

Ispitivanje otpornosti na tlak polivinilkloridne kanalizacijske cijevi

Mijo Zagorec

Ključne riječi

polivinilkloridna kanalizacijska cijev, krute cijevi, tjemeni tlak, ispitivanje otpornosti, opterećenje, deformiranje

Key words

polyvinylchloride drainage pipe, rigid pipes, top pressure, resistance testing, load, deformation

Mots clés

canalisation en chlorure de polyvinyle, canalisations rigides, pression de sommet, essais de résistance, charge, déformation

Ключевые слова

поливинилхлоридная канализационная труба, жёсткие трубы, темненное давление, испытание прочности, нагрузка, деформирование

Schlüsselworte:

Kanalisationsrohr aus Polyvinylchlorid, starre Rohre, Scheiteldruck, Widerstandsfähigkeitsuntersuchung, Belastung, Verformung

M. Zagorec

Stručni rad

Ispitivanje otpornosti na tlak polivinilkloridne kanalizacijske cijevi

U radu je istaknuto da cijevi od polivinilklorida, politilena i polipropilena imaju drugačija mehanička svojstva od krutih tradicionalnih kanalizacijskih cijevi. Opisana su trostruka laboratorijska ispitivanja otpornosti kanalizacijskih cijevi od tvrdog polivinilklorida na tjemeni tlak da se ustanovi koje vertikalno stalno i pokretno opterećenje mogu izdržati te cijevi pri određenom deformiranju i koliko zbijeni materijal uokolo cijevi sudjeluje u preuzimanju toga tlaka.

M. Zagorec

Professional paper

Testing pressure resistance of polyvinylchloride drainage pipes

It is emphasized in the paper that mechanical properties of pipes made of polyvinylchloride, polyethylene and polypropylene differ from those of traditional rigid drainage pipes. Triple laboratory testing of resistance of rigid polyvinylchloride drainage pipes to the pressure applied from above was conducted in order to determine which constant and fluctuating vertical pressures these pipes can withstand at a specified level of deformation, and to what extent the material compacted around the pipe participates in the transfer of this load.

M. Zagorec

Ouvrage professionnel

Essais de résistance à la pression des canalisations en chlorure de polyvinyle

Il est souligné dans l'article que les canalisations en chlorure de polyvinyle, en polythène et en polypropylène n'ont pas les mêmes propriétés mécaniques que les canalisations rigides classiques. On décrit de triples essais en laboratoires de la résistance des canalisations en chlorure de polyvinyle dur à la pression de sommet, menés en vue de déterminer les charges verticales permanentes et mobiles que ces canalisations peuvent supporter sous une certaine déformation, ainsi que le niveau de prise en charge des pressions par les matériaux compactés autour des canalisations

M. Zagorec

Отраслевая работа

Испытание прочности на сжатие поливинилхлоридной канализационной трубы

В работе подчёркивается, что трубы из поливинилхлорида, полиэтилена и пропилену обладают механическими свойствами, отличающимися от жёстких традиционных труб. Описаны трехкратные лабораторные испытания прочности канализационных труб из твёрдого поливинилхлорида на темненное давление с целью установить, какую вертикальную постоянную и переменную нагрузку могут выдержать те трубы при определённом деформировании и в какой мере уплотнённый материал вокруг трубы участвует в перенятии на себя того давления.

M. Zagorec

Fachbericht

Untersuchung der Druckwiderstandsfähigkeit von Kanalisationsrohren aus Polyvinylchlorid

Im Artikel wird hervorgehoben dass Rohre aus Polyvinylchlorid, Polyethylen und Polypropylen andere mechanische Eigenschaften besitzen als starre traditionelle Kanalisationsrohre. Beschrieben sind dreifache Laboruntersuchungen der Widerstandsfähigkeit von Kanalisationsrohren aus hartem Polyvinylchlorid gegen Scheiteldruck, um festzustellen welche vertikale ständige und bewegliche Belastung diese Rohre bei gewisser Verformung aushalten können, sowie in welchem Ausmass das verdichtete Material um das Rohr in der Übernahme dieses Druckes mitwirkt.

