

POLIURETANSKE PRIJELAZNE NAPRAVE ZA MOSTOVE

# Prednosti potvrđene ispitivanjima i probnim ugrađivanjima

PRIPREMIO:  
Gustav Gallai, Austrija

Nedostaci su prijelaznih naprava s asfaltnim vezivnim materijalom što im je materijal tvrd pri niskim temperaturama, a na visokim temperaturama ima sklonost plastičnim deformacijama

Uobičajeni materijal za elastične (fleksibilne) prijelazne naprave na mostovima sastoji se od bitumenskih mješavina, sastavljenih od agregata i elastomerno-modificiranih veziva, pa su za potrebne povezanosti agregata i veziva pri ugradnji nužne visoke temperature. Sve su asfaltne mješavine na višim temperaturama osjetljive na plastične deformacije, uključujući i pojavu kolotruga, što može na niskim temperaturama prouočiti znatne protuudarne sile, ali i ograničiti primjenu u područjima s umjerenom klimom. U praksi asfaltne prijelazne naprave često otkazuju na spojevima s kolnikom, a to može uzrokovati stvaranje pukotina i procurivanja tekućina.

Stoga je novi sustav elastične prijelazne naprave, koji je proizveden u tvornici *Reisner & Wolff Engineering* u Welsu u Austriji, a prikazan na konferenciji IABSE (International Association for Bridge and Structural Engineer) u Sharm El-Sheikh u Egiptu od 7. do 9. svibnja 2012., velik napredak. Taj sustav, nazvan *Polyflex Advanced PU*, ne stvara nikakve probleme na spojnim presjecima (površina kolnika – prijelazna naprava) jer primjenjuje novi materijal od poliuretana koji je otporan na temperaturne promjene i ne zahtijeva visoke temperature na mjestu ugradnje. Nova se poliuretanska prijelazna naprava može stoga primijeniti i pri većim klimatskim promjenama i složenijim geometrijskim oblicima, primjerice kod željezničkih mostova. Ujedno dopušta i veća pomicanja (veća od 100 mm), a ima i duži vijek trajanja. Elastične prijelazne naprave s modificirani

polimernim-bitumenom imaju široku primjenu na betonskim mostovima za male pomake (do 40 mm). Ne uzrokuju buku i jednostavnog su oblika te se lako i jednostavno ugrađuju.

**Nova je prijelazna naprava otporna na temperaturne promjene i ne treba visoke temperature kod ugradnje pa se primjenjuje u svim uvjetima i geometrijskim oblicima, a dopušta i veće pomake**

Prijelazne naprave s asfaltnim vezivnim materijalom imaju u primjeni nekoliko nedostataka. Materijal je vrlo tvrd pri niskim temperaturama, što znači da mogu procuriti, posebno na dijelovima koji nisu izravno izloženi prometu, a uzrokuju i velike udarne sile koje valja pridodati pri projektiranju mosta. Ujedno na visokim temperaturama materijal i ima sklonost plastičnim deformacijama. Zbog toga se, ovisno o nacionalnim propisima u Europi, asfaltne prijelazne naprave ne mogu ugrađivati na autocestama i prometnicama gdje se pojavljuju česta ubrzanja i kočenja, primjerice u blizini autobusnih stanica, nadomak semafora i sl., ali se ne mogu rabiti ni kod željezničkih mostova kod kojih su kolosijeci izvedeni sa zastorom od tučaničkog materijala. Osim toga, asfaltne prijelazne naprave obično imaju vijek trajanja kao i okolni zastor, što može biti i manje od pet godina pri velikim prometnim opterećenjima.

