

Eksperimentalna istraživanja prototipova građevnih proizvoda

Joško Krolo, Diana Šimić, Ana Skender

Ključne riječi

građevni proizvod, prototip, istraživanja, sukladnost, ispitivanje, nadzor, početno ispitivanje

Key words

construction product, prototype, research, conformity, testing, surveillance, initial testing

Mots clés

produit de construction, prototype, recherches, conformité, essai, surveillance, essai initial

Ключевые слова

строительный продукт, прототип, исследование, соответствие, испытание, надзор, начальное испытание

Schlüsselworte

Bauerzeugnis, Urmuster, Untersuchungen, Konformität, Prüfung, Aufsicht, Anfangsprüfung

J. Krolo, D. Šimić, A. Skender

Prethodno priopćenje

Eksperimentalna istraživanja prototipova građevnih proizvoda

U članku se objašnjava koje se radnje moraju provesti u postupku ocjenjivanja sukladnosti građevnog proizvoda. To su: ispitivanja i nadzor. Dan je tabelarni pregled radnji koje treba provesti s podacima o subjektima koji ih provode. Posebno je opisana prva radnja u sustavu – početno ispitivanje. Prikazani su primjeri istraživanja tipova građevnih proizvoda koji su provedeni u Laboratoriju za ispitivanje konstrukcije Zavoda za tehničku mehaniku Građevinskog fakulteta u Zagrebu.

J. Krolo, D. Šimić, A. Skender

Preliminary note

Experimental study of prototypes of construction products

Activities to be undertaken in the scope of conformity assessment for civil engineering products are explained. These activities are: testing and surveillance. A tabular overview of activities, with subjects responsible for their implementation, is given. The first activity in the system - initial testing - is treated as a separate topic. The authors also provide examples of various types of construction products analyzed in the Structural Testing Laboratory operating within the Structural Mechanics Department of the Zagreb Faculty of Civil Engineering.

J. Krolo, D. Šimić, A. Skender

Note préliminaire

Etude expérimentale des prototypes de produits de construction

Activités à réaliser dans le cadre de l'évaluation de conformité des produits de génie civil sont expliquées. Ces activités sont: essais et surveillance. Un aperçu tabulaire des activités, avec les sujets responsables pour leur implémentation, est donné. La première activité dans le système - essai initial - est considérée comme un sujet séparé. Les auteurs fournissent également des exemples de types variés des produits de construction qui sont analysés dans le Laboratoire d'essais des constructions du Département de mécanique structurale de la Faculté de génie civil de Zagreb.

Џ. Кроло, Д. Шимич, А. Скендер

Предварительное сообщение

Экспериментальные исследования прототипов строительных продуктов

В статье объясняется, какие действия должны быть выполнены в процедуре установления соответствия строительного продукта. Это испытания и надзор. В табличной форме приведен обзор действий, которые нужно выполнить, с данными о субъектах, которые эти действия выполняют. Отдельно описано первое действие в системе – начальное испытание. Приведены примеры исследований типов строительных продуктов, выполненных в лаборатории по испытанию конструкций Отдела технической механики Строительного факультета Загребского университета.

J. Krolo, D. Šimić, A. Skender

Vorherige Mitteilung

Experimentale Untersuchungen von Urmustern von Bauerzeugnissen

Im Artikel wird erklärt welche Arbeiten im Bewertungsverfahren der Konformität des Bauerzeugnisses durchgeführt werden müssen. Das sind: Prüfungen und Aufsicht. Dargelegt ist ein tabellarisches Verzeichnis der Arbeiten die durchgeführt werden sollen mit Angaben über die Subjekte die sie durchführen. Besonders ist die erste Arbeit im System beschrieben - die Anfangsprüfung. Dargestellt sind Beispiele der Untersuchung von Bauerzeugnistypen die im Laboratorium für Konstruktionenprüfung des Instituts für technische Mechanik der Fakultät für Bauwesen in Zagreb durchgeführt waren.

Autori: Doc. dr. sc. **Joško Krolo**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Diana Šimić**, dipl. ing. građ.; **Ana Skender**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Zagreb

1 Uvod

Postupci dokazivanja uporabljivosti, odnosno poslovi i radnje ocjenjivanja sukladnosti građevnih proizvoda i izdavanja isprava o sukladnosti obavljaju se u skladu sa Zakonom o prostornom uređenju i gradnji [1], Zakonom o građevnim proizvodima [2], Pravilnikom o ocjenjivanju, ispravama o sukladnosti i označavanju građevnih proizvoda [3] i Pravilnikom o nadzoru građevnih proizvoda [4]. Osim navedenih zakona i pravilnika, poslovi ocjenjivanja sukladnosti obavljaju se u skladu s normama - tehničkim specifikacijama mjerodavnim za ocjenjivanje sukladnosti, zahtjevima normi [5] i [6] koje se odnose na pravnu osobu, smjernicama Direktive Vijeća 89/106/EEZ:1988 (Direktiva za građevne proizvode) [7] te u skladu s pravilima struke.

U postupku ocjenjivanja sukladnosti građevnog proizvoda provode se radnje ispitivanja i radnje nadzora. Pri tome se moraju provesti skupine radnji označene kao sustavi ocjenjivanja sukladnosti oznake 1+, 1, 2+, 2, 3 i 4. Te radnje koje se provode u pojedinom sustavu prikazane su u tablici 1.

Tako npr. prije izdavanja potvrde o sukladnosti treba provesti skupine radnji označene kao sustavi 1+ i 1, prije izdavanja potvrde o tvorničkoj kontroli proizvodnje skupine radnji 2+ i 2, a za izdavanje izjave o sukladnosti treba provesti sve skupine radnji od 1+ do 4. Sustav ocjenjivanja sukladnosti koji se mora provesti za određeni

građevni proizvod, prije izdavanja potvrde i izjave o sukladnosti, određen je tehničkom specifikacijom.

