

Primljen / Received: 13.2.2019.

Ispravljen / Corrected: 1.6.2019.

Prihvaćen / Accepted: 1.7.2019.

Dostupno online / Available online: 10.7.2020.

Produljenje uporabljenosti kolnika

Autori:

Prof.dr.sc. **László Gáspár**, dipl.ing.građ.KTI Institut za Prometne znanosti –neprofitna organizacija, Budimpešta, Mađarska
gaspar@kti.hu

Autor za korespondenciju

**Zsolt Bencze**, dipl.ing.građ.Ferrobeton PHC CRH, Dunaújváros, Mađarska
bencze.zsolt@crhemea.onmicrosoft.com

Pregledni rad

László Gáspár, Zsolt Bencze

Produljenje uporabljivosti kolnika

Cilj je ovog rada predstaviti najvažnije faktore koji pridonose povećanju kvalitete i produljenju uporabljivosti kolnika. U radu je dan pregled američkih i europskih istraživanja koja se bave problemima kolnika iz aspekta održavanja, a vezano uz projektiranje, tehnologiju građenja, odabira građevnih materijala te poboljšanje svojstava kolnika. Predstavljene su i neki budući trendovi vezani za tematiku produljenja uporabljivosti kolnika.

Ključne riječi:

polukruti kolnici, savitljivi kolnici, kruti kolnici, uporabni vijek kolnika, dugotrajni kolnici

Subject review

László Gáspár, Zsolt Bencze

Increasing life expectancy of road pavements

The objective of this paper is to present the most important factors that contribute to the quality and good life expectancy of road pavements. An overview of American and European research dealing with pavement maintenance issues, as related to the design, construction technology, material selection, and improvement of pavement properties, is provided in the paper. Some future trends relating to the extension of life-expectancy of pavements are also presented.

Key words:

semi-rigid pavements, flexible pavements, rigid pavements, pavement lifespan, long-life pavements

Übersichtsarbeit

László Gáspár, Zsolt Bencze

Verlängerung der Nutzungsdauer von Fahrbahnen

Ziel dieser Abhandlung ist es, die wichtigsten Faktoren vorzustellen, die der Erhöhung der Qualität und der Verlängerung der Nutzungsdauer von Fahrbahnen beitragen. In der Abhandlung wird eine Übersicht der amerikanischen und europäischen Untersuchungen vorgelegt, die sich mit den Problemen von Fahrbahnen vom Aspekt der Instandhaltung beschäftigen, und in Bezug auf die Projektplanung, die Bautechnologie, Wahl der Baumaterialien sowie die Verbesserung der Fahrbahneigenschaften. Vorgestellt werden auch einige zukünftige Trends in Bezug auf die Thematik der Verlängerung der Nutzungsdauer von Fahrbahnen.

Schlüsselwörter:

halbfeste Fahrbahnen, flexible Fahrbahnen, feste Fahrbahnen, Nutzungsdauer von Fahrbahnen, langlebige Fahrbahnen

1. Uvod

Diljem svijeta postoji mnogo različitih definicija kolničkih konstrukcija s dugim rokom trajanja. U Americi, sinonim za taj tip kolnika jest tzv. trajni kolnik (eng. *perpetual pavement*), a uglavnom se definira kao asfaltni kolnik projektiran za uporabu vijek dulje od 50 godina, bez potrebe za većom strukturnom obnovom ili rekonstrukcijom, uz povremenu obnovu površinskog sloja. Kod dugotrajnih kolnika neće doći do nastanka značajnih oštećenja u nosivim slojevima ako se površinski sloj kolnika pravilno i redovito održava.

Ovisno o lokalnim uvjetima, na kolnicima cesta s vrlo intenzivnim prometnim opterećenjem u pravilu se svakih 10 do 12 godina obnavlja kolnik zamjenom površinskog sloja. Međutim, i prije toga bit će razdoblja kada cestu treba privremeno zatvoriti zbog manjih popravaka (saniranja pukotina i rupa na cesti). Postoje mnogi slučajevi gdje su početni troškovi izgradnje manji od troškova održavanja i sanacija tijekom uporabljivosti kolnika. Prije svega, to su ceste s velikim prometnim opterećenjem, gdje su potrebni česti radovi na obnavljanju i sanaciji kolnika, na kojima dolazi do zastoja i prekida u normalnom prometnom toku. Stoga se teži prema izgradnji ceste s dugotrajnim kolnicima koji ne zahtijevaju česte popravke, a time se troškovi uprava za ceste, ali i troškovi sudionika u prometu mogu svesti na najmanju moguću mjeru.

U radu su predstavljeni glavni faktori koji utječu na produljenje uporabe kolnika. Osim toga, prikazani rezultati su istraživanja koje su proveli američki i europski stručni timovi na savitljivim, polukrutim i krutim kolnicima, a koji obuhvaćaju problematiku projektiranja, odabira građevnih materijala, svojstva i održavanja kolnika, ali i ekonomske aspekte životnog ciklusa kolnika. U radu su predstavljeni i neki budući trendovi vezani za tematiku produljenja uporabljivosti kolnika.

2. Faktori koji utječu na trajnost kolnika

Jasno je da izrazi poput "uprabljivost" ili "trajanje" ne mogu biti sveobuhvatni za cestu budući da se ona sastoji od različitih elemenata (primjerice zemljani radovi, višeslojna kolnička konstrukcija, promet, mostovi, propusti itd.). Svaki element ima karakteristične parametre poput veličine, sastavnih materijala, opterećenja i optimalni raspon svojstava. Stoga, različiti elementi imaju i različitu očekivanu i stvarnu trajnost. Tu je i pitanje vezano za preciznost određivanja uporabljivosti pojedinog elementa zbog različitih kritičnih vrijednosti pojedinačnih parametara.

