

Trajnostni vidik betonskih vozišč in primer uporabe analize življenjskega cikla pri gradnji betonskih/asfaltnih avtocestnih vozišč

Dr. **Aljoša Šajna**, univ.dipl.inž.grad.

Dr. **Janez Turk**, univ.dipl.inž.geol.

ZAG Zavod za gradbeništvo Slovenije

Povzetek

Pomen trajnostnega razvoja in koncept krožne ekonomije sta vse bolj prisotna na vseh področjih našega življenja. Trajnostno gradbeništvo lahko veliko prispeva k doseganju ciljev, ki si jih je v Strategiji pametne specializacije 2014-2020 kot prioritete zadala naša država. V prvem delu prispevka so prikazani trajnostni vidiki betonskih vozišč. V drugem delu smo ocenili okoljski odtis povezan s proizvodnjo surovin in materialov za izgradnjo betonske in tudi asfaltno avtocestne voziščne konstrukcije, tipičnih za slovensko AC omrežje. Za oceno okoljskih vplivov smo uporabili metodo življenjskega cikla (LCA analiza). V analizi so, kolikor je bilo to mogoče, uporabljeni dejanski vhodni parametri, ostali so privzeti iz literature ali predpostavljeni.

Summary

Sustainable development and concept of circular economy are becoming two important aspects, which directly influence our everyday life. Sustainable civil engineering may have important contribution to reach strategic priorities that are of national importance (e.g. Smart specialization 2014 – 2020). In first part of the paper, concrete pavement is discussed from point of view of sustainability in general. In second part of the paper, we aimed to estimate environmental burdens related with extraction of raw materials and materials production, used in some typical Slovene asphalt and concrete pavements. For this reason LCA was used. Data for LCA analysis were partly collected from actual construction projects and partly from the literature.

1 Uvod

Gradbena industrija in promet sta tisti dve gospodarski panogi, ki imata izredno velik vpliv na porabo neobnovljivih naravnih virov (bodisi mineralnih ali fosilnih), ter posledično tudi na veliko količino okolju škodljivih izpustov [Uherek in sodelavci 2010, Gschösser in sodelavci 2012]. Gradnja prometnic je ena od pomembnih panog gradbene industrije. Uporaba ustreznih gradbenih materialov v cesto-gradnji lahko v veliki meri prispeva k trajnostnemu razvoju, ki je eden glavnih strateških ciljev Slovenije in praktično vseh razvitih držav. Dilemi, ki se odpirata pri gradnji cest je, kako graditi čim bolj okolju prijazne in trajnostne ceste [Weiland in Muench 2010, Gutowski in Ochsendorf 2010]. Delno rešitev predstavljajo alternativne in reciklirane surovine, s katerimi zmanjšamo porabo naravnih virov in izboljšamo trajnostni vidik cesto-gradnje [Mladenovič in sodelavci 2014].

Tu predstavljeni prispevek se v prvem delu posveča trajnosti betonske voziščne konstrukcije, ki je v Sloveniji razmeroma malo uporabljena. Na kratko povzemamo izkušnje z betonskimi vozišči v tujini, predvsem Avstriji in Švici, kjer imajo z njihovo široko uporabo najbolj bogate izkušnje. Njihove izkušnje kažejo na določene prednosti betonskih vozišč nasproti asfaltnim voziščem.

V drugem delu prispevka smo vidik varstva okolja poskusili ovrednotiti z neodvisno metodo analiza življenjskega cikla (LCA), pri čemer smo naredili preliminarno primerjavo betonskega in asfaltnega avtocestnega vozišča (na preteklem slovenskem primeru). Primerjava se nanaša le na uporabo surovin in pripravo materialov potrebnih za izgradnjo enega ali drugega tipa vozišča. Da bi celostno ovrednotili okoljske vplive enega in drugega tipa vozišča, bi morali raziskavo razširiti vsaj še na izgradnjo, vzdrževanje in reciklažo, po možnosti pa tudi na uporabo ceste. Vse to ostaja izziv za prihodnje delo, zato so tu predstavljeni rezultati okrnjene LCA analize zgolj informativnega značaja in predstavljajo osnovo za nadaljnje delo.

