

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Tofil, T., 2016. Tehnologije vgradnje in rehabilitacije vodovodnih cevi. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Steinman, F., somentor Kozelj, D.): 108 str.

Datum arhiviranja: 09-09-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Tofil, T., 2016. Tehnologije vgradnje in rehabilitacije vodovodnih cevi. Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Steinman, F., co-supervisor Kozelj, D.): 108 pp.

Archiving Date: 09-09-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE STOPNJE
VODARSTVO IN OKOLJSKO
INŽENIRSTVO**

Kandidatka:

TANJA TOFIL

**TEHNOLOGIJE VGRADNJE IN REHABILITACIJE
VODOVODNIH CEVI**

Magistrsko delo št.: 12/II.VOI

**WATER MAIN INSTALLATION AND
REHABILITATION TECHNOLOGIES**

Graduation – Master Thesis No.: 12/II.VOI

Mentor:

prof. dr. Franc Steinman

Somentor:

asist. dr. Daniel Kozelj

Ljubljana, 05. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

Spodaj podpisana študentka Tanja Tofil, vpisna številka 26450032, avtorica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Tehnologije vgradnje in rehabilitacije vodovodnih cevi

IZJAVLJAM

1. da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani, 2. 9. 2016

Podpis študentke:

Tanja Tofil

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 628.143:696.11:(043.3)
Avtorica: Tanja Tofil
Mentor: prof. dr. Franc Steinman
Somentor: asist. dr. Daniel Kozelj
Naslov: Tehnologije vgradnje in rehabilitacije vodovodnih cevi
Tip dokumenta: Magistrsko delo
Obseg in oprema: 108 str., 7 pregl., 69 sl., 11 pril.
Ključne besede: vodovodne cevi, vgradnja, rehabilitacija, čiščenje, popravki, obnova, zamenjava, tehnologije brez izkopa, slovenska vodooskrba, nizozemska vodooskrba,

Izvleček

Možnost uporabe tehnologij brez izkopa je v Sloveniji še relativno neraziskano področje, dočim je njihova uporaba v tujini že stalna praksa. Magistrsko delo nudi vpogled v možnosti uporabe tehnologij brez izkopa na področju vgradnje ter rehabilitacije vodovodnih cevi v Sloveniji.

V prvem delu magistrskega dela smo se osredotočili na slovensko in nizozemsko zakonodajo ter pristope na področju vodooskrbe ter tehnologij brez izkopa. Za boljše razumevanje stanja smo se dotaknili tudi tehničnega stanja vodovodnih sistemov obeh držav. V drugem delu magistrske naloge je bil narejena klasifikacija tehnologij vgradnje brez izkopa, kot alternative tradicionalni vgradnji z izkopom jarkov. Prav tako je bil narejen pregled tehnologij rehabilitacije vodovodnih cevi. K rehabilitaciji smo prišteli čiščenje vodovodnih cevi, njihove lokalne popravke, obnovo ter zamenjavo. Hkrati smo izdelali tudi medsebojno primerjava tehnologij rehabilitacije. Predstavili smo shematske prikaze odločanja o rehabilitaciji vodovodnih cevi in v tretjem delu magistrskega dela prikazali njihovo uporabo na štirih različnih vodovodnih odsekih na različnih lokacijah.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTATIONAL INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 628.143:696.11:(043.3)
Author: Tanja Tofil
Supervisor: Prof. Franc Steinman, Ph.D.
Cosupervisor: assist. Daniel Kozelj, Ph.D.
Title: Water main installation and rehabilitation technologies
Document type: M. Sc. Thesis
Scope and tools: 108 p., 7 tab., 69 fig., 11 ann.
Keyword: water main, installation, rehabilitation, cleaning, repair, renewal, replacement, trenchless technologies, slovenian water supply, dutch water supply

Abstract

The use of trenchless technologies is a relatively unexplored field of study in Slovenija, while their use is a common practice in many other countries. The thesis offers an insight into the possibilities for the use of trenchless technologies in the field of installation and rehabilitation of water mains in Slovenija. The focus in the first part of the thesis is mainly on the slovenian and dutch policy in the field of water supply and trenchless technologies. Also, we briefly discussed the technical information about slovenian and dutch water supply in order to better understand the reasons for their similarities and the differences. In the second part of the thesis the classification of the technologies for trenchless water pipe installation had been made as an alternative to the traditional open – trench installation. In addition, an overview of the technologies for the rehabilitation of water mains had been made. With the term rehabilitation we included cleaning, repairs, renewal and replacement of the water mains. The comparison between the rehabilitation technologies had been discussed as well. Third part of the thesis presents flowcharts for decision–making about the suitable technology for the rehabilitation of water mains. In the end we tested the use of flowcharts in four different water main locations.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju in somentorju za ideje in pomoč pri izdelavi magistrske naloge ter podjetju Komunala Kranj d.o.o za posredovane podatke.

Prav tako se zahvaljujem svoji družini za podporo in potrpežljivost v času študija.

Miha, hvala za vse večerne učne ure strojništva.

KAZALO VSEBINE

Izjave

Bibliografsko – dokumentacijska stran in izvleček

Bibliographic – documentary information and abstract

Zahvala

Kazalo vsebine

Kazalo preglednic

Kazalo slik

Slovar strokovnih besed in tujk

1	UVOD.....	1
1.1	Cilji naloge	5
1.2	Struktura naloge	5
2	OSKRBA S PITNO VODO V SLOVENIJI IN NA NIZOZEMSKEM.....	7
2.1	Vodovodni sistem.....	7
2.1.1	Delitev vodovodnih cevi glede na material izdelave	8
2.1.1.1	Kovinske cevi	8
2.1.1.2	Termoplastične cevi.....	11
2.1.1.3	Kompozitne cevi	13
2.2	Predpisi in pristopi.....	14
2.2.1	Evropski predpisi	14
2.2.2	Slovenska vodooskrba	15
2.2.2.1	Upravljanje vodooskrbnega sistema	18
2.2.2.2	Tehnične značilnosti vodooskrbnega sistema.....	18
2.2.2.3	Slovenija in tehnologije vgradnje in rehabilitacije vodovodnih cevi	19
2.2.3	Nizozemska vodooskrba	20
2.2.3.1	Organizacija vodnega sektorja na Nizozemskem	21
2.2.3.2	Upravljanje vodovodnih sistemov	23
2.2.3.3	Tehnične značilnosti nizozemskega vodooskrbnega sistema	26
2.2.3.4	Nizozemska in tehnologije vgradnje in rehabilitacije vodovodnih cevi.....	28
3	KLASIFIKACIJA METOD VGRADNJE IN REHABILITACIJE	
	VODOVODNIH CEVI	29
3.1	Vgradnja vodovodnih cevi	30
3.1.1	Vgradnja z odprtim izkopom	30

3.1.2	Vgradnja vodovodnih cevi brez izkopa.....	31
3.1.2.1	Cevni preboj	32
3.1.2.2	Horizontalno vrtanje.....	34
3.1.2.3	Izvedba mikro predorov	35
3.1.2.4	Usmerjeno vrtanje z radijskim vodenjem.....	36
3.1.2.5	Prednosti in slabosti tehnologij vgradnje z odprtim izkopom in tehnologij brez izkopa 38	
3.2	Rehabilitacija vodovodnih cevi	40
3.2.1	Preddela	43
3.2.1.1	Določitev položaja cevi	43
3.2.1.2	Ocena stanja cevi.....	43
3.2.2	Čiščenje vodovodnih cevi	45
3.2.2.1	Izpiranje vodovodnih cevi	46
3.2.2.2	Čiščenje z vleko čistilnih orodij	46
3.2.2.3	Čiščenje na vodni pogon	47
3.2.2.4	Vrtanje notranjosti cevi - povrtanje.....	49
3.2.3	Popravila vodovodnih cevi.....	49
3.2.3.1	Notranja zatesnitev spojev in razpok.....	50
3.2.3.2	Vakuumski izkop.....	51
3.2.4	Obnova vodovodnih cevi.....	52
3.2.4.1	Tehnologije brez ojačitve in z delno ojačitvijo ostenja cevi	52
3.2.4.2	Ojačitvene tehnologije obnove	58
3.2.5	Zamenjava vodovodnih cevi	66
3.2.5.1	Tehnologija 'cev v cevi'	66
3.2.5.2	Tehnologija zamenjave cevi pri kateri se poruši obstoječa cevi	70
3.2.5.3	Izvek cevi	76
3.2.6	Prednosti in slabosti posameznih metod rehabilitacije.....	78
4	TEHNOLOGIJE REHABILITACIJE IN PRIMERI V SLOVENSKEM PROSTORU	81
4.1	Sinteza dobrih praks iz Nizozemske	81
4.2	Študija uporabe tehnologij rehabilitacije	82
4.2.1	Rehabilitacija cevi na križanju z železnico	83
4.2.2	Rehabilitacija cevi pod prometnico	85
4.2.3	Rehabilitacija cevi v primestnem okolju	87

4.2.4	Rehabilitacija cevi v strnjenem naselju	89
5	ZAKLJUČEK.....	96
VIRI	98
KAZALO PRILOG.....		108

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Dolžina slovenskega vodovodnega omrežja in pregled uporabljenih materialov (Vir: MOP, 2015)	19
Preglednica 2: Število prebivalcev, oskrbovana površina, število zaposlenih ter dolžina omrežja posameznih upravljavcev na Nizozemskem (Geudens, 2012)	24
Preglednica 3: Dolžina nizozemskega vodovodnega omrežja in pregled uporabljenih materialov (Geudens, 2012)	27
Preglednica 4: Gradbene dejavnosti, ki jih moramo izvesti pri tehnologijah z odprtim izkopom ali pri tehnologijah brez izkopa (povzeto po Najafi, 2010).....	39
Preglednica 5: Značilnosti in prednosti brizganja polimernih nanosov (AWWA, 2014)	57
Preglednica 6: Pogoste težave na vodovodnih ceveh in tehnologije rehabilitacije primerne za njihovo reševanje (povzeto po Najafi, 2010).....	79
Preglednica 7: Lastnosti posameznih metod rehabilitacije	80

KAZALO SLIK

Slika 1: Levo prikaz oblog v cevi in desno prikaz razjedanja ostenja cevi (Steinman, 2010)...	8
Slika 2: Korozija 110 let stare litoželezne cevi (Petersen, 2012).....	9
Slika 3: Notranja korozija in nalaganje mineralov znotraj pocinkane jeklene cevi (Delta Mechanical, 2016).....	10
Slika 4: Cevi iz nodularne litine z zunanjo bitumensko zaščito (K&R INTERNATIONAL GROUP, 2012).....	11
Slika 5: PVC (modra) in PE (črna barva) vodovodne cevi (Direct Industry, 2016)	12
Slika 6: Azbestno cementne cevi (Bracken in Johnston, 2013).....	14
Slika 7: Shema organizacije nizozemskega vodnega sektorja	22
Slika 8: Regionalne vodne oblasti (uprave) na Nizozemskem (DWA, 2015)	23
Slika 9: Nizozemski upravljavci vodovodnih sistemov in ozemlje, na katerem izvaja dejavnost (VEWIN, 2013).....	25
Slika 10: Izgradnja vodovodnega omrežja na Nizozemskem med leti 1955 in 2010 glede na uporabljene materiale (Geudens, 2012)	27
Slika 11: Življenjski cikel vodooskrbnega sistema (Požek, 2011 po Griggs, 1986)	30
Slika 12: Prečni prerez odprtega izkopa (jarka) za vodovodno cev (Občina Šentrupert, 2016)	31
Slika 13: Klasifikacija metod vgradnje vodovodnih cevi brez izkopa.....	32
Slika 14: Shema postopka tehnologije enostavnega preboja s pnevmatsko iglo (FHA, 2015)	33
Slika 15: Levo: preboj s kovinsko zaščitno cevjo, desno: preboj s pnevmatsko iglo (Simicevic in Sterling, 2001b).....	33
Slika 16: Shema tehnologije usmerjenega vrtanja z optičnim vodenjem (FHA, 2015).....	34
Slika 17: Shema tehnologije izvedbe mikro predorov (FHA, 2015)	35
Slika 18: Vgradnja s tehnologijo HDD – vrtanje pilotne vrtine (FHA, 2015).....	37
Slika 19: Vgradnja s tehnologijo HDD - povratno razširjanje vrtine in vleka cevi (FHA, 2015)	37
Slika 20: Primerjava obremenitev vodovodnih cevi po metodi brez izkopa in metodi z odprtim izkopom (NAJAFI, 2010)	39
Slika 21: Določanje položaja cevi z georadarjem (ISTT, 2016).....	43
Slika 22: Postopek meritve z nadzorno kamero za cevne sisteme (ISTT, 2016).....	44
Slika 23: Shema ugotavljanja puščanja z akustičnim senzorjem znotraj vodovodne cevi (ISTT, 2016)	45
Slika 24: Verižno strgalo (Atlantic Machinery Inc, 2011).....	47
Slika 25: Naboji in tamponi za čiščenje cevi (Girard Industries, 2012)	48
Slika 26: Prikaz vstavljanja nabojev v hidrant (AWWA, 2001).....	48
Slika 27: Zaporedje diskov, ki funkcionirajo kot bat, ki vleče kovinska strgala skozi cev (AWWA, 2014).....	49
Slika 28: Prikaz čiščenja vodovodnih cevi z vrtanjem (AWWA, 2001)	49
Slika 29: Levo čiščenje spoja in desno lubriciran spoj in nameščanje tesnila (J. Fletcher Creamer & Son, Inc., 2016)	50
Slika 30: Levo nameščanje pritrdilnega pasu in desno testiranje spoja tesnila (J. Fletcher Creamer & Son, Inc., 2016)	51
Slika 31: Shema tehnologije vakuumskega izkopa pri točkovnem popraviljanju cevi (ISTT, 2016)	52

Slika 32: Naprava za brizganje cementne malte in gladilka za uporabo v ceveh majhnega premera (AWWA, 2014)	53
Slika 33: Shema tehnologije oplaščenja s cementno malto (ISST, 2016).....	53
Slika 34: Cev, oplaščena s cementno malto in pripravljena za uporabo (AWWA, 2014)	55
Slika 35: Postopek pršenja epoksi smole (ISTT, 2016)	57
Slika 36: Pršilna glava med delom (Sunidh, 2015)	58
Slika 37: Stroj za pršenje epoksi smole (AWWA, 2001)	58
Slika 38: Stroj z valjarji za simetrično zmanjšanje premera termoplastične cevi (AWWA, 2014).....	60
Slika 39: Postopek simetričnega zmanjšanja premera z valjanjem (VIR: predavanja pri predmetu Trenchless Technologies)	60
Slika 40: Postopek simetričnega vstavljanja tesnilne obloge v obstoječo cev (ISTT, 2016) ...	61
Slika 41: Stroj za zlaganje cevi na gradbišču v obliko črke U (PE100+ Association, 2016)...	62
Slika 42: Vstavljanje zložene termoplastične cevi v obstoječo cev (ISTT, 2016)	62
Slika 43: Postopek vgradnje zložene cevi (VIR: predavanja pri predmetu Trenchless Technologies)	62
Slika 44: Prečni prerez s prikazom cevne obloge z obrobo iz poliestrskih vlaken in objemko (Ellison in sod., 2010)	63
Slika 45: Postopek izdelave obloge cevi z obračanjem (Bauhaus-Universität Weimar, 2015)	64
Slika 46: Shema tehnologije izdelave obloge z obračanjem (ISTT, 2016)	65
Slika 47: Utrjevanje obloge s pomočjo UV žarkov (ISTT, 2016).....	65
Slika 48: Mehanske vlečne glave, ki jih pritrdimo na PE cev (Plastics Pipe Institute, 2016)..	68
Slika 49: Porivanje PE cevi z buldožerjem pri tehnologiji 'cev v cevi' (Plastics Pipe Institute, 2016).....	68
Slika 50: Shema postopka zamenjave cevi pri tehnologiji 'cev v cevi' (vir: predavanja pri predmetu Trenchless technologies)	69
Slika 51: Postopek vgradnje PVC cevi pri tehnologiji 'cev v cevi' (AWWA, 2014 po Underground Solutions inc.)	69
Slika 52: Levo, prečni prerez po uporabi tehnologije vgradnje nove cevi s poružitvijo obstoječe cevi ter desno stanje po vgradnji s tehnologijo 'cev v cevi' (Ellison in sod. 2010) ..	69
Slika 53: Tehnologija pnevmatske vgradnje nove cevi z uničenjem stare (AWWA, 2014)....	71
Slika 54: Tehnologija statične vgradnje nove cevi s porušenjem stare cevi – 1. korak (AWWA, 2014)	72
Slika 55: Tehnologija statične vgradnje nove cevi s porušenjem stare cevi – 2. korak (AWWA, 2014)	72
Slika 56: Tehnologija statične vgradnje nove cevi s porušenjem stare cevi – 3. korak (AWWA, 2014)	72
Slika 57: Postopek vgrajevanja nove cevi s statično poružitveno metodo z rezilno glavo (angl. pipe splitting) (ISTT, 2016).....	73
Slika 58: Shema tehnologije povrtavanja cevi (ISTT, 2016)	73
Slika 59: Primeri vrtalne glave 1 (PE100+ Association, 2016).....	74
Slika 60: Vrtalna glava za izvedbo mikro predorov, prirejena za tehnologijo zamenjave cevi z izvedbo mikro predorov (UNITRACC, 2016)	75
Slika 61: Vrtalna glava med delom (UNITRACC, 2016)	76
Slika 62: Detajl izvleka cevi (Simicevic in Sterling, 2001a).....	77
Slika 63: Shema tehnologije izvleka cevi (ISTT, 2016).....	77
Slika 64: Razcepitev stare cevi (UNITECC, 2016).....	77

Slika 65: Vodovodni odsek pod Barletovo ulico v Medvodah (glej Prilogo C.1)	83
Slika 66: Vodovodni odsek pod Pipanovo cesto v Šenčurju (glej Prilogo C.2)	85
Slika 67: Vodovodni odsek pod cesto Tupaličah (glej Prilogo C.3).....	88
Slika 68: Vodovodni odsek pod Vrečkovo ulico, Kranj – Planina (glej Prilogo C.4)	90
Slika 69: Rehabilitirani odsek na Vrečkovi ulici	93

SLOVAR STROKOVNIH BESED IN TUJK

Slovenski izraz	Angleški izraz	Kratica
Opis		
Tehnologije z odprtim izkopom	Open Trench Technologies	---
Tehnologije, pri katerih za vgradnjo ali rehabilitacijo vodovodnih cevi izvedemo linijski odprti izkop – izkopljemo gradbene jarke.		
Tehnologije brez izkopa	Trenchless Technologies	---
Tehnologije vgradnje ali rehabilitacije cevi, s katerimi ne izvedemo odprtega linijskega izkopa, običajno potrebujemo zgolj manjšo vstopno in izstopno gradbeno jamo.		
Rehabilitacija vodovodnih cevi	Water Pipeline Rehabilitation	---
Popravljanje, obnova ali zamenjava vodovodnih cevi.		
Cevni preboj	Pipe Ramming	---
Tehnologija vgradnje cevi brez izkopa, ki temelji na zabijanju pnevmatske igle ali jeklene zaščitne cevi skozi tla.		
Horizontalno vrtanje	Horizontal Auger Boring, Guided Boring, Jack and Bore	---
Tehnologija brez izkopa, pri kateri s pomočjo rotirajoče se rezalne glave vrtamo in hkrati s hidravlično napravo oziroma potisno klado potiskamo vreteno skupaj z novim odsekom cevi iz vstopne v izstopno gradbeno jamo.		
Izvedba mikro predorov	Microtunneling	---
Daljinsko upravljana, navadno lasersko vodena tehnologija brez izkopa, pri kateri s pomočjo potiskanja in vrtanja vgrajujemo novo cev in pri tem zagotavljamo sprotno podporo okoliške zemljine.		
Usmerjeno vrtanje z radijskim vodenjem	Horizontal Directional Drilling	HDD
Tehnologija vgradnje cevi brez izkopa, pri kateri najprej izvedemo pilotno vrtino in nato hkrati s povratnim razširjanjem vrtine vlečemo – vgrajujemo tudi novo cev.		
Izpiranje vodovodnih cev	Pipe Flushing	---
Klasična tehnologija čiščenja vodovodnih cevi, pri kateri s pomočjo vode izpiramo nesnago oz. obloge.		

Čiščenje z vleko čistilnih orodij	Cleaning with Cable Attached Devices	---
Mehansko čiščenje vodovodnih cevi, pri katerem s pomočjo vitlov in vrvi vlečemo čistilno orodje skozi cev, slednje pa hkrati odstranjuje nesnago iz notranjega oboda cevi.		
Čiščenje vodovodne cevi na vodni pogon	Cleaning with Fluid Propelled Devices	---
Mehansko čiščenje vodovodnih cevi, pri katerem vodni tok potiska čistilno sredstvo (poliuretanske naboje, tampone ali kovinska strgala) skozi cev.		
Vrtanje skozi cev	Power Boring	---
Tehnologija čiščenja, pri kateri s pomočjo vrtnega stroja očistimo posledice korozije iz litoželeznih cevi, cevi iz nodularne litine ter jeklenih cevi.		
Notranja tesnitev spojev	Internal Joint Sealing, Localized Sealing	---
Tehnologija brez izkopa, ki jo uporabljamo za lokalne popravke - zatesnitev ali ojačitev spojev, popravila razpok na ceveh ali za preprečitev infiltracije podzemne vode.		
Vakuumski izkop	Potholing for Local Repair, Vacuum Excavation System, Keyhole Methods for Lateral Reinstatement	---
Tehnologija brez izkopa, pri kateri s pomočjo vakuuma izvedemo lokalni izkop, ki mu sledijo popravila -zatesnitev ali ojačitev spojev, popravila razpok na ceveh ali za preprečitev infiltracije podzemne vode.		
Oprijeto opláčenje cevi	Modified Slip Lining, Close-Fit Slip Lining	---
Tehnologija rehabilitacije vodovodnih cevi, pri kateri v rehabilitirano cev vstavimo začasno modificirano termoplastično cev, ki ji nato pomagamo zavzeti polno obliko – tesno prileganje k rehabilitirani cevi.		
Izdelava cevne obloge	Cured in Place Lining	CIPP
Tehnologija rehabilitacije, pri kateri v cev vstavimo oblogo, ki jo nato segrevamo s pomočjo pare, vode ali UV žarkov, da se strdi.		
Tehnologija 'cev v cevi'	Slip Lining	---
Tehnologija rehabilitacije cevi, pri kateri vgradimo novo, popolnoma samostojno cev znotraj rehabilitirane cevi.		
Zamenjava cevi pri kateri se poruši obstoječa cev	Pipe Bursting, Pipe Splitting, Pipe Reaming, Pipe Eating	---

Tehnologija rehabilitacije – zamenjave vodovodne cevi, ki hkrati s poružitvijo stare cevi vgrajuje novo cev enakega al večjega premera.

Izvek cevi

Pipe Extraction, Pipe Ejection

Tehnologija rehabilitacije – zamenjave vodovodne cevi, pri kateri staro cev v popolnosti izvlečemo iz tal, hkrati pa vgrajujemo novo.

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Ravnanje z vodo je tisočletja predstavljalo pomembno aktivnost vseh civilizacij. Voda je bila skozi čas shranjena in distribuirana v skoraj vseh materialih, od živalskih kož, do skal, lesa, stekla, keramike in praktično vseh kovin. Vodovodna infrastruktura se danes nahaja pretežno pod površjem zemlje, cevi pa so pod konstantnimi obremenitvami zasipne zemljine ter nadzemnih dejavnosti, kot je promet. Materiali, ki jih za gradnjo vodovodnih sistemov uporabljamo morajo biti ob pravilnem ravnanju, varni ter strukturno in higiensko ustrezni.

Komunalna infrastruktura, kot sta vodovod in kanalizacija, predstavlja pomemben del investicij večine občin. Ko infrastruktura ni primerno vzdrževana, se pojavijo okvare oziroma pomanjkljivosti v sistemu, kar lahko vodi v vodne izgube ter infiltracijo tuje vode, kar pogosto inducira tudi zdravstvene težave. Vodne izgube so glede na Operativni program oskrbe s pitno vodo (2015) posledica dotrajanih, napačno montiranih cevi in nepooblaščenih priključitev na vodovode (kraj), odvisne pa so tudi od tlaka v ceveh, klimatskih razmer (zmrzovanje), topografije (npr. plazljivost) in vrste zemljin. V Evropi so, glede na poročanje Evropske okoljske agencije (Thyssen, 2003), Nizozemska in Nemčija v samem vrhu lestvice držav z nizkimi vodnimi izgubami, dočim jih je Slovenija v omenjenem letu imela približno 40%. Situacija v Sloveniji se sicer izboljšuje, saj so v letu 2014 izgube znašale nekaj manj kot 30% (SURS, 2015).

Vodne izgube imajo tri negativne vidike:

- ekonomski vidik: višji stroški priprave pitne vode, kadar voda ne doteka gravitacijsko (za načrpano vodo je potrebna električna energija);
- upravljavski vidik: za vodovodne sisteme, ki imajo težave z dobavo zadostnih količin vode predvsem v sušnem času oziroma težave s zagotavljanjem ustreznega vodnega tlaka predstavljajo vodne izgube dodaten pritisk na vodne vire;
- zdravstveni vidik: možen je vnos patogenih bakterij in ostalih nezaželenih snovi na mestih, kjer vodovod ne tesni (EPA, 2010).

V interesu vsakega upravljavca je varna oskrba s pitno vodo, katere sestavni del je tudi vodovodna infrastruktura v ustreznem stanju. Redno vzdrževanje vodovodnih sistemov je v Sloveniji navadno v domeni izvajalcev gospodarskih javnih služb, za investicijsko vzdrževanje pa skrbijo lastniki vodovodnega omrežja, torej občine. Uredba o oskrbi s pitno vodo (2015) določa, da razmejitve med obveznostmi občine in upravljavca javnega vodovoda v zvezi z rednim in investicijskim vzdrževanjem in ustreznim zavarovanjem javnega vodovoda določijo s pogodbo.

Med cilji Operativnega programa oskrbe s pitno vodo, ki naj bi jih dosegli do leta 2020 je tudi zmanjšanje vodnih izgub v javnih vodovodih.

Ukrepi, ki jih pristojno ministrstvo predlaga za doseganje zastavljenega cilja so:

- nadzor javnega vodovodnega sistema,
- optimizacija vodovodnega sistema ter
- sanacija vodovodnega sistema.

Ukrep povečanega nadzora (spremljanja stanja) javnega vodovodnega sistema predvideva tudi aktivno iskanje vodnih izgub in okvar s pomočjo akustične, termalne in kemične detekcije ali georadarja. Ukrep sanacije vodovodnega sistema naj bi obsegal lokalno sanacijo mesta puščanja cevi ali zamenjave odsekov cevi, kjer je frekvenca okvar najvišja. Novost pri teh ukrepih je tudi omemba nekaterih izmed tehnologij rehabilitacije brez izkopa.

Do nedavnega je veljalo, da je za popravke ter zamenjavo oziroma vgradnjo vodovodnih cevi edina možnost površinski odprti izkop jarkov. Predpostavljeno je bilo, da je vodovodni sistem v dobrem stanju, razen, če je obstajalo dokazno gradivo, ki je predpostavko zanikalo – torej evidentirane okvare. Postopno slabšanje cevi je tako ostalo neopaženo, ekstremni dogodki pa so se zgodili tako rekoč brez opozorila. Poleg tega je bilo nepoznano tudi stanje plaščev cevi, vodne izgube in infiltracija niso bile merjene, rezultirajoče zdravstvene težave pa neopažene in obravnavane le ob incidentih. Velik preboj je prestavljal razvoj nadzornih kamer za cevne sisteme, ki so omogočile daljinski ogled oziroma pregled stanja cevi, identifikacijo praznin in lukenj ter posledično popravil sistema. Želja po popravilu cevi brez izkopov in direktnega dostopa osebjem do cevi je rezultirala v razvoju t. i. tehnologij brez izkopa (angl. trenchless technologies), ki se razvijajo še danes in počasi pričenjajo nadomeščati tehnologije z odprtim izkopom, čeprav slednje še vedno prevladujejo.

Z razvojem vodovodnih sistemov so se torej razvijali tudi materiali vodovodnih cevi in širilo znanje o njihovih lastnostih in obnašanju. Pri izbiri materiala cevi ter tehnologije vgradnje ali rehabilitacije moramo analizirati življenjski cikel posamezne cevi in upoštevati parametre, kot so emisije pri izdelavi, transportu in vgradnji cevi, neto škoda, ki jo povzročimo naravi, arheološkimi najdiščem ter infrastrukturi, možnost obnove ekološkega habitata ali vodnega režima, dolžina oziroma trajanje vgradnje in s tem motnje lokalnemu prebivalstvu, gospodarstvu idr. (Scheuble, 2014).

Razvoj tehnologij brez izkopa se je sprva pričel zaradi specifičnih težav oziroma potreb določene industrije na različnih krajih sveta, tako so se tehnologijam vgradnje cevi z odprtim izkopom v zadnjih desetletjih pridružile metode brez izkopa, ki omogočajo vgradnjo vodovodne cevi oziroma rehabilitacijo vodovodnega oseka, brez ali z minimalno motnjo na površju. Potrebo po tehnologijah brez izkopa je povzročila predvsem sprememba okolja, ki je postalo gosteje naseljeno in pozidano, prav tako pa je postal močno izkoriščen tudi podzemni prostor. Kitajska je bila prva država, ki je poskušala z ročno izdelavo vrtin in sicer že približno 600 let pred našim štetjem, prvi stroj za vrtanje pa je izumil Leonardo da Vinci na koncu 15. stoletja. Zgodnji poskusi vrtanja, kot na primer na sredini 19. stoletja v Veliki Britaniji, so bili namenjeni izkoriščanju mineralnih dobrin in izkopom premoga (Kramer in sod., 1992). Skozi stoletja so se torej na različnih krajih pojavljali poskusi izdelave horizontalnih vrtin, prve moderne tehnologije brez izkopa pa so se začele izoblikovati na koncu 19. stoletja.

Raziskave na področju izvedbe mikro predorov (angl. microtunnelling) so potekale na Japonskem kot odgovor na pobudo vlade, ki je želela povečati kapacitete kanalizacijskih sistemov večjih mest. Podobno je v Veliki Britaniji, kjer je večina večjih mest ter posledično infrastrukture doživela veliko rast v času Industrijske revolucije v 19. stoletju, potreba po

zamenjavi starajoče se vodovodne in kanalizacijske infrastrukture obravnavana v številnih raziskavah. Uporaba naravnega plina pod visokim tlakom je vzpodbudila razvoj tehnologije zamenjave cevi s poružitvijo obstoječe. V Severni Ameriki so se po zgledu tehnologij črpanja nafte pričele razvijati tehnologije horizontalnega vrtanja tudi pri komunalni infrastrukturi. Danes tehnologije z zaprtim izkopom uporabljamo na področju vgradnje, čiščenja, popravkov, obnove ter zamenjave vodovodnih cevi (Profundis, 2001).

Severnoameriško združenje za tehnologije z zaprtim izkopom slednje danes definira kot tehnologije podzemne gradnje, ki terjajo zelo malo ali nič površinskih izkopov. Gre za hitro rastoči gradbeni sektor, definiran kot: »Družina metod, materialov in opreme, ki jo lahko uporabimo za vgradnjo nove infrastrukture ali rehabilitacijo obstoječe infrastrukture, z minimalnim vplivom na promet ter vse ostale aktivnosti, ki se dogajajo na površju oziroma pod zemljo (NASTT, 2012)«.

Današnje tehnologije brez izkopa so torej naprednejše in med drugim vključujejo sofisticirane metode vrtanja, sodobne pogonske sisteme ter elektronsko vodenje, kar omogoča hitrejši, varnejši, ekonomsko učinkovitejši ter natančnejši izkop (Kramer in sod., 1992). Tehnologije vgradnje cevi s pomočjo preboja (angl. pipe ramming) so še danes najširše uporabljana tehnologija vgradnje cevi brez izkopa, pojavile pa so se v Rusiji in na Poljskem okoli leta 1960 (FHW, 2015). Za vrtanje horizontalnih vrtin na kratkih razdaljah so bile skupaj s tehnologijo preboja ugotovljeno najprimernejše tehnologije horizontalnega vrtanja (angl. jack and bore technologies) (Scheuble, 2004), ki so bile od 50. let prejšnjega stoletja v uporabi predvsem za vgradnjo jeklenih cevi pod cestno ali železniško infrastrukturo (Kramer in sod., 1992). Tehnologija izvedbe mikro predorov (angl. microtunneling) je danes širše uporabljana predvsem v gosto grajenih središčih mest, kjer nimamo veliko možnosti gradnje velikih vstopnih in izstopnih jaškov ali pa pri prečkanju železniških tirov in vodotokov. Razvita je bila leta 1975 na Japonskem (FHW, 2015), v zadnjih 20. letih pa je tehnologija izvedbe mikro predorov prišla do stopnje, kjer je omogočena tudi izdelava zavojev in ne zgolj ravnih vrtin. Tehnologija HDD oziroma tehnologija usmerjenega horizontalnega vrtanja z radijskim vodenjem je bila razvita v Ameriki in sicer najprej za potrebe naftne industrije, šele v 70. letih se je tehnologija pričela uporabljati za izkope pod vodotoki ali cestno in železniško infrastrukturo ter dosegla vrtine premerov do 107 centimetrov in dolžine do 1220 metrov. Prve vodene vrtine so bile narejene za potrebe vgradnje električnih kablov, v 80. letih pa so s tehnologijo usmerjenega vrtanja vgradili prve cevi za potrebe komunalnih vodov (FHW, 2015).

Obstaja veliko različnih tehnologij, s katerimi lahko podaljšamo življenjsko dobo vodovodnim cevem oziroma tehnologij, s katerimi jih lahko zamenjamo, kar v praksi s skupnim imenom imenujemo rehabilitacija. Rehabilitacija vodovodnih cevi pomeni čiščenje, popravke, obnovo in zamenjavo vodovodnih cevi. Uporabnost posamezne tehnologije narekuje stanje obstoječe cevi, značilnosti okolice, stroški in razpoložljivost tehnologije ter pričakovana sposobnost zadostitve novim zahtevam (EPA, 2009)

Rehabilitacija vodovodnih cevi torej ni nov koncept, saj je oplaščenje kovinskih vodovodnih cevi s cementno malto v uporabi že od sredine 30. let (AWWA, 2001). Naftna in plinska industrija sta kasneje razvili nove koncepte rehabilitacije, ki so bili najprej posvojeni za rehabilitacijo kanalizacijskih cevi (AWWA, 2014). O rehabilitaciji cevi se je ponovno pričelo govoriti leta 1971, ko je bila s tehnologijo 'cev v cevi' oplaščena prva kanalizacijska cev v Londonu. Kljub začetnemu skepticizmu se je poskus rehabilitacije obrestoval in spodbudil nadaljnji razvoj tehnologij. Predvsem razvoj tehnologije zdravljenja na mestu (angl. cured in place technology) je bil ključni igralec v razvoju tehnologij rehabilitacije vodovodnih cevi z zaprtim izkopom (Trenchless Technologies, 2014). Tehnologija zdravljenja na mestu je bila razvita v 70. letih 20. stoletja in se še razvija, bodisi z raziskavami na področju novih materialov ali pa načinov zdravljenja, kot je na primer zdravljenje s paro namesto zdravljenja z vodo. Prav tako se trendi gibljejo k recikliranju vode, uporabljene za zdravljenje in iskanju novih kompozitov za izdelavo plaščev, kot notranje obloge cevi (EPA, 2009). Tehnologija 'cev v cevi' (angl. Slip Lining) je prav tako ena starejših metod rehabilitacije, ki je v uporabi od približno leta 1940 (Najafi in Gokhale, 2004). V 90. letih se kot tehnologije za rehabilitacijo vodovodnih cevi uveljavile tehnologije brizganja, najpogosteje se je za pršenje uporabljala epoksi smola. Zaradi počasnega sušenja epoksi smole so se na trgu pojavile nove rešitve, kot so pršenje posebnih polimerov ali pa poliureee (ASCE, 2009). Tehnologija zamenjave cevi z uničenjem stare izvira iz Velike Britanije in Združenih Držav Amerike in sicer je bila razvita v 80. letih, originalno pa je bila namenjena zamenjavi starih litoželeznih plinovodov. Danes jo uporabljamo predvsem za zamenjavo litoželeznih vodovodnih cevi manjših premerov (FHW, 2015).

Izmenjava znanj s področja vgradnje ter rehabilitacije vodovodnih sistemov ter organizacije nizozemskega vodnega sektorja je bila narejena v okviru Erasmus+ izmenjave na Tehniški univerzi v Delftu, kjer sem imela možnost slediti predavanjem pri predmetih Voda in zdravje, Tehnologije z zaprtim izkopom, Vodni sistemi in družba, Etika in filozofija za gradbene inženirje, itd. Nizozemska je država, ki izkazuje izrazit uspeh na področju oskrbe s pitno vodo. Dve nizozemski univerzi, Tehniška univerza v Delftu (TU Delft) ter Univerza v Wageningenu sta po QS lestvici v letu 2016 med desetimi najboljšimi univerzami na svetu: Wageningen na področju okoljskih znanosti, TU Delft pa je znana po odličnih študijskih programih iz področja upravljanja z vodami ter hidrotehnike. Nizozemska ima tudi nekaj pomembnih raziskovalnih inštitutov, kot je KWR Watercycle Research Institute in je ena prvih držav, ki je vzpostavila uspešen sistem benchmarkinga oziroma primerjalne analize uspešnosti izvajanja dejavnosti.

Boxwell je leta 1994 definiral benchmarking kot zastavitev določenih ciljev, za doseg katerih uporabljamo objektivne zunanje standarde in se učimo od drugih. Leta 1996 je Harrington postavil svojo definicijo benchmarkinga kot sistematično pot za prepoznavanje, razumevanje in razvoj boljših izdelkov, storitev, opreme, procesov in praks za izboljšanje uspešnosti določene organizacije in ga označil kot proces, ki se nikoli ne konča. Benchmarking ali slovensko primerjalna analiza uspešnosti po kazalcih izvira iz 1970, ko je postala strateško orodje industrije z namenom zagotoviti proizvajalcem prednost pred konkurenco. Kasneje je primerjalna analiza uspešnosti vstopila v javni sektor, kjer je doživela razevet. Za izboljšanje transparentnosti in učinkovitosti javnih služb, so primerjalno analizo pričele uporabljati vlade in občine ter javna podjetja, med njimi tudi podjetja za oskrbo s pitno vodo. V evropskem

kontekstu sta na področju primerjalne analize priznani dve iniciativi in sicer Evropsko združenje za primerjalne analize (angl. European Benchmarking Cooperation) ter nizozemski nacionalni program za primerjalne analize. Slednji program je med najstarejšimi v Evropi, študije pa so pokazale njegovo uspešnost na področju izvajanja gospodarskih javnih služb. Evropsko združenje za primerjalne analize združuje posamezne evropske države oziroma njihove gospodarske javne službe iz področja upravljanja z vodami. Obe iniciativi sta primera prostovoljne primerjalne analize, ki so jih začele javne službe ali njihova združenja (Villanueva in Blokland, 2016). Prostovoljna izmenjava informacij v nizozemskem sektorju oskrbe s pitno vodo je pričela v poznih 80-ih letih 20. stoletja, ko so podjetja za oskrbo s pitno vodo pričela z zaupnimi vajami oziroma preizkusi, v katere so imeli vpogled zgolj direktorji (Braadbart in sod., 1999). Kasneje je državna debata na temo privatizacije vodooskrbnega sektorja pokazala potrebo po primerjalni analizi uspešnosti na nivoju države, ki jo je prvič izvedel VEWIN, združenje nizozemskih podjetij za oskrbo s pitno vodo, leta 1997. V primerjalni analizi, ki je od takrat naprej bila izvedena vsaka tri leta, so do leta 2010 prostovoljno sodelovala vsa nizozemska podjetja za oskrbo s pitno vodo, leta 2010 pa je primerjalna analiza uspešnosti po kazalcih postala obvezna (Villanueva in Blokland 2016).

Poleg uspešnega benchmarkinga je Nizozemska ena izmed evropskih držav pionirk na področju tehnologij vgradnje cevi brez izkopa ter rehabilitacije vodovodnih sistemov. Že v 80. letih je po zgledu Mednarodnega društva za tehnologije brez izkopa ustanovila nizozemsko podružnico Nizozemsko društvo za tehnologije brez izkopa.

1.1 Cilji naloge

Cilj magistrske naloge je celovit pregled tehnologij vgradnje in rehabilitacije vodovodnih cevi, z namenom njihove medsebojne primerjave in raziskave primernosti njihove uporabe na slovenskem vodovodnem omrežju. Vzporedno bomo z namenom izmenjave dobrih praks izvedli tudi pregled slovenskega in nizozemskega sistema upravljanja vodovodnih sistemov, zakonodaje na kateri temeljita ter pristopov na področju tehnologij rehabilitacije. Podane bodo smernice za rehabilitacijo slovenskega vodovodnega omrežja ter predstavljeni shematski prikazi odločanja o izbiri primerne tehnologije rehabilitacije za posamezne odseke. Ti bodo nato testirani na štirih lokacijah, za katere bo podan predlog o postopku rehabilitacije vodovodnih cevi.

1.2 Struktura naloge

Po uvodu so v drugem poglavju z namenom lažjega razumevanja tehnologij vgradnje in rehabilitacije vodovodnih cevi, opisani različni in najpogosteje uporabljeni materiali iz katerih so lahko izdelane vodovodne cevi. Fokus je na vodovodnih ceveh narejenih iz materialov, ki so bili ali so prisotni na slovenskem trgu. Drugo poglavje je osredotočeno tudi na slovensko in nizozemsko vodooskrbo, s pomembnim poudarkom na zakonodaji, upravljanju vodovodnih sistemov ter primerjalnih kazalcih stanja vodooskrbe v državah, kar je med drugim tudi ključnega pomena za stanje vodovodnih sistemov. Raziskana je tudi politika in delovanje omenjenih držav na področju tehnologij vgradnje cevi brez izkopa ter tehnologij rehabilitacije

vodovodnih cevi. Dotaknili smo se tudi nekaterih informacij o tehničnem stanju omenjenih vodovodnih sistemov.

V tretjem poglavju smo najprej opisali življenjski cikel vodovodne cevi in definirali pomen vgradnje ter rehabilitacije vodovodnih cevi za vodovodni sistem. Predstavili smo pomembnejše tehnologije vgradnje vodovodnih cevi z odprtim izkopom ali brez izkopa (angl. trenchless technologies), rehabilitacije oziroma popravkov in oplaščenja vodovodnih cevi ter njihove obnove ali uničenja. Tehnologije vgradnje cevi, kot pomembnega dela celotnega življenjskega cikla vodovodnih cevi, smo predstavili zgolj na kratko, saj jih je podrobneje v svojem diplomskem delu opisal že Turk (2014). Predstavljen je tudi shematski prikaz odločanja o vzdrževanju oziroma rehabilitaciji vodovodnih cevi.

Četrto poglavje predstavlja sintezo dobrih praks iz Nizozemske ter predloge morebitnih sprememb na področju upravljanja z vodami. Prav tako so na podlagi trenutnega stanja prikazane možnosti uporabe najprimernejših tehnologij vgradnje, rehabilitacije in obnove vodovodnih cevi v Sloveniji in predlagani napotki za nadaljnje raziskave oziroma delo. Na podlagi shematskih prikazov odločanja o rehabilitaciji vodovodnih cevi so podani predlogi za rehabilitacijo vodovodnih odsekov na štirih lokacijah v različnih slovenskih občinah.

V petem poglavju smo sintetizirali pridobljena znanja ter podali zaključke.

2 OSKRBA S PITNO VODO V SLOVENIJI IN NA NIZOZEMSKEM

V poglavju smo obravnavali vodovodne cevi, kot sestavne dele vodovodnega sistema. Osredotočili smo se na različne materiale vodovodnih cevi, saj slednji med drugim pogojujejo tudi izbiro primerne tehnologije rehabilitacije. Prav tako smo predstavili predpise in pristope na področju vodovodnih sistemov v Sloveniji in Nizozemski ter se dotaknili upravljanja vodovodnih sistemov v omenjenih državah ter njihovih tehničnih značilnosti.

2.1 Vodovodni sistem

Cevovodno omrežje delimo na transportni cevovod, primarni vodovod, sekundarni vodovod in priključke. Transportni cevovod služi prenosu vode od zajetja do vodohrana, od vodohrana do naselja pa je v uporabi tako imenovani glavni oziroma primarni cevovod. Od tod se omrežje razcepi v veje razdelilnega, sekundarnega cevovoda, na katerega so priključeni uporabniki. Poznamo krožno in vejičasto cevovodno omrežje. Sestavni deli cevovoda so cevi, vozlišča (razcepi, sotočja) in fazonski kosi. Cevi so elementi cevovoda, ki primarno služijo transportu vode med različnimi točkami. Cevi med seboj povezujejo spoji, ki so lahko ločljivi – prirobnice, obojke in vijačeni spoji; ter neločljivi – varjenje, spajkanje in lepljenje. V poglavju se bomo osredotočili na vodovodne cevi, konkretnije na materiale, ki jih najpogosteje najdemo v slovenskem vodovodnem omrežju, saj izbira primerne tehnologije rehabilitacije med drugim temelji tudi na materialu vgrajene (obstoječe) cevi.

Vodovodne cevi morajo izpolnjevati mnogo zahtev, med katerimi so:

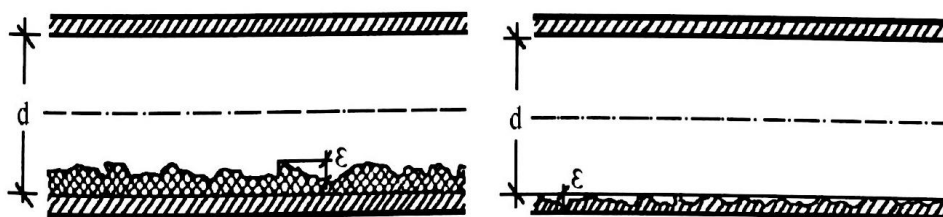
- trajnost,
- korozijska obstojnost,
- kemijska obstojnost,
- negorljivost,
- odpornost na abrazijo,
- sposobnost prenašanja ekstremnih temperatur,
- sposobnost prenašanja prometnih obremenitev,
- nizek koeficient krčenja/raztezanja,
- trdnost in togost,
- odpornost na prenos hrupa itd.

Na vodovodne cevi vplivajo notranje in zunanje sile. Notranje sile na cev predstavljajo obratovalni tlak, najvišji obratovalni tlak v sistemu in hidrostatični tlak za preizkus tesnosti. Zunanje sile, ki vplivajo na cev v zemlji, se delijo na statične in dinamične. Statične sile predstavlja vertikalna teža zemljine oziroma materialov nad cevjo, dinamične sile predstavljata promet in vzgon. S primerno vgradnjo lahko učinek sil zmanjšamo. Izbira ustrezne cevi temelji med drugim tudi na pričakovanih notranjih in zunanjih statičnih obremenitvah, načinih spajanja cevi ter ceni cevi in zemeljskih del (ASCE, 2001).

Pomembni parametri oziroma dimenzije vodovodnih cevi so premeri cevi, ki jih delimo na zunanji premer (D_{zun}), notranji premer (D_{not}) ter nazivni premer (DN). Cevi iz nodularne litine in jeklene cevi imajo notranji premer enak nazivnemu, polietilenske cevi imajo zunanji premer enak nazivnemu. Prav tako so pri izbiri primernih cevi za vgradnjo upoštevani material izdelave, nazivni tlak, trdnost oziroma nazivna togost (MRS), kot upornost proti notranjemu

tlaku vode pri 20 stopinj C za 50 let pri polietilenskih ceveh ter standardno dimenzijsko razmerje (SDR), ki ga proizvajalci polietilenskih cevi uporabljajo kot metodo tlačne trdnosti in predstavlja razmerje med zunanjim premerom cevi in debelino stene (vir: predavanja pri predmetu Vodovod in oskrba s pitno vodo). Dolžina vodovodnih cevi je prav tako pomembna z vidika vgradnje in pa števila spojev med cevmi.