Postoji nekoliko osnovnih parametara (poput nosivosti, uzdužne ravnosti, otpornosti na klizanje itd) koje treba uzeti u obzir kada se određuje kraj uporabljivosti kolnika. Neki od tih parametara odnose se samo na površinski (habajući) sloj, dok se drugi odnose na nosive slojeve kolnika. Radovi na obnovi kolnika poduzimaju se kada vrijednost navedenih parametara dosegne kritičnu razinu. Opseg radova ovisi o veličini degradacije osnovnih parametara. Brzina degradacije parametara, ovisi od slučaja do slučaja i ta vrijednost nikada nije ista za sve kolnike. Stoga

je kraj uporabljivosti kolnika određen smanjenjem vrijednosti parametara do kritične razine, odnosno dok se vrijednost ne spusti na razinu na kojoj je nužna sanacija kolnika.

Prethodno navedene definicije uporabljivosti kolnika pretpostavljaju da se sanacija kolnika mora provesti kada vrijednosti parametara dosegnu kritičnu razinu. Međutim, često se zbog ograničenih financijskih sredstava obnove kolnika odgađaju ili se uopće ne provode, a oštećeni kolnik i dalje ostaje u upotrebi. U tim slučajevima, sanacije kolnika se provode s nekoliko godina zakašnjenja. Takav vijek uporabe kolnika naziva se "financijska uporabljivost" i razlikuje se od tradicionalne "tehničke uporabljivosti kolnika".

Potpuna rekonstrukcija cijele kolničke konstrukcije rijetko je potrebna. Uobičajeno se obnova provodi zamjenom habajućeg i u nekim slučajevima nosivog asfaltnog sloja nekom od metoda recikliranja. To se obično provodi na kraju uporabnog trajanja asfalta, što predstavlja jedan segment u ukupnom trajanju cijele kolničke konstrukcije. Slijedi pregled glavnih parametara koji utječu na stanje kolnika i koje treba uzeti u obzir već u fazi projektiranja.

a) Prometno opterećenje

Karakteristike prometnog opterećenja prije svega utječu na brzinu degradacije i trajnost bilo koje kolničke konstrukcije. Postoji nekoliko glavnih parametara koje treba uzeti u obzir, poput broja vozila (volumen prometa) i vrstu motornih vozila (sastav prometa).

Općenito govoreći, kada se povećava broj teških teretnih vozila, dolazi do nelinearne degradacije kolnika uzrokovane povećanjem osovinskog opterećenja.

Funkcionalno gledajući, taj je odnos približno eksponencijalan, pri čemu se vrijednost eksponenta uobičajeno uzima kao 4, iako su brojna istraživanja pokazala znatne varijacije u vrijednosti eksponenta ovisno o modelu degradacije kolnika. Također, treba spomenuti i ostale parametre koji su povezani s prometom kao što su: konfiguracija osovina vozila, tip ovjesa vozila, sezonska, dnevna i godišnja distribucija prometa, utjecaj različitih temperatura, vlažnosti itd., kratkoročne i dugoročne prometne prognoze (predviđanja prometnog toka), širina prometnih traka (poprečne oscilacije u gibanju vozila i opasnosti od oštećivanja rubova kolnika).

b) Utjecaji okoline

Određeni parametri okoline koji utječu na svojstva kolnika su poznati i uzimaju se u obzir prilikom projektiranja kolničke konstrukcije, međutim utjecaj nekih parametara se ne može predvidjeti s visokom preciznošću. Bez obzira na to, svi parametri utjecaja okoline se uzimaju u obzir u fazi projektiranja kolničke konstrukcije. Parametri koji se uzimaju u obzir u fazi projektiranja su svojstva lokalnoga tla (nosivost i osjetljivost na vlagu), mikroklimatske okolnosti (sezonska raspodjela oborina i utvrđuju) te potencijalni rizici od seizmičkih aktivnosti i poplava. Klimatske promjene, koje se definiraju kroz godišnja doba i tipično su stohastički fenomen, u fazi projektiranja kolnika uzimaju se u obzir s određenom vjerojatnošću.

c) Problemi pri projektiranju kolnika

Stručno iskustvo u projektiranju, temeljitost i pažljivost imaju važnu ulogu u postizanju visokokvalitetnog projekta kolničke konstrukcije. Također, projekt je potrebno temeljiti na relevantnim standardima (primjerice norme, smjernice, tehnički uvjeti, itd.). Kada projektant ne uzme u obzir sve parametre ili ne ispuni uvjete propisane standardima, može doći do znatnog smanjenja očekivane trajnosti kolnika.

d) Problemi vezani uz izgradnju kolnika

Kvalitativno-kvantitativni parametri značajno mogu utjecati na degradaciju kolnika (tijekom uporabe), a kvantitativni parametri su posljedica kvalitete izvedenih radova (izvođača). Očigledno je da će se uporabljivost smanjiti kada je debljina izvedenog kolnika manja od projektirane, ili kada je riječ o lošoj kvaliteti izrade koja rezultira nižim vrijednostima E-modula, smanjenom nosivosti, nedovoljnom zbijenošću, itd.

