ALTERNATOR
Misliti znanost.

Energetsko varčni topli asfalti

29. 6. 2023

Number: 25/2023

Author:

- Primož Pavšič



Foto: Arne Hodalič

Asfalt je eden od najbolj razširjenih gradbenih materialov, s katerim se srečujemo vsakodnevno. Asfalt oziroma asfaltna zmes je mešanica kamenega agregata, ki ga sestavljajo različne frakcije kamnitih materialov in peska, bitumenskega veziva, tj. bitumna, in polnila, tj. kamene moke. Nekateri asfalti vsebujejo tudi dodatke za izboljšanje lastnosti, pri čemer je pri nas najpogostejša uporaba celuloznih vlaken v asfaltnih zmeseh, ki jih imenujemo drobirji z bitumenskim mastiksom in se večinoma uporabljajo za zgornje – obrabne asfaltne plasti na avtocestah, pa tudi pri izdelavi drenažnih asfaltov.

Asfalt ni samo en, temveč poznamo štiri glavne skupine asfaltnih zmesi, in sicer: asfaltbetone, drobirje z bitumenskim mastiksom, drenažne asfalte in lite asfalte. V vsaki skupini, ki jo od ostalih razlikuje predvsem sestava kamenega agregata in delež bitumna, pa imamo še več podskupin, v odvisnosti od največjega kamenega zrna v sestavi in zahtevane zrnavostne sestave, kot tudi namena uporabe (nosilne plasti, vezne plasti, obrabne plasti, zaščitne plasti, vrsta prometne obremenitve). Kamniti material – kameni agregat predstavlja v sestavi asfaltnih zmesi 92–96 %, njegova naloga pa je, da prenaša prometne obremenitve na spodnje plasti in v obrabni (zgornji) plasti zagotavlja ustrezne torne lastnosti (odpornost proti zdrsu).

Bitumensko vezivo oziroma bitumen služi v zmesi kot »lepilo«, ki povezuje kamnita zrna v stabilno plast, ki pa je zaradi lastnosti asfalta tudi elastična in ne toga, kot je to pri plasteh iz cementnega betona. Asfalt beton in cementni beton, ki ga navadno označimo kot beton, imata skupno le splošno zrnavostno sestavo kamenega agregata, lastnosti pa se med tem asfaltom in betonom močno razlikujejo predvsem v togosti in elastičnosti, ki je predvsem posledica lastnosti veziva (cementa ali bitumna). Seveda nam je na razpolago tudi več vrst bitumna, ki jih pridobimo s predelavo nafte in imajo glede na način proizvodnje in morebitne dodatke tudi različne lastnosti, kot so elastičnost, odpornost na nizke temperature

in podobno.

Asfalt je torej precej več kot le en gradbeni proizvod (Slika 1). Za njegovo pripravo, ki poteka na asfaltnih obratih – asfaltnih bazah, je potrebno kameni agregat in bitumen segreti na 150–180 °C, da postane bitumen dovolj tekoč oziroma viskozen, da lahko obvije vsa kamena zrna in po ohladitvi na običajne temperature deluje kot učinkovito lepilo, obenem pa je potrebno zagotoviti dovolj visoko temperaturo zmesi, da jo je mogoče vgraditi v plast voziščne konstrukcije. Vgradnja asfaltnih zmesi navadno poteka z uporabo razdelilnika (finišerja (https://pavementinteractive.org/reference-desk/construction/placement/asphalt-paver/)), ki vročo asfaltno zmes enakomerno razprostre na vgrajevalno površino, jo ob tem tudi že delno zgosti (zbije) in ustvari ravno površino. Dokončna vgradnja se izvede z dodatnim zgoščanjem – kompaktiranjem z valjarji, tako da je dosežena potrebna zgoščenost plasti, ki bo po ohladitvi lahko učinkovito prenesla prometne obremenitve. Ob vgradnji pa je potrebno zagotoviti ustrezno temperaturo asfaltne zmesi, ki še omogoča njeno valjanje in zgoščanje. Temperatura ob vgradnji klasičnih vročih asfaltov tako naj ne bi bila nižja od 130 °C.





