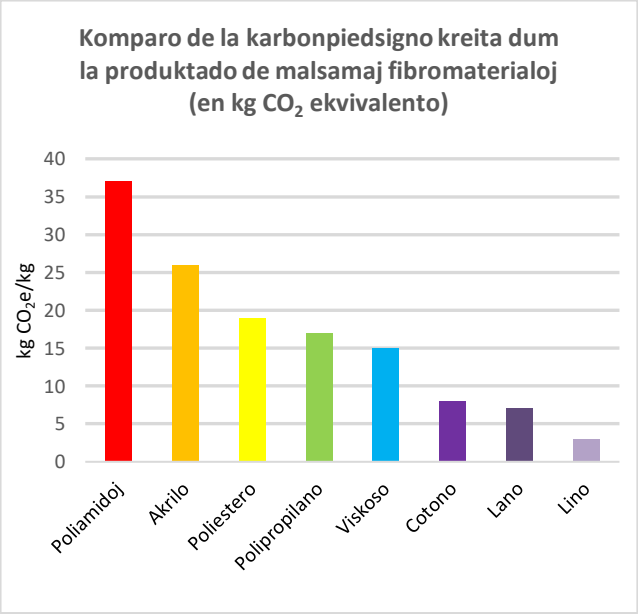
Dum la vivociklo de kotontekstilaĵoj, ĉirkaŭ 50% de CO_2-emisioj estas generitaj dum fibroproduktado, produktaĵfabrikado, komerco kaj transporto, kun la restanta 50% kaŭzita de ĉiutaga uzo.

Tinkturado kaj finado estas gravaj procezoj en kotontekstilaĵoj, rezultigante signifajn karbondioksidajn emisiojn. CO_2-emisioj estas kaŭzitaj rekte de energi-konsumantoj kaj nerekte de konsumeblaj kiel ekzemple lubrikaĵoj kaj kemiaĵoj. La distribuado de CO_2-emisioj en la plene kontinua tekstila produktadprocezo de kotonaj tekstilaĵoj montras, ke ĉirkaŭ 40% de CO_2-emisioj venas de lavado kaj vaporado, 50% de sekigado kaj 10% de la uzo de kemiaĵoj. En la finprocezo de trikaoj, la hejtado de akvo respondecas pri la plej granda parto de emisioj, t.e. 60%.

Estis kalkulite ke por longmanika blanka kotona ĉemizo, la malsamaj procezoj dum sia vivdaŭro reprezentas la karbonpiedspurajn valorojn kaj rilatumojn



Figuro 3



Figuro 4

montritajn en Figuro 3 [5]. Rimarkindaj estas la signifaj proporcioj de produktaĵfabrikado kaj konsumanto (respektive 28 kaj 32%).

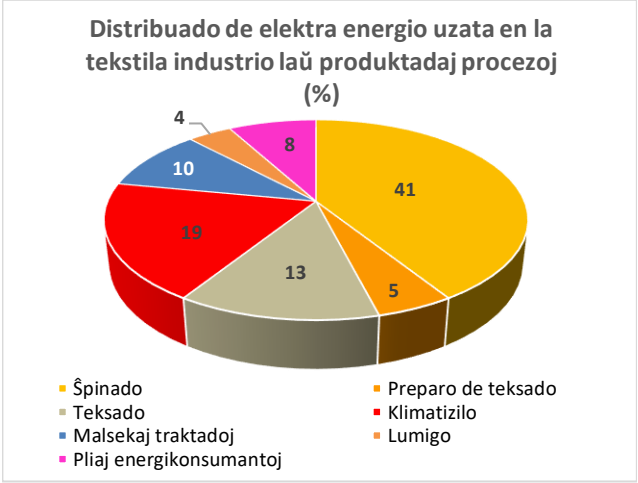
En la kazo de lanaj tekstilaĵoj, la produktado de 1 kg da fibro de ŝafbredado ĝis kardita ŝnuro generas 2,2 kg da CO_2, duono de kiu estas produktita en la bieno [5].