Pričakovana življenska doba vodovodnih cevi je lahko več desetletij, v tem času pa se njihove lastnosti lahko spremenijo, pri čemer tudi kakovost vode igra veliko vlogo pri dolgoročni prevodni sposobnosti cevi. Natančneje, tip vode lahko vpliva tako na obloge na ostenju, kot tudi na razžiranje sten cevi (Steinman, 2010). S pomočjo nekaterih tehnologij rehabilitacije, lahko vplive staranja cevi do določene mere omilimo.



Slika 1: Levo prikaz oblog v cevi in desno prikaz razjedanja ostenja cevi (Steinman, 2010)

2.1.1 Delitev vodovodnih cevi glede na material izdelave

Trajnost in varnost vodovodnega sistema je odvisna od kakovosti njegovih komponent in primernosti njihove vgradnje. Tudi kakovost izdelave in vgradnje vodovodnih cevi ter izbira najprimernejših materialov pomembno vplivajo na obnašanje sistema kot celote. Vodovodne cevi v grobem lahko delimo na cevi izdelane iz kovin, termo plastične cevi ter cevi izdelane iz različnih materialov – kompozite (WSD, 2000)

2.1.1.1 Kovinske cevi

Ko govorimo o kovinskih ceveh navadno mislimo na različne vrste jekla in železa, ter v nekaterih primerih tudi na baker. Kovinske cevi v primerjavi s plastičnimi ne gorijo in prenašajo višje temperature in tlake, so dražje in težje od plastike, kar pomeni višje transportne stroške in oteženo ravnanje z njimi (WHO, 2006). Njihova pomanjkljivost pa je njihova nagnjenost h koroziji. Korozija železa je izjemno kompleksen proces, na katerega vplivajo različni faktorji, poleg tega pa se kaže v različnih oblikah, kot sta notranja in zunanja korozija cevi. Lastnosti vode, ki vplivajo na korozijo so med drugim pH vode, njena alkalnost in pa puferska kapaciteta. Faktorji, ki vplivajo na korozijo litoželezne cevi v zemljini so še vrsta in kemijske lastnosti zemljine, kot je na primer pH, vlaga zemljine, stopnja in variabilnost aeracije (količine kisika) v zemljini, mikrobiološka aktivnost – največ poudarka je na bakterijah, ki oksidirajo žveplo ter električna upornost zemljine (Petersen, 2012). Korozija lahko inducira probleme različnih vrst kot so izguba mase cevi na račun oksidacije, kar vodi v poslabšanje mehanskih lastnosti, prav tako pa stranski, v vodi topni produkti oksidacije zmanjšujejo kakovost vode in vodijo do pritožb uporabnikov o t.i. »rdeči vodi«.

Litoželezne cevi

Železova litina, lito železo ali siva litina je zlitina železa z ogljikom, pri čemer je vsebnost ogljika višja od 2%. Ogljik se v litem železu nahaja v obliki cementita in pa grafitnih lusk, ki med drugim zmanjšujejo trdnost litine. Prve litoželezne cevi so se pojavile v 16. stoletju v Nemčiji, prvi vodovodni sistem iz litoželeznih cevi pa je bil zgrajen leta 1664 v Versajski palači v Franciji (CISPI, 2006). Priljubljenost in uporaba litoželeznih cevi je nato rasla in v drugi polovici stoletja počasi pričela upadati zaradi prisotnosti primernejših, zanesljivejših in cenejših materialov na trgu. V Sloveniji imamo še približno 1480 kilometrov litoželeznih cevi, ki jih postopoma zamenjujemo s cevmi iz drugih materialov (MOP, 2015).

Prednosti litoželeznih cevi so odpornost na abrazijo, trajnost, enostavno spajanje, poceni vgradnja, možnost recikliranja in dejstvo, da niso gorljive. Slabosti litoželeznih cevi so visoka teža, dolžina – navadno so dokaj kratke, kar vodi v večje število spojev, nizka odpornost na natezne napetosti oziroma neelastičnost, visoko število napak pri proizvodnji in predvsem nagnjenost k notranji in zunanji koroziji. Korodirajo podobno kot nodularna litina in jeklo.

Za litoželezne cevi obstajata notranja in zunanja zaščita proti koroziji – notranja je navadno obloga iz cementne malte, pri zunanji pa navadno gre za polietilenski ovoj (CISPI, 2006).



Slika 2: Korozija 110 let stare litoželezne cevi (Petersen, 2012)

Litoželezne cevi najpogosteje najdemo v premerih od 8 cm pa do 120 cm in več ter dolžine do 6 metrov (CSFE, 2010). Tlačni razredi litoželeznih cevi so navadno med tremi in devetimi bari (Mueller, 2016), nekatere med njim pa lahko prenesejo tlake tudi več kot 23 barov (American Wheatley, 2016). Danes se uporaba litoželeznih cevi opušča, predvsem zaradi prodora novih, primernejših, za vgradnjo enostavnejših in cenejših materialov na trg.

Pocinkane (galvanizirane) jeklene cevi

Jeklo je železova zlitina, pri kateri je poleg železa drugi najbolj zastopan element ogljik. Slednjega je v jeklu lahko od 0.05% (jekla z nizko vsebnostjo ogljika) naprej – odvisno od lastnosti, ki jih od jekla potrebujemo. Ogljik jeklu povečuje trdnost in trdoto ter zmanjšuje duktilnost, žilavost. Jeklene cevi namenjene distribuciji vode vsebujejo približno 0.3% ogljika.

So nagnjene h koroziji, zato so po navadi zaščitene s slojem cinka ali cinkove zlitine. Proces se imenuje tudi galvanizacija in poteka tako, da se cev po predhodnem čiščenju namoči v cinkovo kopel (Singh, 2012). Cinkov sloj se nato strdi in deluje kot žrtvena anoda v primeru prask na cevi. V jeklenih ceveh se sčasoma radi začnejo nalagati minerali, posebno če gre za trdo vodo. Nekateri jeklene cevi so zaščitene tudi proti notranji koroziji in sicer s slojem cementne malte. Prav tako so jeklene cevi občutljive na kisline, kot je na primer pojav kislega dežja, kar lahko po nekaj desetletjih rezultira v uničenem sloju cinka in posledično koroziji cevi. Prednost jeklenih cevi je odpornost na UV žarke, zato so lahko izpostavljene sončni svetlobi.



Slika 3: Notranja korozija in nalaganje mineralov znotraj pocinkane jeklene cevi (Delta Mechanical, 2016)

Jeklene cevi prenesejo tlake tudi do 58 barov, njihova dolžina znaša lahko do 18 metrov. Nazivni premeri se gibljejo od 15 centimetrov do skoraj 4 metrov (NPC, 2016). Njihova uporaba se v Sloveniji opušča, trenutno tvorijo le še približno 2% slovenskega vodovodnega omrežja (MOP, 2015).

Cevi iz nodularne litine

Nodularna ali duktilna litina se je kot nov material za vodovodne cevi pričela uporabljati v petdesetih letih 20. stoletja. Za razliko od sive, klasične litine (lito železo), so pri nodularni litini zrnca grafita okrogla, kar rezultira v mehanskih lastnostih, ki so primerljive z jeklom in livnostjo, ki je primerljiva z litim železom. (US. Pipe, 2013). Nodularna litina je v drugi polovici 20. stoletja postopoma pričela nadomeščati lito železo, predvsem pa v vodovodnih sistemih velja kot material, ki se odlično obnese.

Notranjost cevi iz nodularne litine je navadno zaščitena s cementno malto, ki lahko vsebuje tudi žlindro. Cementna malta pomaga preprečevati notranjo korozijo in s tem izboljšuje hidravlične lastnosti cevi (NPC, 2016). Cevi iz nodularne litine imajo tudi zunanjo zaščito, ki je odvisna od korozivnosti okolja, v katerega je cev položena. Zunanja zaščita je lahko aktivna - cinkova prevleka ali cink-aluminijeva prevleka ali pasivna zaščita kot na primer plast polietilena visoke gostote, plast bitumna ali plast poliuretana. Aktivnost zunanje zaščite pomeni, da ima slednja sposobnost samoobnavljanja v primeru manjših napak, kot so praske (CMC Ekocon, 2016).

Prednosti cevi iz nodularne litine so zmožnost prenašanja visokih tlakov, visoka odpornost na korozijo – a le v primeru dobre notranje in zunanje zaščite, velika odpornost na zunanje

obremenitve, velika odpornost na seizmološke vplive, enostavno spajanje in negorljivost, kot pri večini kovinskih cevi. Cevi iz nodularne litine imajo v primerjavi s termoplastičnimi cevmi višjo natezno trdnost, kar pomeni, da so bolj odporne v primeru vodnega udara (Bonds, 2000). Slabost nodularne litine je, da je nagnjena k zunanji in notranji koroziji – protikorozijska zaščita se lahko obrabi ali počí in pusti cev nezaščiten. Prav tako so cevi iz nodularne litine cenovno najmanj ugodne (CMC, 2016).



Slika 4: Cevi iz nodularne litine z zunanjo bitumensko zaščito (K&R INTERNATIONAL GROUP, 2012)

Premeri cevi iz nodularne litine lahko varirajo od 8 centimetrov, pa do 165 centimetrov in prenašajo tlake tudi do 25 barov (US. Pipe, 2013). Njihova dolžina je navadno 6 metrov (Zagožen, 2015).

2.1.1.2 Termoplastične cevi

Termoplastika je definirana kot plastičen material oziroma polimer, ki nad določeno temperaturo ostane prožen ali gnetljiv. V drugi polovici 20. stoletja, predvsem pa v zadnjih 30 letih, se je uporaba termoplastičnih cevi povečala zaradi mnogih razlogov, kot je dejstvo, da so termoplastične cevi bolj gladke od kovinskih, zato je upornost toku (trenje) nižja. Primer termoplastike so akril, najlon, polietilen, polipropilen, polistiren, teflon in polivinil klorid. Termoplastika je neodporna na visoke temperature oziroma neobstoja v primeru požara. Za razliko od kovinskih cevi, je lokacijo termoplastičnih cevi v zemlji težje določiti. Plastične cevi so lahke in ravnanje z njimi je enostavno, še posebno to velja za nekatere cevi manjših premerov, ki se jih lahko transportira v obliki kolutov. Plastične cevi ne prevajajo električnega toka (Bonds, 2000)

Cevi iz polivinil klorida (PVC)

PVC je tog, lahek, korozijsko odporen material, občutljiv na površinsko aktivne organske spojine, kot so detergenti in pa na klor. Gre za termoplastični polimer, osnovan na kloriranih ogljikovodikih (etilen). Ker ima visok koeficient temperaturnega raztezka in je občutljiv na UV sevanje ni primeren za okolje, kjer so pričakovane visoke temperature ali za direktno izpostavljanje sončni svetlobi. PVC cevi brez mehčalcev so občutljive na točkovne obremenitve in utrujanje, zato niso primerne za lokacije, kjer so pričakovane večje obremenitve. Za izboljšanje lastnosti polivinil klorida, se mu dodaja plastifikatorje, pigmente, stabilizatorje za boljšo odpornost proti visokim temperaturam in svetlobi, itd. Za uporabo v vodooskrbnih sistemih so primerne toge PVC cevi brez mehčalcev in polnila (angl. rigid PVC, unplasticized PVC) ter klorirane PVC cevi.

Toge PVC cevi prenesejo tlake do 25 barov, ustrezajo pa tudi za distribucijo trde vode. Na trgu jih najdemo v različnih dimenzijah, od nazivnega premera 0.6 centimetrov, pa vse do 200 centimetrov in več (Interplast, 2016).



Slika 5: PVC (modra) in PE (črna barva) vodovodne cevi (Direct Industry, 2016)

Klorirane PVC cevi dobimo z polimerizacijo vinil klorida z dodatnim kloriranjem. Premeri cevi so med 0.635cm in 30.5 cm. (WHO, 2006). PVC – C cevi so lahke, ne toksične, brez vonja in omejujejo rast gliv, alg in mikroorganizmov. Zdržijo lahko tlake do 600kPa in temperature do 95 stopinj Celzija. So zelo odporne na korozijo ter kisline.

Polietilenske cevi (PE)

Polietilen je lahka in vsestranska smola, ki nastane ob polimerizaciji etilena. Na trgu obstajajo tri primarne vrste polietilenskih cevi, ki jih pridobivajo s polimerizacijo etilena. Glede na postopke pridobivanja, lastnosti in uporabo delimo polietilen na polietilen nizke gostote (PE LD), linearni polietilen nizke gostote (PE LLD) polietilen srednje gostote (PE MD) ter polietilen visoke gostote (PE HD). V splošnem je polietilen kemijsko in mehansko odporen tudi pri nizkih temperaturah ter iz okoljevarstvenega vidika dokaj neoporečen (Omaplast, 2013).

Cevi iz polietilena so korozijsko obstojne in fleksibilne, kar dopušča navijanje cevi na kolute in večje dolžine cevi, manj spojev, enostavnejše ter hitreje polaganje. So dokaj odporne na seizmično aktivnost in posedanje, so lahke, kar olajšuje rokovanje z njimi in znižuje stroške transporta. Cevi iz polietilena so tudi kemijsko odporne proti kislinam, bazam in topilom ter odporne na mehansko obrabo, ki jo povzročajo abrazivni delci v vodi. Spajanje polietilenskih

cevi je možno z varjenimi ali mehanskimi spoji (Zagožen, 2015). Polietilen in polietilenske cevi navadno klasificiramo glede na njihovo gostoto na polietilen nizke gostote (angl. PE LD), polietilen srednje gostote (angl. PE MD) ter polietilen visoke gostote (angl. PE HD). Gostota polietilena nizke gostote se giblje med 0.910 in 0.925 g/cm³. Navadno so PE LD cevi manjših premerov in se uporabljajo v namakalnih sistemih (WHO, 2006). Polietilen srednje gostote je vrsta polietilena, katerega gostota je med 0.926 in 0.940 g/cm³ (Gabriel, 2016). Polietilen visoke gostote je v primerjavi z ostalimi vrstami polietilena najtrši in uporaben do temperature 120°C. Njegova gostota znaša med 0.941 in 0.965 g/cm³ (Gabriel, 2016). Polietilenske cevi so primerne za tlake do 25 barov. Cevi so lahko dobavljive v kolutih ali v palicah različnih dolžin, odvisno od njihovega premera. Slednji znašajo od 20 pa do 2500 milimetrov (Pipelife, 2016). Za gradnjo vodovodnih sistemov se najpogosteje uporabljajo polietilenske cevi visoke gostote.

Obstaja še veliko različic termoplastičnih cevi, kot so na primer cevi iz zamreženega polietilena (PEX). Gre za polietilen visoke gostote, ki mu je bila s kemijskimi ali fizikalnimi procesi spremenjena molekularna struktura – polimerne verige so bile zlepljene. Med drugim so na trgu prisotne še cevi iz akronitril butadien stirena, poliestrske cevi, polipropilenske cevi itd. Skupaj s PEX cevmi se večinoma uporabljajo v hišnih vodovodnih napeljavah.

2.1.1.3 Kompozitne cevi

Na trgu so tudi mnoge kompozitne vodovodne cevi, sestavljene iz dveh ali več različnih materialov. Pogoste so kombinacije termo plastike in kovine, na primer zamreženi polietilen in aluminij in polietilen visoke gostote in aluminij, a so te cevi navadno uporabljane za hišne vodovodne inštalacije. Med kompozite spada tudi s steklenimi vlakni ojačana plastika (GRP) in pa tudi azbestno cementni kompoziti.

Azbestno cementne cevi

Azbest je splošno poimenovanje specifičnih silikatnih materialov, naravnih vlaken, ki jim je med drugim skupna odpornost na lug, kisline in pa visoke temperature, trajnost in fleksibilnost (WHO, 1996). V naravi ga najdemo v različnih oblikah, v gradbeni industriji pa je bil najbolj uporabljan t. i. beli azbest (Salvatori in sod., 2003). Za gradbene namene, konkretnije za izdelavo vodovodnih cevi, se je azbest kombiniral s cementom, kar je izboljšalo njegove mehanske lastnosti. V 20. stoletju so se azbestno cementne cevi pričele množično vgrajevati, posebno sedemdeseta in osemdeseta leta so bila leta največje porabe azbesta v Sloveniji (Dodič-Fikfak, 2001). Leta 1996 je bil sprejet Zakon prepovedi proizvodnje in prometa z azbestnimi izdelki ter o zagotovitvi sredstev za prestrukturiranje azbestne proizvodnje v neazbestno (2005), ki je prepovedal uporabo azbesta in azbestnih izdelkov. Primarni razlog prepovedi so zdravstveni razlogi, saj je azbest toksičen za človeka (WHO, 1996).

V slovenskem vodovodnem omrežju imamo vgrajenih še približno 1500 kilometrov azbestno cementnih cevi, kar znaša dobrih 7 odstotkov vseh vodovodnih cevi (MOP, 2015). Postopoma jih zamenjujemo s primernejšimi materiali.



Slika 6: Azbestno cementne cevi (Bracken in Johnston, 2013)

Na Tehniški Univerzi v Delftu so na temo vzrokov in posledic staranja vodovodnih cevi naredili raziskavo, znotraj katere so se osredotočili na analizo najpogostejše vgrajenih vodovodnih cevi na Nizozemskem - litoželezne cevi, cevi iz nodularne litine, azbestno cementne cevi, PVC in PE cevi. Ugotovili so, da so litoželezne cevi najpogostejše nagnjene k zunanji in notranji koroziji ter rasti biofilma, kar rezultira v slabšanju mehanskih in hidravličnih lastnosti ter problemih s kakovostjo vode. Cevi iz nodularne litine imajo navadno notranje cementno oplačenje, ki velikokrat razpoka, kar poveča tveganje za nastanek korozije. Azbestno cementne cevi so, kot že omenjeno, človeku nevarne zaradi azbestnih vlaken. Pri PVC ceveh gumijasti spoji velikokrat puščajo, cevi pa rade počijo. Polietilenske cevi niso posebno nagnjene k nobenim težavam (vir: Predavanja pri predmetu Trenchless Technologies, 2016).

2.2 Predpisi in pristopi

Z namenom izmenjave dobrih praks smo izdelali kratek pregled zakonodaje oziroma predpisov iz področja vodooskrbe na Nizozemskem in v Sloveniji, s poudarkom na načinu izvedbe primerjalnih kazalcev uspešnosti (angl. benchmarking) ter njenemu delu na področju tehnologij brez izkopa. Nizozemska in Slovenija morata kot članici Evropske unije slediti evropskim smernicam.

2.2.1 Evropski predpisi

Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta (2000/60/ES) z dne 23. oktobra 2010 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike določa okvire za varstvo celinskih površinskih voda, somornic, obalnega morja in podzemnih voda. V direktivi je zapisano tudi nekaj smernic iz področja oskrbe s pitno vodo, predvsem kar se tiče opredelitve vodnih teles za odvzem pitne vode, ukrepov za varovanje voda pred onesnaženjem, predvsem pa poudarja usklajevanje področja vodooskrbe članic Skupnosti z Direktivo Sveta o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi.

Cilj Direktive Sveta (98/83/ES) z dne 3. novembra 1998 o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi, je varovanje zdravja ljudi pred škodljivimi vplivi vsakršnega onesnaženja vode, namenjene za prehrano ljudi, z zagotavljanjem, da je zdravstveno ustrezna in čista. Direktiva določa standarde kakovosti z mesti ustrežanja standardom, navodila za spremljanje stanja vode, namenjene za prehrano ljudi, sanacijske ukrepe in omejitve uporabe vode, ki ni dosegla zahtevanih standardov kakovosti ter odstopanja od določenih parametrov kakovosti, hkrati pa predpiše, da je potrebno zagotoviti kakovost obdelave vode, pripadajoče opreme ter materialov.

Direktiva (2006/118/ES) Evropskega parlamenta in Sveta z dne 12. decembra 2006 o varstvu podzemne vode pred onesnaženjem in poslabšanjem določa posebne ukrepe za preprečevanje in omejevanje onesnaževanja podzemne vode.

2.2.2 Slovenska vodooskrba

V Sloveniji oskrbo s pitno vodo ureja več zakonov, uredb in pravilnikov.

Zakon o varstvu okolja (ZVO-1-UPB1) določa temeljna načela varstva okolja, ukrepe varstva okolja, spremljanje stanja okolja in informacije o okolju, ekonomske in finančne instrumente varstva okolja, javne službe varstva okolja in druga z varstvom okolja povezana vprašanja. Med drugim Zakon o varstvu okolja definira oskrbo prebivalstva s pitno vodo kot obvezno občinsko gospodarsko javno službo. Naloga vlade je predpisati metodologijo za oblikovanje cen, oskrbovalne standarde in tehnične, vzdrževalne, organizacijske, naloga občine pa zagotovitev izvajanja javnih služb. Zakon o varstvu okolja definira tudi pojem koncesije, ki jo država ali občina lahko proti plačilu s koncesijskim aktom podeli za upravljanje, rabo ali izkoriščanje naravnih dobrin, med katerimi je tudi voda.

Zakon o gospodarskih javnih službah (ZGJS) predpisuje oblike zagotavljanja gospodarskih javnih služb (GJS), ki so:

- režijski obrat, ki se ustanovi, ko bi bilo zaradi majhnosti obrata ali značilnosti službe neekonomično ali neracionalno ustanoviti javno podjetje ali podeliti koncesijo,
- javni gospodarski zavod, ko gre za opravljanje ene ali več gospodarskih javnih služb, ki jih zaradi njihove narave ni mogoče opravljati kot profitne, oziroma če to ni njihov cilj,
- javno podjetje, kadar gre za opravljanje ene ali več gospodarskih javnih služb večjega obsega ali kadar to narekuje narava monopolne dejavnosti, ki je določena kot gospodarska javna služba, gre pa za dejavnost, ki jo je mogoče opravljati kot profitno,
- koncesije.

Prav tako Zakon o gospodarskih javnih službah predpisuje, da se gospodarske javne službe financirajo s ceno javnih dobrin, iz proračunskih sredstev in iz drugih virov, določenih z zakonom ali odlokom lokalne skupnosti. Poleg izvajanja GJS, se zakon dotakne strokovno-tehničnih in razvojnih nalog na področju GJS in varstva uporabnikov javnih dobrin.

Zakon o vodah (ZV-1) ureja upravljanje z morjem, celinskimi in podzemnimi vodami ter vodnimi in priobalnimi zemljišči, kar obsega tudi varstvo voda, urejanje voda in odločanje o rabi voda. Prav tako zakon ureja javno dobro in javne službe na področju voda, vodne objekte in naprave ter druga vprašanja, povezana z vodami. Tudi vodovarstvena območja in upravljanje z njimi, vprašanje vodnih pravic, vodnih dovoljenj, vodnih soglasij in koncesijskih aktov, so natančneje opredeljena v Zakonu o vodah, ki med drugim določa tudi, da je za neposredno rabo vode za lastno oskrbo s pitno vodo ali oskrbo s pitno vodo, ki se izvaja kot gospodarska javna služba, potrebno dobiti vodno dovoljenje.

Uredba o oskrbi s pitno vodo določa vrste nalog, ki se izvajajo v okviru storitev obvezne občinske gospodarske javne službe oskrbe s pitno vodo in nekatere pogoje za oskrbo s pitno vodo, ki se izvaja kot javna služba, ter za lastno oskrbo s pitno vodo. Uredba o oskrbi s pitno vodo določa tudi standarde komunalne opremljenosti, ki morajo biti izpolnjeni za izvajanje GJS oskrbe s pitno vodo, ukrepe za opravljanje GJS oskrbe s pitno vodo, vsebino operativnega programa oskrbe s pitno vodo, obveznosti občin in izvajalcev GJS oskrbe s pitno vodo ter načine in pogoje oskrbe s pitno vodo, ki morajo biti izpolnjeni pri opravljanju storitev GJS oskrbe s pitno vodo.

Uredba o oskrbi s pitno vodo predpisuje tudi spremljanje in evidenco vodnih izgub, ki jo mora izvajati GJS. Prav tako je ta zadolžen za izvedbo rednega vzdrževanja, lastnik javnega vodovoda pa za izvedbo investicij in investicijskega vzdrževanja. Uredba o oskrbi s pitno vodo predpisuje vsebino operativnega programa oskrbe s pitno vodo.

Uredba o metodologiji za oblikovanje cen storitev obveznih občinskih gospodarskih javnih služb varstva okolja določa metodologijo za oblikovanje cen storitev tudi za obvezno občinsko GJS oskrbe s pitno vodo. Predračunska cena pitne vode je sestavljena iz omrežnine in vodarine. Omrežnina vključuje med drugim tudi stroške amortizacije ali najema osnovnih sredstev in naprav, ki so javna infrastruktura, stroške zavarovanja infrastrukture javne službe, stroške odškodnin, ki vključujejo odškodnine za služnost, povzročeno škodo, povezano z gradnjo, obnovo in vzdrževanjem infrastrukture javne službe, stroške obnove in vzdrževanja priključkov na javni vodovod v obsegu nalog izvajalca javne službe oskrbe s pitno vodo v skladu s predpisom, ki ureja oskrbo s pitno vodo. Vodarina obsega le stroške, ki jih je mogoče povezati z opravljanjem storitev javne službe in vključujejo predvsem neposredne stroške materiala in storitev, neposredne stroške dela in druge neposredne stroške, splošne upravne in splošne proizvodne stroške, ki vključujejo stroške materiala, amortizacije poslovno potrebnih osnovnih sredstev, storitev in dela.

Pravilnik o oskrbi s pitno vodo določa zahteve, ki jih mora izpolnjevati pitna voda, z namenom varovanja zdravja ljudi pred škodljivimi učinki zaradi kakršnegakoli onesnaženja pitne vode. Pravilnik predpiše potek notranjega nadzora in spremljanje stanja (monitoring), se dotakne teme zagotavljanja kakovosti priprave vode, opreme in materialov, zbirk podatkov laboratorijskih preskusov in obveščanja o kakovosti pitne vode.

Posamezne občine s svojimi **odloki** natančneje predpišejo pogoje izvajanja GJS oskrbe s pitno vodo.

Operativni program oskrbe s pitno vodo je program koordiniranih ukrepov države in občin za postopno doseganje ciljev oskrbe z ustrezno pitno vodo. Usklajuje vsebine, ki jih na področju oskrbe s pitno vodo narekuje uveljavitev pravnega reda evropske skupnosti ter potrebe po usklajevanju vsebin, ki opredeljujejo strokovno-tehnične upravljaljske vidike oskrbe s pitno vodo, s poudarkom na dolgoročni, trajnostni ter ekonomsko učinkoviti, varni in kakovostni vodooskrbi. Operativni program oskrbe s pitno vodo je izvedbeni dokument, ki je s strani Ministrstva za okolje in prostor bil prvič izdan leta 2006. Trenutno je dostopen tudi Operativni programa oskrbe s pitno vodo za obdobje od 2015 do 2020. Operativni program za oskrbo s pitno vodo (2006) je predlagal vzpostavitev t.i. benchmarkinga oziroma primerjalne analize po kazalcih, s pomočjo katerega bi lahko med seboj primerjali ustreznost načina izvajanja javne službe oskrbe s pitno vodo.

Poleg omenjenih primarnih predpisov, so za oskrbo s pitno vodo pomembni še sledeči dokumenti (Petelin, 2008):

- Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja (Ur. l. RS, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16)
- Uredbe o vodovarstvenih območjih za razna vodna telesa vodonosnikov (npr. Ljubljansko polje, Ruš, Vrbanskega platoja, Limbuške Dobrave, Dravskega polja, Selniške Dobrave itd.)
- Zakon o zdravstveni ustreznosti živil in izdelkov ter snovi, ki prihajajo v stik z živili (Ur. l. RS, št. 52/00, 42/02 in 47/04 – ZdZPZ),
- Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov in naprav za pripravo vode – delno prenehala veljati (Ur. l. RS, št. 28/00, 41/04-ZVO-1),
- Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (Ur. l. RS, št. 51/06 – uradno prečiščeno besedilo in 97/10),
- Zakon o varstvu pred požarom (Ur. l. RS, št. 3/07 – uradno prečiščeno besedilo, 9/11 in 83/12)
- Uredba o vsebini in izdelavi načrtov zaščite in reševanja (Ur. l. RS, št. 24/12)
- Zakon o spremembah in dopolnitvah zakona o gasilstvu (Ur. l. RS, št. 28/00)
- Pravilnik o preizkušanju hidrantnih omrežij (Ur.l. RS, št. 22/95),
- Pravilnik o metodologiji za ugotavljanje ocene požarne ogroženosti (Ur.l. RS, št. 70/96, 5/97-popr. in 31/04),
- Pravilnik o tehničnih normativih za hidrantno omrežje za gašenje požarov (Ur. l. SFRJ, št. 30/91, Uradni list RS, št. 1/95 – ZSta, 59/99 – ZTZPUS, 52/00 – ZGPro in 83/05),
- Zakon o javno-zasebnem partnerstvu (Ur.l. RS, št. 127/06),
- Zakon o kontroli cen (Ur. l. RS, št. 51/06 – uradno prečiščeno besedilo)
- Pravilnik o oblikovanju cen storitev obveznih občinskih gospodarskih javnih služb varstva okolja (Ur.l. RS, št. 128/2004)

- Zakon o graditvi objektov (Ur. l. RS, št. 102/04 – uradno prečiščeno besedilo, 14/05 – popr., 92/05 – ZJC-B, 93/05 – ZVMS, 111/05 – odl. US, 126/07, 108/09, 61/10 – ZRud-1, 20/11 – odl. US, 57/12, 101/13 – ZDavNep, 110/13 in 19/15)

2.2.2.1 Upravljanje vodooskrbnega sistema

Slovenija je dne 1. julija 2016 imela 212 občin (SURS, 2016) in več kot 90 upravljavcev z vodovodnimi sistemi. Upravljavci se glede na ZGJS delijo na javna podjetja, režijske obrate in koncesionarje. Javna podjetja upravljajo s približno dvema tretjinama slovenskih vodovodnih sistemov, s preostalo tretjino pa režijski obrati in koncesionarji – slednjih je manj kot deset (Razvoj orodij..., 2015). V letu 2012 je v Sloveniji bilo osem upravljavcev, ki so s pitno vodo oskrbovali več kot 50000 prebivalcev. Slednji skrbijo za vodooskrbo skoraj 50% vsega prebivalstva. V kategorijo upravljavcev, ki oskrbujejo med 10000 in 50000 prebivalcev spada 34 izvajalcev gospodarske javne službe, ki oskrbujejo približno 40% prebivalstva. Preostali upravljavci oskrbujejo približno 11% prebivalcev Slovenije. Iz javnega vodovoda se je v leta 2013 oskrbovalo več kot 90 odstotkov celotnega prebivalstva (MOP, 2015).

2.2.2.2 Tehnične značilnosti vodooskrbnega sistema

V letu 2014 je bilo v Sloveniji načrpanih 163 milijonov kubičnih metrov vode, od tega 160,6 milijonov m³ iz podzemnih virov ter 2,4 milijona m³ iz površinskih voda (SURS, 2014). Gospodinjstva poraba je v letu 2014 znašala 78,6 milijonov m³ pitne vode, poslovni subjekti pa so porabili 32,1 milijona m³ vode. Ostala voda ni bila obračunana ali pa se je izgubila iz omrežja (SURS, 2015). Vodne izgube v Sloveniji so leta 2014 znašale 28.1% (SURS, 2014).

Več kot polovica vgrajenih vodovodnih cevi v Sloveniji je narejenih iz polietilena, po zastopanosti pa polietilenu sledijo cevi iz nodularne litine in polivinil klorida, ki skupaj tvorita približno 20% slovenskega vodovodnega omrežja. Azbestno cementnih ter litoželeznih cevi in cevi, o čigar materialih nimamo podatkov, je približno 21 odstotkov.

Material	Slovenija	
	Dolžina [km]	Delež
Azbest - cement	1578.1	7.25%
Beton	4.3	0.02%
Jeklo in nerjaveče jeklo	457.5	2.10%
Kamen	0.1	0.00%
Keramika	0.9	0.00%
Lito železo	1483.3	6.82%
Nodularna litina	2222.6	10.22%
Opeka (zidani kanal)	0.2	0.00%

Pocinkano železo	371.2	1.71%
Polietilen (PE)	11683.4	53.70%
Polivinil klorid (PVC)	2059.3	9.46%
Obloga kanala po metodi insituform	0.8	0.00%
Svinec	2.3	0.01%
Armirane centrifugirane polietilenske cevi	52.0	0.24%
Polipropilen	69.2	0.32%
Neznano	1621.9	7.45%
Drugo	150.3	0.69%
SKUPAJ	21757.2	100.00%

Preglednica 1: Dolžina slovenskega vodovodnega omrežja in pregled uporabljenih materialov (Vir: MOP, 2015)

Podatki glede starosti cevi so dokaj pomanjkljivi, saj imamo podatke o letu izgradnje oziroma letnicah zadnje obnove vodovoda le za 80% vodovoda, vemo pa, da je več kot tretjina vodovodnih cevi starejših od 30 let (MOP, 2015). Za večji del vodovodnih cevi je glede na Uredbo o metodologiji za oblikovanje cen storitev obveznih občinskih gospodarskih javnih služb varstva okolja (2012) predvidena življenska doba 33 let. To velja za polietilenske cevi, cevi iz polivinil klorida ter jeklene cevi. Za azbestno – cementne cevi je predvidena življenska doba 40 let, za cevi iz nodularne litine in litoželezne cevi pa 50 let.

Osnetek operativnega programa za oskrbo s pitno vodo od leta 2015 do 2020 predvideva, da bodo skupni stroški menjave 7905 kilometrov vodovoda s pretečeno amortizacijsko dobo do leta 2020 znašali 1183 milijonov eurov, hkrati pa podaja primernejšo alternativo, po kateri bi v RS zamenjali le odseke vodovoda, ki so starejši od 50 let, mlajše vode pa le sanirali, kar bi znašalo približno 18,6 milijonov eurov na leto.

2.2.2.3 Slovenija in tehnologije vgradnje in rehabilitacije vodovodnih cevi

Pogledi na postavljanje prioritet, ocenjevanje stanja in rehabilitacijo vodovodnega sistema so različni. Nekateri upravljavci menijo, da je cevi nujno redno menjati, kar lahko rezultira v večjih državnih investicijah, drugi verjamejo, da problem slabšanja cevi ni resen in da bodo cevi zdržale dlje, kot znaša njihova predvidena življenska doba. Pogosto je tudi mnenje, da vodovodni sistem rehabilitiramo zgolj na osnovi opazovanih oziroma zaznanih okvar, raje kot na podlago ocene stanja vodovodne infrastrukture. Pomembno je vedeti, da enostavne in premočrtne poti na področju rehabilitacije vodovodnega sistema ni, saj je izbira primerne tehnologije odvisna od velikega števila dejavnikov.

V Sloveniji so tehnologije brez izkopa na področju vgradnje in rehabilitacije kanalizacijskih in vodovodnih cevi še dokaj neznane, kljub velikemu napredku na tem področju v zadnjem desetletju. Upravljavci se še vedno raje odločajo za tradicionalen odprti izkop.

Operativni program oskrbe s pitno vodo (2015) kot enega izmed ukrepov do leta 2020 predvideva sanacijo slovenskega vodovodnega omrežja. K sanaciji je v Operativnem programu oskrbe s pitno vodo vključena t.i. lokalna sanacija in pa zamenjave odsekov cevi, za razliko od

Operativnega programa oskrbe s pitno vodo (2006) pa že predvidevajo uporabo tehnologij brez izkopa, kar bi lahko bila izhodiščna točka za promocijo le-teh v Sloveniji.

2.2.3 Nizozemska vodooskrba

Nizozemska sledi direktivam Evropske skupnosti, tako kot vse njene članice, zato Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta (2000/60/ES) z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike, Direktiva Sveta (98/83/ES) z dne 3. novembra 1998 o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi in Direktiva (2006/118/ES) Evropskega parlamenta in Sveta z dne 12. decembra 2006 o varstvu podzemne vode pred onesnaženjem in poslabšanjem, veljajo tudi zanjo.

Zakon o vodah – Water Act (*Waterwet*, 2009) določa temeljna načela upravljanja z vodami, ravnanje pri onesnaženosti površinskih voda, morja in podzemnih voda, zaščite pred visokimi vodami, zaščite zemljin (soil protection) in izvajanje javnih del. Poudarja tako imenovano integrirano upravljanje z vodami ter določa organizacijo vodnega sektorja, njegovo financiranje oziroma sistem obdavčitve in pogoje za vodna dovoljenja in soglasja, prav tako pa predpisuje izdelavo državnega vodnega načrta in njegovo vsebino, splošne določbe o gradnji in upravljanju vodne infrastrukture.

Zakon o regionalnih vodnih upravah (oblasteh) – Regional Water Authorities Act – RWA Act (*Waterschapswet*, 1991) določa naloge in predpisuje organizacijo oziroma strukturo regionalnih vodnogospodarskih podjetij ter njihove pristojnosti in vlogo znotraj državnega vodnega sektorja. Prav tako Zakon o regionalnih vodnih oblasteh določa načine financiranja regionalnih vodnogospodarskih podjetij.

Zakon o oskrbi s pitno vodo – Drinking Water Act (*Drinkwaterwet*, 2009) ureja področje organizacije oskrbe s pitno vodo, spremljanje njene učinkovitosti - benchmarking in lastništva vodovodne infrastrukture, ter določa naloge in dolžnosti vodooskrbnih podjetij, način oblikovanja cene vode, poročanja ministrstvu ter postopanje podjetja v izrednih razmerah. Nizozemska podjetja oskrbe s pitno vodo so javna lastnina občin in regij. Zakon o oskrbi s pitno vodo upravljavce vodovodnih sistemov zavezuje k:

- vzpostavitvi in vzdrževanju trajnostne in učinkovite oskrbe s pitno vodo,
- gradnji in vzdrževanju vodovodne infrastrukture, potrebne za vodooskrbo na določenem območju,
- zagotavljanju konstantne oskrbe s pitno vodo njihovemu, z zakonom določenem oskrbovanem območju ter
- zagotavljanju kakovosti in trajnosti pri pripravi pitne vode ter njeni distribuciji.

Poleg tega Zakon o oskrbi s pitno vodo obvezuje upravljavce vodovodnih sistemom k stroškovno učinkovitem, transparentnem ter ne diskriminatornem zaračunavanju vodarine. Za monitoring in ugotavljanje ali upravljavci opravljajo svoje obveznosti v skladu z zakonodajo je odgovorna vladna služba – Inšpektorat za transport, javna dela ter upravljanje z vodami. Vsako leto upravljavci vodovodnih sistemov državi oddajo poročilo o delu. V primeru dobičkonosnega leta morajo dobiček kompenzirati v naslednjem letu in sicer z zmanjšanjem

vodarine. Prav tako zakon o oskrbi s pitno vodo predpisuje tudi obvezen benchmarking oziroma primerjanje uspešnosti upravljavcev vsake 3 leta.

Uredba o oskrbi s pitno vodo – Drinking Water Decree (*Drinkwaterbesluit, 2011*) natančneje določa poslovanje podjetij za oskrbo s pitno vodo ter formiranje vodarine in omrežnine. Prav tako Odlok o oskrbi s pitno vodo določa potek vzorčenja in analize vzorcev surove vode, pripravljene pitne vode in vode v distribucijskem omrežju, ukrepe za obvladovanje problematike legionele v vodovodnih sistemih in predpiše obvezno izdelavo ocene tveganja okužbe z legionelo. V prilogah odloka se nahajajo tudi mejne vrednosti posameznih onesnaževal v pripravljeni pitni vodi. Odlok o oskrbi s pitno vodo podrobneje določa tudi kazalnike uspešnosti, kot del t.i. benchmarkinga – primerjalnih metod.

Zakon o izmenjavi informacij o podzemnih omrežjih – Law on the Information Exchange of Underground Networks (*Wet informatie-uitwisseling ondergrondse netten – WION, 2008*) je zakon primarno namenjen zmanjševanju škode ob izkopih, kar omogoča digitalna izmenjava informacij o lokaciji podzemnih kablov in cevi med različnimi udeleženci. Zakon o izmenjavi informacij o podzemnih omrežjih od udeleženca, ki želi opraviti izkop, zahteva predhodne raziskave o lokaciji izkopa in podzemni infrastrukturi ter predhodno najavo izkopa. Za razvoj in implementacijo digitalnega sistema za izmenjavo informacij je zadolžena Služba za kataster in zemljiško knjigo.

2.2.3.1 Organizacija vodnega sektorja na Nizozemskem

Vlada

Nizozemska vlada upravlja z glavnim sistemom plovnih poti, skupaj z Združenjem nizozemskih vodnogospodarskih podjetij (angl. Dutch Water Authorities) upravlja z obalo in obalnimi konstrukcijami ter jezovi na izlivih rek. Prav tako je v popolnosti zadolžena za upravljanje in monitoring kakovosti večjih rek, kot so Ren, Meuse, Šelda in morij, kot so Severno morje in Vadensko morje (DWA, 2015)

Province

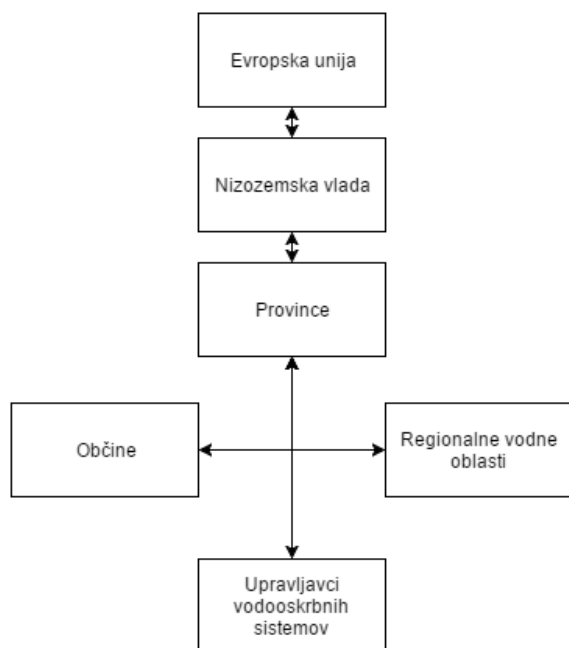
Nizozemska je razdeljena na dvanajst provinc, ki predstavljajo administrativno - upravni sloj med vlado in občinami. Na področju voda so province zadolžene za črpanje podzemnih voda za potrebe oskrbe s pitno vodo, za potrebe podzemnega shranjevanja energije ter za industrijske potrebe, ki znašajo več kot 150000 kubičnih metrov letno. Hkrati so province zadolžene za upravljanje z manjšimi plovnimi potmi, nekatere med njimi so to nalogo predale DWA. Vir financiranja provinc so regionalni davki (DWA, 2015).

Občine

V domeni občin je lokalno odvodnjavanje padavinskih voda in podtalnice ter izgradnja in upravljanje s kanalizacijskim sistemom, ki vodi do čistilnih naprav, slednje so v upravljanju regionalnih uprav. Finančna sredstva občine dobijo iz lokalnih davkov (DWA, 2015).

Regije (Združenje nizozemskih vodnogospodarskih podjetij - Dutch Water Authorities – DWA)

DWA je decentralizirana in javna organizacija, sestavljena iz 22 regionalnih vodnogospodarskih podjetij in iz krovne organizacije – Unie van Waterschappen (DWA), katere namen je zastopanje interesov regionalnih upravljavcev na državnem in mednarodnem nivoju. Hkrati gre za najstarejšo obliko demokracije na Nizozemskem, saj so prvi regionalni upravljavci bili izvoljeni že v 13. stoletju. Danes so vsaka štiri leta v vsaki izmed regij volitve, na katerih prebivalci izvolijo Svet, ki v naslednjem mandatu upravlja z njihovimi vodami. V domeni regionalnih upravljavcev so predvsem lokalna in regionalna protipoplavna zaščita, kakovost vode, črpališča vode in čiščenje odpadnih voda. Pet izmed dvaindvajsetih upravljavcev je zadolženih tudi za cestogradnjo. DWA je tesno vpeta v Nizozemski sistem obdavčevanja, saj sama pobira davke, ki v letu 2016 znašajo približno 8% vseh skupnih pobranih davkov na Nizozemskem. Prav tako imajo od leta 2012 možnost pravno kaznovati kršitelje za kršitev predpisov organizacije, kot so na primer nedovoljeni posegi (gradnja, izkopi, sajenje rastlin) na hidrotehničnih objektih v upravljanju regionalnih upravljavcev. Meje oblasti regionalnih upravljavcev niso vezane na meje občin, regij ali provinc, temveč na porečja, površine odvodnjavanja, obročje nasipov itd. (DWA, 2015)



Slika 7: Shema organizacije nizozemskega vodnega sektorja



Slika 8: Regionalne vodne oblasti (uprave) na Nizozemskem (DWA, 2015)

2.2.3.2 Upravljanje vodovodnih sistemov

Nizozemsko oskrbo s pitno vodo pokriva deset delno-javnih podjetij – delniških družb, ki zagotavljajo čisto pitno vodo približno 17 milijonom prebivalcev. Za primerjavo – leta 1980 je Nizozemska imela 94 upravljavcev. Reforma nizozemskega vodooskrbnega sektorja je pričela že leta 1975, ko se je država odločila, da z namenom izboljšanja upravljanja vodooskrbnih sistemov ne bo več subvencionirala neprofitabilnih upravljavcev ter določila, da mora biti minimalno število oskrbovanih priključkov na upravljavca večje od 100 000. Z namenom doseganja državnih ciljev so upravljavcem preuredili pravni status, ki jim danes omogoča delovanje po zgledu privatnih podjetij, z lastnim vodstvom, kljub temu, pa so njihove lastnice občine. Občine, ki so se v času preureditve upirale, so bile prisiljene v sodelovanje preko sodnih postopkov. Na ta način je Nizozemska vlada do leta 1990 uspela zmanjšati število upravljavcev do 56, leta 2000 je bilo upravljavcev 20, leta 2004 pa le še 13. Današnje, končno število

upravljalcev na Nizozemskem je torej 10. Podjetja so neprofitna, vodita jih pa svet, sestavljen iz dveh stebrov. Prvi steber tvori izvršni odbor, sestavljen iz strokovnjakov, ki imajo vsa pooblastila za zastopanje podjetja ter zaposlovanje in odpuščanje delavcev. Drugi steber tvori nadzorni svet, katerega polovico predstavljajo lokalni politiki, drugo polovico pa neodvisni strokovnjaki. Predstavniki iz občin, kot delničark podjetij, sestavljajo t. i. generalno skupščino, ki oblikuje cene storitev podjetja (Rouse, 2013).

Odgovornost nizozemskih vodooskrbnih podjetij torej obsega vso vodovodno infrastrukturo od črpališč, do objektov za pripravo pitne vode ter distribucijskega omrežja. Individualni hišni priključki so v domeni uporabnikov. Primarni vir financiranja upravljalcev s pitno vodo je dobiček od prodane vode, ki je relativno visok, kar se kaže v dejstvu, da je v letu 2010 bilo v vodovodno infrastrukturo investiranih 458 milijonov evrov. Največje Nizozemsko podjetje za oskrbo s pitno vodo je Vitens, čigar omrežje je dolgo manj kot 47000 kilometrov, oskrbovana površina pa znaša skoraj polovico ozemlja celotne Nizozemske. Po velikosti mu sledita Brabant Water in Evides Drinkwater. Iz nizozemskega vodovodnega omrežja se oskrbuje 100% prebivalstva Nizozemske (VEWIN, 2013).