Slika 1: Primer sestave asfaltnih plasti na eni od naših avtocest (vrtina, štiri plasti, od spodaj navzgor: nosilna plast AC 32 base, nosilna plast AC 22 base, vezna plast AC 22 bin in obrabna plast SMA 11)

Vse večje globalno zavedanje o negativnih vplivih toplogrednih plinov na okolje je v zadnjih desetletjih vodilo do razvoja novih, okolju prijaznejših tehnologij in praks na vseh področjih, vključno s cestogradbeno stroko, katere pomemben del je tudi asfalterska industrija. Ravno zaradi visokih temperatur (nad 140 °C), ki so potrebne za proizvodnjo in vgradnjo asfalta v okviru novogradenj in sanacij, je ta del gradbenega sektorja med energetsko bolj potratnimi, ob tem pa nastajajo tudi povečane emisije toplogrednih plinov in zdravju škodljivih par. Raziskave za znižanje porabe energije in zmanjšanje negativnih vplivov tako na okolje kot tudi zdravje delavcev (Zumanis 2010 (https://www.academia.edu/9975162/Project_conducted_at_Danish_Road_Institute_WARM_MIX_ASPHALT_INVESTIGATION)) so vodile do razvoja novih tehnologij, ki za proizvodnjo in vgradnjo asfalta, ob nespremenjenih končnih lastnostih, potrebujejo nižje temperature in jih v splošnem označujemo kot tople asfalte (angl. *Warm Mix Asphalt* oziroma WMA). Glede na znižanje proizvodne temperature lahko asfaltne zmesi v grobem razdelimo na: hladne asfaltne zmesi (angl. *Cold Mix Asphalt* oziroma CMA) (0–30 °C), pol tople asfaltne zmesi (angl. *Half-Warm Mix Asphalt* oziroma HWMA) (60–100 °C), že omenjene tople asfaltne zmesi (WMA) (100–140 °C) in vroče, tj. klasične asfaltne zmesi (angl. *Hot Mix Asphalt* oziroma HMA) (> 150 °C). Medtem ko so različne študije (Blades in Kearney 2004 (https://pdfcoffee.com/asphalt-paving-principles-pdf-free.html) ; Jenkins 2000 (https://scholar.sun.ac.za/items/06b38682-91a1-4fee-866a-902a9008c518)) pokazale več zadržkov glede uporabe hladnih in poltoplih zmesi, predvsem z vidika slabše obvitosti zrna agregata z vezivom in s tem manjše trajnosti takšnega asfalta pa se tople asfaltne zmesi kažejo kot primerna alternativa uporabi klasičnih, vročih zmesi, njihova uporaba pa v svetu postopno raste (EAPA 2021 (https://eapa.org/asphalt-in-figures-2021/)).

Namen dodatkov za znižanje proizvodne temperature in temperature ob vgradnji je torej predvsem ta, da zagotovimo, da bo bitumensko vezivo v celoti obvilo kamena zrna in bo omogočilo vgradnjo tudi pri nižjih temperaturah, kot bi bilo to potrebno pri klasičnem postopku. Z znižanjem temperature lahko s temi dodatki ali postopki zmanjšamo tudi emisije toplogrednih plinov in škodljivih par ter zmanjšamo porabo energije, seveda pa moramo zagotoviti enako kakovost končne vgrajene asfaltne plasti kot pri klasičnem, vročem postopku.

Kako torej pridemo do toplih asfaltov? Topli asfalti (WMA) oziroma tople asfaltne zmesi so asfaltne zmesi, katerih proizvodnja in vgradnja se vrši pri 20 do 55 °C nižjih temperaturah, kot to velja za klasične vroče asfaltne zmesi. Znižanje proizvodne in delovne temperature lahko dosežemo z uporabo posebnih postopkov (D'Angelo 2008 (https://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl08007/pl08007.pdf)) oziroma primernih dodatkov za zmanjšanje viskoznosti veziva, ob čemer pa zagotovimo lastnosti in trajnost asfaltne plasti, primerljive z vročimi asfaltnimi zmesmi. Tehnologijo priprave toplih asfaltov lahko razdelimo v tri skupine: postopki penjenja, uporaba organskih dodatkov in uporaba kemičnih sredstev.