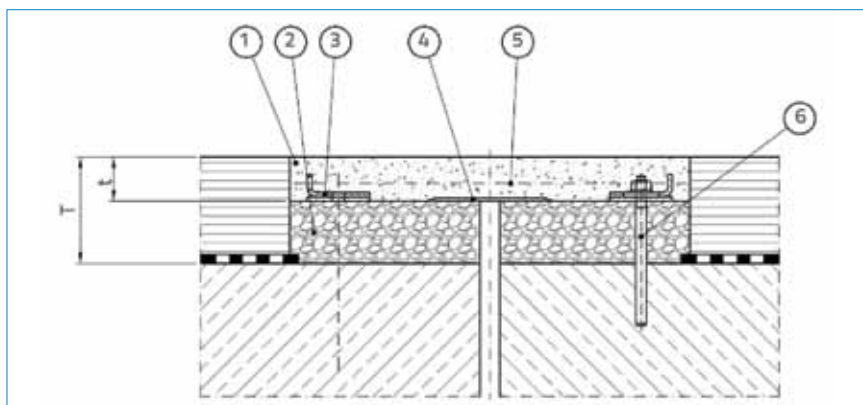
## Opis nove poliuretanske prijelazne naprave

Ispuna se poliuretanske elastične prijelazne naprave sastoji od dvije komponente poliuretana u tiksotropnim (polukrutim) uvjetima i zaštićena je od rastvarača. Komponente se miješaju bez zagrijavanja (hladni postupak) i spremne su za ugradnju na temperaturama iznad 5 °C. Vrijeme ugradnje ovisi o temperaturi, pa se može planirati promet 24 sata nakon ugradnje na 20 °C i nakon 48 sati na 10 °C.

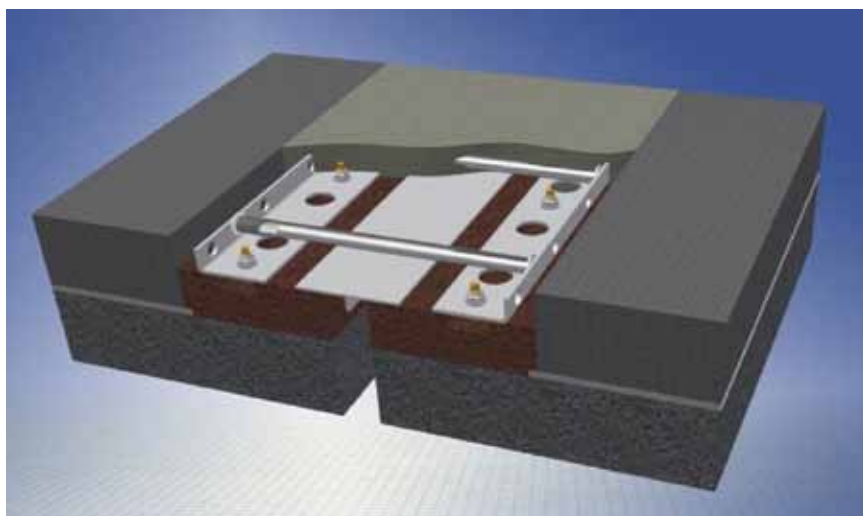
Na materijalima su izvedena različita laboratorijska ispitivanja, poput čvrstoće prianjanja na različitim površinama kao što su beton, polimerni-beton, čelik i asfalt. Utvrđene su vrijednosti i na niskim temperaturama bile vrlo visoke i pokazivale su otpornost na odljepljivanje, što za posljedicu ima sprječavanje mogućnosti da tekućina procuri kroz prijelaznu napravo.

**Izvedena su i laboratorijska ispitivanja, poput čvrstoće prianjanja na različitim površinama kao što su beton, polimer-beton, čelik i asfalt, a na niskim je temperaturama uočena otpornost na odljepljivanje**

Čelični kutni profili, vijci i pokrivna ploča izrađeni su od uobičajenog konstrukcijskog čelika i isporučuju se toplo pocinčani. Klizni element koji dopušta veće pomake sastoji se od pokrivne ploče i kreće se ispod polietilenske folije. Mogući zamjenski elementi za stabilizaciju izrađuju se od profila konstrukcijskog čelika obloženog fleksibilnom polietilenskom cijevi. Izbušeni čelični kutni-



Karakteristični poprečni presjek: 1 - poliuretanska ispunna prijelazne naprave, 2 - podloga od polimernog-betona ili betona, 3 - čelični kutnik, 4 - ploča i klizni element, 5 - elementi za stabilizaciju, 6 - vijci za pričvršćivanje kutnika