Autor: Mr. sc. **Mijo Zagorec**, dipl. ing. građ., Institut građevinarstva Hrvatske, d.d. Zavod za zgradarstvo, Rakušina 1, Zagreb

1 Uvod

Iskustva su pokazala da su mogućnosti upotrebe kanalizacijskih cijevi od plastike u građevinarstvu veoma velike. Unatoč velikom broju povoljnih mogućnosti, ipak je uporaba tih cijevi još uvijek u odviše sporom porastu. Naročito povoljne mogućnosti za izvedbu ukopanih kanalizacijskih cjevovoda pružaju cijevi od tvrdog polivinilklorida (PVC) i polietilena (PE) i to ne samo tradicionalne glatke cijevi [1, 2], nego u najnovije vrijeme i izvana rebraste cijevi, čija rebra povećavaju otpornost cijevi na tjemeni tlak od stalnog i pokretnog opterećenja [3].

Da bi se dobio uvid u razliku između tradicionalnih krutih cijevi i plastičnih fleksibilnih cijevi za izvedbu ukopanih kanalizacijskih cjevovoda (kolektora), ukratko se opisuju prednosti i nedostaci plastičnih cijevi u usporedbi s cijevima od tradicionalnih materijala (azbestcemente, betonske i keramičke cijevi) [4].

U prednosti plastičnih cijevi ubrajaju se:

- mala masa koja omogućava lakši transport i montažu cijevi
- fleksibilnost cijevi u smislu mogućnosti deformiranja koje smanjuje opasnost od loma i drugih oštećenja pri transportu i montaži cijevi
- otpornost na velik broj kemijskih agensa, a što omogućuje upotrebu cijevi i za izvedbu cjevovoda za zemni plin i dr. i to bez posebne zaštite
- dobra toplinska, zvučna i elektroizolacijska svojstva koja znače izrazite prednosti u odnosu na metalne cijevi
- svojstvo da se pri smrzavanju vode cijevi rjeđe lome
- svojstvo da se pri potresu, odronu tla i slično ukopane cijevi također rjeđe lome
- glatkost unutarnjih stijenki cijevi zbog čega su gubici od trenja neznatni pa je propusna moć cijevi veća od betonskih, azbestcementnih i metalnih cijevi.

Nasuprot tim prednostima, kod plastičnih cijevi postoje sljedeći nedostaci:

- izrazita ovisnost o promjeni temperature i brzini opterećivanja (promjena pokretnog opterećenja i eventualna pojava unutarnjeg tlaka u cijevi pri jakim oborinama)
- visok koeficijent toplinskog istezanja
- povećana sklonost puzanju pod stalnim opterećenjem
- nizak modul elastičnosti
- sklonost starenju.

Analizom opisanih prednosti i nedostataka utvrđeno je da kanalizacijske cijevi od plastike ipak mogu konkurirati tradicionalnim krutim cijevima za izvedbu ukopa-

nih kanalizacijskih cjevovoda i to uz ove uvjete: ispravno projektiranje cjevovoda, tako da se uzmu u obzir sve specifičnosti plastičnih cijevi, stručna i savjesna montaža cijevi, zadovoljavajuća kvaliteta cijevi i dr., da bi se uklonili mogući štetni utjecaji od opisanih nedostataka.

2 Problematika izvedbe kanalizacijskih cjevovoda od fleksibilnih cijevi

Opći zahtjevi koje moraju zadovoljiti ukopani kanalizacijski cjevovodi i kanalizacijske instalacije u objektima jesu [5]:

- cijevi i cijevni spojevi moraju biti potpuno vodonepropusni
- cijevni spojevi moraju biti jednostavni i laki za izvedbu
- cijevi moraju biti postojane na kemijske utjecaje (kemijska postojanost)
- hidraulička svojstva cijevi moraju biti povoljna (mali linijski gubici zbog glatkih stijenki)
- cijevi moraju biti mehanički izdržljive (otpornost na promjenljive unutarnje tlakove kod tlačne kanalizacije)
- biološki utjecaji na cijevi moraju biti isključeni
- cijevi moraju zadovoljiti u statičkom pogledu (otpornost ukopanih cijevi na tjemeni tlak)
- ugradba cijevi treba biti moguća bez dodatnih konstruktivnih mjera (oblaganje betonom i sl.)
- cijevi moraju trajati najmanje 50 godina (najkraća trajnost cijevi).

Budući da su za većinu od tih zahtjeva već prije provedena laboratorijska ispitivanja radi dokazivanja kvalitete, u ovom se slučaju nastoji ustanoviti zadovoljavaju li odabrane cijevi od tvrdog PVC-a (vanjski promjer $d_e = 400$ mm i debljina stijenke $s = 7,9$ mm) u statičkom pogledu te koliko zbijeni materijal uokolo ukopane cijevi može pridonijeti povećanju otpornosti cijevi na tjemeni tlak.