Podjetje	Prebivalci (x1000)	Površina [km ²]	Zaposleni	Dolžina omrežja [km]
Waterbedrijf Gronigen	592	2403	217	5028
Waterleidingmaatschappij Drenthe	437	2486	158	4915
Vitens	5553	18042	1375	46926
PWN Waterleidingbedrijf Noord Holland	1666	3628	531	9955
Waternet	922	287	519	2774
Dunea	1227	601	521	4596
Oasen	753	1115	241	3674
Evides Drinkwater	2040	4736	516	12965
Brabant Water	2425	5026	729	18081
WML	1120	2209	421	8671
Nizozemska	16735	40533	5228	117585

Preglednica 2: Število prebivalcev, oskrbovana površina, število zaposlenih ter dolžina omrežja posameznih upravljalcev na Nizozemskem (Geudens, 2012)

Združenje nizozemskih vodooskrbnih podjetij – *Vereniging van waterbedrijven in Nederland* (VEWIN)

VEWIN je združenje vseh desetih nizozemskih vodooskrbnih podjetij s sedežem v Haagu. Njegov namen je predvsem zastopanje političnih in družbenih interesov vseh desetih članic v Haaškem parlamentu in v evropskih institucijah v Bruslju. Ker so interesi sektorja dokaj široki, VEWIN sodeluje z mnogimi drugimi udeleženci, kot so lokalne oblasti, raziskovalni inštituti, potrošniki, okoljevarstvenimi in drugimi organizacijami, z namenom prepoznavanja in naslavljanja skupnih interesov. Prav tako VEWIN pripravlja razna poročila in statistike za

nizozemski vodooskrbni sektor. Prav tako zbirajo podatke za obvezni benchmarking in jih posredujejo pristojnemu ministrstvu, ki izvrši ustrezno analizo (Lavrijssen in Vitez, 2015)



Slika 9: Nizozemski upravljalci vodovodnih sistemov in ozemlje, na katerem izvaja dejavnost (VEWIN, 2013)

KWR Watercycle Research Institute – Inštitut za raziskovanje vodnega kroga KWR

KWR je inštitut, ki so ga ustanovila nizozemska podjetja za oskrbo s pitno vodo, slednji so tudi eni izmed glavnih klientov omenjenega inštituta, ki služi raziskavam na področju materialov, oskrbe s pitno vodo, varovanja podtalnice, površinskih voda, zemljin in ekosistemov, tehnologij čiščenja odpadnih voda ter mikrobiološke in kemijske kakovosti vode in njenih posledic za človeško zdravje.

Primerjalna analiza uspešnosti po kazalcih na Nizozemskem (angl. benchmarking)

Nizozemska podjetja za oskrbo s pitno vodo vsaka tri leta izvedejo benchmarking na področju kakovosti pitne vode, kakovosti zagotavljanja storitev, okoljevarstva ter stroškovne učinkovitosti, z namenom izboljšanja njihovega prihodnjega delovanja. Do novega Zakona o oskrbi s pitno vodo (2009), je bil benchmarking prostovoljna aktivnost vodooskrbnih podjetij, medtem ko je danes obvezen, saj ga zakon predpisuje. Na področju kakovosti pitne vode se primerja njena kakovost, skladnost s predpisi in uporabniške izkušnje. Ker mora biti

benchmarking transparenten in prikazati realno stanje, se uporabljena metodologija po vsakem benchmarkingu ponovno ovrednoti in, če je to potrebno, zaostri. Kazalci uspešnosti se delijo na več področij:

- kazalci kakovosti pitne vode:
 - zagotavljanje kakovosti in doseganja parametrov kakovosti, predpisanih s strani ministrstva
 - vodne izgube ter
 - tlak v distribucijskem omrežju.
- kazalci zagotavljanja optimalnih storitev za stranke:
 - motnje v sistemu,
 - načrtovane in nenačrtovane prekinitve vodooskrbe,
 - obračun stroškov,
 - vzdrževanje distribucijskega omrežja,
 - odčitavanje števecov.
- kazalci zagotavljanja uspešnosti okoljske politike:
 - energijska poraba podjetja za oskrbo s pitno vodo,
 - odstotek recikliranja odpadkov podjetja za oskrbo s pitno vodo in
 - trajnost nabavne politike podjetja za oskrbo s pitno vodo.
- kazalci uspešnosti stroškovne učinkovitosti:
 - operativni stroški,
 - stroški kapitala (costs of capital) in
 - amortizacija.

Za benchmarking je odgovorna vlada, oziroma pristojno ministrstvo, podatke pa zbira VEWIN (Lavrijssen in Vitez, 2015).

2.2.3.3 Tehnične značilnosti nizozemskega vodooskrbnega sistema

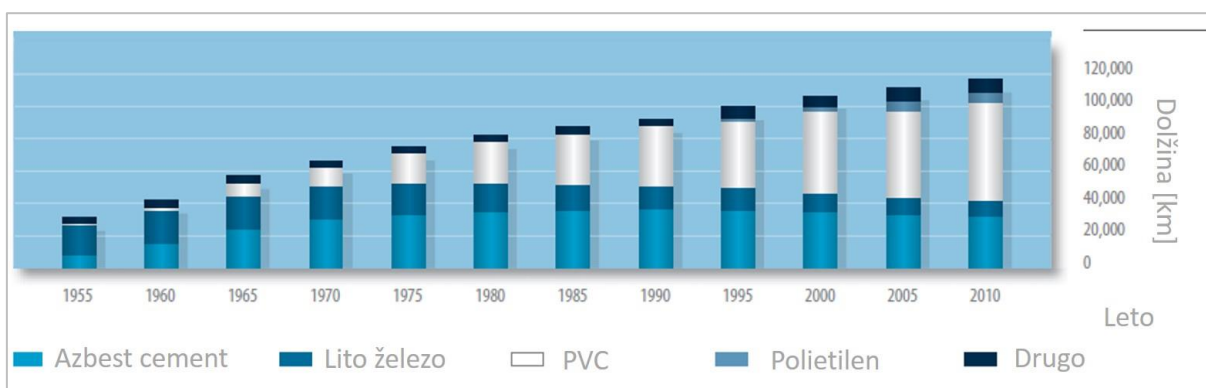
Nizozemska podjetja za oskrbo s pitno vodo, svojo surovino pridobivajo pretežno iz podtalnice in površinskih voda. V letu 2010 so načrpala 1217 milijonov kubičnih metrov vode, od tega 749 m³ podtalnice, 456 m³ površinskih voda in 12 m³ iz naravne vode iz sipin. Količina načrpane vode od leta 2000 postopoma upada. Vsa načrpana voda se ne porabi za pripravo pitne vode, slednje je v letu 2010 bilo približno 1150 milijonov kubičnih metrov. Nizozemci uporabljajo poleg klasičnih postopkov priprave pitne vode še tehnologijo mehčanja vode, kar med drugim rezultira tudi v manjših količinah vodnega kamna v ceveh.

Nizozemsko vodovodno omrežje je bilo konec leta 2010 dolgo 117.585 kilometrov in zgrajeno pretežno iz cevi narejenih iz polivinilklorida. Slednje tvorijo več kot polovico celotnega omrežja. Po zastopanosti jim sledijo azbestno – cementne cevi, nato litoželezne, polietilenske cevi, cevi iz nodularne litine, jeklene cevi in betonske cevi. Približno 1122 kilometrov nizozemskega vodovodnega omrežja je zgrajenega iz cevi drugih materialov (Geudens, 2012).

Material	Nizozemska	
	Dolžina [km]	Delež [%]
Azbest - cement	32489.0	27.63
Beton	755.0	0.64
Jeklo in nerjaveče jeklo	2576.0	2.19
Lito železo	9797.0	8.33
Nodularna litina	3216.0	2.74
Polietilen (PE)	7424.0	6.31
Polivinil klorid (PVC)	60148.0	51.15
S steklenimi vlakni ojačani kompoziti	56.0	0.05
Drugo	1122.0	0.95
SKUPAJ	117585.0	100.00

Preglednica 3: Dolžina nizozemskega vodovodnega omrežja in pregled uporabljenih materialov (Geudens, 2012)

Iz študije o izgradnji nizozemskega vodovodnega omrežja in uporabljenih materialov, je razvidno, da je bilo v 55 letih na Nizozemskem zgrajenih dobrih 90 tisoč kilometrov vodovodnega omrežja. Med leti 1955 in 1960 je bila večina omrežja zgrajenega iz litega železa. V sedemdesetih in osemdesetih letih so bile najbolj zastopane azbestno – cementne cevi, približno ob istem času je pričela upadati količina litoželeznih, hkrati je pa rasla priljubljenost PVC cevi, katerih je danes največ. Količina azbestno – cementnih cevi je v devetdesetih letih pričela upadati, po letu 2000, pa je iz polietilenskih cevi bilo zgrajenih vse več kilometrov nizozemskega vodovoda. Povprečna starost Nizozemska vodovodnega omrežja je 42 let (Vreeburg, 2007). Vodne izgube znašajo manj kot 6% (Geudens, 2012).



Slika 10: Izgradnja vodovodnega omrežja na Nizozemskem med leti 1955 in 2010 glede na uporabljene materiale (Geudens, 2012)

2.2.3.4 Nizozemska in tehnologije vgradnje in rehabilitacije vodovodnih cevi

Nizozemska je ena izmed evropskih držav z dolgoletno tradicijo na področju tehnologij brez izkopa. Kot pretežno ravninska in gosto poseljena država, pri kateri odprti izkop predstavlja zelo velik vpliv na družbo, je Nizozemska idealna za uporabo tehnologij brez izkopa (Arends, 1997). Poleg tega ima Nizozemska večino električnih in telekomunikacijskih kablov vgrajenih pod zemljo, kar še dodatno poveča zasedenost podzemnega prostora (vir: predavanja pri predmetu Trenchless technologies).

Že v poznih 70. letih so bile na Nizozemskem s pomočjo ameriških inženirjev predstavljene prve tehnologije brez izkopa. Po zgledu Mednarodnega društva za tehnologije brez izkopov, v nadaljevanju ISTT (angl. The International Society for Trenchless Technologies) je bilo leta 1988 na nizozemskem ustanovljeno Nizozemsko društvo za tehnologije brez izkopov, v nadaljevanju NSTT (niz. De Nederlandse vereniging voor Sleufloze Technieken en Toepassingen), katero trenutno tvori več kot 200 podjetij, organizacij in posameznikov, ki skupaj zastopajo od vladnih interesov do interesov raziskovalnih inštitutov in interesov podjetij. Cilj NSTT je spodbuditi razvoj tehnologij brez izkopa in njihova promocija, kar uspešno počnejo že skoraj 40 let. NSTT organizira tudi mednarodne konference in simpozije, kot je No – Dig simpozij (NSTT, 2016). Poleg Nizozemskega društva za tehnologije brez izkopov je na Nizozemskem aktiven še Center za podzemne gradnje (angl. Centre for Underground Construction – COB), katerega primarni namen je vzpostaviti trajno sodelovanje med podjetji in inštitucijami, ki so aktivne na omenjenem področju (Arends, 1997). COB vključuje mnoga študijska področja, kot so gradbeništvo, elektrotehnika, informatika, okoljske znanosti, ekonomija in management. Vzporedno s postavitvijo COB je bila na Tehniški Univerzi v Delftu ustanovljena Katedra za podzemno gradnjo (angl. Chair for Subsurface Construction) in delovna skupina Raba podzemnega prostora (angl. Use of Underground Space). Univerza skrbi za lastno raziskovalno dejavnost na področju podzemne gradnje, hkrati pa so njena dognanja tesno povezana s trgom (Arends, 1997). Na Nizozemskem prav tako deluje veliko število domačih in tujih privatnih podjetij, katerih primarna dejavnost so tehnologije brez izkopov.

3 KLASIFIKACIJA METOD VGRADNJE IN REHABILITACIJE VODOVODNIH CEVI

Pri definiranju pojmov in nomenklaturi na področju vgradnje, obnove in rehabilitacije vodovodnih sistemov si raziskovalci, podjetja in združenja niso enotni. EPA (2007) rehabilitacijo vodovodnega sistema definira kot popravke, obnovo in zamenjavo infrastrukture, za izboljšanje njenega delovanja oziroma funkcionalnosti. Odločitveni proces za določanje primerne tehnologije rehabilitacije bazira na oceni trenutnega stanja, življenjskem ciklu različnih variant rehabilitacije in zmanjšanju tveganja, ki ga posamezna tehnologija rehabilitacije prinaša.

Grigg (2005) v svojem delu navaja obnovo cevi kot funkcijo njihovih popravkov, rehabilitacije in zamenjave. Popravilo definira kot vračanje funkcionalnosti obstoječim cevam po poškodbi ali zlomu, rehabilitacijo kot nadgradnjo obstoječih cevi, z namenom doseganja prvotnega (izvirnega) ali izboljšanega stanja. K rehabilitaciji uvršča tudi čiščenje cevi. Zamenjavo cevi Grigg definira kot nadomestitev (angl. replacement) obstoječe vodovodne cevi.

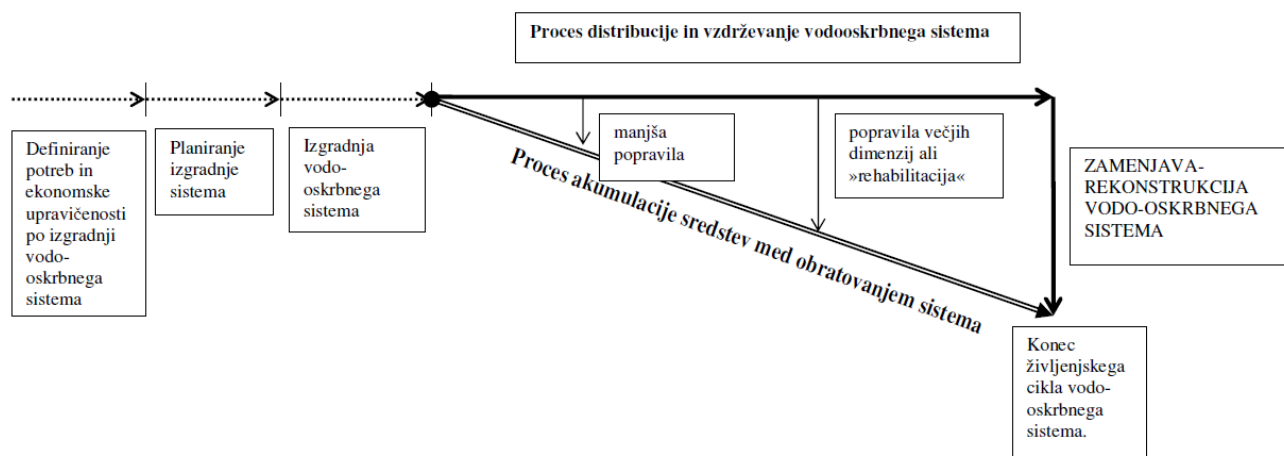
American Water Works Association (AWWA, 2014) uvršča rehabilitacijo in novo vgradnjo vodovodnih cevi z odprtim izkopom v kategorijo obnove (angl. renewal) cevi. K rehabilitaciji prišteva tudi čiščenje in pa zamenjavo vodovodnih cevi s pomočjo tehnologij brez izkopa.

Mednarodno društvo za tehnologije brez izkopa (ISTT) deli podzemne tehnologije gradnje (angl. underground construction techniques) na novo vgradnjo (angl. new installation), ki je lahko izvedena z odprtim izkopom ali brez izkopa in pa rehabilitacijo (angl. rehabilitation). Popravki (angl. repair), zamenjava cevi (angl. replacement) in obnova (angl. renovation) so uvrščene kot rehabilitacija cevi. To klasifikacijo smo uporabili tudi v nalogi. Podrobnejši shematski prikaz tehnologij vgradnje in rehabilitacije povzet po ISTT (2016) je razviden iz priloge 1.

Griggs (1986) je v svojem delu med drugim definiral tudi življenjski cikel vodooskrbnega sistema. Slednji zajema vse procese od zaznane potrebe po izgradnji vodovodnega sistema, do planiranja in izgradnje same. Izgradnji sledijo manjša, točkovna popravila, popravila večjih dimenzij ali rehabilitacija in v končni fazi zamenjava, obnova oziroma rekonstrukcija vodooskrbnega sistema. Popravila večjih dimenzij oziroma rehabilitacija so vezana na večja investicijska sredstva (Požek, 2011). Celoten distribucijski sistem je potrebno spremljati in se sproti odločati o prioritetah, bodisi manjših popravilih, obnovi ali zamenjavi.

Zakon o graditvi objektov (2014) določa, da se z gradbenimi predpisi za posamezne vrste objektov določijo njihove tehnične značilnosti tako, da ti objekti glede na svoj namen izpolnjujejo eno, več ali vse naslednje bistvene zahteve:

- mehanske odpornosti in stabilnosti,
- varnosti pred požarom,
- higienske in zdravstvene zaščite in zaščite okolice,
- varnosti pri uporabi,
- zaščite pred hrupom in
- varčevanja z energijo in ohranjanja toplote.



Slika 11: Življenjski cikel vodooskrbnega sistema (Požek, 2011 po Griggs, 1986)

S pomočjo tehnologij rehabilitacije lahko vodovodni cevi izboljšamo mehansko odpornost in stabilnost, poskrbimo tudi za ustrezno kakovost pitne vode ter omogočimo zadostne tlake in hitrosti v sistemu. Tehnologij vgradnje in rehabilitacije je veliko, upravljavec sam pa se mora odločiti katera bo najustreznejša za vsak posamezen projekt. Pri tem mora upoštevati mnoge faktorje, kot so stroški, motnja, ki jo tehnologija povzroči v okolju, značilnosti terena in cevi itd.

V poglavju so predstavljene tehnologije vgradnje vodovodnih cevi ter tehnologije rehabilitacije vodovodnih cevi kot nadpomenke za čiščenje, popravke, obnovo in zamenjavo vodovodnih cevi. Posebna pozornost je namenjena rehabilitaciji, kot v Sloveniji še relativno neznanem procesu. V prilogi 1 se nahaja popoln seznam klasifikacije metod vgradnje in rehabilitacije vodovodnih cevi.

3.1 Vgradnja vodovodnih cevi

Skozi stoletja se je podzemna infrastruktura počasi širila. Plinskim cevovodom, vodovodu in kanalizacijskemu sistemu so se pridružili električno, telekomunikacijsko in internetno omrežje ter cevi za daljinsko ogrevanje, kar rezultira v večji izkoriščenosti podzemnega prostora. Vsi posegi v podzemni prostor tako terjajo več previdnosti. Po identificirani potrebi po vodovodnem sistemu, ki mora biti tudi ekonomsko upravičen sledi načrtovanje. Naslednja faza je izgradnja vodovodnega sistema, h kateri spada tudi vgradnja vodovodnih cevi (Požek, 2011 po Griggs, 1986). Tradicionalni tehnologiji vgradnje z odprtim izkopom, katero so uporabljali že v bronasti dobi danes ob boku stojijo novejšje metode brez izkopa.

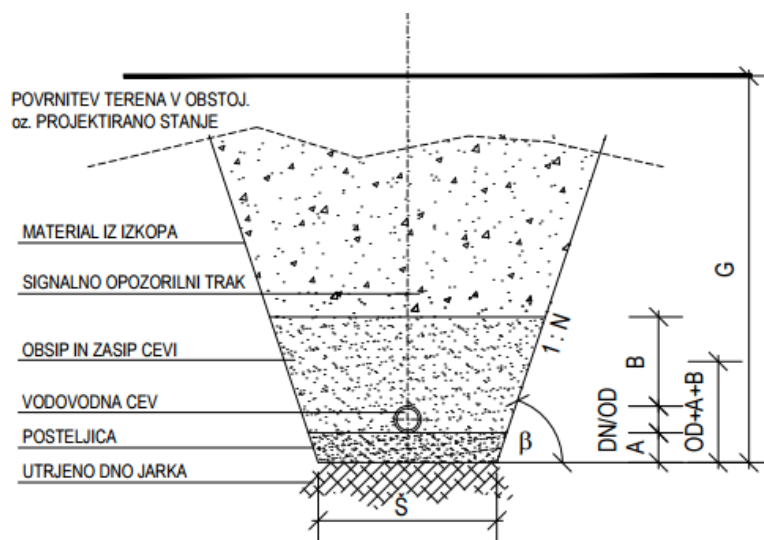
3.1.1 Vgradnja z odprtim izkopom

Poznamo več različnih tehnologij vgradnje (angl. Pipe Installation) z odprtim izkopom (angl. Open Trench Pipe Installation) in sicer:

- izkop z ozkim jarkom (angl. narrow trench),

- izkop s širokim jarkom (angl. wide trench) in
- izkop z oranjem ali krtičenje (angl. mole ploughing).

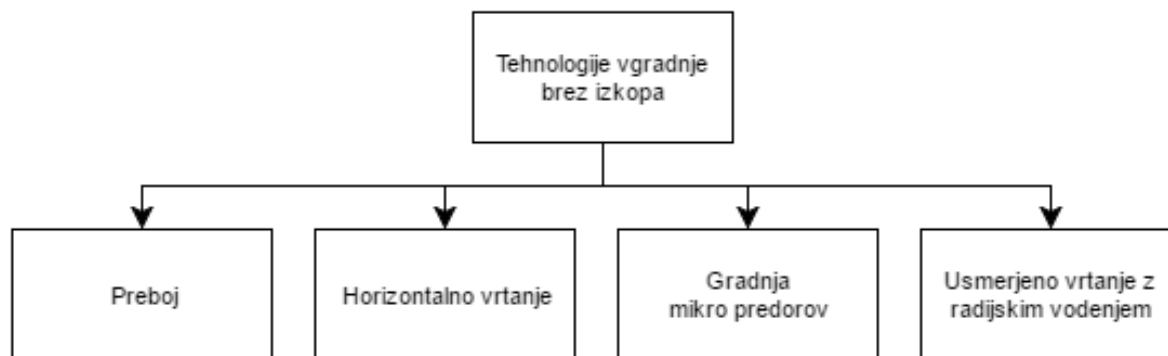
Vgradnja z odprtim izkopom, konkretnije izkop ozkega jarka, katerega višina presega širino, je tradicionalna in v Sloveniji pogosto uporabljena tehnologija vgradnje vodovodnih cevi. Vgradnjo cevi z odprtim izkopom tvorijo 4 faze. Prva faza zahteva izkop jarka, ki mora biti dimenzioniran, izkopen in podprt na način, da zagotavlja strokovno, kakovostno in varno vgradnjo cevovoda (Najafi, 2010). Izkopu jarka lahko sledi izdelava posteljice ali temeljev, kot podlage za cev. Navadno je volumen zemeljskega izkopnega materiala tudi petdesetkrat večji od volumna, ki ga zavzame vgrajena cev (Profundis, 2001). Druga faza je polaganje in spajanje cevi, ki ji sledi ponovna zapolnitev jarka in utrjevanje zasipnega materiala. Četrta faza obsega rekonstrukcijo nadzemne infrastrukture. Pomembni parametri, ki jih je potrebno upoštevati so izbira primerne zasipnega materiala in materiala za posteljico, dimenzij jarka, naklona in smeri vgradnje cevi ter nadzor podzemnih voda ob vgradnji. Elastičnost oziroma togost vodovodnih cevi definira njihovo obnašanje ob različnih obremenitvah (Najafi, 2010).



Slika 12: Prečni prerez odprtega izkopa (jarka) za vodovodno cev (Občina Šentrupert, 2016)

3.1.2 Vgradnja vodovodnih cevi brez izkopa

Ko govorimo o tehnologijah brez izkopa za vgradnjo vodovodnih cevi (angl. Trenchless Construction Methods), navadno govorimo o horizontalnih izkopih oziroma tehnologijah horizontalnega izkopa, kjer se odprtih jarkov ne koplje. Pri tehnologijah horizontalnega izkopa delavci lahko delajo v jašku, ampak ne vstopajo v vgrajeno cev, zato je ta tehnologija primerna le za vgradnjo cevi manjših premerov, kot so vodovodne cevi. Poznamo več različnih tehnologij horizontalne gradnje brez izkopa, v tem poglavju pa smo se osredotočili na tiste, ki so že uveljavljene in v širši uporabi. To so tehnologija preboja, horizontalnega vrtanja, izvedba mikro predorov ter usmerjeno vrtanje z radijskim vodenjem.



Slika 13: Klasifikacija metod vgradnje vodovodnih cevi brez izkopa

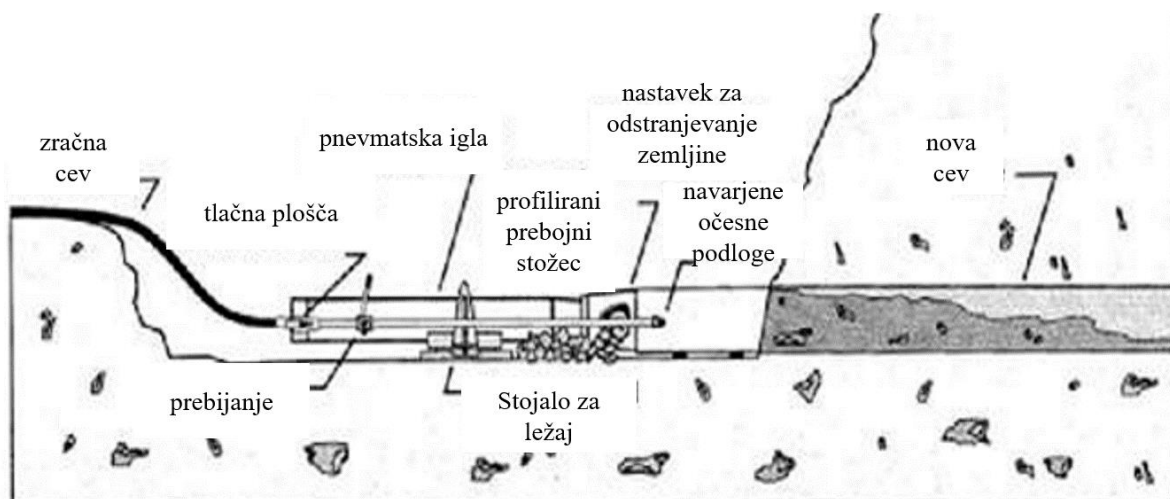
3.1.2.1 Cevni preboj

Osnovni postopek tehnologije preboja predstavlja zabijanje pnevmatske igle ali jeklene zaščitne cevi skozi tla s pomočjo zračnega kompresorja. Poznamo dve vrsti prebojev in sicer enostavni preboj s pnevmatsko iglo (closed – face) ter preboj s kovinsko zaščitno cevjo (open – face). Tehnologije preboja so uporabne predvsem pri podzemnih prečkanjih cest, železnice ali vodnih teles (Vilkograd, 2016). Najprimernejše zemljine za preboj so mehke gline, melji, organski depoziti in pesek, preboja pa se načeloma ne izvaja v kamnitih tleh (Simičević in Sterling, 200b). Pomanjkljivost metode je, da pri njeni uporabi nimamo možnosti usmerjanja cevi med delom, gre za premočrtni izkop (FHA, 2015). Tehnologija je najprimernejša za vgradnjo cevi večjih premerov na kratkih razdaljah. V primerjavi s tehnologijami vrtanja (horizontalno vrtanje, usmerjeno vrtanje in izvedba mikro predorov), lahko z uporabo tehnologije preboja prihranimo do 40% časa namenjenega predelom, kot so izkop vstopne in izstopne jame ter namestitvev opreme (Simičević in Sterling, 2001b).

Pri uporabi tehnologije moramo najprej poskrbeti za varno in ustrezno gradnjo vstopne in izstopne gradbene jame, na dnu vstopne jame pa se položi posteljica, katere naklon je odvisen od željenega naklona cevi. Sledi namestitvev gradbene in strojne opreme.

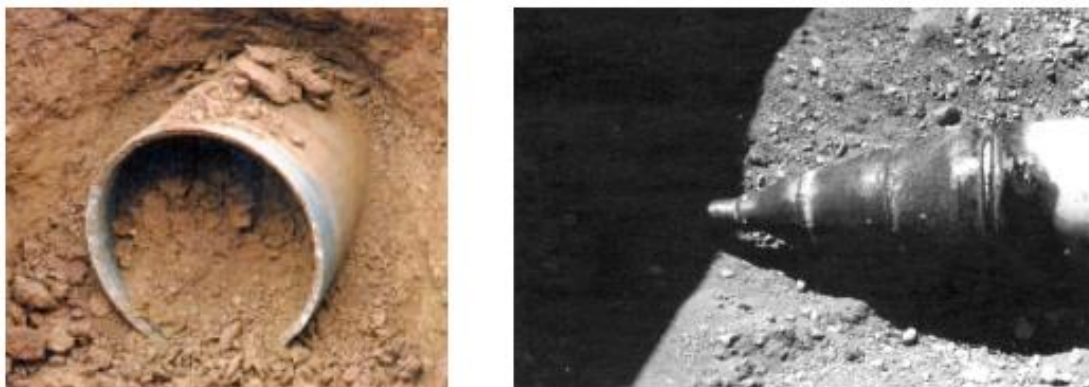
Enostavni preboj s pnevmatsko iglo (angl. Closed – Face, Closed – End Pipe Ramming, Impact Molling)

Ta tehnologija je primerna za nezahtevne odseke PE/HD ali PVC vodovodnih cevi dimenzij od 32 mm do 160 mm, dolge največ 25 metrov. Maksimalni nakloni cevi znašajo 1% (Vilkograd, 2016).



Slika 14: Shema postopka tehnologije enostavnega preboja s pnevmatsko iglo (FHA, 2015)

Pri tehnologiji enostavnega preboja s pnevmatsko iglo se zabija stožčasta glava na čelnem koncu prvega segmenta cevi. Tehnologija je hitra, učinkovita in najcenejša tehnologija gradnje, je pa dokaj nenatančna in primerna za relativno kratke odseke. Paziti moramo na ustrezno globino izvedbe preboja, ki naj bi bila vsaj desetkratnik premera cevi. V nasprotnem primeru lahko tvegamo deformacijo terena nad prebojem (Vilkograd, 2016). V zadnjem času so se pojavila tehnologije, ki omogočajo tudi usmerjen preboj s pnevmatsko iglo (FHA, 2015).



Slika 15: Levo: preboj s kovinsko zaščitno cevjo, desno: preboj s pnevmatsko iglo (Simicevic in Sterling, 2001b)

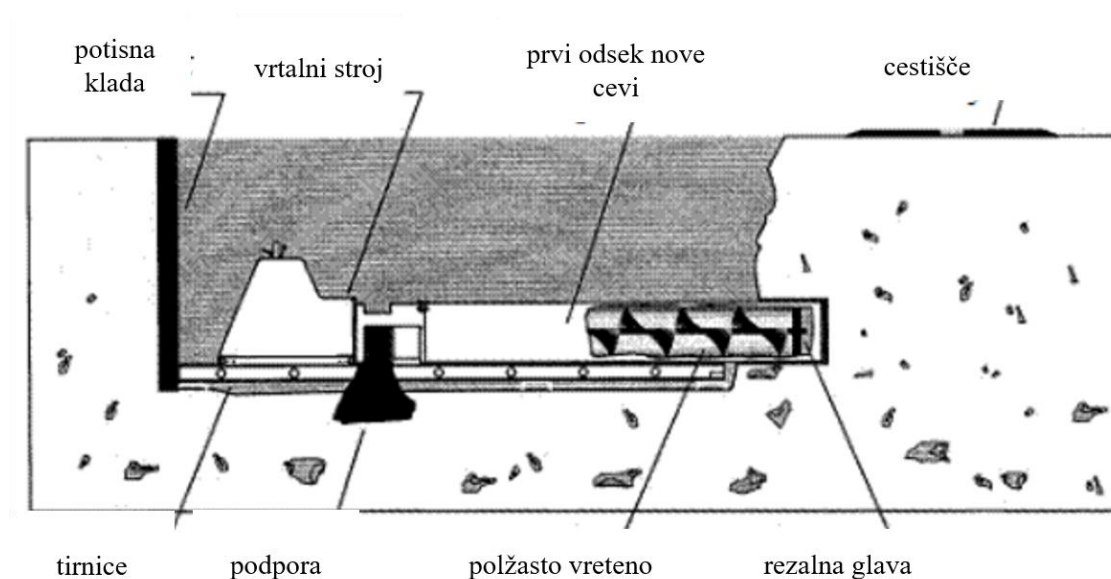
Preboj s kovinsko zaščitno cevjo (angl. Open – Face, Open – End Pipe Ramming)

Preboj s kovinsko zaščitno cevjo je v Sloveniji poznan tudi pod imenom podvrtavanje s kovinsko zaščitno cevjo brez usmerjanja. Tehnologija je zelo podobna preboju s pnevmatsko iglo, z razliko, da ustje cevi ostane odprto, nanj pa nasadimo rezilo, ki obvaruje zunanji rob cevi. Navadno uporabljamo 6 metrske kovinske cevi, ki jih med seboj varimo. Pri preboju s kovinsko zaščitno cevjo se dosežajo večji premeri (od 114 do 2020 mm in več) in dolžine izkopa, do 50 metrov in več. Zaščitne cevi oziroma cevi, ki jih vgrajujemo, so navadno jeklene in morajo imeti ustrezno debelino stene, z namenom prenašanja sil med vgradnjo (Vilkograd, 2016). Pri uporabi tehnologij preboja redko ustvarimo motnjo na površju oziroma posedke, saj

se cev, napolnjena z izkopskim materialom v tleh nahaja dovolj časa, da se posedanje umiri (Simicevic in Sterling, 2001b).

3.1.2.2 Horizontalno vrtanje

Tehnologija horizontalnega vrtanja z optičnim vodenjem, kot jo imenoval Turk (2014) je tehnologija brez izkopa, pri kateri s pomočjo rotirajoče se rezalne glave vrtamo in hkrati s hidravlično napravo oziroma potisno klado potiskamo vreteno skupaj z novim odsekom cevi iz vstopne v izstopno gradbeno jamo. Rezalna glava je pritrjena na polžasto vreteno, vgrajeno v jeklenem ohišju oziroma potisni cevi, ki je navadno tudi železna cev za vgradnjo (Najafi, 2010). Polžasto vreteno se vrtil zaradi navora vrtalnega stroja in s tem odstranjuje izkopani material ter ga transportira v vstopno jamo. Danes je horizontalno vrtanje usmerjeno vrtanje, pri katerem s pomočjo optične kamere in tarče v pilotni glavi vzdržujemo in popravljamo smer ter padec vgradnje. Tudi tehnologij usmerjenega vrtanja z optičnim vodenjem je več, med njimi sta redkeje uporabljeno mokro vrtanje (*angl. slurry boring*), ki ga nadomešča tehnologija usmerjenega vrtanja z radijskim vodenjem (HDD) in pa klasično suho vrtanje (*angl. auger boring*) (FHA, 2015).



Slika 16: Shema tehnologije usmerjenega vrtanja z optičnim vodenjem (FHA, 2015)

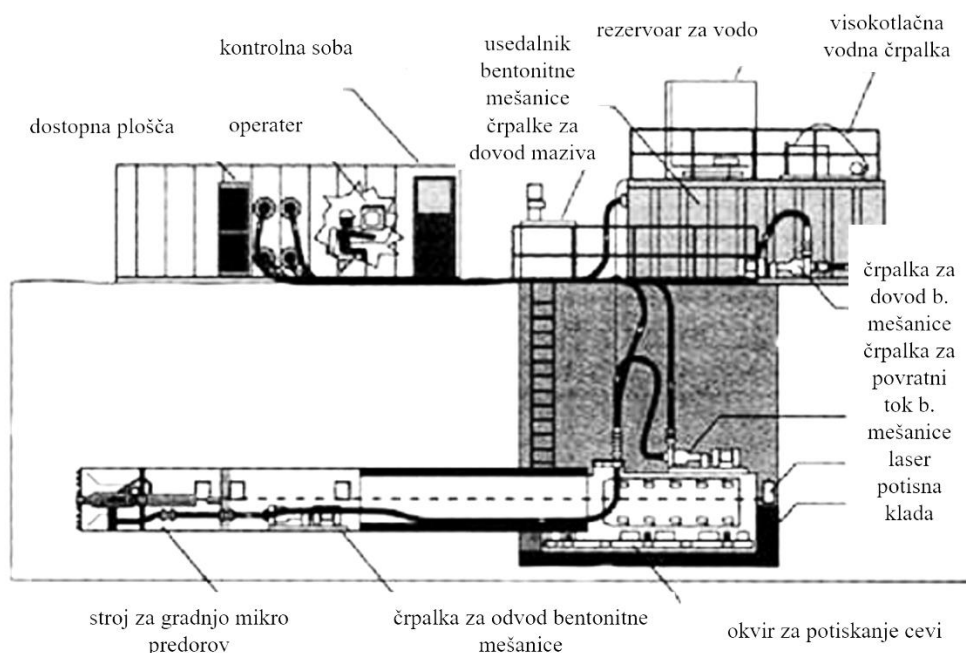
Tehnologije usmerjenega horizontalnega vrtanja niso stroškovno potratne in jih navadno uporabljamo za vgradnjo kovinskih in PE-HD cevi (Turk, 2015) v glinah, meljih, peskih in gramožu nad gladino podzemne vode (ISTT, 2016). Premeri, ki jih lahko dosežemo s tehnologijo horizontalnega vrtanja so od 100 do 1500 mm in dolžine do 270 metrov (FHA, 2015).

3.1.2.3 Izvedba mikro predorov

Tehnologija izvedbe mikro predorov je definirana kot katerakoli tehnologija, ki ustreza naslednjim parametrom (ASCE, 2015):

- **daljinsko upravljanje** vrtnega stroja za izvedbo mikro predorov (*angl. MTBM: Microtunnel Boring Machine*), navadno iz kontrolne sobe na površju v bližini vstopne jame, pri čemer sistem omogoča hkraten izkop in vgradnjo cevi, potrebe po osebju v gradbeni jami pa ni,
- vodenje oziroma **usmerjanje** vrtnalne garniture, navadno s pomočjo laserja, ki je projiciran na tarčo znotraj stroja,
- cev je vgrajena s pomočjo **potiskanja** (*angl. pipe jacking*) in hkratnega vrtnanja z vrtno garnituro ter
- zagotovljena je konstantna oziroma **sprotna podpora** (tlak), ki preprečuje velik vpliv podzemne vode in zemeljskih pritiskov.

Tehnologija izvedbe mikro predorov je danes široko uporabljena in sicer pretežno za vgradnjo cevovodov manjših dimenzij. Daljinsko upravljanje vrtnega stroja za izvedbo mikro predorov omogoča natančno prilagajanje naklona in smeri vgradnje cevi iz nodularne litine, PE in PVC, premerov od 450 do 1500 milimetrov (FHA, 2015) in odsekov dolžine do 460 metrov. Vgrajene cevi morajo prenesti obremenitve potiskanja, zunanje obremenitve (zemljina) ter notranje obremenitve s strani transportiranega medija, torej vode. Glede na geološko–geotehnične pogoje se odločamo za različne tehnologije izvedbe mikro predorov, najpogostejša pa je tehnologija z iznosno linijo z uporabo bentonitne mešanice (*angl. slurry shields*), katere namen je dodatna stabilizacija vrtine in učinkovitejši iznos izvrtanega materiala.



Slika 17: Shema tehnologije izvedbe mikro predorov (FHA, 2015)

Izvedba mikro predorov se prične podobno, kot večina tehnologij vgradnje vodovodnih cevi brez izkopa, s pripravljalnimi deli, kot so geološko–geotehnične raziskave, določitev in zakoličba lokacije obstoječih podzemnih inštalacij, ureditev dostopa do vstopne in izstopne gradbene jame, zavarovanje okoliških zgradb, izdelava gradbenih jam, ureditev začasne deponije izkopenega materiala, zakoličbo predvidene trase cevovoda itd. Pripravljanim delom sledijo vgradnja potisne enote, vrtalne glave in navigacije, priklop reciklirne naprave ter postavitvev in priklop nadzorne kabine, kar vodi do pričetka gradnje mikro predora z vstavljanjem potisnih cevi. Po končanem izkopu in vgradnji sledijo še zaključna dela in vzpostavitev primarnega stanja na območju gradnje (Najafi, 2010).

V primerjavi s HDD tehnologijo tehnologija izvedbe mikro predorov zahteva več prostora, saj mehanizacija terja večji izkop (vstopni in izstopni jašek oziroma gradbena jama). Ker zahteva tudi veliko mehanizacije in pripravljalnih del ni ekonomična v primeru izgradnje krajših odsekov in manjših premerov (Turk, 2014). Tehnologija izvedbe mikro predorov je zaradi laserskega sistema vodenja zelo natančna, zaradi možnosti uporabe različnih vrtalnih glav, pa je njena uporaba možna v vseh vrstah kamnin in zemljin. (Burden in Hoppe, 2015). V primerjavi z usmerjenim vrtnjem z optičnim vodenjem, je tehnologija izvedbe mikro predorov natančnejša in kompleksnejša, temelji pa na podobnih postopkih.

3.1.2.4 Usmerjeno vrtnje z radijskim vodenjem

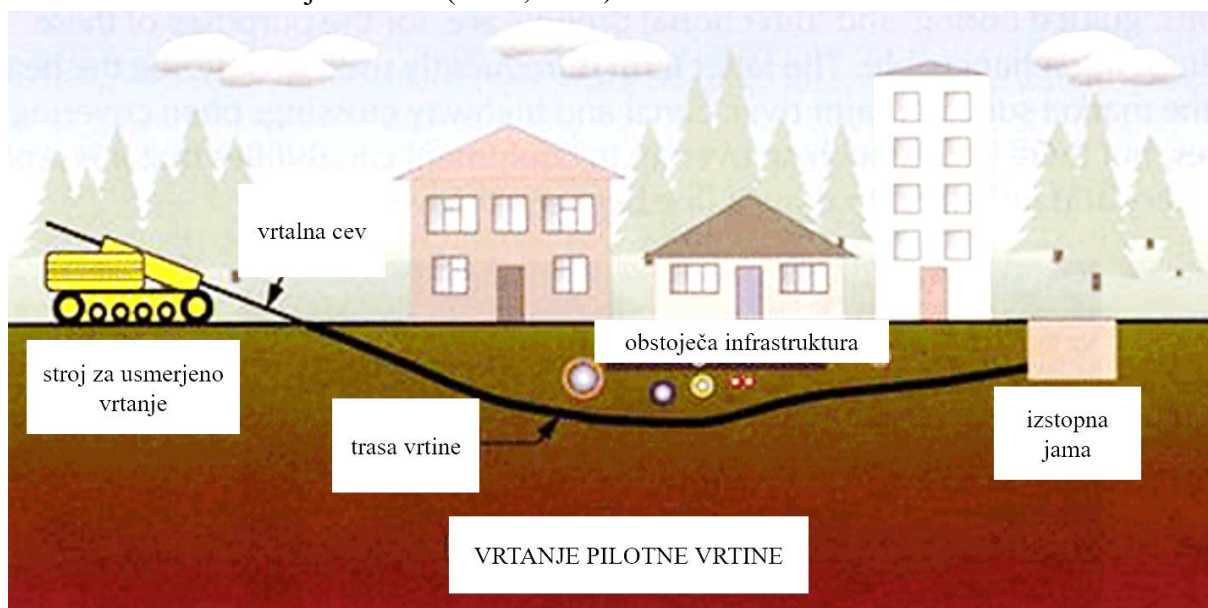
Usmerjeno vrtnje z radijskim vodenjem, kot ga imenuje podjetje Vilkograd (2016) je tehnologija vgradnje cevi brez izkopa, pri kateri najprej izvedemo pilotno vrtino in nato hkrati s povratnim razširjanjem vrtine vlečemo – vgrajujemo tudi novo cev. Tehnologija usmerjenega vrtnja z radijskim vodenjem omogoča vgradnjo kovinskih (nodularna litina), PE in PVC cevi (DIPRA, 2016). Zelo primerna je za urbana območja, saj je vpliv omenjene tehnologije na okolico minimalen, z izjemo izkopa na vhodni strani vrtine. Tehnologija usmerjenega vrtnja z radijskim vodenjem je primerna za izkop v skoraj vseh zemljinah, z uporabo posebne vrtalne garniture pa je možno tudi vrtnje v skali. Z njo lahko dosežemo izkope oz. vgradnjo cevi do 1200 mm, dolžine do 1500 m, posebnost metode pa je, da omogoča izvedbo vrtin z vertikalnimi ali horizontalnimi krivinami polmera večjega od 40m, kar pomeni večjo fleksibilnost pri gradnji. Poleg tega so bile z uporabo tehnologije usmerjenega vrtnja z radijskim vodenjem vgrajene cevi na globinah do 61 metrov (FHA, 2015). V zadnjem desetletju je cena uporabe HDD tehnologije padla, kar je, poleg vsestranskosti metode, še dodaten razlog za porast njene priljubljenosti.

Tehnologijo usmerjenega vodenja z radijskim vodenjem klasificiramo na tri različne kategorije, ki so vezane na želeni premer cevi ter na globino in dolžino izkopa (FHA, 2015):

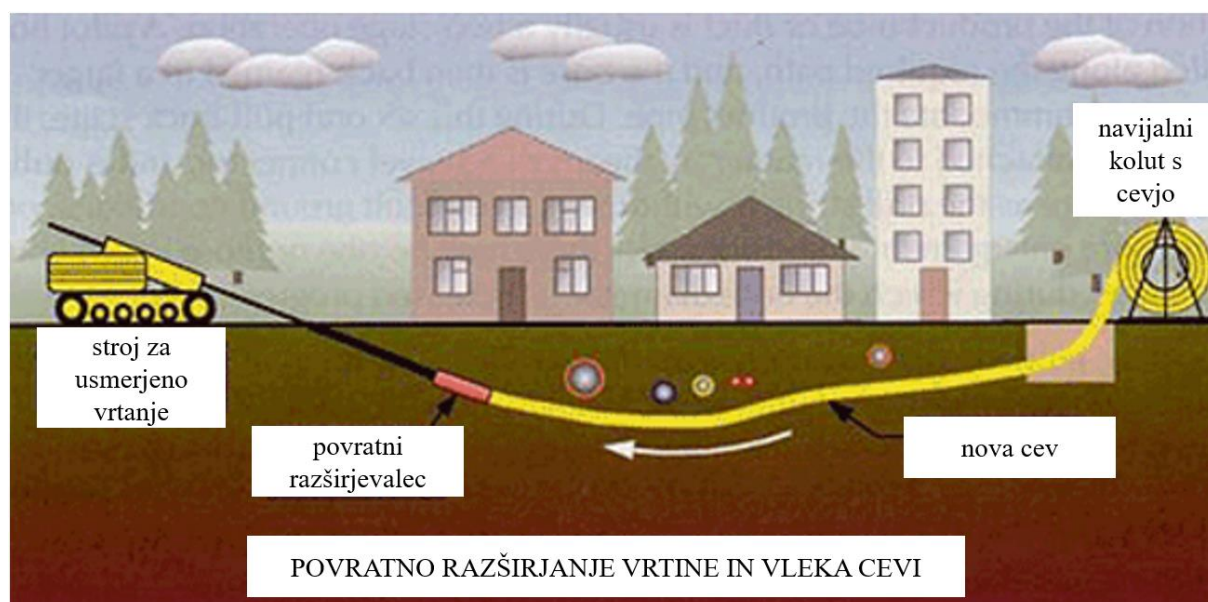
- mini HDD (premeri cevi od 50 do 250 mm, globina izkopa do 4.5 m, dolžina izkopa do 183 m),
- midi HDD (premeri cevi od 250 do 600 mm, globina izkopa do 23 m, dolžina izkopa do 274 m) in

- maks. HDD (premeri cevi od 600 do 1200 mm, globina izkopa do 61 m, dolžina izkopa do 1500 m).

Postrojenje za omenjeno tehnologijo tvori več pomembnih komponent, kot so vrtna enota, usmerjevalna enota, sistem za vbrizgavanje vrtna tekočine, vrtno drogovje z vključenim povratnim razširjevalcem ter reciklirna in mešalna naprava za vrtno tekočino (Willoughby, 2004). Faze izgradnje pri HDD tehnologiji so načrtovanje in prehodne raziskave, s poudarkom na geomehanskih raziskavah, izvedba manjše pilotne vrtnine s pomočjo vrtna mešanice (mešanica bentonita, vode in dodatkov), povratno razširjanje vrtnine ter montaža oziroma uvlek vodovodne cevi in zaključna dela (ISTT, 2016).