Kako bi se izbjegli takvi problemi, pri odabiru izvođača treba voditi računa o iskustvu i stručnosti. Uz to, treba provesti neovisnu, detaljnu kontrolu kvalitete, prema specifikacijama ISO standarda. Preporuka je da se ugovaranje provodi na temelju izvedbe, pri čemu je izvođač motiviraniji da udovolji svim interesima investitora.

U Mađarskoj je nedavno Institut za prometne znanosti (KTI) [1] proveo istraživanje o pridonosu loše kvalitete gradnje na neočekivano kratku uporabljivost kolnika.

Rezultati istraživanja su pokazali da loša gradnja znatno utječe na svojstva kolnika, a doneseni zaključci se temelje na procjeni izvođača radova i uočenih procesa degradacije kolnika autocesta. Predložen je algoritam za izračun "razine kvalitete izvođača radova", koji se može uzeti u obzir kao važan pokazatelj pri ocjenjivanju ponuda dostavljenih na javni natječaj.

Primjena predložene metodologije vrednovanja ponuda može također dovesti do povećanja konkurentnosti tvrtki koje se bave izvođenjem radova, što može utjecati na smanjene cijene radova i time pridonijeti uštedi financijskih sredstava. Tijekom probnih izračuna, pokazalo se da je predložena metodologija lakoprmenjiva za ocjenu kvalitete izvođača građevinskih radova na autocestama.

Ovakva metoda ocjene kvalitete, pod uvjetom da se temelji na pouzdanim i detaljnim proračunima, može se primijeniti u postupcima javne nabave za cestogradnju prilikom rangiranja ponuda pristiglih na natječaj.

e) Parametri vezani uz održavanje i sanacije kolnika

Pravodobno i stručno provedena sanacija kolnika može spriječiti ili smanjiti pojavu nekih vrsta oštećenja kolnika, i/ili popraviti oštećenja koja su već nastala. Kombinirano djelovanje prometnog opterećenja i uvjeta okoline neizbježno uzrokuje oštećenja kolnika tijekom vremena, bez obzira na kvalitetu projektiranja. Proces nastanka oštećenja može se usporiti, ili čak zaustaviti odgovarajućim održavanjem i sanacijama oštećenja. Postupci održavanja kolnika, kao što su zapunjavanje pukotina i spojeva, izvedba mikroasfalta i zakrpa, pridonose usporavanju

procesa degradacije kolnika, definiranjem i uklanjanjem specifičnih nedostataka kolnika, koji kumulativno pridonose oštećenju kolnika. Umjesto tzv. *ad hoc* intervencija, samo stručno i dobro planirano održavanje jamči produljenje uporabljivosti kolnika.

Dugoročno gledano, mjere preventivnog održavanja kolnika obično su učinkovitije od sanacija kolnika. Visoka kvaliteta projektiranja i izvedbe sanacije jamči poboljšanje svojstava i produljenje uporabljivosti kolnika.

Vrijeme i prostor potreban za sanaciju kolnika znatno utječu na sveobuhvatne troškove kolničkih konstrukcija i uzrokuju različite smetnje u prometu. To se uglavnom odnosi na mađarska iskustva, pa su stoga navedeni i neki relevantni rezultati istraživanja u dvije druge države.

Istraživanje provedeno u Americi [2] usmjereno je na ispitivanje faktora koji utječu na tehnike održavanja kolnika. Ulazni parametri korišteni pri istraživanju su stanje kolnika, kvaliteta radova na održavanju kolnika, kvaliteta ugrađenih materijala, prometno opterećenje i klimatski uvjeti. Podaci iz nekoliko američkih baza podataka korišteni su kako bi se odredio utjecaj navedenih ulaznih parametara na produljenje uporabljivosti primjenom različitih metoda poboljšanja stanja kolnika. Kao alternativna metodologija, anketirani su stručnjaci iz toga područja. U konačnici, određeni su faktori koji dokazano utječu na trajanje primijenjenih tehnika održavanja kolnika, a to su: stanje kolnika prije održavanja, kvaliteta projekta, odabir građevinskih materijala i njihova kvaliteta, kvaliteta izvođenja radova, prometno opterećenje i klimatski uvjeti.

Drugi rad [3], kroz pregled literature, utvrđuje faktore koji utječu na provedbu projekata izgradnje cestovne infrastrukture u Ugandi. Mnogi projekti izgradnje cestovne infrastrukture diljem svijeta nisu završeni u ugovorenom roku i za unaprijed određene troškove, uz različite probleme vezane za kvalitetu radova. Osim navedenoga, tu su još i problemi koji se odnose na: promjenu opsega, pitanja zdravstvene zaštite i sigurnosti, funkcionalnosti i zagađenje okoliša. Određivanjem faktora koji najviše utječu na provedbu projekata izvedbe cestovne infrastrukture može se pridonijeti pouzdanijem odlučivanju o tome gdje je primjena ograničenih resursa najpotrebnija. Utvrđeno je da loše planiranje i loše upravljanje provedbom projekta najviše utječe na uspješnost takvih projekata.

