

Želimir ŠIMUNIĆ, Ana DOLANJSKI  
Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet

# Primjena polimera u graditeljstvu

ISSN 0351-1871

UDK 678.06:691.17

Pregledni rad / Review article

Primljeno / Received: 10. 5. 2007.

Prihvaćeno / Accepted: 19. 9. 2007.

## Sažetak

U radu su navedeni osnovni polimerni materijali koji se uporabljaju za proizvodnju različitih konstrukcijskih elemenata. Analizirani su elastomerni ležajevi kako bi se zorno prikazao pristup projektiranju, proizvodnji, ugradnji i održavanju građevinskih proizvoda koji je u skladu s nizom europskih normi za konstrukcijske ležajeve EN 1337. U procesu proizvodnje i potvrđivanja građevinskih proizvoda od posebne je važnosti kontrola koju provode proizvođač i ovlašteno tijelo. Na primjeru ispitivanja posmične veze prikazani su osnovni uvjeti ispitivanja koje je potrebno zadovoljiti prema europskim normama.

### KLJUČNE RIJEČI:

elastomerni ležajevi  
ispitivanje posmične veze  
kontrola kvalitete  
ocjena sukladnosti  
održavanje  
polimerni materijali  
primjena  
proizvodnja  
projektiranje  
tipovi  
ugradnja

### KEY WORDS:

elastomeric bearings  
shear bond testing  
quality control  
conformity evaluation  
maintenance  
polymeric materials  
application  
production  
design  
types  
installation

## Application of polymers in civil engineering

### Summary

The paper offers a list of basic polymeric materials used in manufacturing of many different types of construction elements. Elastomeric bearings are analysed in order to fully explain the concept of design, production, installation and maintenance according to the European standards for structural bearings EN 1337. In the process of production and attesting of structural products, the control by the manufacturer as well as the certification body is of great importance. The basic conditions of testing which are obligatory accord-

ing to the European standards are given in the example of shear bond testing.

## Uvod / Introduction

Polimeri se zbog svojih karakterističnih svojstava kao što su relativno niska gustoća, lagana preradba, niska električna provodnost te dobra zvučna i korozivna zaštita sve više koriste kao konstrukcijski materijali. Zahvaljujući razvoju novih materijala i proizvodnih postupaka, polimeri su sve važniji materijal u graditeljstvu. U kombinaciji s klasičnim materijalima, npr. čelikom, to su danas nezaobilazni materijali kod nosivih elemenata građevinskih konstrukcija kao što su ležajevi i prijelazne naprave.

Cilj je ovoga rada istaknuti i obraditi građevinske proizvode od polimernih materijala koji su danas najviše u uporabi. U tablici 1 navedene su moguće primjene polimernih materijala u graditeljstvu.<sup>1</sup> Od kompozitnih materijala navode se samo oni proizvodi koji sadržavaju polimerne materijale kao temeljni sastojak koji onda uvelike utječe na svojstva kompozita. Prikazani su samo neki važniji proizvodi. U suvremenim građevinskim proizvodima rabe se uglavnom mješavine raznih vrsta i skupina polimernih materijala te su u tablici 1. navedene samo glavne skupine polimernih materijala.

Građevinski proizvodi koji sadržavaju polimerne materijale mogu se rabiti kao i svi drugi građevinski proizvodi samo ako je dokazana njihova uporabljivost. Na temelju dokaza uporabljivosti građevinskog proizvoda utvrđuje se ima li taj proizvod karakteristike prema kojima, uz odgovarajuće uvjete ugradnje u građevinu, zadovoljava važne zahtjeve za građevinu koje propisuje mjerodavno ministarstvo. Uporabljivost proizvoda dokazuje se ako je cjelokupni proizvodni proces od idejnog rješenja do finalizacije proizvoda pod stalnim nadzorom i zadovoljava postavljene uvjete koji su propisani određenom normom ili nekom drugom tehničkom specifikacijom.

Na primjeru elastomernih ležajeva za koje su izrađene usklađene europske norme prikazat će se svi postupci i procesi od zamisli do ugradnje i održavanja.

## Elastomerni ležajevi / Elastomeric bearings

Elastomerni ležajevi omogućuju pomake i zakretanja pojedinih dijelova konstrukcija deformiranjem elastomernog materijala te se uz relativno niske troškove proizvodnje i jednostavnu ugradnju upotrebljavaju kod mnogih suvremenih konstrukcija. Njihove karakteristike u velikoj mjeri ovise o karakterističnim svojstvima elastomernih materijala.

Već 1932. godine francuski inženjer Valette preporučuje primjenu gumenih ploča za ležajeve mostova s pomoću kojih želi eliminirati *tvrdu točku* konstrukcije mosta. U to se vrijeme na željezničkim mostovima izvode upornjaci koji se pri udaru oštećuju, a nije ih uspjela zaštititi ni primjena olovnih ležajeva. Konačni poticaj široj primjeni elastomernih ležajeva daje Freyssinet 1954. godine umetanjem čeličnih ploča između slojeva kaučukovih smjesa. Takav ležaj naziva se armirani elastomerni ležaj (AEL). Spajanjem tih materijala u kompozitni konstrukcijski element postiže se višestruko veća nosivost u odnosu na nearmirane elastomerne ležajeve (EL). Trajnost tih ležajeva procjenjivala se u počecima primjene na otprilike 20 godina, dok se danas, zbog primjene visokovrijednih kaučuka u smjesama, procjenjuje na 50 i više godina.<sup>2</sup>