Slika 18: Vgradnja s tehnologijo HDD – vrtanje pilotne vrtnine (FHA, 2015)



Slika 19: Vgradnja s tehnologijo HDD - povratno razširjanje vrtnine in vleka cevi (FHA, 2015)

3.1.2.5 Prednosti in slabosti tehnologij vgradnje z odprtim izkopom in tehnologij brez izkopa

Tehnologije z odprtim izkopom so v uporabi že stoletja, čeprav imajo svoje pomanjkljivosti in sicer:

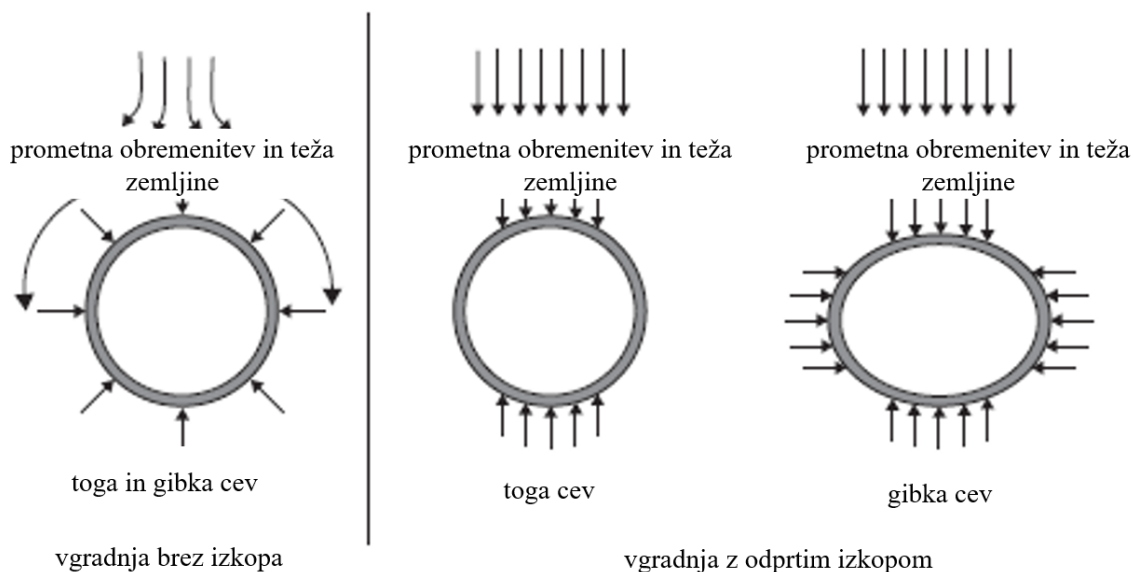
- zavzamejo veliko prostora,
- tveganje za deformacije površja so večja,
- težke vgradnje v primeru visoke gladine podtalnice,
- težave pri zaščiti brežin jarka (opaži pri večjih globinah,...),
- težave v primeru prečkanja cestne infrastrukture ali vodotokov,
- motnje, ki jih predstavljajo v okolju (hrup, prah, motnje prometa) in
- škoda, ki jo povzročijo naravi ali pridelku, v primeru prečkanja gozdov, travnikov, polj ali nasadov.

Večini teh težav se lahko z uporabo tehnologij brez izkopa izognemo, ker:

- ne kopljemo jarkov in s tem zavzamemo manj prostora, ne potrebujemo ščitenja brežin,
- ne povzročamo hrupa in prahu, saj se večina dela izvede pod zemljo,
- ne ustavljamo prometa ali uničujemo pridelkov in narave in
- večinoma lahko izvajamo dela tudi pod nivojem podtalnice.

Glede stroškovne učinkovitosti je tehnologije težko primerjati zaradi raznolikosti njihove ponudbe in pa metodologij izračuna razmerja stroškov in koristi. Vse tehnologije, tudi tehnologije brez izkopa zahtevajo površinski dostop, površina oziroma prostor, ki ga zavzame tehnologija brez izkopa, pa je neprimerljivo manjši, kot pri odprtem izkopu, kar rezultira tudi v manjših posrednih in neposrednih motnjah v okolju, oziroma višji kakovosti življenja – manj frustracij zaradi prometnih zamaškov, manj hrupa in prahu ter škode na pridelkih, gozdovih, cestah in drugi infrastrukturi. (Profundis, 2001). Najafi in Gokhale (2005) sta v svojem delu poudarila pomen družbenih stroškov v analizi življenjskega cikla omenjenih tehnologij in izpostavila slabšo časovno učinkovitost metod z odprtim izkopom. Primarni fokus pri vgradnji cevi z odprtim izkopom je torej na preusmeritvi prometa, izkopu jarkov, dreniranju, zasipanju jarka in utrjevanju nasipnega materiala, kar pomeni, da je zelo majhen odstotek vloženega truda dejansko osredotočen na končni izdelek, torej vgradnjo cevi. Metode brez izkopa omogočajo novogradnje cevi v točno željenih slojih zemljine, ne glede na njihovo globino in reducirajo količino izkopanega materiala, možnost dela 24 ur/dan ne glede na vremenske pogoje. Dodatna prednost tehnologij brez izkopa je tudi porazdelitev obremenitev zasipnega materiala in prometne obtežbe, saj se obtežbe bolje porazdelijo po obodu cevi.

Kljub vsem prednostim, ki jih imajo tehnologije z zaprtim izkopom, pa slednje niso primerne za uporabo v vseh okoljih (Najafi, 2010), posebno ne v okolju, kjer ne poznamo točne lokacije ostale podzemne infrastrukture (kanalizacijske cevi, telekomunikacijski kabli,...). Nekatere izmed tehnologij z zaprtim izkopom niso ekonomične v primeru izkopa majhnih premerov oziroma kratkih odsekov. V splošnem je treba za vsako investicijo izdelati celostni načrt in se na podlagi posamezne situacije odločati o izbiri tehnologije.



Slika 20: Primerjava obremenitev vodovodnih cevi po metodi brez izkopa in metodi z odprtim izkopom (NAJAFI, 2010)

Iz preglednice 4 lahko vidimo koliko gradbenih dejavnosti oziroma katere postopke moramo izvesti pri tehnologijah z odprtim ali zaprtim izkopom. Opazimo lahko prednost tehnologij brez izkopa, pri katerih je za vgradnjo cevi potrebnih manj korakov. Dejavnosti, kot so izkop jarkov, njihovo dreniranje in ponovno zasutje tvorijo tudi do 70% vseh stroškov vgradnje cevi z odprtim izkopom (Najafi, 2010).

Gradbena dejavnost	Tehnologije z odprtim izkopom	Tehnologije brez izkopa
Geodetske raziskave	da	da
Raziskave o lastništvu in/ali služnosti na lokaciji	da	da
Mobilizacija osebja in opreme	da	da
Prevoz cevi in materiala	da	da
Odstranitev vrhnje plasti zemlje	da	ne
Prevoz varilnih strojev	da	da
Varjenje	da	da
Izkop jarkov	da	ne
Izdelava posteljice	da	ne
Zasutje jarka	da	ne
Utrditev zasutja	da	ne
Odlaganje odvečne zemljine	da	ne
Odvodnjavanje	da	da
Montaža priključkov in ventilov	da	da
Hidrostatični test in/ali notranja inšpekcija	da	da
Pospravljanje gradbišča in čiščenje gradbišča	da	da

Preglednica 4: Gradbene dejavnosti, ki jih moramo izvesti pri tehnologijah z odprtim izkopom ali pri tehnologijah brez izkopa (povzeto po Najafi, 2010)

Tehnologije cevnege preboja so v splošnem enostavnejše od ostalih tehnologij brez izkopa in prav zaradi tega razloga navadno tudi cenejše. Omogočajo vgradnjo cevi večjih premerov in v različnih tipih zemljin. Tehnologije prav tako ne potrebujejo dodatnega vodnega vira. Slabost tehnologij preboja je tveganje za poškodbo vgrajevane cevi med delom v trdih zemljinah ali zemljinah, ki vsebujejo večje kamne oziroma skale. Prav tako med izvajanjem postopka ne moremo usmerjati vgradnje, vgrajujemo pa lahko zgolj krajše, ravne odseke. Pri enostavnem preboju s pnevmatsko iglo moramo paziti, da postopek vgradnje poteka na globini ki mora biti večja od desetkratnika premera vgrajevane cevi. Vgrajevana cev mora biti primernih dimenzij in materiala, da prenese obremenitve, katerim je izpostavljena med gradnjo in po gradnji.

Tehnologije horizontalnega vrtnanja predstavljajo zelo majhno tveganje za kakršnekoli težave s posedki, morajo pa imeti izkušenega operaterja. Horizontalno vrtnanje prav tako lahko izvajamo v različnih tipih zemljin, z omenjeno tehnologijo pa lahko vgrajujemo vse vrste vodovodnih cevi. Pri procesu vgradnje lahko naletimo na težave pri premagovanju ovir, kot so velike skale ali zelo mehka tla, pri katerih tvegamo kolaps tal (angl. bore hole collapse).

Usmerjeno vrtnanje z radijskim vodenjem izmed vseh tehnologij brez izkopa omogoča najhitrejšo vgradnjo in vgradnjo najdaljših odsekov. Vodenje je usmerjeno, tehnologija pa prenosna, brez večjega vpliva na okolje, projektirana za delo v gosto naseljenem, urbanem okolju. Pri vrtnanju v peskih in gramozih oziroma nekoherentnih zemljinah moramo biti pri uporabi tehnologije usmerjenega vrtnanja z radijskim vodenjem pazljivi, saj lahko z visokimi tlaki, ki jih ustvarjamo z vrtno tekočino povzročimo lokalno erozijo.

Če s strojem za gradnjo mikro predorov upravlja ustrezno usposobljen operater ima ta način izvedbe zelo majhen vpliv na površje. Pred gradnjo je potrebno temeljito raziskati lokacijo in izvesti geološke raziskave. Pomanjkljivost tehnologije je, podobno kot pri tehnologiji cevnege preboja in horizontalnega vrtnanja, nujen izkop vstopne in izstopne gradbene jame (FHA, 2014).

3.2 Rehabilitacija vodovodnih cevi

Pomembna diskusija med strokovnjaki poteka na temo ali k rehabilitaciji vodovodnih cevi pristopiti reaktivno ali proaktivno, torej jih vnaprej (preventivno) popravljati in obnavljati ali pa počakati na njihovo odpoved oziroma lom.

Goodson (Grigg, 2010 po Goodson 2002) je v svojem delu predlagal t. i. vzdrževanje s poudarkom na zanesljivosti (angl. reliability – centered maintenance), kot odgovor izraziti proaktivnosti, trenutnemu pristopu večine upravljavcev vodovodnih sistemov, saj naj bi pravočasna rehabilitacija znižala celotne stroške vzdrževanja in pripomogla k usmerjenosti h kritičnim nalogam vodovodnih sistemov, kot so zagotavljanje ustrezne kakovosti vode, zadovoljstvo uporabnikov in varnost vodooskrbe. Deb in sodelavci (2000) so iz svoje študije zaključili, da upravljavci pri vzdrževanju poudarjajo pomen ustreznega tlaka in pretočne sposobnosti cevi, premalo skrbi pa namenijo zanesljivosti sistema ter kakovosti vode.

Voogd (1983) je v svojem delu z namenom raziskave vseh možnosti na podlagi različnih meril ter odkrivanja vseh nasprotujočih-si ciljev in doseganja optimalnih odločitev, predlagal uporabo metode večkriterijskega odločanja. Cilj metode večkriterijskega odločanja bi v primeru tehnologij rehabilitacije bilo ravnovesje med tehnologijami popravkov, obnove in zamenjave,

in na podlagi izboljšanja stanja cevi, stroškovne učinkovitosti, izvedljivosti, motnje, ki jo tehnologija predstavlja v okolici, zmanjšanja tveganja in drugih kriterijev, t.j. izbira najboljše tehnologije za določeno situacijo (EPA, 2009).

Stroški rehabilitacije cevi navadno znašajo od 25 do 100 odstotkov stroškov konvencionalne metode z odprtim izkopom. Tudi v situacijah, ko uporaba katere izmed tehnologij rehabilitacije ne predstavlja drastičnega zmanjšanja stroškov, je v veliko primerih preferirana zaradi manjših posledic gradnje oziroma vplivov gradnje na lokalno skupnost. Prav tako lahko z izbiro ustrezne tehnologije rehabilitacije dosežemo podaljšanje življenjske dobe cevi od 50 do 100 let, kar je primerljivo z vgradnjo nove vodovodne cevi (AWWA, 2014). Za doseganje optimalne življenjske dobe različnih tehnologij rehabilitacije, je pomembna pravilna namestitev oziroma vgradnja ter kontrola končne kakovosti, ki jo zagotovimo z različnimi testiranjmi.

V nadaljevanju se bomo osredotočili na tehnologije rehabilitacije, kot nadpomenke za popravila cevi, zamenjave cevi ter obnove vodovodnih cevi. Popravki so definirani kot lokalno vzdrževanje oziroma sanacija cevi z majhnimi prilagoditvami, navadno gre za točkovno sanacijo, obnovo cevi definiramo kot linijsko vzdrževanje oziroma sanacijo, zamenjava obstoječe cevi pa pomeni bodisi popolno odstranitev ali uničenje obstoječe cevi in nadomestitev le-te z novo funkcionalno vodovodno cevjo ali pa izgradnjo nove, popolnoma samostojne in funkcionalne cevi znotraj obstoječe cevi (ISTT, 2016).

Rehabilitacija vodovodnih cevi se vrši zaradi treh primarnih razlogov (Najafi, 2010):

- izboljšanja kakovosti pitne vode (preventiva in kurativa sedimentacije, vodnih oblog in biofilma),
- izboljšanja hidravličnih lastnosti cevi (zmanjšanje trenja) ter
- izboljšanja strukturnih lastnosti cevi (reduciranja vodnih izgub, zmanjšanja števila popravil, izboljšanja zanesljivosti,...).

Preden se lotimo rehabilitacije je izjemnega pomena preučiti več različnih faktorjev (Najafi, 2010) in sicer:

- Značilnosti terena in sicer kakšna je topografija, značilnosti površja, kje se nahaja druga infrastruktura, ali so na lokaciji gradnje kakšna občutljiva območja ali pa arheološke najdbe in ali se obstoječa cev nahaja pod cestno infrastrukturo ali vodnim telesom ter ali je dostop do cevi možen.
- Geološko – geotehnične značilnosti, torej klasificirati zemljino in njen korozijski potencial, identificirati prisotnost skal in balvanov, izmeriti gladino podzemne vode ter preveriti ali se tla posedajo in kako se posedajo.
- Stanje obstoječe cevi, njene zunanosti in notranosti in identifikacija morebitnih predhodnih del na cevi ter lociranje obstoječih armatur ter jaškov.
- Določiti kriterije, ki jih mora izpolniti cev oz. zeleno novo stanje cevi, kakšen pretok želimo, strukturne zahteve, ki jih mora cev izpolniti,
- Možnost gradnje in omejitve, ki jih ima določeno območje, torej katere varnostne faktorje moramo upoštevati, kakšen je dostop do cevi, kakšen vpliv bo imela podzemna voda, kakšen vpliv ima druga infrastruktura na potencialno rehabilitacijo, lastništvo oziroma služnostna pravica na parcelah,...

- Prednosti in slabosti različnih tehnologij rehabilitacije, dostopnost do tehnologije, kakšen vpliv ima tehnologija na življenjsko dobo cevi ter kakšni so njeni kratkoročni in dolgoročni stroški in koliko vzdrževanja terja, kako dobro tehnologija zadosti parametrom (kriterijem), ki jih želimo doseči, itd.

V grobem lahko dejavnike, ki vplivajo na izbiro metod rehabilitacije delimo na notranje in zunanje dejavnike. Slednji so odvisni od značilnosti okolice, bodisi nadzemne ali podzemne, in od cevi, notranji dejavniki pa so vezani zgolj na cev (predavanja pri predmetu Trenchless Technologies).

Notranji dejavniki

Funkcija cevi:

- možnost zmanjšanja premera cevi,
- želja po povečanju premera cevi,
- možnost začasnega zaprtja oziroma neuporabe cevi ter
- izbira začasnih ukrepov, v primeru rehabilitacije cevi.

Narava in velikost poškodbe:

- vodoodpornost ali puščanje,
- izguba stabilnosti,
- razpoke in
- posledice neenakomernih posedkov zemljine.

Kakovost uporabljenega materiala cevi,

- starost,
- tip materiala in njegova ustreznost sodobnim standardom in
- način gradnje in spajanja.

Zunanji faktorji, ki jih pri izbiri rehabilitacijskih metod moramo upoštevati, so odvisni predvsem od značilnosti okolice oziroma dejanske rabe prostora:

- značilnosti prometa,
- podzemnega in nadzemnega prostora, ki je na voljo za gradnjo,
- stanje zemljine,
- višina podzemne vode ter
- prisotnost druge infrastrukture, zgradb oziroma rastja.

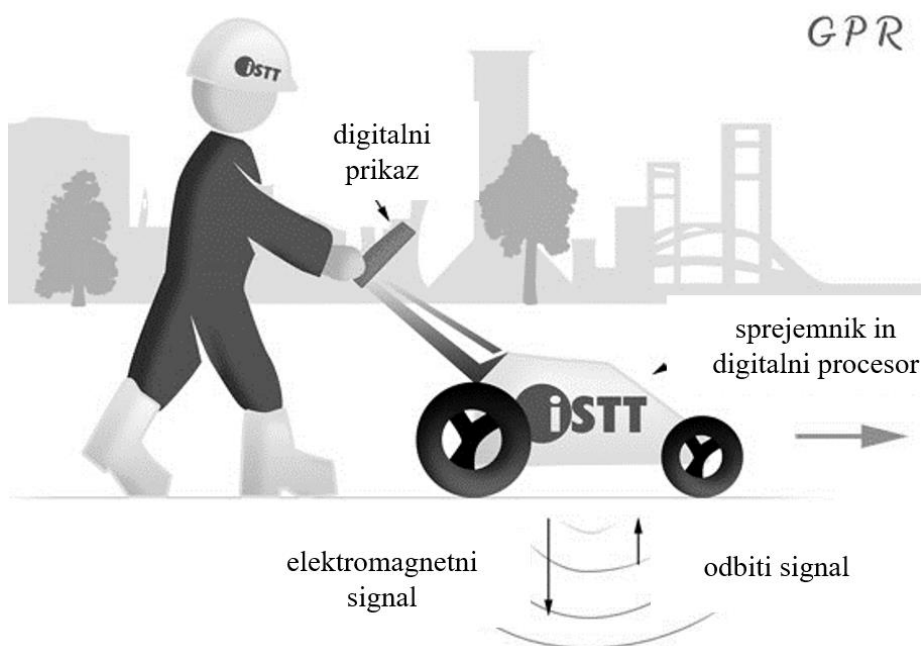
Tehnologije rehabilitacije vsebujejo širok spekter pristopov, ki stremijo k vrnitvi vodovodne cevi v prvotno stanje in doseganje originalne funkcionalnosti. Tehnologije popravil vodovodnih cevi uporabljamo, ko je struktura obstoječe cevi zadovoljiva in ima še sprejemljivo pretočno zmogljivost. Tehnologijo obnove uporabimo v situacijah, kjer želimo izboljšati hidravlične lastnosti cevi ter stabilnost oziroma mehansko odpornost cevi, zamenjavo cevi pa v primerih, ko je stabilnost ali mehanska odpornost cevi močno načeta ali pa potrebujemo večje pretoke skozi cev.

3.2.1 Predдела

Natančna lokacija cevi morda pri izbiri tehnologij brez izkopa nima primerljive teže kot pri odprtih izkopih, je pa vsekakor pomembna že iz vidika podatkovnih baz in ocene odmikov cevi od druge infrastrukture. S pomočjo ocene stanja cevi se lahko odločimo bodisi za čiščenje cevi, lokalne popravke ali pa za katerokoli izmed tehnologij obnove ali zamenjave vodovodnih cevi.

3.2.1.1 Določitev položaja cevi

Navkljub Geografskim Informacijskim Sistemom in različnim podatkovnim bazam je včasih še vedno zelo težko natančno določiti položaj (angl. Location of the Pipe) vodovodne cevi in druge podzemne infrastrukture. Tehnologije brez izkopa ali tehnologije, pri katerih je izkop minimalen imajo pri določanju položaja prednost, saj je z njihovo uporabo vpliv na okolico najmanjši. Poznamo več načinov določanja položaja cevi, najpogosteje to počnemo z uporabo georadarja (angl. Ground Penetrating Radar) in sicer s pomočjo pulzov visokofrekvenčnih, v zemljo prodirajočih elektromagnetnih valov, ki jih oddaja oddajnik. Odbite signale sprejme antena in nato procesira digitalni procesor. Tehnologija je primerna za odkrivanje cevi in kablov različnih materialov (ISTT, 2016).



Slika 21: Določanje položaja cevi z georadarjem (ISTT, 2016)

3.2.1.2 Ocena stanja cevi

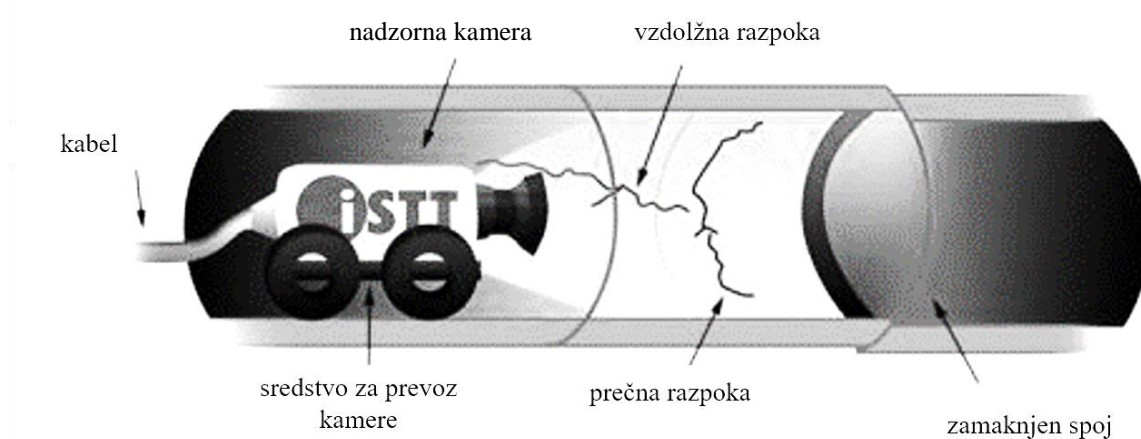
Ocena stanja v katerem se nahaja cev (angl. Condition Assessment) oziroma določen odsek vodovodnega omrežja, je ključnega pomena pri odločitvi za katero tehnologijo rehabilitacije se bomo odločili, oziroma pri oceni ali lahko uporabimo tehnologije brez izkopa. V praksi najpogosteje uporabljamo dve tehnologiji in sicer nadzorne kamere za cevne sisteme ter detektorje puščanja cevi.

Nadzorne kamere za cevne sisteme (angl. Closed Circuit Television: CCTV)

Nadzorne kamere za cevne sisteme so navadno montirane na majhne vozne naprave, ki jih nato 'vozimo' ali vlečemo skozi cevi. Primarno jih uporabljamo za:

- vizualni ogled sten cevi,
- raziskovanje nepojasnjenih sprememb v toku skozi cevi,
- iskanje drobirja oziroma preprek znotraj cevi ter
- iskanje nelegalnih priključkov.

Osnovni CCTV sistem je sestavljen iz kamere in njenega transportnega vagona oziroma vozila, povezovalnih kablov, snemalne opreme, monitorja in programske opreme. Snemanje poteka na način, da kamero vstavimo v cev in spremljamo njen napredek po cevi, operater kamere pa spremlja njen potek in opazuje stanje cevi. Naprednejše nadzorne kamere imajo možnost daljinskega premikanja in približevanja (angl. Pan and Tilt Camera) ali tako imenovane leče ribje oko (angl. fish eye), ki omogočajo širši pogled na cev pod kotom 180 stopinj ter laserske sisteme, ki merijo profil cevi (ISTT, 2016).



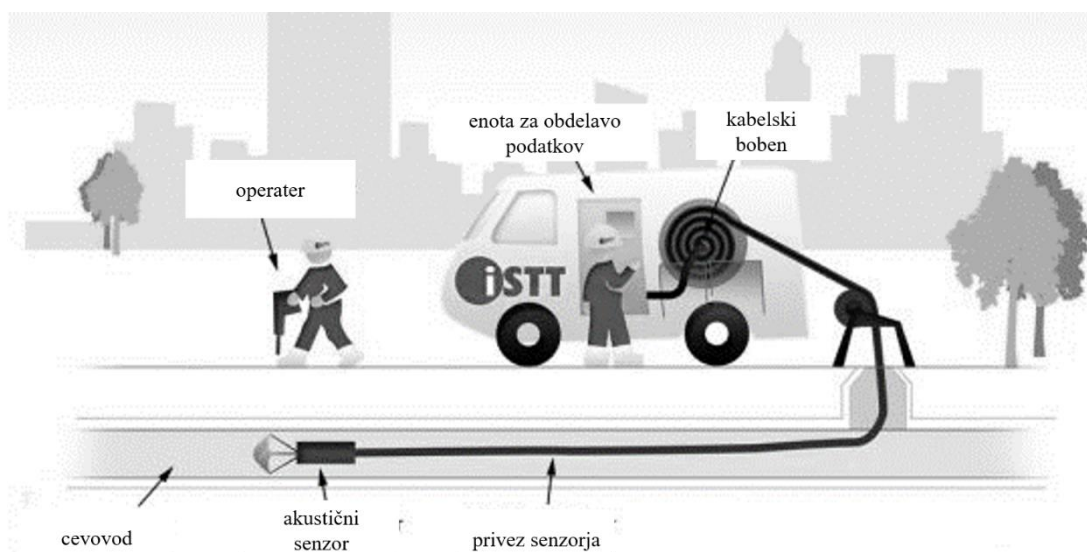
Slika 22: Postopek meritve z nadzorno kamero za cevne sisteme (ISTT, 2016)

Detektorji puščanja cevi (angl. Leak Detectors)

Za zaznavanje puščanj v ceveh pod tlakom obstajajo različne metode, ki variirajo od preprostih ročno upravljanih akustičnih sprejemnikov, s katerimi na terenu ugotavljamo razmere nad zemljo, do sprejemnikov, ki prosto plavajo v vodovodni cevi. Izbira najprimernejšega sistema je odvisna od velikosti in značilnosti raziskovanega območja in od narave problema. Večina detektorjev puščanja cevi temelji na šumenju, ki ga ustvari voda, ki pronica skozi režo oziroma poškodbo cevi in na ta način locirajo puščanje v ceveh pod tlakom (ISTT, 2016). Intenziteta zvoka povezana s puščanjem temelji na tlaku vode v vodovodnem sistemu, materialu cevi in njenem premeru. Za meritve, ki jih zaznavamo iz površja, sta pomembna tudi globina in vrsta zemljine. Poznamo akustične in ne akustične metode aktivnega ugotavljanja netesnih mest. Detekcijo napak je v svojem delu natančneje predstavil Andoljšek (2006). Akustično iskanje

okvar z geofonom je najpogosteje uporabljena tehnologija, pri kateri operater hodi po terenu nad cevjo in s pomočjo talnega mikrofona meri intenziteto zvoka. Pri tem mikrofoni posredujejo zvok do ojačevalcev, ki prečiščen zvok pošljejo do slušalk oziroma monitorjev.

Obstajajo tudi metode, kjer se senzor nahaja v cevi. Primer je akustični senzor, ki ga privežemo na kabel, ki ga povezuje s spremljevalno opremo na površju, nato pa senzor vstavimo v cev in nato potuje. Akustične informacije so nato preko kabla prenesene do operaterja, ki določi približno lokacijo napake in jo na površju tudi označi.



Slika 23: Shema ugotavljanja puščanja z akustičnim senzorjem znotraj vodovodne cevi (ISTT, 2016)

Prosto plavajoči senzor lahko potuje na dolge razdalje in je posebno primeren za odkrivanje napak v dolgih ceveh z omejenim dostopom. Krogla oziroma senzor, ki prosto plava s tokom v cevi računa lokacije napak z zaznavanjem in analiziranjem ultrazvočnih signalov, ki jih oddaja in nato ujamejo sprejemniki, pritrjeni na cev s prižemkami. Ko senzor vzamemo iz vode, s pomočjo programske opreme obdelamo prejete podatke in ocenimo velikost in lokacijo napake na cevi. Metode, pri katerih se senzor nahaja znotraj cevi so še posebno natančne, primerne pa za cevi različnih premerov.

Ne akustični postopki odkrivanja se izvajajo s pomočjo talnega radarja in pa iskanje okvar s plinom.

3.2.2 Čiščenje vodovodnih cevi

Pri izbiri najprimernejše tehnologije čiščenja moramo upoštevati material cevi, zgodovino popravkov ali obnove cevi in pa na mehansko in statično ustreznost cevi. V primeru ko je gradbena struktura cevi načeta in debelina sten cevi tanka, ima lahko izbira nepravilne tehnologije čiščenja neugoden rezultat (Najafi, 2010). Namen čiščenja je navadno odstranjevanje naloženih usedlin, oblog ali biofilma, s čimer zagotovimo primerne hidravlične pogoje in pa tudi pripravimo obstoječo cev na popravke oziroma obnovo. Pred čiščenjem moramo cev popolnoma izprazniti. Paziti moramo na odlaganje odvečnega sedimenta, drobirja

in ostalih stranskih produktov čiščenja, ki mora biti urejeno v skladu z zakonodajo (povzeto po Ellison, 2012).

Čiščenje cevi ni rešitev za periodične in dolgotrajne težave s kakovostjo pitne vode ali pretočno sposobnostjo cevi, v mnogih primerih pa nudi cenovno ugodno ter hitro kratkoročno rešitev (AWWA, 2001).

Obstajajo različne metode čiščenja vodovodnih cevi (AWWA, 2014):

- izpiranje (angl. flushing),
- izpihovanje (angl. air scouring),
- mehansko čiščenje (angl. mechanical cleaning techniques),
- čiščenje z vleko čistilnih orodij (angl. cable attached devices),
- čiščenje na vodni pogon (angl. fluid propelled devices),
- vrtanje skozi cev (angl. power boring) ter
- čiščenje s prosto plavajočimi krogli (angl. ball cleaning),
- idr.

V poglavju bomo opisali najpogosteje uporabljane metode čiščenja vodovodnih cevi.

3.2.2.1 Izpiranje vodovodnih cevi

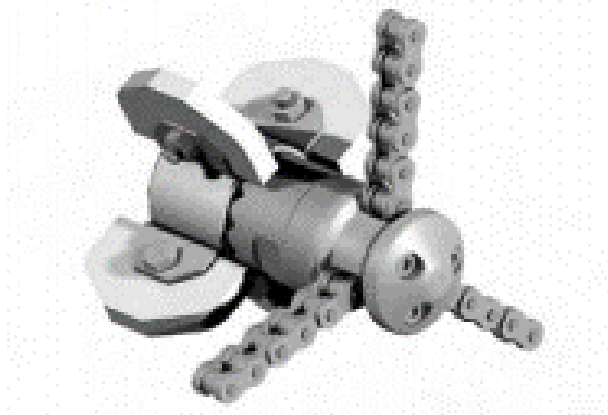
Izpiranje (angl. Pipe Flushing) je klasična tehnologija čiščenja vodovodnih cevi, pri kateri s pomočjo vode spiramo nesnago. Vodovodne cevi morajo biti izprane po vgradnji oziroma kakršnemkoli delu na ceveh ter pred in po dezinfekciji, potrebno pa je tudi rutinsko oziroma načrtno izpiranje vodovodnih odsekov. Hitrosti vode za izpiranje zelo onesnaženih cevi morajo biti vsaj 0,8 m/s, v primeru manj onesnaženih pa zadoščajo hitrosti 0,3 m/s. Dober približek glede trajanja izpiranja vodovodne cevi je 2 minuti izpiranja za 30 metrski odsek pri hitrosti 0,75 m/s. V pomoč pri izpiranju vodovodnih odsekov so nam požarni hidranti, skozi katere voda za izpiranje odteče (Lauer in Sanchez, 2006). Izpiranje je primerno za cevi premera do 600 milimetrov, saj večje cevi za izpiranje zahtevajo prevelike količine vode. V primeru cevi večjih premerov se raje odločimo za čiščenje na vodni pogon. Izpiranje lahko razkrije tudi težave v sistemu kot so zaprti ali delno zaprti ventili ali neznane prepreke v sistemu.. Tehnologija je primerna za uporabo v vseh kovinskih, termoplastičnih in kompozitnih vodovodnih ceveh (Ellison, 2002). V Sloveniji je izpiranje vodovodnih cevi najpogosteje uporabljana tehnologija čiščenja vodovodnih odsekov

Poznamo tudi tehnologijo čiščenja z izpihovanjem, ki je primerna zgolj za odstranjevanje biofilma in lažjih sedimentov.

3.2.2.2 Čiščenje z vleko čistilnih orodij

Pri čiščenju z vleko čistilnih orodij s pomočjo vitlov in vrvi (angl. Cable Attached Devices) skozi cev vlečemo čistilno orodje. Poznamo več tehnologij čiščenja z vleko orodij, za vse pa velja, da je dolžina odseka za čiščenje odvisna od dolžine vrvi, s katero orodje vlečemo. Pri metodi čiščenja z vleko kovinskih strgal (angl. Drag Cleaning) s pomočjo vitla vlečemo

zaporedno vezana jeklena strgala skupaj z gumijastimi spužvami. Oba konca čistilnega orodja sta pritrjena na jeklene vrvi, pritrjene na vitle, ki se nahajajo na vstopu in izstopu v cev. Strgalo najprej povlečemo v eno smer, nato pa v drugo in korak ponavljamo, dokler cev ni čista. Tehnologija omogoča tudi čiščenje lokov do 45°, ima pa še druge prednosti kot so možnost odstranjevanja zelo trdnih oblog in enostavno odlaganje suhih ostankov čiščenja. Pri čiščenju z rotirajočim se verižnim strgalom ali razvrtačem (angl. Chain Scraper) s pomočjo vodnega curka izpiramo odstranjene delce proti izstopni točki v cev. Tehnologija je primerna za kovinske cevi brez prevlek, plaščev ali kakršnihkoli premazov (AWWA, 2001).



Slika 24: Verižno strgalo (Atlantic Machinery Inc, 2011)

Pri čiščenju z vodnim curkom (angl. Hydraulic – Jet Cleaning) na posebno cev pritrdimo šobo, iz katere teče voda pod tlakom do 700 barov in na ta način odstranjujemo obloge znotraj cevi različnih materialov. Pri uporabi omenjene metode potrebujemo velike količine vode, zato je čiščenje z vodnim curkom primernejše za cevi veliki premerov (AWWA, 2014).

3.2.2.3 Čiščenje na vodni pogon

Pri čiščenju vodovodnih cevi na vodni pogon (angl. Cleaning with Fluid Propelled Devices) je vodni tlak ključnega pomena, saj potiska čistilno sredstvo, bodisi poliuretanske naboje in tampone, bodisi kovinska strgala; skozi cev. Hkrati čistilna sredstva odstranjujejo obloge v notranjosti cevi.

Čiščenje s pomočjo poliuretanskih nabojev in tamponov (angl. Cleaning with Foam Pigs and Swabs)

Poliuretanski naboji so prilagodljiva orodja v obliki nabojev, narejena iz kakovostnega poliuretana različnih gostot, ki jih po cevi navzdol poganja sila vode. Čiščenje dosežemo s pomočjo trenja nabojev ob stene cevi. Nekateri naboji so prevlečeni tudi s sintetičnimi gumijastimi prevlekami. Premer nabojev znaša od 5 do 152 centimetrov. Navadno moramo za temeljito čiščenje skozi cev najprej spustiti testni poliuretanski tampon, ki mu nato sledijo neprevlečeni ter nato prevlečeni naboji. Premeri tamponov in nabojev so navadno enaki notranjemu premeru vodovodne cevi. Požarni hidranti lahko služijo kot primerna vstopna in izstopna točka za naboje manjše od 150 milimetrov, vanje jih pa lahko vstavimo ročno ali s pomočjo ustrezne mehanizacije. Da bi dosegli optimalno čiščenje morajo naboji potovati s

hitrostjo od 0.91 do 2.74 m/s (AWWA, 2014). Po koncu čiščenja iz cevi izperemo morebitne ostanke usedlin in cev ustrezno dezinficiramo. Tehnologija je primerna za uporabo v vseh kovinskih, termoplastičnih in kompozitnih vodovodnih ceveh (Ellison, 2002).



Slika 25: Naboji in tamponi za čiščenje cevi (Girard Industries, 2012)

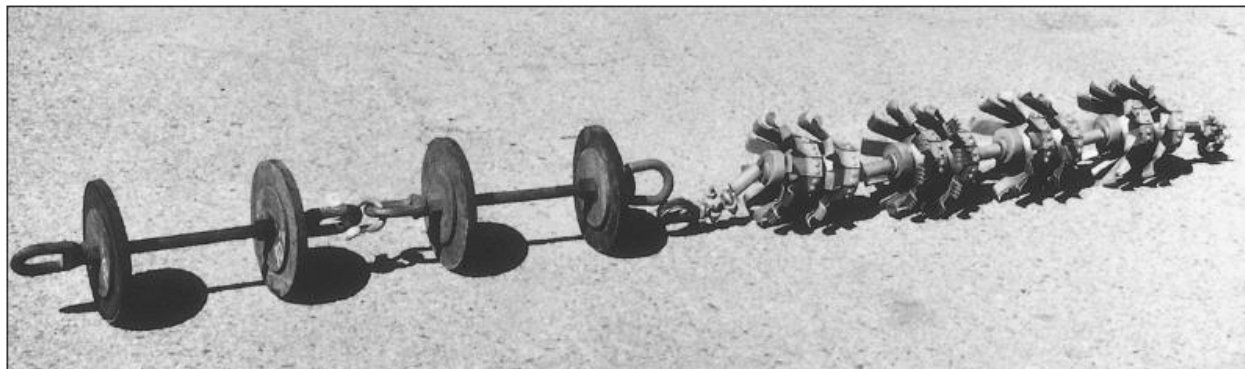


Slika 26: Prikaz vstavljanja nabojev v hidrant (AWWA, 2001)

Čiščenje s pomočjo kovinskih strgal (angl. Cleaning with Metal Scrapers)

Kovinsko strgalo sestoji iz jeklenega ogrodja – diskov v obliki bata, ki za seboj vlečejo kaljena jeklena rezila, pritrjena pod različnimi koti, kar zagotavlja temeljito strganje. Kovinsko strgalo skozi cev poganja vodni tok, za temeljito čiščenje pa navadno zadostuje en prehod strgala. Optimalne hitrosti vode za čiščenje s kovinskimi strgali so med 0.6 in 3 m/s (AWWA, 2014).

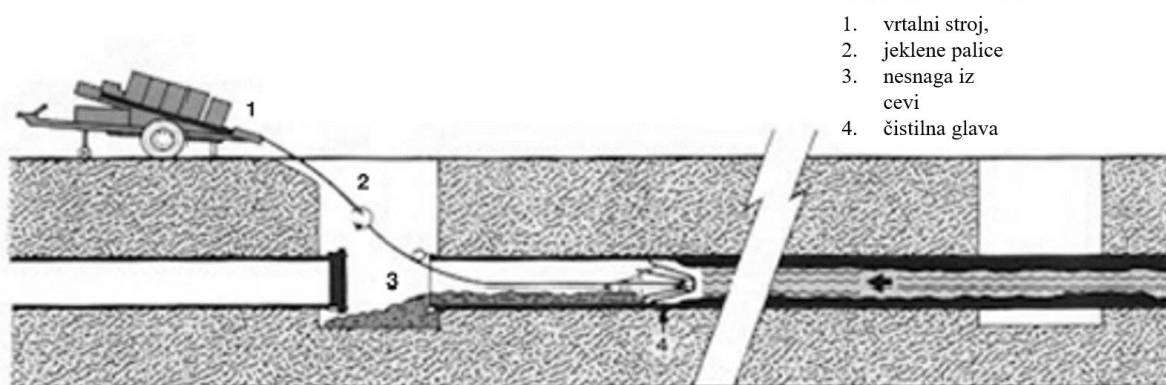
Dolžina odseka, ki ga lahko čistimo je odvisna od generiranega vodnega tlaka in pa ureditve odlaganja umazane vode s sedimenti. Navadno iz vreč, napoljenih s peskom zgradimo majhen jez in ustvarimo prostornino, kamor napeljemo onesnaženo vodo. Tam se sprani delci posedejo na dno, vodo pa ponavadi speljemo na lokalno čistilno napravo. Po čiščenju cev speremo in dezinficiramo. Tehnologija je primerna za uporabo v ceveh različnih premerov, narejenih iz litega železa ali jekla ter brez notranjega oplaščenja, prevleke ali premaza (Ellison, 2002).



Slika 27: Zaporedje diskov, ki funkcionirajo kot bat, ki vleče kovinska strgala skozi cev (AWWA, 2014)

3.2.2.4 Vrtanje notranjosti cevi - povrtanje

Vrtanje notranjosti cevi je tehnologija čiščenja, pri kateri s pomočjo vrtnega stroja očistimo posledice korozije iz litoželeznih cevi, cevi iz nodularne litine ter jeklenih cevi premera večjega od 76 milimetrov. Proces je primeren za čiščenje odsekov daljših od 121 metrov. Vrtni stroj za čiščenje uporablja vrtno glavo pritrjeno na jeklene palice, katerih dolžino lahko prilagodimo v odvisnosti od dolžine čiščenega odseka. Rotirajoča se vrtna glava z jeklenimi rezili se vrtni s hitrostjo 750 obratov na minuto (Najafi, 2010). Proces izvajamo v nasprotni smeri kontroliranega toka po vodovodni cevi, da tok vode iz nje odplakne zrahljani sediment. Z tehnologijo vrtnja skozi cev lahko očistimo tudi loke do 22.5°, večje pa moramo odstraniti in zamenjati (AWWA, 2014).



Slika 28: Prikaz čiščenja vodovodnih cevi z vrtnjem (AWWA, 2001)

3.2.3 Popravila vodovodnih cevi

Popravila smo definirali kot točkovno sanacijo, na mehansko in statično sicer ustreznih ceveh. Najbolj uporabljane tehnologije popravil vodovodnih cevi vključujejo notranjo zatesnitev spojev da se preprečijo direktne vodne izgube ter vakuumske izkope za izvedbo lokalnih popravkov (AWWA, 2001).

3.2.3.1 Notranja zatesnitev spojev in razpok

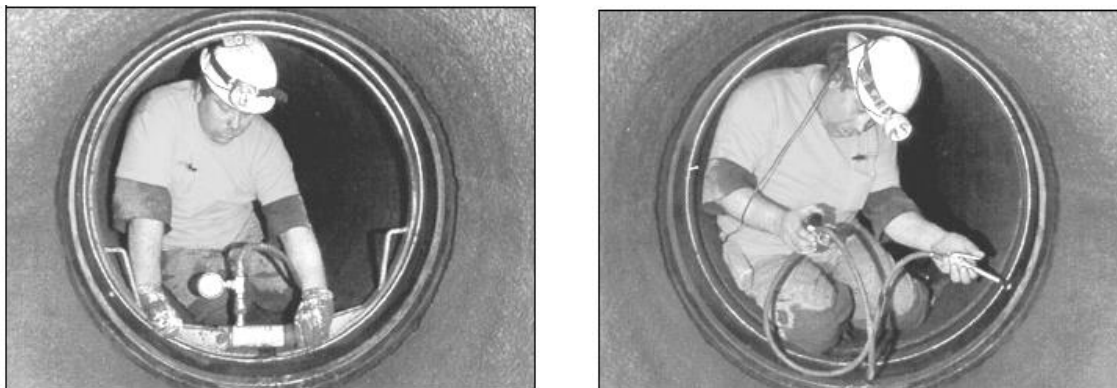
Notranja zatesnitev spojev in razpok (angl. Internal Joint Sealing, Localized Sealing) je in-situ tehnologija, ki jo uporabljamo za zatesnitev ali ojačitev spojev, popravila razpok na ceveh ali za preprečitev infiltracije podzemne vode. Temeljni postopek pri metodi je zatesnitev s sintetično gumasto membrano (Etilen Propilen Dien Monomer), medtem ko se za kanalizacijske cevi uporablja drugačne materiale. Notranja zatesnitev spojev in razpok zahteva vstop osebja in je zato primerna le za cevi premera 40 centimetrov in več. Tesnila za spoje so navadno dimenzionirana za delovne tlake do 20 barov in različnih širin, njihova standardna širina je 12 centimetrov, pred vgradnjo pa morajo biti shranjena v suhem okolju pri sobni temperaturi ter strokovno pregledana s strani osebja. Tehnologija je primerna za termoplastične, jeklene in litoželezne cevi ter cevi iz nodularne litine.

Postopek notranje zatesnitve

1. Za ustvarjanje optimalnih delovnih razmer za izvajalca ročno postrgamo in oščetkamo vse usedline oziroma drobir iz cevi, za trdne depozite pa lahko uporabimo tudi električna orodja. Tudi spoji morajo biti popolnoma čisti.
2. Spoje nato napolnimo s Portland cementom in površino poravnamo z notranjo površino cevi ter tako odstranimo odvečni material. Polnjenje spoja moramo vedno izvesti pred končno pripravo površine v okolici spoja, ki mora biti zglajena in pripravljena do te mere, da se tesnilo odlično prilega.
3. Neposredno pred vgradnjo tesnila s suho ščetko in netoksičnim vlažilnim milom očistimo in navlažimo območje, kamor bo tesnilo nalegalo ter nato pozicioniramo tesnilo in jekleni zadrževalni oziroma pritrdilni pas (angl. retaining band).
4. Sledi zatesnitev fiksirnega pasu s pomočjo hidravlične naprave ter dvakratno testiranje spoja - ali slednji prenese ustrezne tlake in ali tesni; ter izdelava končnega poročila.
5. Skozi vse korake mora biti varnost osebja vedno na prvem mestu. Podobno poteka tudi zatesnitev razpok.



Slika 29: Levo čiščenje spoja in desno lubriciran spoj in nameščanje tesnila (J. Fletcher Creamer & Son, Inc., 2016)



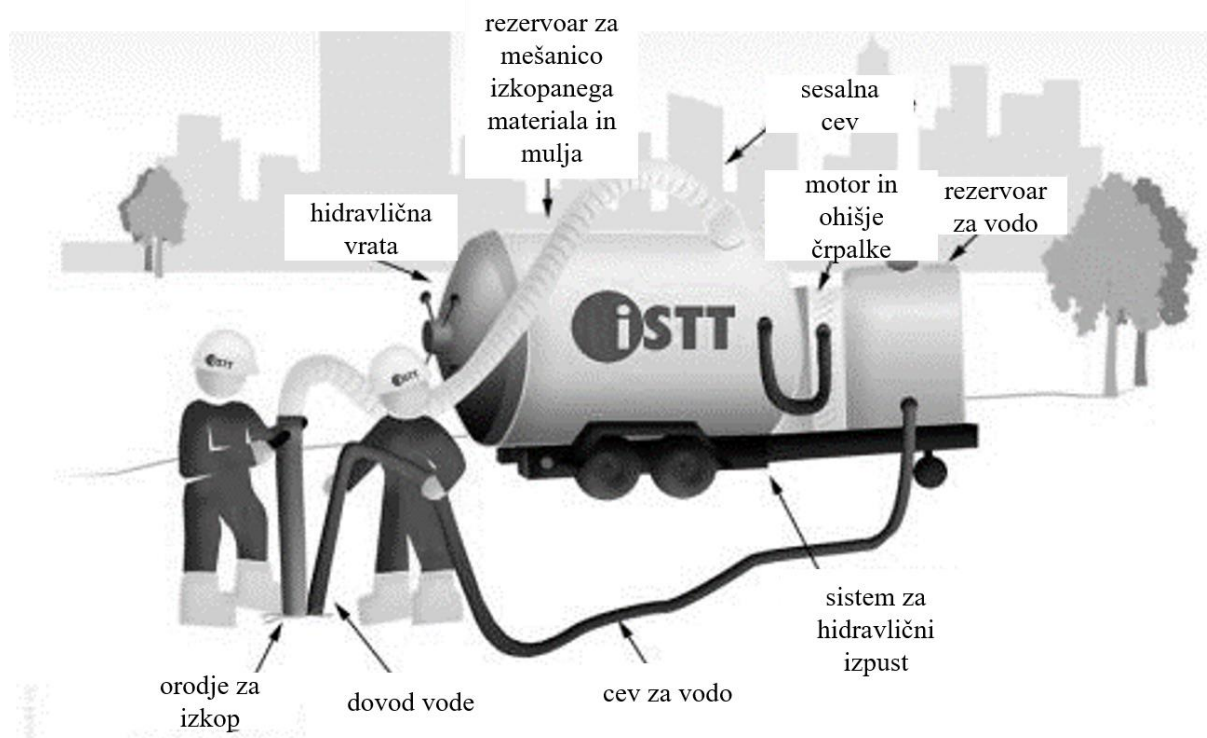
Slika 30: Levo nameščanje pritrtilnega pasu in desno testiranje spoja tesnila (J. Fletcher Creamer & Son, Inc., 2016)

Za popravila cevi manjših premerov, kamor osebje ne more vstopati, uporabljamo robote ali vitle.

