

Joško KROLO, Domagoj DAMJANOVIĆ
Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet

Ispitivanje krutosti i nosivosti polietilenskih revizijskih okana

ISSN 0351-1871

UDK 624.042:696.134

678.7

Stručni rad / Professional paper

Primljeno / Received: 17. 11. 2006.

Prihvaćeno / Accepted: 19.9.2007.

Sažetak

U radu su prikazane metode i rezultati ispitivanja polietilenskih okana (šahtova) na obodni pritisak i vertikalno opterećenje. Iz rezultata ispitivanja izračunana je krutost okna, dopušteno vertikalno opterećenje i pritisni modul elastičnosti. Rezultati i analize ovih ispitivanja mogu se koristiti pri izradi preporuka za ugradnju i uporabu polietilenskih okana.

KLJUČNE RIJEČI:

ispitivanje

krutost

linearni polietilen niske gustoće

nosivost

revizijsko okno

KEY WORDS:

testing

stiffness

linear low-density polyethylene

load bearing

inspection pit

Stiffness and bearing testing of the polyethylene inspection pit

Summary

The paper presents the methods and results of testing of linear low-density polyethylene inspection pits to peripheral pressure and vertical load. From these results stiffness of the pit was calculated as well as permissible vertical load and modulus of elasticity in compression. The results and analysis of these tests are useful in development of recommendations for installation and exploitation of inspection pits.

Uvod / Introduction

Modularna polietilenska okna (šahtovi) upotrebljavaju se kao revizijska okna za instalacije vode, odvodnje, električne i telefonske instalacije i dr. Elementi za sastavljanje tog okna izrađuju se od linearnog polietilena niske gustoće (PE-LLD) rotacijskim kalupljenjem, a u skladu sa smjernicama norme prEN 13598.¹ Okno se sastoji od: konusa, jednog ili više obruča (tijela okna), dna (kinete), brtve i poklopca od sivog lijeva ili PE-LLD poklopca. Nazivni promjer okna označava unutarnji promjer tijela okna DN u milimetrima. Ispitivano polietilensko okno bilo je nazivnog promjera DN 800 mm i de-

bljine stijenke $s = 10,25$ mm (slika 1). Konstrukcijsko rješenje okna zadovoljava odrednice zaštite okoliša: dug vijek trajanja, vodonepropusnost, postojanost na otpadne vode i starenje materijala, a zbog male težine jednostavan je transport, lako rukovanje te brzo i jednostavno sastavljanje na gradilištu.



SLIKA 1. Polietilenska okna unutarnjeg promjera DN 800 mm
FIGURE 1. Polyethylene pits with inner diameter of DN 800 mm

Za izradu modularnoga revizijskog okna upotrijebljen je linearni polietilen niske gustoće *Borecene CompactTH RM8346* (*Borealis*, Italija).

Svojstva linearnog polietilena niske gustoće / Properties of linear low density polyethylene

Odabrani linearni polietilen niske gustoće je materijal makromolekula pretežno linearne građe s puno manjih bočnih skupina. Zbog povišenog stupnja kristalnosti ima povišeno talište i dobru žilavost uz zadovoljavajuću čvrstoću. Po svojim svojstvima pogodan je za izradu struktura rotacijskim kalupljenjem. Uska raspodjela molekularnih masa omogućuje dobru kalupljivost i postizanje potrebnih uporabnih svojstava. Izabrani PE-LLD sadržava 1 % ugljika radi postizanja potrebne UV postojanosti.

Svojstva tog polietilena navedena su u tablici 1.

Od ove vrste polietilena rotacijskim kalupljenjem proizvode se i rezervoari za pitku vodu te benzin, cijevi za dovođenje i odvođenje vode te revizijska okna (šahtovi) i drugi slični proizvodi.