TABLICA 1. Pregled primjene polimernih materijala i kompozita u graditeljstvu  
 TABLE 1. Application of polymeric materials and composites in civil engineering

ELEMENT (MATERIJALI) <i>ELEMENT (MATERIALS)</i>	PODRUČJA PRIMJENE <i>SCOPE OF APPLICATION</i>
LEŽAJEVI (kompoziti, elastomeri) <i>BEARINGS (composites, elastomers)</i>	mostovi, visokogradnja, industrijska postrojenja <i>bridges, building construction, industrial facilities</i>
PRIJELAZNE NAPRAVE (kompoziti, elastomeri) <i>EXPANSION JOINTS (composites, elastomers)</i>	mostovi <i>bridges</i>
BRTVILA (profili i smjese) (elastomeri i plastomeri) <i>SEALANTS (profiles and compounds) (elastomers and thermoplasts)</i>	brtvljenje spojnica mostova, stambenih zgrada i industrijskih postrojenja <i>sealing of joints of bridges, residential buildings and industrial facilities</i>
CIJEVI I FAZONSKI ELEMENTI (plastomeri, kompoziti, duromeri) <i>TUBES AND FITTING ELEMENTS (thermoplasts, composites, thermosets)</i>	vodovodne i kanalizacijske cijevi, elementi uređaja za pročišćavanje voda, plinovodi, poštanski vodovi, zaštitni kabeli <i>water and sewage pipes, water filtering elements, gas pipes, postal lines, protection cables</i>
ZVUČNO-ZAŠTITNI ELEMENTI (pjenasti materijali) <i>SOUND-PROTECTION ELEMENTS (foam materials)</i>	zidni i stropni elementi stambenih i industrijskih zgrada, koncertnih dvorana, skladišta, zvučna zaštita od buke prometa i gradilišta <i>wall and ceiling elements of residential and industrial buildings, concert halls, warehouses, sound protection against noise from traffic and construction sites</i>
TOPLINSKO-ZAŠTITNI ELEMENTI I OBLOGE (pjenasti materijali) <i>THERMAL-PROTECTION ELEMENTS AND PANELS (foam materials)</i>	stambene zgrade, dvorane <i>residential buildings, halls</i>
HIDROIZOLACIJA (plastomeri, duromeri) <i>HYDROINSULATION (thermoplasts, thermosets)</i>	betonske i zidane konstrukcije <i>concrete and masonry structures</i>
ZIDNI I KROVNI ELEMENTI (kompoziti, plastomeri, duromeri) <i>WALL AND ROOF ELEMENTS (composites, thermoplasts, thermosets)</i>	ploče i zidovi stambenih i industrijskih zgrada, kupole od sendvič-konstrukcija i sl., prozirni elementi, krovna odvodnja, ventilacija <i>panels and walls of residential and industrial buildings, domes of sandwich-structures, etc. transparent elements, roof drainage, ventilation</i>
VALOVITE PLOČE I TRAKE (kompoziti, plastomeri, duromeri) <i>CORRUGATED PANELS AND STRIPS (composites, thermoplasts, thermosets)</i>	fasadni elementi, krovni elementi, balkonske ograde <i>façade elements, roof elements, balcony balustrades</i>
PROFILNI ELEMENTI ZA OBLOGE (kruti pjenasti materijali, kompoziti) <i>PROFILED ELEMENTS FOR PANELLING (rigid foam materials, composites)</i>	fasadni elementi <i>façade elements</i>
PROZORI, VRATA (plastomeri, duromeri, kompoziti, pjenasti materijali) <i>WINDOWS, DOORS (thermoplasts, thermosets, composites, foam materials)</i>	stambene zgrade i industrijska postrojenja <i>residential buildings and industrial facilities</i>
PODNE I ZIDNE OBLOGE I SLOJEVI (plastomeri, duromeri, elastomeri) <i>FLOOR AND WALL PANELS AND LAYERS (thermoplasts, thermosets, elastomers)</i>	obloge i slojevi industrijskih postrojenja, garaža, dvorana, igrališta i stepenica <i>panelling and layers of industrial facilities, garages, halls, playgrounds and staircases</i>
KONSTRUKCIJE OD POLIMERNIH MATERIJALA I S POLIMERNIM MATERIJALIMA (kompoziti, plastomeri, duromeri) <i>STRUCTURES OF POLYMERIC MATERIALS AND WITH POLYMERIC MATERIALS (composites, thermoplasts, thermosets)</i>	kupole, ljuske, membrane, rešetkaste konstrukcije, stambene ćelije <i>domes, shells, membranes, lattice structures, residential cells</i>
OPLATE (pjenasti materijali, duromeri, kompoziti) <i>FORMWORK (foam materials, thermosets, composites)</i>	oplate betonskih konstrukcija, oplate za oblikovanje betonskih fasada <i>formwork of concrete structures, formwork of concrete façades</i>

