Primjena polimernih materijala u izradi cijevi za navodnjavanje

Bilić, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:329219

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Josip Bilić

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

Primjena polimernih materijala u izradi cijevi za navodnjavanje

Završni rad

Osijek, 2018.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Josip Bilić

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

Primjena polimernih materijala u izradi cijevi za navodnjavanje

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. Prof.dr.sc. Goran Heffer, mentor
2. Doc.dr.sc. Ivan Plaščak, član
3. Ivan Vidaković, mag.ing.mech., član

Osijek, 2018.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Mehanizacija

Završni rad

Josip Bilić

Primjena polimernih materijala u izradi cijevi za navodnjavanje

Sažetak: U radu je dan pregled polimernih materijala (polimera) koji se primjenjuju u izradi cijevi za navodnjavanje u poljoprivredi. Uvodno su objašnjene osnove nastanka, strukture i svojstava polimernih materijala. Posebno su opisane vrste polimera koje se najčešće primjenjuju u izradi cijevi za navodnjavanje – polietilen (PE), polipropilen (PP) i polivinilklorid (PVC). Najzastupljeniji tip polietilena u izradi cijevi za navodnjavanje je polietilen visoke gustoće (PEHD). Najzastupljeniji tip polipropilena u izradi cijevi za navodnjavanje je random polipropilen (PP-R). Najzastupljeniji tip polivinilklorida u izradi cijevi za navodnjavanje je polivinilklorid za vodu pod tlakom (PVC-U). U izradi polimernih cijevi najčešće se primjenjuju postupci prešanja, injekcijskog prešanja i ekstrudiranja (ekstruzije). Proizvodne linije za ekstruziju omogućuju izradu najviše tipova cijevi za navodnjavanje od svih vrsta navedenih polimera.

Ključne riječi: polimerni materijali, polimeri, cijevi za navodnjavanje

34 stranice, 5 tablica, 34 slike, 38 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Jurja Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
Undergraduate university study Agriculture, course Mehanizaction

BSc Thesis

Josip Bilić

Application of polymeric materials in making of irrigation pipes

Summary: This paper presents a review of polymeric materials (polymers) used in the production of irrigation pipes in agriculture. The basics of the formation, structure and properties of polymeric materials are explained in the introduction. Particularly described are the types of polymers that are most commonly used in the production of irrigation pipes – polyethylene (PE), polypropylene (PP) and polyvinyl chloride (PVC). The most widely used type of polyethylene for making irrigation pipes is high density polyethylene (PEHD). The most common type of polypropylene in the irrigation pipeline is random polypropylene (PP-R). The most common type of polyvinylchloride in the irrigation pipeline is polyvinyl chloride for pressure water (PVC-U). In the manufacture of polymeric pipes, the processes of pressing, injection molding and extrusion (extrusion) are most commonly used. Production lines for extrusion allow the production of the most types of irrigation tubes of all mentioned types of polymers.

Key words: polymeric materials, polymers, irrigation pipes

34 pages, 5 tables, 34 figures, 38 references

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

SADRŽAJ

1.UVOD 1
2.POLIMERNI MATERIJALI 3
2.1.Struktura polimera 4
2.2.Dodaci polimerima 5
2.3.Vrste polimera 6
2.3.1.Plastomeri 7
2.3.2.Duromeri 8
2.3.3.Elastomeri 9
3.POLIMERI U IZRADI CIJEVI ZA NAVODNJAVANJE 11
3.1.Polietilen 11
3.1.1.Polietilen niske gustoće (PE-LD) 13
3.1.2.Polietilen visoke gustoće (PE-HD) 13
3.1.3.Polietilenske cijevi za vodu 13
3.1.4.Karakteristike polietilenskih cijevi za vodu 14
3.1.5.Transport i skladištenje polietilenskih cijevi 15
3.1.6.Polietilen druge (PE-HD 80) i treće generacije (PE-HD 100) 17
3.1.7.Ispitivanje poletilenskih cijevi 18
3.2.Polipropilen 19
3.2.1.Cijevi od polipropilena 20
3.2.2.Višeslojne cijevi 21
3.2.3.Spajanje PP-R cijevi 22
3.3.Polivinilklorid 24
3.3.1.Vodovodne cijevi od polivinilklorida 25
3.3.2.Cijevi za navodnjavanje od polivinilklorida 26
4.POSTUPCI IZRADE POLIMERNIH CIJEVI 27
4.1.Prešanje 28
4.2.Injekcijsko prešanje 29
4.3.Ekstrudiranje (ekstruzija) 29
5.ZAKLJUČAK 32
6.POPIS LITERATURE 33

1. UVOD

Ekstremno visoke temperature koje su zahvatile Hrvatsku počele su praviti štete, pa će urodi na nenavodnjavanim ratarskim, povrtlarskim i voćarskim usjevima i nasadima najvjerojatnije biti i više nego prepolovljeni, a kvaliteta proizvoda će biti upitna (http://www.zastitabilja.eu/navodnjavanje-poljoprivrednih-povrsina/).

Štete od suše općenito su nepredvidljive, jer ovise od više faktora, npr. od rasporeda oborina, odnosno nedostatka vode u kritičnim fenofazama (npr., oplodnja, nalijevanje zrna itd.), sposobnosti zadržavanja vlage u tlu (tzv. retencijski kapacitet tla za vodu) i gubitaka vode evapotranspiracijom. Naime, suša čini štetu jer biljke ne mogu usvojiti dovoljno vode i hraniva, a to se odražava na fotosintezu i raspodjelu asimilata unutar biljaka (Vukadinović, 2018.). Slika 1. prikazuje posljedice suše na polje kukuruza.



Slika 1. Suša u polju kukuruza (Izvor: http://www.poljomagazin.com/?p=34382)

Voda je neprestano prisutna u tlu ili na njegovoj površini. Sadržaj vode u tlu je promjenjiv u zavisnosti od vremenskih prilika i potrošnje vode od strane biljaka. Često je voda u tlu u suvišku, tako da nepovoljno utječe na tlo i biljku. Druga je krajnost da vode u tlu nema dovoljno za normalan rast i razvoj kulturnog bilja što se negativno odražava na njihove urode. Poljoprivrednim zemljištima koja nemaju dovoljno vode za uzgoj poljoprivrednih kultura tijekom cijele vegetacije ili samo u određenom razdoblju rasta i razvitka, vodu dodajemo na umjetni način. Sve mjere i radovi kojima se svjesno i na umjetni način povećava sadržaj vode u tlu s ciljem uzgoja poljoprivrednih kultura naziva se navodnjavanje (Madjar i Šoštarić, 2009.).

Navodnjavanje je jedna od najvažnijih agrotehničkih mjera (uz obradu, gnojidbu i odvodnju). Njime se nadoknađuje voda u tlu, a količina dodane vode ovisi o količini oborina i njihovom rasporedu. U našim uvjetima (umjerena i mediteranska klima) navodnjavanje bi trebalo biti obvezna dopunska mjera, naročito zbog sve nestabilnije količine i distribucije oborina. Prednosti navodnjavanja su ravnomjerno i konstantno održavanje vlažnosti tla, što doprinosi smanjenju vodnog stresa i rezultira povećanjem prinosa od 15-40 %. Navodnjavanje također omogućuje proizvodnju u sušnim uvjetima, fertirigaciju te veću učinkovitost gnojiva (http://www.zastitabilja.eu/navodnjavanje-poljoprivrednih-povrsina/).

Stručnjaci tvrde da navodnjavanje povećava porast prinosa i do 50 %, što potvrđuju i mnogi uzgajivači. Takav je sustav prilično skup te da ga je gotovo nemoguće ugraditi bez dobre uštedevine ili kredita. Nažalost, iako je navodnjavanje neophodno i jedan od osnovnih uvjeta za bavljenje intenzivnom poljoprivrednom proizvodnjom, u Hrvatskoj je ono još uvijek zastupljeno u malom omjeru (Ćurić, 2016.).

Sustavi za navodnjavanje, poput prikazanog na slici 2., sastoje se od brojnih dijelova, no najvažnije su cijevi za dobavu i raspodjelu vode. Ovisno o tipu sustava, cijevi se izrađuju od različitih materijala, a najzastupljenije su cijevi od polimernih materijala koje se u praksi uobičajeno nazivaju „plastične cijevi“.



Slika 2. Sustav za navodnjavanje
(Izvor: https://www.purplewave.com/auction/140813A/item/AC9412)

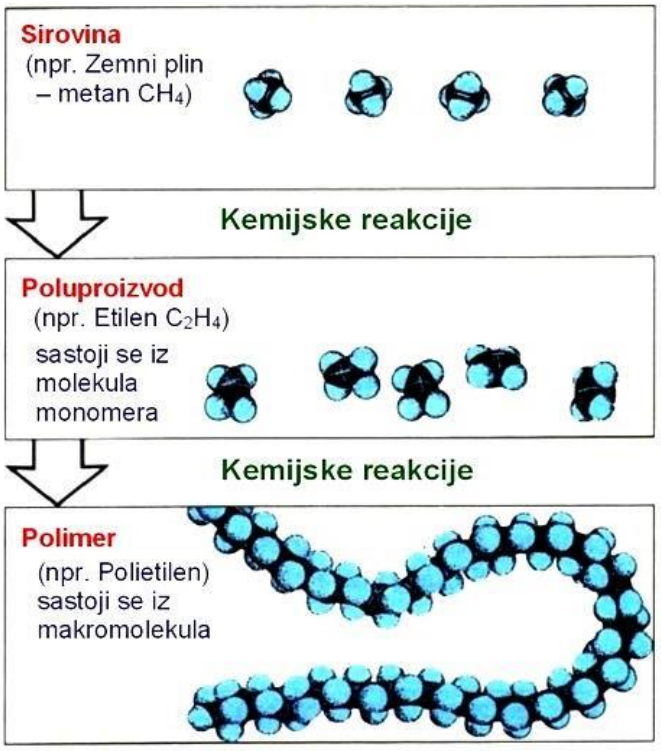
Cilj ovog rada je analizirati primjenu različitih polimernih materijala u izradi cijevi koje se koriste u sustavima za navodnjavanje.