2 Trajnostni vidik betonskih vozišč

V skladu z definicijo OZN [OZN 2005] trajnostni razvoj temelji na treh "soodvisnih

in medsebojno podpirajočih stebrih", gospodarskem razvoju, družbenem razvoju in varstvu okolja. Tu podajamo nekatere vidike trajnosti betonskih vozišč, kot so navedene v literaturi.

Betonske ceste moderne generacije, izvedeno po postopku izpostavljenih zrn agregatov, ponujajo optimalno rešitev predvsem z vidika visoke nosilnosti in odpornosti proti preoblikovanju (ne prihaja do nastanka kolesnic) [Steigenberger 2013]. Vzdrževanje betonskih cestišč je redkejše in manj obsežno, kar ima za posledico manj zastojev zaradi gradbišč. V urbanem okolju se betonska vozišča gradijo predvsem na avtobusnih postajališčih, pasovih za avtobusni promet in križiščih. Realna pričakovana življenjska doba pravilno dimenzioniranih in skladno z modernimi smernicami zgrajenih betonskih vozišč znaša 40 let [Gschösser in Wallbaum 2013, Steigenberger 2013].

Površina betonskega vozišča izvedena po postopku izpostavljenih zrn agregata predstavlja standarden način izvedbe, ki se je uveljavil tudi na betonskih voziščih v urbanem okolju. Tak način izvedbe zagotavlja manjšo hrupnost in boljši odpor proti drsenju. Zadnje raziskave (Forschungsauftrag des BMVIT [Haberl 2005]) potrjujejo dobro dolgoročno obnašanje in sicer trajno zmanjšanje hrupnosti tovrstnih površin. Površine z izpostavljenimi zrni zrnivosti pod 8 mm tudi po 10 letni prometni obremenitvi izkazujejo praktično enake učinke zmanjšanje hrupa, v posameznih primerih pa se je hrupnost s časom celo zmanjšala [Haider 2009].

V Avstriji na primer, je uporaba betonskih vozišč v križiščih in krožiščih v porasti, predvsem zaradi že omenjene visoke nosilnosti betonskega vozišča in njegove odpornosti proti preoblikovanju. Izvedba v betonu je uspešna, če je kakovostno načrtovana (debelina vozišča pravilno dimenzionirana). Iz istega razloga, se pri reševanju problema con stoječega prometa (križišča, avtobusna postajališča) vse pogosteje uporablja t.i. »White Topping« tehnologija [Riffel 2013]. S to inovativno tehniko uspešno preprečimo tvorbo kolesnic. Najprej odrezkamo asfaltno podlago v debelini 10 cm, nato skrbno očistimo površino. Odstranjen asfalt nadomestimo z visokokakovostnim betonskim slojem, tako da nastane dobra povezava med obstoječim asfaltom in dodanim betonom. Takšna rešitev izrablja nosilnost ohranjene nosilne asfaltno podlage,

tanjši obrabni sloj betona pa preprečuje nastanek novih kolesnic.

Izkušnje iz Švice, Belgije in Avstrije so pokazale, da je tudi na manj obremenjenih cestah in poteh ruralnega okolja smiselno, ekonomično in ne nazadnje trajnostno graditi betonska vozišča. Kot glavna razloga se navajata zelo nizki stroški vzdrževanja in dolga življenjska doba. Ta vozišča, ki so bila zgrajena z drsnimi opaznimi finišeji ali s predelanimi asfaltnimi finišeji, so izpolnila vsa tehnična in druga pričakovanja [Hersel, spletni vir].

Pričakovati je, da bodo zaradi gospodarnosti betonska vozišča v prihodnosti še pridobivala na pomenu. Betonska vozišča vse bolj izstopajo predvsem zaradi svojih trajnostnih lastnosti kot so po eni strani manjši stroški v celotni življenjski dobi, reciklabilnost, manjša poraba goriv avtomobilov in predvsem tovarnjakov (poraba se zmanjša za 1 do 6 %), s tem se manjšajo tudi emisije škodljivih delcev. Vzdrževalni intervali betonskih vozišč so daljši, v Švici na primer znašajo okoli 40 let ali celo več. Daljši vzdrževalni intervali pomenijo manj zastojev zaradi vzdrževalnih in obnovitvenih del. Vzdrževalna dela in prometni zastoji imajo pomemben vpliv na škodljive emisije [EUPAVE 2012, Gschösser in Wallbaum 2013].