UŽAD, KABLI (duromeri, plastomeri i kompoziti) <i>ROPES, CABLES (thermosets, thermoplasts and composites)</i>	ovještene konstrukcije, napuhane konstrukcije, zaštitni kabeli instalacija <i>cable-stayed structures, inflated structures, protection cables of installations</i>
LJEPILO (duromeri) <i>ADHESIVES (thermosets)</i>	lijepljenje drvenih, metalnih, kamenih i betonskih konstrukcija, lijepljenje polimernih proizvoda <i>adhesive bonding of wooden, stone and concrete structures, adhesive bonding of polymeric products</i>
MATERIJALI I ELEMENTI ZA POBOLJŠANJE KVALITETE TLA (plastomeri, duromeri i kompoziti) <i>MATERIALS AND ELEMENTS FOR IMPROVING THE SOIL QUALITY (thermoplasts, thermosets and composites)</i>	ojačanje i izolacija podloge ispod temelja, materijali za učvršćivanje pokosa, mreže za zaštitu pokosa, drenažni elementi <i>reinforcement and insulation of the base beneath foundations, materials for reinforcing slopes of embankment, nets for protection of slopes, drainage elements</i>
SANACIJSKI MATERIJALI (duromeri, kompoziti) <i>REPAIR MATERIALS (thermosets, composites)</i>	sanacija pukotina i oštećenih konstrukcija od betona, metala, kamena i opeke <i>repair of cracks and damaged structures made of concrete, metal, stone and brick</i>
KAPLJEVITI POLIMERI <i>LIQUID POLYMERS</i>	
IMPREGNACIJSKI MATERIJALI (silikoni) <i>IMPREGNATION MATERIALS (silicones)</i>	zaštita poroznih konstrukcija od upijanja vode i štete od biljaka i životinja, ojačanje tla <i>protection of porous structures against water absorption and damage from plants and animals, soil reinforcement</i>
MATERIJALI ZA ISPUNJAVANJE PORA (duromeri) <i>MATERIALS FOR FILLING UP PORES (thermosets)</i>	zaštita poroznih konstrukcija <i>protection of porous structures</i>
PREMAZI (duromeri) <i>COATINGS (thermosets)</i>	zaštita metala, betona, mortova, završni slojevi <i>protection of metal, concrete, plaster, finishing layers</i>

Ekonomična primjena elastomernih materijala zahtijeva poznavanje njihova kemijskog sastava, molekularne strukture, načina preradbe i fizikalnih svojstava.

Elastomerni ležajevi smatraju se neispravnima kada izgube svoju elastičnost i fleksibilnost koja je potrebna za dobro funkcioniranje ležajeva.

Čelične ploče sprečavaju vertikalne i poprečne deformacije elastomernog dijela kompozita od vertikalnog opterećenja te ležajevi postaju krući (slika 1). Budući da je kod elastomera kao i kod većine drugih polimera stanje razaranja ovisno o veličini deformacije, AEL ima bitno veće granično opterećenje i računsko naprezanje u odnosu na nearmirane elastomerne ležajeve.

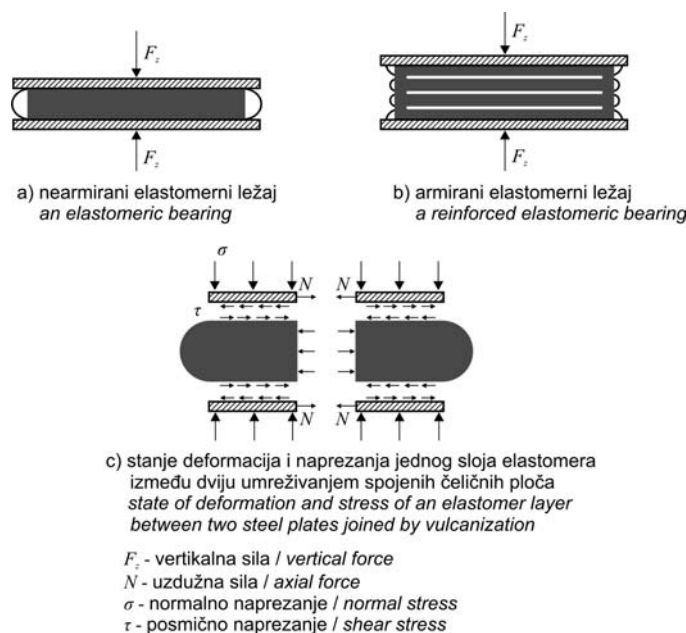
Trajnost AEL-a u velikoj mjeri ovisi o karakteristikama elastomernih slojeva koji ujedno zaštićuju čelične ploče od utjecaja atmosferilija. Danas se dobri rezultati s obzirom na trajnost postižu primjenom sintetskoga polikloroprenskog kaučuka za proizvodnju AEL-a. Prognoze vijeka trajanja za takve ležajeve temelje se uglavnom na podacima ispitivanja umjetnog starenja jer od početka njihove uporabe još nije prošlo dovoljno vremena da se utvrdi stvarno stanje.

Britanske norme preporučuju da se za vijek trajanja elastomernih ležajeva koji se primjenjuju kao prigušivači i izolatori u konstrukcijama uzme razdoblje od 50 godina. U Velikoj Britaniji se kao osnovni sastojak upotrebljava prirodni kaučuk. U Njemačkoj se pretpostavlja i dulji vijek trajanja elastomernih ležajeva s obzirom na to da se kao osnovni sastojak rabi polikloroprenski kaučuk.

Kako bi ove prognoze vijeka trajanja bile ostvarive, vrlo je važno ispravno projektiranje ležajeva s obzirom na opterećenja i pomake konstrukcije, njihova kvalitetna proizvodnja te pravilna ugradnja i održavanje.

Zahtjevi za kvalitetom i karakteristikama elastomernih ležajeva dani su u normi ISO 6446:1994.<sup>3</sup> Nedavno je prihvaćena i europska norma za elastomerne ležajeve EN 1337-3:2005, koja osim zahtjeva za

kvalitetom i karakteristikama elastomernih ležajeva propisuje i kriterije za projektiranje.<sup>4</sup>



SLIKA 1. Elastomerni ležaj (EL) i armirani elastomerni ležaj (AEL) pri centričnom opterećenju

FIGURE 1. An elastomeric bearing (EB) and a reinforced elastomeric bearing (REB) during centric loading

Kod svih tipova elastomernih ležajeva uz zahtjeve za trajnošću elastomernog dijela trebaju biti ispunjeni i zahtjevi za trajnošću ostalih dijelova ležaja. Tako, na primjer, kod elastomernih kliznih ležajeva treba biti osigurana i zadovoljavajuća trajnost čeličnih i kliznih elemenata.