Osnova procesa penjenja je dodatek majhne količine vode v vroče bitumensko vezivo ali direktno v mešalnik na asfaltnem obratu, pri čemer se voda upari in povzroči penjenje bitumna. Zaradi začasnega povečanja prostornine se viskoznost bitumna močno zniža, kar izboljša obvijanje kamnitih zrn tudi pri nižjih temperaturah agregata. Del vbrizgane vode ostane fino razporejen v asfaltni zmesi, kar za določen čas zagotavlja tudi izboljšano vgradljivost zmesi. Poleg direktnega postopka penjenja z vbrizganjem vode poznamo tudi indirektne metode penjenja, pri katerih kot vir vode za upenjanje izkoristimo kristalno vezano vodo v naravnih ali sintetičnih mineralih zeolitov (kristalinični hidratizirani alumosilikati (https://en.wikipedia.org/wiki/Zeolite)), ki vsebujejo okoli 20 % vezane vode. V stiku z vročim bitumenskim vezivom se molekule kristalno vezane vode sprostijo in povzročijo kontrolirano penjenje. Druga indirektna tehnika pri proizvodnji toplih asfaltov uporablja vlažen pesek ali asfaltni rezkanec oziroma asfaltni granulat (angl. *Reclaimed Asphalt Pavement* oziroma RAP), pri katerem se za penjenje izkoristi vlaga, prisotna v delno osušeni frakciji dodanega agregata ali granulata.

Kot organski dodatki za znižanje viskoznosti bitumna se uporabljajo amidi maščobnih kislin (npr. Licomont BS), montanski voski (npr. Asphaltan B) in parafini, proizvedeni po Fisher-Tropschovem postopku (https://en.wikipedia.org/wiki/Fischer%E2%80%93Tropsch_process) (npr. Sasobit). Pri proizvodnji toplih asfaltov z uporabo

organskih dodatkov le-te vmešamo v bitumensko vezivo ali direktno v samo asfaltno zmes v mešalniku. Ti dodatki se navadno raztopijo pri temperaturah 80–120 °C in kemijsko spremenijo temperaturno odvisnost viskoznosti bitumenskega veziva. Ko se vezivo ohladi, dodatki kristalizirajo in tvorijo mrežno strukturo (kristalno rešetko) z mikroskopskimi enakomerno razpršenimi delci. Takšna struktura poveča togost in izboljša odpornost asfaltne plasti na trajno preoblikovanje, vendar pa se kaže poslabšanje odpornosti na nizke temperature.

Namen kemičnih dodatkov ni penjenje ali sprememba viskoznosti veziva, temveč predvsem izboljšanje adhezije (oprijema) veziva na zrna agregata, obvitosti kamenih zrn in vgradljivosti asfaltne zmesi. Večinoma se uporabljajo emulgatorji, površinsko aktivne snovi (surfaktanti (https://en.wikipedia.org/wiki/Surfactant)), polimeri in različne kombinacije dodatkov. Takšne dodatke lahko vbrizgamo v bitumen med samim postopkom proizvodnje asfaltnih zmesi ali pa jih raztopimo v bitumnu že predhodno.