3.2.3.2 Vakuumski izkop

Alternativa metodi notranje zatesnitve predstavlja tehnologija vakumskega izkopa (angl. Potholing for Local Repair, Vacuum Excavation System, Keyhole Methods for Lateral Reinstatement), pri kateri ni potreben vstop osebja v jašek (cevi premera manjšega od 40 cm). Tehnologijo lahko uporabljamo za reševanje problemov kot je zamašen odsek cevi oziroma za katerokoli situacijo, pri kateri potrebujemo direkten in hiter dostop do odseka. Na ta način lahko izkopljemo luknjo, ki zavzema približno 0.2 m² in je dovolj globoka, da postavimo željeno infrastrukturo (SSC Boring, 2016). Za odstranjevanje drobirja in mulja pri tehnologiji vakumskega izkopa uporabljamo vodne ali zračne šobe. Sestavni deli vakumskega izkopa so rezervoar za načrpano zemljino, mulj oziroma sediment iz cevi, sesalna cev in črpalka, ki prečrpa mulj iz cevi v rezervoar ter motor, ki celoten sistem napaja. Vakuumski izkop temelji na kinetični energiji curka zraka, ki penetrira in razširi oziroma zlomi zemljino in jo s pomočjo vakuuma tudi poseša. Variacija vakumskega izkopa je izvedba s pomočjo vode, ki se od klasične tehnologije razlikuje, saj vsebuje dodatni rezervoar, črpalke in cevi za vodo ter razne brizgalne naprave oziroma šobe (ISTT, 2016). Tehnologija ni primerna za izkop v kamninah ali v zemljinah s kamni premera večjega od 30 cm (SSC Boring, 2016).

Vakuumski način izkopa uporabljamo predvsem na lokacijah, kjer uporaba večje mehanske opreme, kot so bagri, kopači ali vrtalna oprema, predstavlja nevarnost za okoliško infrastrukturo in cev. Vakuumsko tehniko lahko uporabimo tudi pri izkopu plitvih jarkov ali pa med obnovo vodovodne cevi za njeno sprotno čiščenje.



Slika 31: Shema tehnologije vakuumskega izkopa pri točkovnem popravljanju cevi (ISTT, 2016)

3.2.4 Obnova vodovodnih cevi

Ko govorimo o obnovi vodovodnih cevi mislimo na skupek tehnologij znotraj rehabilitacije, s pomočjo katerih izvedemo linijsko sanacijo celotne cevi oziroma celotnega odseka vodovodnega sistema. Tehnologije obnove delimo na ojačitvene, delno ojačitvene in tehnologije brez ojačitve vodovodnih cevi.

3.2.4.1 Tehnologije brez ojačitve in z delno ojačitvijo ostenja cevi

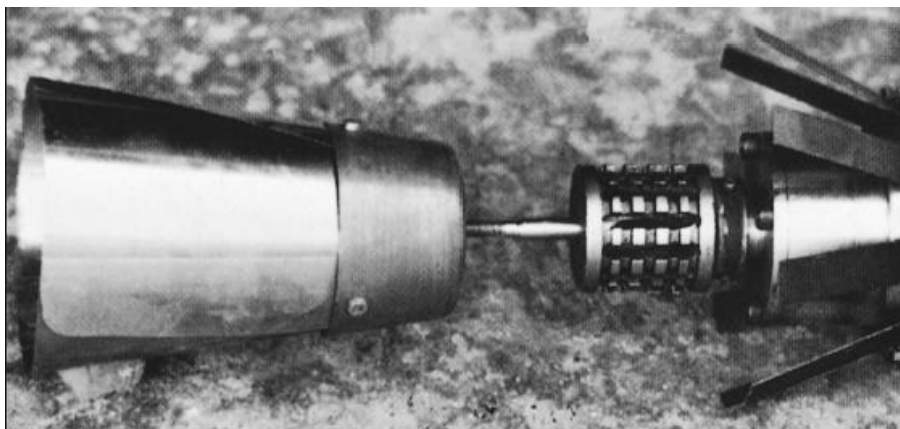
Tehnologije obnove brez ojačitve ostenja cevi (angl. Non – Structural Methods) so tehnologije, pri katerih se za izpolnitev zahtev za ohranjanje mehanske odpornosti in statične stabilnosti odseka popolnoma zanašamo na gradbene lastnosti obstoječe, rehabilitirane cevi (ISTT, 2016), delno ojačitvene (angl. Semi – Structural Methods) pa metode, kjer del obremenitev prevzame tudi nov sloj ali plašč znotraj cevi.

Brizganje cementne malte (angl. Cement Mortar Lining)

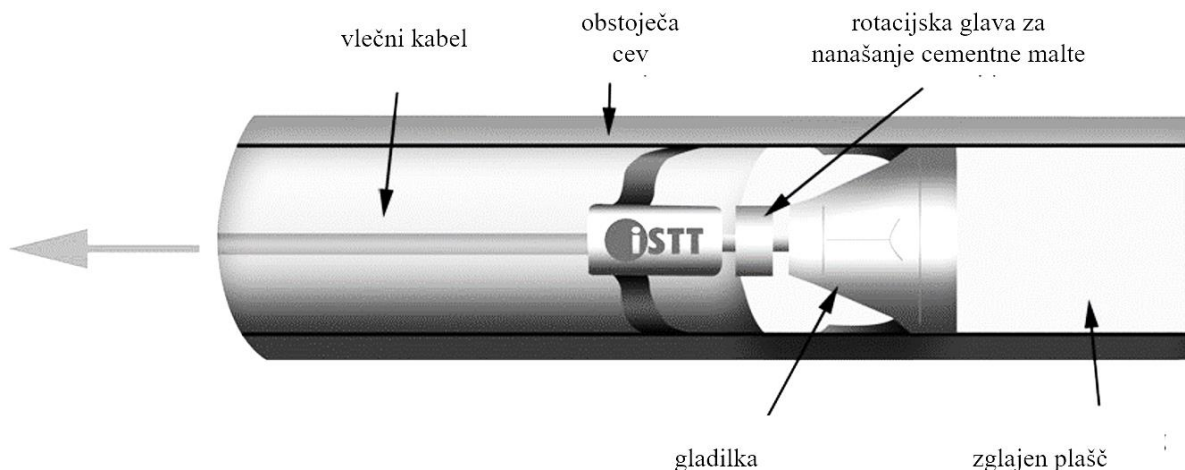
Namen brizganja cementne malte je zaščita kovinskih cevi pred oksidacijo. Tehnologija se je pojavila v sredini 30ih let 20. stoletja, ko je bila omejena na uporabo zgolj za cevi, ki so bile dovolj velike, da je vanje lahko vstopil človek. Okrog leta 1960 se je pričelo uveljavljati daljinsko oplasčevanje, ki je omogočilo brizganje cementne malte v ceveh manjših premerov. Danes oplasčenje s cementno malto uporabljamo predvsem pri ceveh iz nodularne litine ali pa pri jeklenih ceveh (AWWA, 2015).

Postopek izdelave plašča iz cementne malte poteka tako, da cementno malto, ki je v cev načrpana s pomočjo črpalke, z rotacijsko glavo električnega ali hidravličnega stroja z zračnim pogonom (angl. air powered machine) naneseemo na notranje stene cevi. Stroj za oplasčevanje

je opremljen z rotirajočimi se gladilkami ali pa s stožčasto vlečno gladilko, locirano za brizgalno, rotirajočo glavo, ki s premikom skozi cev stroj cementno malto zgladi. S cementno malto lahko tvorimo tudi ojačitveno oplaščenje in sicer tako, da na notranje stene cevi najprej brez glajenja nabrizgamo približno 13 milimetrski sloj cementne malte, nato ob plašč vgradimo armaturo (prepletene žične mreže) in ponovno nabrizgamo 13 milimetrski sloj malte. Nato nadaljujemo z istimi postopki, kot pri nestrukturnem oplaščenju. Strukturno oplaščenje navadno uporabljamo za rehabilitacijo korodiranih jeklenih cevi večjih premerov, saj armatura veže (drži) malto skupaj, ne glede na razvoj večjih lukenj v cevi in s tem podaljša življenjsko dobo cevi. S tehnologijo brizganja cementne malte lahko rehabilitiramo odseke dolžin med 92 in 458 metri, odvisno od premera cevi, lokacije ventilov, zavojev, profila cevi in naklona.



Slika 32: Naprava za brizganje cementne malte in gladilka za uporabo v ceveh majhnega premera (AWWA, 2014)



Slika 33: Shema tehnologije oplaščenja s cementno malto (ISST, 2016)

Postopek oplaščenja z brizganjem cementne malte

V sklopu nestrukturne obnove in sicer oplaščevanja s cementno malto so pogosti naslednji opisani postopki. Vsa oprema, ventili oziroma armature, ki bi lahko zavirale prehod stroja za brizganje cementne malte morajo biti odstranjene. V ceveh večjega premera, kamor osebje lahko vstopi je potrebno očistiti ventile, pri manjših premerih cevi čiščenje ventilov lahko

zahteva celo manjše, lokalne izkope. V ceveh premera 300 milimetrov in manj morajo biti odstranjeni loki 22.5°, 45° in 90°, v ceveh premera 400 milimetrov morajo biti odstranjeni loki (krivine) 45° in 90°, cevi premera večjega od 500 milimetrov lahko zahtevajo lokalne izkope v bližini lokov. V splošnem je najboljše, če je cev, na katero pršimo zaščito, čim bolj gladka, kar lahko dosežemo s katero od tehnologij čiščenja.

1. Potrebno je odstraniti vso vodo iz cevi, kar lahko storimo s pomočjo gumijastih brisalnikov, ki jih s pomočjo vitla povlečemo skozi cev. Prav tako morajo vsi stranski ventili (angl. branch valves) dobro tesniti.
2. Z žago odrežemo in odstranimo 1- 1,5 metra cevi v primeru litoželezne cevi, v primeru oplaščenja jeklene cevi, pa režemo z rezalnim gorilnikom (*angl. torch*). Kasneje kos nazaj spojimo z matično cevjo.
3. V mešalni hruški ali betonarni, ki se nahaja v bližini vstopne jame pripravimo mešanico cementne malte, ki vsebuje enakovredna deleža kremenčevega peska in Portland cementa. Malta je nato dostavljena do stroja za oplaščenje, katerega tip je odvisen od premera cevi.
4. V cevi premera od 100 do 600 milimetrov ali celo večjih dimenzij, malto črpamo skozi visokotlačne cevi do brizgalnega stroja. Posebni vitli z enakomerno hitrostjo vlečejo stroj skozi cev in s tem zagotavljajo enakomerno debelino plašča cementne malte.
5. Operater stroja skozi celoten postopek regulira nanašanje cementne malte, gladilke na mehanski pogon pa maltno oblogo gladijo.
6. Približno eno uro po oplaščenju je potrebno cevi, posebno individualne priključke in stranske cevi premera manjšega od 50 milimetrov, preprihati z zrakom.
7. Pri gravitacijskih cevovodih lahko še 24 ur po brizganju cementne malte vlažimo betonski plašč, nato pa cev kloriramo z namenom doseganja mikrobiološke čistosti ter ustreznega pH-ja, jo testiramo na vodotesnost in vrnemo v obtok oziroma uporabo. Odpadno vodo obdelamo (očistimo) glede na lokalno zakonodajo. Večina cevi se v uporabo vrne štiri do osem dni po oplaščenju, odvisno od zahtev po dezinfekciji in številu ter lokaciji ventilov.

Opláščenje s cementno malto ima dve prednosti. Prvič, cementna malta je visoko alkalna in zaščiti cev proti koroziji. Relativno gladka notranjost cementnega plašča pa zmanjša hidravlično trenje in tako izboljša značilnosti toka. Prav tako je oplaščenje s cementno malto cenejša tehnika oplaščenja. Plašč iz cementne malte je debelejši od ostalih, kar pomeni večji vpliv na pretočno sposobnost cevi (tj. njeno zmanjševanje). Včasih lahko z omenjeno tehnologijo žal zamašimo manjše stranske cevi oziroma individualne priključke (ISTT, 2016).



Slika 34: Cev, oplaščen s cementno malto in pripravljena za uporabo (AWWA, 2014)

Pršenje polimernih nanosov (angl. Sprayed on Polymer Lining)

Pršenje je tehnologija rehabilitacije, pri kateri na obstoječo cev napršimo tanek sloj zaščite. V poznih 70ih letih se je pojavila v Veliki Britaniji in sicer za rehabilitacijo železnih in jeklenih cevi premera večjega od 100 mm. Poznamo več različnih materialov za pršenje, ki so danes v širši uporabi in sicer poliuretan, elastomerni polimer (poliurea) ter epoksi smole, njihovo pršenje pa služi rehabilitaciji starih, neoplaščenih cevi, katerih struktura (nosilnost,...) je sicer neoporečna (AWWA, 2014). Prednost tehnologije pršenja polimerov je, da so hitre in sicer omogočajo celotno izvedbo od čiščenja pred pršenjem, do vrnitve cevi v uporabo, v enem dnevu, s tem da je pred ponovno uporabo potrebno ali klorirati cev ali pa uporabnikom svetovati preventivno vretje vode. Nekateri izmed materialov, ki jih pršimo na cevi, nudijo tudi strukturno podporo (tj. ojačitev) obstoječi cevi. S tehnologijo pršenja lahko rehabilitiramo cevi različnih premerov ter dolžin do 200 metrov. V primerjavi z oplaščenjem s cementno malto imajo polimerne zaščite cevi višjo natezno in upogibno trdnost, zato potrebe po dodatnem armiranju ni. S pomočjo obeh tehnologij – pršenja cementne malte in pa polimerov – lahko premostimo luknje, vrzeli oziroma druge napake na cevi. Polimerna zaščita je v primerjavi z zaščito s cementno malto bolj zanesljiva (Ellison in sod., 2010).

Polimerni premazi, s katerimi obnovimo vodovodne cevi imajo veliko prednosti:

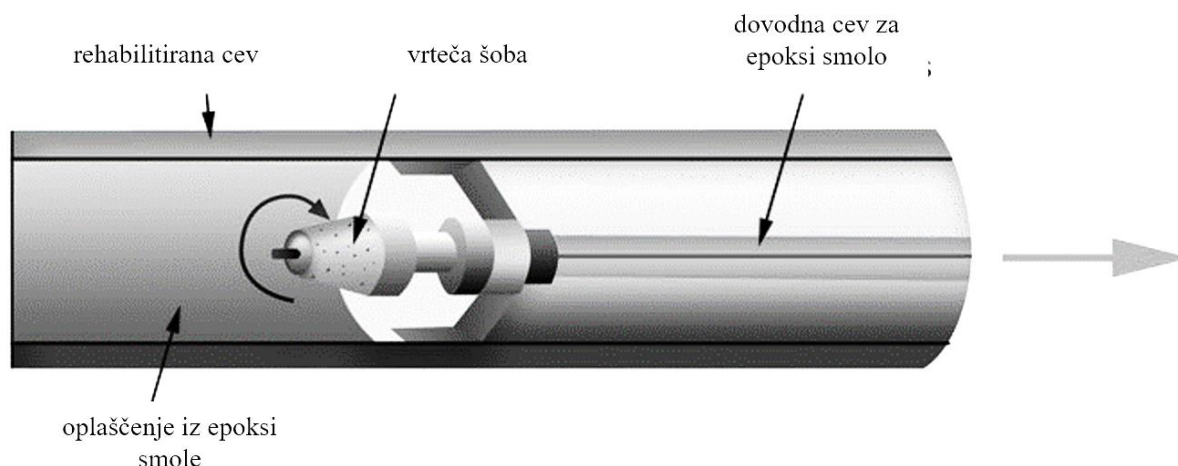
- odstranjevanje težav, povezanih s kakovostjo vode in notranjo korozijo, saj so polimerni premazi učinkovita prevleka, odporna proti koroziji,
- zmanjšajo trenje in s tem povečajo prevodnost cevi, saj so polimerni premazi tanjši in bolj gladki od cementne malte,
- nudijo hitro vrnitev cevi nazaj v uporabo in sicer je ponovna uporaba možna že v enem ali dveh dneh,

- so varni, ker praviloma ne vsebujejo nevarnih hlapljivih organskih spojin,
- ne zaprejo oziroma zamašijo stranskih priključkov,
- z njihovo pomočjo se lahko zaščitijo tudi loki do 45°, s čimer se izognemo stroškom izkopa in demontaže lokov,
- uporabo v različnih situacijah, kot so korozijske luknje, razpoke, slabi spoji cevi,
- lahko izboljšajo gradbene lastnosti cevi.

Postopek pršenja polimernih materialov lahko poteka v dveh ali v enem dnevu. V kolikor se odločimo za dvodnevni poseg, delo poteka tako, da prvi dan očistimo in dezinficiramo cev ter jo ponovno priključimo na omrežje, drugi dan pa ponovno vzamemo iz uporabe, v kolikor je to potrebno izpraznimo, napršimo polimerno zaščito ter cev ponovno dezinficiramo, speremo ter vrnemo v uporabo. Če želimo cev zaščititi v enem dnevu, jo najprej očistimo, pregledamo, zaščitimo s pršenjem, ponovno pregledamo in vrnemo v uporabo. Čas, ki ga potrebujemo za celotno operacijo, je odvisen od vrste polimernega materiala (AWWA, 2014).

Postopek pršenja polimernih nanosov na vodovodne cevi

1. Pred čiščenjem je potrebno locirati vse točke, kjer bomo izvršili lokalne izkope, vse loke, ventile in druge pomembne značilnosti vodovodnega odseka.
2. Nato je priporočen pregled cevi s kamero, s čimer ugotovimo kakšno čiščenje cevi je potrebno ter identificiramo vse napake na cevi in predvidimo debelino potrebne zaščite. Nato cev očistimo ter iz nje odstranimo vso vodo ter preverimo stanje opreme za pršenje (pretok iz črpalke, temperaturo in sestavo mešanice).
3. Sledi vstavljanje pršilne cevi v cev, ki jo želimo rehabilitirati in pa pršenje zaščite skozi šobo na koncu pršilne cevi. Pršenje lahko izvajamo le v primeru, ko so stene cevi toplejše od 3°C oziroma od temperature, ki jo predpiše proizvajalec. Med pršenjem za doseganje gladke zaščite enakomerne debeline, spremljamo hitrost vitla in napredovanje pršilne cevi.
4. Takoj po koncu pršenja cev, ki jo želimo rehabilitirati, zapremo na obeh koncih in se na ta način izognemo možnemu onesnaženju ali pa poplavljanju z vodo, ki bi lahko vdrla v cev. Nato po navodilih proizvajalca pršenega materiala počakamo, da se material posuši in po potrebi pršimo še enkrat. Polimerni materiali, ki jih uporabljamo za pršenje, imajo na začetku vgradnje nizko viskoznost, kar omogoča enostavno črpanje in dobro oprijemljivost, ko se posušijo pa imajo visoko trdnost, so gladki, ne lepljivi ter ne mastni. Debelina polimerne zaščite varira od 1 milimetra do 8.5 milimetrov.
5. Ko se oplasčenje posuši, osebje vizualno pregleda rehabilitirano cev na obeh straneh, nato pa sledi še verificiranje kakovosti zaščite s pomočjo kamere. Paziti moramo tudi na priključke stranskih cevi na glavne, saj se slednji radi zamašijo.



Slika 35: Postopek pršenja epoksi smole (ISTT, 2016)

Iz Preglednice 5 so razvidne značilnosti tehnologije brizganja polimernih nanosov ter prednosti oziroma pozitivni učinki, ki jih omenjene značilnosti prinašajo.

Značilnosti	Prednosti
neprekinjeno oplaščenje	prepreči notranjo korozijo in manjša puščanja
tanko oplaščenje	ne vpliva bistveno na notranji premer cevi
oprijeto oplaščenje	ne vpliva bistveno na notranji premer cevi
gladka površina	poveča pretočnost
vgradnja pri temperaturi okoliškega zraka	ni potrebe po dodatnem segrevanju
vgradnja brez izkopa	glej prednosti tehnologij brez izkopa (Poglavje 2.1.2.5)
enostavna in prilagodljiva oprema	uporaba za cevi premera 100 mm in več
vrnitev cevi v uporabo	možno še isti dan
odpornost proti obrabi	dolgoročna

Preglednica 5: Značilnosti in prednosti brizganja polimernih nanosov (AWWA, 2014)

Polimere, kot so epoksi smola, poliuretan in poliurea najpogosteje nanesemo v debelini 1 milimeter. Epoksi smole nanašamo v debelinah od 1 do 5 milimetrov. Zaščita z epoksi smolo nudi zgolj zaščito pred notranjo korozijo in načeloma ne izboljšuje gradbenih in statičnih lastnosti rehabilitirane cevi, za razliko od ostalih polimerov pa se suši od 12 do 16 ur. Zaščita z epoksi smolo je gladka, trajna in obstojna. Poliuretan in poliurea sta dva materiala, katerih zaščita je lahko tudi delno ojačitvena, odvisno od debeline zaščite. Ta mora biti za ojačitveno zaščito večja od milimetra. Poliuretan nanašamo centrifugalno s pomočjo vrteče se pršilne glave, poliureo pa včasih tudi ročno. Če želimo, da poliurea deluje kot ojačitvena zaščita, jo moramo nanesti v več slojih debeline od 0.5 do 12.5 milimetrov (EPA, 2009). Poliuretan in poliurea se lahko posušita tudi v 30 minutah (AWWA, 2014).



Slika 36: Pršilna glava med delom (Sunidh, 2015)



Slika 37: Stroj za pršenje epoksi smole (AWWA, 2001)

3.2.4.2 Ojačitvene tehnologije obnove

Ojačitvene metode (angl. Structural Methods) pomagajo obstoječi cevi ohranjati mehansko odpornost in stabilnost. Včasih ojačitvena zaščita popolnoma prevzame vse obremenitve obstoječe cevi.

Oprijeto oplasčenje cevi

Tehnologija oplasčenja pomeni vgradnjo novega sloja oziroma plašča termoplastične cevi znotraj obstoječe, degradirane cevi. Poznamo dve različni vrsti tehnologije in sicer oprijeto (angl. Close Fit Sliplining) ter ohlapno oplasčenje (angl. Sliplining). Slednje klasificiramo kot metodo zamenjave vodovodne cevi, saj z njeno uporabo novi plašč prevzame vse funkcije stare

cevi. Ravno zato bomo v tem poglavju govorili zgolj o oprijetem oplaščenju. Pri slednjem gre za posebno tehniko vgradnje in sicer je vstavljena cev začasno modificirana, saj ji zmanjšamo prečni prerez z namenom enostavnejšega vstavljanja v obstoječo cev. Za tem, ko je nov sloj vstavljen v poškodovano, obstoječo cev, ga moramo s pomočjo določene tehnologije ponovno spraviti v obliko, katero naj bi v novi cevi tudi zavzel. Primarna prednost tehnologije oprijetega oplaščenja je fleksibilnost debeline notranje cevi (plašča) ter izboljšanje hidravličnih in gradbenih lastnosti lastnosti rehabilitirane cevi (EPA, 2009).

Vstavljanje tesno prilegajoče se cevi je možno zaradi 'spomina' termoplastičnih materialov, ki jim s pomočjo tlačnih ali nateznih obremenitev spremenimo obliko, ti pa se, ko obremenitev popusti, vrnejo nazaj v prvotno stanje. Ta lastnost omogoča začasno deformacijo termoplastičnih cevi in posledično njihovo lažje vstavljanje v rehabilitirano cev.

Za vstavitev tesno prilegajoče se cevi se odločimo v primeru manj načete mehanske odpornosti in/ali stabilnosti cevi, katerih pričakovana življenjska doba še ni dosežena. Primeri poškodb, pri katerih se lahko odločimo za omenjeno tehnologijo, so puščanje in razpoke, tehnologija pa se uporablja tudi za izboljšanje hidravličnih lastnosti cevi. Uporabljamo jo tako pri gravitacijskih cevovodih, kot tudi za cevovode pod tlakom, izvaja pa se tako na vodovodnih ceveh, kot tudi na kanalizacijskih ceveh, plinovodih in industrijskih vodih. Beton, azbest cement, litoželezo, PVC in PE so materiali obstoječih cevi, ki jih lahko rehabilitiramo z oprijetim oplaščenjem (AWWA, 2014).

Tehnologijo oprijetega oplaščenja lahko razvrstimo v dve primarni kategoriji vezani na način zmanjšanja njihovega prečnega prereza pred vstavitvijo v rehabilitirano cev. Poznamo torej simetrično zmanjšane cevi (angl. symmetrical reduction systems) ter prepognjene cevi (angl. folded and formed systems).

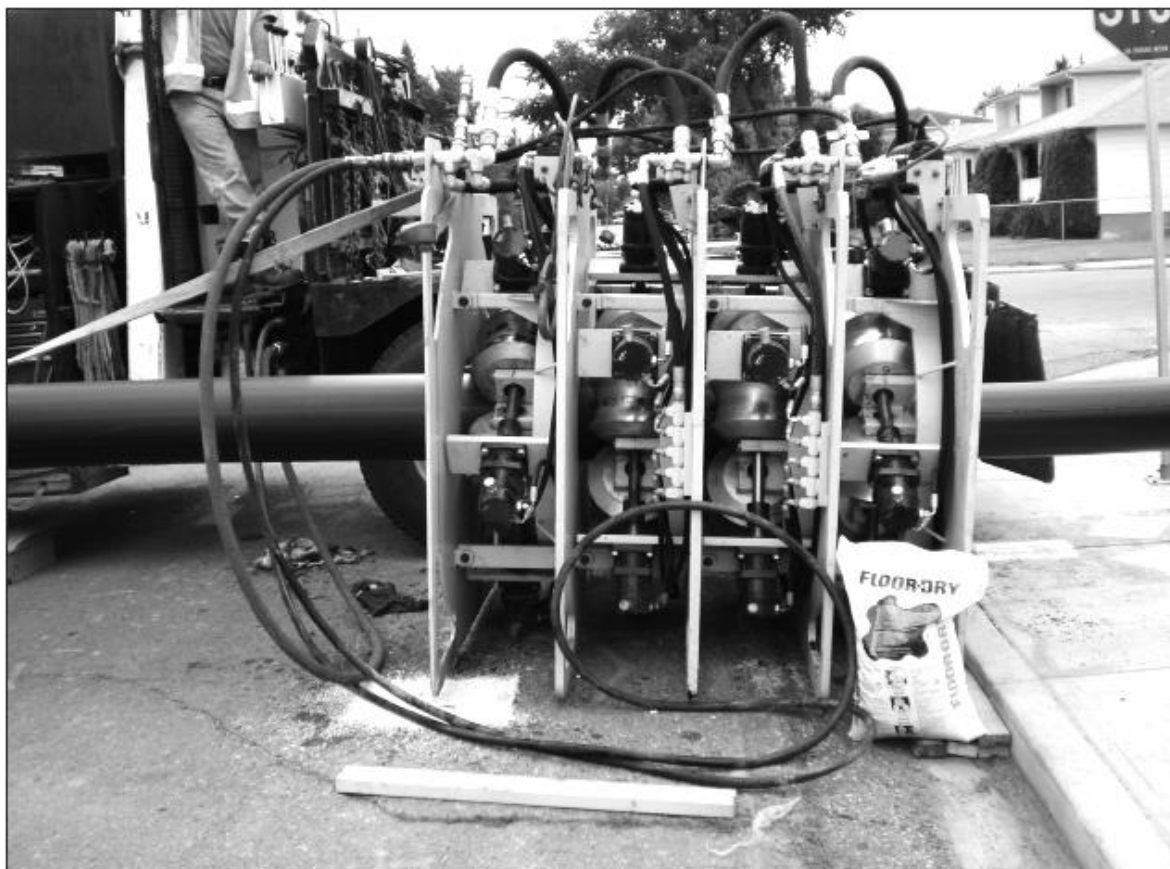
- **Simetrično zmanjšane cevi**

Pri metodi simetrično zmanjšane cevi v rehabilitirano cev vstavimo okroglo termoplastično cev z zunanjim premerom enakim ali pa malo večjim od premera rehabilitirane cevi, ki ji pred tem začasno, s pomočjo tlačnih valjev (angl. compression rollers) zmanjšamo premer. Termoplastično, navadno polietilensko cev, nato s pomočjo notranjega tlaka povrnemo nazaj v prvotno obliko oziroma premer (AWWA, 2001). Debelina cevi varira glede na stopnjo ojačitve, ki jo želimo doseči.

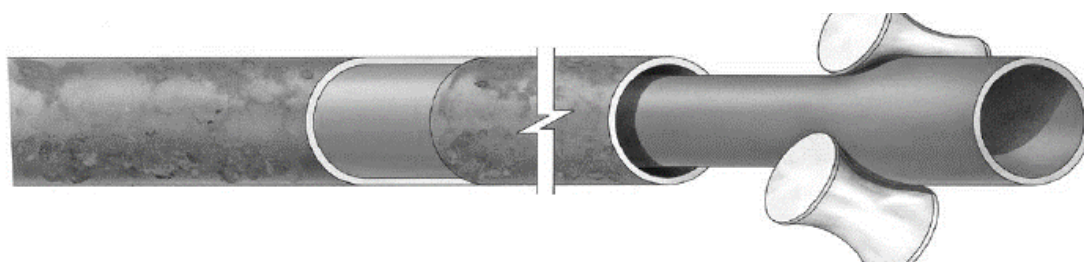
Poznamo dve primarni tehnologiji zmanjšanja premera termoplastične cevi in sicer:

- **tlačni sistem (angl. static die system)**, pri katerem polietilensko cev povlečemo skozi tlačni sistem za zmanjšanje premera direktno v rehabilitirano cev ter hkrati vitel držimo napet, dokler polietilenska cev ni v celoti vstavljena v rehabilitirani cevi. Nato vitel popustimo, polietilenska cev pa sama zavzame svojo prvotno obliko. Ta tehnologija je primerna za rehabilitacijo litoželeznih cevi, jeklenih cevi ter cevi iz nodularne litine, premerov od 102 do 457 milimetrov.
- **valjanje (angl. roller based system)** s sistemom dveh ali treh valjarjev, pri katerem polietilensko cev povlečemo skozi valjarje direktno v rehabilitirano cev. Tehnologija z dvema valjarji je najprimernejša za vstavljanje do 305 metrov

dolгих odsekov polietilenskih cevi, premerov do 1000 milimetrov v litoželezne in jeklene cevi, tehnologija s tremi valjarji pa za premere do 457 milimetrov. Posebnost tehnologije s tremi valjarji je, da vložena stisnjena cev v odvisnosti od zunanje temperature zadrži modificirano obliko dlje, tudi več dni. Da se cev vrne v svojo prvotno obliko, je potrebno cev do 24 ur izpostavljati visokemu notranjemu vodnemu tlaku.



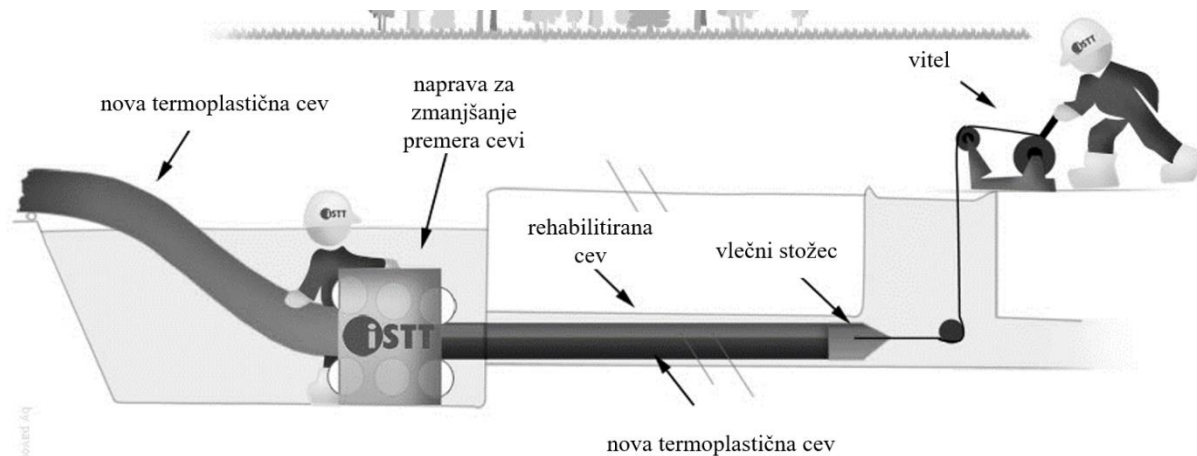
Slika 38: Stroj z valjarji za simetrično zmanjšanje premera termoplastične cevi (AWWA, 2014)



Slika 39: Postopek simetričnega zmanjšanja premera z valjanjem (VIR: predavanja pri predmetu Trenchless Technologies)

Pri tehnologiji simetričnega zmanjšanja premera cevi energija, ki jo potrebujemo za zmanjšanje polietilenske cevi, raste s premerom cevi in debelino sten cevi. Posebno pozorni moramo biti pri uporabi te tehnologije za rehabilitacijo cevi, katerih notranji premer se veliko spreminja. Ker so uporabljene polietilenske obloge redko standardnih dimenzij, je potrebno cevi izdelati po naročilu, kar navadno pomeni višje cene ter časovno potratnost. Poleg tega je potrebno na lokacijah lokov narediti izkop in loke rehabilitirati ročno. Ker se cevi pred zmanjšanjem

premera na gradbišču vari v dolge odseke, zahteva tehnologija simetričnega zmanjšanja cevi malce več prostora.



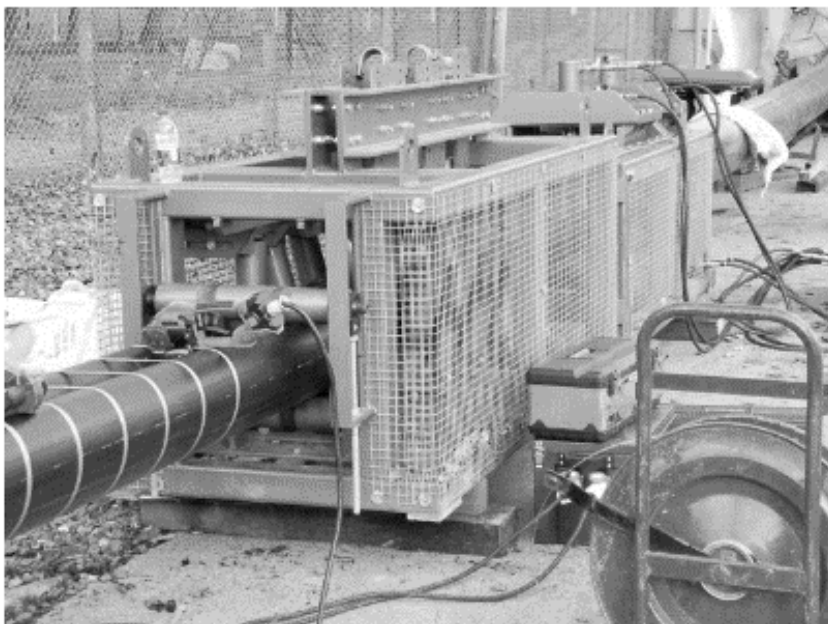
Slika 40: Postopek simetričnega vstavljanja tesnilne obloge v obstoječo cev (ISTT, 2016)

- Prepognjene oziroma zložene cevi

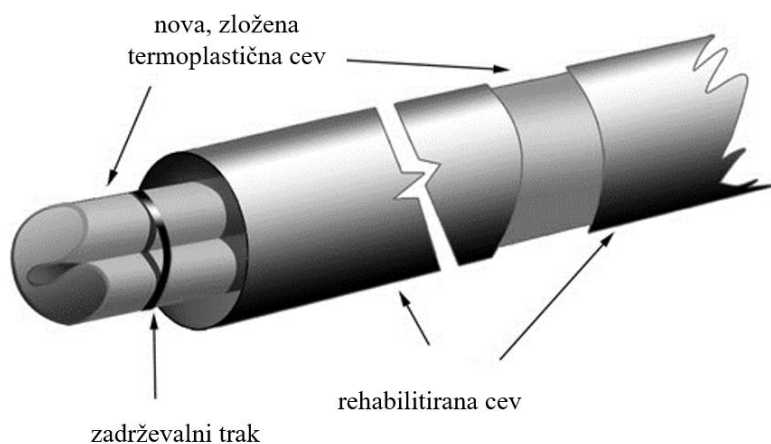
Prepognjene cevi delimo v dve kategoriji – prepognjene na gradbišču ali pa v tovarni. Slednje najprej segrejemo v tovarni in jih tam upognemo, da dobijo prečni prerez v obliki črke C ali U ter jih nato v kolutih transportiramo na gradbišče. Dolžina ene prepognjene cevi na kolutu lahko znaša tudi do 610 metrov, odvisno od njenega premera. Na gradbišču termoplastično cev s pomočjo vitlov vstavimo v obstoječo cev in jo s pomočjo pare (vročine in/ali tlaka) vrnemo prvotno obliko. Najpogosteje uporabljane termoplastične cevi, primerne za to metodologijo so polietilenske cevi debeline od 2 do 5 mm. Premeri cevi, ki jih lahko rehabilitiramo s tehnologijo znašajo od 102 do 406 milimetrov (AWWA, 2014).

Za rehabilitacijo vodovodnih cevi je bila nedavno v Veliki Britaniji razvita tehnologija polietilenske obrobe, ojačane z krožno tkano poliestrsko prejo debeline 3 milimetre, ki jo lahko trenutno uporabljamo za obnovo cevi premerov od 76 fo 152 milimetrov. Ta tehnologija omogoča tudi rehabilitacijo lokov brez dodatnega izkopa.

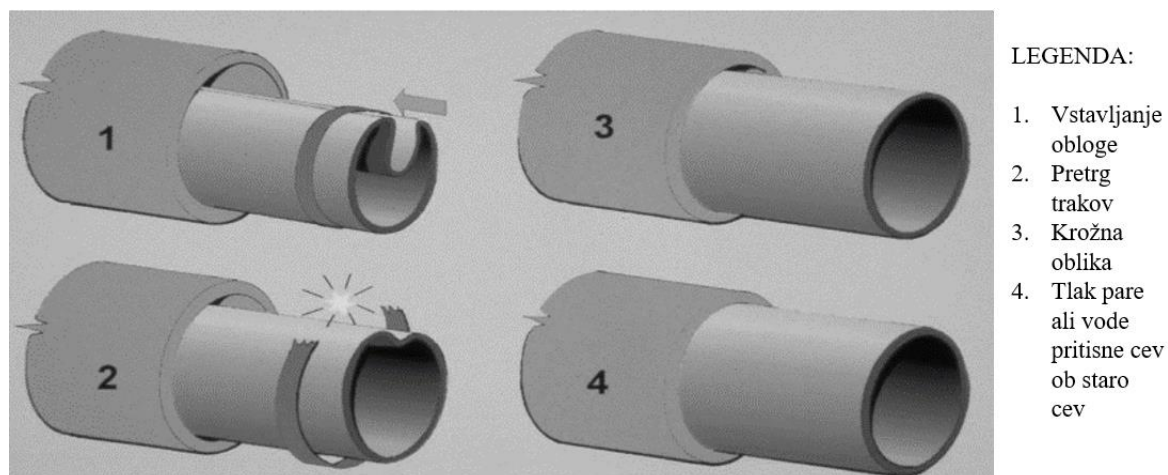
Cevi, ki jih zložimo na gradbišču so navadno upognjene v obliko črke U, nato pa z vitlom potegnjene v obstoječo cev. Ko napetost vitla popustimo, počijo zadrževalni trakovi, oviti okoli cevi, ki ohranjajo njeno obliko. Postopek je viden na sliki 46. Po vstavljanju polietilenske cevi ji s pomočjo notranjega tlaka vrnemo primarno obliko. Tehnologija je primerna za cevi premera do 914 milimetrov. Njihova prednost pred cevmi, zloženimi v tovarni je možnost enostavnega spajanja dodatnih odsekov cevi na mestu vgradnje. Prednost prepognjenih cevi so tudi krajši časi vgradnje ter manjša občutljivost na spremembe notranjega premera rehabilitirane cevi. Prav tako lahko prepognjene cevi vstavimo v manjše vstopne jaške kot simetrično zmanjšane cevi.



Slika 41: Stroj za zlaganje cevi na gradbišču v obliko črke U (PE100+ Association, 2016)



Slika 42: Vstavljanje zložene termoplastične cevi v obstoječo cev (ISTT, 2016)

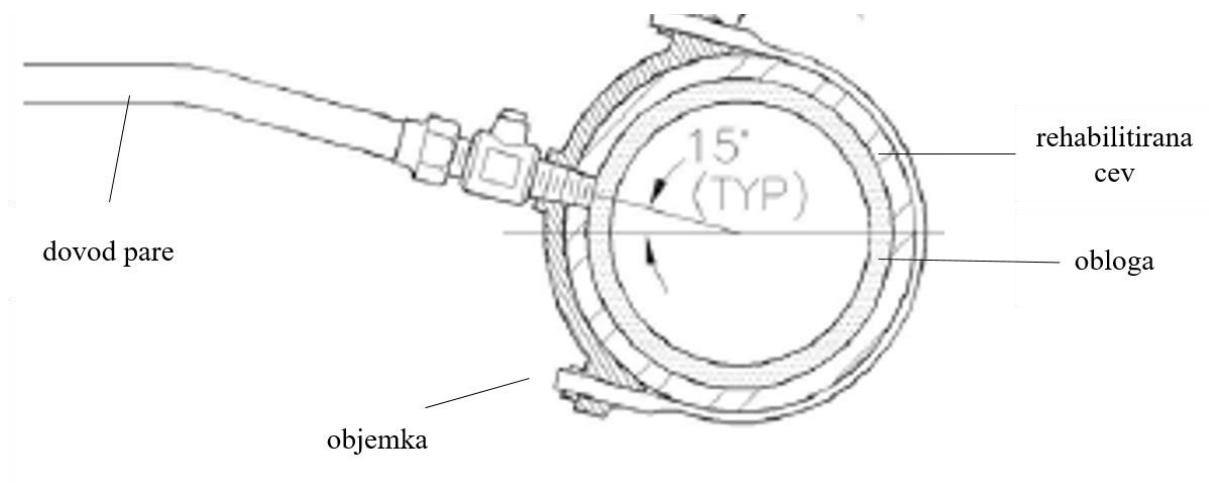


Slika 43: Postopek vgradnje zložene cevi (VIR: predavanja pri predmetu Trenchless Technologies)

Terenska izdelava cevne obloge (angl. Cured in Place Lining – CIPP Lining)

Izdelava cevne obloge je med najbolj razširjenimi tehnologijami obnove vodovodnih cevi brez odprtega izkopa. S primerno izbiro tehnologije in ustrezno vgradnjo lahko obstoječi cevi podaljšamo življenjsko dobo tudi za 50 let (Najafi, 2010) praktično brez zmanjšanja funkcionalnega premera cevi (Najafi in sod., 2009). Dolžine odsekov, ki jih lahko rehabilitiramo, so do 300 metrov (EPA, 2009). Poleg tega lahko z uporabo omenjene tehnologije cev vrnemo v uporabo že isti dan po rehabilitaciji (ISTT, 2016).

Pri tehnologiji gre navadno za vstavljanje s polimernimi vlakni ojačane obloge impregnirane s smolo, ki jo nato segrevamo bodisi s pomočjo okoliške temperature ali pa z uporabo vroče pare, vode ali UV žarkov, ta se nato strdi in ustvari togo oblogo. Obloga se lahko strdi tudi s pomočjo temperature okoliškega zraka, a UV žarki, vroča voda ali para utrjevanje pospešijo (ISTT, 2016). Tehnologije oblaganja se pogosto uporabljajo pri rehabilitaciji kanalizacijskih cevi in industrijskih vodov. Kar se oskrbe s pitno vodo tiče imamo do novih tehnologij navadno konzervativen pristop, predvsem zaradi neznanega vpliva na kakovost vode, a tudi tehnologija zdravljenja cevi počasi zavzema svoje mesto med certificiranimi tehnologijami rehabilitacije vodovodnih cevi različnih materialov (Pipevision Products Inc., 2016).