2. POLIMERNI MATERIJALI

Polimerni materijali (češće se koristi skraćeni oblik „polimeri“) već su više od sto godina nezaobilazni u gotovo svakom segmentu praktične primjene materijala. Polimerima se nazivaju sve prirodne i sintetske tvari i materijali čiji je osnovni sastojak sustav makromolekula (polimerne molekule). Naziv polimer dolazi od grčke riječi *poli* = mnogo i *meros* = čestica (Ivanišević, 2011.).

Hrvatska enciklopedija navodi da polimeri prema podrijetlu mogu biti prirodni ili sintetski. Prirodni polimeri pretežito su biopolimeri od kojih su građeni živi organizmi (bjelančevine, polisaharidi, nukleinske kiseline), te kaučuk, svila, vuna. Osim tih organskih polimera, u prirodne pripadaju i anorganski polimeri kao temeljni sastojci Zemljine kore, ponajprije alumosilikati. Sintetski polimeri dobivaju se polimerizacijom monomera i osnova su za proizvodnju polimernih materijala. Broj monomernih jedinica u lančanim polimernim molekulama naziva se stupnjem polimerizacije. O njemu ovisi i relativna molekularna masa polimera, koja je uglavnom veća od 10000. Polimeri s malim stupnjem polimerizacije zovu se oligomeri (http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49180). Brojem molekula u makromolekuli određen je stupanj polimerizacije, koji definira svojstva polimera – mogućnost oblikovanja, čvrstoću, topivost, itd. (Vujčić i sur., 2011.).

Slika 3. prikazuje shemu procesa nastanka polimera.



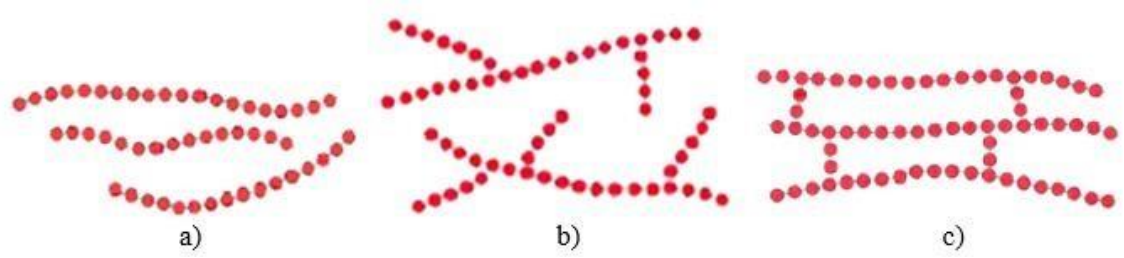
Slika 3. Shema procesa nastanka polimera (Izvor: Vujčić i sur., 2011.)

2.1. Struktura polimera

Za razliku od metala, kod kojih je osnovna jedinica strukturnog oblikovanja atom, kod polimera to je molekula. Prema obliku, makromolekule mogu biti:

a) linearne – nizanje molekula samo u jednom smjeru (lanci, vlakna,..),
b) granate – nizanje molekula u jednom smjeru uz povremeno bočno povezivanje manjeg broja molekula bez završnog bočnog povezivanja,
c) umrežene – nizanje molekula u jednom smjeru uz bočno povezivanje nizova molekula sa završnim povezivanjem kovalentnom vezom (Vujčić i sur., 2011.).

Slika 4. prikazuje navedene oblike makromolekula.

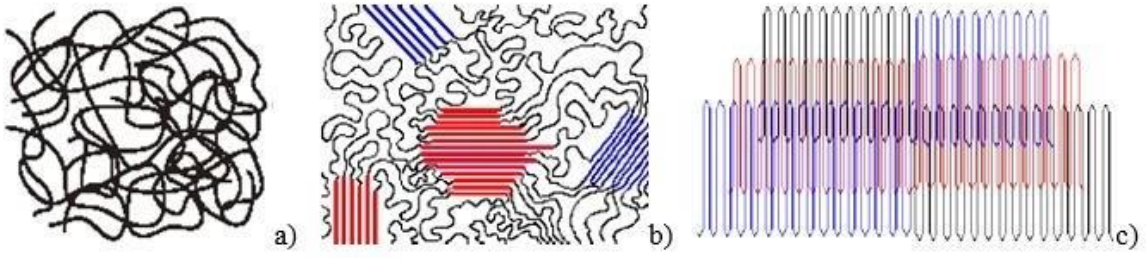


Slika 4. Oblici makromolekula polimera (Izvor: Vujcic i sur., 2011)

Spajanjem makromolekula sekundarnim vezama (Van der Waalsova), polimeri u čvrstom stanju mogu formirati različite tipove nadmolekularne strukture:

a) amorfna – ne postoje nikakve sekundarne veze između makromolekula,
b) kristalasta (djelomično kristalna) – sekundarne veze su u pojedinim djelovima strukture,
c) kristalna – sekundarne veze između makromolekula su kroz cjelokupnu strukturu.

Slika 5. Prikazuje tipove nadmolekularne strukture polimera.



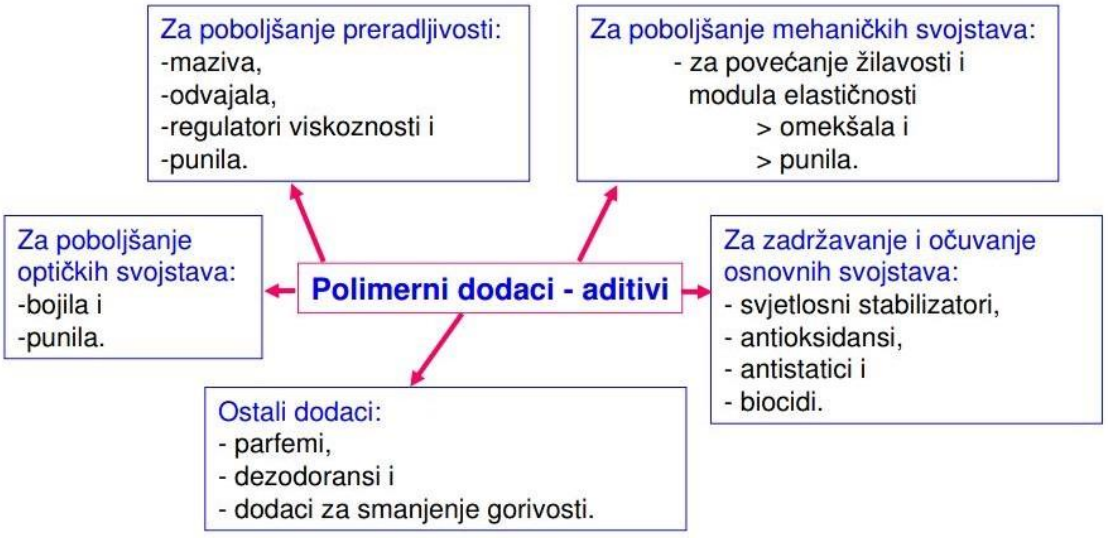
Slika 5. Tipovi nadmolekularne strukture polimera (Izvor: Andričić, 2010.)

Osnovni uvjet koji određuje mogućnost stvaranja kristalnih područja u kondenziranom polimeru postojanje je konformacija (razmještaja atoma u prostoru) velike geometrijske pravilnosti. Što su jače sekundarne veze u linearnim makromolekulama, to je veća sklonost

prema stvaranju uređenih, kristalnih područja, osobito pri hlađenju taline. Omjer kristalne faze prema amorfnoj fazi i struktura tih područja određuju većinu svojstava polimera. Veći udjel kristalne faze povećava gustoću, tvrdoću, čvrstoću i postojanost prema otapalima, a veći udjel amorfne faze povećava elastičnost i olakšava preradu polimera (http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49180).

2.2. Dodaci polimerima

Polimeri se od plastika i guma razlikuju po dodacima koji se dodaju neposredno nakon polimerizacije ili prije prerade u gotov proizvod. Slika 6. prikazuje pregled dodataka koji se primjenjuju (Kladarić[1], 2012.).



Slika 6. Polimerni aditivi (Izvor: Kladarić[1], 2012.)

2.3. Svojstva polimera

Kao što je ranije navedeno, polimeri su nezaobilazni u gotovo svakom segmentu praktične primjene materijala, prije svega zbog svojih različitih tehnički značajnih svojstava.

Uspoređujući svojstva polimera s nekim drugim konstrukcijskim materijalima, treba reći da oni imaju i prednosti i nedostatke u odnosu na iste. Pregled navedene usporedbe prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Prednosti i nedostatci polimera (Izvor: Kladarić[1], 2012.)

PREDNOSTI	NEDOSTATCI
mala gustoća	ovisnost svojstava o raznim utjecajnim faktorima
dobra kemijska postojanost	veća toplinska rastezljivost
dobra otpornost na trošenje	nizak modul elastičnosti
mali faktor trenja	mala površinska tvrdoća
dobro prigušenje vibracija	podložnost starenju
dobra toplinska i elektroizolacijska svojstva	mala toplinska provodnost
deformabilni su pri povišenim temperaturama	utjecaj prerade na svojstva
ekonomična serijska izrada proizvoda	neekonomična proizvodnja malih količina proizvoda

Pri konstrukcijskoj primjeni polimera treba voditi računa o njihovim brojnim uporabnim svojstvima, čiji pregled je prikazan u tablici 2.