Opis ispitivanja / Description of testing

Ispitivanje obodne krutosti / Testing of the ring stiffness

Kako se većina nabrojanih proizvoda ugrađuje pod zemljom, vrlo je važna njihova krutost na obodni pritisak. Ispitivanje obodne kruto-

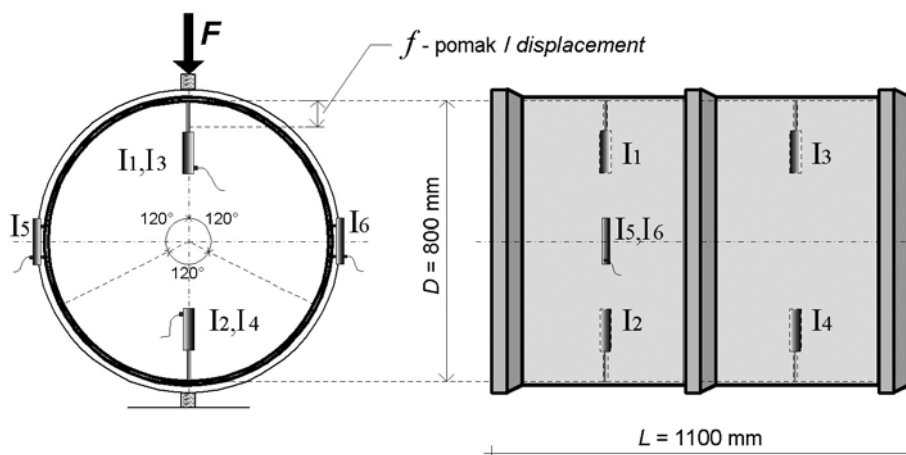
sti modularnog PE okna provedeno je u *Zavodu za tehničku mehaniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu* na univerzalnoj statičkoj preši *Zwick Roell* nosivosti 600 kN.³ Za ispitivanje su odabrana dva obruča okna DN 800 visine $h = 500$ mm, a zbog simetričnosti krutosti rub sljedećeg obruča. Spajanjem tih dijelova dobiven je element tijela okna duljine $L = 1100$ mm.

TABLICA 1. Svojstva PE-LLD-a za modularna okna²
TABLE 1. Properties of PE-LLD for modular pits

Svojstvo / Property	Tipična vrijednost Typical value	Metoda ispitivanja Test method
Gustoća / Density	$\rho = 0,934$ g/cm ³	ISO 1183
Maseni protok taljevine Melt flow rate	6,0 g/10 min	ISO 1133
Modul savojnosti Flexural modulus	$E_s = 700$ MPa	ISO 178
Granica razvlačenja Tensile stress at yield	$\sigma_y = 18$ MPa	ISO 527-2
Istezanje na granici razvlačenja / Tensile strain at yield	$\delta = 12$ %	
Tvrdoća po Shoreu / Shore hardness	55	ISO 868
Temperatura postojanosti oblika / Deflection temperature under load	65 °C	65 °C
Temperatura krhkosti Brittleness temperature	≤ 70 °C	ISO 974

Pri ispitivanju je primijenjena metoda propisana normom EN ISO 9969.⁴ Kako je ispitivano okno bilo drukčijih geometrijskih oblika i izmjera, navedena norma poslužila je samo kao osnova za ispitivanje.

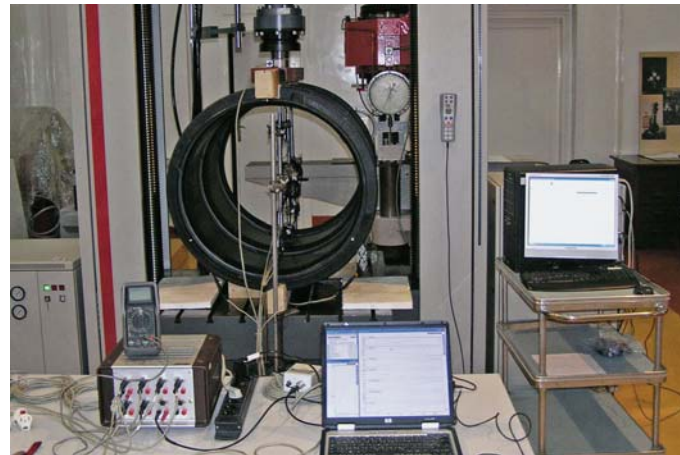
Element je opterećivan pritisnom silom duž izvodnice do pomaka tjemena koji je iznosio 3 % od unutarnjeg promjera ($f = 24$ mm). Pri tome je mjerena promjena promjera na četiri mjerna mjesta (I_1, I_3 na gornjem rubu i I_2, I_4 na donjem rubu) i relativna deformacija na dva mjesta (I_5, I_6). Promjena promjera i relativne deformacije mjerene su induktivnim osjetilima (LVDT) točnosti 10^{-3} mm.