U Americi je provedeno i istraživanje o utjecaju prometnog opterećenja i opterećenja osovina na prometnu infrastrukturu i njeno održavanje [4]. Neki od zaključaka tog istraživanja su:

- Zbog različitih vrsta usluga teško je predvidjeti utjecaj teških teretnih vozila.
- Stvarna oštećenja kolnika uzrokovana prometnim opterećenjima prije svega ovise o broju prelazaka osovina i njihovom opterećenju.
- Odnos između razmaka osovina vozila i rezultirajućih oštećenja kolnika je vrlo složen fenomen.
- Brzina vozila na različite načine utječe na kolnik (opterećenje teretnih vozila na kolnik pri manjim brzinama se razmatra kao statičko opterećenje, iako povećanje brzine tih vozila

- neće utjecati na vrijednosti naprezanja u kolniku, ono će smanjiti trajnost kolnika).
- Trošak vožnje teretnog vozila po jednom kilometru značajno varira ovisno o vrsti kolnika, a troškovi su veći na kolnicima koji su projektirani za lako prometno opterećenje u odnosu na kolnike namijenjene prometu teških teretnih vozila.
 - Povećanje dopuštene veličine i težine teretnih vozila povećava osovinsko opterećenje te posljedično utječe i na povećanje troškova održavanja kolnika.
 - Povećanje dopuštene veličine i težine teretnih vozila potiče upotrebu teretnih vozila s više osovina, što ne mora nužno rezultirati većim troškovima održavanja kolnika, nego se čak mogu postići i financijske uštede.

3. Kolnici s dugim trajanjem

3.1. ELLPAG

Organizacija European Long-life Pavement Group (ELLPAG) osnovana je kako bi se prikupila postojeća znanja o europskim kolnicima s dugim trajanjem. Djelovanje organizacije usmjereno je na praktične probleme, poput projektiranja, izvedbe i održavanja dugotrajnih kolnika. Dobiveni rezultati i zaključci objavljeni su u izvješćima koja procjenjuju trenutno stanje prakse u primjeni savitljivih, polukrutih i krutih dugotrajnih kolnika, uz učinkovitu primjenu teorijskih i praktičnih znanja prikupljena od stručnjaka iz cijele Europe. Navedena izvješća su napisana u nekoliko poglavlja: projektiranje novog kolnika, ocjena i poboljšanje stanja kolnika, projektiranje održavanja i sanacije kolnika, troškovi i nedostaci [5].

3.1.1. Savitljivi kolnici

Istraživanja su povedena na savitljivim kolnicima koji se sastoje od bitumenom vezanih i nevezanih slojeva [6, 7]. Nosivost savitljivih kolnika ovisi o svojstvima svakog sloja kolničke konstrukcije, za razliku od krutih kolnika, gdje nosivost primarno ovisi o svojstvima betonske ploče.

Kod savitljivih kolnika intenzitet opterećenja smanjuje se s dubinom uslijed distribucije opterećenja u svim slojevima kolničke konstrukcije. Neki od glavnih zaključaka prve faze ELLPAG projekta su:

- Dugotrajnost savitljivih kolnika može se postići pravilnim izvođenjem kolničke konstrukcija, ili adekvatnim ojačanjem (rekonstrukcijom) postojećeg kolnika.
- Savitljivi dugotrajni kolnici su ekonomski isplativi ako su projektirani za teški teretni promet, jer su troškovi održavanja takvih kolnika relativno niski.
- Savitljivi kolnik može se smatrati dugotrajnim kolnikom, ako je ukupna debljina asfaltnih slojeva veća od 300 mm (tablica 1.).
- Tijekom uporabljivosti savitljivog kolnika ne smiju vlačne deformacije na donjem rubu asfaltnih slojeva biti veće od 50 μm .

- Nosivost posteljice tijekom uporabljivosti savitljivog kolnika mora biti veća ili jednaka minimalno propisanoj vrijednosti.
- Za izgradnju i održavanje prometnica potreban je stručan i kvalitetan izvođač radova, te kontrola izvedenih radova od strane neovisnog tijela.
- Čak i savitljivi dugotrajni kolnici zahtijevaju sanaciju površinskog sloja, uglavnom svakih 10 do 12 godina.

Tablica 1. prikazuje debljinu asfaltnih slojeva savitljivog dugotrajnog kolnika u različitim europskim državama (u zemljama članicama organizacije ELLPAG - projektna faza 1), za predviđeni broj standardnog osovinskog opterećenja od 100 milijuna (projektno prometno opterećenje).

Standardno osovinsko opterećenje uobičajeno iznosi 100 kN, osim u Francuskoj i Grčkoj, gdje je 130 kN, te u Italiji, Švicarskoj i Ujedinjenom Kraljevstvu gdje je 80 kN. U Sjedinjenim Američkim Državama standardno osovinsko opterećenje iznosi 80 kN.

Projektni period autocesta za teško prometno opterećenje uglavnom iznosi 20 godina u većini europskih zemalja. U Francuskoj i Njemačkoj projektni period je 30 godina, u Velikoj Britaniji (i SAD-u) 40 godina, a u Danskoj je tek 10 godina.

Tablica 1. Projektirana debljina asfaltnih slojeva za projektno prometno opterećenje od 100 milijuna prelazaka standardnih osovina (80 kN)

Država	Debljina asfaltnih slojeva [mm]
Španjolska	350
Njemačka	340
Francuska	330
Ujedinjeno Kraljevstvo	330
Belgija	320
Poljska	310
Nizozemska	310
Mađarska	300
Austrija	280
Portugal	270
Grčka	260
Švedska	250
Rumunjska	200
Hrvatska	190

3.1.2. Polukruti kolnici

Polukruti kolnici se sastoje od jednog ili više slojeva asfalta položenih na sloj koji je vezan hidrauličkim vezivom. U sloju vezanom hidrauličkim vezivom primjenjuje se više vrsta građevnih materijala. Za ovaj tip kolničkih konstrukcija karakteristično je nekoliko vrsta oštećenja. U Europi su polukruti kolnici postali popularni tijekom naftne krize 1970-

ih, kada je cijena nafte izričito porasla, a kao posljedica toga jedinična cijena asfalta je postigla visoke vrijednosti.