Tablica 2. Uporabna svojstva i njihovi nazivi (Izvor: Kladarić[1], 2012.)

Uporabna svojstva	Nazivi svojstava
Mehanička	čvrstoća, istezljivost, modul elastičnosti, tvrdoća, žilavost
Tribološka	faktor trenja, otpornost na trošenje
Toplinska	toplinksa vodljivost, toplinska rastezljivost, temperature omekšavanja (plastomeri), postojanost oblika pri povišenoj temp. (duromeri)
Električna	električna vodljivost, električni otpor, čvrstoća proboja, dielektrična svojstva
Postojanost	kemijska postojanost
Ostala	gustoća, propusnost svjetla, indeks loma, udjeli dodataka

2.3. Vrste polimera

Vrste polimera mogu se definirati prema različitim kriterijima (Kladarić[2], 2012.):

- s obzirom na postanak – prirodni (biopolimeri), polusintetski, organski sintetski, anorganski sintetski

- s obzirom na vrstu monomera u makromolekuli – homopolimeri, kopolimeri
- s obzirom na građu makromolekula – linearni, granati, poprečno vezani, mrežasti
- s obzirom na stupanj uređenosti makromolekula – amorfni, kristalni
- s obzirom na ponašanje na povišenoj temperature – plastomeri (termoplasti), duromeri (duroplasti), elastomeri, elastoplastomeri.

Za praktičnu primjenu najvažnija je podjela polimera s obzirom na njihovo ponašanje na povišenoj temperaturi.

Imena polimera i dodataka često su vrlo dugačka. Stoga je kod polimera vrlo prošireno pisanje kratica, sastavljenih prema njihovom osnovnom kemijskom sastavu, čime se mogu identificirati pojedini materijali (Čatić i Čatić, 2005).

2.3.1. Plastomeri

Prema potrošnji plastomeri su najraširenija skupina materijala dok ih se prema uređenosti dijele na amorfne, kristalaste i kristalne. Plastomeri pri zagrijavanju omekšavaju, porastom temperature raste nepravilno gibanje atoma oko njihovih ravnotežnih položaja i dolazi do prekida veza među atomima. Tijekom hlađenja, sekundarne veze ponovno se uspostavljaju i materijal se vraća u početno stanje. Stupanj kristalnosti utječe na preradbena i uporabna svojstva. Viši stupanj kristalnosti povećava gustoću, tvrdoću, čvrstoću, krutost i postojanost prema otapalima. Kristalasti materijali u pravilu su neprozirni i mogu se pojaviti kao djelomično prozirni, odnosno svjetlopropusni (Fudurić, 2016.).

Plastomeri se lako prerađuju u najrazličitije proizvode: protiskivanjem (vlakna, folije), lijevanjem u kalupe (posude i veći proizvodi), itd. Otapaju se u različitim otapalima, a otopine su im vrlo viskozne (npr. ljepilo za papir koje nakon što otapalo ishlapi lijepi papir). Zbog slabih međumolekulskih veza mogu se ponovno koristiti (recikliranje) (Kladarić[2], 2012.).

Tipični predstavnici plastomera, označeni kraticama, su (Vujčić i sur., 2011.):

- <u>amorfni</u>
  - CN – celuloid
  - PVC – polivinilklorid (tvrdi)
  - PS – polistirol (stiropor)
  - PC – polikarbonat
- <u>kristalasti</u>

- PA – poliamid
- PE – polietilen
- PP – polipropilen
- PTFE – politetrafluoretilen (teflon)
- PETP – polietilen tereftalat (poliester)
- PMMA – polimetil metakrilat (pleksiglas)

Slika 7. prikazuje primjere proizvoda izrađenih od različitih vrsta plastomera.



Slika 7. Primjeri proizvoda od plastomera (Izvor: Vujčić i sur., 2011.)

2.3.2. Duromeri

Duromeri su mrežasti polimeri, a makromolekule su im povezane kovalentnom vezom. Postupcima polimerizacije ne polimeriziraju do kraja (do umrežavanja) nego samo do prvog stupnja, pa su kao sirovina slični plastomerima. Proizvodi se oblikuju iz još neumreženog polimera kojima se dodaju niskomolekulski spojevi ubrzivač i katalizator koji služe za umrežavanje makromolekula. Pri zagrijavanju vrlo malo omekšaju ili uopće

ne omekšaju, nego se umrežavaju. Duromeri su netopljivi, netaljivi i ne mogu bubriti. Ne mogu se plastično oblikovati i ponovno preoblikovati, jer zagrijavanjem dolazi do njihove termodegradacije, tj. do kidanja kovalentnih veza između makromolekula (Kladarić[2], 2012.).

Duromeri su napravljeni na temelju fenol-formaldehidnih (PF), urea-formaldehidnih (UP) i melamin-formaldehidnih (MF) smola, kojima se dodaju potrebni sastojci. S obzirom na način preradbe, duromeri se dijele na temperaturno aktivirane sustave, katalizatorom aktivirane sustave i duromerne sustave aktivirane smješavanjem (Fudurić, 2016.).

Tipični predstavnici duromera, označeni kraticama, su (Vujčić i sur. 2011.):

- PF – fenolna smola (bakelit)
- UP – poliesterska smola
- EP – epoksidna smola
- ME – melaminska smola

Slika 8. prikazuje primjere proizvoda izrađenih od različitih vrsta duromera.



Slika 8. Primjeri proizvoda od duromera (Izvor: https://www.elektromax24.de/elso-joy#)

2.3.3. Elastomeri

Elastomeri su materijali sa sposobnošću velikih elastičnih deformacija. Osim dobre sposobnosti elastičnosti, gume posjeduju niz drugih svojstava. Elastomeri mogu podnjeti velika istezanja i to čak do više stotina posto pri sobnoj temperaturi, a nakon rasterećenja vraćaju se u početni položaj (Fudurić, 2016.).

Elastomeri su rahlo prostorno umrežene makromolekule. Netopljivi su, netaljivi i bubre. Mogu se oblikovati prije dovršenja umrežavanja, odnosno vulkanizacije, u omekšanom stanju (Kladarić[2], 2012.).

Prema Vujčiću i sur. (2011.), svojstva elastomera ovise o:

- karakteristikama osnovnih, pojedinačnih lanaca polimera,
- prisutnosti međumolekulskih kovalentnih veza (djelomično umreženi) – broj kovalentnih veza utječe na fleksibilna svojstva materijala.

Tipični predstavnici elastomera, označeni kraticama, su:

- NR – prirodni kaučuk
- PVC – polivinilklorid (mekani)
- PUR – poliuretan
- SIR – silikon

Slika 9. prikazuje primjere proizvoda izrađenih od različitih vrsta elastomera.



Slika 9. Primjeri proizvoda od elastomera

(Izvor: http://www.askengineering.co.uk/products/seals-and-o-rings/)

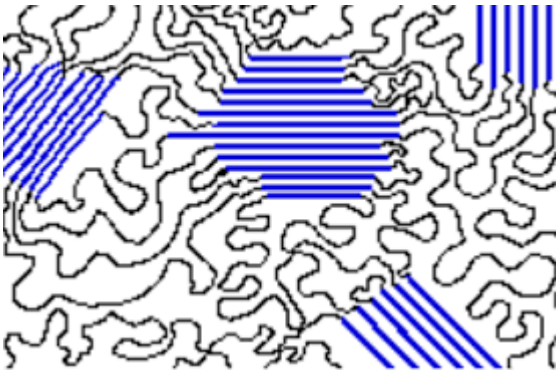
3. POLIMERI U IZRADI CIJEVI ZA NAVODNJAVANJE

3.1. Polietilen

Polietilen (PE) je najjednostavniji poliugljikovodik, a ujedno i jedan od najpoznatijih i najvažnijih polimera današnjice. Industrijski se proizvodi polimerizacijom etena, a laboratorijski se može dobiti i od diazometana. Sljedeća jednadžba prikazuje reakciju dobivanja polietilena:

$$nCH_2{=}CH_2 \rightarrow (-CH_2-CH_2-)n$$

Najvažniji strukturni parametri koji izravno utječu na svojstva polietilena su: stupanj kristalnosti, prosječna molekulna masa i raspodjela molekulnih masa. Ponavljane jedinice polietilena su (−CH2−CH2−) koje vrlo lako omogućuju njegovu kristalizaciju. Polietilen kristalizira u izduženoj cik-cak, odnosno trans-konformaciji, a o stupnju kristalnosti, odnosu omjeru kristalne faze prema amorfnoj fazi ovise i njegova temeljna svojstva. U komercijalnom polietilenu izmjenjuju se kristalna i amorfna područja izgrađujući, među ostalim, različite morfološke tvorevine, najčešće sferolite (Gabud, 2016.). Slika 10. prikazuje shemu strukture polietilena.



Slika 10. Shematski prikaz amorfnih i kristalastih područja u polietilenu
(Izvor:https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANZDd8mvLEA)

Stupanj kristalnosti kao posljedica sređene, pravilne strukture, ovisi prije svega o građi samih makromolekula. Linearne polietilenske makromolekule sadrže određen broj bočnih skupina koje mogu biti kratkolančane i dugolančane, a koje onemogućuju gusto slaganje lančanih segmenata i potpunu kristalizaciju, pa s povećanjem granatosti smanjuju stupanj kristalnosti. Kratkolančana granatost kod polietilena sastoji se od butilnih, metilnih, etilnih

i vinilnih skupina. Njihova zastupljenost, odnosno općenita mjera za grranatost polietilenskih makromolekula određena je brojem metilnih skupina na 1000 C atoma temeljnog lanca i iznosi do 80. Dugolančana granatost kod polietilena iznosi samo do dvije skupine po makromolekuli temeljnog lanca, ali ipak bitno utječe na njegova svojstva i raspodjelu molekulnih masa. Stupanj kristalnosti izravno je proporcionalan gustoći polietilena. Kako se gustoća može jednostavno mjeriti, svojstva polietilena se upravo prema i njegovoj gustoći i ocjenjuju. S porastom gustoće povećava se talište i poboljšavaju većina mehaničkih svojstava, među njima tvrdoća, vlačna čvrstoća, prekidno istezanje, otpor prema puzanju, krutost a također i kemijska postojanost. Osim toga smanjuje se i propusnost kapljevina i plinova. S druge strane, s porastom gustoće smanjuje se savitljivost, prozirnost, žilavost i otpornost prema napuklinama od naprezanja.