SLIKA 2. Način ispitivanja i raspored mjernih mjesta
FIGURE 2. Testing method and distribution of measuring points

Na elementu su obavljena tri mjerenja, i to na način da se izvodnica opterećivanja pri svakom sljedećem ispitivanju zaokretala za 120°. Relativne deformacije mjerene su samo u prvom položaju.

Način ispitivanja i raspored mjernih mjesta prikazani su na slikama 2 i 3.



SLIKA 3. Ispitivanje krutosti PE okna na obodni pritisak
FIGURE 3. Testing of the PE pit ring stiffness to lateral pressure

Ispitivanja nosivosti na vertikalno opterećenje / Testing of the vertical load bearing capacity

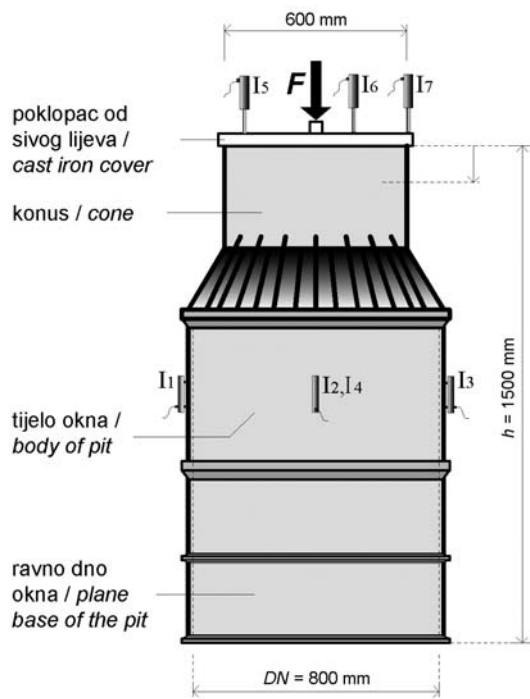
Ispitivanje nosivosti modularnog PE okna na vertikalno opterećenje provedeno je na univerzalnoj statičko-dinamičkoj preši *Zwick Roell* nosivosti 600 kN.⁵ Za ispitivanje nosivosti okna na okomito opterećenje odabrano je cjelovito PE okno s ravnim dnom, nazivnog promjera DN 800 mm i ukupne visine $h = 1\ 500$ mm.

Okno se opterećivalo pritisnom silom preko poklopca od sivog lijeva nosivosti 125 kN sve do otkazivanja nosivosti. Pri tome je mjerena pomak vrha okna na tri mjerna mjesta (I_5, I_6, 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 raspored mjernih mjesta prikazani su na slikama 4 i 5.

Rezultati ispitivanja / Results of testing

Obodna krutost / Ring stiffness

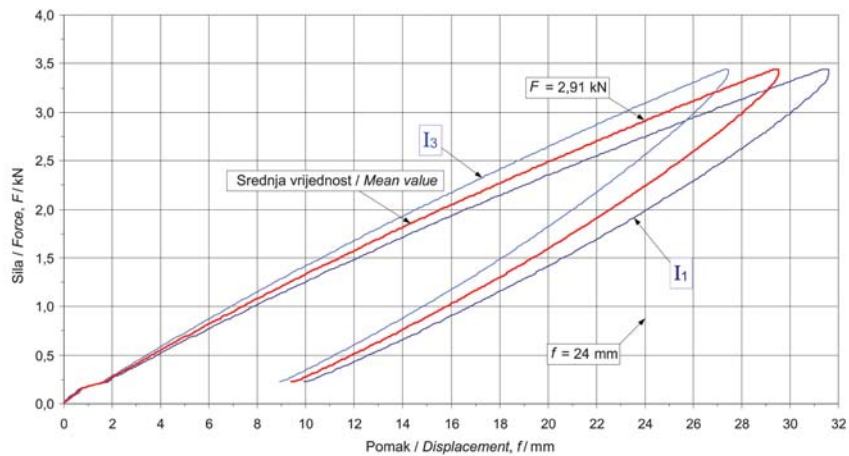
Rezultati mjerenja pomaka pri ispitivanju obodne krutosti prikazani su na dijagramima $F - f$ (slike 6 i 7).