Za razliku od proračuna tradicionalnih kanalizacijskih cijevi, proračun plastičnih kanalizacijskih cijevi zahtijeva nov pristup jer se krute cijevi prije loma neznatno deformiraju, dok se plastične fleksibilne cijevi pod opterećenjem znatno jače deformiraju, i to bez loma, s napomenom da prekomjerno deformiranje može biti presudna za funkciju i za stabilnost cijevi. Zato se debljina stijenke fleksibilnih kanalizacijskih cijevi sa slobodnim gravitacijskim tečenjem (bez tlaka u cijevi), opterećene tjemnim tlakom, mora tako dimenzionirati da vertikalno deformiranje poprečnog presjeka (ovalnost) ne bude veće od najveće dopuštene vrijednosti. Dopušteno vertikalno deformiranje f_{vdop} ukopanih kanalizacijskih cijevi od tvrdog PVC-a i PE s obzirom na uvjete strojnog čišćenja prema podatku danom u stručnoj literaturi [6,7] ne bi trebalo biti veće 2% od unutarnjeg promjera cijevi, dok se prema podatku koji je dan u stručnoj literaturi [8]

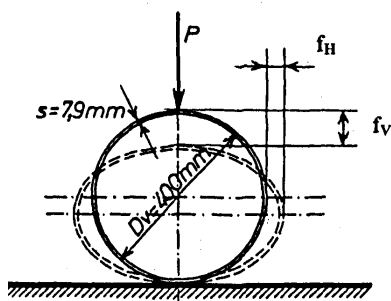
smatra da to deformiranje, s obzirom na ispravnu funkciju, ne bi trebalo biti veće 3% od unutarnjeg promjera cijevi. Da bi se smanjilo horizontalno deformiranje fleksibilne cijevi (bočno širenje poprečnog presjeka cijevi) u ovom se slučaju pri proračunu cijevi uzima u obzir sudjelovanje zbijenog materijala uokolo ukopane cijevi pri preuzimanju opterećenja. To sudjelovanje će se ostvariti jedino tada ako je između bokova cijevi i građevne jame materijal za zatrpavanje rova solidno zbijen (bez šupljina) tako da se sudjelovanje odvija istovremeno s deformiranjem cijevi [9].

3 Ispitivanje otpornosti na tjemeni tlak

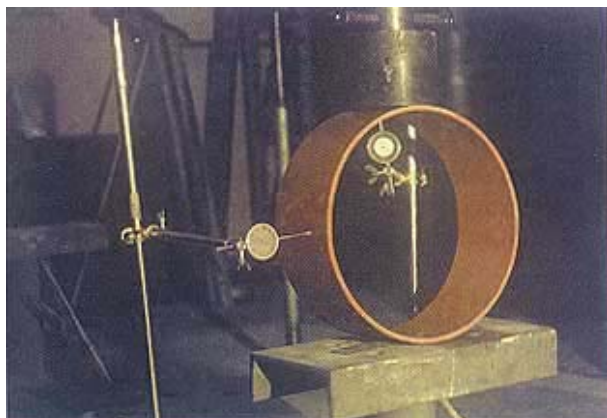
3.1 Metode ispitivanja

Da bi se odredilo kolika je otpornost odabrane kanalizacijske cijevi od tvrdog PVC-a na tjemeni tlak i kolik je udio zbijenog materijala uokolo ukopane cijevi u preuzimanju tog tlaka, ispitivanje cijevi provedeno je tjemnim tlakom na tri načina. Prva i druga metoda ispitivanja dva su ekstremna slučaja koji ne postoje u praksi, ali zato daju uvid u najveće moguće sudjelovanje bočnog oslonca u preuzimanje tjemnog tlaka, a treća metoda ispitivanja odgovara uvjetima ugrađivanja cijevi u praksi.

Prva metoda ispitivanja: najnepovoljniji slučaj pri kojem se ispitni uzorak u obliku prstena ispitivao na krutoj podlozi bez bočnog oslanjanja prema prikazu na slika 1. i 2.