Najjednostavniji je sustav ocjenjivanja sukladnosti 4 u kojem proizvođač provodi početno ispitivanje građevnog proizvoda i stalnu tvorničku kontrolu proizvodnje na temelju kojih izdaje izjavu o sukladnosti. Izjava obvezno sadrži: tvrtku i adresu proizvođača, naziv, opis i namjeravanu uporabu proizvoda, oznaku tehničkih specifikacija (normi) koje su mjerodavne za ocjenjivanje, oznaku sustava ocjenjivanja, evidencijski broj, datum i ime, svojstvo i potpis osobe koja je izdala izjavu. Ako se utvrdi da proizvođač u potpunosti ne provodi radnje za sustav ocjenjivanja 4, Europska komisija može, u skladu s Direktivom 89/106/EEZ, donijeti odluku da za takav proizvod početna ispitivanja provodi ovlaštena pravna osoba (prebaciti proizvod u sustav ocjenjivanja sukladnosti 3).

2 Početno ispitivanje tipa proizvoda

Kao što se vidi iz tablice 1. postoje tri vrste radnji ispitivanja građevnog proizvoda:

- početno ispitivanje koje provodi proizvođač (u sustavima ocjenjivanja 2+, 2 i 4) ili pravna osoba ovlaštena za ocjenjivanje sukladnosti (u sustavima 1+, 1 i 3)
- ispitivanje uzoraka iz proizvodnje prema utvrđenom planu koje provodi proizvođač (u sustavima 1+, 1 i 2+)

Tablica 1. Radnje koje se provode u pojedinom sustavu ocjenjivanja sukladnosti

isprava o sukladnosti koja se izdaje	sustav ocjenjivanja sukladnosti	Radnje koje provodi proizvođač			Radnje koje provodi ovlaštena pravna osoba			
		stalna tvornička kontrola proizvodnje	ispitivanje uzoraka iz proizvodnje prema utvrđenom planu	početno ispitivanje tipa građevnog proizvoda	početno ispitivanje tipa građevnog proizvoda	početni nadzor tvornice i početni nadzor tvorničke kontrole proizvodnje	stalni nadzor, procjena i ocjenjivanje tvorničke kontrole proizvodnje	ispitivanje slučajnih uzoraka uzetih iz proizvodnje iz propisanih skupina
P + I	1+	■	■		■	■	■	■
	1	■	■		■	■	■	
I	2+	■	■	■		■*	■*	
	2	■		■		■*		
	3	■			■			
	4	■		■				

P - potvrda o sukladnosti
 I - izjava o sukladnosti
 ■ - radnja koju provodi proizvođač ili ovlaštena pravna osoba
 * - ovlaštena osoba izdaje potvrdu o tvorničkoj kontroli proizvodnje

- ispitivanje slučajnih uzoraka uzetih iz skupine pripremljene za isporuku ili isporučene skupine koje provodi samo ovlaštena pravna osoba (u sustavu 1+).

Radnjama ispitivanja utvrđuju se tehnička svojstva građevnih proizvoda o čemu se izrađuju izvješća. Ispitivanja se provode prema tehničkim specifikacijama koje su mjerodavne za ocjenjivanje sukladnosti građevnog proizvoda.

Prva radnja koja se provodi u sustavu ocjenjivanja jest početno ispitivanje gotovog proizvoda i materijala od kojih je izrađen. Ta se ispitivanja provode u akreditiranom laboratoriju (u sustavu ocjenjivanja 1+ i 1)

ili u laboratoriju tvorničke kontrole proizvodnje, kod proizvođača u sustavu ocjenjivanja 2+, 2 i 4. Na temelju pozitivnih izvješća o ispitivanjima za sustave ocjenjivanja 2+ i 2 ovlaštena osoba izdaje potvrdu o tvorničkoj kontroli proizvodnje.

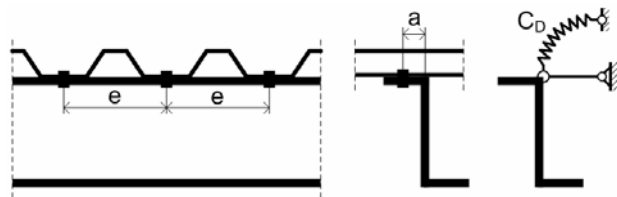
Radi dobivanja što povoljnijega gotovog proizvoda, prije početnog ispitivanja, odnosno prije početka provođenja radnji u sustavu ocjenjivanja gotovog proizvoda, proizvođač često, tijekom projektiranja novog proizvoda, obavlja paralelno s teorijskim i eksperimentalna istraživanja. Ovdje ćemo navesti primjere takvih istraživanja koja su provedena u laboratoriju za ispitivanje konstrukcija Zavoda za tehničku mehaniku.