Posljednjih godina usavršene su tehnike koje sprječavaju nastanak reflektivnih pukotina te omogućuju produljenje uporabljivosti polukrutih kolnika.

Tijekom posljednjih nekoliko godina povećanje svijesti o problemima vezanim za okoliš i potraga za održivim rješenjima pridonijela je povećanju popularnost polukrutih kolnika. Neki od glavnih zaključaka druge faze ELLPAG projekta [8, 9] su:

- U Europi se uobičajeno grade polukrute kolničke konstrukcije koje se sastoje od asfaltnih slojeva debljine od 150 do 290 mm i hidrauličkim vezivom vezanog sloja debljine između 150 i 300 mm vezivnog sloja ispod asfalta (ovaj tip kolničke konstrukcije može se smatrati dugotrajnim kolnikom, ako mu je uporabljivost 35 godina).
- Koeficijent djelovanja prometnog opterećenja koji se uzima u obzir prilikom projektiranja polukrutog kolnika je dva do četiri puta veći u odnosu na vrijednost koeficijenta za savitljivi kolnik, zbog razlika u modelima oštećenja savitljivih i krutih kolnika.
- Neke od učinkovitih tehnika sanacije reflektivnih pukotina su: sanacije mikropukotina primjenom vibracijskog zbijanja, primjena pocinčanih čeličnih mreža, geomreža, staklenih mreža i geokompozita, izrada SAMI sloja (eng. *stress absorbing membrane interlayer*), *Nova Chip*, te sanacija metodom *saw i seal*.
- Za razliku od drugih europskih zemalja, U Francuskoj se pojava reflektivnih pukotina na površinskom sloju kolnika ne uzima kao kraj uporabljivosti, a pukotine se saniraju zapunjavanjem.

Tablica 2. Uobičajena polukruta kolnička konstrukcija u osam europskih država (članice ELLPAG, faza II)

Država	Debljina hidrauličkim vezivom vezanog sloja [mm]	Ukupna debljina asfaltnih slojeva [mm]
Austrija	300	160
Belgija	200	160
Francuska	250	200
Mađarska	200	180
Poljska	220	190
Španjolska	220	200
Švicarska	170	190
UK	200	190

3.1.3. Kruti kolnici

Kruti kolnici se sastoje od betonske ploče koja je glavni konstrukcijski element kolnika, a koja leži na podlozi od stabiliziranog ili nevezanog materijala. Beton je prilično čvrst, dugotrajan i stabilan građevni materijal. Ima veliku krutost, pa je prometno opterećanje na takvim kolnicima vrlo dobro

raspodijeljeno. Zbog toga se na najdonje slojeve kolničke konstrukcije, ispod betonskog kolnika i na samu posteljicu kolnika, prenose niže vrijednosti naprezanja.

Kruti kolnici se mogu graditi od različitih vrsta agregata i veziva, što znatno pridonosi održivoj gradnji.

Druga pozitivna svojstva su otpornost površine kolnika na požar, manje emisije štetnih plinova, visok faktor vatrootpornosti. Negativne strane koje treba uzeti u obzir su promjene volumena betona (skupljanje i širenje) uslijed promjena temperature [10, 11]. Neki od glavnih zaključaka treće faze ELLPAG projekta su:

- Kruti kolnik traje dulje (25 do 40 godina) u odnosu na savitljivi kolnik (približno 12 godina). Napomena: istraživanja u zemljama diljem svijeta su pokazala da je savitljivi kolnik općenito ekonomski isplativiji od drugih vrsta kolnika.
- Kod krutih kolnika promet se distribuira na veliku površinu posteljice, pa stoga eventualne promjene nosivosti posteljice imaju ograničen utjecaj na nosivost kolničke konstrukcije.
- Čvrsta i homogena podloga je preduvjet za dugotrajnost krutog kolnika (minimalna trajnost 40 godina).
- Kontinuirano armirani betonski kolnici (CRCP) štite kolnik od stvaranja poprečnih pukotina ili razdvajanja spojeva, osim na mostovima i rubovima kolnika.
- U Europi se uobičajeno grade dilatirani, nearmirani i neprekidno armirani kruti kolnici.
- Temeljem opažanja na stvarnim kolnicima, procijenjena uporabljivost krutih kolnika je od 40 do 50 godina.
- Primjena čelične armature u neprekidno kontinuiranim armiranim betonskim kolnicima uobičajena je praksa. Uzdužna armatura se postavlja kako bi se smanjila mogućnost nastanka površinskih pukotina. U tom slučaju povećanje čvrstoće betonskog kolnika nije primarni cilj.
- U europskim zemljama primjenjuju se empirijske ili mehaničko-empirijske metode projektiranja, a često se kombiniraju s podacima dobivenim na probnim dionicama i rezultatima laboratorijskih ispitivanja.
- Kruti kolnici se projektiraju za maksimalno dopušteno osovinsko opterećenje u pojedinoj državi. Ta vrijednost uglavnom iznosi 100 kN za jednostruku osovina, međutim, u nekim zemljama ta vrijednost iznosi 80 ili 130 kN.
- U većini zemljama zapadne i središnje Europe kruti se kolnici projektiraju za uporabu tijekom 40 godina. Vrlo često jedan od zahtjeva koje treba uzeti u obzir prilikom projektiranja jest projektno prometno opterećenje izraženo brojem standardnih osovina u projektom periodu.
- Karakterizacija krutih kolnika se provodi prema vrijednosti tlačne i vlačne čvrstoće te čvrstoće na savijanje, veće vrijednosti čvrstoća pridonose boljoj raspodjeli prometnog opterećenja i smanjenju zamora materijala.
- Debljina krutog kolnika u Europskim država iznosi od 220 do 300 mm.