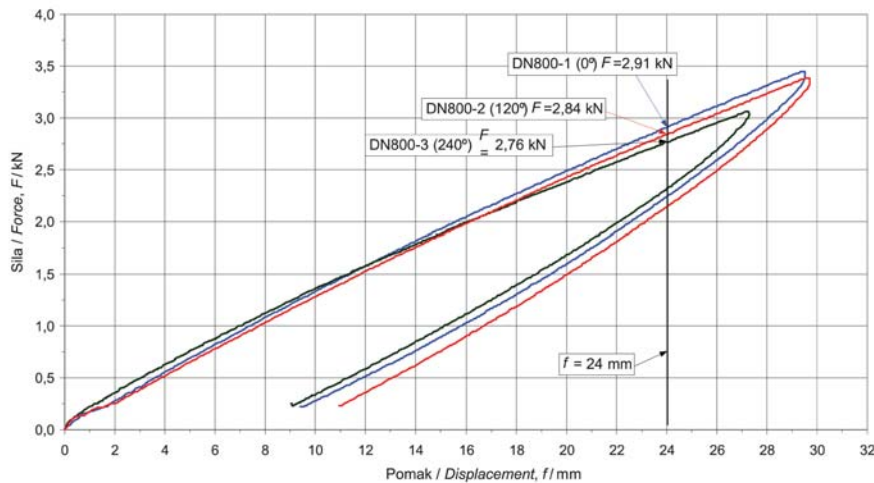
SLIKA 4. Način ispitivanja okna i raspored mjernih mjesta
 FIGURE 4. Method of pit testing and distribution of measuring points



SLIKA 5. Ispitivanja okna na vertikalno opterećenje
 FIGURE 5. Testing of the PE inspection pit exposed to vertical load



SLIKA 6. Rezultati mjerenja pomaka u prvom položaju – 0°
 FIGURE 6. Results of the displacement measurement in the first setting – 0°



SLIKA 7. Rezultati mjerenja pomaka - srednje vrijednosti za sva tri položaja
 FIGURE 7. Results of the displacement measurement – mean values for all three settings

Na temelju dijagrama $F - f$ na slici 7 kod 3 %-tne promjene unutar-njeg promjera izračunana je obodna krutost prema izrazu:⁴

$$S = \left(0,0186 + 0,025 \cdot \frac{f}{D} \right) \cdot \frac{F}{L \cdot f} \quad (1)$$

$$f = \frac{3 \cdot 800}{100} = 24 \text{ mm}$$

gdje je: f (m) – progib u tjemenu okna kod sile F

F (kN) – sila pri progibu f

D (m) – unutarnji promjer okna $D = 800 \text{ mm}$

L (m) – duljina ispitnog elementa $L = 1100 \text{ mm}$

Rezultati izračunanih obodnih krutosti za sva tri položaja nalaze se u tablici 2.

TABLICA 2. Rezultati ispitivanja obodne krutosti
TABLE 2. Results of ring stiffness testing

Položaj opterećivanja Position of loading	Sila / Force F (kN)	Obodna krutost Ring stiffness 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 Mean value	2,84	2,079
Standardna devijacija Standard deviation	0,075	0,055

Prema normi prEN 13598-2:2004, obodna krutost okna mora biti najmanje $S \geq 2,0 \text{ kN/m}^2$.

Rezultati mjerenja relativnih deformacija na mjernim mjestima I5 i I6 prikazani su na dijagramu $F - \epsilon$ (slika 8) i u tablici 3.

Iz tih relativnih deformacija izračunana su naprezanja u stijenci okna prema izrazu:

$$\sigma = \epsilon \cdot E \quad (2)$$

gdje je $E = 712 \text{ MPa}$ pritisni modul elastičnosti dobiven ispitivanjem PE okna na vertikalno opterećenje prema izrazu (3).

TABLICA 3. Rezultati mjerenja relativnih deformacija i izračunanih naprezanja
TABLE 3. Results of relative strain measurement and calculated stresses

Mjerno mjesto Measuring point	Relativna deformacija Relative strain ($F = 2,84 \text{ kN}$)	Naprezanje Stress ($E = 712 \text{ MPa}$)
I ₅	$\epsilon_5 = 1,318 \text{ ‰}$	$\sigma = 0,938 \text{ MPa}$
I ₆	$\epsilon_6 = 0,939 \text{ ‰}$	$\sigma = 0,668 \text{ MPa}$
Srednja vrijednost Mean values	$\epsilon = 1,128 \text{ ‰}$	$\sigma = 0,803 \text{ MPa}$
Standardna devijacija Standard deviation	0,268 ‰	0,192 MPa