## Projektiranje, proizvodnja, kontrola kvalitete, ugradnja i održavanje elastomernih ležajeva / Design, production, quality control, installation and maintenance of elastomeric bearings

Norma EN 1337-3:2005 odnosi se na elastomerne ležajeve s osnovnim sastojkom prirodnim kaučukom (e. *natural rubber*, NR) ili polikloroprenskim kaučukom (e. *chloroprene rubber*, CR), uz maksimalni 5-postotni dodatak nekoga drugog polimera. Čelične ploče za armirane elastomerne ležajeve kvalitete su čelika S 235.

Norma obuhvaća armirane elastomerne ležajeve tipa A, B i C, klizne armirane elastomerne ležajeve tipa D i E, nearmirane elastomerne ležajeve i trakaste ležajeve tipa F (tablica 2) maksimalnih tlocrtnih dimenzija 1 200 · 1 200 mm. Ležajevi se mogu rabiti pri temperaturama između -25 °C i +50 °C te u kraćim razdobljima pri temperaturi od +70 °C. U slučaju vrlo niskih uporabnih temperatura (do -40 °C), karakteristike ležajeva obvezatno moraju biti u skladu s modulom posmika pri vrlo niskim temperaturama.<sup>4</sup>

Norma EN 1337-3:2005 navodi zahtijevane karakteristike gotovih elastomernih ležajeva, postupke ispitivanja, zahtijevana svojstva upotrijebljenih sastojaka te postupak dokaza po graničnim stanjima.

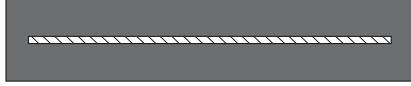
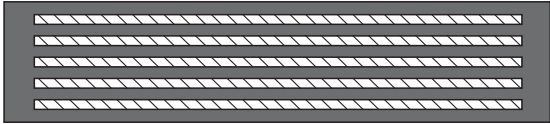
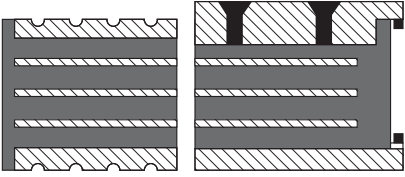
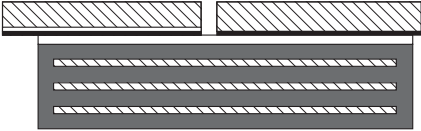
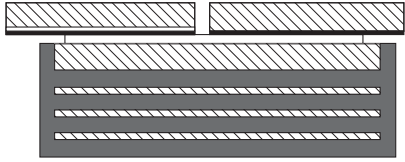
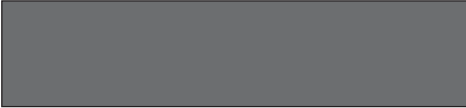
## Projektiranje / Design

Elastomerni ležajevi moraju se projektirati i proizvesti tako da elastičnom deformacijom omogućuju translaciju u svim smjerovima i rotaciju oko svih osi u skladu s računskim silama i pomacima koji su određeni proračunom cijele konstrukcije. Iako se u projektu elastomernih ležajeva omogućuju posmične deformacije, ova se vrsta ležajeva u pravilu ne koristi za prijenos stalne vanjske posmične sile. Elastomerni ležajevi mogu se kombinirati s kliznim elementima i uređajima za sprečavanje pomaka u jednom ili oba smjera. Osim zahtjeva iz norme EN 1337-2:2004, norma EN 1337-3:2005 postavlja još neke dodatne smjernice za klizne elemente u kombinaciji s elastomernim ležajevima.

Prema konačnom nacrtu europske norme EN 1337-3:2005, projektiranje elastomernih ležajeva provodi se za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti. Kada je riječ o graničnom stanju nosivosti, kontrolira se čvrstoća i stabilnost ležaja radi preuzimanja maksimalnih računskih opterećenja i pomaka konstrukcije. Kada je riječ o graničnom stanju uporabljivosti, dokazuje se da oštećenja ležaja koja mogu nastupiti neće utjecati na njegovo pravilno funkcioniranje ili rezultirati visokim troškovima održavanja tijekom predviđenog vijeka uporabe ležaja. U određivanju računске vrijed-

TABLICA 2. Tipovi elastomernih ležajeva prema normi EN 1337-3:2005

TABLE 2. Types of elastomeric bearings according to EN 1337-3:2005

	<p>Tip A: Armirani ležaj sa samo jednom čeličnom pločom potpuno obujmljenom elastomerom.</p> <p>Type A: <i>Reinforced bearing fully covered with elastomer comprising only one steel reinforcing plate.</i></p>
	<p>Tip B: Armirani ležaj s najmanje dvije čelične ploče potpuno obujmljene elastomerom.</p> <p>Type B: <i>Reinforced bearing fully covered with elastomer comprising at least two steel reinforcing plates.</i></p>
	<p>Tip C: Armirani ležaj s vanjskim čeličnim pločama (profiliranim ili za usidrenje).</p> <p>Type C: <i>Reinforced bearing with outer steel plates (profiled or allowing fixing).</i></p>
	<p>Tip D: Kao tip B, ali sa slojem PTFE-a (teflona) pričvršćenim za elastomer.</p> <p>Type D: <i>Type B with poly(tetrafluorethylene) sheet (PTFE) bonded to elastomer.</i></p>
	<p>Tip E: Kao tip C, s jednom vanjskom čeličnom pločom pričvršćenom za elastomerni sloj i PTFE-om upuštenim u čeličnu ploču.</p> <p>Type E: <i>Type C with one outer plate bonded to the elastomeric layer and PTFE sheet recessed in the steel.</i></p>
	<p>Tip F: Nearmirani elastomerni ležaj.</p> <p>Type F: <i>Plain pad bearing and strip bearing.</i></p>

nosti djelovanja uzima se u obzir utjecaj glavnih i dodatnih djelovanja te relativnih pomaka.