En la kazo de lanaj tekstilaĵoj, la produktado de 1 kg da fibro de ŝafbredado ĝis kardita ŝnuro generas 2,2 kg da CO_2, duono de kiu estas produktita en la bieno [5].

Koncerne juto, metanformacio estas grava faktoro en la esplorprocezo, kiu estas unu el la komponentoj de la karbonpiedsigno.

Por sintezaj fibroj, la plej grava faktoro rilata al la karbonpiedsigno estas ke la fibroj estas produktitaj el fosiliaj fueloj. La eltiro de nafto el la grundo kaj la produktado de sintezaj polimeroj postulas grandan kvanton da energio, tial ili elsendas multe pli da CO_2 ol naturaj fibroj.

La produktado de akrilaj fibroj postulas 30% pli da energio ol poliestero, kaj en la kazo de poliamido, ĉi tiu proporcio estas eĉ pli alta. En la kazo de sintezaj fibroj gravas ne nur la kvanto de forcej-efikaj gasoj, sed ankaŭ la speco de forcej-efikaj gasoj produktitaj. Ekzemple, poliamido elsendas N_2O, kiu estas 300 fojojn pli malutila ol CO_2, kaj pro sia longa vivo, ĝi povas atingi kaj redukti la stratosferan ozonan tavolon. Sintezaj fibroj ankaŭ ne degradas, kaj en rubodeponejoj ili enkondukas pezmetalojn kaj aliajn aldonaĵojn en la grundon kaj subteran akvon. Reciklado postulas multekostan ordigon, kaj forbruligo produktas malpurigaĵojn. La komparo de la fabrikado de karbonpiedsigno de malsamaj fibraj materialoj (en kg CO_2-ekvivalento) montras la bildon laŭ Figuro 4 [5].



Figuro 5

La karbonpiedsigno de la diversaj tekstilaj produktadprocezoj

La ĉefa fonto de energio en tekstilproduktado estas elektro. Laŭ datumoj de 2008, la monda tekstilindustrio uzis proksimume 1074 miliardojn da kWh da elektra energio (ekvivalenta al 132 milionoj da tunoj da karbo) kaj 9 triilionojn (9×10^{18}) litroj da akvo, la resto estis uzata per tekstilpurigado. [5]

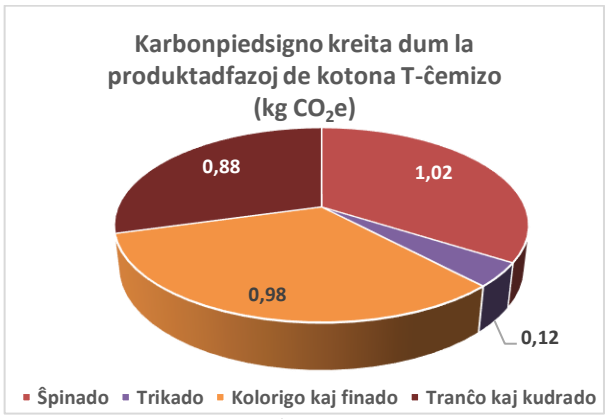
La distribuo de elektra nergio uzata en la tekstilindustrio laŭ produktadprocezoj videblas en la figuro 5. Rimarkindas la relative alta elektra konsumo de ŝpinado, sed ni rimarkas, ke ene de ŝpinado, ringa ŝpinado reprezentas 37% kaj turbina ŝpinado 20%. [5].

La energifontoj kaj karbondioksidemisioj de la tekstilaj tinkturfarba kaj finfaradaj procezoj por kotono kaj koton-specaj ŝtofoj estas resumitaj en Tabelo I [5]

Tabelo I

Operacio	Uzata energio	CO_2 emisio
Brulatigo	Gaso	Malalta
Lavado/hejtado	Vaporo	Tre multa
Vaporumo	Vaporo	Modera
Sekigo	Gaso/karbo, vaporo	Tre multa
Transporto de ŝtofo	Elektreco	Malalta
Klimatizilo	Elektreco	Malalta
Kemiaĵoj		Malalta

Figuro 6 ilustras la valorojn de karbonpiedspuro generitaj dum la produktado de kotona T-ĉemizo per produktadfazo [5].