Poročajo tudi o drugih prednostih betonskih vozišč, kot so visoka odpornost proti drsenju, svetlost površine in s tem večja prometna varnost, varnost v primeru požara (na primer v predorih), manjše emisije hrupa, udobje vožnje, nižji stroški vzdrževanja avtomobilov. Ker so betonska vozišča bolj svetla kot asfaltna, je za cestno razsvetljavo v urbanih predelih potrebnih manj luči, s čimer prihranimo na električni energiji za svetlobno infrastrukturo [EUPAVE 2012, Gschösser in Wallbaum 2013].

V Avstriji izbor materiala za voziščno konstrukcijo poteka na osnovi makroekonomskih kriterijev ob upoštevanju življenjske dobe, razpoložljivosti in potrebnih vzdrževalnih posegov [Breyer 2004, Breyer in sodelavci 2009]. Kriteriji in orodja za izbor so določeni s smernico Analiza gospodarnosti zgornje voziščne konstrukcije RVS 03.08.71 (Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Oberbaukonstruktionen im Strassenbau). Smernice določajo, da je pri izbiri voziščne konstrukcije potrebno upoštevati tudi ekonomske, okoljske in socialne vidike.

3 LCA analiza

LCA analiza je bila razvita z namenom, da bi okoljske vplive preučevanega izdelka in tehnoloških postopkov preučevali skozi različne stopnje njegovega obstoja, v idealnem primeru skozi celoten življenjski cikel. Ta se začne s pridobivanjem vhodnih surovin, sledijo njihova uporaba in uporaba energentov med proizvodnjo končnega izdelka, porabo energentov/surovin med njegovo vgradnjo, vzdrževanjem in razgradnjo in konča z ovrednotenjem reciklaže oz. vplivov odlaganja ali sežiga odpadnega materiala po razgradnji [Guinée in sodelavci 2002].

Ker je pridobivanje vseh potrebnih podatkov za analizo celotnega življenjskega kroga zahteven postopek, so v uporabi pogosto nekoliko okrnjene analize. Te se običajno omejujejo le na proizvodnjo nekega izdelka (upoštevajoč pridobivanje in uporabo vhodnih surovin). V takšnem primeru ostajajo določene stvari nedorečene, torej tiste povezane z vgradnjo, uporabo, vzdrževanjem, razgradnjo in končnim ravnanjem z razgrajenim materialom.

Namen LCA analize predstavljene v tem prispevku je ovrednotiti vpliv tipičnega betonskega in asfaltnega vozišča na okolje v različnih vplivnih kategorijah in s tem prikazati prednosti in slabosti (z okoljskega vidika) ter možnosti izboljšave. V analizi smo, kolikor je bilo to mogoče, uporabili dejanske vhodne parametre, ostali so privzeti iz literature ali predpostavljani.

V LCA modelu smo se osredotočili le na pridobivanje vseh osnovnih surovin in proizvodnjo asfaltnih zmesi ter betonskih mešanic, ki jih uporabimo za izdelavo asfaltnega in betonskega vozišča. Upoštevali smo prevoze surovin do asfaltna baze oz. betonarne na območju Ljubljane, ter v končni fazi prevoz zmesi oziroma mešanic na gradbišče avtoceste.

Funkcionalna enota je v omenjeni študiji je proizvodnja zmesi in mešanic potrebnih za izgradnjo enega pasu avtoceste v dolžini 1 km. Pas je širok 3,75 m. Vsi LCA izračuni so bili narejeni z uporabo programa GaBi.