U tablici 3. prikazane su projektne čvrstoće krutih kolnika u nekim europskim zemljama.

Tablica 3. Projektne čvrstoće krutih kolnika u nekim europskim zemljama (zemlje članice ELLPAG, faza III).

Država	Projektna čvrstoća betona	
	Starost pri ispitivanju [dana]	Vrijednost [MPa]
Belgija	90	C = 62,5
Češka	28	C = 25-32; B = 3,5-4,5
Francuska	28	S = 2,7
Njemačka	28	C = 30-37
Mađarska	28	C = 37; B = 4,0; S = 3,0
Nizozemska	28	C = 35-45
Poljska	28	B = 4,5-6,0
Švicarska	28	C = 30; B = 5,5
UK	28	B = 4,5-6,0

Napomena:
C - tlačna čvrstoća, B - čvrstoća na savijanje, S - vlačna čvrstoća

3.2. Površinski slojevi dugog vijeka trajanja (OECD projekt)

OECD projekt (eng. *Organisation for Economic Co-operation and Development* - OECD) analizirao je dugotrajnost habajućih slojeva kolnika na autocestama s teškim prometnim opterećenjem. U mnogim zemljama gotovo pola planiranog proračuna za autoceste koristi se za građenje novih cesta [12]. Preostali iznos sredstava troši se na održavanja i sanaciju postojećih cesta. OECD-ov projekt kolnika s dugotrajnim trajanjem [13] procjenjuje da li očekivani troškovi održavanja i sanacije te troškovi korisnika postojećih cesta ekonomski opravdavaju izgradnju dugotrajnog kolnika. Da bi izgradnja takvog kolnika bila opravdana, smanjenje troškova održavanja i ostali povezani troškovi (poput cestarina) morali bi nadoknaditi povećane troškove izgradnje. Doneseni su zaključci o tome koji bi materijali bili najprikladniji za izradu gornjih slojeva dugotrajnih kolnika.

Cilj je druge faze projekta bila realno procijeniti prikladnost predloženih građevnih materijala za primjenu u gornjim slojevima kolnika s dugim trajanjem. Postoji pomak u smislu ugovaranja poslova za odražavanje cesta tijekom cijelog uporabljivosti, što značajno pridonosi smanjenju troškova. Povećanje broja dugoročnih prema broju kratkoročnih ugovora pridonijelo je razvoju kolnika s dugim trajanjem. Pri projektiranju i izgradnji takvog kolnika treba uzeti u obzir njegova svojstva u cjelini, od habajućeg (gornjeg) sloja pa sve do posteljice.

Projekt OECD usmjeren je na površinski (habajući) sloj kolničke konstrukcije. Kao dio prve faze projekta, provedena je ekonomska analiza. Rezultati pokazuju da se razvojem novih površinskih slojeva za dugotrajne kolnike koji su projektirani za teško prometno opterećenje mogu očekivati značajne ekonomske uštede. Kod cesta s teškim prometnim opterećenjem ekonomski bi bila isplativa varijanta gradnje

površinskih dugotrajnih slojeva koji su približno tri puta skuplji od tradicionalnih habajućih slojeva. To vrijedi za uporabljivost od 30 godina, diskontnu stopu od 6 posto i prosječni dnevni promet (AADT) od najmanje 80 tisuća vozila dnevno. Provedeni proračuni pokazali su da bi trostruko povećanje troškova izgradnje gornjeg sloja značilo povećanje ukupnih troškova ceste do 25 % (kolnička konstrukcija + zemljani radovi + odvodnja + horizontalna signalizacija + sigurnosne ograde). Ako se u izračun uključe i troškovi održavanja mostova i tunela na promatranjoj dionici ceste, veći troškovi za gradnju habajućeg sloja kolnika imali bi još niži utjecaj na ukupne troškove gradnje autoceste (10 do 15 %). Uzima li se u obzir potpuno nova cesta, taj postotak bi bio čak i niži kada bi se u obzir uzeli ukupni troškovi konstrukcije, kupnja građevnog zemljišta i cijena projektiranja.

Površinski slojevi s dugim trajanjem, razmatrani tijekom prve faze OECD projekta, do danas nisu našli svoje mjesto u općoj upotrebi. Završeno je samo nekoliko manjih probnih projekata. Znanstvenici su zaključili da postavljene uvjete mogu ispuniti tek dvije vrste građevnih materijala, a to su epoksidni asfalt i visokovrijedni cementni materijali.

- **Epoksidni asfalt:** Postoje podaci o terenskim mjerenjima te opažanja o ponašanju epoksidnih asfalta na mostovima u nekoliko zemalja. Neki od njih i dalje su u upotrebi, nakon više od 60 godina korištenja.
- **Visokovrijedni cementni materijali s epoksidnim slojem:** za visokovrijedne cemente materijale (eng. *high-performance cementitious materials* - HPCM) dostupni su podaci laboratorijskih ispitivanja, i sastoje se uglavnom od rezultata ispitivanja čvrstoće, a dobivene vrijednosti su obećavajuće. Potencijalne slabosti tog materijala su bučnost, loša drenažna svojstva te niža otpornost na klizanje, a te nedostatke treba uzeti u obzir u fazi tehnološkog razvoja materijala.