Figuro 6

Kion ni povas fari?

Redukti la karbonpiedsignon kaj tiel la akcelon de mondvarmiĝo estas de ĉefa graveco en terminoj de konservado de la loĝebla stato de la Tero. Ĉar la tekstilindustrio estas unu el la ekonomiaj procezoj, kiuj signife kontribuas al la kresko de la karbonpiedsigno, la profesiuloj laborantaj en ĉi tiu industrio devas fari ĉion eblan por redukti ĝin kiel eble plej multe – sciante kaj konsiderante, ke la postulo pri tekstilaĵoj daŭre altiĝas en vestaĵoj kaj teknikaj kaj medicinaj tekstilaĵoj.

La pokapa konsumo de vestaĵoj pliiĝas eksponente kun la plibonigo de la vivnivelo de homoj kaj la

modokonscio. La kompleksa provizoĉeno de la tekstilindustrio rezultigas signifan kvanton de karbonpiedsigno dum produktado, distribuo kaj uzo. Tekstilaĵoj kreas karbonsignon en ĉiu etapo de sia vivociklo. De rikoltado ĝis pakado, transportado, uzo kaj forigo, ĉiu pretiga paŝo pliigas la karbonsignon de tekstilproduktaĵoj. Kun ĝia grandega produktadvolumo, la tekstilindustrio estas unu el la ĉefaj fontoj de forcej-efikaj gasoj tutmonde.

Pli kaj pli da energiefikaj procezoj estas uzataj por redukti la karbondioksidajn ellasojn de tekstilfinprocezo.

Laŭ la kalkuloj, la produktado de sintezaj fibroj estas ege energi-intensa, do por redukti la karbonpiedsignon, oni prefere donu la uzadon de naturaj fibraj materialoj, ĉar ilia karbonspuro estas pli malgranda ol tiu de sintezaj fibroj. Krome, naturaj fibromaterialoj havas aliajn avantaĝojn, kiel ekzemple biodegradebleco kaj la kapablo de la planto sekvi karbondioksidon de la atmosfero. Fabrikistoj de artefaritaj fibraj materialoj konstante klopodas por evoluigi novajn produktaĵojn, produktadajn kaj prilaborajn procedurojn, kiuj reduktas la karbonsignon de ĉi tiuj produkaĵoj, kiuj estas nemalhaveblaj malgraŭ ĉiuj iliaj malavantaĝoj.

Tekstila prilaborado, kiu postulas energion kaj akvon, multe kontribuas al karbondioksida ellaso laŭ sia karbonspuro, do la ĉefa celo de ĉiu maŝina- kaj teknologio-disvolvado estas redukti ilin kiel eble plej multe. Hodiaŭ estas konataj multaj artefaritaj kaj teknologiaj solvoj efikaj rilate mediprotekton kaj karbondioksidan emision, kiuj kontribuas al ŝparado de resursoj, kiuj povas esti uzataj por redukti pretigtempon, energion kaj akvokonsumon. La konsumo de nerenovigebla energio povas esti reduktita per antaŭvarmigo de la akvo per suna energio aŭ per varmointerŝanĝilo en la kloakdukto. Estas dezirinde, ke sunpaneloj ludu rolon en la energiprovizo de kiel eble plej multaj plantoj. Pluraj teknologiaj solvoj ebligas kloakaĵan reakiron kaj recikladon, tiel reduktante la karbondioksidan ŝarĝon de la prilaborado. Kontinuaj procezoj reduktas la nombron da tekstilaj pretigaj fazoj kaj tiel akvon kaj energikonsumon. La cifereca kontrolo de procezoj en ĉiuj stadioj de produktado povas kontribui al la ekonomia uzo de energio kaj akvo kaj tiel redukti la karbonpiedsignon.