3 Primjeri eksperimentalnih istraživanja tipa proizvoda

3.1 Ispitivanje tankostjenih nosača otvorenoga poprečnog presjeka [8]

3.1.1 Uvod

Tankostjeni nosači otvorenoga poprečnog presjeka (npr. "Z" profil), s punim kontinuiranim bočnim pridržanjem jednog pojasa, kao nosivi sustavi, najčešće se pojavljuju u krovnim konstrukcijama, međukatnim konstrukcijama i fasadnim stijenama. Kontinuirano bočno pridržanje može se postići na različite načine, među ostalim i trapezno profiliranim tankim limovima. Za puno kontinuirano bočno pridržanje trapezni se lim spaja preko gornjeg pojasa tankostjenog nosača. Oslonci tankostjenog nosača izvode se tako da je spriječena rotacija i bočno pomicanje na ležajevima. Uz pretpostavku da je ispunjen uvjet konstruktivnog oblikovanja spojeva, koji osiguravaju aktiviranje fleksijske krutosti trapeznog lima, pri modeliranju ponašanja bočno pridržanoga tankostjenog nosača, može se pretpostaviti da spoj trapezno profiliranog lima na nosač djelomično sprječava uvijanje nosača i pridržajni pojas čini stabilnijim. Ovo djelomično torzijsko pridržanje može se predstaviti oprugom određene rotacijske krutosti, koja obuhvaća rotacijsku krutost spoja lima i nosača i rotacijsku krutost koja odgovara krutosti trapeznog lima na savijanje (fleksijskoj krutosti lima) (slika 1.).



Slika 1. Model tankostjenog nosača Z profila bočno pridržan trapeznim limom [9]

3.1.2 Ispitivanje na savijanje ploča trapeznih limova

Konstruktivski element izveden od trapeznog lima može biti izložen djelovanju gravitacijskoga ili odličućega poprečnog ravnomjerno raspodijeljenog opterećenja. Osobitost takvog konstruktivskog elementa vrlo je velika lokalna vitkost elemenata poprečnog presjeka. Ovi vitki elementi u tlaku se lokalno izbočuju. Nakon dostizanja određenog intenziteta djelovanja ne sudjeluje više čitav presjek u preuzimanju tog djelovanja. Neki dijelovi izmiču funkciji nošenja većim ili manjim izbočivanjem tankog lima u zoni pritiska. Prema tome, mehanizam nosivosti tankostjenog profila očituje se pojavom lokalnog izbočivanja ravnoga neukrućenog dijela poprečnog presjeka u tlaku, koja utječe na njegovu krutost, sposobnost nosivosti i način otkazivanja. Pri dokazu sigurnosti tankostjenih limova pod djelovanjem poprečnog opterećenja razlikujemo djelotvorni poprečni presjek za proračun krajnjega graničnog stanja i djelotvorni poprečni presjek za proračun graničnog stanja uporabljivosti.

U laboratoriju za ispitivanje konstrukcija ispitane su na savijanje dvije ploče trapeznih limova proizvođača "Jedinstvo" iz Krapine, oznake T39/250/0,7 izrađene od čelika Č 0.147. Prije ispitivanja, na probnim su uzorcima ispitanim na rastezanje na kidalici određene mehaničke karakteristike materijala:

granica tečenja $\sigma_T = 288,10 \text{ MPa}$,

čvrstoća $\sigma_M = 340,50 \text{ MPa}$,

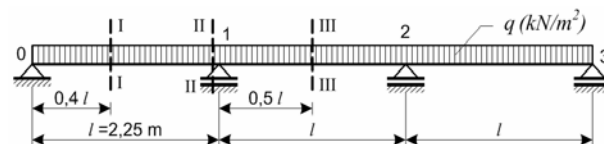
modul elastičnosti $E = 1,93 \cdot 10^5 \text{ MPa}$,

Poissonov omjer $\nu = 0,30$,

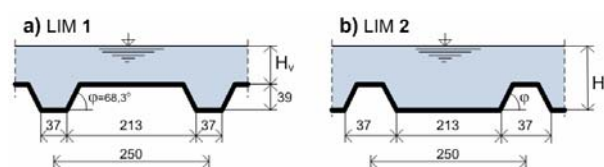
relativno produljenje pri raskidu $\delta = 32,0 \%$ i

kontrakcija poprečnog presjeka $\Psi = 39,0 \%$.

Ploče trapeznih limova ispitane su kao kontinuirani nosači preko tri polja raspona $l = 2,25 \text{ m}$ (slika 2.), a ispitivanje je provedeno za dva položaja trapeznih limova: negativni položaj (širi pojas u tlaku), oznaka LIM 1, i pozitivni položaj (uži pojas u tlaku), oznaka LIM 2 (slika 3.).

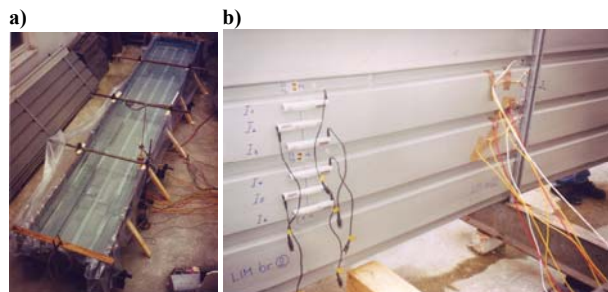


Slika 2. Shema opterećenja



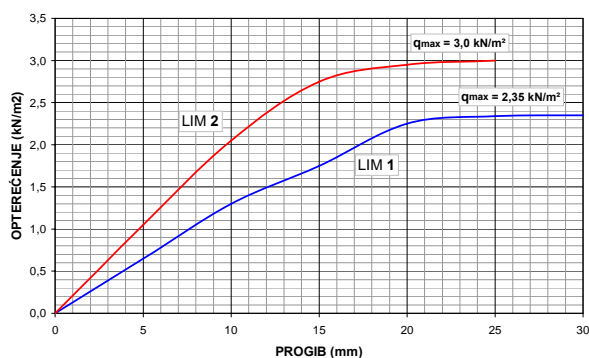
Slika 3. Dimenzije i položaj trapeznih limova pri ispitivanju: a) negativan položaj b) pozitivan položaj

Iznad ležajeva trapezni su limovi oslonjeni na C-profil širine 50 mm i visine 30 mm koji je u poprečnom smjeru pričvršćen na trapezni lim. Na površini trapeznog lima napravljen je bazen za vodu (slika 4.a).