Nearmirani i trakasti ležajevi ne ugrađuju se na mostovima. EL-ovi su prikladni za manje pritiske i pretežno statička opterećenja. Minimalna zahtijevana debljina ovakvih ležajeva je 8 mm. Norma ograničava srednji pritisak na elastomer, posmičnu deformaciju ležaja te zahtijeva dokaz stabilnosti i kontrolu utjecaja na susjedne elemente konstrukcije analogno proračunu AEL-a uz određena pojednostavnjenja.

Armirani elastomerni ležajevi izvode se kao pravokutni ili okrugli, a za posebne namjene i eliptični ili osmerokutni, za koje su normom definirani posebni zahtjevi. Unutarnji elastomerni slojevi AEL-ova moraju biti jednake debljine, svaki između 5 i 25 mm, a vanjski slojevi deblji od 2,5 mm. Dimenzije AEL-ova normirane su samo za tip B.

Pravila projektiranja AEL-ova zasnivaju se na pretpostavci da je elastomer viskoelastičan materijal čiji je progib pod pritiskom opterećenjem ovisan o njegovu obliku te se u proračun uvodi faktor oblika  $S$  definiran kao omjer efektivne tlocrtne površine ležaja i površine neopterećene plohe, uključujući i rupe u elastomeru. Armaturne čelične ploče moraju se kemijski povezati s elastomernim dijelom ležaja kako bi se spriječio bilo kakav relativni pomak na vezi čelika i elastomera.

Kontrolira se sljedeće:

- maksimalna ukupna posmična deformacija
- maksimalno rastezno (vlačno) naprezanje u armaturnim pločama
- granični uvjeti za klizanje i zakretanje te stabilnost zbog izvijanja
- sile, momenti i deformacije pri djelovanju ležaja na konstrukciju.

Ukupnu deformaciju čine deformacije od pritisknog opterećenja, posmična deformacija zbog translacijskih pomaka te deformacija zbog zakretanja ležaja. Norma dopušta razgraničenje stalnog i korisnog opterećenja primjenom odgovarajućeg koeficijenta. Granične vrijednosti ukupne deformacije za granično stanje nosivosti definirane ovom normom izvedene su iz empirijske granične vrijednosti ukupne deformacije za granično stanje uporabljivosti i ne odnose se na maksimalnu vrijednost deformacije materijala pri lomu. Naime, elastomerni se ležajevi projektiraju uz zadržavanje daleko ispod granice čvrstoće materijala od kojega su načinjeni kako bi se uzeo u obzir zamor elastomernog materijala zbog cikličkog opterećenja, čime se omogućuje i preuzimanje izvanrednih opterećenja i deformacija.

Debljina armaturnih čeličnih ploča određuje se iz uvjeta ograničenja rastezanih (vlačnih) naprezanja, a ne smije biti manja od 2 mm.

Rotacija ležaja ograničena je odnosom vertikalnog progiba elastomernog ležaja pod pritiskom od vertikalnog opterećenja i pomaka krajnjih točaka ležaja zbog zakretanja koji moraju biti tri puta manji, čime se sprečava odvajanje na dodirnoj plohi ležaja i konstrukcije.

Kontrolom izvijanja ograničava se pritisno naprezanje u ležaju za granično stanje nosivosti.

Kontrola klizanja za neusidrene ležajeve odnosi se na minimalan pritisak zbog vertikalnoga stalnog opterećenja i maksimalnu rezultantnu horizontalnu silu u odnosu na odgovarajuće vertikalno djelovanje. U izrazu za faktor trenja uzima se u obzir materijal od kojega je izvedena susjedna površina. Definirane su relativno niske vrijednosti faktora trenja, a dopuštaju se i strože granice za izrazito dinamički opterećene konstrukcije (željeznički mostovi) ili glatke površine. Ako granični uvjeti za klizanje nisu zadovoljeni, usidrenje mora preuzeti cijelu horizontalnu silu.

Nadalje se ograničavaju utjecaji na susjedne elemente konstrukcije: srednji pritisak na dodirnoj površini mora biti manji od čvrstoće ma-

terijala susjednog elementa, kontrolira se rezultanta horizontalnih sila koje su posljedica otpora ležaja translacijskim pomacima, zatim povratni moment oko osi kroz središte ležaja paralelne s duljom stranicom ležaja te vertikalni progib. Točna vrijednost povratnog momenta može se odrediti samo eksperimentalno, tj. postupkom opisanim u dodatku norme.

Navedeni zahtjevi u sklopu proračuna ležajeva razlikuju se od proračuna prema u nas vrlo često primjenjivanoj normi DIN 4141-14 iz 1985. godine, ali su većinom kao novi koncept proračuna uvršteni u izdanje norme DIN 4141-14/A1 iz 2003. godine. Navedeno izdanje još dopušta primjenu starog koncepta, pri čemu je djelovanje na ležaj predstavljeno karakterističnom vrijednošću. Prednost staroga DIN-a je u njegovoj praktičnosti zbog preglednoga tabličnog prikaza normiranih dimenzija, računskih srednjih pritisaka i kutova zakreta elastomernog ležaja.