Za asfaltno vozišče smo predvideli tri asfaltna sloje, položene nad nevezano nosilno plastjo. Tej sledijo:

- ▶ spodnja vezana nosilna plast v debelini 10 cm (AC 32 base, B 50/70, A2)
- ▶ zgornja vezana nosilna plast v debelini 8cm (OmB 45/80-65, A2)
- ▶ obrabna plast v debelini 4 cm (Pmb 45/80-65, A2)

Vhodne surovine potrebne za proizvodnjo asfaltnih zmesi za tri omenjene plasti asfaltno voziščne konstrukcije so navedene v Tabeli 1.

V primeru betonskega vozišča, nevezani nosilni plasti sledijo

- ▶ spodnja vezana nosilna plast v debelini 5cm (AC 32 base, B 50/70, A2)
- ▶ prvi sloj cementnega betona v debelini 22 cm.

- ▶ obrabni sloj cementnega betona v debelini 6 cm

Vhodne surovine potrebne za proizvodnjo treh omenjenih plasti betonske voziščne konstrukcije so navedene v Tabeli 1. Kot je razvidno sta dve plasti betonski (vezivo je cement), spodnja vezana nosilna plast pa je asfaltna (vezivo je bitumen). Betonsko vozišče zahteva še dodaten gradbeni element – jeklene moznike (ϕ 50 mm, dolžina 500 mm).

V obeh obravnavanih voziščih je debelina in sestava nevezane nosilne plasti enaka. Zato pridobivanja naravnega agregata potrebnega za polaganje te plasti nismo vključili v LCA analizo.

Tabela 1: Vhodne surovine za proizvodnjo kubičnega metra asfaltnih zmesi in betonskih mešanic

	9 cm AC 32 base, B 50/70, A2	8 cm AC 32 bin, OmB 45/80-65, A2	3 cm SMA 11, PmB 45/80-65, A2	5 cm AC base	22 cm BV 32 - karbonatni beton	6 cm BV 11 - silikatni beton
Agregat (kg)						
0/2			298,9**			469**
0/4	785,9*	738*		785,9*	717**	
2/4			160,9***			
4/8	231,1*	379,4*	1586,5***	231,1*	108**	768***
8/11						576***
8/16	485,3*	597,8*		485,3*	321**	
16/22		505,8*				
16/32	762,7*			762,7*	502**	
Gradbena mivka (0,063 – 1 mm) (kg)					140	86
Kamena moka (kg)	46,2	75,87	252,9	46,2		
Bitumen (kg)	88,8	100,8	100,8	88,8		
Voda (L)					171	165
Cement CEM I 42,5(kg)					380	400

* Prevoz iz kamnoloma Laže

** Prevoz iz kamnoloma Verd

*** Prevoz iz kamnoloma Kraljev vrh (Hrvaška), ko je bil ta še v obratovanju

3.1 Inventar življenjskega cikla

V inventarju življenjskega cikla je potrebno definirati vse snovne in energetske vnose v sistem, ter vse izpuste iz sistema [Guinée in sodelavci 2002]. V omenjen študiji gre za uporabo vhodnih surovin in energetskih virov, ki so potrebni za pripravo asfaltnih zmesi in betonskih mešanic za oba obravnavana tipa vozišča.

Količine surovin so navedene v Tabeli 1. Surovine so agregati različnih frakcij in tudi različne sestave (karbonatni, silikatni), za vezivo se uporablja bitumen (asfaltno vozišče) ali kombinacija cementa in bitumna (betonsko vozišče).

Za vsak tehnološki postopek moramo ugotoviti količino porabljene energije in kateri izpusti se sproščajo v okolje, ter jih količinsko ovrednotiti. Porabo energije in izpuste v okolje med pridobivanjem naravnega agregata, kamene moke, bitumna in cementa smo

ovrednotili s pomočjo podatkov v programu GaBi. Enako velja za proizvodnjo elektrike, dizelskega goriva in zemeljskega plina.

Pri agregatu smo uporabili določene poenostavitve. Predvideli smo, da so energetske potrebe in izpusti za pridobivanje silikatnega agregata (v kamnolomu diabaza) enaki kot za pridobivanje karbonatnega agregata (v kamnolomu apnenca). Za potrebe LCA analize smo ločili le agregat v velikosti peska (0/2 mm) in debeložrnati agregat (frakcije v debelini od 4 mm do 32 mm). Omenjene poenostavitve naj ne bi imele pomembnega vpliva na končni rezultat LCA analize.