Topli asfalti imajo v primerjavi s klasičnimi, vročimi asfalti kar nekaj prednosti. Predvsem je zelo pomemben okoljski vidik, saj se ob znižani temperaturi pri proizvodnji emisije CO_2 in SO_2 zmanjšajo za 30–40 %, hlapnih organskih snovi (angl. *Volatile Organic Compounds* oziroma VOC) za 50 %, CO za 10–30 %, NOx (dušikovih oksidov) za 60–70 % in prahu za 25–55 %. Znižanje koncentracij asfaltnih par oziroma aerosolov in policikličnih aromatskih ogljikovodikov (angl. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* oziroma PAH) za 30–50 % ima velik vpliv na manjšo izpostavljenost delavcev nevarnim snovem in s tem močno izboljša delovne pogoje. V splošnem lahko ocenimo, da vsako zmanjšanje temperature proizvodnje in vgradnje asfaltnih zmesi za 12 °C povzroči okoli 50 % zmanjšanja emisij plinov (EAPA 2014 (https://eapa.org/the-use-of-warm-mix-asphalt-2014/)). Poleg pozitivnih vplivov na okolje in na zdravje delavcev pa so pri proizvodnji toplih asfaltov zabeleženi tudi veliki prihranki porabe energije, ki dosegajo tudi 35 % in več, odvisno od tehnologije proizvodnje le-teh. Pozitivni učinki uporabe toplih asfaltov so vidni tudi v boljši vgradljivosti zmesi, zmanjšanem staranju, izboljšani odpornosti na preoblikovanje in