U okviru druge faze OECD projekta "Površinski slojevi s dugim trajanjem" u devet zemalja proučavana je mogućnost primjene epoksidnih asfalta i visokovrijednih cementnih materijala. Rezultati laboratorijskih i ALT ispitivanja potvrdili su potencijalnu primjenu epoksidnog asfalta, prije svega na dionicama autocesta s teškim prometnim opterećenjem. Ispitivanja su pokazala da visokovrijedni cementni materijali imaju vrlo dobra mehanička svojstva, te se mogu koristiti kao alternativno rješenje. Treća faza projekta obuhvatila je terenska ispitivanja u Francuskoj, Novom Zelandu i Ujedinjenom Kraljevstvu provedena između 2009. i 2012. godine. Primjena tehnologije epoksidnog asfalta dala je zadovoljavajuće rezultate, što upućuje na mogućnost prijenosa te tehnologije za površinske slojeve s kolnika mostova na kolnike cesta na industrijskoj razini. Tehnologija visokovrijednih cementnih materijala nije se pokazala povoljnom metodom, jer je tehnologiju teško primijeniti na industrijskoj razini.

3.3. Trajni kolnici (Perpetual pavement)

Ekonomski odbor za kolnike (eng. *The Pavement Economics Committee* - PEC) u Sjedinjenim Američkim Državama nastoji

razviti podršku za prikupljanje znanstvenih podataka koji mogu pozicionirati asfalt kao primarni materijal za izgradnju kolnika [14]. Posebna radna skupina formirana 2013. radila je na razvoju materijala koji bi pridonijeli diseminaciji rezultata istraživanja PEC-a među različitim interesnim skupinama. Projekt je pokazao da se u većini američkih država podcjenjuje uporabljivost savitljivih kolnika jer se obično procjenjuje na 10 do 15 godina. Međutim, podaci prikupljeni sa stotinu promatranih dionica cesta pokazuju da je prosječna uporabljivost 17,5 godina. Kriterij za trajne kolnike [15] uključuje trajnost kolničke konstrukcije najmanje 50 godina; tzv. *bottom up* projektiranje i građenje takvih konstrukcija, otpornost materijala na zamor, obnovljivi površinski sloj, povećanu otpornost na pojavu kolotruga, sigurnu voznu površinu i visoke standarde zaštite okoliša. Nema potreba za skupim obnovama kolnika. Vlačno naprezanje se minimalizira povećanjem debljine kolnika. Relativno deblji sloj asfalta omogućava niže vrijednosti naprezanja, a vrijednosti naprezanja niže od dopuštenih osiguravaju dugotrajnost kolnika.

Istraživanja provedena u Americi koja se temelje na rezultatima prikupljenih na stvarnim dionicama kao i u postrojenjima za ubrzano starenje kolnika (ATL) pokazala su da se kolotrasi kod trajnih kolnika pojavljuju isključivo u gornjim asfaltnim slojevima. Kolnici lokalnih cesta bi se također mogli projektirati kao trajni, a to se može postići povećanjem debljine asfaltnih slojeva za 25 do 35 %. Svaka Američka savezna država ili grad/općina može dobiti nagradu za trajni kolnik (Perpetual Pavement Award), ako se ispune sljedeći kriteriji:

- kolnik mora biti star najmanje 35 godina
- gornja dva sloja kolničke konstrukcija izgrađena su od vruće ili tople asfaltne mješavine
- eventualne sanacije kolnika tijekom proteklih 35 godina nisu povećale debljinu kolnika za više od 100 mm.

Ovdje se navode neki od američkih istraživačkih projekata koji su istraživali trajne asfaltne kolnike [16, 17]:

- *PaveM* sustav upravljanja kolnikom (razvoj i primjena) uključivao je promjenu reaktivnog na proaktivno održavanje i sanaciju za potrebe održavanja daljnjih deset godina. U sklopu projekta integrirane su baze podataka Caltrans i automatizirano istraživanje stanja kolnika za cijelu državu.
- Nadalje se razvija mehanička metoda projektiranja pomoću CalME softverskog programa razvijenog od strane Caltrans/UCPRC, a koji koristi mehaničko-empirijsku metodu za analizu i projektiranje savitljivog kolnika.
- Ispituju se svojstva veziva i asfaltnih mješavina i razvijaju specifikacije za njihovu širu primjenu (vezano za mehaničku metodu projektiranja i ispitivanja na više razina).

- Primjena novih asfaltnih (bitumenom vezanih) mješavina uključuje i inovacije u tom području, široku primjenu recikliranih asfaltnih materijala, veću primjenu recikliranih automobilskih guma, metode i aditive za recikliranje trajnih kolnika te primjenu asfaltnih/cementnih i drugih hibridnih materijala.

4. Zaključak

Posljednjih godina investicije su u prometnu infrastrukturu u mnogim državama rasle sporije nego što je to zahtijevao porast prometa na cestama. Nastavak takvog trenda dovest će do nepovoljnih ishoda, uključujući i ekspanzionalno povećanje intenziteta prometa na autocestama. Stručnjaci se slažu da će navedeno rezultirati povećanjem broja cesta s teškim prometnim opterećenjem, a time će se povećati potreba za gradnjom dugotrajnih kolnika, čak i ako ukupni troškovi izgradnje budu dodatno opteretili proračun autocesta [18].