Za prevoze vseh surovin v asfaltno bazo oziroma v betonarno in naprej na mesto vgradnje smo predvideli tovornjake (oziroma hruške in cisterne) z nosilnostjo 27 ton. Ti tovornjaki porabijo okoli 35 litrov dizelskega goriva na sto kilometrov razdalje. Upoštevali smo dve smeri transporta, tovornjaki v eno smer vozijo prazni, v drugo polno naloženi. Za prevoz asfaltne zmesi oziroma betonske mešanice do mesta vgradnje, smo predvideli krajšo razdaljo, v dolžini 20 km (v dve smeri 40 km).

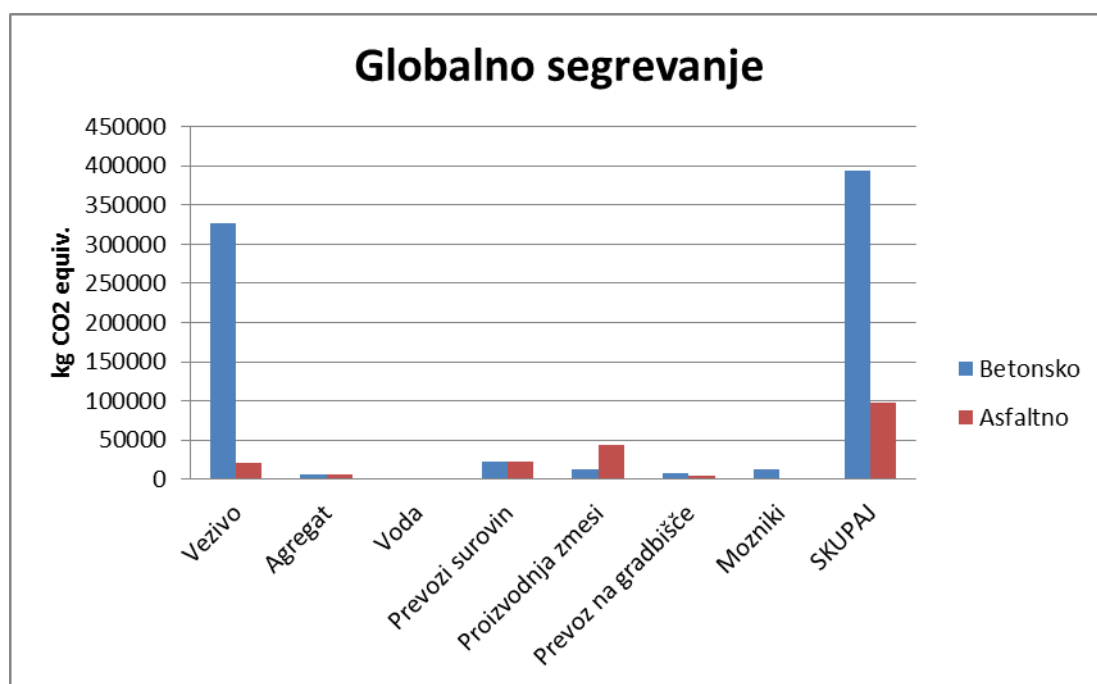
Podatke o porabi energentov v asfaltni bazi smo povzeli po literaturi [Mladenovič in sodelavci 2014], enako velja za podatke o porabi energentov v betonarni [Turk in sodelavci 2014]. Pri tem je treba poudariti, da različni viri navajajo različne količine o porabi energije na obratih za proizvodnjo asfalta (ali

obratih za proizvodnjo betona), vendar podatki ne odstopajo za več kot 25 %. Poraba energentov vpliva na izpuste v okolje. Neposredni izpusti so le iz asfaltne baze, zaradi izgorevanja zemeljskega plina in/ali dizelskega goriva. V betonarni smo predvideli zgolj porabo elektrike, zato so tu vsi izpusti v okolje posredni (vrednotimo jih v elektrarnah, kjer proizvajajo el. energijo).