Slika 4. a) Način ispitivanja trapeznog lima, b) mjerna mjesta za mjerenje deformacija

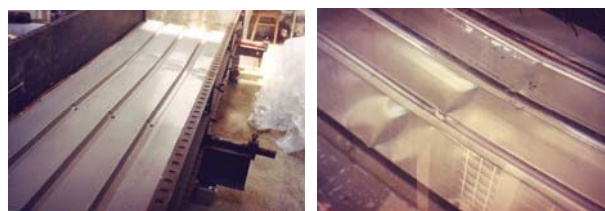
Trapezni je lim opterećen postupno s porastom razine vode od 5 cm. Nakon visine vodostaja od 15 cm izvršeno je potpuno rasterećenje, a zatim se trapezni lim ponovno postupno opterećivao do otkazivanja nosivosti. Za svaku fazu opterećenja i rasterećenja mjereni su vertikalni pomaci i deformacije trapeznog lima u karakterističnim presjecima uz unutarnji ležaj, u prvom i unutarnjem polju na mjestu maksimalnog momenta savijanja (presjeci I-I, II-II i III-III na slici 2.). Mjerna mjesta za mjerenje deformacija vide se na slici 4.b, a dijagram opterećenje-progib do otkazivanja nosivosti limova u jednom i drugom položaju prikazan je na slici 5.



Slika 5. Dijagram opterećenje-progib do otkazivanja nosivosti limova

Otkazivanje nosivosti trapeznog lima - LIM 1 nastalo je zbog otkazivanja nosivosti poprečnog presjeka u prvom polju na mjestu maksimalnog momenta savijanja pri opterećenju $q = 2,35 \text{ kN/m}^2$. Otkazivanje nosivosti nastalo je zbog izbočivanja tlačnog pojasa navedenoga poprečnog presjeka (slika 6.). Nakon izbočivanja tlačnog pojasa u polju, došlo je do izbočivanja hrpta nad unutarnjim ležajem.

Otkazivanje nosivosti trapeznog lima - LIM 2 nastalo je zbog otkazivanja nosivosti poprečnog presjeka u prvom polju na mjestu maksimalnog momenta savijanja, a zatim



Slika 6. LIM 1 nakon ispitivanja, izbočivanje lima u polju

zbog otkazivanja nosivosti poprečnog presjeka uz unutarnji ležaj pri opterećenju $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$. Otkazivanje nosivosti navedenih poprečnih presjeka nastalo je zbog izbočivanja pojasa u tlaku. Iz usporedbe graničnog opterećenja trapeznih limova za pozitivni položaj (LIM2) i negativni položaj (LIM1) proizlazi da je granično opterećenje trapeznog lima za pozitivni položaj 28 % veće nego za negativni položaj.

3.2 Ispitivanje glavnog nosača montažno - demontažnih tribina

U okviru svog proizvodnog programa, poduzeće Georing d.o.o. iz Zagreba proizvodi montažno-demontažnu tribinu. Tribina se izvodi kao privremena građevina za formiranje privremenih gledališta i to kao povećanje kapaciteta postojećih fiksnih gledališta ili kao samostalna privremena gledališta. Bitne su karakteristike tribine: primjenjivost za različite namjene, u zatvorenom i otvorenom prostoru, prilagodljivost veličine, postavljaju se na čvrstu podlogu bez potrebe izvođenja temelja, te brza i jednostavna montaža i demontaža.

Tribina se sastoji od elemenata nosive čelične konstrukcije, nagaznih ploha – gazišta i plastičnih sjedišta. Nosiva čelična konstrukcija tribine sastoji se od 18 elemenata koji se montiraju po točno utvrđenom redosljedu i zadanom rasteru: u uzdužnom smjeru 2,2 m, u poprečnom smjeru 3,0 m i visinama nagaznih ploha 25,0 cm. Glavni se nosač tribina E.7 postavlja na razmaku 1,10 m i oslanja na uzdužne nosače koji su na razmaku 3,0 m. Svi su elementi tribine izrađeni od čelika St.37.2 i St.52.3, antikorozivno zaštićeni vrućim pocinčavanjem na pretходно pjskarenoj podlozi.

Kontrola elemenata tribine u statičkom proračunu provedena je za sljedeća opterećenja:

a) vertikalno opterećenje:

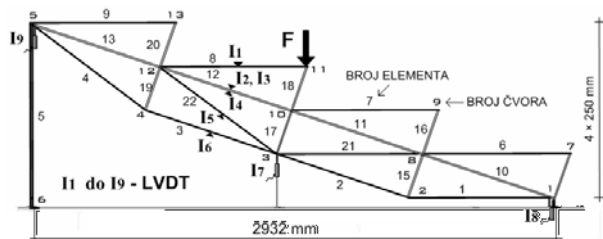
- stalni teret $g = 0,50 \text{ kN/m}^2$
- korisno opterećenje $p = 5,00 \text{ kN/m}^2$

b) horizontalno opterećenje:

- 10 % od vertikalnog opterećenja ($0,55 \text{ kN/m}^2$),
- opterećenje na rukohvat ograde $q_h = 1,0 \text{ kN/m}$.

Ispitivanje glavnog nosača tribine E.7 provedeno je zamjenjujućom koncentriranom silom u sredini raspona.

Računski model glavnog nosača tribina, shema opterećenja i dispozicija mjernih mjesta za mjerenje progiba i deformacija prikazani su na slici 7., a ispitivanje nosača u laboratoriju na slici 8.