O prosječnoj molekulnoj masi polietilena ovisi sposobnost prerade polietilena pa se polietilen s većom molekulskom masom teže prerađuje. Na temelju razlika u gustoći, odnosno molekulnoj masi, polietilen se kao tehnički materijal svrstava u nekoliko tipova:

- Polietilen niske gustoće (engl. low density polyethylene, PE-LD)
- Linearni polietilen niske gustoće (engl. linear low density polyethylene, PE-LLD)
- Polietilen visoke gustoće (engl. high density polyethylene, PE-HD)
- Polietilen ultra visoke molekulske mase (engl. ultra high molecular weight polyethylene, PE-UHMW)
- Polietilen srednje gustoće (engl. medium density polyethylene, PE-MD)
- Polietilen vrlo niske gustoće (engl. very low density polyethylene, PE-VLD)
- Umreženi polietilen (engl. crosslinked polyethylene, PE-X)

PE-LD, PE-LLD i PE-HD su komercijalno vrlo važni materijali i proizvode se u velikim količinama, dok se PE-UHMW, PE-MD, PE-VLD i PE-X proizvode u manjim količinama. Polietilen se može prerađivati svim glavnim postupcima prerade plastomera. Najviše se primjenjuje ekstrudiranje, puhanje, injekcijsko prešanje i rotacijsko lijevanje. Temperatura prerade polietilena obično je u rasponu od 180 do 280 °C. Kad je izložen ultraljubičastom zračenju, polietilen je podložan procesima razgradnje, kemijskoj ili toplinskoj oksidaciji, posebice pri povišenim temperaturama. Postojanost prema ultraljubičastom zračenju postiže se dodatkom UV-stabilizatora, derivata hidroksibenzentriazola ili posebne vrste čađe u količini od 2 %. Toplinska razgradnja se potpuno sprječava dodavanjem do 1% antioksidansa kao što su supstituirani fenoli i aromatski amini (Gabud, 2016.).

3.1.1. Polietilen niske gustoće (PE-LD)

Polietilen niske gustoće PE-LD koristi se za eksturziju filmova i folija za pakiranje, vreće i nosive vrećice, poljoprivredne folije, vodonepropusne barijere u graditeljstvu, injekcijsko prešanje galanterije, posuda i boca manjeg volumena (http://www.viro-kem.hr/ponuda_granulati.asp?pp=PE).

3.1.2. Polietilen visoke gustoće (PE-HD)

Polietilen visoke gustoće, takva je vrsta polietilena kod kojeg osnovni polimerni lanac polietilena ne sadrži grane pa se još naziva i linearnim polietilenom. PE-HD je žilav materijal, velikog modula elastičnosti, voskastog izgleda i nepotpune prozirnosti. Zbog svoje visoke kristalnosti ima nisku kemijsku reaktivnost pa zbog toga pokazuje i nisku propusnost za većinu kemijskih spojeva. U potpunosti je nepropustan za vodu i anorganske plinove, a ima vrlo malu propusnost za kapljevite i plinovite organske spojeve. Nije topljiv ni u jednom organskom otapalu pri sobnoj temperaturi iako u nekim otapalima bubri. Talište PE-HD je od 128 do 135 °C, a razgrađuje se pri temperaturama od 290 do 300 °C.
PE-HD je prvi put dobiven 1890. godine iz diazometana, a njegova komercijalna proizvodnja započela je 1956. godine u tvrtki Phillips Petroleum Co. Za dobivanje PE-HD-a danas se koriste sljedeći postupci (Gabud, 2016.):

- Polimerizacija u otopini koja se koristi za dobivanje PE-HD niske molekularne mase,
- Suspenzijska polimerizacija kojom se dobiva PE-HD i niskih i vrlo visokih molekulnih masa,
- Polimerizacija u plinskoj fazi koja iziskuje najniže troškove i najmanje zahtjevan proces jer se izvodi pod relativno niskim tlakovima.

3.1.3. Polietilenske cijevi za vodu

Pozitivne značajke polietilenskih cijevi su neosporne. Polietilenske cijevi su čvrste, postojane u dodiru s agresivnim medijima, otporne na koroziju i vrlo otporne na mehaničke utjecaje. Uz to su lagane i fleksibilne te omogućuju ekonomično polaganje. Fleksibilnost materijala po potrebi omogućuje velike ugradne duljine. Time se udio spojnih elemenata i armatura smanjuje na minimum. Isto se tako duljine cijevi mogu rezati po narudžbi za pojedine građevinske projekte te se na taj način smanjuju troškovi prijevoza (Gabud, 2016.).

Slika 11. prikazuje cijevi od PE-100 materijala u drvenim okvirima.



Slika 11. Cijevi od PE-100 materijala u drvenim okvirima
(Izvor: https://upg.nz/site/assets/files/1088/img_1311-2.jpg)

3.1.4. Karakteristike polietilenskih cijevi za vodu

Polietilen je apsolutno netoksičan materijal i potpuno inertan u kontaktu s vodom. Cijevi od PE su lake za transport i rukovanje. Čak se nastavljaju zavarivanjem ili spojnicama. Životni vijek im je preko 50 godina. Nemaju utjecaja na miris i ukus vode. Na njima se ne hvata kamenac pa se s vremenom ne smanjuje protok. Vrlo su fleksibilne i izuzetno otporne na vibracije, na seizmičke udare i sl. Veću fleksibilnost imaju cijevi od PE-80. Cijevi su postojane na UV zrake i na temperature (30 °C, 60 °C, 80 °C), uz visoku otpornost na abraziju. Gubici tlaka vrlo su niski jer koeficijent trenja je 10 puta manji nego kod čelične cijevi (Gabud, 2016.).

PE cijevi imaju sljedeće karakteristike:

- fleksibilne su, omogućuju cjevovodu da bude instaliran pomoću „float-flow" metode,
- nekorozivne su, netoksične i dozvoljene u primjeni za pitku vodu,
- imaju visoku abrazijsku i kemijsku otpornost,
- mali su im gubici uslijed trenja, što znači i manji pad tlaka,
- gustoća PE iznosi 0,95 – 0,96 kg/dm^3, što omogućuje cijevima da plutaju u morskoj vodi.

Prednosti uštede pri opskrbi PE cijevima velike duljine su:

- potrebno je vrlo malo mjesta zavarivanja, a ponekad uopće nisu potrebni,
- nabava cijevi u dužinama od 500 – 550 m rezultira potrebom za samo nekoliko zglobova,
- niski troškovi prijevoza (tegljač prevozi nekoliko tisuća metara cijevi velikog promjera u jednom prijevozu),
- značajne su uštede vremena i troškova za izvođača jer nije potrebno zemljišno gradilište i skladišni prostor,
- niski su troškovi ugradnje zbog kratkog vremena instalacije i nema potrebe za teškom instalacijskom opremom,
- manji je rizik od oštećenja tijekom rukovanja i skladištenja.

Sve navedene osobine su vrlo važne i cijenjene od strane krajnjeg korisnika koji ima koristi od cjevovoda s duljim vijekom trajanja u odnosu na bilo koji alternativni cjevovod od drugih materijala (https://www.pipelife.hr/hr/media/pdfs/Cjenici2016/KATALOGPE100 web.pdf?m=1526019784&).

3.1.5. Transport i skladištenje polietilenskih cijevi

Polietilenski cijevni sustavi zahtijevaju pažljivo rukovanje pri prijevozu. Cijevi i fazonske komade potrebno je prevoziti u za to prikladnim vozilima, te posebnu pažnju posvetiti pri utovaru odnosno istovaru kako bi se spriječilo oštećenje vanjskih površina cijevi. Tijekom prijevoza cijevi moraju nalijegati cijelom svojom duljinom u vozilu kako bi se ograničilo savijanje i izbjegla deformacija cijevi. Nadalje prilikom prijevoza, ali također i pri skladištenju potrebno je poduzeti mjere zaštite od mogućih oštećenja (npr. šiljastih predmeta, kamenja, itd). Također je potrebno izbjegavati potezanje cijevi po tlu. Pri skladištenju posebice je potrebno voditi računa o tome kako ne bi nastupile nedopuštene deformacije. Visina naslaganih cijevi na gradilištu ne smije prelaziti jedan metar te ih je potrebno bočno učvrstiti. Skladišno mjesto mora biti tako ravno da omogući nalijeganje cijevi cijelom svojom duljinom. Palete se moraju slagati isključivo drvo na drvo. Najveća dopuštena visina naslaganih cijevi je jedan metar. Crne PE cijevi zaštićene su od UV-zračenja te ih je dopušteno skladištiti na otvorenom. No, treba pripaziti da sunčevo zračenje nije samo na jednoj strani, što može uzrokovati neravnomjerno zagrijavanje i posljedično naknadno savijanje (https://www.pipelife.hr/hr/media/pdfs/Cjenici2016/KATALOGPE100 web.pdf?m=1526019784&). Slika 12. prikazuje primjer transporta PE cijevi.