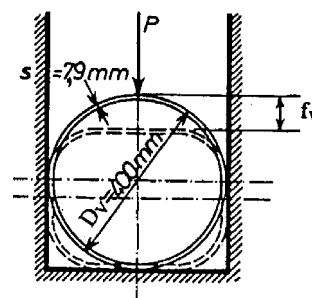


Slika 1. Shema prve metode ispitivanja – prsten na krutoj podlozi

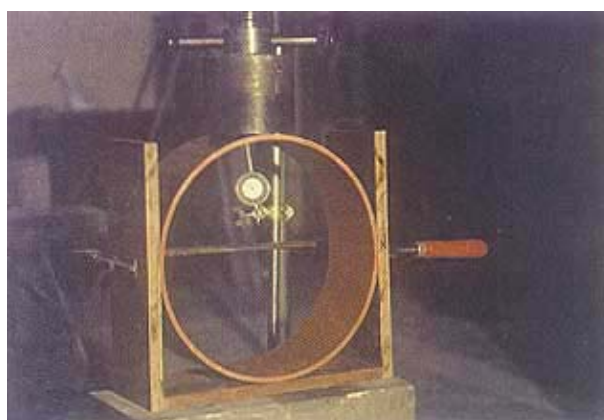


Slika 2. Postupak prve metode ispitivanja – prsten na krutoj podlozi

Druga metoda ispitivanja: najpovoljniji slučaj pri kojem se uzorak u obliku prstena ispitivao u krutom okviru s nepomičnim bočnim osloncima prema prikazu na slika 3. i 4.

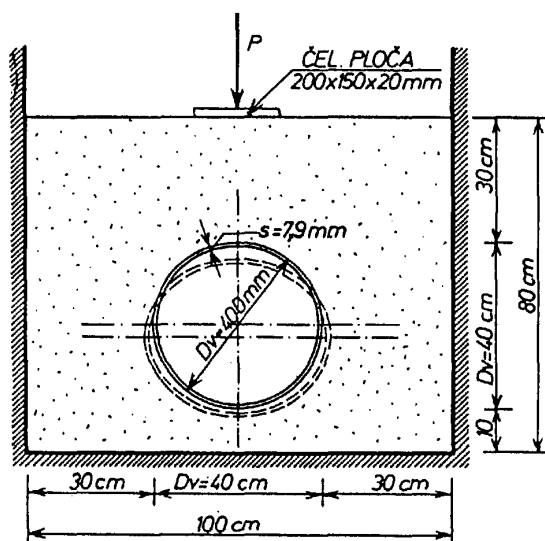


Slika 3. Shema druge metode ispitivanja – prsten u krutom okviru



Slika 4. Postupak druge metode ispitivanja – prsten u krutom okviru

Treća metoda ispitivanja: model sličan stanju u praksi pri kojem se uzorak u obliku prstena ispitivao u sanduku s nabitim šljunkom prirodne granulacije prema prikazu na slici 5.



Slika 5. Treća metoda ispitivanja – prsten u sanduku s prirodnim šljunkom

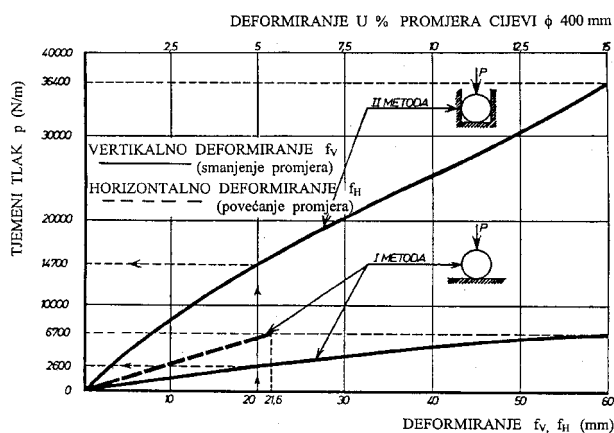
Kod svake metode ispitivanja su po tri prstena. Dimenzije ispitanih uzoraka – prstena jesu: vanjski promjer $d_e = 400$ mm, debljina stjenke $s = 7,9$ mm i duljina prstena $l_p = 150$ mm. Svaki je prsten pri ispitivanju po prvoj i drugoj metodi opterećivan neposredno po cijeloj duljini tjemena, dok se pri ispitivanju po trećoj metodi opterećenje nanosilo preko podložne čelične ploče duljine 150 mm, širine 200 mm i debljine 20 mm, i to preko nadsloja od prirodnog šljunka visine 30 cm na način prikazan na slici 5.