### Proizvodnja i kontrola kvalitete / Production and quality control

Ležajevi se, kao važni dijelovi konstrukcija, proizvode od visokovrijednih materijala i trebaju zadovoljiti stroge uvjete kvalitete materijala i gotovih proizvoda. Na temelju nadzora ovlaštene institucije nad proizvodnjom kod proizvođača ležajeva, obavljenih prethodnih ispitivanja te postignute visoke kvalitete ležajeva, proizvođač dobiva certifikat kojim se odobrava njihovo korištenje.

Proizvođač na temelju zahtijevanih svojstava elastomernog ležaja odabire prikladne materijale te u laboratoriju ispituje njihova fizikalna i kemijska svojstva. Ako svojstva materijala zadovoljavaju, odabire se prikladan proizvodni postupak te se izrađuju kalupi i uzorci proizvoda. Pritom se posebna pozornost posvećuje reološkim svojstvima kaučukovih smjesa u proizvodnom procesu. Na uzorcima se kontroliraju odstupanja od zahtijevanih dimenzija gotovog proizvoda te svojstva gotovog proizvoda.

Norma EN 1337-3:2005 definira tolerancije tlocrtnih dimenzija, debljine vanjskih i unutarnjih elastomernih slojeva ovisno o njihovoj debljini, ukupne visine ležaja, paralelnosti i ravnosti ploha ležaja i tlocrtnih dimenzija te debljine čeličnih ploča i debljinu zaštitnog sloja čeličnih ploča.

Ako kvaliteta probnih proizvoda zadovoljava, konstruira se konačno postrojenje za proizvodnju elastomernih ležajeva, pokreće se tipska proizvodnja te utvrđuje kvaliteta prve serije proizvoda. Na temelju probne proizvodnje provodi se reguliranje postrojenja.

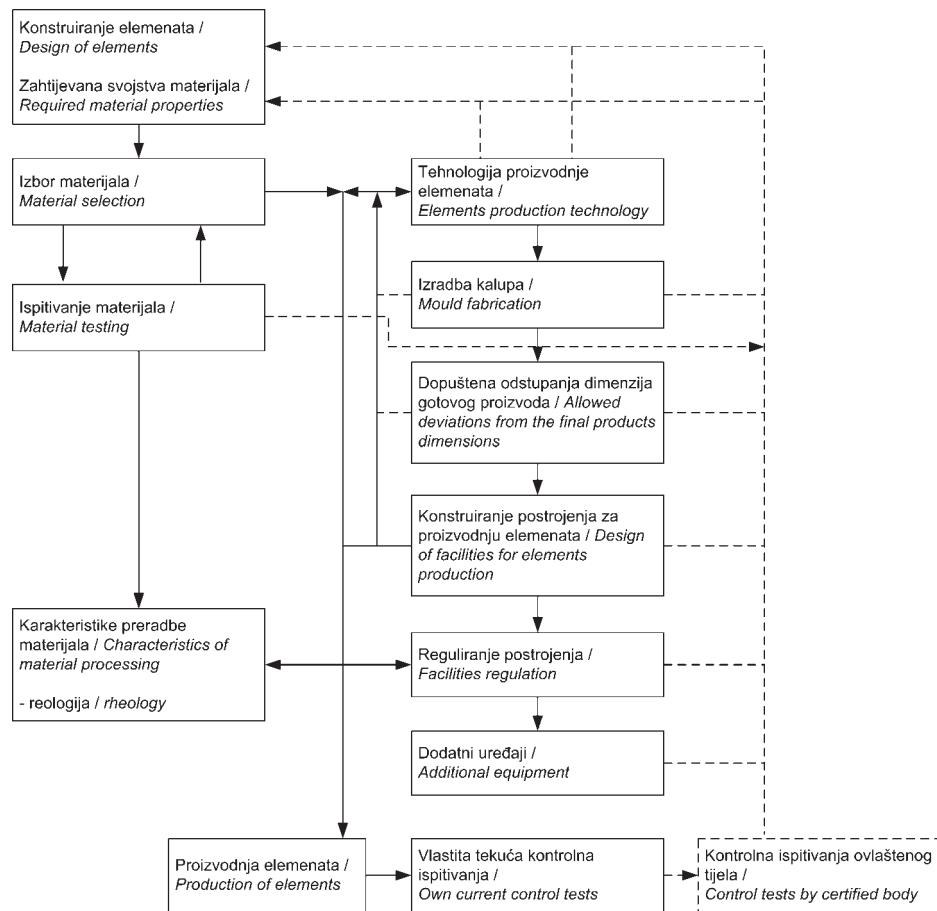
Tijekom svih opisanih procesa proizvođač obavlja vlastitu kontrolu u vlastitom ili uslužnom laboratoriju. Dobivenim rezultatima koristi se radi kontrole i unapređenja proizvodnje.

Postupak konstruiranja i dokazivanja uporabljivosti elastomernih elemenata prikazan je na slici 2.