Aksonometrijski prikaz poliuretanske prijelazne naprave

#### Tipične fizikalne karakteristike poliuretanske mješavine

Odnos komponenti u mješavini	1:10
Gustoća	1,05 g/cm <sup>3</sup>
Tvrdoća	~65 Sh
Zatezna čvrstoća	14 N/mm <sup>2</sup>
Izduživanje	650 %
Čvrstoća trganja	20 N/mm
Vrijeme obrade na 10 °C	40 min
Vrijeme obrade na 20 °C	30 min
Vrijeme obrade na 30 °C	20 min
Vrijeme ponovne obrade na 10 °C	9 h (minimalno)
Vrijeme ponovne obrade na 20 °C	6 h (minimalno)
Mogućnost započinjanja prometa na 10 °C	48 h (maksimalno)
Mogućnost započinjanja prometa na 20 °C	24 h (maksimalno)
Potpuna ugradnja na 10 °C	5 dana
Potpuna ugradnja na 20 °C	4 dana
Temperatura zraka i konstrukcije	5 do 35 °C
Dozpuštena vlažnost	90 % (maksimalno)

ci oslobađaju bokove od opterećenja i održavaju vezu s okolnim zastorom, a njihove perforacije osiguravaju bolju ugradnju i povezivanje s ispunom. Takvi elementi za stabilizaciju održavaju ravnomjernost u svakom položaju i nužni su samo za najveće pomake.

Novi se sustav poliuretanske prijelazne naprave već više od dvije godine ugrađuje u Austriji, Velikoj Britaniji i Italiji i ne pokazuje nikakve znakove habanja. Ujedno je izveden velik broj laboratorijskih ispitivanja radi unapređivanja detalja i ispitivanja pomicanja uz dopuštene linearne otklone kako bi se zadovoljili propisani zahtjevi za sigurnu uporabu. Zbog nedostatka odgovarajućih propisa, za novi je proizvod bila nužna suglasnost nacionalnih službi za donošenje tehničkih propisa. Austrijsko nacionalno povjerenstvo za tehničke propise i EOTA (European Organisation for Technical Approvals) propisali su postupke za sve osnovne zahtjeve prema Austrijskim smjernicama za prijelazne naprave (RVS 15.04.51) i osnove 032, dio 3 ETAG-a (European Technical Approval Guideline). Postupak za dobivanje europskoga usuglašenog dokumenta jest osnova za izdavanje Europskoga tehničkog odobrenja nazvanog CUAP (Common Understanding Assessment Procedure). Trenutačno je u postupku zahtjev za dobivanjem oznake CE (franc. Conformité Européenne - Europska sukladnost) što je uvjet za dobivanje Europskoga tehničkog dopuštenja (ETA – European Technical Approval) i za cestovne i za željezničke mostove.

#### Analiza i provjera sustava

##### Mehanička otpornost

Na Tehničkom sveučilištu u Münchenu (TUM – Technische Universität München) izvedeno je ispitivanje probnim opterećenjem od 150 kN preko kotača vozila (pneumatika) na izrađenom uzorku sustava prijelazne naprave (1:1) koji je postavljen u položaj najvećeg otvora. Kontaktni je tlak bio 0,94 MPa, temperatura uzorka 23 °C, a dužina uzorka približno 1 m. Ispitivanje je izvedeno u skladu s RVS-om i prijedlogom smjer-



Ispitivanje mehaničke otpornosti na TUM-u u Münchenu

nica ETAG 032 (dio 3, aneks 3M metoda) i mjerene su deformacija nakon opterećenja i moguća krivulja oporavka. Pri ispitivanju su izmjerene maksimalne deformacije od 0,5 mm, odmah nakon rasterećenja. Tijekom jednog sata nakon uklanjanja opterećenja, zabilježen je potpuni elastični povratak testirane površine. Vizualno nisu uočena oštećenja niti neke druge promjene.