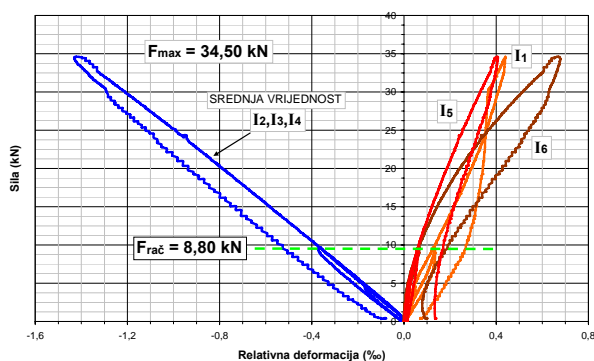


Slika 7. Računski model glavnog nosača tribina i raspored mjernih mjesta za mjerenje pomaka i deformacija



Slika 8. Ispitivanje glavnog nosača tribina u laboratoriju

Nosač je opterećen do zamjenjujuće računске sile F_{rac} , rasterećen, a nakon toga opterećenje je povećavano do loma. Pri tome se mjerio pomak u sredini raspona (mjerne mjesto I_7) i na ležajevima (mjerne mjesta I_8 i I_9). Iz tih pomaka izračunat je progib u sredini raspona. Osim pomaka mjerene su i relativne deformacije elemenata 8, 12, 22 i 3 (mjerne mjesta I_1 do I_6). Pomaci i deformacije su mjerene induktivnim osjetilima LVDT, točnosti 10^{-3} mm. Rezultati mjerenja relativnih deformacija pri opterećenju računskom silom $F_{rac} = 8,80$ kN, a nakon toga do loma, prikazani su na dijagramu (slika 9.).



Slika 9. Rezultati mjerenja relativnih deformacija

3.3 Ispitivanje kompozitnog izolatora [10]

Kompozitni su izolatori namijenjeni ugradnji u niskonaponskim i sredjonaponskim električnim postrojenjima, distribuciji električne energije (slika 10.), industriji i brodogradnji. Kompozitni 110 kV izolator klase C10 tip ADE-10-123 sastoji se od cijevi izrađene od polimernog kompozita te gornje i donje prirubnice. Uobičajeni materijal od kojega se izrađuju prirubnice jest aluminij AlMgSi1.

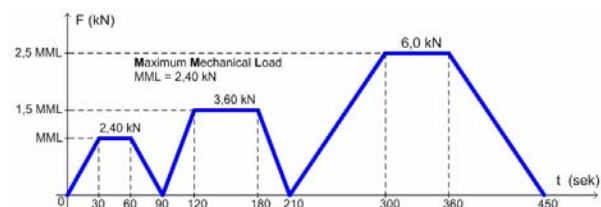


Slika 10. Kompozitni potporni izolatori ugrađeni na rastavljaču

Cilj ispitivanja bio je utvrditi mogućnost uporabe i drugih materijala za izradu prirubnica. Ispitivanje izolatora provedeno je u skladu s normom IEC 61462 TR2-1998, i to po sljedećim fazama:

1. faza – ispitivanje do sile $F = 2,40$ kN koja odgovara maksimalnom mehaničkom opterećenju - MML (*Maximum Mechanical Load*)
2. faza – ispitivanje do mehaničke sile $F = 3,6$ kN što je $1,5 \times$ MML
3. faza – ispitivanje do mehaničke sile $F = 6,0$ kN što je $2,5 \times$ MML
4. faza – ispitivanje do loma.

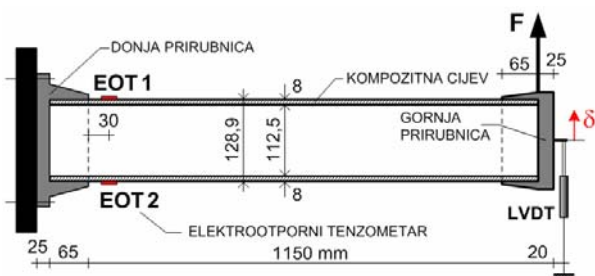
Vremenski režim opterećivanja za prve tri faze, u skladu s normom IEC, prikazan je na slici 11.



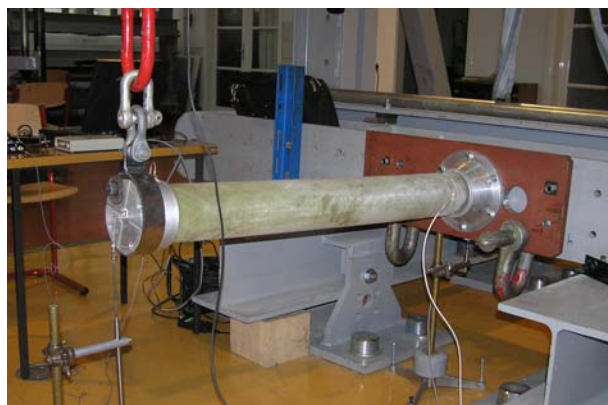
Slika 11. Vremenski režim opterećenja izolatora

Izolator je ispitivan u horizontalnom položaju, a pri opterećivanju mjereno je progib na vrhu izolatora (mjerne mjesto LVDT) i relativne deformacije u presjeku koji je udaljen 30 mm od vrha donje prirubnice (mjerne mjesta EOT 1 i EOT 2). “Doza” za mjerenje veličine sile (*load*

cell), LVDT i EOT za mjerenje progiba i deformacija imaju naponski izlaz pa se veličina sile, progiba i deformacija registrira na PC-u, odnosno rezultati mjerenja su dijagrami "sila – progib" i "sila – relativna deformacija". Način ispitivanja i raspored mjernih mjesta za mjerenje progiba i deformacija prikazani su na slikama 12 i 13.