utrujanje (https://www.zdruzenje-zas.si/porocilo-25-izobrazevanje-tehnicnega-asfalterskega-kadra/?sfw=pass1687246509) , kot tudi možnosti za daljše transportne razdalje in hitrejšo pripustitev prometa. Seveda pa imajo topli asfalti tudi nekatere slabosti. Kot najbolj problematična se izkazuje občutljivost na vodo. Nižja proizvodna temperatura namreč lahko vodi do nepopolnega sušenja agregatov, zaradi česar voda lahko ostane ujeta v plasti in povzroči odstranjevanje bitumenskega filma z zrn agregata, s čimer se zmanjša trajnost vgrajene plasti.

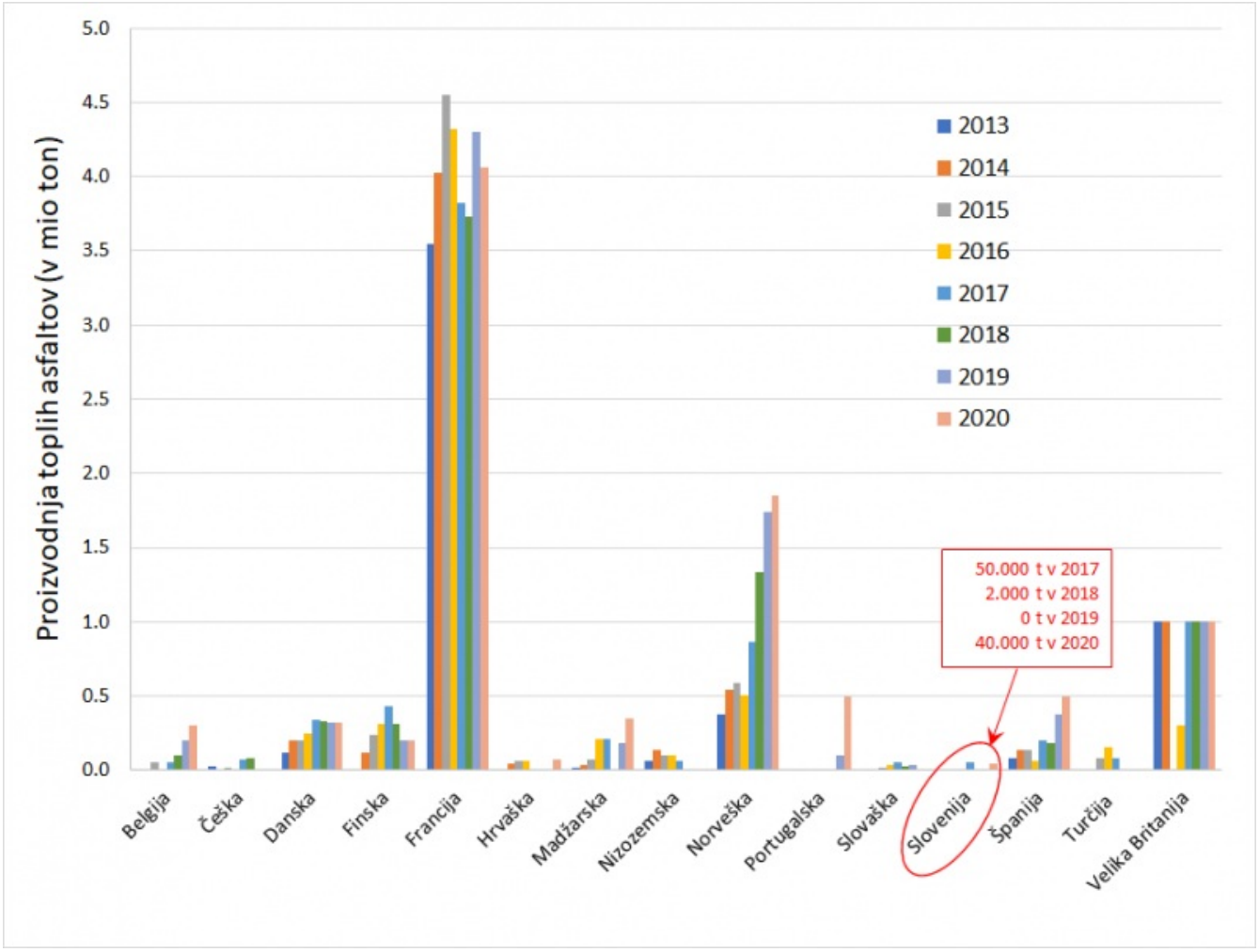
In kako se je pravzaprav začelo? Raziskave in patent (https://d-nb.info/1252870116/34) »penjenega asfalta (https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00710) « Augusta Jacoba v Nemčiji leta 1928 so omogočili razvoj toplih asfaltov tehnologije s prvimi poskusnimi polji (tj. odsek ceste, kjer se testira v realnih pogojih) v Evropi v letih 1997–1999 in v Združenih državah Amerike (ZDA) v letih 2002–2004. V Sloveniji smo prvo poskusno polje z vgradnjo toplih asfaltov izvedli leta 2005. Začetnim raziskavam in poskusnim poljem so se pridružile številne raziskave o njihovi kakovosti ter možnostih uporabe različnih dodatkov in tehnologij.