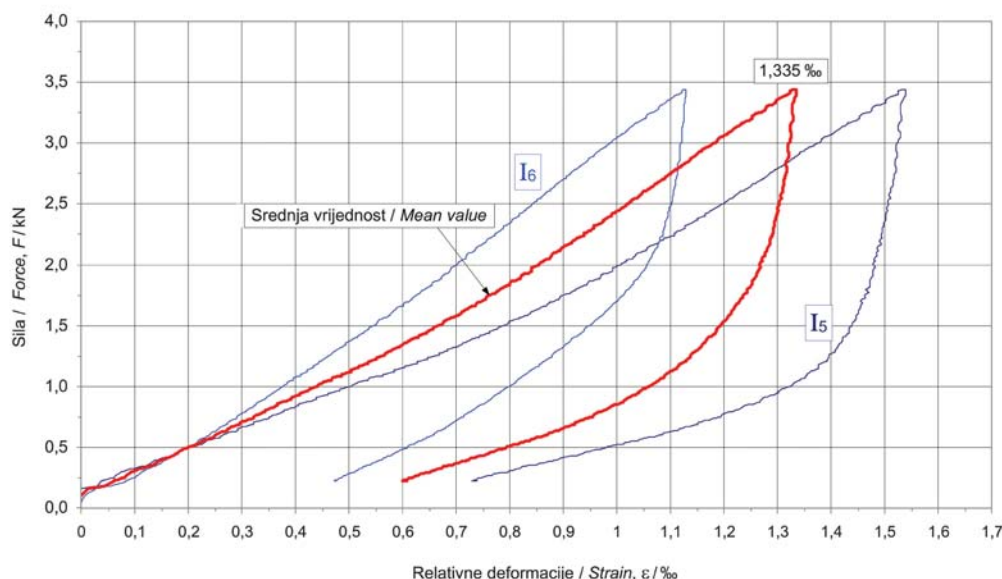
Nosivost na vertikalno opterećenje / Vertical load bearing capacity⁶

Do otkazivanja nosivosti PE okna na vertikalno opterećenje došlo je zbog gubitka stabilnosti stijenke okna na prijelazu gornjega, užeg dijela okna ($D = 600 \text{ mm}$) na širi ($D = 800 \text{ mm}$). To se dogodilo pri sili $F_{max} = 89,30 \text{ kN}$. Način otkazivanja nosivosti na direktno vertikalno opterećenje preko poklopca vidi se na slici 9.

To znači da je dopušteno vertikalno opterećenje okna na ovaj način ugrađivanja (npr. na zelenim neprometnim površinama) uz koeficijent sigurnosti $k = 2,5$:

$$F_{dop} = \frac{F_{max}}{k} = \frac{89,30}{2,5} \approx 35,0 \text{ kN}$$

Rezultati mjerenja relativnih deformacija prikazani su slikom 10 i u tablici 4.



SLIKA 8. Rezultati mjerenja relativnih deformacija
FIGURE 8. Results of the relative strain measurement



TABLICA 4. Rezultati mjerenja relativnih deformacija i izračunanih naprezanja
 TABLE 4. Results of the relative strain measurement and calculated stresses

Mjerno mjesto / Measuring point	Relativna deformacija / Relative strain ($F_{dop} = 35,0$ kN)	Srednja vrijednost / Mean values ϵ (‰)	Standardna devijacija / Standard deviation (‰)	Naprezanje / Stress σ (MPa)
I ₁	1,178 ‰	1,304 ± 0,202	0,202	0,935
I ₂	1,382 ‰			
I ₃	1,106 ‰			
I ₄	1,551 ‰			



Naprezanje u tablici 4 izračunano je uz pritisni modul elastičnosti E određen prema slici 10:

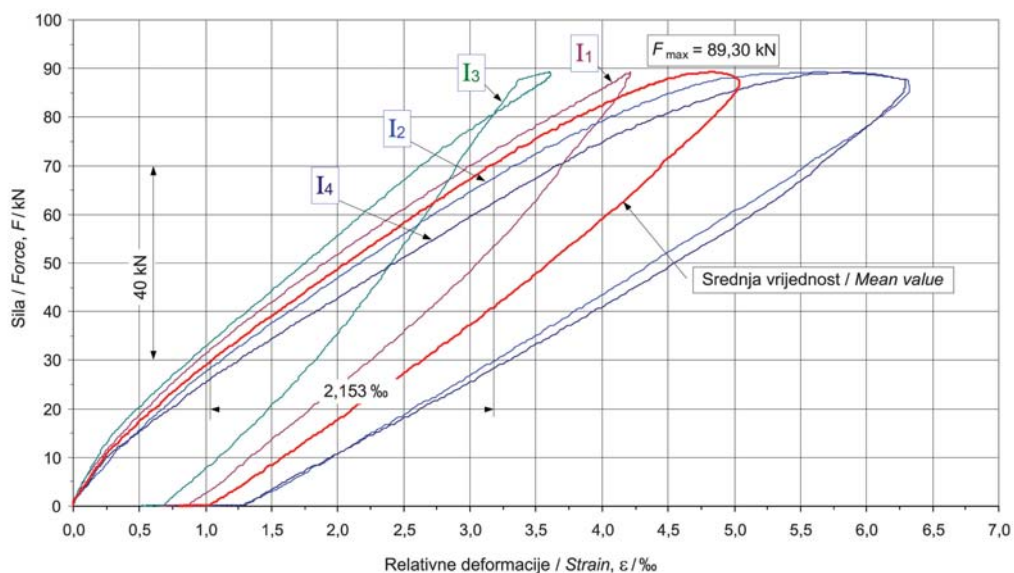
$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} = \frac{1,533 \cdot 10^3}{2,153} = 712 \text{ MPa} \quad (3)$$

gdje je: $\Delta\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F \cdot 4}{((D + 2 \cdot s)^2 - D^2) \cdot \pi} = \frac{40 \cdot 10^3}{26091,12} = 1,533 \text{ MPa}$

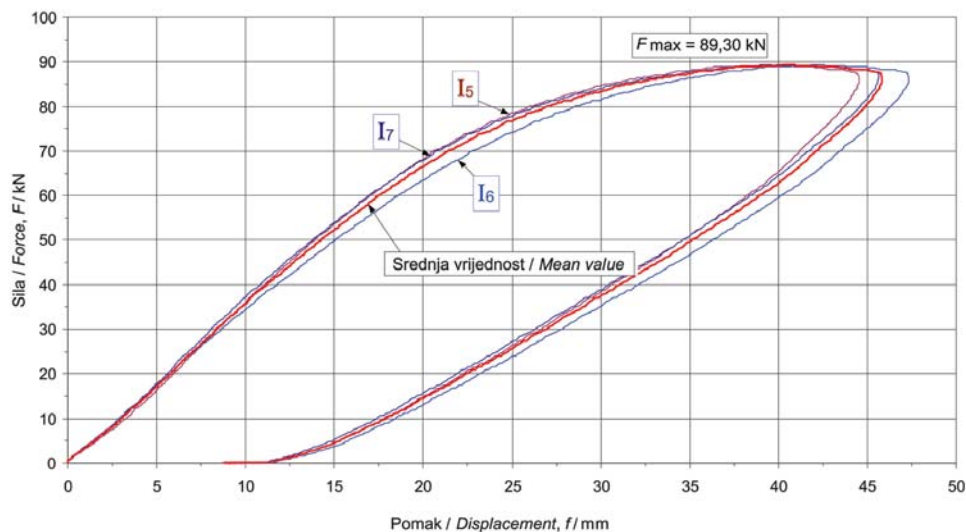
- $F = 40$ kN - očitano na dijagramu (slika 10)
- $\Delta\epsilon = 2,153$ ‰ - očitano na dijagramu (slika 10)
- $D = 800$ - unutarnji promjer okna
- $s = 10,25$ - debljina stijenke okna.

SLIKA 9. Gubitak stabilnosti okna pri vertikalnom opterećenju
 FIGURE 9. Loss of stability of the pit exposed to vertical load

Rezultate mjerenja pomaka vrha okna prikazuje slika 11, a potrebni podaci su u tablici 5.