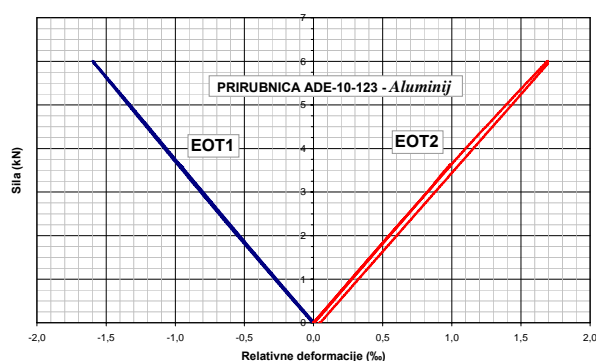


Slika 12. Shema ispitivanja i raspored mjernih mjesta za mjerenje pomaka i deformacija



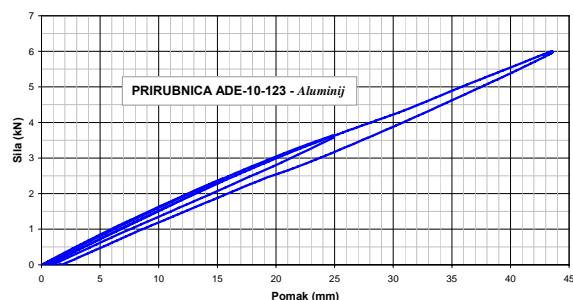
Slika 13. Ispitivanje izolatora u laboratoriju

Rezultati mjerenja relativnih deformacija i pomaka vrha izolatora po fazama prikazani su na slikama 14 i 15.



Slika 14. Rezultati mjerenja relativnih deformacija

Na temelju rezultata ispitivanja kompozitnog izolatora s Al prirubicama zaključeno je da deformacije i pomaci zadovoljavaju zahtjeve norme IEC 61462 TR2-1998. Kriteriji su bili veličina sile kod koje se uočavaju oštećenja, veličina zaostalih (trajnih) deformacija nakon rasterećenja i veličina sile pri lomu.



Slika 15. Rezultati mjerenja pomaka vrha izolatora

Nakon ovih ispitivanja ispitana su još dva izolatora s prirubicama od drugog materijala: nezasićenog poliestera (UP) armiranog staklenim vlaknima. Kod jednog su prirubnice bile tip SMC (*Sheet Moulding Compound*) Roving HPC 1300 – Menzolit, a kod drugog SMC S 5008 – Polmix. Izolatori od tih prirubnica nisu zadovoljili zahtjeve norme, pa će se ispitivanja ponoviti nakon poboljšanja kvalitete materijala i promjene dimenzija prirubnica. Tek nakon ispitivanja koja će zadovoljiti kriterije norme, krenut će se u postupak ocjenjivanja sukladnosti i izdavanja isprave o sukladnosti prema pravilniku [3].

3.4 Ispitivanje polietilenskog (PE) šahta [11]

3.4.1 Ispitivanje obodne krutosti tijela šahta

Modularno polietilensko (PE) revizijsko okno (šaht), tip "Zagožen", proizvodi poduzeće APLAST d. o. o. iz Petrovča u Sloveniji. Okna se proizvode od polietilena postupkom rotacijskog lijeva i deklarirana su u skladu sa smjericama norme prEN 13598. Nazivni promjer okna označava unutarnji promjer tijela okna i u skladu s tim oznaka DN 800 znači da je unutarnji promjer 800 mm.

Debljina stijenke okna $t = 10,25 \pm 0,25$ mm.

Okno se sastoji od: konusa, obruča (tijela okna), dna (kinete), brtve i lijevanoželjeznog ili PE poklopca. Konstrukcijska rješenja okna zadovoljavaju ekološke odrednice primjene: dug vijek trajanja, vodonepropusnost, otpornost na otpadne vode, otpornost na starenje materijala, a zbog male težine: jednostavan transport, lako rukovanje i brzo te jednostavno sastavljanje na gradilištu.

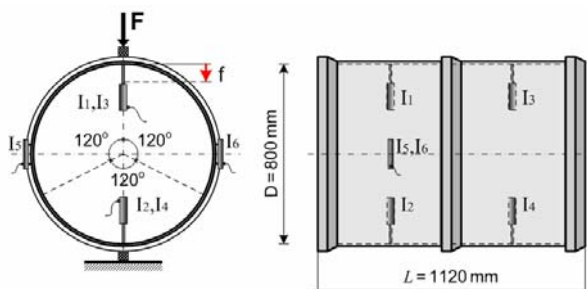
Modularno PE revizijsko okno proizvodi se od polietilena Borecene CompactTH RM8346 koji sadrži 1 % karbona sjedinjenog u polimer i koji mu daje odličnu postojanost na djelovanje UV zraka. Fizikalno-mehaničke karakteristike polietilena prikazane su u tablici 2.

Za ispitivanje obodne krutosti naručitelj je u laboratorij Zavoda za tehničku mehaniku dostavio dva obruča okna DN 800 visine $h = 500$ mm i rub sljedećeg obruča. Spajanjem tih dijelova dobiven je element tijela okna duljine $L = 1120$ mm. Pri ispitivanju je primjenjena metoda propisana normom HRN EN ISO 9969. Kako je element imao drugačija geometrijska svojstva, ova je norma poslužila samo kao osnova za ispitivanje.