Definirana su ispitivanja i pregledi za ocjenu i potvrđivanje sukladnosti proizvoda s ovom normom. Norma razlikuje tipska i rutinska ispitivanja.<sup>4</sup> Tipska se ispitivanja provode prije početka proizvodnje i obavlja ih ovlašten ispitni laboratorij te su definirane dimenzije ispitaka i učestalost ispitivanja. Rutinska ispitivanja kontinuirano provodi proizvođač te su za njih također definirane dimenzije ispitaka te učestalost njihova ispitivanja i ispitivanja gotovih ležajeva. Od proizvođača se također zahtijeva ispitivanje i pregled sastojaka koji se rabe za proizvodnju elastomernog dijela.

Detaljno su opisane metode ispitivanja te su dane granične vrijednosti za sljedeće karakteristike gotovih ležajeva:

- modul posmika  $G_g$  pri sobnoj temperaturi (23 °C), pri niskoj temperaturi (-25 °C), pri vrlo niskoj temperaturi (-40 °C) i nakon starenja (3 dana na 70 °C)



SLIKA 2. Postupak konstruiranja elemenata od elastomernog materijala  
 FIGURE 2. Process of producing an element made of elastomeric material

- b) čvrstoću posmične veze pri sobnoj temperaturi i nakon starenja (3 dana na 70 °C)
- c) pritisnu krutost (tipsko ispitivanje, rutinsko ispitivanje i vizualni pregled pri pritisnom opterećenju)
- d) otpornost na cikličko pritisno opterećenje (dinamička izdržljivost)
- e) statički kapacitet rotacije za ekscentrično opterećenje i određivanje povratnog momenta
- f) postojanost na djelovanje ozona
- g) čvrstoću posmične veze PTFE-a i elastomera.

Svaki elastomerni ležaj mora biti jedinstveno i pojedinačno numeriran na vanjskoj plohi. Na elastomerni ležaj mora biti umrežena oznaka s imenom proizvođača i brojem proizvoda koja je otporna na vodu i trošenje u normalnim uvjetima.

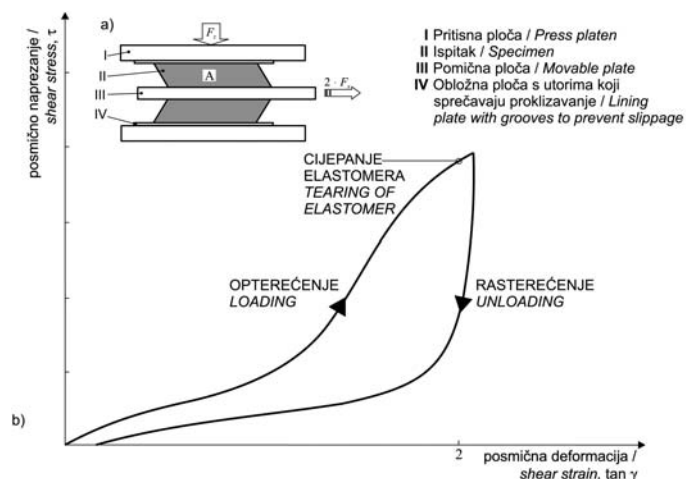
U ovom radu prikazat će se postupak ispitivanja posmične veze pri sobnoj temperaturi koji služi kao karakterističan primjer kontrole kvalitete elastomernog ležaja.

### Ispitivanje posmične veze / Shear bond testing

Pri određivanju kvalitete AEL-ova važna je veza između elastomernog materijala i armature. Ona se postiže odgovarajućim premazima čeličnih ploča i umreživanjem u proizvodnom procesu. Kontrola prijanjanja između ta dva materijala u praksi se provodi ispitivanjem na posmik (slika 3).

Ispitivanje posmične veze provodi se pri temperaturi od 23 °C ± 5 °C ili nakon starenja (3 dana pri 70 °C).

Ispitivanje je jednako kao i za modul posmika, osim što je pritisno opterećenje veće i uzrokuje veću posmičnu deformaciju od pritiska. U vremenu do doseganja minimalne vrijednosti posmične deformacije ( $\tan \gamma = 2$ ) ne smije doći do popuštanja veze između čelične ploče i elastomera.<sup>5</sup> Ispitivanje se može provesti na istim ispitnicima kojima je određen modul posmika.



SLIKA 3. Ispitivanje čvrstoće posmične veze  
 FIGURE 3. Shear bond strength testing

Uređaj za ispitivanje (slika 3.a) omogućuje stlačivanje dvaju ležajeva koji su jedan od drugoga odvojeni pomičnom pločom, pri čemu im je omogućena posmična deformacija u kontroliranim uvjetima.

Oprema bi trebala osigurati mjerenje pritisnog opterećenja i posmične sile, kao i posmične deformacije s odstupanjem  $\leq 2\%$  od maksimalne vrijednosti. Ploče za pritisak moraju biti dovoljno debele da spriječe bitno vitoperenje ( $< 1\%$  izmjerene deformacije ležaja) i njihove dimenzije moraju biti veće od dimenzija ispitka.

Između umreživanja i ispitivanja mora proći najmanje 24 sata.

Ispitci se tijekom ispitivanja postavljaju simetrično sa svake strane pomične ploče kako bi smjer posmične deformacije bio duž širine ležaja. Vrijednost srednjega pritisnog napreznja je 12 MPa.

Brzina prirasta posmičnih deformacija treba biti konstantna, maksimalnog iznosa 100 mm/min. Nakon prestanka djelovanja posmične sile, ležaj, još uvijek izložen pritisnom opterećenju, treba vizualno pregledati. Svako izbočenje koje može uzrokovati popuštanje posmične veze trebalo bi zabilježiti.

Rezultati se prikazuju u obliku dijagrama ovisnosti posmične sile o posmičnoj deformaciji, koji naznačuje točke otkazivanja (slika 3. b). Sve neispravnosti uočene vizualnim pregledom moraju se zabilježiti zajedno s njihovom pozicijom na ležaju.