*Otpornost na zamor*

Drugi je uzorak sustava prijelazne naprave, također u omjeru 1:1, podvrgnut drugom ispitivanju u istom ispitnom roku na TUM-u. U skladu sa spomenutim prijedlogom smjernica ETAG-a izvedeno je ispitivanje ponavljanja kotrljanja preko uzorka na povišenoj temperaturi od 45°C. Kontaktni pritisak kotača vozila iznosio je 1,0 MPa. Broj je prijelaza iznosio 3030, gdje je 30 prijelaza (kotrljanja) izvedeno s dodatnim povećanjem horizontalne sile od 10 posto kako bi se simuliralo kočenje. Nakon ispitivanja nisu zabilježeni pritisci niti odvajanja odnosno odljepljivanja. Tako

su ispunjeni svi zahtjevi za sigurnost. Kao rezultat iskustava u Europi s istim procedurama ispitivanja za asfaltnu prijelaznu napravu i na osnovi nacionalnih propisa, takvo bi ispitivanje na višim temperaturama trebalo omogućiti kategorizaciju radnog vijeka od približno 15 godina. Kao dodatak, izvedeno je standardno ispitivanje stvaranja kolo-traga na 60°C, u skladu s EN 12697-22. Priložene fotografije daju dojmljive primjere tradicionalnih asfaltnih materijala uspoređenih novim *Polyflex advanced PU* sustavom za prijelazne naprave. Slika 3. Uobičajena prijelazna naprava nakon 100 ciklusa ispitivanja na 60 °C (a), novi poliuretanski materijal nakon 30.000 ciklusa na 60 °C (b)

*Karakteristike pomicanja*

Radi ocjenjivanja kapaciteta pomicanja prijelaznog sustava, izvedeno je ispitivanje na uzorku (u omjeru 1:1) u laboratorijskim uvjetima na Njemačkom federalnom institutu za istraživanje i ispitivanje materijala (BAM – Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung) u Berlinu, također u skladu s prijedlogom smjernica ETAG-a (032, dio 3, aneks 3N). U tom je slučaju obavljeno ispitivanje čitavoga deklariranog pomaka između maksimalnog izduživanja i maksimalnog skupljanja po posebnim uvjetima u kojima je temperatura sinkronizirano varirala između -40 °C i +60 °C, što je deklarirani temperaturni opseg za funkcioniranje sustava naprave. Tijekom ispitivanja zabilježene su vrijednosti reaktivnih sila i deformacija.



Ispitivanje kapaciteta pomicanja na BAM-u u Berlinu

Stajališta je europskih stručnjaka za zamor elastičnih prijelaznih naprava da ponovljena brza kretanja, koja su posljedica prometnog opterećenja i koja povećavaju ulegnuća konstrukcije moraju biti posebno provjerena. Prema tome je, a u skladu s prijedlogom smjernica ETAG-a, isti uzorak ispitivan na BAM-u u Berlinu u 7.500.000 sinusoidnih ciklusa s amplitudom od 1 mm, u uvjetima ambijentalne temperature pri frekvenciji od 5Hz.

Ispitane su i neobvezne dinamičke karakteristike na -40°C i ponašanje je novog materijala izvanredno, a uzorak nije pokazao nikakve neregularnosti ili zamor nakon ispitivanja



Ispitivanje otpornosti na zamor materijala: uobičajeni materijal nakon 100 ciklusa na 60 °C (lijevo), novi *Polyflex Advanced PU* nakon 30.000 ciklusa na 60 °C (desno)

Kao dodatak ispitane su i neobavezne dinamičke karakteristike na -40°C. Dinamičko je ponašanje novog materijala izvanredno, a uzorak nije pokazao nikakve neregularnosti ili zamor nakon ispitivanja. Da bi se potvrdili ekonomski učinci, ispitivanje s temperaturno kontroliranim pomakom između -40°C i +60°C nije trebalo ponavljati za cjelokupni proizvodni program koji pokriva sva ostala dopuštena pomicanja. Opisano

ispitivanje u BAM-u uzeto je kao kalibracija kinematičkog ispitnog okvira u tvornici *Reisner & Wolff Engineering* u Welsu u Austriji kako bi se mogli ispitati svi ostali tipovi i do pomaka od 135 mm, ali u uvjetima ambijentalne temperature.