Slika 12. Transport PE cijevi

(Izvor: http://www.pipelife.hr/hr/media/pdfs/Cjenici2016/KATALOGPE100web.pdf)

Manje dimenzije PE-HD cijevi isporučuju se namotane u kolutovima koji su u pravilu duljine 100 m. Pri skidanju omatajuće trake, koja drži kolutove svezanima, trebale bi biti prisutne najmanje dvije osobe. Traka koja drži vanjski kraj cijevi mora se najprije ukloniti, a tek nakon toga uklanjaju se ostale trake koje osiguravaju ostale dijelove cijevi. Potrebno je ukloniti samo onoliko traka koliko je potrebno za odmatanje potrebne dužine cijevi. Nakon odmatanja i rezanja cijevi iz koluta završetak cijevi se zatvara i provjerava oštećenost preostalih traka. Pri uklanjanju traka cijev se ne smije izgrebati, a uz primjenu bubnja za odmatanje, cijev se ne smije oštetiti pri dodiru s tlom ili drugim predmetima (http://www.pipelife.hr/hr/media/pdfs/Cjenici2016/KATALOGPE100web.pdf).

Cijevi su na svojim krajevima zatvorene plastičnim poklopcima ili čepovima, kao što je prikazano na slici 13.



Slika 13. PE cijev zatvorena čepom na krajevima

(Izvor: https://www.stabilo-sanitaer.de/item/images/436647/1600x1600/StabiloFLEX)

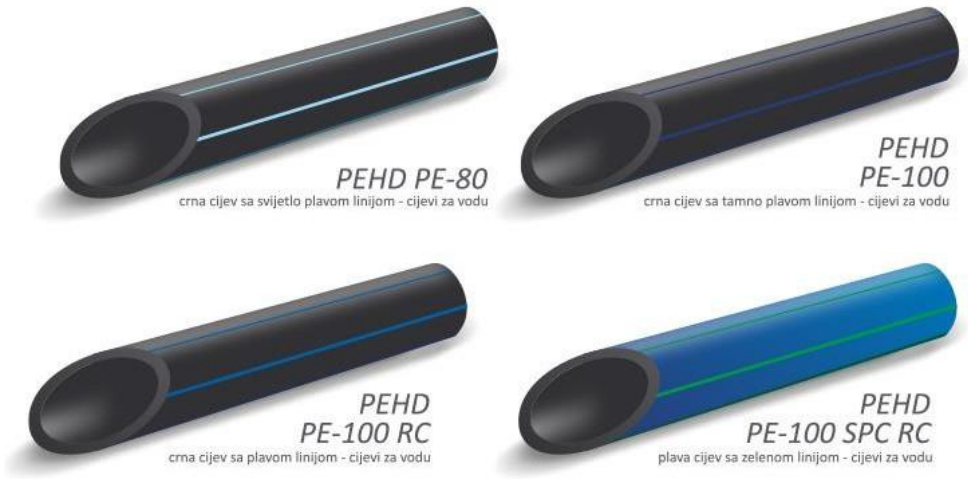
3.1.6. Polietilen druge (PE-HD 80) i treće generacije (PE-HD 100)

Kasnih 80-tih razvijena je nova generacija PE-HD materijala, PE 100, koji svojim znatno poboljšanim mehaničkim svojstvima omogućuje konkurentnost PE cijevi u području većih promjera i radnih tlakova do 16 bara. PE-HD 100 je najrašireniji plastični materijal za podzemne instalacije kod distribucije vode. Pošto PE 100 ima dobru otpornost na brzo širenje pukotina (RCP) garantira veliku sigurnost pri projektiranju cjevovoda za visoke tlakove. Cijevi tanjih stijenki su lakše pa prema tome pogodnije su za transport, manipulaciju i ugradnju. PE 80 cijevi proizvedene su od granulata renomiranih europskih i svjetskih proizvođača. Koristi se originalno obojeni crni, plavi i žuti materijal čiji pigment osigurava maksimalnu zaštitucijevi od UV zračenja i topline. Polietilenske cijevi su netoksične, čvrste, male težine, otporne na koroziju, upotrebljive u različitim cjevovodnim sistemima i sve češće zamjenjuju cijevi od konvencionalnih materijala (Gabud, 2016.).

Prednosti PE 80/PE 100 cijevnih sustava za distribuciju pitke vode u odnosu na klasične sustave su (Gabud, 2016.):

- visoka čvrstoća i krutost ih čini otpornim na dugotrajan unutarnji tlak i vanjska opterećenja
- dugotrajna postojanost čvrstoće u eksploataciji
- visoka fleksibilnost, žilavost i mala masa te otpornost na udar
- visoka fleksibilnost kod niskih temperatura (– 50 °C)
- visoka otpornost na vanjsko trošenje
- odlična fleksibilnost i otpornost na pomicanje uslijed potresa
- visoka glatkoća unutarnjih stijenki s vrlo malim protočnim gubicima
- visoka kemijska otpornost na agresivne medije
- ne korodiraju, ne hrđaju, ne podržavaju rast gljivica ili plijesni
- mogu se spajati zavarivanjem, elektrofuzijom, mehaničkim spojnicama
- mjesta zavarivanja imaju mehaničku čvrstoću jednaku kao i same cijevi .

Slika 14. prikazuje vrste PE-HD cijevi.



Slika 14. Vrste PE-HD cijevi

(Izvor: http://www.vodoskok.hr/wp-content/uploads/2016/06/pehd80100-1.jpg)

3.1.7. Ispitivanje polietilenskih cijevi za vodu

U okviru ispitivanje polietilenskih cijevi za vodu obavljaju se ispitivanja osnovnih svojstava materijala za izradu PE-cijevi (konvencionalna gustoća, termička stabilnost prema oksidaciji, otpornost prema lomu, sadržaj vlage, čađi) te svojstava gotovih PE-cijevi (izgled cijevi, boje i obilježavanja, mjerenje dimenzija, dimenzijska stabilnost pri zagrijavanju, otpornost prema unutarnjem tlaku, prekidna čvrstoća, maksimalno dozvoljeni radni tlak). Oprema za ispitivanje se sastoji od mikrometra, pomičnog mjerila, manometra, sušilice te vodenog kupatila, kao što je prikazano na slici 15. (Gabud, 2016.).



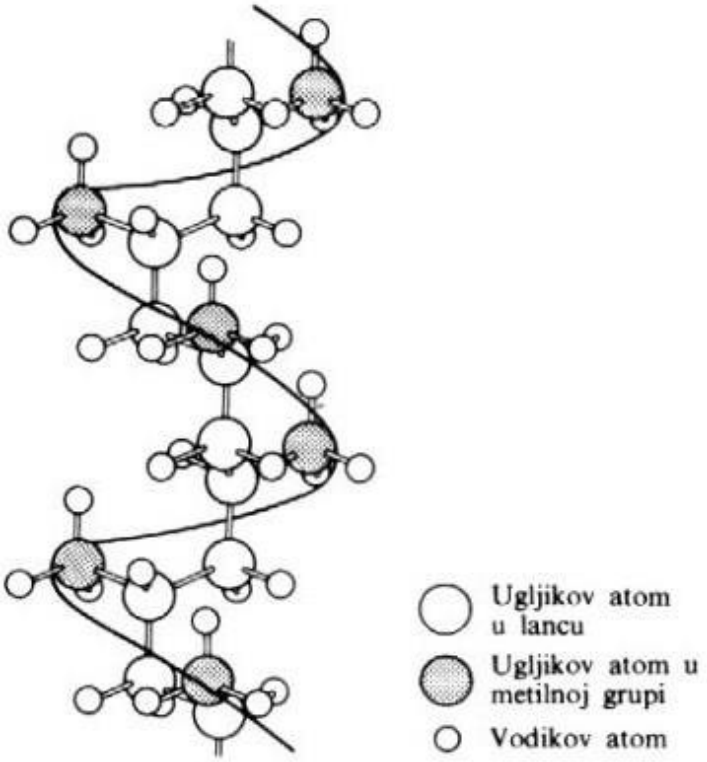
Slika 15. Oprema za ispitivanje polietilenskih cijevi za vodu (Izvor: Gabud, 2016.).

3.2. Polipropilen

Polipropilen (PP) je osnovni materijal za izradu plastičnih cijevi za razvod tople i hladne vode.

Polipropilen je plastomer niske gustoće i temperature taljenja 160 – 170 °C. Zagrijani materijal lako se oblikuje savijanjem, a nakon hlađenja zadržava novi oblik. Proizvodi se postupkom koordinativne polimerizacije u kojemu se više malih molekula monomer propilena (propena) pravilnim rasporedom povezuje u duge lance molekula – makromolekule (http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf).

Slika 16. prikazuje shematski prikaz makromolekule polipropilena.



Slika 16. Shematski prikaz makromolekule polipropilena (Izvor: Ivanišević, 2011.)

Svojstva polipropilena prikazana su u tablici 3.

Tablica 3. Svojstva polipropilena (Izvor: http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf)

Gustoća	g/cm^3	0.9 – 0.91
Vlačna čvrstoća	N/mm^2	31 – 41
Produljenje pri kidanju	%	100 – 600
Tlačna čvrstoća	N/mm2	38 – 55
Temperatura taljenja	°C	160 -170
Koeficijent toplinskog rastezanja	K^{-1}	$(8.1\text{-}10)*10^{-5}$

3.2.1. Cijevi od polipropilena

U proizvodnji cijevi susreću se tri vrste polipropilena:

- Homopolimer PP-H (PP, PP1) ili čisti polipropilen rabi se za protok hladne vode.
- Blok kopolimer PP-B (PP2) je polipropilen s određenim dodacima koji poboljšavaju savitljivost cijevi pa se rabi za izradu cijevi malih promjera za protok hladne vode i za izradu cijevi za podna grijanja.
- Random polipropilen PP-R (PP3) ima sastav koji udovoljava svim standardima za protok pitke i tople vode i za razvod centralnog grijanja. Ovaj se polipropilen u praksi najčešće susreće.