V Sloveniji je bilo od leta 2005 do 2015 izvedenih več poskusnih polj, katerih namen je bil predvsem promocija in uveljavitev uporabe toplih asfaltov v Sloveniji. Proizvodnja in uporaba toplih asfaltov v Sloveniji je od izvedbe poskusnih polj naprej nekoliko zamrla, verjetno tudi zaradi pomanjkanja tehnične regulative na tem področju, kljub temu pa so bile tudi pri nas v letih od 2017–2020 zabeležene manjše količine proizvedenih toplih asfaltov.

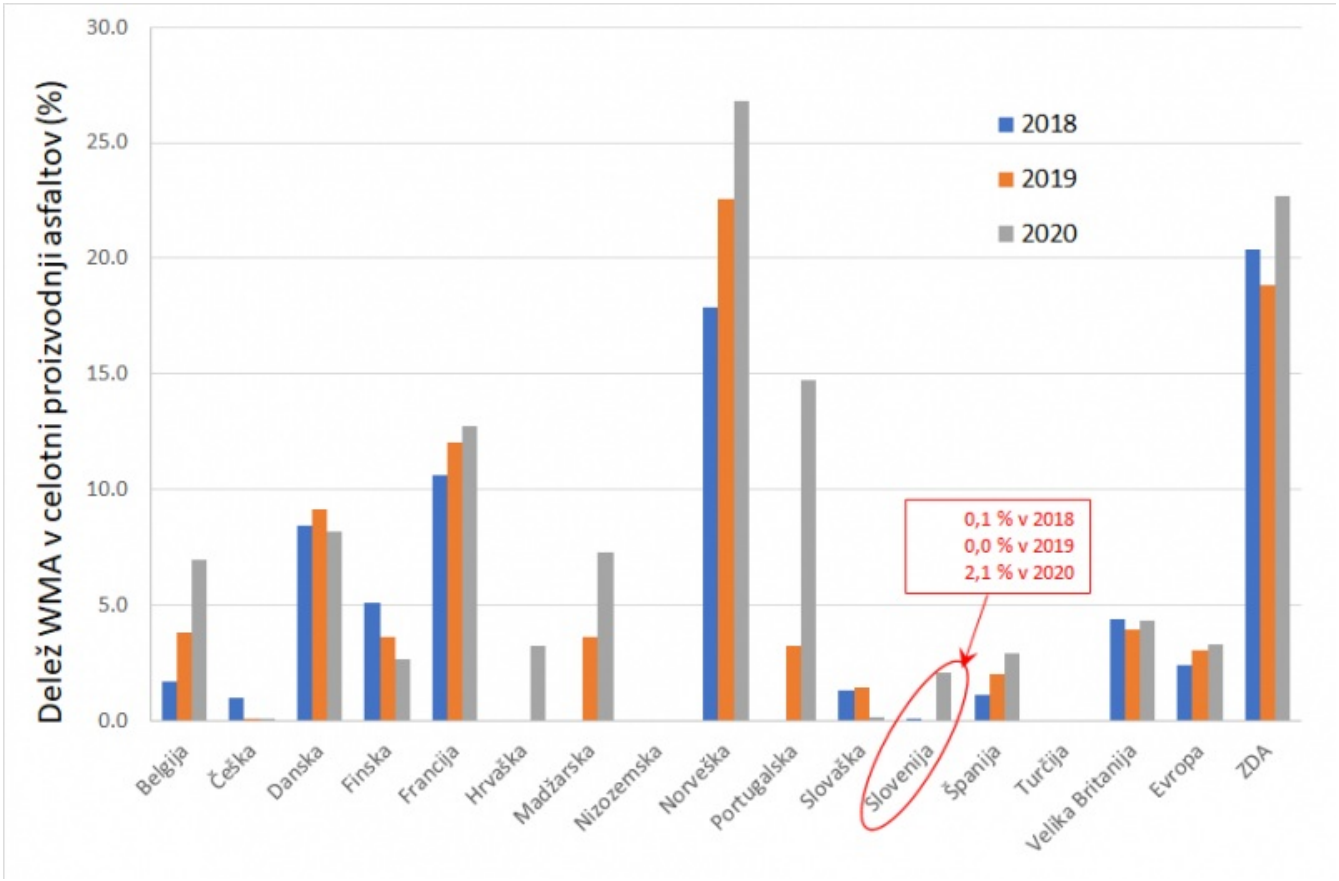


Slika 2: Lokacije izvedenih poskusnih polj s toplimi asfalti v Sloveniji med leti 2005 in 2015

Proizvodnja toplih asfaltov se v nekaterih evropskih državah postopno povečuje, vendar pa je v splošnem še vedno precej nizka, predvsem če v primerjavo vključimo tudi podatke iz ZDA. V ZDA so v letih 2018–2020 proizvedli 72–84 milijonov ton toplih asfaltov, v celotni Evropi pa smo v istem obdobju proizvedli le 7,1–9,2 milijona ton, kar bi zadoščalo za okoli 2.000–4.500 km dvopasovne avtoceste. Za primerjavo, letna proizvodnja vseh asfaltnih zmesi v Sloveniji se navadno giblje okoli 1,8 milijona ton, v Evropi pa okoli 300 milijonov ton (povprečje od 2002–2022, vir: Od skupščine do skupščine 27 (https://www.zdruzenje-zas.si/bilteni-in-glasila/)). Največje količine toplih asfaltov proizvedejo v Franciji, močno pa se povečuje njihova proizvodnja tudi na Norveškem.