#### Vodonepropusnost

Nakon ispitivanja pomaka sustava naprave moralo se obaviti i ispitivanje vodonepropusnosti, gdje je naprava u maksimalno otvorenom položaju izložena djelovanju vode u trajanju od 8 sati s visinom vodenog stupca od 50 mm iznad najviše točke naprave. Nakon ispitivanja nisu zabilježene pojave procurivanja ili bilo koja vrsta vlage ispod uzorka. Stoga je ispitivanje na BAM-u bila i potvrda vodonepropusnosti *Polyflex advanced PU* naprave nakon uspješno izvršenog ispitivanja pomicanja u maksimalno otvorenom položaju.



Ispitivanje vodonepropusnosti

#### Razlike razina na kolničkoj površini

Kako bi se provjerila sigurnost u primjeni, uzorak sustava spojnice (u omjeru 1:1) provjeren je prije ispitivanja. Provjereno je jesu li razlike u razinama kolničke površine od idealne linije povezanosti između dvije susjedne površine zastora u pravcu odvijanja prometa bez ikakvih izazvnih horizontalnih deformacija i nisu li u neopterećenim uvjetima veće od 5 mm u skladu s RVS-om i prijedlogom smjernica ETAG-a. Nakon opterećenja, razlike u razinama ne smiju biti veće od 10 mm i te provjere rađene su tijekom i nakon ispitivanja na zamor i ispitivanja kapaciteta pomaka, a rezultati su prikazani na priloženom dijagramu.

#### Dodatna ispitivanja

Na uzorku sustava prijelazne naprave izvedeno je i ispitivanje otpornosti površine na klizanje s pomoću prijenosnog ispitnog klatna (kako je opisano u EN 13036-4), upotrebom gumenog klizača CEN za kolnik i gumenog klizača 4S za pješačke staze. Ispitane su i karakteristike izdržljivosti na djelovanje kemikalija (u skladu s EN ISO 175), odnosno otpornost na djelovanje kemikalija poput ulja, goriva i agensa odmrzavanja. Ispitano je i starenje uzrokovano temperaturom, odnosno različite vrste temperaturnih ispitivanja (u skladu sa EN 13687-2, 13687-3 i 13687-5). Obavljeno je i ispitivanje na ultraljubičasto (UV) zračenje i vremenske uvjete, a bilo je to dugotrajno ispitivanje od 3030 sati (u skladu s TR 010) te na ozon (u skladu s ISO 1431), zamrzavanje i odmrzavanje (u skladu s EN 13687 do 1) te zamrzavanje i odmrzavanje sa solima za odmrzavanje.

#### Označavanje i osiguranje kvalitete

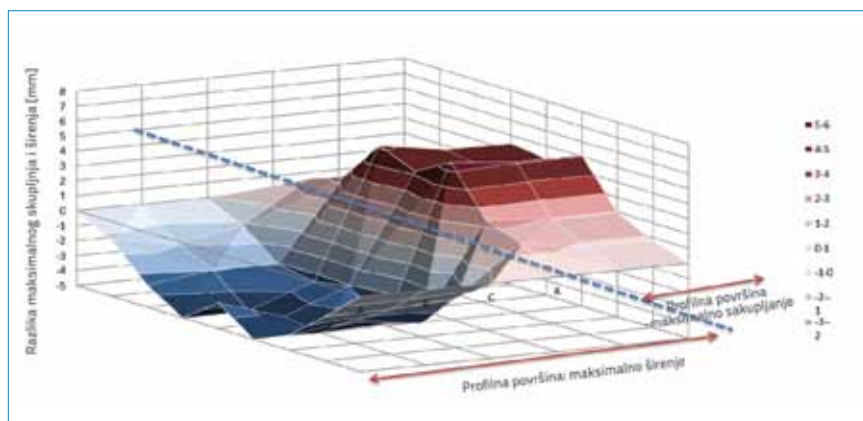
Nakon uspješno provedenih ispitivanja i provjera proizvod je dobio Europsko tehničko odobrenje (ETA) od tijela za odobrenja EOTA i nosi CE-oznaku. Za sustav osiguranja kvalitete koji se sastoji od sveobuhvatne kontrole treće strane i tvorničke kontrole proizvodnje, nacionalna odobrenja i ETAG 032 u pripremi bili su potrebni certifikati po CPD-u (Continuing Personal or Professional Development). Taj se sustav naziva i testiranje podobnosti procedure, a na-

mjena mu je osigurati da će specifikacija proizvoda koju je propisala ETA biti prihvaćena od strane proizvođača. Takav se sustav u tvornici u Welsu primjenjuje za sve proizvode još od 1960. zbog certifikata ISO 9001. Stoga i nije bio problem pridodati novi proizvod ostalim tipovima prijelaznih naprava i ležišta za mostove.