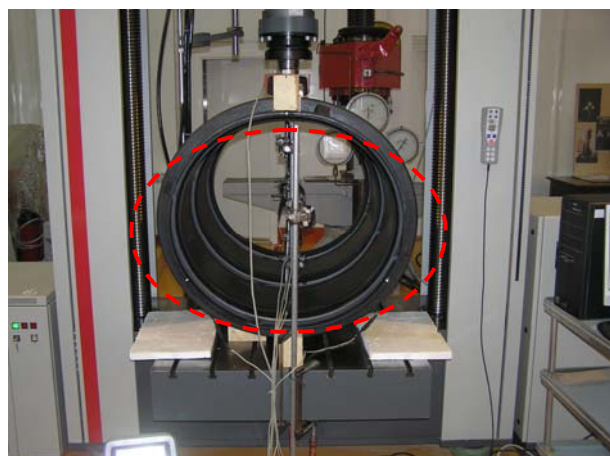
Tablica 2. Fizikalno-mehaničke karakteristike polietilena

Fizikalno-mehanička karakteristika	Tipična vrijednost	Metoda ispitivanja
Gustoća	$\rho = 934 \text{ kg/m}^3$	ISO 1183
Modul elastičnosti dobiven savijanjem	$E_s = 700 \text{ MPa}$	ISO 178
Granica tečenja pri rastezanju	$\sigma_T = 18 \text{ MPa}$	ISO 527-2
Deformacija na granici tečenja pri rastezanju	$\delta = 12 \%$	ISO 527-2
Modul elastičnosti	$E = 650 \text{ MPa}$	ISO 527-2
Tvrdoća po Shoreu	55	ISO 868

Element je opterećen tlačnom silom uzduž izvodnice do pomaka tjemena koji je iznosio 3 % od unutarnjeg promjera ($f = 24 \text{ mm}$). Pri tome se mjerila promjena promjera na četiri mjesta (I_1 i I_3 na gornjem rubu i I_2 i I_4 na donjem rubu) i relativna deformacija na dva mjesta (I_5 i I_6). Promjene promjera i deformacije mjerene su induktivnim osjetilima točnosti 10^{-3} mm . Na elementu su izvršena tri mjerenja i to na način da je izvodnica opterećivanja pri svakom daljnjem ispitivanju pomaknuta za 120° . Način ispitivanja i raspored mjernih mjesta prikazani su na slikama 16. i 17.

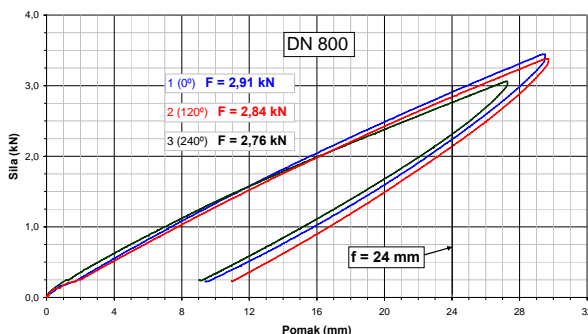


Slika 16. Shema opterećenja i raspored mjernih mjesta pri ispitivanju obodne krutosti



Slika 17. Ispitivanje obodne krutosti tijela šahta

Rezultati ispitivanja obodne krutosti šahta DN800 prikazani su na dijagramima (slika 18).



Slika 18. Rezultati ispitivanja pomaka tjemena tijela šahta (obodne krutosti)

Na temelju dijagrama sila (F) – pomak kod 3%-tne promjene unutarnjeg promjera (f) izračunana je obodna krutost prema izrazu:

$$S = \left(0,0186 + 0,025 \cdot \frac{f}{D} \right) \cdot \frac{F}{L \cdot f} \quad f = \frac{3 \cdot 800}{100} = 24 \text{ mm} ,$$

gdje je:

f – pomak [m] u tjemenu okna kod sile F

F – sila [kN] kod pomaka f

D – unutarnji promjer okna [m] $D = 800 \text{ mm}$

L – dužina ispitivanog elementa [m] $L = 1120 \text{ mm}$

Tablica 3. Rezultati ispitivanja obodne krutosti

Oznaka elementa	F [kN]	Obodna krutost S [kN/m ²]
DN 800 – 1 (0°)	2,91	2,133
DN 800 – 2 (120°)	2,76	2,023
DN 800 – 3 (240°)	2,84	2,082
Srednja vrijednost	2,84	2,080

Prema normi prEN 13598-2:2004 obodna krutost okna na obodni pritisak mora biti najmanje $S \geq 2,0 \text{ kN/m}^2$, pa ovo PE okno zadovoljava zahtjeve propisane normom, jer je $S = 2,08 > 2,0 \text{ kN/m}^2$.

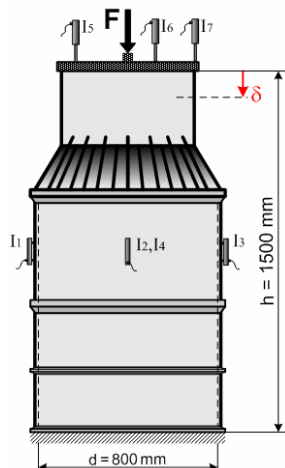
Taj je podatak vrlo važan zbog toga što se većina ovih proizvoda ugrađuje u zemlju pa su opterećeni pritiskom zemlje, a gdjekad i podzemnom vodom. Na temelju ovih podataka odredit će se maksimalna dubina ugradnje re-vizijskih okna ili pak povećati debljina stijenke.