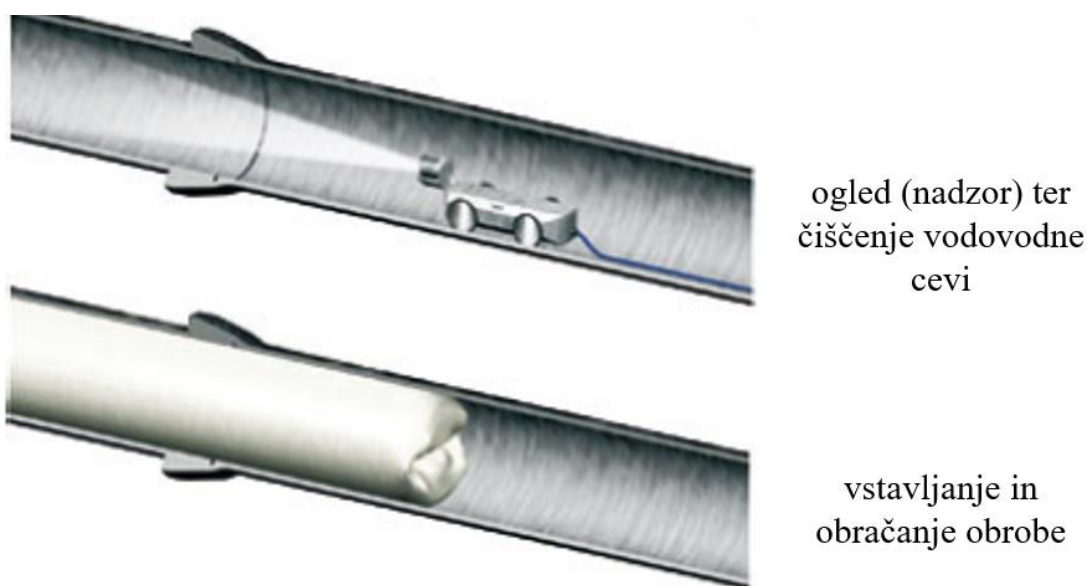
Slika 44: Prečni prerez s prikazom cevne obloge z obrobo iz poliestrskih vlaken in objemko (Ellison in sod., 2010)

Tehnologije oblaganja cevi klasificiramo v tri kategorije, glede na material iz katerega je obloga narejena in sicer na obloge iz filca, iz pletenih poliestrskih vlaken in iz elastomernih membran. Pred vgradnjo karkšneколи obloge je treba obstoječo, rehabilitirano cev očistiti in osušiti

- Obloga iz filca (klobučevine) (angl. Felt-Based Systems)

Tehnologija je primerna za oblaganje cevi premera od 100 do 2740 milimetrov, njena posebnost pa je možnost rehabilitacije lokov tudi do 90°. Filc je lahko različnih vrst, navadno je izdelan iz različnih tekstilij ali pa iz steklenih vlaken in nato bodisi v tovarni, bodisi na gradbišču, v primeru večjih cevi; impregniran s primerno smolo. Smole, ki jih uporabljamo za impregnacijo so lahko osnovane na bazi poliestra, vinil estra ali pa epoksi smole, slednje pri oskrbi s pitno vodo tudi najpogosteje uporabljamo. Impregniran plašč iz filca mora biti ohlajen in na hladnem tudi med prevozom, da se prepreči prezgodnje vezanje smole. Tehnologije oblaganja s filcem lahko klasificiramo glede na različne metode vgradnje in sicer poznamo vgradnjo z obračanjem

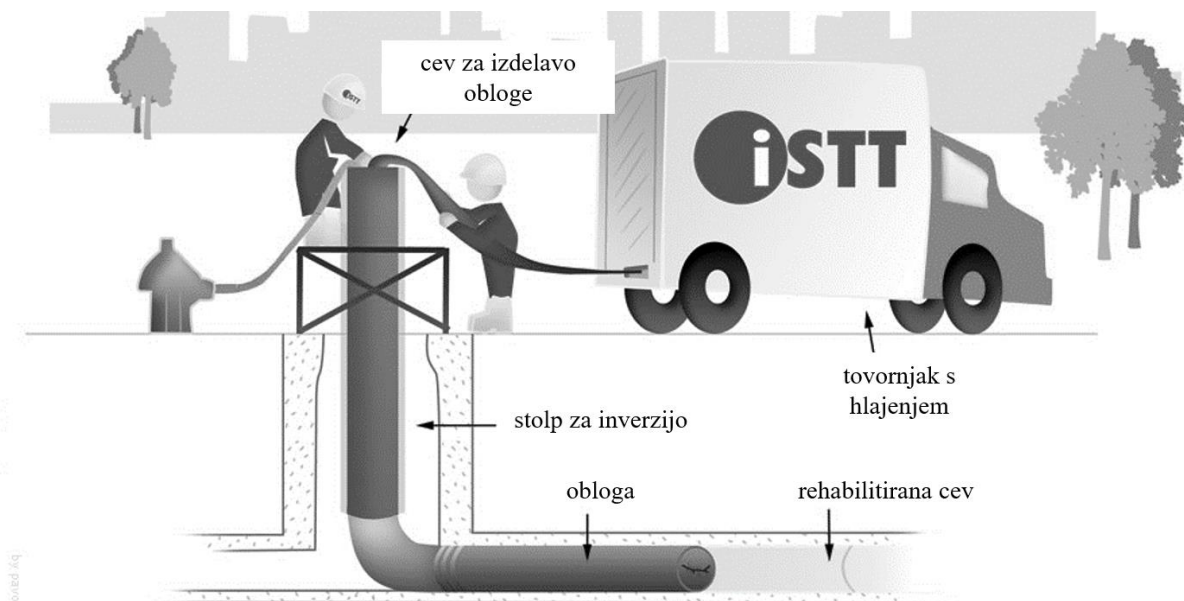
(angl. inversion installation), pri kateri impregnirano oblogo sproti vstavljamo v cev in jo s pomočjo vodnega ali zračnega tlaka obrnemo navzven (Slika 27). Drugi način vgradnje obloge prične z njenim vstavljanjem v cev in nato napihovanjem z vodo ali zrakom. Končna faza rehabilitacije po vgradnji obloge iz filca je segrevanje in utrjevanje obloge znotraj cevi z vodo, paro ali UV žarki. Po končanem postopku odrežemo viške cevi na obeh koncih. Tehnologijo obrobljanja na mestu s plaščem iz filca uporabljamo lahko pri hudih oblikah notranje korozije, preluknjanih ceveh in puščanj cevi zaradi slabih spojev. Vstavljeni plašč je tanek in tesno oblega obstoječo cev.



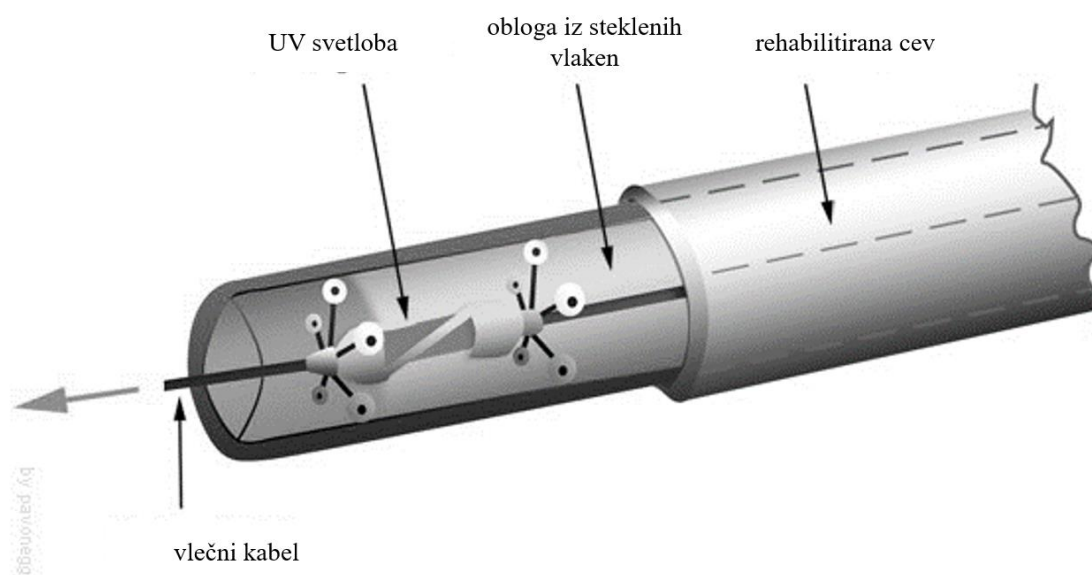
Slika 45: Postopek izdelave obloge cevi z obračanjem (Bauhaus-Universität Weimar, 2015)

- **Obloga iz pletenih poliestrskih vlaken (angl. Woven Hose Systems)**

Obloga sestoji iz mnogo krožno tkanih brezšivnih poliestrskih vlaken na zunanji strani prevlečenih s slojem elastomera in impregniranih z epoksi smolo. V cev jo vstavimo s tehniko z obračanjem z uporabo vodnega ali zračnega tlaka tako, da je stran s premazano smolo pritisnjena ob notranjo steno rehabilitirane cevi. Sledi utrjevanje obloge z vročo vodo ali paro. Tehnologija omogoča oplaščenje v lokih do 45° in v ceveh premera od 102 do 1016 milimetrov. Uporabljamo jo lahko v podobnih situacijah kot tehnologije zdravljenja s filcem.



Slika 46: Shema tehnologije izdelave obloge z obračanjem (ISTT, 2016)



Slika 47: Utrjevanje obloge s pomočjo UV žarkov (ISTT, 2016)

- Obloge iz elastomernih membran

Namen oblog iz elastomernih membran (angl. Membrane Systems) je zgolj zaščita pred notranjo korozijo in morda tesnenje manjših lukenj znotraj rehabilitirane cevi, torej niso primerne (namenjene) kot ojačitvena tehnologija obnove. Gre za zelo tanke sloje elastomernih membran, prevlečenih s smolo, ki jih povlečemo ali s tehniko obračanja povlečemo v obstoječo, rehabilitirano cev in jo utrdimo oziroma 'zdravimo' s pomočjo zračnega tlaka in vročine, podobno kot pri že omenjenih tehnologijah. Tehnologija zdravljenja z elastomernimi membranami je primerna zgolj za gravitacijske cevi podobnih premerov kot pri ostalih tehnologijah obrobljanja (AWWA, 2014).

3.2.5 Zamenjava vodovodnih cevi

Zamenjava cevi pomeni popolno izključitev stare cevi iz pretočne funkcije, bodisi s tehnologijo pri kateri se poruši obstoječa cev ali pa z vgradnjo nove cevi znotraj obstoječe stare cevi. Pri tem nova cev prevzame polno funkcijo in obremenitve stare cevi. V primeru, da so druge tehnologije zamenjave ekonomično nesmiselne, ali pa so pogoji neprimerni za uporabo tehnologij brez izkopa se odločimo za klasično metodo z izkopom jarka in sledimo enakim postopkom, kot so opisani v poglavju Vgradnja cevi z odprtim izkopom.

3.2.5.1 Tehnologija 'cev v cevi'

Tehnologijo vgradnje ohlapne obloge oziroma tehnologijo 'cev v cevi' (angl. Loose Fit Sliplining) so najprej uvedli za rehabilitacijo kanalizacijskih cevi in plinovodov, danes pa je tehnologija v uporabi tudi za vodovodne cevi. Prednost tehnologije je vgradnja nove, popolnoma samostojne cevi znotraj obstoječe cevi, brez potrebe po odprtem izkopu, saj gre za tehnologijo, pri kateri v staro cev povlečemo ali porinemo novo cev manjšega premera. Na gradbišču s pomočjo postopkov kot so varjenje ali mehansko spajanje (angl. thermal butt fusion or mechanical means of coupling), spojimo posamezne, do 18 metrov dolge odseke cevi v homogeno, več 100 metrov dolgo cev, ki jo nato povlečemo v staro cev in priključimo na preostalo omrežje. Tehnologija je primerna za rehabilitacijo kovinskih cevi, torej jeklenih litoželeznih ter cevi iz nodularne litine.

Tehnologijo 'cev v cevi' uporabljamo v primeru, ko (AWWA, 2014):

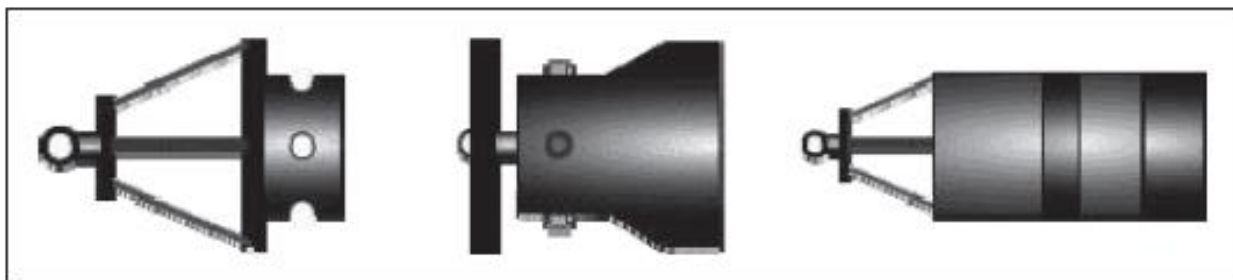
- je stanje obstoječe cevi neprimerno za uporabo ojačitvenih tehnologij obnove,
- se nad cevjo nahaja druga infrastruktura, ki onemogoča oziroma otežuje odprti izkop,
- je obstoječa cev priključena na majhno število individualnih priključkov oziroma odsek vodovodnega sistema ni preveč razvejan,
- uporaba drugih metod rehabilitacije ni smotrna,
- kjer ni potrebe po povečanju premera oziroma pretočne sposobnosti obstoječe rehabilitirane cevi,
- ...

Tehnologija 'cev v cevi' bistveno zmanjša efektivni prečni prerez obstoječe cevi, zato moramo to upoštevati pri izbiri rehabilitacijske metode. Poleg tega nova vgrajena cev zmanjša koeficient trenja, kar deloma kompenzira izgubljeni prečni prerez. Pri izbiri metode moramo biti pozorni tudi na geometrijo obstoječe, rehabilitirane cevi, saj se tehnologija 'cev v cevi' ne obnese najbolje pri odsekih z veliko loki – slednji zahtevajo veliko izkopov. Tehnologijo lahko razdelimo v dve kategoriji in sicer:

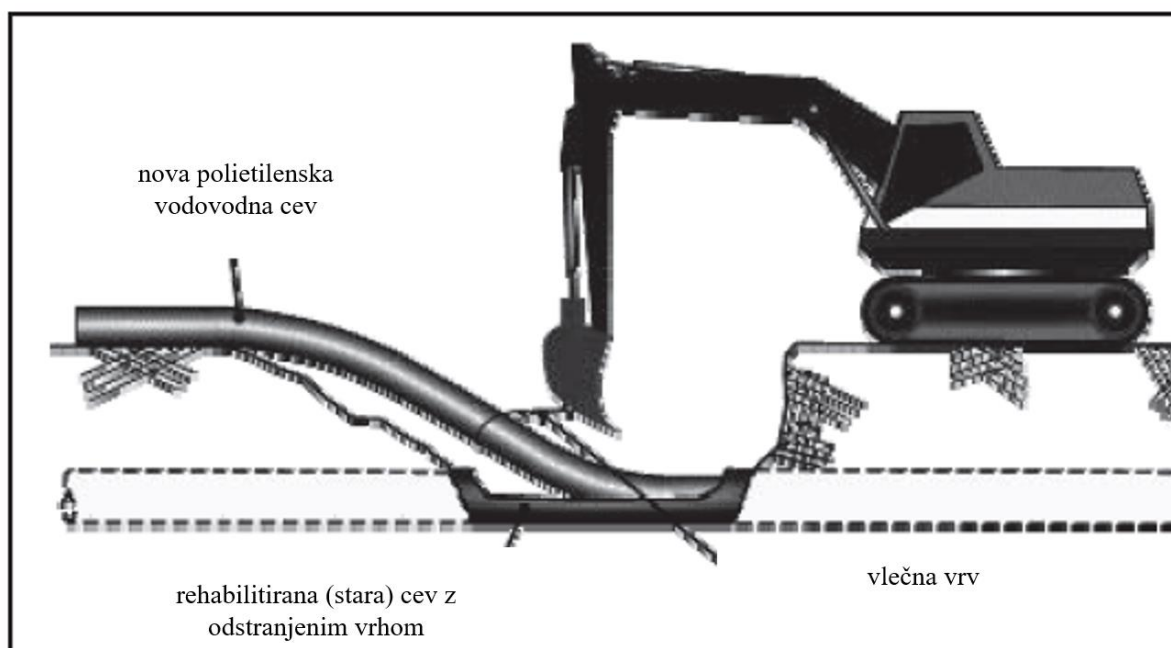
- segmentno vgradnjo, pri kateri odseke – segmente obloge (nove cevi, ki jo vgrajujemo) na vstopu v obstoječo, degradirano cev, sproti sestavljamo in vlečemo ali rinemo vanjo, prazen prostor med novo in staro cevjo pa zafugiramo. Materiali, primerni za vgradnjo v staro cev so HDPE, PVC in pa nodularna litina.
- neprekinjeno vgradnjo, kjer novo cev najprej sestavimo do dolžine, ki se ujema z dolžino stare cevi in jo nato v celoti povlečemo v staro cev. Materiali primerni za vgradnjo cevi pri neprekinjeni vgradnji so HDPE in pa PVC.

Postopek tehnologije 'cev v cevi'

1. V splošnem mora biti pri tej vgradnji premer cevi, ki jo vložimo v staro cev, vsaj 10 odstotkov manjši od premera stare cevi, da bi zagotovili gladko vstavljanje.
2. Pri izbiri materiala za vgradnjo moramo biti zelo pozorni. Najpogosteje uporabljan material za vgradnjo v staro cev je polietilen visoke gostote (HDPE), v zadnjem času pa na priljubljenosti pridobiva tudi polivinil klorid (PVC). Faktorji, ki jih moramo upoštevati, so debelina stene nove cevi, ki mora prenašati projektirani maksimalni tlak pri določeni temperaturi in biti dovolj odporna na temperaturne razlike, ter obremenitve zemljine in prometa. Nevarnost poškodbe cevi med vgradnjo je majhna, saj gre za običajne postopke, pri katerih vgrajujemo odseke dolge tudi več 100 metrov. Posebno pozornost je treba nameniti spojem, ki morajo biti dimenzionirani in vgrajeni na način, da prenesejo iste obremenitve kot cevi same.
3. Pred začetkom gradnje moramo natančno preveriti in locirati obstoječo cev, ventile, priključke in hidrante. Ker tehnologija 'cev v cevi' včasih zahteva večje lokalne izkope, je potrebno urediti alternativni prometni režim ter poskrbeti za javno varnost. Če je le možno izkopov ne izvajamo v urbanem okolju oziroma v bližini prometnih cest. Prav tako moramo, kljub temu, da gre za relativno hitro tehnologijo, pred začetkom gradnje poskrbeti za alternativno dovajanje vode uporabnikom.
4. Izvajalec mora poskrbeti tudi za dela, ki bodo tekla vzporedno z vgradnjo nove cevi, torej ponovno priključitev hidrantov, individualnih priključkov oziroma stranskih cevi ter priključitev nove cevi na druge odseke vodovodnega sistema.
5. Pri vgradnji vodovodnih cevi po postopku 'cev v cevi' oziroma posameznega segmenta cevi, moramo navadno izvesti dva večja izkopa, na vstopni in izstopni strani. Velikost jarka oziroma vstopne gradbene jame mora biti takšna, da omogoča varno gradnjo. Izstopna jama mora biti dovolj široka, da omogoči prostor za vso opremo, ki jo potrebujemo za vleko cevi, kot je na primer vitel. Vgradnja cevi v obstoječo cev večjega premera velikokrat zahteva tudi večje izkope. Razdalja med vstopno in izstopno jamo je odvisna od poteka degradirane cevi in njenega premera, možne so razdalje do 300 metrov in več.
6. Staro cev moramo pred začetkom vgradnje nove cevi očistiti, osušiti in na obeh straneh odrezati. Pri tem moramo na obeh straneh pustiti dovolj prostora za strojno opremo za vstavljanje ter vleko cevi.
7. Ko je stara cev pripravljena na postopek, skozi njo potegnemo kabel, ki ga priključimo na vlečno glavo vstavljeno na koncu nove polietilenske cevi. Slednjo pred tem pripravimo tako, da s pomočjo aparata za čelno varjenje spojimo posamezne odseke cevi v homogeno celoto. Cevi manjših premerov do 168 milimetrov lahko kupimo v kolutih, s čimer se izognemo velikemu številu spojev narejenih na gradbišču. S pomočjo vitla nato novo cev povlečemo skozi staro, v primeru cevi večjega premera je lahko potrebno tudi potiskanje cevi s pomočjo bagra ali buldožerja. Pri vgradnji moramo biti zelo pozorni, da ne poškodujemo zunanosti novo-vgrajene cevi.

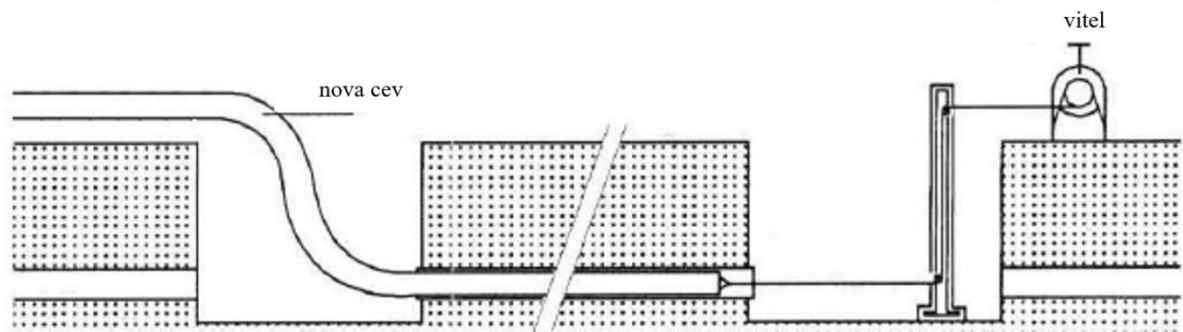


Slika 48: Mehanske vlečne glave, ki jih pritrdimo na PE cev (Plastics Pipe Institute, 2016)



Slika 49: Porivanje PE cevi z buldožerjem pri tehnologiji 'cev v cevi' (Plastics Pipe Institute, 2016)

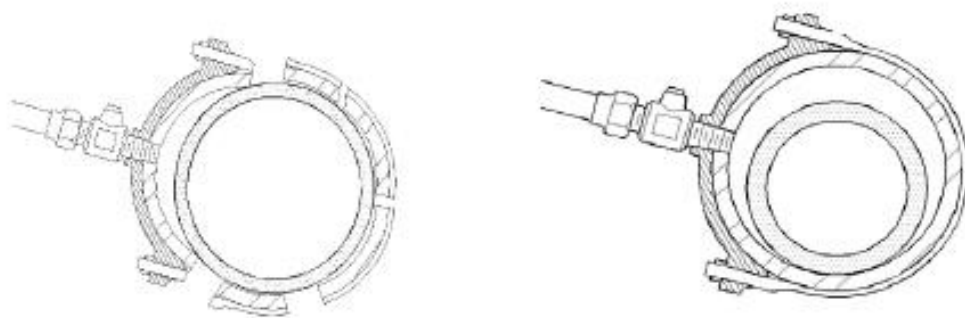
8. Po vgradnji novo cev priključimo na ostale vodovodne cevi. S pomočjo posebnih obročev novo cev pritrdimo na staro.
9. Novo-vgrajena cev mora biti na koncu testirana po istem principu, po katerem testiramo novo vgrajene cevi. Maksimalni preizkusni tlak pri tri urnem preizkusu ne sme biti večji od 150 odstotkov tlaka, za katerega je cev bila projektirana. Posebno pozornost moramo nameniti izpostavljenim območjem, kot so priključki na ostale cevi. Z namenom preprečitve diferencialnih posedkov, moramo primerno izvesti tudi zasutja izkopov.
10. Zadnja faza postopka 'cev v cevi' je vrnitev cevi v uporabo, dezinfekcija, odstranitev začasnih obvodov cevi, vrnitev stanja na terenu v prejšnje stanje in čiščenje gradbišča.



Slika 50: Shema postopka zamenjave cevi pri tehnologiji 'cev v cevi' (vir: predavanja pri predmetu Trenchless technologies)



Slika 51: Postopek vgradnje PVC cevi pri tehnologiji 'cev v cevi' (AWWA, 2014 po Underground Solutions inc.)



Slika 52: Levo, prečni prerez po uporabi tehnologije vgradnje nove cevi s porušitvijo obstoječe cevi ter desno stanje po vgradnji s tehnologijo 'cev v cevi' (Ellison in sod. 2010)

3.2.5.2 Tehnologija zamenjave cevi pri kateri se poruši obstoječa cevi

Tehnologija zamenjave cevi, pri kateri se poruši obstoječa cev (angl. Pipe Bursting) je tehnologija, ki služi zamenjavi stare cevi z novo cevjo istega ali večjega premera. Razvita je bila v Veliki Britaniji v poznih 70ih letih z namenom zamenjave starih plinovodov brez odprtega izkopa. Danes jo uporabljamo tudi za rehabilitacijo vodovodnih cevi in sicer premerov od 102 do 914 milimetrov (AWWA, 2014). Tehnologija omogoča porušitev cevi iz nodularne litine, PVC in PE, litoželeznih in jeklenih cevi, armirano betonskih ter betonskih cevi ter azbestno cementnih cevi in sicer v dolžinah od 90 do 120 metrov (Simicevic in Sterling, 2001a).

Postopek zamenjave cevi s poružitvijo obstoječe cevi

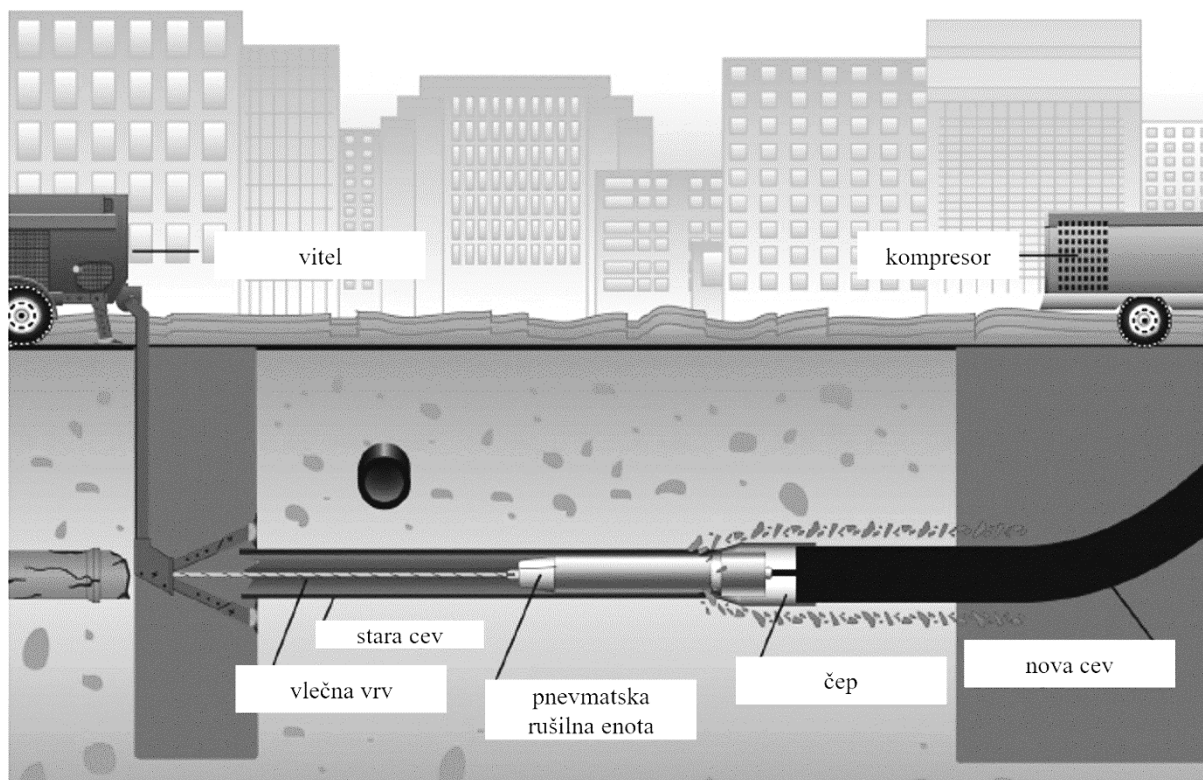
Tehnologija temelji na sistemu, ki zlomi ali razpolovi obstoječo vodovodno cev, pri čemer razširi obdajajočo zemljino in zlomljeno staro cev potisne vanjo, v nastali prostor pa hkrati vgradi cev enakega ali večjega premera.

1. Tehnologija zamenjave cevi s poružitvijo obstoječe je lahko pnevmatska, torej na zračni pogon ali pa na hidravlični pogon. Poznamo pa še veliko drugih različic poružitve cevi, kot so povrtavanje cevi ali pa odstranjevanje cevi z mikrotuneliranjem. Izbira med tehnologijami temelji na materialu obstoječe cevi, vrsti zemljine, globini vgradnje obstoječe cevi, dolžine odseka in pa bližine druge infrastrukture. Materiali novih cevi, ki jih vgrajujemo pri metodi zamenjave s poružitvijo so navadno polietilen visoke gostote, nodularna litina ali polivinil klorid.
2. Pred začetkom moramo poskrbeti za izkop vstopne in izstopne gradbene jame in pripravo mehanizacije.
3. Odseke polietilenskih ali PVC cevi pred vgradnjo osebje zvari na gradbišču, Spoji morajo biti gladki in enotni, med vgradnjo pa moramo posebno paziti, da ostanki stare, porušene cevi, ne poškodujejo nove. Odseke cevi iz nodularne litine navadno spojimo z mehanskimi spoji, kar je priročno ter praktično iz vidika prostora, ki ga zavzame celotna tehnologija, saj odseke spajamo sproti, z napredovanjem poružitve stare cevi in vgradnjo nove ter se tako izognemo večjim izkopom. Tehnologija je še posebno primerna za urbano okolje.

- Pnevmsko porušenje cevi (angl. Pneumatic pipe bursting)

Pri tej tehnologiji, se s pomočjo pnevmatske rušilne enote, na katero je pritrjeno razširitveno orodje – čep oziroma ekspander (angl. expander) najprej poruši obstoječa cev. Delovni stroj montiramo v vstopni jašek in kladivo z ekspanderjem pritrdimo na kabel, ki povezuje rušilno garnituro z vitlom, katerega namen je njena konstantna vleka. Vitel se nahaja v izstopnem jašku oziroma na površju, konstantna napetost, v kateri vlečna vrv drži kladivo in ekspander, pa skrbi za dober stik med še neporušenim odsekom cevi in ekspanderjem in hkrati centrira novo cev. Moč pnevmatske enote in njena stožčasto oblikovana glava simulirata podoben proces, kot pri zabijanju žeblja s kladivom v zid, ko z vsakim udarcem razpoka in lokalno poruši del zida.

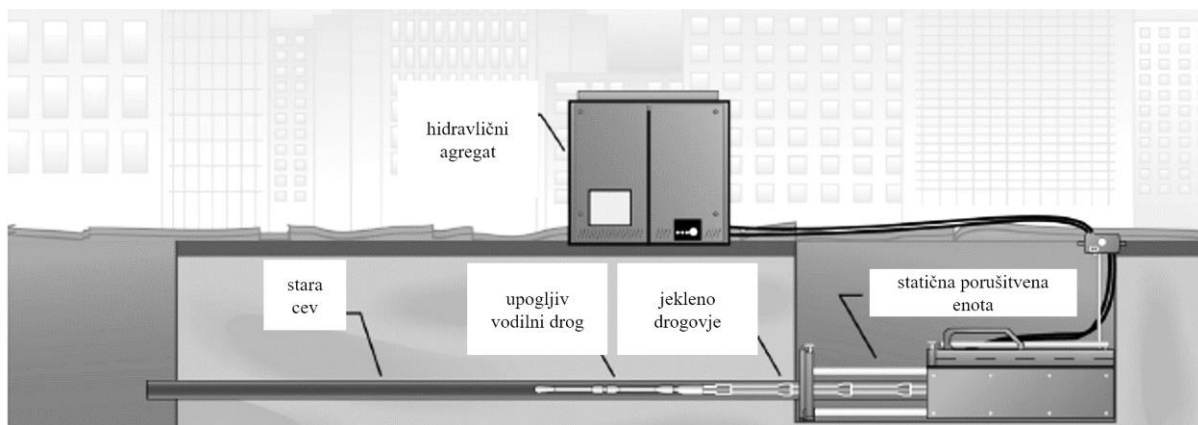
Podobno čep pri tehnologiji pnevmatskega porušenja cevi z udarci 'ruši' zemljino in staro cev ter zagotavlja prostor za novo cev.



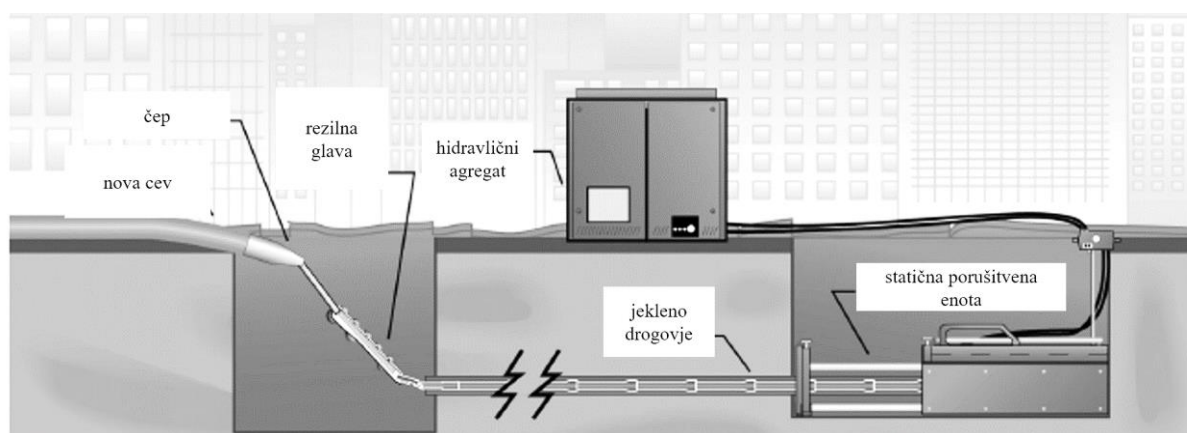
Slika 53: Tehnologija pnevmatske vgradnje nove cevi z uničenjem stare (AWWA, 2014)

- **Statično porušenje cevi (angl. Static Pipe Bursting, Pipe Splitting)**

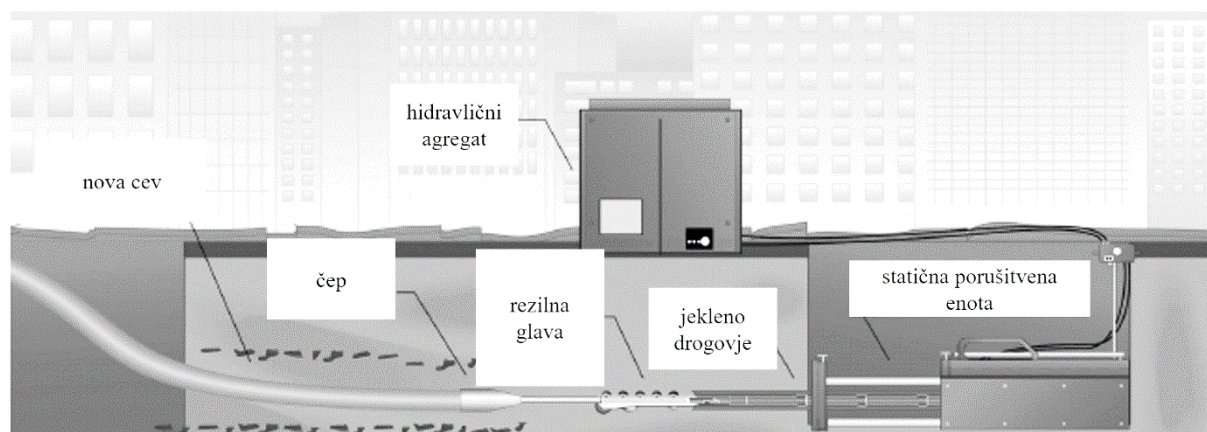
Pri statičnem porušenju cevi na ekspander s pomočjo jeklenega drogovja deluje zgolj vlečna sila, ki preko ekspanderja prenaša horizontalno vlečno silo na radialno. S pomočjo radialne sile se ruši obstoječa cev in širi votlina oziroma izkop in s tem omogoča prostor za novo cev. Proces poteka tako da v obstoječo, staro cev skozi izstopni jašek vstavimo jekleno drogovje. Ko drogovje doseže vstopni jašek, na drogovje montiramo rezilno glavo (angl. bursting head), ki ji sledi čep in pa nova cev. S pomočjo hidravličnega agregata (angl. hydraulic power pack) vlečemo jekleno drogovje proti izstopnemu jašku in s tem rušimo obstoječo cev ter njene ostanke porivamo v okoliško zemljino. Postopek traja dokler glava ne doseže izstopnega jaška, kjer jo ločimo od nove cevi. V primeru, da želimo porušiti tršo cev, kot je npr. kovinska ali pa HDPE moramo uporabiti posebno rezilno glavo, ki staro cev prereže.



Slika 54: Tehnologija statične vgradnje nove cevi s porušenjem stare cevi – 1. korak (AWWA, 2014)

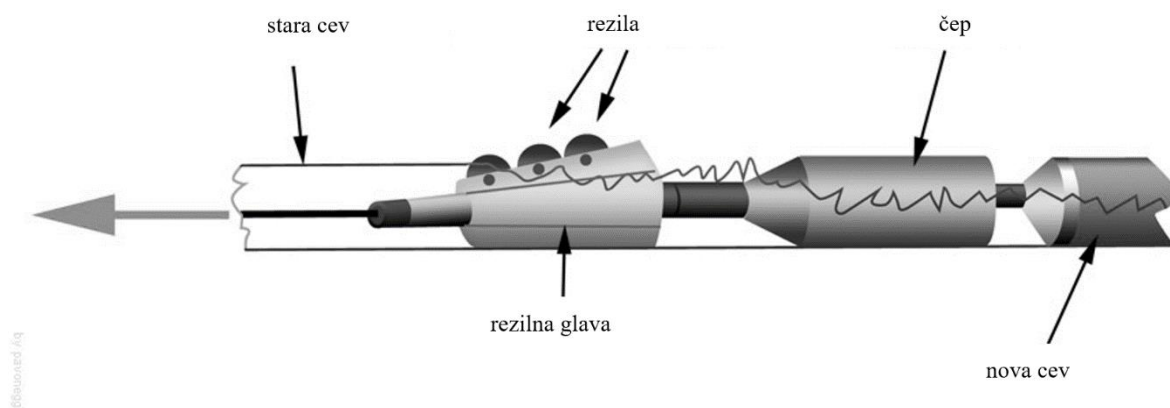


Slika 55: Tehnologija statične vgradnje nove cevi s porušenjem stare cevi – 2. korak (AWWA, 2014)



Slika 56: Tehnologija statične vgradnje nove cevi s porušenjem stare cevi – 3. korak (AWWA, 2014)

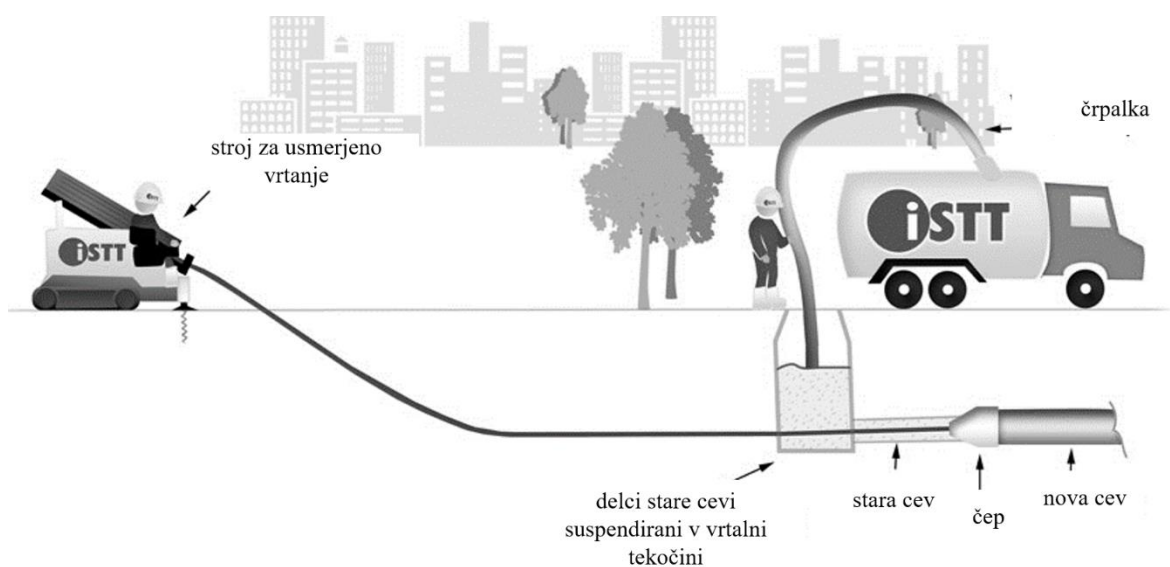
Pri zamenjavi vodovodnih cevi je bolj priljubljena statična metoda, saj slednja s posebnimi mehanskimi nastavki, kot so rezila omogoča razrez jeklenih cevi in prerez raznih armatur. Po končani vgradnji je obvezen tlačni preizkus cevi ter dezinfekcija in ponoven priklop priključkov.



Slika 57: Postopek vgrajevanja nove cevi s statično porušitveno metodo z rezilno glavo (angl. pipe splitting) (ISTT, 2016)

Povrtavanje cevi (angl. Pipe Reaming)

Povrtavanje cevi je tehnologija zamenjave vodovodnih cevi, pri kateri podobno kot pri tehnologiji zamenjave cevi s porušitvijo stare, odstranimo staro cev in hkrati vgrajujemo novo. Tehnologija je še posebno primerna za zamenjavo cevi v trdih zemljinah oziroma kamninah, kjer tehnologija porušitve cevi ni možna. (ISTT, 2016). Novo vgrajena cev je navadno termoplastična cev ali cev iz nodularne litine (DIPRA, 2016), ki mora biti kompatibilna z opremo za horizontalno vrtanje z radijskim vodenjem (HDD). Pri povrtavanju delčke stare cevi s pomočjo vrtalne tekočine odstranimo iz zemlje (Simicevic in Sterling, 2001a)



Slika 58: Shema tehnologije povrtavanja cevi (ISTT, 2016)

Postopek vgradnje nove cevi s povrtavanjem (angl. Pipe Reaming)

1. Pred pričetkom izkopa moramo odmontirati vse priključke.
2. S pomočjo sistema za horizontalno vrtanje z radijskim vodenjem (HDD) na vstopu obstoječo cev vstavimo vrtalno vrv, ki jo nato povežemo z vrtalno garnituro na čelu s

posebnim povratnim razširjevalcem oziroma čepom (angl. reamer), ki se nahaja na izstopu cevi.

3. Na vrtalno garnituro nato priključimo novo cev in ju skupaj začnemo vleči proti vstopu v cev. Pri tem s čepom porušimo obstoječo cev in hkrati z vrтанjem večamo premer izkopa.
4. Vgradnja nove cevi napreduje hkrati z napredkom vrtalnega orodja, s hitrostjo približno 20 metrov na uro (PE100+ Association, 2016).
5. Delčki stare cevi, zemljine in armatur so suspendirani v vrtalni tekočini in potisnjeni pred vrtalno garnituro skozi še neporušen del stare cevi do vstopnega jaška.
6. Suspenzijo iz jaška izčrpamo, trdne delce ločimo od tekočine in jih odložimo (ISTT, 2016).
7. Vrtalno garnituro razmontiramo, cev pa očistimo, priključimo na omrežje ter pripravimo na ponovno uporabo.



Slika 59: Primeri vrtalne glave 1 (PE100+ Association, 2016)

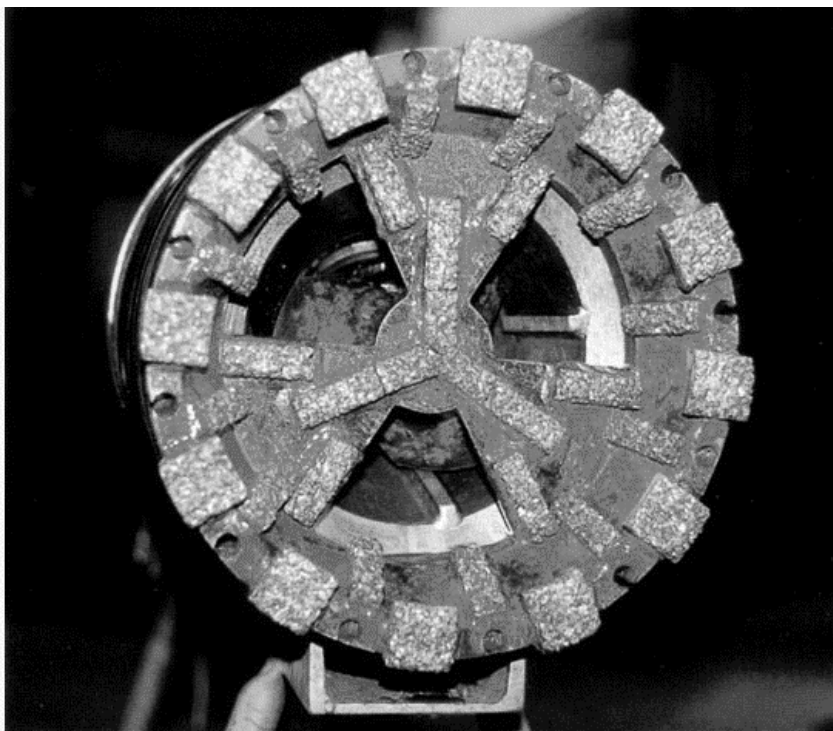
Oprema za izvedbo povrtavanja je navadno enaka opremi za izvajanje usmerjenega vrтанja z radijskim vodenjem z razliko, da je pri povrtavanju uporabljeno drugačno, bolj specializirano orodje za povratno razširjanje odprtine (PE100+ Association, 2016).

Vgradnja nove cevi s povrtavanjem stare je primerna zgolj za uničenje termoplastičnih in azbestno – cementnih cevi premerov od 200 do 900 mm in dolžin do 300 metrov. Z njeno pomočjo pa lahko vgradimo PE, PVC in cevi iz nodularne litine. Tehnologija omogoča tudi vgradnjo cevi večjega premera, a vgradnja ni možna v kamnitem terenu ali v trdih glinah. Za vgradnjo cevi istega premera je tehnologija primerna v vseh zemljinah in kamninah (PE100+ Association, 2016)

Zamenjava cevi z izvedbo mikro predorov (angl. Pipe Eating)

Tehnologija temelji na vgradnji cevi z izvedbo mikro predorov, pri čemer obstoječo cev skupaj z obdajajočo zemljino porušimo, izkopljemo in hkrati vgradimo novo cev (ISTT, 2016). Simicevic in Sterling (2001a) tehnologijo definirata kot tehnologijo, ki potrebuje posebno oblikovan stroj za gradnjo mikro predorov, ki poruši staro cev, izkoplje njene delce in jih ne potisne v okoliško zemljino, temveč jih odstrani. Hkrati z izkopom se vgrajuje oziroma potiska novo cev. Stroj za gradnjo mikro predorov zdrobi obstoječo cev s stožčastim drobilcem, kar omogoča tudi manjšo preusmeritev oziroma poravnavo trase in vgradnjo cevi večjega premera od obstoječe cevi. Z uporabo te tehnologije lahko zamenjujemo betonske, azbestno-cementne, lončene in armirano-betonske cevi premerov od 150 do 1000 mm (UNITRACC, 2016). Tehnologija pa je primerna zgolj za gravitacijske cevovode, zato jo najpogosteje uporabljamo

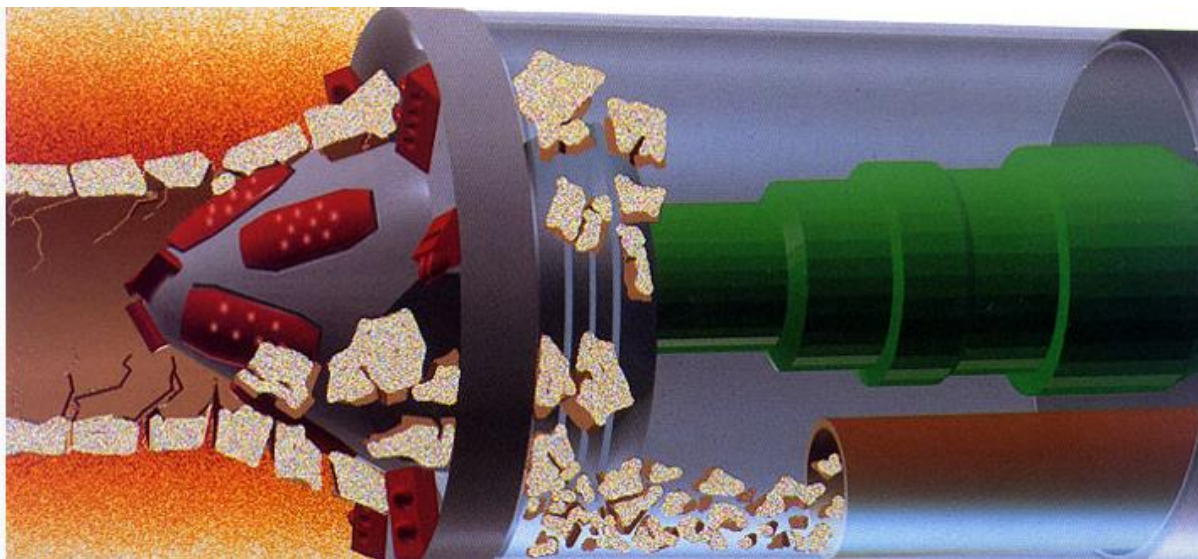
pri rehabilitaciji kanalizacijskih cevi (PE100+ Association, 2016). Zamenjava cevi z izvedbo mikro predorov ni primerna za uporabo v zemljinah z visoko gladino podtalnice, v primerjavi s klasično metodo zamenjave cevi s porušitvijo stare pa fizično zavzame manj prostora in omogoča vgradnjo cevi precej večjih premerov (Groundforce, 2015). Popravljanje smeri med postopkom ni možno (UNITRACC, 2016).