Klopodoj por recikli kaj recikli tekstilaĵojn estas signifaj. Ĉi tio ankaŭ havas mediajn avantaĝojn. Reciklado estas efika nur se la rezulta karbonpiedsigno estas pli malgranda ol tiu de forigo. La energikonsumo de la kolekto, revendo kaj uzo de la donita produkto kaj la rilata ellaso de forcej-efikaj gasoj devas esti konsiderataj dum la taksado, kaj ĉi tio devas esti komparita kun la energibezono kaj CO_2-emisioj de la produktado de novaj produktaĵoj.

Ni atestas fortan klopodon disvastigi la tiel nomatan malrapidan modon (*slow fashion*) – la malon de rapida modo (*fast fashion*) – kiu celas redukti la kvanton da tempo elspezita por vestaj tekstilaĵoj certigante, ke konsumantoj ŝanĝu sian vestaron kiel eble plej malofte, ne forĵetu. iliaj lacaj aŭ "malmodaj" vestaĵoj post unu aŭ du uzoj, sed portu ilin dum pli longaj tempodaŭroj variigante la vestaĵojn, eble eĉ iomete ŝanĝante ilin. Efektive, tio signifas plilongigi la vivociklon de la vestaĵoj, tiel helpante redukti ilian karbonpiedsignon kaj malŝparo.

Ni menciis, ke dum la vivociklo de vestaĵo, la plej granda karbonspuro estas kaŭzita de uzo, ĉefe de lavado kaj purigado. Vestaĵoj, kiuj postulas lavadon, sekigadon kaj eblan gladon, postulas la plej grandan energion kaj energikonsumon en la uza fazo. Purigaj operacioj respondecas pri 40–80% de la totalaj vivciklaj forcejgasaj emisioj de tiaj vestaĵoj. Indas revizii kiel tio povas esti reduktita [7]:

- Mekanika sekigado estas kutime la plej granda uzanto de energio kaj eligo de forcej-efikaj gasoj.
- Vestaĵoj, kiuj postulas manlavon, verŝajne uzas multe malpli da energio dum la uza fazo.
- Sekigi kiel eble plej multe en la libera aero, ne en sekigilo.
- Vestaĵoj postulantaj sekpurigadon povas elsendi malpli da forcej-efikaj gasoj ol vestaĵoj postulantaj akvolavadon.
- En multaj kazoj oni lavas vestaĵojn pli ofte ol nepre necesas (ekz. post ĉiu uzo), kio signife pliigas ĉiujn ellasojn de forceja gaso.
- Ne gladu vestaĵojn aŭ hejmajn tekstilaĵojn krom se nepre necese.

Fontoj

[1] Karbonlábnyom. Wikipédia artikolo. https://hu.wikipedia.org/wiki/Karbonl%C3%A1bnyom

[2] Üvegházhatás. Wikipédia artikolo. https://hu.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cvegh%C3%A1zhat%C3%A1s

[3[Textiles in Europe's circular economy. https://www.eea.europa.eu/publications/textiles-in-europes-circular-economy/textiles-in-europe-s-circular-economy

[4] Changing the Fabric of Our Clothes to Cut Climate Emissions. https://therevelator.org/textiles-climate-emissions/

[5] Sohel Rana, Subramani Pichandi et al.: Carbon Footprint of Textile and Clothing Products. https://www.researchgate.net/publication/276193965_Carbon_Footprint_of_Textile_and_Clothing_Products

[6] Jin Zhang, Xiaoming Qian, Jing Feng: Review of carbon footprint assessment in textile industry. https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/EFCC-03-2020-0006/full/html

[7] Apparel Industry Life Cycle Carbon Mapping. https://www.bsr.org/reports/BSR_Apparel_Supply_Chain_Carbon_Report.pdf

[8] Életciklus-értékelés. Wikipédia artikolo. https://hu.wikipedia.org/wiki/%C3%89letciklus-%C3%A9rt%C3%A9kel%C3%A9s

[9] Bakosné dr. Böröcz Mária: Az életcikluselemzés módszerének használata és a karbonlábnyom számítás alapja. Szent István Egyetem Szaktanácsadási és Továbbképzési Központ. 2016/3 http://real.mtak.hu/34959/1/Bakosne_eletciklus_u.pdf