Betonsko vozišče ima v primerjavi z asfaltnim še dodaten gradbeni material – jeklene moznike. Predvideli smo uporabo 12-ih moznikov (debelina 50 mm, dolžina 500 mm) na vsakih 4 m dolžine avtoceste. Torej za odsek avtoceste v dolžini 1 km potrebujemo 3000 moznikov (v skupni teži 10.200 kg). Podatek o njihovi proizvodnji smo črpali iz GaBi-jeve baze podatkov (armaturno železo), s čimer smo ovrednotili energetske potrebe in spremljajoče izpuste povezane z njihovo proizvodnjo v železarni/jeklarni. Nadalje smo upoštevali še premaz moznikov z epoksi smolo. S približnim izračunom smo predvideli porabo 75 litrov epoksi smole.

3.2 Rezultati in diskusija

Preučevali smo vpliv na globalno segrevanje ozračja (neposredno povezano z izpusti CO₂ in drugih toplogrednih plinov), vpliv na zakisovanje, evtrofikacijo, krčenje ozonske luknje, nastanek fotokemičnega smoga, izrabo fosilnih goriv in porabo energije (Tabela 2).



Slika 1: Doprinos posameznih procesov k globalnemu segrevanju ozračja

Proizvodnja materialov za asfaltno vozišče kaže izrazito manjši okoljski vpliv za vse preučevane okoljske kazalce, izjema je vpliv na izrabo fosilnih goriv, ter celokupna poraba energije. V nadaljevanju smo se osredotočili na razlago vpliva na globalno segrevanje ozračja (t.i. ogljični odtis).

Znano je, da je industrija cementa na splošno eden glavnih virov toplogrednih izpustov. Proizvodnja portlandskega cementa je okoljsko veliko bolj problematična kot proizvodnja bitumna, razlika znaša skoraj mnogokratnik tri (pri enaki količino proizvedenega cementa in bitumna). Upoštevati je treba tudi, da v betonskih plasteh rabimo veliko večje količine veziva (predvsem cementa, v manjši meri bitumna) kot v asfaltnih plasteh (vezivo je tu zgolj bitumen) (Tabela 1). Zaradi teh dejstev je uporaba cementa (kot surovine za betonsko vozišče), odgovorna za večino toplogrednih (in drugih) izpustov v tu obravnavani LCA analizi (Slika 1). Poudariti je treba, da so bili izračuni narejeni za uporabo cementa 42,5 CEM I (po dejanskem projektu), z uporabo cementa CEM II ali CEM III, bi se ogljični odtis betonskega vozišča močno zmanjšal [glej Gschösser in sodelavci 2012, Gschösser in Wallbaum 2013].

Značilna razlika je tudi pri proizvodnji zahtevanih zmesi oziroma mešanic, ki pa nima izrazitejšega vpliva na končni rezultat. Betonsko vozišče zahteva večjo količino betonskih mešanic (2604 m³) in asfaltnih zmesi (450 m³), kot asfaltno vozišče (1980 m³ zmesi). Debelina betonske voziščne konstrukcije je namreč večja od debeline primerljive asfaltna. To v praksi pomeni, da moramo za betonsko vozišče pripraviti 1,5 krat večjo količino zmesi/mešanic, kot za asfaltno vozišče. Po drugi strani so energetske potrebe za proizvodnjo kubičnega metra asfaltna zmesi v asfaltni bazi večje kot za proizvodnjo kubičnega metra betonske mešanice v betonarni. V asfaltni bazi se poleg elektrike v večji količini uporabljajo še fosilna goriva (zemeljski plin in/ali dizelsko gorivo), njihovo izgorevanje pa je neposredno povezano s toplogrednimi plini.

Iz omenjenih razlogov so izpusti med proizvodnjo 1980 m³ asfaltnih zmesi (za asfaltno vozišče) večji, kot izpusti med proizvodnjo 2604 m³ betonskih mešanic in 450 m³ asfaltnih zmesi (za betonsko vozišče) (Slika 1).