### Ugradnja i održavanje / Installation and maintenance

Ležajevi se ugrađuju na sloj žbuke koji ima ulogu izravnavajućeg sloja. Samo elastomerni ležajevi bez vanjskih čeličnih ploča mogu biti postavljeni na nosivu površinu, koja mora biti čista i suha. Maksimalna visinska razlika iznosi 2,5 mm. Kod ugradnje je važno da se ležaj polaže na glatku, ravnu i horizontalnu podlogu. Velike lokalne deformacije koje se javljaju na površini zbog neravne podloge mogu uzrokovati pojavu napuklina koje se ubrzano šire zbog manje otpornosti tako oštećenog elastomera na kidanje. Zbog toga se npr. u Njemačkoj zahtijeva postavljanje čeličnih ploča iznad i ispod ležaja.<sup>6</sup>

Spoznaja o potrebi nadzora i održavanja ležajeva tijekom eksploatacije, budući da su oni važni nosivi sklopovi mosta, rezultirala je izradom posebne europske norme za nadzor i održavanje ležajeva EN 1337-10:2003. Prema toj normi predviđa se redoviti i glavni pregled (tj. nadzor) ležajeva.<sup>7</sup>

Redoviti pregled je vizualni pregled bez instrumenata i mjerenja koji se organizira u jednakim, razumno čestim vremenskim intervalima. Pri redovitom pregledu provjeravaju se:

1. ekstremne veličine preostalih pomaka u ovisnosti o vrsti ležaja i izmjerenoj temperaturi konstrukcije
2. vidljivi nedostaci:
  - napukline
  - nepravilan položaj ležaja
  - nepredviđeni pomaci i deformacije
3. stanje podloge i pričvršćenja ležaja
4. stanje zaštite od korozije, prašine i naslaga
5. stanje kliznih i valjkastih površina
6. vidljiva oštećenja dodatnih dijelova konstrukcija.

Glavni pregled obavlja se u intervalima (svakih 5 godina), a prvi je obavezan u prvoj godini uporabe objekta. Kontroliraju se iste stavke kao i pri redovitom pregledu, ali je pregled detaljniji te su propisane posebne kontrole za određene vrste ležajeva. Pri određivanju vremenskog intervala pregleda potrebno je slijediti nacionalne norme, specifične smjernice ili odgovarajuće priručnike. U pravilu je potrebno ležajeve pregledavati češće od ostalih dijelova konstrukcije te se u tom slučaju za ležajeve mogu odrediti kraći vremenski intervali pregleda kako bi se izbjegle moguće havarije. U slučaju da su tijekom redovitog pregleda uočeni nepredviđeni pomaci, potrebno je obaviti glavni pregled ležajeva.

### Zaključak / Conclusion

Kako bi se ostvarila uspješna primjena polimernih materijala u graditeljstvu, posebno je važno uočiti sve aspekte takve primjene: od same zamisli (projekta), proizvodnje osnovnih sastojaka i gotovih građevinskih proizvoda do kontrole kvalitete, ugradnje i održavanja građevina.

Zbog relativno jeftine proizvodnje katkad se događa da se ti materijali primjenjuju i više nego što je to nužno. Kako bi se procijenila opravdanost primjene pojedinih polimernih materijala, potrebno je razmotriti sve aspekte promatranog zahvata u prirodi, a posebno zaštitu okoliša. Stoga je, prije ocjene nosivosti i uporabljivosti cjelokupne građevine, pojedinih sklopova i građevinskih proizvoda, potrebna nužna analiza utjecaja određenog zahvata u prirodi na zdravlje čovjeka i okoliš.

Ostvarenje navedenog cilja moguće je samo zajedničkim, timskim i interdisciplinarnim radom stručnjaka.

Na primjeru elastomernih ležajeva koji služe kao protuvibracijski i protupotresni izolatori može se zaključiti da polimerni materijali mogu bitno pridonijeti zaštiti okoliša, s tim što se u svim procesima trebaju primjenjivati ekološki održivi zahtjevi.

U ovom radu ukratko su prikazane osnovne faze koje su nužne u realizaciji građevinskog proizvoda, tj. projektiranje, proizvodnja, kontrola kvalitete, ugradnja i održavanje. Detaljniji prikaz nalazi se u udžbeniku istih autora *Elastomerni ležajevi*.

### LITERATURA / REFERENCES

1. Šimunić, Ž.: *Polimeri u graditeljstvu*, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2006.
2. Eggert, H.; Kauschke, W.: *Structural Bearings*, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2002.
3. ISO 6446:1994, *Rubber Products - Bridge Bearings - Specification for Rubber Materials*, 1994.
4. EN 1337-3:2005, *Structural Bearings - Part 3: Elastomeric Bearings*, CEN, 2005.
5. Šimunić, Ž.; Dolanjski, A.: *Elastomerni ležajevi*, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2007.
6. EN 1337-11:1997, *Structural Bearings - Part 11: Transport, Storage and Installation*, CEN, 1997.
7. EN 1337-10:2003, *Structural Bearings - Part 10: Inspection and Maintenance*, CEN, 2003.

### DOPISIVANJE / CONTACT

Prof. dr. sc. Želimir Šimunić  
Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet  
Fra Andrije Kačića Miošića 26  
HR-10 000 Zagreb, Hrvatska / Croatia  
Tel.: +385-1-46-39-606, faks: 385-1-48-28-049  
E-mail: zsimunic@grad.hr