3.4.2 Ispitivanje nosivosti šahta na vertikalno opterećenje

Ispitivanje nosivosti modularnog PE okna na vertikalno opterećenje provedeno je na univerzalnoj statičko-dinamičkoj preši *Zwick Roell* nosivosti 600 kN. Za ispitivanje nosivosti okna na okomito opterećenje naručitelj je u

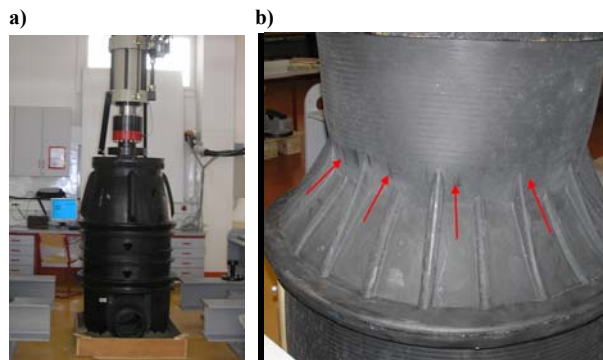
laboratorij dostavio kompletno PE okno s ravnim dnom nazivnog promjera DN 800 visine $h = 1500$ mm.

Okno se opterećivalo tlačnom silom preko lijevano željeznog poklopca nosivosti 125 kN sve do otkazivanja nosivosti. Pri tome se mjerio pomak vrha okna na tri mjerna mjesta (I_5 , I_6 i I_7) i relativne deformacije na četiri mjesta (I_1 do I_4). Pomaci i deformacije mjereni su induktivnim osjetilima točnosti 10^{-3} mm. Način ispitivanja i dispozicija mjernih mjesta za mjerenje pomaka i deformacija prikazani su na slikama 19. i 20.a.



Slika 19. Shema opterećenja i raspored mjernih mjesta pri ispitivanju nosivosti šahta na vertikalno opterećenje

Način otkazivanja nosivosti na direktno vertikalno opterećenje preko poklopca vidi se na slici 20.b.

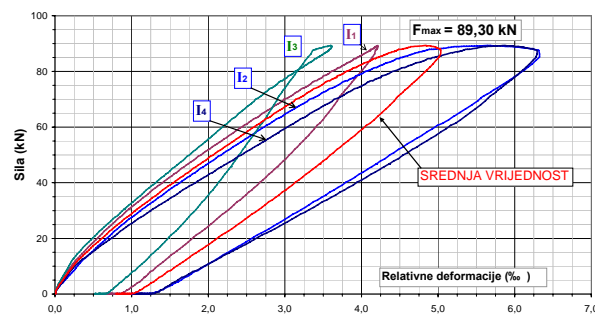


Slika 20. a) Shema opterećenja, b) način otkazivanja nosivosti šahta
Rezultati mjerenja relativnih deformacija prikazani su na dijagramima (slika 21).

LITERATURA

- [1] Zakon o prostornom uređenju i gradnji (NN 76/07 i NN 38/09), 2007.
[2] Zakon o građevnim proizvodima (NN 86/08), 2008.

Analizom rezultata ispitivanja na vertikalno opterećenje dobivena je veličina sile kod koje okno gubi stabilnost, a iz nje dopušteno vertikalno opterećenje. Ovaj način ugradnje okna, kada se vertikalno opterećenje prenosi izravno preko poklopca, rabi se u neprometnim zelenim površinama, okućnicama ili pješačkim stazama. U slučaju ugradnje okna u prometne površine, opterećenje od prometa prenosi se indirektno preko armiranobetonskog okvira koji je oslonjen na okolno tlo propisane zbijenosti.



Slika 21. Rezultati mjerenja relativnih deformacija

Rezultati i analize ovih ispitivanja mogu se primjeniti pri izradi novih i poboljšanju postojećih normi kao i za izradu preporuka za uporabu i ugradnju proizvoda od polietilena koji sve više nalazi primjenu kao vrlo cijenjen konstrukcijski materijal.

4 Zaključak

U radu su prikazani primjeri eksperimentalnih istraživanja građevnih proizvoda tijekom projektiranja i određivanja opterećenja u skladu s namjeravanom upotrebom i tehničkom specifikacijom određenom za taj proizvod. Nakon zadovoljavajućih rezultata tih istraživanja pokreće se složen postupak dokazivanja uporabljivosti, odnosno ocjenjivanja sukladnosti i izdavanja isprava o sukladnosti gotovog proizvoda. Prvo u nizu skupine radnji koje treba provesti jest početno ispitivanje gotovog proizvoda, koje u skladu s pravilnikom može provoditi proizvođač ili ovlaštena pravna osoba, ovisno o sustavu ocjenjivanja sukladnosti kojem pripada proizvod. Ta početna ispitivanja su ista ili slična eksperimentalnim istraživanjima provedenim tijekom projektiranja proizvoda i koja su prikazana u ovim primjerima.

- [3] Pravilnik o ocjenjivanju, ispravama o sukladnosti i označavanju građevnih proizvoda (NN 103/08 i NN 147/09), 2008.
[4] Pravilnik o nadzoru građevnih proizvoda (NN 113/08), 2008.

- [5] HRN EN ISO/IEC 17025:2008, Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija, 2008.
- [6] HRN EN 45011:1998, Opći zahtjevi za ustanove koje provode potvrđivanje proizvoda, 1998.
- [7] Direktiva Vijeća 89/106/EEZ o približavanju zakona, propisa, i administrativnih uredaba, koja se odnose na građevne proizvode (CPD), 1988.
- [8] Šimić, D.: *Sigurnost tankostijenih profila trapeznog poprečnog presjeka*, magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1999.
- [9] Šimić, D.: *Analiza ponašanja bočno pridržanih tankostijenih nosača otvorenog poprečnog presjeka*, doktorski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2003.
- [10] Krolo, J.; Rak, M.; Lacković, V.; Damjanović, D.; Redl, J.: *Experimental and Theoretical Analysis of the Composite Insular*, 25th Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, Czech Technical University in Prague, Prague, pp. 133-134, 2008.
- [11] Krolo, J.; Damjanović, D.: *Ispitivanje krutosti i nosivosti polietilenskih revizijskih okana*, Polimeri, Vol. 28 (2007) 2, str. 105-110, 2007.