Kod treće metode ispitivanja prednja i zadnja stjenka sanduka u koji je ugrađen prsten izrađene su od prozirnih pleksiglas ploča s otvorom u sredini, da bi se za ispitivanja moglo vizualno kontrolirati deformiranje prstena pod opterećenjem. Za brtvljenje prstena uz pleksiglas ploče upotrijebljene su meke trake od pjenaste gume. Prirodni šljunak koji se nasipavan uokolo prstena zbijen je ručno sa standardnim metalnim nabijačem mase 12 kg, i to u slojevima visine 10 cm. Opterećenje se za ispitivanja nanosilo s pomoću uređaja za ispitivanje otpornosti na pritisak u 10 faza, i to postupno u vremenskim razmacima od jedne minute.

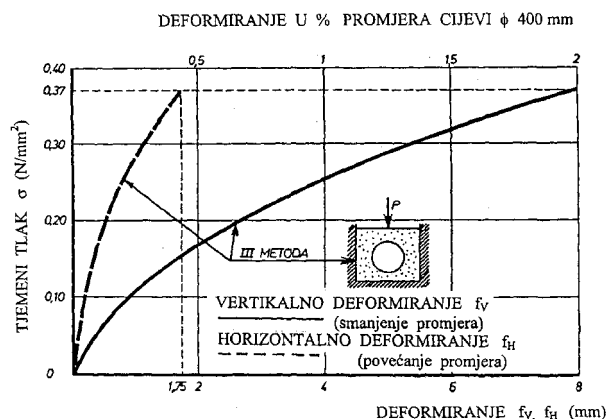
Deformiranje prstena mjereno je u vertikalnom i horizontalnom smjeru (osim kod druge metode ispitivanja kod koje nema horizontalnog deformiranja) mjernim uricama, mjerne točnosti 0,01 mm.

3.2 Rezultati ispitivanja

Rezultati ispitivanja prve i druge metode prikazani su, radi bolje usporedbe, grafički u dijagramu tjemeni tlak – deformiranje na slici 6., a rezultati treće metode ispitivanja prikazani su u dijagramu tjemeni pritisak – deformiranje na slici 7. Dijagrami na slikama 6. i 7. predstavljaju srednje vrijednosti mjernih podataka određenih pri ovom ispitivanju.



Slika 6. Dijagram tjemeni pritisak-deformiranje I i II: metoda ispitivanja



Slika 7. Dijagram tjemeni pritisak-deformiranje: III metoda ispitivanja

Za prvu i drugu metodu ispitivanja dani su zajedno dijagrami tjemeni tlak – vertikalno deformiranje f_v (povećanje ovalnosti odnosno smanjenje vertikalnog promjera cijevi) i tjemeni tlak – horizontalno deformiranje f_H (povećanje promjera cijevi po horizontalnoj osi).

Vizualnom kontrolom ispitanih uzoraka (prstena) za ispitivanja i nakon njega utvrđeno je sljedeće:

- ispitani uzorci su ubrzo nakon rasterećivanja zauzeli prvobitni oblik
- na ispitanim uzorcima nisu primijećene pukotine ili druga oštećenja nakon vertikalne deformacije veličine čak do 25% od unutarnjeg promjera cijevi
- ispitani uzorci su se pod tjemanim opterećenjem ispravno deformirali.

4 Rasprava o rezultatima ispitivanja

Analizom rezultata ispitivanja otpornosti na tjemeni tlak odabrane kanalizacijske cijevi od tvrdog PVC-a utvrđeno je sljedeće:

- cijev je fleksibilna, jer se pod tjemanim tlakom deformira bez loma
- otpornost cijevi na tjemeni tlak u krutom okviru raste s povećanjem opterećenja i postupno je sve veća od otpornosti slobodno položene cijevi, slika 6.
- pri vertikalnom deformiranju $f_v = 5\%$ od vanjskog promjera otpornost cijevi na tjemeni tlak približno je šest puta veća od otpornosti slobodno položene cijevi, slika 6.
- ukopana cijev ispod minimalno dopuštenih 30 cm nadsloja prirodnog šljunka izdržala je kratkotrajni tjemeni pritisak na gornjoj površini nadsloja $\sigma = 0$, 37 N/mm^2 , pri vertikalnoj deformaciji $f_v = 2\%$ od vanjskog promjera cijevi, slika 7.