Oba scenarija se torej razlikujeta v količini uporabljenih mineralnih surovin. Te razlike pridejo do izraza pri procesih vezanih na pridobivanje surovin in njihovem transportu do asfaltna baze/betonarne, ter seveda samem transportu pripravljenih zmesi/mešanic na avtocestno gradbišče. Pri vseh teh procesih, je scenarij asfaltnega vozišča v prednosti, saj so količine surovin in končnih zmesi manjše. Kar v praksi pomeni manj tovornjakov za prevoz.

Kljub vem opisanim dejstvom, je uporaba veziva tista, ki ima močno prevladujoč vpliv na končni rezultat. Izpusti toplogrednih plinov povezani s proizvodnjo cementa CEM I, ki je kot vezivo v uporabi za tipično slovensko betonsko vozišče, predstavljajo kar okoli 80 % vseh toplogrednih izpustov v omenjenem scenariju (Slika 1). Nasprotno izpusti povezani s proizvodnjo bitumenskega veziva za asfaltno vozišče predstavljajo le okoli 20 % vseh izpustov v tem drugem scenariju.

Proizvodnja materialov za betonsko vozišče je v prednosti le glede manjše porabe energije, to se pravi fosilnih goriv (Tabela 2), na kar vplivata predvsem dve dejstvi. Betonski scenarij zahteva le 18.900 kg bitumna, asfaltni pa skoraj štirikrat več, 71.550 kg. V skladu s standardom ISO 14044, se bitumen zaradi sestave obravnava kot »neobnovljivi fosilni vir«. Čeprav ne gre v izgorevanje, temveč se uporabi kot vezivo, se v LCA analizah tudi takšna uporaba smatra kot izraba fosilnih goriv [Gschösser in sodelavci 2014, Aurangzeb in sodelavci 2014]. Glede vpliva na izrabo fosilnih goriv je nezanemarljivo tudi dejstvo, da je proizvodnja asfaltnih zmesi v asfaltni bazi energetske bolj potratna kot proizvodnja enake količine betonske mešanice v betonarni, (v asfaltni bazi se kot energent dodatno uporablja zemeljski plin - fosilno gorivo).

Tabela 2: Okoljski odtis in poraba energije med proizvodnjo zmesi/mešanic za asfaltno in betonsko vozišče. Prikazana je relativna primerjava.

Okoljski odtis	Asfaltno vozišče (%)	Betonsko vozišče (%)
Vpliv na globalno. segrevanje ozračja	100	~400
Vpliv na zakisovanje	100	~200
Vpliv na evtrofikacijo	100	~300

Okoljski odtis	Asfaltno vozišče (%)	Betonsko vozišče (%)
Vpliv na rast ozonske luknje	100	~300
Vpliv na nastanek fotokemičnega smoga	100	~170
Vpliv na izrabo fosilnih goriv	100	~70
Poraba energije	100	~80

4 Sklep

V prispevku smo prikazali nekatere prednosti betonskih vozišč, povzete predvsem iz literature. Okoljske prednosti bi bilo smiselno ovrednotiti z LCA analizo. Prikazali smo prve izsledke LCA primerjave asfaltnih in betonskih vozišč, pri čemer nismo upoštevali celotnega življenjskega cikla obeh vozišč. Prikazani rezultati so zgolj informativne narave in nam povedo katere so prednosti in slabosti enega ali drugega scenarija, vendar le z vidika uporabe surovin in energije za proizvodnji asfalta in betona. Opravljena raziskava predstavlja izhodišče za nadaljnje delo, kjer bo treba v končni fazi upoštevati celotni življenjski cikel obeh vozišč in vsa znana dejstva. Rezultati iz tujine kažejo, da upoštevanje faze uporabe in vzdrževanja vozišča lahko močno izboljša sliko okoljskega odtisa betonskega vozišča, na primerljivo raven z asfaltnim [Gschösser in Wallbaum 2013, Xu in sodelavci 2014]. Pri izbiri vozišče konstrukcije pa je poleg okoljskega vidika potrebno upoštevati predvsem tehnične, ekonomske ter tudi socialne vidike.