Slika 3: Proizvodnja toplih asfaltov v evropskih državah v letih 2013–2020



Slika 4: Delež proizvedenih toplih asfaltov v celotni proizvodnji asfaltnih zmesi za posamezno državo v letih 2018–2020

Samo količine proizvedenih toplih asfaltov pa ne podajajo prave slike njihove uporabe v posameznih državah. Pomemben je predvsem delež toplih asfaltov glede na celotno proizvodnjo asfaltnih zmesi v vsaki državi v posameznem letu. Slika 4 prikazuje delež toplih asfaltov v odstotkih glede na skupno proizvodnjo asfaltnih zmesi v posamezni državi, pa tudi skupno v Evropi in ZDA. Podatki kažejo, da se največji delež proizvede na Norveškem, kjer v letu 2020 dosega že skoraj 27 % in prekaša celo ZDA, kjer proizvodnja predstavlja skoraj 23 % vse proizvodnje asfaltnih zmesi. Več kot 10 % celotne proizvodnje s proizvodnjo toplih asfaltov dosegajo še v Franciji in – ob visokem skoku v letu 2020 – tudi na Portugalskem (skoraj 15 %). Proizvodnja toplih asfaltov v večini preostalih evropskih držav je pod 5 % celotne letne proizvodnje asfaltnih zmesi, pri čemer smo v Sloveniji v letu 2020 dosegli skromnih 2,1 %. Tudi skupna proizvodnja v Evropi ne dosega 5 % (3,3 % v letu 2020), vendar pa se kaže pozitivni trend postopnega naraščanja.

Topli asfalti predstavljajo široko skupino asfaltnih tehnologij, s katerimi lahko bistveno vplivamo na zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in izboljšamo delovne pogoje v asfalterski industriji. Ob vse višjih cenah energentov te tehnologije postajajo vse bolj privlačne tudi za proizvajalce asfaltnih zmesi. V splošnem je v Evropi opazno postopno povečevanje uporabe toplih asfaltov, vendar pa kumulativni delež proizvedenih glede na celotno letno proizvodnjo še zdaleč ne dosega uporabe v ZDA. Nekatere evropske države, kot so Norveška, Portugalska, pa tudi Belgija, Madžarska in Hrvaška, so naredile velik korak k povečanju deleža njihove uporabe, medtem ko smo v Sloveniji do širše uporabe še vedno nekoliko zadržani.

Kljub zadržkom smo v preteklih letih v Sloveniji nabrali veliko izkušenj in znanja s področja uporabe toplih asfaltnih zmesi, pri čemer vse, tako domače kot tuje raziskave kažejo, da topli asfalti, ob mnogih pozitivnih ekonomskih, okoljskih in zdravstvenih vplivih, lahko kakovostno nadomestijo klasične vroče asfaltne zmesi (HMA). Naj dodamo, da je v Sloveniji leta 2021 stopila v veljavo tudi tehnična specifikacija (glej dokument *TSPI – PGV.06.460 Zgornji ustroj cest – Tople asfaltne zmesi* na TSPI 2021 (https://www.gov.si/zbirke/storitve/tehnicne-specifikacije-za-ceste/)), ki določa tehnične pogoje za proizvodnjo in vgrajevanje asfaltnih zmesi z bitumenskimi vezivi po toplem postopku na javnih cestah v Republiki Sloveniji. S tem so tako izpolnjeni tudi kakovostno tehnični vidiki za širšo uporabo tehnologij toplih asfaltov v Sloveniji, s čimer se odpirajo dodatne možnosti za zmanjšanje stroškov energije, znižanje emisij in izboljšanje delovnih pogojev v asfalterski industriji.

Že sama dolga pot razvoja in počasna uveljavitev toplih asfaltov v asfalterski industriji nakazuje, da njihovo uporabo spremlja precej skepse, obenem pa zahteva tudi vpeljavo novih tehnologij proizvodnje in prilagojene načine vgradnje, ki jih morajo izvajalci vpeljati. Seveda se proizvajalci ne bodo na lastno pest odločali za nove tehnologije, če ne bo povpraševanja po takšnih zmeseh, pa čeprav bi to pomenilo tudi določene prihranke v proizvodnji. Če želimo povečati delež toplih asfaltnih zmesi v slovenski cestogradnji, je tako potreben premik predvsem na strani naročnikov in projektantov, pri čemer je dober način za širšo uveljavitev toplih asfaltnih zmesi pri nas lahko tudi zeleno naročanje (https://www.gov.si/teme/zeleno-javno-narocanje/) gradbenih del.

https://www.alternator.science/en/long/energetsko-varcni-topli-asfalti/