Budući da je jedan od glavnih nedostataka tvrdog PVC-a velika ovisnost mehaničkih svojstava (čvrstoća i deformiranje) o temperaturi i trajanju opterećenja, ova ispitivanja s kratkotrajnim opterećenjima trebalo bi nadopuniti i proširiti dugotrajnim opterećenjima u trajanju od najmanje jedne godine. Naime, za čisto elastičan materijal, pri kojem nema puzanja pod stalnim naprezanjem, deformiranje ne ovisi o vremenu. Naprotiv, kod tvrdog PVC-a kao i kod ostalih plastomera zbog pojave puzanja modul elastičnosti nije konstantan, nego se smanjuje s vremenom trajanja naprezanja. Prema podacima objavljenim u stručnoj literaturi [10], modul elastičnosti tvrdog PVC-a se nakon 50 godina pod stalnim naprezanjem smanjuje približno na polovicu od početne vrijednosti.

5 Zaključak

Za razliku od krutih tradicionalnih kanalizacijskih cijevi, koje mogu prije loma podnijeti samo malo deformiranje, fleksibilne plastične cijevi se pod vanjskim opterećenjem deformiraju bez loma. Da bi se pri izvedbi ukopanih cjevovoda od takvih cijevi smanjilo njihovo deformiranje, materijal za ispunu rova treba uokolo cijevi na odgo-

rajući način sabiti. Ispitivanjem je utvrđeno da fleksibilne cijevi pritom nose manji dio opterećenja, dok glavni preuzima zbijeni materijal, koji sprečava bočno širenje cijevi sve dok ne nastupi stanje ravnoteže.

Međutim, ta će se pretpostavka ispuniti tek uz upotrebu kvalitetnog materijala zahtijevane granulacije za izvedbu sudjelujućeg sloja uokolo fleksibilne cijevi te stručnu i savjesnu ugradnju cijevi.

Iako je ispitivana cijev pokazala zadovoljavajuću otpornost na tjemeni tlak, ipak se smatra da bi ju, u slučaju izvedbe kanalizacijskog cjevovoda ispod prometnica s velikim opterećenjem, valjalo oblagati slojem betona na do sada uobičajen način. Time će se povećati otpornost cijevi na tjemeni tlak i ujedno izbjeći moguće naknadno slijeganje i stvaranje udarnih rupa iznad takvog cjevovoda.

Smatra se da je ispitivanje dalo korisne podatke i da bi ga zato trebalo nastaviti. Time bi se dobilo još više dragocjenih tehničkih podataka o ponašanju fleksibilnih plastičnih cijevi ukopanih na različitim dubinama i pod različitim pokretnim opterećenjima.

LITERATURA

- [1] DIN 19534-2:1992 *Cijevi i fitinzi od tvrdog polivinilklorida (PVC-U) s utičnim kolčakom za kanalizacijske kanale i cjevovode*. Tehnički uvjeti isporuke.
- [2] DIN 19537-2: *Cijevi i fitinzi od polietilena visoke gustoće (PEHD) za kanalizacijske kanale i cjevovode*. Tehnički uvjeti isporuke.
- [3] prEN 13476-1:2000 *Termoplastični cijevni sustavi za ukopanu odvodnju i kanalizaciju bez tlaka – strukturne stijenske cijevnih sustava od tvrdog polivinilklorida (PVC-U), polipropilena (PP) i polietilena (PE)*. Zahtjevi za cijevi, fitege i sustav.
- [4] Hundertmark, G.; Binder, G.: *Kunststoffe in der Installations-technik*, Plastverarbeiter, Heft (1967) 5, 1. – 8.
- [5] *Güteeigenschaften, die ein Kanalrohr haben muß, um den Anforderungen der Praxis voll gewachsen zu sein*, Werknormen KG, (1976) 10, 10. – 11., Thyssen Plastik Anger KG
- [6] *Beispiele statischer Berechnungen für die Verlegung von Symkanal-Rohren*, (1968) 1.–20., ÖSTERREICHISCHE SYMALEN-GESELLSCHAFT, WIEN
- [7] Scheiblaue, J.: *Berechnungsgrundlagen für erdverlegte flexible Rohre*, Strasse und Autobahn (1967) 5, 161.–171.
- [8] Zäschke, W.: *Die statische Berechnung von Abwasserkanälen*, Steinzeug-Informationen, Fachverband Steinzeugindustrie e. V., Frechen-Marsdorf, BRD
- [9] Imhoff, W.; Rottner, E.; Gaube, E.: *Abwasser – Kanäle aus Hartpolyäthylen*, Teil 1: *Erdauflast und Wanddickenberechnung*, Kunststoffe 57 (1967) 1, 9. – 15.
- [10] Gehrles, J.: *Berechnungsmethoden für PVC hart – Rohre*, Rohre aus Kunststoffen im Kanalbau, 51.–63., VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1973.