Viri

- Aurangzeb Q., Al-Quadi I.L., Ozer H., Yang R. 2014: Hybrid life cycle assessment for asphalt mixtures with high RAP content. Resources, conservation and recycling 83, 77-86.
- Breyer G. 2004: Entscheidungskriterien für den Bau von Betonfahrbahndecken in Österreich, 1. Konferenz Betonfahrbahnen, Slavkov, Češka.
- Breyer G., Litzka J., Steigenberger J. 2009: Die Betonstrasse – eine nachhaltige Bauweise mit Zukunft. https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Update/update_3_09.pdf
- EUPAVE, 2012. http://www.schrettervils.co.at/fileadmin/Baustofftag/17_Baustofftag/EUPAVE_Betonstrassen.pdf
- Gschösser F., Wallbaum H., Boesch E. 2012: Hidden Ecological Potentials in the Production of Materials for Swiss Road Pavements. Journal of management in engineering 28, 13-21.
- Gschösser F., Wallbaum H., Bryan T.A. 2012: Environmental analysis of new construction and maintenance processes of road pavements in Switzerland. Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance 10/1, 1-24.
- Gschösser F., Wallbaum H. 2013: Life Cycle Assessment of Representative Swiss Road Pavements for National Roads with an Accompanying Life Cycle Cost Analysis. Environmental Science & Technology 47, 8453-8461.
- Guinée J.B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., Koning A. de, Oers L. van, Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H.A., Bruijn H. de, Duin R. van, Huijbregts M.A.J., 2002. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Gutowski T., Ochsendorf J. 2010: LCA of Highway Pavements. http://www.rmc-foundation.org/images/MIT_CSH_MTLS/Pavements-LCA-Summary-Dec2010.pdf
- Haberl J., Litzka J. 2005: Bewertung der Nahfeld-Geräuschemission österreichischer Fahrbahn-decksichten, Reihe Strassenforschung des MBVIT, Heft 554, Dunaj.
- Haider M. 2009: Forschungsvorhaben Lärntechnisches Verhalten von Waschbetonoberflächen, BMVIT Strassenforschung, Heft 583, Dunaj.
- Hersel O.: Ländlicher Wegebau mit Beton, <http://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmrkbl%C3%A4tter/S19.pdf>
- Riffel S. 2013: Whitetopping – die schnelle Hilfe gegen Spurrinnen an Asphaltstrassen, http://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Update/BETO_update_2_13_DE_130725.pdf
- Mladenovič A., Turk J., Kovač J., Mauko A., Cotič Z. 2015: Environmental evaluation of two scenarios for the selection of materials for asphalt wearing courses. Journal of cleaner production 87, 683-691.
- OZN, 2005: World Summit Outcome Document, World Health Organization, 15 September 2005. <http://www.who.int/hiv/universalaccess2010/worldsummit.pdf>

- RVS 03.08.71, 2001: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Oberbaukonstruktionen im Strassenbau, FSV, May 2001
- Steigenberger J.2013: Concrete roads construction – experiances and perspectives, Strokovni posvet Beton in trajnostna gradnja, Betonska vozišča, ZBS.
- Turk, J., Mladenović, A., Knez F., Bras, V., Šajna, A., Čopar, A., Slanc, K., 2014:
- Tar-containing reclaimed asphalt – Environmental and cost assessments for two treatment scenarios. Journal of Cleaner Production 81, 201-210.
- Weiland C.D., Muench S.T. 2010: Life Cycle Assessment of Portland Cement Concrete Interstate Highway Rehabilitation and Replacement. WSDOT research report. <http://www.wsdot.wa.gov/Research/Reports/700/744.4.htm>
- Uherek E., Halenka T., Borken-Kleefeld J., Balkanski Y., Berntsen T., Borrego C., Gauss M., Hoor P., Juda-Rezler K., Lelieveld J., Melas D., Rypdal K., Schmid S. 2010: Transport impacts on atmosphere and climate: Land transport. Atmospheric Environment 44, 4772-4816.
- X. Xu, Dr. J. Gregory, and Dr. R. Kirchain. 2014: Impact of Use Phase in Pavement Life Cycle Assessment. [http://cshub.mit.edu/sites/default/files/documents/Research Brief-Apr2014.pdf](http://cshub.mit.edu/sites/default/files/documents/Research%20Brief-Apr2014.pdf)