#### Probna postavljanja

Od 2009. godine deset je sustava elastičnih prijelaznih naprava *Polyflex advanced PU* ugrađeno u Austriji, Italiji i Velikoj Britaniji i otad je u uspješnoj uporabi. Za primjer može poslužiti kratak opis postavljanja prijelazne naprave u Londonu. Na raskrižju autoceste M25 i državne ceste A2 postojeća je mehanička naprava stvarala veliku buku. Zbog toga su Britanska agencija za autoceste kao vlasnik te konzultant i izvođači pozdravili novi *Polyflex advanced PU* sustav prijelazne naprave jer kolnička površina ne pokazuje nikakve otvore ili udubljenja koji uzrokuju pojavu gotovo neizdržljive buke.

Probno je ugrađeno desetak sustava, a prijelazna je naprava u Londonu ugrađena na raskrižju gdje je postojeća stvarala veliku buku pa sada nema ni udubljenja ni neugodnih zvukova



Rezultati provjere odstupanja od ravnine u najviše otvorenom i najviše zbijenom položaju





Detalj ugradnje nove prijelazne naprave

Spregnuta konstrukcija mostova ima dužinu 285 m i zahtjevi su za pomakom na oba upornjaka bili od 80 i 100 mm. *Polyflex advanced PU* naprava postavljena je u veljači 2011. na dnevnim temperaturama zraka od +3 °C do +8 °C, a temperatura je konstrukcija bila između +5 °C i 10 °C. U skladu s planom bilo je potrebno izvoditi traku po traku bez zaustavljanja prometa. Zajedno s ostalim radovima na konstrukciji, potpuni je promet mogao teći prema planu dva tjedna nakon početka



Most u Londonu na koji je ugrađena poliuretanska prijelazna naprava

radova. Dakako da su svi dijelovi izvedeni prema striktno previđenom planu.

### Zaključne napomene

Na temelju rezultata tijekom obavljenih ispitivanja za dobivanje odobrenja i praktičnog iskustva u nekoliko probnih ugrađivanja, može se zaključiti da sustav elastične (fleksibilne) prijelazne naprave *Polyflex advanced PU* ima iznimne značajke. U usporedbi s postojećim prijelaznim napravama koje su zasnovane na modificiranim poli-

mernim-bitumenskim mješavinama ima duži radni vijek, veću mehaničku otpornost i stabilnost, veći kapacitet pomicanja, širu primjenu (uključuje i željezničke mostove) te nema kolotraga, deformacija na višim temperaturama, ni odljepljivanja (odvajanja) ili procurivanja na nižim temperaturama, ali i ne stvara buku.

*Polyflex advanced PU* sustav elastične prijelazne naprave pokazao je kroz sveobuhvatna ispitivanja široku primjenu za pomake veće od 100 mm, zamjenjujući tako u cijelosti mehaničke naprave.

## NEW POLYURETHANE BRIDGE EXPANSION JOINTS

The usual bridge expansion joints are made from bituminous mixtures, with aggregates and elastomeric-modified joints, which require high temperatures at installation. However, there has been a significant progress in this field, resulting in a new system of bridge expansion joints created by the Austrian factory Reisner & Wolff Engineering in Wels, which applied polyurethane material which is resistant to temperature changes and which doesn't require high temperatures at installation. The system

is still being tested and awaiting certification, but the testing results and installation are already revealing numerous advantages. Among other, they have longer life span, bigger mechanical resistance and stability, larger mobility, much wider application, they do not contribute to formation of toe-ins and have no deformations caused by temperature changes. And last but not the least, they don't make additional noise.