SLIKA 10. Rezultati mjerenja relativnih deformacija
 FIGURE 10. Results of the relative strain measurement



SLIKA 11. Rezultati mjerenja pomaka vrha okna
FIGURE 11. Results of displacement measurement of the top of PE pit

TABLICA 5. Rezultati izmjerenih pomaka vrha okna
TABLE 5. Results of displacement measurement of the top of PE pit

Mjerno mjesto Measuring point	Pomak vrha okna Displacement of the top of PE pit ($F_{dop} = 35,0$ kN)	Srednja vrijednost Mean values δ (mm)	Standardna devijacija Standard deviation (‰)
I_5	9,837 mm	9,852	0,373
I_6	10,233 mm		
I_7	9,487 mm		

Rasprava o rezultatima ispitivanja / Discussion on the experiment results

Na temelju analize rezultata ispitivanja obodne krutosti modularnih polietilenskih okana unutarnjeg promjera DN 800 mm, može se zaključiti da okna od PE-LLD-a udovoljavaju zahtjevima propisanim normom prEN 13598-2:2004 ($S = 2,080$ kN/m² > 2,0 kN/m²).¹

Na temelju ispitivanja na vertikalno opterećenje može se zaključiti sljedeće:

- do otkazivanja nosivosti PE okna na direktno vertikalno opterećenje preko poklopca od sivog lijeva došlo je pri sili $F_{max} = 89,30$ kN
- u slučaju takvog načina ugrađivanja (npr. na zelenim neprometnim površinama) dopušteno vertikalno opterećenje uz koeficijent sigurnosti $k = 2,5$ iznosi $F_{dop} = 35,0$ kN
- određeni pritiski modul elastičnosti E u skladu je s veličinama deklariranim od proizvođača i
- veličine izmjerenih relativnih deformacija i pomaka vrha okna u dopuštenim su granicama.

Zaključak / Conclusion

U radu je prikazan način i rezultati ispitivanja okana (šahtova) načinjenih od linearnog polietilena niske gustoće na obodni pritisak i vertikalno opterećenje. Iz tih je rezultata izračunana krutost okna na obodni pritisak, koja je uspoređena s krutošću koju propisuje norma. Taj je podatak vrlo važan zbog toga što se većina ovih proiz-

voda ugrađuje u zemlju pa su opterećeni pritiskom zemlje, a gdje-kad i podzemnom vodom. Na temelju ovih podataka odredit će se maksimalna dubina ugradnje revizijskih okana ili pak povećati debljina stijenke.

Analizom rezultata ispitivanja na vertikalno opterećenje dobivena je veličina sile pri kojoj okno gubi stabilnost, a iz nje dopušteno vertikalno opterećenje. Ovaj način ugradnje okna, kada se vertikalno opterećenje prenosi izravno preko poklopca, koristi se na 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.

Rezultati i analize ovih ispitivanja mogu se koristiti pri izradi novih i poboljšanju postojećih normi^{6,7}, kao i za izradu preporuka za korištenje i ugradnju proizvoda od polietilena, koji sve više nalazi primjenu kao vrlo cijenjen konstrukcijski materijal.

LITERATURA / REFERENCES

1. prEN 13598-2:September 2004: *Plastic piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage – Unplasticized (vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) – Part 2: Specification for man-holes and inspection chambers in traffic areas and deep underground installations.*
2. www.borealisgroup.com/public: *Polyethylene Borecene CompactTH*, Black Linear Polyethylene for Rotational Moulding
3. Krolo, J., Damjanović, D.: *Ispitivanje obodne krutosti PE okna*, Izvješće br. 180-34/06., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za tehničku mehaniku, II. 2006.
4. HRN EN ISO 9969:1995: *Plastomerne cijevi – Određivanje obodne krutosti (Thermoplastics pipes – Determination of ring stiffness)*
5. Krolo, J., Damjanović, D.: *Ispitivanje PE okna na vertikalno opterećenje*, Izvješće br. 180-35/06., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za tehničku mehaniku, II. 2006.
6. HRN EN 12201-1:2003: *Plastični cijevni sustavi za opskrbu vodom – Polietilenske cijevi – 1. dio: Općenito (EN 12201-1:2003)*
7. HRN EN 12106:2002: *Plastični cijevni sustavi – Polietilenske cijevi – Ispitna metoda za otpornost prema unutarnjem tlaku nakon stiskanja (EN 12106:1997)*

DOPISIVANJE / CONTACT

Doc. dr. sc. Joško Krolo
Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Fra Andrije Kačića Miošića 26
HR-10 000 Zagreb, Hrvatska / Croatia
Tel.: +385-1-46-39-607, faks: 385-1-48-28-049
E-mail: krolo@grad.hr