Prednosti uporabe PP-R cijevi u sanitarnoj tehnici pred čeličnim pocinčanim cijevima su slijedeće:

- PP-R cijevi ne hrđaju,
- Na PP-R cijevima se ne talože minerali i kamenac,
- PP-R cijevi su glatke pa su gubici specifične energije pri strujanju neznatni,
- PP-R cijevi slabije prenose buku i zujanje u cjevovodu (tiše su) ,
- PP-R cijevi su savitljivije ,
- PP-R cijevi dulje traju od čeličnih cijevi (vijek trajanja im je do 50 godina),
- PP-R cijevi se jednostavno i brzo montiraju, itd.

Nedostatak PP-R cijevi je veliki toplinski koeficijent izduljenja. U nekim slučajevima kao nedostatak spominje se i mala tvrdoća zbog koje se zna desiti da se pri montaži sanitarnih elemenata uslijed nepažnje cijev probuši (http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf).

Slika 17. prikazuje PP-R cijevi različitih dimenzija.



Slika 17. Cijevi od polipropilena (PP-R)

(Izvor: http://korbindallas.com/product/pp-r-polypropylene-pipes-fittings/)

3.2.2. Višeslojne cijevi

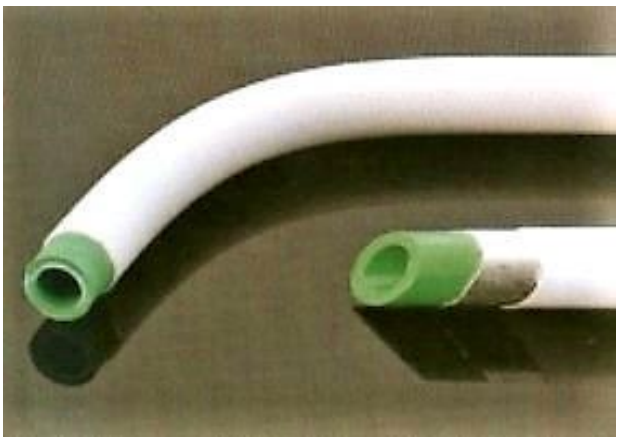
Višeslojne cijevi nastale su u potrazi za zadržavanjem svih pozitivnih svojstava polipropilenskih i drugih cijevi izrađenih iz polimernih materijala i uklanjanja njihovog najvećeg nedostatka – velikog linearnog koeficijenta toplinskog rastezanja. Ove cijevi imaju toplinski koeficijent istezanja za četvrtinu manji od klasičnih PP-R cijevi, pa briga o izduljenju uslijed promjene temperature za kućne vodove otpada. Linearni koeficijent toplinskog rastezanja i čvrstoća im je po veličini slična čeličnim cijevima. Razlikuju se dvije vrste kompozitnih cijevi (http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf):

- Kompozitne cijevi koje su stabilizirane mješavinom vlakana u srednjem sloju,
- Višeslojne cijevi koje su stabilizirane aluminijskim umetkom između dva sloja iz random polipropilena (PP-R) mrežastog polietilena (PE-X) ili iz polibutena (PB). S obzirom na materijal slojeva: plastika, aluminij, plastika ove se cijevi mogu nazvati PAP cijevi. Postupak izrade ovih cijevi razlikuje se od proizvođača do proizvođača, a ima i više postupaka njihovog spajanja.

Slika 18. prikazuje kompozitnu cijev, a slika 19. višeslojnu (PAP) cijev.



Slika 18. Kompozitna cijev (Izvor: http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf)



Slika 19. Višeslojna (PAP) cijev (Izvor: http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf)

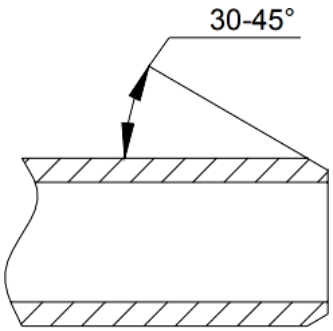
3.2.3. Spajanje PP-R cijevi

Cijevi od polipropilena spajaju se zavarivanjem. U nekim katalozima za spajanje se koristi izraz zavarivanje, u nekima fuzno zavarivanje, a u nekima polifuzno zavarivanje. Zavarivanje je postupak spajanja dvaju dijelova, pri čemu se isti dovode do udaljenosti na kojima se aktiviraju njihovi atomi. Zavarivanje polipropilenskih cijevi obavlja se površinskim zagrijavanjem spojnih dijelova na temperaturu od 260°C i utiskivanjem (uvaljivanjem) jednog dijela u drugi. Da bi se cijev i njezin spojni dio zagrijali samo površinski, duljina zagrijavanja je ograničena, a ovisi o debljini stjenke. U tehničkim informacijama proizvođača polipropilenskih cijevi nalaze se smjernice o duljini zagrijavanja i vremenu obrade, prikazane u tablici 4., (http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf).

Tablica 4. Smjernice za zavarivanje PP-R cijevi
(Izvor: http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf)

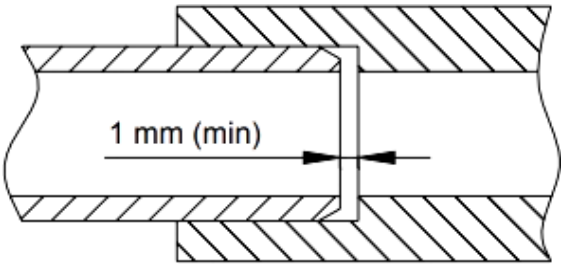
Vanjski promjer cijevi (mm)	**Vrijeme zagrijavanja (s)**	**Vrijeme obrade (s)**
16	4	4
20		
25		
32	6	6
40		
50		
63	8	8
75		
90		
110	10	10

Za rezanje cijevi najbolje je koristiti škare jer one ostavljaju čisti rez, dok je nakon rezanja pilom odrezani dio potrebno obraditi oštrim nožem. Pri zavarivanju cijevi većeg promjera preporučljivo je prikladnim alatom obraditi završetak cijevi pod kutom od 30 ili 45°, kao što je prikazano na slici 20. (http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf).



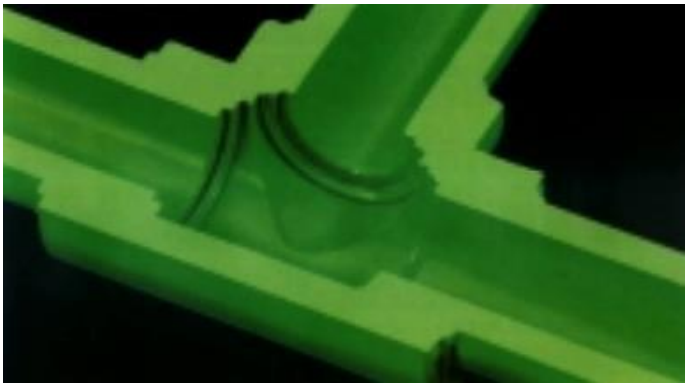
Slika 20. Obrada krajeva PP-R cijevi (Izvor: http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf)

Prije zagrijavanja treba označiti dubinu utiskivanja cijevi u spojni element kako se predubokim utiskivanjem ne bi napravio prsten i smanjio promjer cijevi. Cijev se ne utiskuje do kraja u spojni element već treba ostaviti najmanje jedan milimetar slobodnog prostora, kao što je prikazano na slici 21. Pri spajanju cijevi većeg promjera slobodni prostor treba biti veći (http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf).



Slika 21. Slobodni prostor pri spajanju PP-R cijevi i armaturnih elemenata (Izvor: http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf)

Kod spojeva PP-R cijevi s račvanjem vrijede ista pravila o slobodnom prostoru, kao što je prikazano na slici 22.

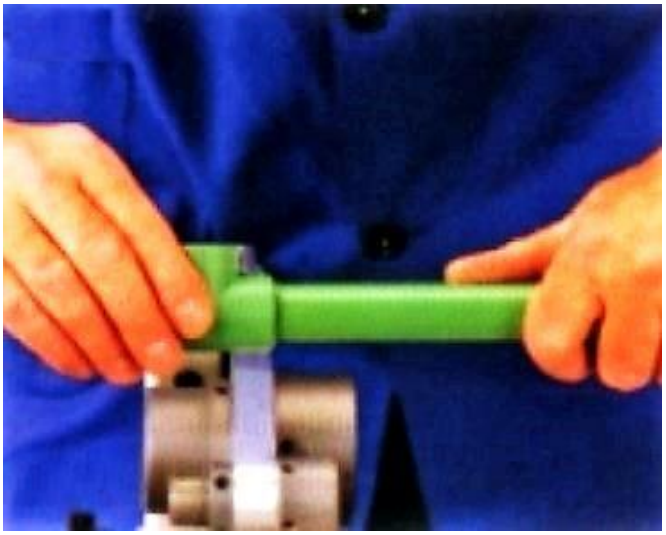


Slika 22. Dobro izvedeni spoj PP-R cijevi s račvanjem (Izvor: http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf)

Spajanje PP-R cijevi s koljenom izvodi se postupkom zavarivanja u toplom stanju. Dijelovi postupka zavarivanja prikazani su na slikama 23. i 24.