Zasad se na cestama s teškim prometnim opterećenjem svakih 10 do 12 godina, ovisno o lokalnim uvjetima i ograničenjima, provodi sanacija kolnika zamjenom površinskog sloja. Tijekom toga razdoblja provode se redovite aktivnosti održavanja, uključujući sanacije poput izvedbe zakrpa i zapunjavanja pukotina, što može prouzročiti potpuno ili djelomično zatvaranje ceste. Vrlo često troškovi održavanja i osiguravanja pravilnog funkcioniranja kolnika nadmašuju početne troškove njegove izgradnje. Prilikom planiranja proračuna za autoceste, troškovi budućih održavanja kolnika često su prihvatljiviji od većih početnih troškova gradnje ceste.

Osim troškova za održavanje cesta, a koje snose uprave za ceste, postoje i troškovi korisnika ceste. To se posebno odnosi na ceste s velikim prometnim opterećenjem na kojima aktivnosti mogu uzrokovati zastoje u prometu i ometati normalni prometni tok.

Unatoč mjerama održavanja, troškovi korisnika, koji uključuju troškove prometnih operacija, troškove zbog zastoja u prometu i troškove prometnih nesreća, vrlo su visoki i kontinuirano rastu. Stoga su sve veći pritisci na vlasti da se grade kolnici s dugim trajanjem koji zahtijevaju manje troškove održavanja i, dugoročno gledano, štede znatna financijska sredstva.

Tri projekta koja su prikazana u ovome radu samo su dio napora stručnjaka diljem svijeta, koji se bave razvojem tehnologija za produljenje uporabljivosti kolnika, kako bi se zadovoljili zahtjevi cestovnog prometa i potrebe za smanjenjem financijskih troškova ceste u 21. stoljeću.

LITERATURA

- [1] Gáspár, L.: "Objective" Evaluation of a Highway Contractor's Performance. *International Journal of Constructive Research in Civil Engineering*, 1 (2015) 1, pp. 34-46.
- [2] Visintine, B.A., Beth, A., Hicks, R.G., Cheng, D., Elkins, G.E., Groeger, J.: *Factors Affecting the Performance of Pavement Preservation Treatments*. 9th International Conference on Managing Pavement Assets, Washington D. C., USA, 2015.
- [3] Otim, G., Alinaitwe, H.M.: *Factors Affecting the Performance of Pavement Road Construction Projects in Uganda*, Proceedings of SB13 South Africa Conference, Pretoria, 2014.
- [4] Luskin, D., Walton, C.M.: *Effects of traffic size and weights on highway infrastructure and operations: a Synthesis report*. Research Project 0-2122. Texas Department of Transportation, Austin, TX, 2001.
- [5] Gáspár, L.: *Útgazdálkodás. (Road management) Akadémiai Kiadó (Academy Press)*, 2003 (In Hungarian)
- [6] *FORMAT Fully Optimised Road Maintenance*. Project funded by the European Community under the „Competitive and Sustainable Growth Programme”, Final Technical Report, 2005.
- [7] *ELLPAG (European Long-Life Pavement Group) Phase 1: Fully Flexible Pavements*, Final Report, FEHRL working group, Brussels, 2003.
- [8] Ferne, B., Nunn, M.: *The European Approach to Long Lasting Asphalt Pavements: A state-of-the-art review by ELLPAG*. ORITE International Conference on Perpetual Pavements, Columbus, Ohio (USA), 2006.
- [9] *ELLPAG Phase 2: A Guide to the Use of Long-life Semi-Rigid Pavements*, Final Report No.1, Brussels, 2009.
- [10] Merrill, D., Van Dommelen, A., Gáspár, L.: A review of practical experience throughout Europe on deterioration in fully flexible and semi-rigid long-life pavements, *International Journal of Pavement Engineering*, 7 (2006) 2, pp. 101-109, <https://doi.org/10.1080/10298430600619117>.
- [11] Gáspár, L., Bencze, Z.: *Long-life Pavements European & American Perspectives*, NBM&CW Advancements in Road and Bridge Technologies, (2018) 9, pp. 1-7.
- [12] *COST Action 333: Development of a new bituminous pavement design method*. Final Report of Action, European Commission, Brussels, ISBN 92-828-6796-X.
- [13] *International Transport Forum: Longlife Surfacing for Roads: Field Test Results*, ITF Research Reports, OECD Publishing, Paris, 2017, <https://doi.org/10.1787/9789282108116-7-en>.
- [14] *The Road Ahead. The Asphalt Pavement Industry Commitment to Research*. Research Project Summary. Pavement Economics Committee, NAPA, USA, 2018. www.AsphaltPavement.org
- [15] *Perpetual pavements*. Asphalt Institute, North Dakota Asphalt Conference, Bismarck, ND, 2010.
- [16] Harvey, J.: *New asphalt pavements research and long-life (perpetual) asphalt*. University of California, Pavement Research Center, Davis – Berkeley, CalAPA, Ontario, CA, 2015.
- [17] Harvey, J.: *Heavy Duty Pavement Design Using CalME*. University of California, Pavement Research Center Davis - Berkeley, 16th AAPA International Flexible Pavement Conference, Gold Coast, Australia, 2016.
- [18] Gáspár, L., Horvát, F., Lublóy L.: *Közlekedési létesítmények élettartama. (Duration of transport facilities) UNIVERSITAS-Győr Nonprofit Kft*, 2011 (In Hungarian).