Slika 60: Vrtalna glava za izvedbo mikro predorov, prirejena za tehnologijo zamenjave cevi z izvedbo mikro predorov (UNITRACC, 2016)

Postopek odstranjevanja stare cevi in vgradnje nove cevi z izvedbo mikro predorov

1. Priprava na gradnjo obsega izkop vstopne in izstopne gradbene jame ter postavitve mehanizacije. Sistem zamenjave cevi z izvedbo mikro predorov je daljinsko voden, zato moramo zagotoviti tudi kontrolno kabino na površju.
2. Pred gradnjo moramo cev izolirati oziroma popolnoma izključiti iz sistema, priključne cevi pa odklopiti ali odrezati.
3. Rehabilitirano cev pred pričetkom gradnje velikokrat napolnimo s fugirno maso, da olajšamo vodenje stroja (angl. improving steering performance).
4. Stožčasta rezilna glava se med gradnjo vrti in drobi staro cev ter okoliško zemljinu, koščki obeh pa se s pomočjo polža (svedra) transportirajo skozi novo cev, ki jo potiskamo hkrati z napredovanjem izkopa. Povprečna hitrost vgradnje je približno 5 metrov na uro.
5. Po vgradnji novo cev očistimo, priključimo na omrežje, dezinficiramo in vrnemo v uporabo (UNITRACC, 2016).



Slika 61: Vrtalna glava med delom (UNITRACC, 2016)

3.2.5.3 Izvlek cevi

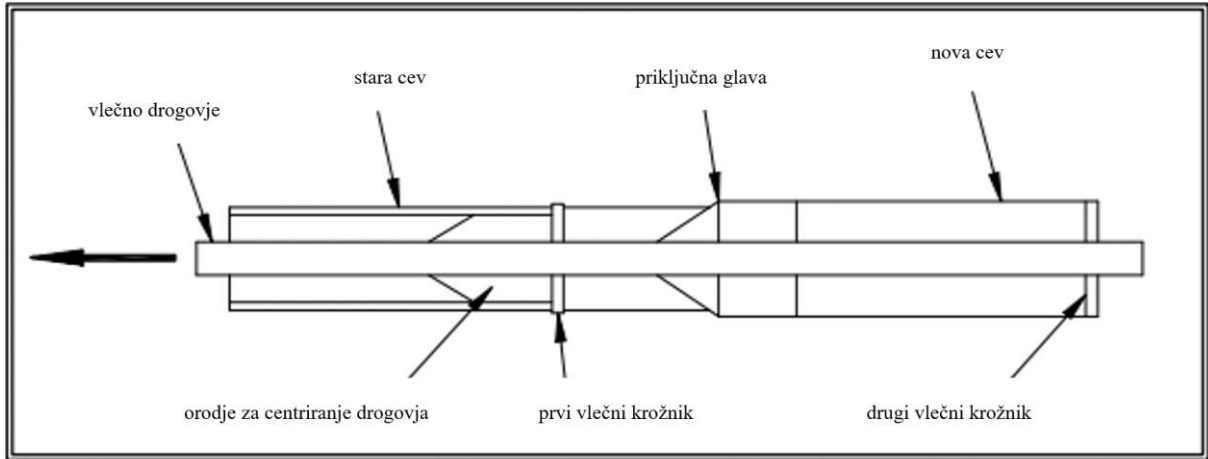
Tehnologija izvleka cevi (angl. Pipe Extraction, Pipe Ejection) je tehnologija brez odprtega izkopa, pri kateri odstranimo obstoječo cev in jo nadomestimo z novo, običajno polietilensko cevjo. Za razliko od ostalih metod zamenjave cevi brez odprtega izkopa, s to metodo popolnoma izvlečemo staro cev iz zemljine, kar je pomembno iz vidika toksičnosti ali pa reciklabilnosti starih materialov, kot sta svinec, azbest-cement ali pa litoželezo. Simicevic in Sterling (2001a) sta tehnologijo definirala kot odstranjevanje obstoječe cevi s pomočjo potiskanja ali vleke proti izstopnemu jašku, kjer jo porušimo in odstranimo, hkrati pa vgrajujemo novo cev. Tehnologija je primerna zgolj za izvlek cevi, katerih gradbene lastnosti so primerne, da lahko zdrži vleko oziroma potiskanje. Tehnologijo pogosto uporabljamo pri zamenjavi starih svinčenih cevi, ki predstavljajo tveganje za človeško zdravje (Simicevic in Sterling, 2001). Poleg zamenjave svinčenih cevi tehnologijo lahko uporabimo na vseh krhkih ceveh, kot so azbestno-cementne cevi, jeklene in pa litoželezne cevi (UNITECC, 2016). Vgradnja nove cevi z izvlekom je možna pri razmeroma ravnih ceveh, v primeru ostrih lokov so potrebni lokalni izkopi. Prav tako so lokalni izkopi potrebni v situaciji, kjer je cev bila stikovana z objemkami (Simicevic in Sterling, 2001). Postopek je primeren za cevi do premera 200 milimetrov in dolžin do 25 metrov, z določenimi postopki pa je možno vgrajevanje cevi tudi do 150% večjega premera (UNITECC, 2016). Tehnologija je primerna zgolj za kratke odseke na katerih se še ne pojavijo prevelike sile trenja (Simicevic in Sterling, 2001a).

Postopek vgradnje nove cevi z izvlekom

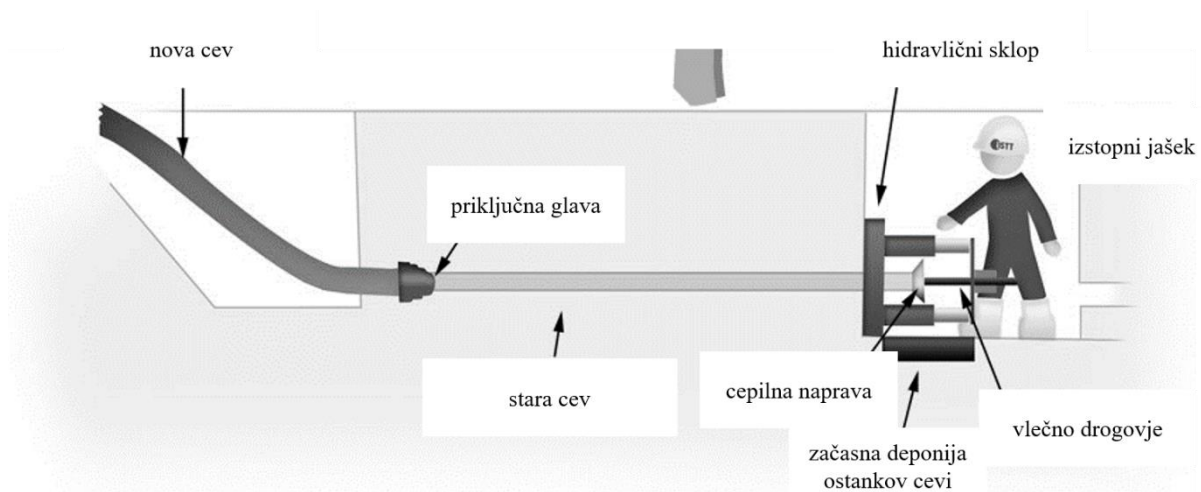
Primarna značilnost tehnologije je vgradnja nove vodovodne cevi s pomočjo hidravlične vlečne opreme, locirane v izstopni jami, medtem ko hkrati potiskamo staro cev ven (UNITECC, 2016). Možen je tudi izvlek cevi s pomočjo bagrov.

Pred pričetkom del moramo priključke odrezati in jih ponovno priključiti po končani vgradnji nove cevi. Tipični sistem izvleka vodovodne cevi vsebuje jekleno vrv ali drogovje, opremljeno s stožci ali posebnimi diski, katerih namen je oprijem notranjih sten vodovodnih cevi. Vrv ali drogovje nato vstavimo skozi vstopni jašek in ga priključimo na novo PE cev, ki jo želimo

vgraditi. Novo in staro cev s pomočjo posebne priključne glave (angl. adapter head) povežemo in ju skupaj povlečemo proti izstopnemu jašku, kjer je stara cev s pomočjo posebne cepilne naprave razrezana, a šele ko jo v popolnosti izvlečemo iz zemlje. Hitrost izvleka in vgradnje nove cevi lahko doseže 80 metrov na dan (UNITECC, 2016).



Slika 62: Detajl izvleka cevi (Simicevic in Sterling, 2001a)



Slika 63: Shema tehnologije izvleka cevi (ISTT, 2016)



Slika 64: Razcepitev stare cevi (UNITECC, 2016)

3.2.6 Prednosti in slabosti posameznih metod rehabilitacije

Zamenjava cevi z odprtim izkopom ima običajno prednost pri plitvo vgrajenih ceveh na lokacijah, kjer škoda ob izkopu ni prevelika. V večini situacij pa so primernejše metode brez izkopa. Pri globlje vgrajenih ceveh se pri odprtem izkopu navadno povišajo stroški dodatnih izkopov in pa odvodnje podzemnih voda, dočim globina vgradnje pri tehnologijah brez izkopa navadno ne igra nobene vloge. Poleg tega se pod zemljo skupaj z vodovodnimi cevmi navadno nahaja tudi druga infrastruktura, kot so plinovod, kanalizacija in optični kabli. Pri zamenjavi z odprtim izkopom lahko enostavneje poškodujemo drugo infrastrukturo. Stroški menjave cevi po metodi uničenja obstoječe cevi so primerljivi s stroški zamenjave cevi z odprtim izkopom (AWWA, 2014). Dodatne prednosti zamenjave vodovodnih cevi brez izkopa so podrobneje opisane v poglavju Vgradnja vodovodnih cevi.

Tehnologija zamenjave vodovodne cevi s porušitvijo obstoječe cevi je priljubljena alternativa tehnologijam izdelave cevne obloge in oprijetemu oplaščenju ali tehnologiji 'cev v cevi'. Slednje tehnologije, v primerjavi z zamenjavo cevi s porušitvijo obstoječe, zmanjšajo notranji premer cevi, kar ni nujno zaželeno v vseh situacijah. Z zamenjavo vodovodne cevi s porušenjem lahko vgradimo novo cev enakega ali večjega premera, kot je bila stara, s čimer povečamo pretočnost odseka. Tudi stranske cevi oziroma priključki so pri omenjeni tehnologiji montirani ročno, za razliko od tehnologije izdelave obloge, kjer gre navadno zgolj za rutinsko operacijo z robotom in sicer iz notranje strani cevi, kar se navadno na dolgi rok slabše obnese (AWWA, 2014).

Tehnologije pršenja cementne malte ali polimerov omogočajo oplaščenje litoželeznih in jeklenih cevi ter cevi iz nodularne litine in s tem obnovijo prvotno hidravlično zmogljivost cevi ter jo zaščitijo pred korozijo, sicer pa, za razliko od metod zamenjave cevi z uničenjem stare, ne omogočajo ojačitve cevi. Pri pripravi cevi na pršenje je potrebno njeno intenzivno čiščenje, dočim s statično metodo zamenjave cevi z uničenjem stare, čiščenja ne potrebujemo, s čimer zmanjšamo stroške priprave cevi.

Tehnologija vgradnje nove cevi s porušitvijo stare, je za rehabilitacijo vodovodne cevi v ekstremno slabem stanju, pravzaprav edina možna rešitev brez odprtega izkopa.

Najafi (2010) je izdelal enostavno preglednico (Preglednica 6), ki nam je lahko v pomoč pri izbiri ustrezne tehnologije rehabilitacije. Preglednica je sicer obravnavala zgolj tehnologije obnove in zamenjave, dodali pa smo ji še popravke. Najpogostejše težave, s katerimi se soočamo na vodovodnih odsekih, so puščanja na spojih in priključkih, korozija, razpoke in luknje, neutrezna mehanska odpornost in stabilnost, zmanjšana pretočna sposobnost in pa neustrezna kakovost vode. Poleg tega smo v preglednico dodali še stolpec 'življenjska doba cevi', pri katerem smo nakazali ali tehnologija podaljša življenjsko dobo rehabilitirani cevi, pri čemer smo vsem tehnologijam zamenjave cevi pripisali, da življenjske dobe ne podaljšajo in sicer zaradi tega, ker stari cevi vzamemo funkcijo.

Tehnologija rehabilitacije	Težava						
	Spajanje in priključki	Kakovost vode	Koroziija	Razpoke in luknje	Mehanska odpornost in stabilnost	Pretočna sposobnost	Življenjska doba cevi
Brizganje cementne malte	ne	da	da	ne	delno	ne	da
Pršenje polimernih nanosov	ne	da	da	ne	delno	ne	da
Oprijeto oplasčenje	delno	da	da	da	da	ne	da
Izdelava cevne obloge	delno	da	da	da	da	ne	da
Tehnologija 'cevi v cevi'	delno	da	da	da	da	ne	da
Zamenjava cevi s porušitvijo	da	da	da	da	da	da	da
Izvek cevi	da	da	da	da	da	da	da
Notranja zatesnitev	da	delno	ne	delno	ne	ne	ne
Čiščenje cevi	ne	da	ne	ne	ne	da	ne

Preglednica 6: Pogoste težave na vodovodnih ceveh in tehnologije rehabilitacije primerne za njihovo reševanje (povzeto po Najafi, 2010)

Zaradi enostavnejšega pregleda in odločanja o izbiri tehnologije rehabilitacije smo izdelali preglednico (Preglednica 7) iz katere lahko na podlagi podatkov o:

- materialu obstoječe cevi,
- premeru obstoječe (rehabilitirane cevi),
- dolžini odseka,
- številu in tipu lokov,
- debelini nanosa obloge ali plašča ter
- ali gre za ojačitveno tehnologijo

izberemo najprimernejšo med tehnologijami čiščenja, popravkov, obnove ali zamenjave vodovodne cevi.

	Tehnologija	Material cevi	Premer rehabilitirane cevi [mm]	Dolžina odseka [m]	Loki [°]	Debelina nanosa [mm]	Ojačitev
Čiščenje	Izpiranje	NL, JE, LŽ, AC, PE, PVC,...	do 600	neomejeno	da	ne	ne
	Vleka čistilnih orodij	NL, JE, LŽ brez prevlek	različni	neomejeno	da	ne	ne
	Vodni pogon	NL, JE, LŽ, AC, PE, PVC,...	do 1500	neomejeno	da	ne	ne
	Vrtanje skozi cev	NL, JE, LŽ brez prevlek	76<	120<	da	ne	ne
Popravki	Notranja zatesnitev spojev in razpok	NL, JE, LŽ, AC, PE, PVC,...	40<	/	da	ne	ne
	Vakuumski izkop in lokalni popravki	NL, JE, LŽ, AC, PE, PVC,...	<40	/	da	ne	ne

Obnova	Brizganje cementne malte	NL, JE, LŽ	različni	92 do 458	premer < 300 mm, odstranimo 22.5, 45 in 90, premer > 400 mm odstranimo 45 in 90, premer > 500 mm - odvisno	13<	ne
	Pršenje epoksi smole	NL, JE, LŽ	različni	do 200	do 45	1 do 5	ne
	Pršenje poliuretana	NL, JE, LŽ	različni	do 200	do 45	1<	delno
	Pršenje poliuree	NL, JE, LŽ	različni	do 200	do 45	0.5 do 12.5	delno
	Oprijeto oplasčenje simetrično	NL, JE, LŽ, AC	100 do 1000	do 305	izkop	2 do 5	da
	Oprijeto oplasčenje zloženo	NL, JE, LŽ, AC	102 do 406 ali 914	do 610	možno	2 do 5	da
	Obloga iz filca	NL, JE, LŽ, AC	100 do 2740	do 300	do 90	različno	da
	Obloga iz pletenih poliestrskih vlaken	NL, JE, LŽ, AC	102 do 1016	do 300	do 45	različno	da
Zamenjava	cev v cevi'	HDPE, PVC, NL, AC, PE, PVC	10% večji od nove cevi	več 100	ne	ne	da
	porušitev obstoječe cevi	NL, JE, LŽ, AC, PE, PVC,...	102 do 914	90 do 120	ne	ne	da
	povrtavanje cevi	PE, PVC, AC	200 do 900	do 300	ne	ne	da
	zamenjava izvedbo z mikro predorov	AC, B (gravit.)	150 do 1000	do 460	ne	ne	da
	izvlek cevi	AC, JE, LŽ,	do 200	do 25	be	ne	da

Preglednica 7: Lastnosti posameznih metod rehabilitacije

4 TEHNOLOGIJE REHABILITACIJE IN PRIMERI V SLOVENSKEM PROSTORU

Nizozemska in Slovenija sta si enotni v tem, da razpolagata z obiljem vode. Prav tako letno na prebivalca obe načrpata približno enake količine pitne vode (Eurostat, 2013). Slovensko vodovodno omrežje je približno petkrat krajše od Nizozemskega, dočim je gostota poselitve v Sloveniji približno štirikrat manjša od Nizozemske (StatisticTimes, 2015). Za razliko od Nizozemske, ki ima zgolj 10 upravljavcev z vodooskrbnimi sistemi (VEWIN, 2013), jih ima Slovenija več kot 90 (Razvoj orodij..., 2015). Vodovodna sistema obeh držav se soočata s težavo starih vodovodnih cevi, pri čemer pa je razvidna razlika pri najpogosteje uporabljenih materialih vgrajenih vodovodnih cevi.

4.1 Sinteza dobrih praks iz Nizozemske

Eden ključnih kazalnikov uspešnosti nizozemskega vodooskrbnega sistema je količina vodnih izgub, ki je že leta 2012 znašala manj kot 6% (Geudens, 2012), za razliko od Slovenije, ki je v leta 2014 izgubila nekaj manj kot 30% načrpane vode (SURs, 2015). Vodne izgube so glede na Operativni program oskrbe s pitno vodo (2015) posledica dotrajanih, napačno montiranih cevi in nepooblaščenih priključitev na vodovode (tatvine), odvisne pa so tudi od tlaka v ceveh, klimatskih razmer (zmrzovanje), topografije (npr. plazljivost) in vrste zemljin. Dočim imata Nizozemska in Slovenija drugačna podnebja ter topografiji, pri čemur bi lahko trdili, da je Nizozemska, kot ravninska država z blagim oceanskim podnebjem v prednosti; nizek delež vodnih izgub na Nizozemskem lahko pripišemo tudi uspešnemu benchmarkingu oziroma primerjalni analizi po kazalcih, ki jo Nizozemska uspešno izvaja že več kot 30 let. S pomočjo take analize lahko namreč hitreje zaznamo težave določenega vodooskrbnega sistema in jih z izmenjavo dobrih praks hitreje odpravimo. Poleg tega majhno število upravljavcev navadno omogoča boljši pregled nad njihovim delom. Pojem primerjalna analiza uspešnosti po kazalcih je na področju vodooskrbe v Sloveniji aktualen dobro desetletje.

Projekt Razvoj orodij za celovito upravljanje vodovodnih sistemov (Razvoj orodij..., 2015) je podal zanimiv rezultat ankete, izvedene med upravljavci slovenskih vodovodnih sistemov. Odgovori upravljavcev so namreč nakazali, da imajo največje stroške s sanacijami interventnih dogodkov na vodovodnih sistemih katere upravljajo režijski obrati s približno 700 €/km*leto, v zlati sredini skupaj s povprečjem se nahajajo koncesionarji z 470 €/km*leto, najmanj sredstev pa za sanacije porabijo javna podjetja z 340 €/km*leto. Režijski upravljavci načeloma upravljajo z najmanjšimi vodovodnimi sistemi, kar nakazuje, da se povprečni stroški upravljanja z velikostjo vodovodnega sistema nižajo. Prav tako je bilo ugotovljeno, da so v povprečju javna podjetja večja, kar omogoča tudi več izobraženega kadra in hidravlično modeliranje lastnega vodovodnega sistema

S centralizacijo upravljavcev vodovodnih sistemov po zgledu Nizozemske, bi Slovenija pri modernizaciji vodovodnih sistemov sledila trendom držav z majhnim deležem vodnih izgub. Centralizacija bi v tem primeru omogočila boljši nadzor nad upravljavci in njihovim delom, prav tako pa bi združevanje upravljavcev vodovodnih sistemov lahko generiralno močnejši sektor za razvoj znotraj podjetij, kar bi lahko prineslo tudi večjo fleksibilnost pri sprejemanju novih tehnologij ter enostavnejšo izvedbo primerjalne analize po kazalcih.

Poleg uspešnega benchmarkinga je, za razliko od Slovenije Nizozemska ena izmed evropskih držav pionirka na področju tehnologij vgradnje cevi brez izkopa ter rehabilitacije vodovodnih sistemov, saj slednje uspešno uporablja in promovira že od 70ih let 20. stoletja.

Pri sprejemanju novih tehnologij, so tehnologije s prepoznavno prednostjo pred obstoječimi tehnologijami prej ali slej sprejete tako s strani industrije ter lastnikov infrastrukture ali njenih upravljavcev (EPA, 2009). Podobno se zna zgoditi tudi s tehnologijami rehabilitacije v Sloveniji. Pri njihovi uvedbi je potrebno izbrati proaktivni pristop in se pri tem izogniti pastem, kot so začetni neuspeh, čeprav bi tehnologija lahko bila uspešna v drugačnih pogojih, pretiranemu konzervativizmu, kompetitivnosti konkurenčne industrije, v tem primeru tehnologij z odprtim izkopom, prevelikem zanosu pri uporabi nove tehnologije, skratka vsemu, kar lahko vodi k njenemu neuspehu. Poleg tega so pomembna tudi dodatna izobraževanja kadrov, ki upravljajo z vodooskrbnimi sistemi.

4.2 Študija uporabe tehnologij rehabilitacije

Različni avtorji so izdelali različne sheme odločanja o rehabilitaciji vodovodnih odsekov in pri tem upoštevali različne faktorje. Predstavili smo sheme, ki so jih izdelali Najafi (2010), FCM in NRC (2003) ter AWWA (2014). Vse sheme zaznajo tri primarne težave, ki se pojavijo na vodovodnem odseku in sicer neustrezna kakovost vode, neustrezne gradbene lastnosti oziroma mehanska odpornost in stabilnost ter neustrezne hidravlične lastnosti cevi, kot so prenizki ali previsoki tlaki in hitrosti. V Prilogi B.1 se nahaja Shematski prikaz, s pomočjo katerega se lahko glede na obseg težav na vodovodnem odseku odločimo med popravki, obnovo ali zamenjavo vodovodnih cevi (Najafi, 2010). V Prilogi B.2 se nahaja shema, ki nam omogoča odločitev med različnimi vrstami obnove in/ali zamenjavo vodovodne cevi na podlagi značilnosti težav, ki jih imamo na odseku (FCM in NRC, 2003). Priloga B.3 nadaljuje delo Najafija (2010) in sicer nam že pomaga izbrati konkretno odločitev o tehnologiji rehabilitacije. Priloge B.4, B.5 in B.6 so bile izdelane s strani ameriškega vodovodnega združenja (AWWA, 2014). Vsaka izmed njih je osredotočena na rešitev ene izmed omenjenih težav s kakovostjo, hidravliko ali gradbenimi lastnostmi vodovodnih cevi.

V sodelovanju s podjetjem Komunala Kranj d.o.o. smo izbrali 4 odseke vodovodnega sistema, s katerim upravljajo in na njih pokazali potek izbire najustreznejše tehnologije rehabilitacije. Pri izbiri lokacije smo želeli izluščiti čimveč različnih situacij, s pomočjo katerih bi nato preizkusili sheme odločanja o izbiri ustrezne tehnologije, ki se nahajajo v Prilogi B. Poleg shem v Prilogi B smo upoštevali tudi nove informacije o tehnologijah rehabilitacije iz Poglavlja 4 ter Preglednico 6 in Preglednico 7.

Izbrali smo 4 različne lokacije in sicer križanje z železniško infrastrukturo v podvozu, daljši vodovodni odsek, ki se nahaja pod cesto skozi naselje, zelo star vodovodni odsek pod regionalno cesto ter odsek znotraj strnjeneja naselja.

Faktorjev, ki vplivajo na izbiro tehnologije rehabilitacije je mnogo, med pomembnejšimi pa so (Najafi, 2010):

- značilnosti terena,

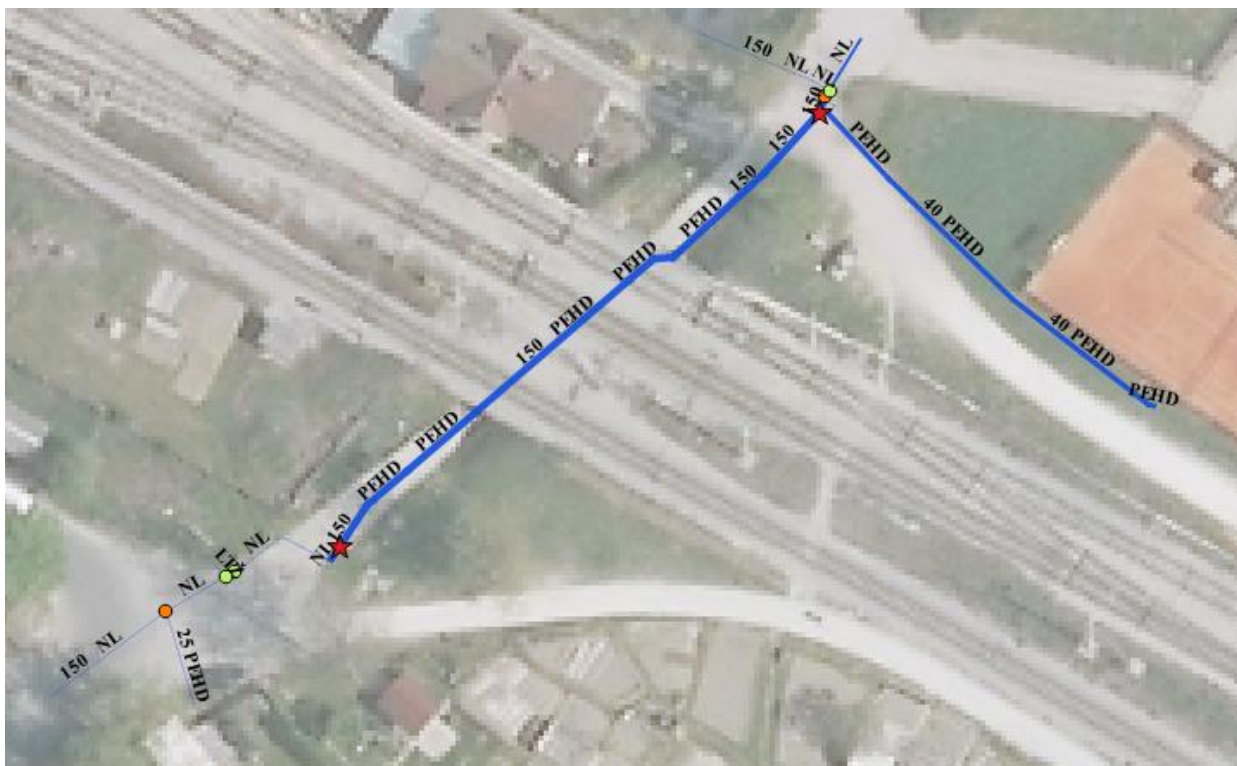
- geološko – geotehnične značilnosti,
- stanje obstoječe cevi,
- želeno stanje,
- možnost gradnje na določenem območju,
- ekonomika določene metode,
- značilnosti posamezne tehnologije rehabilitacije.

Podatki, ki smo jih pri izbiri ustrezne tehnologije rehabilitacije upoštevali so podatki o ceveh in sicer njihova starost, material in premer ter število okvar. Prav tako smo upoštevali lego in dolžino vodovodnega odseka ter infrastrukturo, ki ga obdaja, kar nam je omogočilo oceniti možnosti gradnje na določenem odseku. Preverili smo število priključkov in odcepov ter ali trenutni premer cevi zadostuje potrebam. Ekonomske primerjave med tehnologijami zaradi njene obsežnosti nismo naredili. Za grafični prikaz situacij smo uporabili programsko opremo QGIS.

4.2.1 Rehabilitacija cevi na križanju z železnico

Barletova ulica v Medvodah v podvozu prečka železnico. Primarni vod na sliki je bil zgrajen iz polietilena visoke gostote leta 1980, premer cevi pa znaša 150 milimetrov. Priključni vod je v letu 1993 zgrajen odsek iz polietilenskih cevi premerov 40 milimetrov. Ostale cevi so iz nodularne litine premera 150 milimetrov, vgrajene leta 2005. Z rdečimi zvezdicami sta označeni dve okvari, ki se nahajata na spojih. Dolžina predvidenega rehabilitiranega polietilenskega odseka (primarnega voda) je približno 60 metrov. Priključkov ali odcepov na odseku ni. Podrobneje lahko situacijo vidimo v Prilogi C.1.

Cesta nad vodovodnim odsekom je kategorizirana v skupino javnih poti (JP).



Slika 65: Vodovodni odsek pod Barletovo ulico v Medvodah (glej Prilogo C.1)

Težave, ki smo jih zaznali na odseku so lokalne okvare ter stare polietilenske cevi s pretečeno amortizacijsko dobo, kar klasificiramo kot obsežno težavo. Potrebe po povečanju ali zmanjšanju pretočne sposobnosti na odseku ni, trenutni premer cevi je ustrezen. Odsek sicer nima veliko okvar, edini okvari, ki se pojavita, sta na spojih.

Na shematskem prikazu odločanja o rehabilitaciji vodovodnih cevi (glej Priloga B.1) smo se odločili za možnost ponavljajoče se lokalne težave. Ker gre za javno pot lahko sklepamo, da njeno delno, začasno zaprtje ne bi imelo večjih posledic na lokalni promet, kar pomeni da je obnova tehnično možna, zaradi pretečene amortizacije polietilenske cevi pa tudi ekonomsko upravičena. Ker gre za termoplastično cev, so zanjo nekatere tehnologije rehabilitacije vprašljive, zato tudi njene zamenjave ne izključimo. V primeru Barletove ulice bi se torej odločili za obnovo ali zamenjavo vodovodnega odseka.

S pomočjo sheme v Prilogi B.2 lahko natančneje izberemo med zamenjavo, ojačitveno obnovo, obnovo z delno ojačitvijo ali obnovo brez ojačitve. Ker težav z neustreznimi hidravličnimi značilnostmi ali s kakovostjo vode na odseku ni, smo se odločili za možnost 'neustrezna mehanska odpornost ali stabilnost', saj imamo na odseku okvare, rehabilitirana cev pa je stara, zato so njene gradbene lastnosti vprašljive. Shematski prikaz nas je vodil do rešitve, pri kateri bi obstoječo cev bodisi zamenjali, bodisi rehabilitirali z ojačitveno obnovo.

Shematski prikaz odločanja o rehabilitaciji vodovodnih cevi v Prilogi B.3 nas na podoben način vodi bodisi do ojačitvene obnove – oprijeto oplasčenje, izdelava cevne obloge, bodisi do zamenjave vodovodne cevi pri kateri se poruši obstoječa cev, izvlekom cevi ali pa s tehnologijo 'cev v cevi'.

Glede na shematske prikaze ameriškega vodovodnega združenja (AWWA, 2014) v Prilogah B.4, B.5 ter B.6. smo se ponovno odločili, da gre za gradbeno neustrezno cev in sledili shemi B.5, pri čemer smo se odločili, da rehabilitacija dolgoročno ne bi bistveno izboljšala gradbenih lastnosti polietilenske vodovodne cevi, saj se je pričakovana amortizacijska doba cevi že iztekla. Enako velja za hidravlične lastnosti cevi, katere bi se z izbiro katerekoli izmed ojačitvenih tehnologij, kot so oprijeto oplasčenje ali pa izdelava cevne obloge morda začasno izboljšale, v situacijah, kjer so mehanske lastnosti cevi močno načete pa je navadno zamenjava cevi najboljša možnost.

Sodeč po trenutnem stanju, kjer je razvidno, da se rehabilitirani odsek na obeh koncih priključuje na novejši cevi, narejene iz nodularne litine, bi tudi na odseku predlagali zamenjavo obstoječih polietilenskih cevi s cevmi iz nodularne litine. Odločili bi se za zamenjavo z odprtim izkopom, saj gre za relativno kratek, 60 metrski odsek, prekinitev prometne povezave pa ne prinaša prevelikega vpliva.

Predlagani postopek zamenjave vodovodne cevi

1. Poskrbimo za odklop cevi iz omrežja.
2. Strokovno izkopljemo jarek in odstranimo stare polietilenske cevi.
3. Posteljico oziroma podlago za cev prilagodimo novim cevem iz nodularne litine.
4. Cevi vgradimo in spojimo.
5. Jarek zapolnimo in utrdimo zasipni material.

6. Rehabilitiramo cestni odsek.
7. Novo cev očistimo (izperemo) in dezinfeciramo ter jo ponovno vrnemo v uporabo.

4.2.2 Rehabilitacija cevi pod prometnico

Vodovodni odsek pod Pipanovo cesto v Šenčurju je del sekundarnega vodovodnega omrežja. Večina odseka je bila zgrajena leta 1982 iz PVC cevi premera 150 milimetrov. Dolžina odseka znaša približno 2 kilometra, na celotnem odseku pa se nahaja veliko število individualnih priključnih mest. Zaznanih je bilo tudi veliko število okvar na cevi. Podrobneje lahko situacijo vidimo v Prilogi C.2.

Cesta nad vodovodnim odsekom (Pipanova) je kategorizirana kot lokalna cesta (LC).



Slika 66: Vodovodni odsek pod Pipanovo cesto v Šenčurju (glej Prilogo C.2)

Težave, ki so prisotne na obravnavanem odseku so okvare – večinoma gre za razpoke na ceveh in ne za puščanja na spojih. Poleg tega je odsek star, vgrajene PVC cevi so stare preko 40 let. Potrebe po povečanju ali zmanjšanju pretočne sposobnosti ni. Ker gre za eno glavnih lokalnih cest skozi naselje in relativno dolg odsek, bi lahko njeno delno zaprtje imelo večje negativne posledice za družbo.

Glede na shematski prikaz v Prilogi B.1 smo se odločili, da gre za obsežno težavo, saj je na odseku v zadnjih 7 letih bilo 6 okvar. Potrebe po povečanju ali zmanjšanju pretočnosti ni.

Obnova je tehnično možna, zmanjšanje pretočnosti pa je odvisno od izbrane specifične tehnologije. Zamenjava je ekonomsko upravičena, ena izmed večjih omejitev za zamenjavo cevi na odseku je pa veliko število priključkov, saj jih je kar 81 na 2 kilometra dolgem odseku. Na podlagi shematskega prikaza v Prilogi B. 1 smo se torej odločili bodisi za obnovo ali pa zamenjavo.

Na shematskem prikazu v Prilogi B.2 smo kot zaznano težavo ugotovili neustrezno mehansko odpornost ali stabilnost, saj imamo na odseku več okvar in zastarane cevi. Da bi natančno ugotovili stopnjo degradiranosti odseka bi sicer morali izvesti notranji pregled cevi na primer z nadzorno kamero. Ker pregleda nismo mogli izvesti smo se na podlagi starosti cevi in števila okvar odločili, da imajo cevi vgrajene v vodovodnem odseku vprašljive gradbene lastnosti, kar nas je vodilo do zamenjave ali pa ojačitvene obnove kot rešitve.

Shematski prikaz v Prilogi B.3 nas je vodil od težav z mehansko odpornostjo do cevi ustrezne velikosti. Pretočne zmogljivosti nismo ocenjevali. Ker so se na odseku večkrat pojavile okvare – luknje ali razpoke, nas je shema ponovno vodila bodisi do zamenjave cevi na odseku s porušenjem obstoječe cevi, izvlekom cevi ali s tehnologijo 'cev v cevi'; bodisi do ojačitvene obnove z oprijetim oplasčenjem ali izdelavo obloge.

Glede na to, da so težave na našem odseku neustrezne gradbene lastnosti cevi oziroma neustrezna mehanska odpornost in stabilnost smo analizo nadaljevali s pomočjo Priloge B.5, s pomočjo katere se lahko odločimo za izbiro ustrezne tehnologije obnove ali zamenjave v primeru ko je cev gradbeno neustrezna. V naslednjem koraku smo se odločili, da rehabilitacija ne bi ohranila gradbenih lastnosti cevi, saj gre za cev, kateri se je življenska doba iztekla in se je pričela kvariti. Pravilna izbira tehnologij rehabilitacije bi v omenjeni situaciji lahko ohranila hidravlične lastnosti cevi, a ker je na odseku zelo veliko število priključkov, bi se odločili za zamenjavo z odprtim izkopom.

Če se osredotočimo še na Preglednico 6 in Preglednico 7 bi lahko rekli da bi lahko kot alternativo zamenjavi z odprtim izkopom predlagali tudi zamenjavo cevi s porušitvijo obstoječe cevi, saj lastnosti vgrajenih PVC cevi ustrezajo. Sicer bi bilo potrebno narediti več lokalnih izkopov za postavitev mehanizacije (na približno 120 metrov, morda tudi več). V situaciji na Pipanovi cesti v Šenčurju bi bilo smotno narediti ekonomsko analizo in z njo preveriti ali bi bila tehnologija zamenjave cevi s porušitvijo obstoječe učinkovitejša. Definitivno bi bilo izkopov manj kot z uporabo tradicionalne tehnologije z odprtim izkopom, je pa pod vprašanjem čas, ki bi ga porabili za rehabilitacijo odseka. Namreč gre za poseljeno območje, kjer dolgotrajni izpad vode ni najboljša opcija. Ker gre za vodovodni odsek daljši od 2 kilometrov, smo se odločili za izbiro tehnologije zamenjave cevi s porušitvijo obstoječe in sicer za statično metodo z rezilno glavo, ki omogoča razrez morebitnih kovinskih armatur. Novo vgrajena cev je lahko ponovno narejena iz polivinilklorida ali pa se odločimo za polietilen visoke gostote ali, če nam finance to dopuščajo, za nodularno litino.

Predlagani postopek rehabilitacije vodovodnega odseka

1. Poskrbimo za alternativno prometno ureditev nad obravnavanim vodovodnim odsekom.
2. Rehabilitiran odsek izključimo iz omrežja, in izkopljemo vstopno in izstopno gradbeno jamo na razdalji 120 metrov ter pripravimo mehanizacijo.

3. Odseke polietilenskih ali PVC cevi pred vgradnjo osebje zvarimo na gradbišču, Spoji morajo biti gladki in enotni, med vgradnjo pa moramo posebno paziti, da ostanki stare, porušene cevi, ne poškodujejo nove. Odseke cevi iz nodularne litine navadno spojimo z mehanskimi spoji, kar je priročno ter praktično iz vidika prostora, ki ga zavzame celotna tehnologija, saj odseke spajamo sproti, z napredovanjem porušitve stare cevi in vgradnjo nove ter se tako izognemo večjim izkopom.
4. V staro cev skozi izstopno jamo vstavimo jekleno drogovje. Ko drogovje doseže vstopno gradbeno jamo, nanj montiramo rezilno glavo, ki ji sledi čep in pa odsek nove cevi. Nato s pomočjo hidravličnega agregata vlečemo jekleno drogovje proti izstopnemu jašku in s tem rušimo obstoječo cev ter njene ostanek porivamo v okoliško zemljinu. Postopek traja dokler rezilna glava ne doseže izstopne jame, kjer jo ločimo od novo vgrajene cevi.
5. Zgradimo novo izstopno jamo in staro izstopno jamo uporabimo kot vstopno.
6. Mehanizacijo preselimo v novo izstopno jamo.
7. Ponavljamo postopek od 1 do 6, dokler ne rehabilitiramo – zamenjamo celotnega dvokilometrskega odseka.
8. Cev na koncu priključimo na ostalo omrežje, naredimo tlačni preizkus, jo dezinficiramo in izperemo ter vrnemo v uporabo.

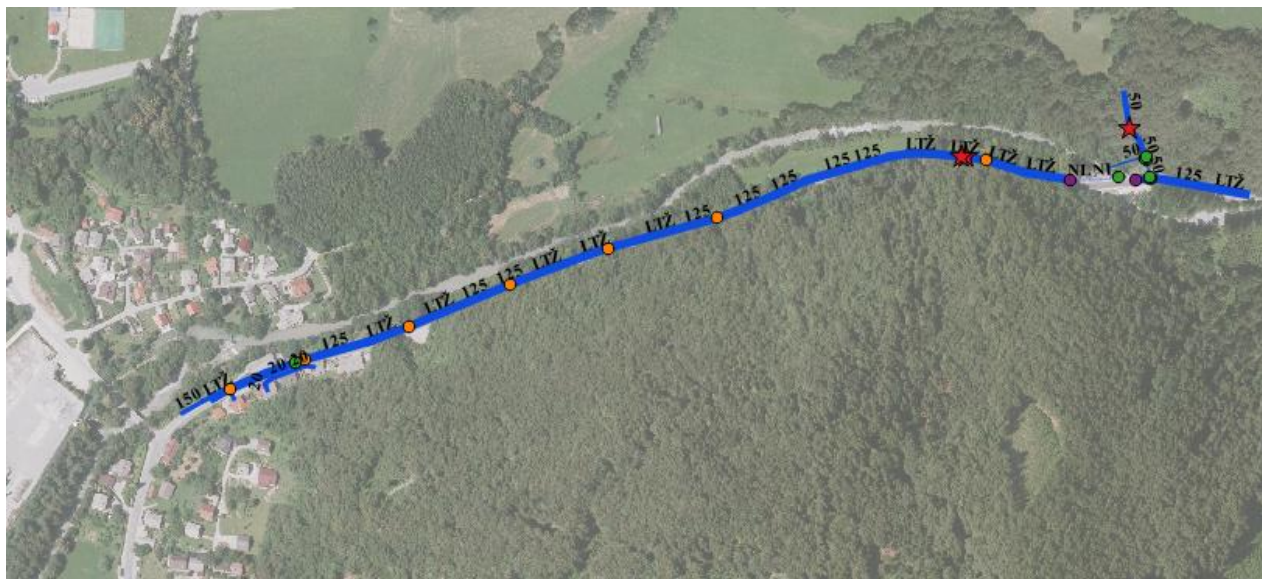
4.2.3 Rehabilitacija cevi v primestnem okolju

Obravnani vodovodni odsek v Tupaličah je bil zgrajen leta 1905. Gre za magistralni vodovod, zgrajen večinoma iz litoželeznih cevi premera 125 mm. Glede na starost vodovodnega odseka na njem ni bilo veliko okvar. V zgornjem delu odseka se nahajajo nove cevi iz nodularne litine in premera 150 mm. Dolžina odseka znaša približno 1 km. Podrobneje lahko situacijo vidimo v Prilogi C.3.

Cesta nad vodovodnim odsekom spada pod mrežo državnih cest, odsek Sp. Jezersko –Preddvor in je klasificirana kot regionalna cesta 1. kategorije (R1).

Primarna zaznana težava na odseku je visoka starost vgrajenih litoželeznih cevi, slednje so starejše od 100 let, gradbeno pa še vedno ustrezne. Poleg tega so vse cevi enakega premera, priključkov oziroma odcepov pa ni veliko. Ker gre za regionalno cesto in dokaj dolg odsek, odprti izkop ni najbolj optimalna možnost.

Glede na shematski prikaz v Prilogi B.1 bi se, glede na starost obstoječega odseka odločili da gre za obsežne težave, pri katerih potrebe po povečanju pretočnosti ni, njeno zmanjšanje pa tudi ni možno. Obnova ne bi nujno zmanjšala pretočnosti, saj je možna uporaba tehnologij obnove, kot je pršenje polimerov, kjer se prerez rehabilitirane cevi praktično ne zmanjša. Zamenjava je ekonomsko upravičena, a morda nesmiselna zaradi ustreznih gradbenih lastnosti cevi, zato je bi se odločili za obnovo cevi.



Slika 67: Vodovodni odsek pod cesto Tupaličah (glej Prilogo C.3)

Priloga B.2 nas postavi v dvom, saj ni z odsekom, razen njegove starosti, nič narobe. Ker je cev litoželezna in nagnjena h koroziji smo predpostavili, da je težava neustrezna kakovost vode. Gradbene lastnosti odseka so, kot smo že ugotovili, ustrezne, zato nas shematski prikaz pripelje do rešitve, ki je obnova z delno ojačitvijo ali brez ojačitve.

Tudi Priloga B.3 nas po podobni poti pripelje do treh različnih rešitev in sicer obnove ali zamenjave cevi.

Ker smo predpostavili, da bo težava na odseku neustrezna kakovost vode, smo nato sledili shematskem prikazu v Prilogi B.4. Cev je gradbeno in hidravlično ustrezna, v Sloveniji pa je voda načeloma neagresivna in trda, zato nam shema predlaga obnovo s pršenjem polimernih nanosov.

Nato smo si podrobneje ogledali še Preglednico 6 in Preglednico 7, s pomočjo katerih smo ugotovili, da so za našo težavo najprimernejše tehnologije:

- obnova z brizganjem cementne malte,
- obnova s pršenjem polimernih nanosov,
- obnova z oprijetim oplášenjem ter
- obnova z izdelavo obloge.

S pomočjo vseh naštetih tehnologij lahko namreč zaustavimo proces notranje korozije, preplastimo manjše nepravilnosti na ceveh in posledično vplivamo na kakovost vode ter podaljšanje življenjske dobe omenjenega vodovodnega odseka. Vse izmed naštetih tehnologij so primerne za rehabilitacijo litoželeznih cevi premera 125 mm, poleg tega pa so dovolj tanke, da ne vplivajo bistveno na hidravlično prevodnost. Pomemben podatek je, da gre za odsek, ki se nahaja pod regionalno cesto, zato je njegova hitra vrnitev v uporabo ključnega pomena. Najhitrejša tehnologija je pršenje polimernih nanosov, konkretnije poliuretana ali poliuree, saj je z njuno uporabo odsek možno vrniti v uporabo že isti dan. Ker je rehabilitirani odsek dolg približno 1 kilometer, bi morali narediti šest manjših izkopov za postavitve mehanizacije.

Predlagani postopek rehabilitacije vodovodnega odseka

1. Poskrbimo za alternativno prometno ureditev v času gradnje.
2. Zapremo ventile in cev vzamemo iz uporabe.
3. Pred čiščenjem je potrebno locirati vse točke, kjer bomo izvršili lokalne izkope. Predlagamo izkope na razdalji 200 metrov.
4. Nato je priporočen pregled cevi s kamero, s čimer ugotovimo kakšno čiščenje cevi je potrebno ter identificiramo vse napake na cevi in preividimo debelino potrebne zaščite.
5. Nato cev očistimo. Predlagamo bodisi čiščenje z vleko čistilnih orodij ali pa vrtanje skozi cev. Obe tehnologiji čiščenja sta primerni z vidika dolžine in konstantnega premera čiščenega odseka, materiala čiščene cevi ter agresivnosti in učinkovitosti čiščenja.
6. Iz cevi odstranimo vso vodo ter preverimo stanje opreme za pršenje (pretok iz črpalke, temperaturo in sestavo mešanice).
7. Sledi vstavljanje pršilne cevi v cev, ki jo želimo rehabilitirati in pa pršenje zaščite skozi šobo na koncu pršilne cevi. Pršenje lahko izvajamo le v primeru, ko so stene cevi toplejše od 3°C oziroma od temperature, ki jo predpiše proizvajalec. Med pršenjem z namenom doseganja gladke zaščite enakomerne debeline, spremljamo hitrost vitla in napredek pršilne cevi.
8. Takoj po koncu pršenja cev, ki jo želimo rehabilitirati zapremo na obeh koncih in se na ta način izognemo možnemu onesnaženju ali pa poplavljanju z vodo, ki bi lahko vdrla v cev. Nato po navodilih proizvajalca pršenega materiala počakamo, da se material posuši in po potrebi pršimo še enkrat.
9. Ko se opláčenje posuši, osebje vizualno pregleda rehabilitirano cev na obeh straneh, nato pa sledi še verificiranje kakovosti zaščite s pomočjo kamere. Paziti moramo tudi na priključke stranskih cevi na glavne, saj se slednji radi zamašijo.
10. Nato cev izperemo, dezinfeciramo in ponovno izperemo ter vrnemo v uporabo.