Slika 23. Zavarivanje PP-R cijevi: Zagrijavanje cijevi i koljena
(Izvor: http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf)

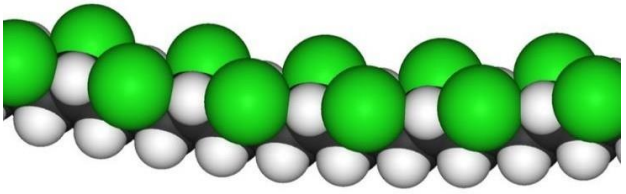


Slika 24. Zavarivanje PP-R cijevi: Utiskivanje cijevi u koljeno
(Izvor: http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf)

3.3. Polivinilklorid

Polivinilklorid (PVC) naziv je za skupinu plastomera koji sadržavaju makromolekule s ponavljajućim –CH_2–CHCL– jedinicama. U svom čistom obliku PVC je krut i krhak, ali se njegova svojstva mogu lagano modificirati. Poznato je više od stotinu vrsta plastomera na osnovi vinilklorida. Razlikuju se po postupcima dobivanja, vrsti i količini omekšavala,

sadržaju komonomera ili drugih polimera. Njihova se fizička svojstva mijenjaju od savitljivog elastomernog do žilavog ili krutog materijala. Poznata su dva osnovna tipa PVC-a: omekšani i neomekšani. Neomekšani PVC je tvrd, žilav, proziran i teško preradljiv materijal, ali zato vrlo postojan na utjecaj atmosferlija, vlage i kemikalija, a ima i odlična električna svojstva i slabo gori. Drugi, omekšani PVC sadrži 20-30 % omekšavala, najčešće teško hlapivih organskih otapala, lagano se prerađuje, ali je slabijih mehaničkih svojstava i manje postojan prema utjecaju topline i atmosferlija. Polivinilklorid ne kristalizira u uobičajenom smislu. Za njegovu preradu je temperatura koja je dosta iznad relativno niskog stakliša (140-190 °C), a staklište je na 70 °C (Gabud, 2016.).
Na slici 25. je trodimenzionalni prikaz (3D) lanca PVC-a.



Slika 25. 3D prikaz lanca PVC-a
(Izvor: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/PVC-3D-vdW.png)

3.3.1. Vodovodne cijevi od polivinilklorida

U vodovodnoj i kanalizacijskoj praksi dominiraju cijevi od tvrdog PVC-a, PVC-a za vodu pod tlakom (PVC-U) i termoplastičan PE, pri čemu primat pripada polivinilkloridu. Plastične, a time i PVC cijevi pokazuju neka naročita svojstva koja im daju prednost u odnosu na druge vrste cijevi, od kojih se posebno ističu:

- Izuzetno velika otpornost prema koroziji, a time i velika postojanost,
- Dobre hidrauličke osobine kao posljedica glatkoće unutarnjih stijenki,
- Mala masa (cca. 1400 kg m-3), što olakšava transport, manipulaciju i ugradnju,
- Otpornost na smrzavanje, zbog čega su prikladne kod temperatura ispod 0 °C,
- Mali koeficijent toplinske vodljivosti, što omogućuje da se cijevi postavljaju na manju dubinu, smanjujući tako troškove izgradnje,
- Lagana montaža (obrada, rezanje, spajanje),
- Mogućnost recikliranja (zadovoljenje ekoloških kriterija).

Određeni nedostaci PVC cijevi jesu:

- Neotpornost na visoke temperature (smanjenje čvrstoće, istezanje, zapaljivost), tako da se sve ove cijevi mogu koristiti pri temperaturi otpadne vode do najviše 60 °C,

– Krutost cijevi pri niskim temperaturama.

Vrlo važno svojstvo plastičnih cijevi jest njihova niska gustoća, pa je cjevovod načinjen od PVC cijevi i do 10 puta lakši od npr. čeličnog cjevovoda. Mala masa cijevi znatno utječe i na ekonomičnost proizvodnje, jer su troškovi prijevoza i skladištenja mnogo niži, a ugradnja tih cijevi lakša.

Parametri kvalitete PVC cijevi su: materijal, proizvodnja, čvrstoća, deformacije, kemijska postojanost, otpornost na trošenje, vodonepropusnost, trajnost, zaštita okoliša i zadovoljavanje normi (Gabud, 2016.).



Slika 26. Vodovodne cijevi od PVC-a

(Izvor: https://4.imimg.com/data9/tirupatisuperflow-pvc-pipes-500x500.jpg)

3.3.2. Cijevi za navodnjavanje od polivinilklorida

U sustavima za navodnjavanje PVC se primjenjuje za izradu cijevi, spojnih elemenata, injektora, dozatora, itd. Slika 27. prikazuje ugradnju PVC cijevi za navodnjavanje.



Slika 27. Ugradnja PVC cijevi za navodnjavanje plantaže agruma

(Izvor: http://www.arapahocitrus.com/irrigation.html)

Slika 28. prikazuje dijelove sustava za navodnjavanje koji su izrađeni od PVC-a.



Slika 28. Diejlovi sustava za navodnjavanje od PVC-a
(Izvor: http://pseno.hr/navodnjavanje/oprema-za-navodnjavanje/)

Od PVC-a se izrađuju i čvrste fleksibilne cijevi za navodnjavanje (tzv. „layflat“), kao što je prikazano na slici 29. Vrlo su praktične zbog svoje lakoće i fleksibilnosti, značajno smanjuju vrijeme potrebno za postavljanje i podizanje. Jednostavno je za rezanje i spajanje, može se probiti za umetanje konektora bez opasnosti od istjecanja vode.



Slika 29. Fleksibilne cijevi za navodnjavanje
(Izvor: https://www.environmental-expert.com/irritec-model-layflat-pvc-reinforced-pipe-506)

4. POSTUPCI IZRADE POLIMERNIH CIJEVI

Polimerni proizvodi izrađuju se različitim postupcima prerade. Veći broj postupaka koristi se u preradi plastike koja je daleko zastupljenija skupina polimera, dok su gume puno manje zastupljene od plastike. Većina njih primjenjuje se za preradu predstavnika određene osnovne skupine polimera (plastomeri ili duromeri), no neki od postupaka primjenjivi su i za obje skupine (Rakonić, 2013.). Pregled postupaka prerade plastomera i duromera prikazan je u tablici 5.

Tablica 5. Postupci prerade plastomera i duromera (Izvor: Rakonić, 2013.)

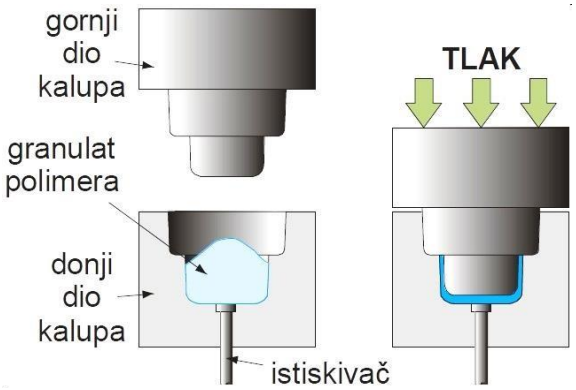
Naziv postupka prerade	**Primjena**	**Naziv postupka prerade**	**Primjena**
injekcijsko prešanje	P i D (*)	ekstrudiranje	P
prešanje	D	višekomponentno prešanje	P
puhanje	P	injekcijsko puhanje	P
rotacijsko lijevanje	P i D	kalandriranje	P
toplo oblikovanje	P	završna obrada	P i D

(*****) P – plastomeri , D – duromeri

U izradi polimernih cijevi za navodnjavanje najčešće se primjenjuju postupci prešanja, injekcijskog prešanja i ekstrudiranja.

4.1. Prešanje

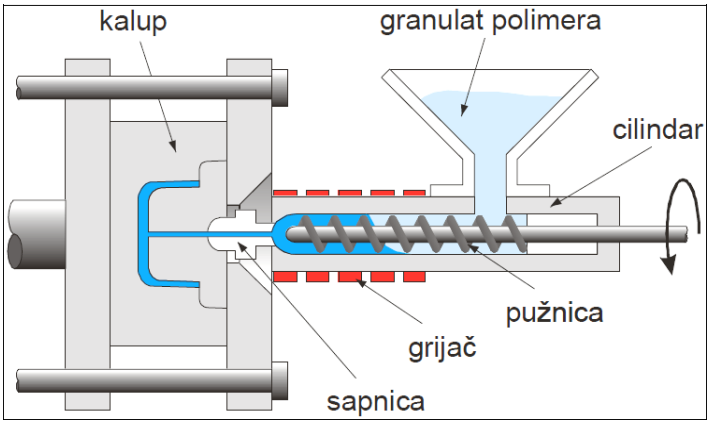
Postupak prešanja se uglavnom koristi za izradu proizvoda od duroplasta. Postupak prešanja odvija se na sljedeći način: odmjerena se količina polimera, u obliku granulata ili prethodno oblikovanog komada, ubacuje u zagrijani donji dio kalupa. Nakon punjenja se na gornji dio kalupa djeluje dovoljnim tlakom za ispunjavanje svih dijelova šupljine kalupa polimerom. Formirani izradak se po otvaranju kalupa izbacuje istiskivačem (Rakonić, 2013.). Slika 30. prikazuje shemu postupka prešanja.



Slika 30. Shema postupka prešanja (Izvor: Govorčin Bajsić, 2012.)

4.2. Injekcijsko prešanje

Injekcijsko prešanje polimera najvažniji je ciklički postupak prerade polimera. Kod ovog postupka prerađuju se plastomeri, elastomeri i duromeri, polimerni materijal ubrizgava se iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u tempiranu kalupnu šupljinu. Gotovi proizvod nastaje polireakcijom i/ili umrežavanjem, geliranjem i/ili hlađenjem, nakon čega se vadi iz kalupne šupljine. Troškovi dobave/instalacije stroja za injekcijsko prešanje su visoki, pa se ovaj postupak koristi isključivo u proizvodnji većih serija izradaka (Govorčin Bajsić, 2017.). Slika 42. prikazuje shemu postupka injekcijskog prešanja.

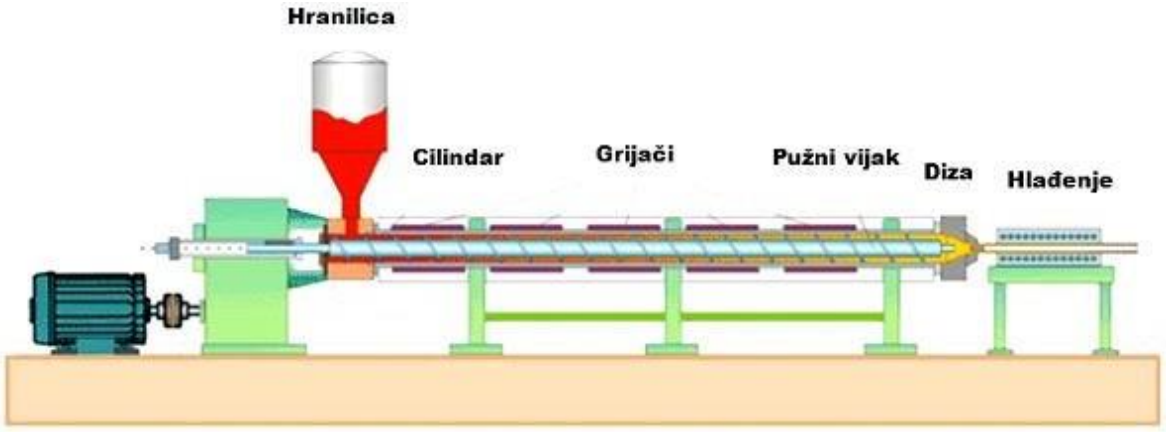


Slika 31. Shema postupka injekcijskog prešanja (Izvor: Rakonić, 2013.)

4.3. Ekstrudiranje (ekstruzija)

Izrada proizvoda ekstruzijom je kontinuirani proces kod kojeg se materijal zagrijava i tali te se, pomoću pužnog vijka, umiješava i transportira do dize kroz koju se istiskuje ekstrudat (proizvod ekstruzije). Pužni vijak najvažniji je dio ekstrudera (stroj na kome se izvodi ekstruzija), a smješten je unutar cilindra. Opskrbljen je grijačima i kanalima za

hlađenje, što omogućava uspostavu željene temperature prerade. Na jednom kraju ekstrudera smještena je hranilica koja služi za doziranje materijala, a na drugom kraju se nalazi diza kroz koju se istiskuje rastaljena masa, te se potom materijal hladi. Postupkom ekstruzije mogu se dobiti različiti proizvodi kao npr. cijevi, filmovi, folija za izolaciju kablova, trake, itd. Slika 32. prikazuje shemu postupka ekstruzije.



Slika 32. Shema postupka ekstruzije (Izvor: Govorčin Bajsić, 2012.)

Slika 33. prikazuje strojeve za izradu polimernih cijevi ekstruzijom, a slika 34. pregled proizvodnih linija za ekstruziju cijevi od različitih vrsta polimera.



Slika 33. Strojevi za izradu polimernih cijevi ekstruzijom

(Izvor: http://ba.hsdplasticmachine.com/uploads/201612233/p202.jpg)



Slika 34. Proizvodne linije za ekstruziju cijevi od različitih vrsta polimera (Izvor: https://www.everplast.com.tw/en/catalog/Profile-Pipe-Net-Extrusion-Machine/catalog-014.html)

5. ZAKLJUČAK

Značaj navodnjavanja u poljoprivredi svakim danom postaje sve veći. Sustavi za navodnjavanje konstantno se razvijaju i usavršavaju, kako u pogledu konstrukcijskih karakteristika, tako i u pogledu materijala koji se primjenjuju u izradi različitih dijelova takvih sustava. Bez obzira na oblik i vrstu sustava za navodnjavanje, cijevi kojima se transportira voda tijekom njegovog funkcioniranja predstavljaju neizbježan konstrukcijski dio. U izradi cijevi primjenjuju se različiti materijali, među kojima dominiraju polimeri.

Najčešće primjenjivani polimeri u izradi cijevi za navodnjavanje su različiti tipovi polietilena (PE), polipropilena (PP) i polivinilklorida (PVC).

Najzastupljeniji tip polietilena u izradi cijevi za navodnjavanje je polietilen visoke gustoće (PEHD). Najzastupljeniji tip polipropilena u izradi cijevi za navodnjavanje je random polipropilen (PP-R). Najzastupljeniji tip polivinilklorida u izradi cijevi za navodnjavanje je polivinilklorid za vodu pod tlakom (PVC-U).

U izradi polimernih cijevi za navodnjavanje najčešće se primjenjuju postupci prešanja, injekcijskog prešanja i ekstrudiranja (ekstruzije). Proizvodne linije za ekstruziju omogućuju izradu najviše tipova cijevi za navodnjavanje od svih vrsta navedenih polimera.

6. POPIS LITERATURE

1. Andričić, B. (2010.): Polimerni materijali. Autorizirana predavanja. Zavod za organsku tehnologiju, Split. http://www.mojfaks.com/skripte/fkit/polimeri (02.07.2018.)
2. Čatić, I.; Čatić, R. (2005.): Kratice i imena sastojaka polimera. Polimeri 26(2005)4, 188-195.
3. Ćurić, I. (2016.): Navodnjavanjem možete povećati prinos nasada i do 50%. Večernji list. https://living.vecernji.hr/zelena-zona/navodnjavanjem-mozete-povecati-prinos-svojih-nasada-i-do-50-1080150 (30.06.2018.)
4. Fudurić, A. (2016.): Svojstva i primjena polimernih materijala i njihova oporaba u Hrvatskoj. Završni rad, Veleučilište u Karlovcu.
5. Gabud, G. (2016.): Polimerne vodovodne cijevi. Završni rad, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod.
6. Govorčin Bajsić, E. (2012.): Polimerne mješavine. Skripta, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije.
7. Govorčin Bajsić, E. (2017.): Prerada polimera. Interna skripta, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije.
8. Ivanišević, M. (2011.): Trendovi razvoja industrije polimera u Republici Hrvatskoj. Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
9. Kladarić[1], I. (2012.): Materijali I – Polimeri. Svojstva polimera. http://brod.sfsb.hr/~ikladar/Materijali%20I/Svojstva%20polimeria.pdf (01.07.2018.)
10. Kladarić[2], I. (2012.): Materijali I – Polimeri. Podjela polimera. http://brod.sfsb.hr/~ikladar/Materijali%20I/Podjela%20polimeria.pdf (01.07.2018.)
11. Kovačić, T. (2010.): Struktura i svojstva polimera. Skripta, Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet. http://www.mojfaks.com/skripte/fkit/polimeri (02.07.2018.)
12. Madjar, S.; Šoštarić, J. (2009.): Navodnjavanje poljoprivrednih kultura. Priručnik, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
13. Rakonić,V. (2013.): Reparaturno zavarivanje polimernih dijelova poljoprivredne mehanizacije. Završni rad. Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
14. Vujčić, M.; Emert, R.; Jurić, T.; Heffer, G.; Baličević, P.; Pandurović, T.; Plaščak, I. (2011.): Osnove poljoprivrednog strojarstva. Udžbenik Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku.

15. Vukadinović, V. (2018.): Suša i njene posljedice. http://tlo-i-biljka.eu/tekstovi/Susa.pdf (30.06.2018.)
16. http://ba.hsdplasticmachine.com/uploads/201612233/p20161220100131229613 2.jpg (07.07.2018.)
17. http://kalinic.info/strucni/cijevi.pdf (02.07.2018.)
18. http://korbindallas.com/product/pp-r-polypropylene-pipes-fittings/
19. http://pseno.hr/navodnjavanje/oprema-za-navodnjavanje/ (11.07.2018.)
20. http://www.arapahocitrus.com/irrigation.html (09.07.2018.)
21. http://www.askengineering.co.uk/products/seals-and-o-rings/ (04.07.2018.)
22. http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49180 (01.07.2018.)
23. http://www.pipelife.hr/hr/media/pdfs/Cjenici2016/KATALOGPE100web.pdf (09.07.2018.)
24. http://www.poljomagazin.com/?p=34382 (30.06.2018.)
25. http://www.viro-kem.hr/ponuda_granulati.asp?pp=PE (06.07.2018.)
26. http://www.vodoskok.hr/wp-content/uploads/2016/06/pehd80100-1.jpg
27. http://www.zastitabilja.eu/navodnjavanje-poljoprivrednih-povrsina/ (01.07.2018.)
28. https://4.imimg.com/data4/NB/XC/MY-1169816/tirupati-superflow-pvc-pipes-500x500.jpg (07.07.2018.)
29. https://dir.indiamart.com/impcat/pvc-pipes.html (09.07.2018.)
30. https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ6LU63VPZDd8mvLEAYzZZy8CJ2W-6OubTRRazTx-Le-8a8J7ZX (06.07.2018.)
31. https://upg.nz/site/assets/files/1088/img_1311-2.jpg (06.07.2018.)
32. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/PVC-3D-vdW.png (07.07.2018.)
33. https://www.elektromax24.de/elso-joy# (07.07.2018.)
34. https://www.environmental-expert.com/products/irritec-model-layflat-pvc-reinforced-pipe-520706 (12.07.2018.)
35. https://www.everplast.com.tw/en/catalog/Profile-Pipe-Net-Extrusion-Machine/catalog-014.html (12.07.2018.)
36. https://www.pipelife.hr/hr/media/pdfs/Cjenici2016/KATALOGPE100web.pdf?m=1526019784& (10.07.2018.)
37. https://www.purplewave.com/auction/140813A/item/AC9412 (03.07.2018.)
38. https://www.stabilo-sanitaer.de/item/images/436647/1600x1600/StabiloFLEX-PE-HD-Rohre-Trinkwasserrohre-Kunststoffrohre.jpg (10.07.2018.)