4.2.4 Rehabilitacija cevi v strnjenem naselju

Vodovodni odsek pod Vrečkovo ulico v Kranju se nahaja v strnjenem blokovskem naselju v neposredni bližini doma ostarelih. Vgrajene cevi so pretežno azbestno – cementne, premera 150 mm iz leta 1965, poleg teh, pa se pod ulico nahajajo še polietilenske cevi premera 40 mm iz leta 1977, na spojih katerih je večkrat prišlo do okvar. Azbestno – cementnih cevi je približno 400 metrov. Cevi so del sekundarnega vodovodnega omrežja. Na odseku je kar nekaj priključkov in lokov. Podrobneje lahko situacijo vidimo v Prilogi C.4.



Slika 68: Vodovodni odsek pod Vrečkovo ulico, Kranj – Planina (glej Prilogo C.4)

Težava na vodovodnem odseku so več kot 60 let stare azbestno – cementne cevi. Azbest – cement kot material zaradi toksičnosti za človeka ni več uporaben. Pri odstranjevanju cevi moramo zato biti izredno previdni. Glede na Uredbo o ravnanju z odpadki, ki vsebujejo azbest (2008) so azbestno – cementne vodovodne cevi klasificirane kot trdno vezani azbestni odpadki, ki vsebujejo pretežno anorganske snovi. Kot tak mora biti deležen ustreznega ravnanja.

Pravilnik o pogojih, pod katerimi se lahko pri rekonstrukciji ali odstranitvi objektov in pri vzdrževalnih delih na objektih, instalacijah ali napravah odstranjujejo materiali, ki vsebujejo azbest (2001) definira rekonstrukcijo objekta, vzdrževalna dela in dela manjšega obsega takole:

- **rekonstrukcija objekta** s pomenom kot v predpisih o graditvi objektov, ki obsega odstranjevanje materialov, ki vsebujejo azbest, ali premazovanje ali druge načine ločevanja šibko vezanih azbestnih materialov od bivalnega ali drugih prostorov v objektu, kjer se zadržujejo ljudje, z namenom, da se prepreči samodejno sproščanje azbestnih vlaken,
- **vzdrževalna dela** kot dela, s katerimi se objekti, instalacije ali naprave, v katere je vgrajen azbest, ali za vzdrževanje z materiali, ki vsebujejo azbest, obnavljajo ali modernizirajo in pri tem ne gre za rekonstrukcijo ali odstranitev objekta po predpisih o

graditvi objektov. Za vzdrževalna dela se štejejo tudi dodatna dela (vstopanje v prostore, ki so onesnaženi z azbestom, jemanje vzorcev zraka za meritve koncentracij azbestnih vlaken v zraku, izpraznitev prostorov, ki so onesnaženi z azbestom, čiščenje prostorov in predmetov, ki so onesnaženi z azbestom in prevozi po gradbišču ter začasno skladiščenje odstranjenih materialov, ki vsebujejo azbest) začasni ukrepi, kot so nanašanje materialov in popravilo poškodb, če gre za začasne ukrepe na materialih, ki vsebujejo azbest, ter razgradnja naprav, za odstranitev katerih ni treba pridobiti dovoljenja za poseg v prostor po predpisih o graditvi objektov ter

- **dela manjšega obsega** kot vsa dela, ki jih do zaključka delovnega postopka, vključno z dodatnimi deli, ki so potrebna na območju odstranjevanja azbesta, vendar brez izvedbe meritev koncentracij azbestnih vlaken ob zaključku del, izvedenih zaradi odobritve ponovne uporabe prostora, opravita največ dva delavca in ne trajajo več kot štiri ure, in gre za:
 - odstranjevanje azbest cementnih izdelkov ali drugih azbestnih izdelkov, ki je sestavni del tega pravilnika, če koncentracija azbestnih vlaken v zraku na območju odstranjevanja ne presega 0,1 vl/cm³, ali
 - odstranjevanje majhnih količin materialov, ki vsebujejo šibko vezani azbest, kot je na primer odstranjevanje azbestnih kartonov pod okenskimi policami, odstranjevanje tesnil na gorilcih ali vratih, ali
 - vzdrževanje azbestnih izdelkov, kot je preplastenje zapor pri zračnih in dimnih kanalih ali kabelskih vodih ali preplastenje slabo vezanih azbestnih plošč v dobrem stanju, razen fasadnih, z valjčkom, ali
 - odstranjevanje fasadnih oblog, strešnih kritin in cevovodov iz azbest cementa, če dela potekajo na prostem, skupna površina azbest cementnih plošč pa ne presega 1.000 m² oziroma skupna dolžina azbest cementnih cevi ne presega 300 m.

Pri projektiranju rekonstrukcije ali odstranitve objektov in pri projektiranju vzdrževalnih del je treba zagotoviti izdelavo ocene tveganja za varnost in zdravje delavcev po predpisih o varovanju delavcev pred azbestom. Iz ocene tveganja iz prejšnjega odstavka morajo biti razvidni vrsta, obseg in trajanje izpostavljenosti delavcev azbestnemu prahu in prahu materialov, ki vsebujejo azbest, ter koncentracija azbestnih vlaken v zraku na območju odstranjevanja.

Projektna dokumentacija za rekonstrukcijo, odstranitev ali vzdrževalna dela mora vsebovati tudi dokumentacijo o:

- ukrepah za preprečevanje emisije azbestnih vlaken v okolje,
- meritvah koncentracije azbestnih vlaken v zraku na območju odstranjevanja, razen za dela manjšega obsega in
- ravnanju z odpadki skladno s predpisi o ravnanju z azbestnimi odpadki.

Rekonstrukcijo ali odstranitev objektov in vzdrževalna dela lahko opravlja oseba (v nadaljnjem besedilu: izvajalec), ki ima za odstranjevanje azbesta dovoljenje Agencije Republike Slovenije za okolje. Izvajalec mora dela, ki se izvajajo zaradi rekonstrukcije ali odstranitve objekta ali

vzdrževalnih del, prijaviti inšpektorju, pristojnemu za varstvo okolja, najkasneje 15 dni pred pričetkom del.

Izvajalec mora zagotoviti, da se pri izvajanju rekonstrukcije ali odstranitve objektov ter pri vzdrževalnih delih ne obdeluje izdelkov iz materialov, ki vsebujejo azbest, z delovnimi stroji, ki posnemajo njihovo površino kot so na primer brušenje, visoko ali nizkotlačno čiščenje ali krtačenje. Materiale, ki vsebujejo azbest, je treba pred odstranitvijo, rezanjem ali strganjem ali pred obdelavo s kakršnimikoli drugimi postopki, predhodno navlažiti, da se prepreči sproščanje azbestnih vlaken. Prav tako je na gradbišču potrebno ograditi prostor, kjer potekajo dela ter urediti poseben prostor za dekontaminacijo osebja, ki iz ograjenega območja odstranjevanja izstopa, in poseben prostor za dekontaminacijo materiala, ki se iz tega območja odstranjuje.

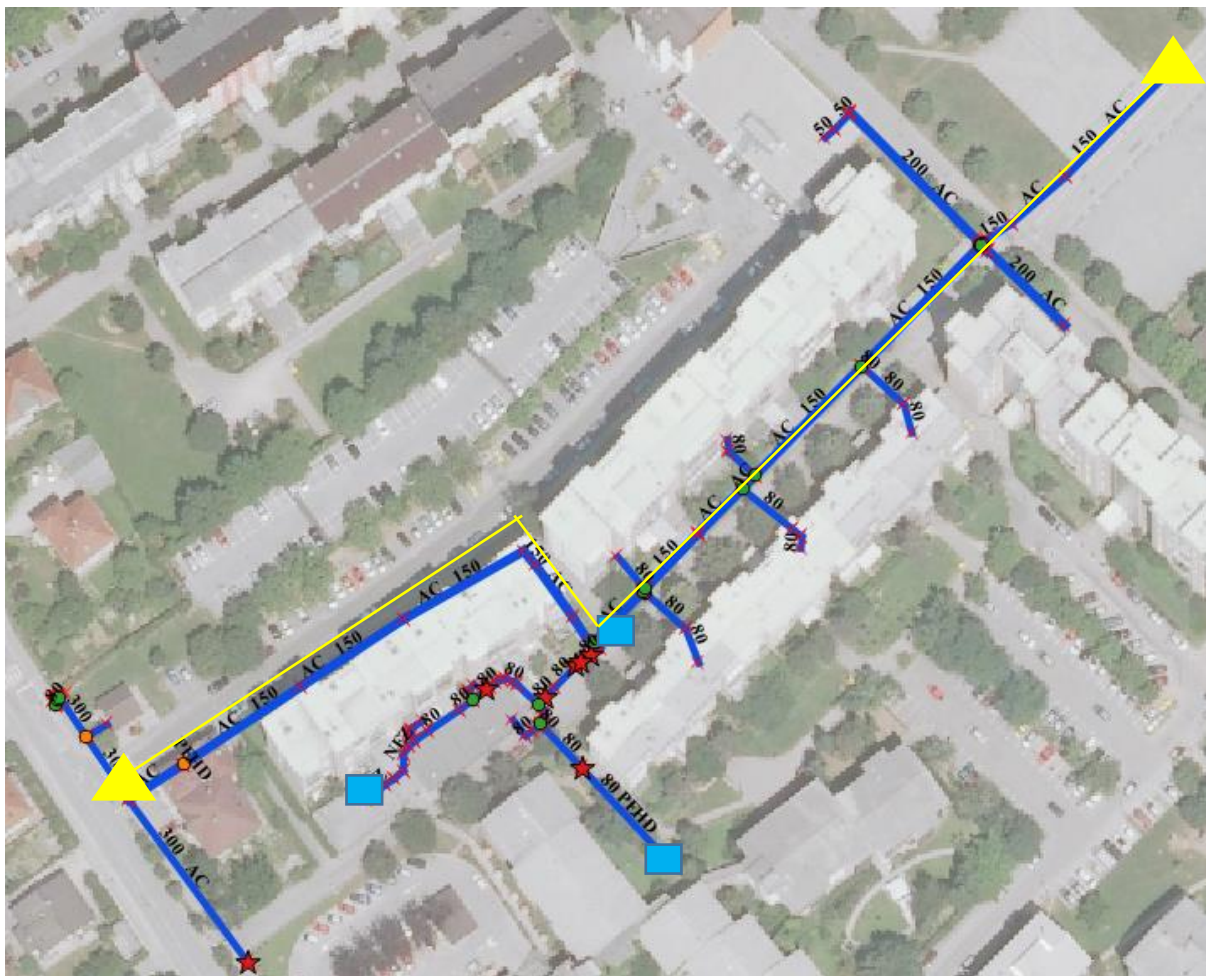
Zaradi različnih premerov vodovodnih cevi na odseku in zaradi zakonskih omejitev v primeru del večjega obsega smo se odločili, da je najbolj smotrno rehabilitirati odsek sekundarnega omrežja azbestno – cementnih cevi premera 105 mm, ki jih označujejo daljice med rumenima trikotnikoma (Slika 70), katerega dolžina znaša približno 250 metrov. Za nadaljne raziskave o primernosti uporabe tehnologij rehabilitacije smo ga poimenovali odsek A. Hkrati smo posebno obravnavali polietilenski odsek priključnega omrežja med modrimi kvadratki (Slika 70), poimenovan odsek B. Na ta način bi lahko sklepamo, da bi iz Pravilnika o pogojih, pod katerimi se lahko pri rekonstrukciji ali odstranitvi objektov in pri vzdrževalnih delih na objektih, instalacijah ali napravah odstranjujejo materiali, ki vsebujejo azbest (2001) tehnologije obnove azbestno-cementnih cevi padle v kategorijo vzdrževalnih del, njihova zamenjava pa v konkretni situaciji odseka na Vrečkovi ulici, pod dela manjšega obsega, saj gre za odsek krajši od 300 metrov.

Izbira ustrezne tehnologije rehabilitacije za vodovodni odsek A

Glede na shematski prikaz v Prilogi B.1 bi težave z obravnavanim azbestno – cementnim vodovodnim odsekom klasificirali kot obsežne, saj gre za stare, potencialno toksične, vodovodne cevi. Potrebe po povečanju ali zmanjšanju pretočnosti ni. Zamenjava je ekonomsko upravičena, a pogojena z že omenjeno težavo z azbestom iz česar sledi odločitev o obnovi.

Na shematskem prikazu v Prilogi B.2 smo kot težavo izbrali neustrezno mehansko odpornost ali stabilnost cevi oziroma vprašljive gradbene lastnosti cevi, kar je tudi nakazalo, da bi za rehabilitacijo vodovodnega oseka A morali izbrati ali zamenjavo cevi ali pa ojačitveno obnovo.

Postopek pri uporabi shematskega prikaza v Prilogi B.3 je bil podoben in s predpostavko, da je azbestno – cementna cev deloma degradirana, rezultiral v ojačitveni obnovi (oprijeto oplasčenje ali izdelava obloge) oziroma v zamenjavi cevi z izvlekom, porušenjem obstoječe cevi ali s tehnologijo 'cev v cevi'. Prav tako bi lahko uporabili odprti izkop.



Slika 69: Rehabilitirani odsek na Vrečkovi ulici

Zadnji uporabljeni shematski prikaz je bil shematski prikaz iz priloge B.5, kjer smo se na podlagi dejstev, da je priključkov oziroma odcepnih mest na odseku 8, kar je razmeroma malo, in na podlagi materiala cevi in dejstva, da gre za poseljeno območje, kjer bi z deli, predvsem izkopi ustvarili veliko hrupa in prahu, odločili, da je na odseku najbolje uporabiti katero izmed ojačitvenih tehnologij obnove. Azbestno – cementne cevi na odseku se namreč še niso okvarile, zato predpostavljamo, da so njihove gradbene lastnosti še relativno ustrezne.

Preglednica 6 in Preglednica 7 sugerirata ali izdelavo obloge ali pa oprijeto oplaščenje cevi.

WRF in EPA (2015) za izbiro primerne tehnologije rehabilitacije azbestno – cementnih cevi sugerirata zamenjavo z odprtim izkopom ter porušenjem obstoječe cevi ali pa obnovo s pršenjem polimerov oziroma polimerno oblogo. V primeru odprtega izkopa moramo biti izredno previdni in cev med postopkom konstantno pršiti z vodo, da ustavimo morebitno širjenje azbestnih vlaken. Porušenje azbestno – cementne cevi omenijo kot deloma sporno iz vidika ostankov azbestnih vlaken v zemljin. Ta so namreč kasneje lahko izpostavljena ob morebitnih izkopih. Poleg omenjenih tehnologij WRF in EPA (2015) predlagata tudi opustitev obstoječih azbestno – cementnih cevi, njihovo zapolnitev z malto ter izgradnjo novega, vzporednega vodovodnega odseka.

Glede na podatke o rehabilitaciji azbestno – cementnih cevi ter glede na shematske prikaze v Prilogi B ter na podlagi podatkov iz Preglednice 6 in Preglednice 7; smo se odločili, da ne tvegamo kontaminacije strjenega naselja, zato bi odsek A obnovili z oblogo iz klobučevine s postopkom obračanja. Tehnologija omogoča obnovo vodovodnih odsekov dolžine do 300 metrov ter tudi obnovo lokov do 90° (na odseku imamo dva loka).

Predlagani postopek rehabilitacije vodovodnega odseka A

1. Zavarujemo predvidena mesta za vstopno ter izstopno gradbeno jamo.
2. Izkopljemo vstopno ter izstopno gradbeno jamo, ki ju lociramo na mesto rumenih trikotnikov (Slika 70). Pri postopku moramo biti izredno previdni in cel čas pršiti vodo.
3. Cev odklopimo iz omrežja ter jo očistimo z izpiranjem ali pa s pomočjo poliuretanskih tamponov in nabojev.
4. Impregniran filc vstavimo v cev
5. Oblogo s pomočjo vodnega tlaka obrnemo navzven.
6. Oblogo s pomočjo vroče vode utrdimo
7. Cev izperemo, dezinfeciramo in ponovno izperemo ter priključimo na omrežje.

Izbira ustrezne tehnologije rehabilitacije za vodovodni odsek B

Polietilenske cevi vgrajene na vodovodnem odseku B so premera 80 mm. Starost cevi je ali 39 let, ali pa je njihova letnica vgradnje neznana. Na odseku so pogoste okvare, ki se pojavljajo izključno na spojih. Med leti 2009 in 2015 je na odseku bilo 6 okvar. Ker gre za strnjeno naselje bi se radi izognili odprtim izkopom oziroma želimo hitro zaprtje gradbišča.

Če se osredotočimo na shematske prikaze odločanja o rehabilitaciji vodovodnih cevi, konkretnije na Odločitev med popravilom, obnovo ali zamenjavo v Prilogi B.1 in izberemo, da so težave z odsekom ponavljajoče, potrebe po zmanjšanju ali povečanju pretočnosti ni, obnova je tehnično možna, zamenjava pa ekonomsko upravičena zaradi starosti cevi. Za zamenjavo cevi nimamo nobenih omejitev, čeprav le ta ne kaže nobenih znakov staranja, saj so zaznane težave le na spojih cevi. Rešitev se torej giblje med obnovo in zamenjavo cevi.

Shematski prikaz v Prilogi B.2 nas vodi od neustreznih mehanskih lastnosti in stabilnosti cevi preko puščanja vode oziroma okvar na spojih do rešitve – notranja zatesnitev spojev oziroma vakuumski izkop in popravilo. Pred tem bi sicer morali z nadzorno kamero preveriti ali je cev gradbeno ustrezna in se morali v primeru, da je cev že degradirana, odločiti za obnovo ali zamenjavo.

Glede na shematski prikaz v Prilogi B.3, kjer se odločimo, da težava niso mehanske lastnosti in stabilnost cevi temveč okvare oziroma puščanja na spojih, je rezultirajoča rešitev lokalno popraviljanje cevi z notranjo tesnitvijo spojev oziroma popravila s pomočjo vakuumskega izkopa.

Ker smo predpostavili, da je cev gradbeno ustrezna, saj gre zgolj za okvare na spojih, ne moremo upoštevati nobenega izmed shematskih prikazov v Prilogah B.4, B.5 ter B.6.

Ker gre za cevi, katerih življenjska doba se je že iztekla, bi bilo morda smotrno pričeti z načrtovanjem zamenjave cevi – glede na značilnosti odseka oziroma predvsem majhnosti premera vgrajenih cevi, bi bila najprimernejša tehnologija zamenjave z odprtim izkopom.

Preglednica 6 in Preglednica 7 nas vodita tudi do rešitve, ki so lokalna popravila s pomočjo vakuumskega izkopa v primeru ponovne okvare na spojih.

Predlagani postopek rehabilitacije vodovodnega odseka B

1. Na terenu označimo mesto okvare ter zavarujemo mesto izkopa.
2. Odsek izključimo iz uporabe.
3. S pomočjo ustrezne opreme odstranimo vrhnji betonski sloj poti.
4. Pričnemo z vakuumskim izkopom in kopljemo dokler ne dosežemo spoja vodovodnih cevi.
5. Ko spoj dosežemo ga popravimo, zamenjamo, zatesnimo.
6. Zasujemo izkopani material in zabetoniramo pot.
7. Cev izperemo, dezinfeciramo, ponovno izperemo ter vrnemo v obtok.

5 ZAKLJUČEK

Razvoj tehnologij brez izkopa izhaja iz potreb različnih industrij, kot sta naftna ter plinska, kasneje pa so se pričele uporabljati tudi pri gradnji in rehabilitaciji komunalnih vodov. Danes je naše okolje gosteje naseljeno, kot je bilo stoletje nazaj, prav tako pa je bolj izkoriščen podzemni prostor. Tehnologije brez izkopa omogočajo vgradnjo vodovodnih cevi ter njihovo rehabilitacijo brez vstopa osebja ter brez linijskih izkopov odprtih gradbenih jarkov. Primarna prednost tehnologij brez izkopa je dejstvo, da je njihov vpliv na okolje in družbo v splošnem manjši, saj z njimi načeloma ne povzročamo hrupa ali prahu, ne ustavljamo prometa ali uničujemo pridelkov,...

V magistrski nalogi smo se osredotočili na tehnologije vgradnje vodovodnih cevi ter njihove rehabilitacije, kot nadpomenke za popravila cevi, zamenjave cevi ter obnove. Popravila so definirana kot hitra, točkovna sanacija, obnovo cevi definiramo kot linijsko vzdrževanje cevi, zamenjava obstoječe cevi pomeni bodisi popolno odstranitev ali uničenje obstoječe cevi in nadomestitev le-te z novo funkcionalno vodovodno cevjo ali pa izgradnjo nove, popolnoma samostojne in funkcionalne cevi znotraj obstoječe cevi (ISTT, 2016). Rehabilitacijo vodovodnih sistemov navadno vršimo zaradi želje po izboljšanju kakovosti pitne vode ter hidravličnih ali gradbenih lastnosti cevi.

Možnost uporabe tehnologij brez izkopa je v Sloveniji še relativno neraziskano področje, dočim je njihova uporaba na Nizozemskem že stalna praksa. V magistrskem delu smo klasificirali najpomembnejše ter najpogosteje uporabljane tehnologije brez izkopa, pri čemer smo se osredotočili na tehnologije vgradnje ter rehabilitacije vodovodnih cevi. Poleg tega magistrsko delo nudi vpogled v možnosti uporabe tehnologij brez izkopa na področju vgradnje ter rehabilitacije vodovodnih cevi v Sloveniji.

V prvem delu magistrskega dela smo se osredotočili na slovensko in nizozemsko zakonodajo ter politiko na področju vodooskrbe ter tehnologij brez izkopa. Nizozemska je kot država vzornica bila izbrana zaradi možnosti izmenjave informacij na Erasmus+ izmenjavi avtorice, ki je bila izvedena med februarjem in julijem 2016. Poleg tega je Nizozemska ena izmed držav članic Evropske Unije z najmanjšim deležem vodnih izgub. Nizozemska in Slovenija morata torej kot članici Evropske Unije slediti njenim smernicam, ki na področju tehnologij brez izkopa še niso definirane. Ugotovili smo, da so v Sloveniji tehnologije brez izkopa še neznanka, saj jih z izjemo omembe znotraj Operativnega programa oskrbe s pitno vodo (2015) in nekaj visokošolskih del, kot je npr. delo Turka (2014) ter gradenj nekaj podjetij, nismo zasledili. Nizozemska je v nasprotju s Slovenijo ena izmed držav evropskih držav pionirk na področju tehnologij brez izkopa.

V drugem delu magistrske naloge je bila narejena klasifikacija tehnologij vgradnje brez izkopa, kot alternative tradicionalni vgradnji z izkopom jarkov. Prav tako je bil narejen pregled tehnologij rehabilitacije vodovodnih cevi, torej čiščenja, popravil, obnove ter zamenjave in narejena njihova medsebojna primerjava.

V tretjem delu magistrske naloge smo sintetizirali dobre prakse iz Nizozemske ter ugotovili, da bi lahko s centralizacijo oziroma zmanjšanjem števila upravljavcev po zgledu Nizozemske morda tudi v Sloveniji dosegli boljši nadzor nad njihovim delom ter povečali sektorje za razvoj. Močnejši razvojni oddelki bi tako lahko v slovenski prostor vnesli nove tehnologije, kot so tehnologije brez izkopa. V tretjem delu smo predstavili tudi shematske prikaze odločanja o rehabilitaciji vodovodnih cevi in prikazali njihovo uporabo na štirih različnih vodovodnih odsekih na različnih lokacijah. Prvi odsek je predstavljalo križanje zastaranega polietilenskega vodovodnega odseka z železnico v podhodu, za rehabilitacijo katerega so nas shematski prikazi vodili do rešitve – zamenjave odseka z odprtim izkopom. Naslednji obravnavani odsek, na katerem smo pokazali možnost uporabe shematskih prikazov je bil dvokilometrski vodovodni odsek iz cevi, narejenih iz polivinil klorida, kjer se je nahajalo veliko priključkov. S pomočjo shematskih prikazov smo se odločili za zamenjavo vodovodnih cevi s porušitvijo obstoječe. Tretji obravnavani odsek se nahaja pod lokalno cesto, njegova značilnost pa so bile gradbeno ustrezne, več kot 100 let stare litoželezne cevi. Tehnologija rehabilitacije, za katero smo se odločili je obnova cevi s pršenjem polimernih nanosov. Zadnji vodovodni odsek, za katerega smo predlagali rehabilitacijo je bil azbestno – cementni ter polietilenski vodovodni odsek znotraj strnjene naselja, ki smo se ga zaradi njegovih specifik odločili razdeliti na dva manjša odseka. Z azbestom kot nevarnim odpadkom moramo ravnati pod posebnimi pogoji, kar je rezultiralo v predlagani obnovi odseka A z izdelavo polimerne obloge. Za rehabilitacijo odseka B smo predlagali nadaljevanje z lokalnimi popravki in sicer z uporabo tehnologije vakuumskega izkopa.

Ker so tehnologije brez izkopa področje, ki se še razvija, bi za nadaljnje delo na področju aplikacije tehnologij brez izkopa na slovensko področje predlagali shematske prikaze pripraviti do nivoja informacijske tehnologije oziroma programske opreme, s pomočjo katere bi se na podlagi različnih parametrov upravljavci s pomočjo programske opreme sami lahko odločili o izbiri primerne tehnologije rehabilitacije. Programsko opremo bi bilo seveda treba konstantno osveževati, omenjena programska oprema pa seveda ne bi bila namenjena zgolj vgradnji ter rehabilitaciji vodovodnih odsekov, temveč bi bila uporabna tudi pri rehabilitaciji kanalizacijskih sistemov. Dodatna izobraževanja strokovnega kadra bi bila pri tem ključnega pomena.

VIRI

American Society of Civil Engineers (ASCE). 2001. Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe.

<http://www.americanlifelinesalliance.com/pdf/Update061305.pdf> (Pridobljeno dne 6. 8. 2016)

American Society of Civil Engineers (ASCE). 2015. Standard design and construction guidelines for microtunneling. Združene Države Amerike, American Society of Civil Engineers: 122 str.

<http://dx.doi.org/10.1061/9780784405727>

American Wheatley. 2016. The maximum working pressure of cast iron pipe and fittings. Houston, American Wheatley

<http://www.wheatleyhvac.com/CAST%20IRON%20P%20vs%20T%20CHART.pdf>

(Pridobljeno dne 11. 5. 2016)

Awwa Research Foundation (AWWA). 2005. Customer Acceptance of Water Main Structural Reliability. Združene Države Amerike, American Water Works Association: 235 str.

American Water Works Association (AWWA). 2014. Rehabilitation of Water Mains – Third edition. Združene Države Amerike, American Water Works Association: 118 str.

American Water Works Association (AWWA). 2001. Rehabilitation of Water Mains – Second Edition. Združene Države Amerike, American Water Works Association: 65 str.

Andoljšek, A. 2006. Rekonstrukcija delovanja vodovodnega sistema v Ferrarijevem vrtu v Štanjelu. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Andoljšek): 80 str.

Arends, G. 1997. Trenchless technology research in the Netherlands. Tunnelling and Underground Space Technology 12, 1: 53-57

Atlantic Machinery Inc. 2011. Our innovation in sewer and pipe cleaning. http://www.atlanticmachineryinc.com/Enz_Catalog_2011.pdf (Pridobljeno 9. 8. 2016).

Bauhaus-Universität Weimar. 2015. Rehabilitation von Rohrleitungen - Sanierung und Erneuerung von Ver- und Entsorgungsnetzen. Weimer, Schätzl Druck GmbH & Co. KG, Donauwörth: 406 str.

Bonds, W. R. 2000. Ductile pipe versus HDPE pipe. Alabama, Ductile Iron Pipe Research Association.

<http://www.lmico.net/userfiles/file/dipra%20articles/dipvshdpe.pdf> (Pridobljeno dne 14. 5. 2016)

Boxwell, J. R. 1994. Benchmarking for Competitive Advantage. New York, McGraw-Hill Professional Publishing New York: 224 str.

Bracken, M., Johnston, D. 2013. Evaluating the Condition of Asbestos Cement Water Mains. <http://uimonline.com/index/webapp-stories-action/id.921/archive.yes/Issue.2013-04-01/title.evaluating-the-condition-of-asbestos-cement-water-mains> (Pridobljeno dne 4. 5. 2016)

Burden, I. L., Hoppe, J. E. 2015. Synthesis of trenchless technologies. Virginia, Virginia Center for Transportation Innovation and Research: 43 str.

Cast Iron Soil Pipe Institute (CISPI). 2006. Cast iron soil pipe and fittings handbook. Tennessee: 204 str.

Center for Seabees and Facilities Engineering (CSFE). 2010. Utilitiesman basic, Volume 1. Florida, Integrated Publishing, <http://seabeemagazine.navylive.dodlive.mil/files/2014/05/NAVEDTRA-14265A-Utilitiesman-Basic-Part-1.pdf> (Pridobljeno dne 10. 5. 2016)

CMC Ekocon. 2009. Zunanja zaščita duktilnih cevi. http://www.cmc-ekocon.si/ponudba/zunanja_zascita_duktilnih_cevi/ (Pridobljeno dne 13. 5. 2016)

CMC Ekocon. 2014. Cevi in fazonski kosi iz nodularne litine. http://www.ekomunala.si/users/4/vodovodni_material_15_01_2014-pam.pdf (Pridobljeno dne 13. 5. 2016)

Construction Review Online (CR). 2015. HDPE pipes and fittings. <http://constructionreviewonline.com/2015/10/hdpe-pipes-and-fittings/> (Pridobljeno dne 5. 8. 2016)

Deb, A. K. Momberger, A. K., Hasit, J. Y., Grablutz, M. F. 2000. Guidance for management of distribution system operation and maintenance. Denver, AWWA Research Foundation: 185 str.

Delta Mechanical. 2016. Galvanized Pipe Replacement <http://www.deltamechanical.com/galvanized-pipe-replacement/> (Pridobljeno dne 16. 5. 2016)

Direct Industry. 2016. PVC pipe / for water. <http://www.directindustry.com/prod/eupen-plastic-pipe-division/product-20912-976261.html> (Pridobljeno dne 14. 8. 2016)

Direktiva (2006/118/ES) Evropskega parlamenta in Sveta z dne 12. decembra 2006 o varstvu podzemne vode pred onesnaženjem in poslabšanjem. Uradni list Evropske Unije L 372, 27.12.2006: 19–31

Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike. Uradni list Evropske Unije L 327, 22/12/2000: 1–73

Direktive Sveta (98/83/ES) z dne 3. novembra 1998 o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi. Uradni list Evropske Unije L 330, 05/12/1998: 32–54

Drinkwaterwet. 2009.

<http://wetten.overheid.nl/BWBR0026338/2015-07-01> (Pridobljeno dne 13. 8. 2016)

Drinkwaterbesluit. 2011.

<http://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2015-11-28> (Pridobljeno dne 13. 8. 2016)

Ductile Iron Pipe Research Association (DIPRA). 2016. Horizontal Directional Drilling with Ductile Iron Pipe.

<http://www.dipra.org/ductile-iron-pipe-resources/technical-publications/applications>

(Pridobljeno dne 10. 8. 2016).

Dodič-Fikfak, M. (2001). Nacionalne smernice za azbest. Ljubljana, Sanitas et labor 1, 1: 7–23.

Dutch Water Authorities (DWA). 2015. Water governance: The Dutch water authority model.

<http://www.dutchwaterauthorities.com/wp-content/uploads/2015/05/Water-Governance-The-Dutch-Water-Authority-Model1.pdf> (Pridobljeno dne 7. 8. 2016)

Ellison, D. 2002. Investigation of pipe cleaning methods. Združene Države Amerike, AWWA Research Foundation in American Water Works Association: 142 str.

Ellison, D., Sever, F., Oram, P., Lovins, W., Romer, A. 2010. Global Review of Spray-On Structural Lining Technologies. Združene Države Amerike, Water Research Foundation: 153 str.

Environmental Protection Agency (EPA). 2010. Control and mitigation of drinking water losses in distribution systems. United States.

http://www.allianceforwaterefficiency.org/uploadedFiles/Resource_Center/Library/water_loss/EPA-Water-Loss-Control-November-2010.pdf (Pridobljeno dne 14. 6. 2016)

Environmental Protection Agency (EPA). 2007. Innovation and Research for Water Infrastructure for the 21st Century – Research Plan. Združene Države Amerike, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development – National Risk Management Research Laboratory: 73 str.

Eurostat. 2013. Water Statistics.

http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water_statistics (Pridobljeno dne 21. 8. 2016)

Federal Highway Administration (FHA), 2015. Pavement utility cuts.

<http://www.fhwa.dot.gov/utilities/utilitycuts/man04.cfm> (Pridobljeno dne 11. 7. 2016)

Federation of Canadian Municipalities (FCM) and National Research Council (NRC). 2003. Selection of Technologies for the Rehabilitation or Replacement of Sections of a Water Distribution System.

https://www.fcm.ca/Documents/reports/Infraguide/Selection_of_Technologies_for_the_Rehabilitation_or_Replacement_of_a_Water_Distribution_System_EN.pdf (Pridobljeno dne 16. 8. 2016)

Gabriel, H. L. 2016. History and Physical Chemistry of HDPE. Teksas, Plastics Pipe Institute.

https://plasticpipe.org/pdf/chapter-1_history_physical_chemistry_hdpe.pdf (Pridobljeno dne 6. 8. 2016)

Geudens, G. J. J. 2012. Dutch Drinking Water Statistics. Nizozemska, Association of Dutch Water Companies (VEWIN): 89 str.

Girard Industries. 2012. Girard Polly – Pig.

<http://www.girardind.com/products.cfm?cat=9> (Pridobljeno dne 9. 8. 2016)

Goodson, A. F. 2002. Utilization of Reliability Centered Maintenance. Proceedings of AWWA Infrastructure conference, Chicago

Grigg, N. 2005. Assessment and Renewal of Water Distribution Systems. Denver, AWWA Research Foundation: 156 str.

Grigg, N. S. 1986. Urban water infrastructure. Planning, management and operations. Colorado State University, Fort Collins: 328 str.

Groundforce. 2015. Lateral Thinking for Innovative Sewer Replacement using Pipe Eating Technique.

<https://www.vpgroundforce.com/gb/media-hub/articles/news/lateral-thinking-for-innovative-sewer-replacement/> (Pridobljeno dne 11. 8. 2016)

Harrington, H. 1996. The Complete Benchmarking Implementation Guide: Total Benchmarking Management. New York, McGraw-Hill: 438 str.

Najafi, M., Natwig, G., Pere, M., Yan, W. 2009. 3M Scotchkote 169HB: A New Water Pipe Renewal Product. V: Najafi, M., Ma, B. Advances and Experiences with Pipelines and Trenchless Technology for Water, Sewer, Gas and Oil Applications: proceedings of the

international conference on pipelines and trenchless technology Šanghaj, Kitajska, 18.–21. Oktober, 2009: 1229-1237 str.

International Society for Trenchless technologies. 2016. Underground construction techniques. London.

<http://www.istt.com/guidelines> (Pridobljeno dne 13. 7. 2016)

Interplast. 2016. Technical information UPVC.

<http://www.interplastghana.com/pgs/upvc.php> (Pridobljeno dne 17. 5. 2016)

Izvajalec javne službe. 2014. Tehnični pravilnik za področje oskrbe s pitno vodo v občini Kostanjevica na Krki. Kostak komunalno stavbno podjetje d. d.: 51 str.
<http://www.kostak.si/wp-content/uploads/TP-pitna-voda.pdf> (Pridobljeno 26. 4. 2016)

J. Fletcher Creamer & Son, Inc. 2016 In – Weg Internal Seals.

http://www.jfcson.com/sites/all/themes/jfc/pdf/JFC_InWegInternalSealsBrochure.pdf

(Pridobljeno dne 9. 8. 2016)

Johns, E. W. 2016. Notes on Pipe.

<http://www.gizmology.net/pipe.htm> (Pridobljeno dne 12. 5. 2016)

Kramer, R. S., McDonald, J. W., Thomson, C. J. 1992. An introduction to trenchless technology. New York, Chapman in Hall: 223 str.

K&R INTERNATIONAL GROUP. 2012. Ductile Iron Pipe.

<http://www.kairuiqd.com/product/Details.aspx?id=49&WebShieldDRSessionVerify=XnDOPoRVzcCngHh1pEPE> (Pridobljeno dne 14. 8. 2016)

Lauer, C. W., Sanchez, J. F. 2006. Disinfection of Pipelines and Storage Facilities Field Guide. Združene Države Amerike, American Water Works Association: 136 str.

Lavrijssen, S., Vitez, B. 2015. The Principles of Good Regulation in the Water Sector. TILEC Discussion Paper 2. Nizozemska, Univerza v Tilburgu: 68 str.

Mays, W. L., Koutsoyiannis, D., Angelakis, N. A. 2007. A brief history of urban water supply in the antiquity. IWA publishing. Water science and technology: Water supply 7, 1: 1 – 12 str.

Ministrstvo za okolje in prostor (MOP). 2006. Operativni program oskrbe s pitno vodo. Ljubljana, 84 str.

Ministrstvo za okolje in prostor (MOP). 2015. Operativni program oskrbe s pitno vodo za obdobje od 2015 do 2020. Ljubljana, 100 str.

Mueller Co. 2016. Engineering information – cast iron pipe data. www.muellercompany.com/files/16-12-13.pdf (Pridobljeno dne 10. 5. 2016)

Najafi, M., 2010. Trenchless Technology Piping: Installation and Inspection. Združene Države Amerike, McGraw-Hill Education: 480 str.

Najafi, M., Gokhale, S. 2004. Trenchless Technology: Pipeline and Utility Design, Construction, and Renewal. New York, McGraw-Hill: 489 str.

North American Society for Trenchless Technology. 2014. Trenchless Technology <https://www.nastt.org/node/3877> (Pridobljeno dne 27. 7. 2016)

Northwest Pipe Company (NPC). 2016. Engineered Steel Water Pipe. <http://www.nwpipe.com/product/engineered-steel-water-pipe/> (Pridobljeno dne 12. 5. 2016)

Northwest Pipe Company (NPC). 2016. A Discussion of Steel Pipe versus Ductile Iron Pipe. http://www.nwpipe.com/wp-content/uploads/2014/10/Pipe-Comparison-Steel-Versus_DIP-2003.pdf (Pridobljeno dne 12. 5. 2016)

Občina Šentrupert. 2016. Tehnični pravilnik o javnem vodovodu v občini Šentrupert. http://www.sentrupert.si/media/objave/dokumenti/2016/Seje/12-redna-seja/09_b_Tehnicni_pravilnik_vodovod_sentrupert_besedilo.pdf (Pridobljeno dne 4. 5. 2016)

Omaplast. 2013. O materialih.

<http://www.omaplast.com/o-materialih/> (Pridobljeno dne 7.7. 2016)

PE100+ Association. 2016. Pipe Reaming.

<http://www.pe100plus.com/PE-Pipes/No-Dig-technical-Guide/Trenchless-Methods/Pipe-Rehabilitation-Methods/Pipe-Reaming-i1308.html> (Pridobljeno dne 11. 8. 2016)

Petelin, Š., 2008. Uporaba metode benchmarkig na področju komunalnih dejavnosti. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 128 str.

Petersen, B., R. 2012. Long term corrosion of cast iron cement lined pipes. Corrosion & Prevention 2012 Paper 23. Newcastle, The University of Newcastle: 12 str.

Pipelife. 2016. Vodovodni program.

<http://www.pipelife.si/si/products/WATER/Vodovod.php> (Pridobljeno dne 6. 8. 2016)

Pipevision Products, Inc. 2016. What is Cured In Place Pipe Lining? http://pipevisioninc.com/what_is_cipp.html (Pridobljeno dne 19. 8. 2016)

Plastics Pipe Institute. 2016 The Plastics Pipe Institute Handbook of Polyethylene Pipe. <https://plasticpipe.org/pdf/chapter11.pdf> (Pridobljeno dne 12. 8. 2016)

Pravilnik o oskrbi s pitno vodo. Uradni list RS, št. 35/2006

Pravilnik o pogojih, pod katerimi se lahko pri rekonstrukciji ali odstranitvi objektov in pri vzdrževalnih delih na objektih, instalacijah ali napravah odstranjujejo materiali, ki vsebujejo azbest. Uradni list RS, št. 72/2001

Profundis. 2001. Trenchless Technology Systems: An environmentally sound technology for the installation, maintenance and repair of underground utility services. https://www.nodig-construction.com/doks/pdf/UNEP_Final.pdf (Pridobljeno dne 27. 7. 2016)

Quacquarelli Symonds Limited. 2016. QS World University Rankings by Subject 2016 <http://www.topuniversities.com/subject-rankings/2016> (Pridobljeno dne 2. 8. 2016)

Razvoj orodij za celovito upravljanje vodovodnih sistemov - priloga h končnemu poročilu projekta : »Po kreativni poti do praktičnega znanja v okviru: OP RČV 2007-2013 1. razvojne prioritete: spodbujanje podjetništva in prilagodljivosti; prednostne usmeritve 1.3 štipendijske sheme. Ljubljana : Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 103 str.

Rouse, J. M. 2013. Institutional governance and regulation of water services: the essential elements. London, IWA publishing: 230 str.

Salvatori, L., Santoni, A., Michaels, D. 2003. Asbestos: The current situation in Europe. Berlin, ASTIN Colloquium http://www.actuaries.org/ASTIN/Colloquia/Berlin/Salvatori_Santoni_Michaels.pdf (Pridobljeno dne 24. 8. 2016)

Scheuble, L. 2004. Trenchless technologies in pipeline construction. http://www.actuaries.org/ASTIN/Colloquia/Berlin/Salvatori_Santoni_Michaels.pdf (Pridobljeno dne 13. 8. 2016)

Simicevic, J., Sterling, L. R. 2001a. Guidelines for pipe bursting. <http://ttc.latech.edu/assets/ttc-publications/bursting.pdf> (Pridobljeno dne 12. 8. 2016)

Simicevic, J., Sterling, L. R. 2001b. Guidelines for pipe ramming. 23 str. <http://ttc.latech.edu/assets/ttc-publications/ramming.pdf> (Pridobljeno dne 13. 7. 2016)

Singh, R. 2012. A study for cost optimization of Zinc in pipe manufacturing industry. International Journal of Latest Research in Science and Technology1, 2.: 227-230 http://www.mnkjournals.com/ijlrst_files/Download/Vol%201%20Issue%202/37-Ranbir%20Singh.pdf (Pridobljeno dne 13. 5. 2016)

Solkan, I., Petek, I. 2011. Učbenik: Oskrba z vodo. Ljubljana, Zavod IRC: 199 str.
http://www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Oskrba_z_vodo-Slokan_Petek.pdf
(Pridobljeno 26. 4. 2015.)

SSC Boring. 2016. Vacuum Excavating and Utility Potholing.
<http://ssc boring.com/services/vacuum-excavating-and-utility-potholing/> (Pridobljeno dne 10. 8. 2016)

StatisticTimes. 2015. List of European countries by Population (2015).
<http://statisticstimes.com/population/european-countries-by-population.php> (Pridobljeno dne 21. 8. 2016)

Statistični Urad Republike Slovenije. 2015. Skupni pregled statistik voda, Slovenija, 2013–2014: V letu 2014 smo v Sloveniji načrpali 9% vode več, kot v letu 2013.
<http://www.stat.si/StatWeb/prikazi-novico?id=5785&idp=13&headerbar=11> (Pridobljeno dne 27. 7. 2016)

Statistični Urad Republike Slovenije. 2016. Občine.
<http://www.stat.si/StatWeb/pregled-podrocja?idp=69&headerbar=17#> (Pridobljeno dne 7. 8. 2016)

Steinman, F. 2010. Hidravlika. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: 294 str.

Sunidh, J. 2015. Bangor Water District Uses Polyurea Liner to Rehab Cast-Iron Pipe.
<http://trenchlessonline.com/bangor-water-district-uses-polyurea-liner-rehab-cast-iron-pipe/>
(Pridobljeno dne 19. 8. 2016)

Thyssen, N. 2003 Indicator Fact Sheet. Water use efficiency (in cities): leakage. European Environment Agency (EEA)
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-use-efficiency-in-cities-leakage>
(Pridobljeno dne 11. 5. 2016)

Turk, D. 2014. Tehnike križanj predvidenih cevovodov z obstoječo infrastrukturo. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Turk): 91 str.

Trenchless Technology. 2014. Pipe Relining Guide.
<http://www.trenchlessonline.com/pdfs/2014-pipe-relining-guide.pdf> (Pridobljeno dne 3. 8. 2016)

UNITRACC. 2016. Unmanned techniques. <http://www.unitracc.com/know-how/fachbuecher/rehabilitation-and-maintenance-of-drains-and->

[sewers/rehabilitation/replacement-en/replacement-by-the-trenchless-method-en/unmanned-techniques-en](#) (Pridobljeno dne 11. 8. 2016)

Uredba o oskrbi s pitno vodo. Uradni list RS, št. 88/2012

Uredba o ravnanju z odpadki, ki vsebujejo azbest. Uradni list RS, št. 34/2008

Uredba o metodologiji za oblikovanje cen storitev obveznih občinskih gospodarskih javnih služb varstva okolja. Uradni list RS, št. 87/2012

US. Pipe. 2013. Ductile Iron Pipe Design.

<http://www.uspipe.com/upload/products/ductile-iron-pipe/ty/2013101199100.DuctileIronPipeDesign2013.pdf> (Pridobljeno dne 8. 5. 2016)

VEWIN, 2013. Reflections on Performance: Benchmarking in the Dutch drinking water industry.

http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/English%20publications/Vewin_reflections_on_performance_2012.pdf (Pridobljeno dne 10. 5. 2016)

Villanueva, D. E. C., Blokland W. M. 2016. Voluntary water utility benchmarking for collective learning: lessons from Europe. International Journal of Water (IJW)1, 2: 139—155

http://ocw.unesco-ihe.org/pluginfile.php/3956/mod_resource/content/1/IJW1002-0303%20Diaz%20%20Blokland.PDF (Pridobljeno dne 13. 8. 2016)

Voogd, H., 1983. Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning. London, Pion: 367 str.

Vreeburg, G. H. J. 2007. Discolouration in drinking water systems: a particular approach. Doktorska disertacija. Nizozemska, Tehniška Univerza v Delftu: 183 str.

Water Supplies Department (WSD). 2000. General information on the Use of Different Types of Corrosion Resistant Pipe Materials as Inside Service in Buildings. http://www.wsd.gov.hk/filemanager/en/content_241/GenInfoEng.pdf (Pridobljeno dne 6. 8. 2016)

Waterschapswet. 1991.

<http://wetten.overheid.nl/BWBR0005108/2016-02-01> (Pridobljeno dne 13. 8. 2016)

Waterwet. 2009.

<http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2016-07-01> (Pridobljeno dne 13. 8. 2016)

Wet informatie-uitwisseling ondergrondse netten. 2008.

<http://wetten.overheid.nl/BWBR0023775/2014-01-25> (Pridobljeno dne 13. 8. 2016)

Willoughby, A. D. 2005. Horizontal Directional Drilling. Združene Države Amerike, McGraw-Hill Companies: 263 str.

World Health Organization. 1996. Guidelines for drinking-water quality: Health criteria and other supporting information. Ženeva, World Health Organization: 283 str.

World Health Organization (WHO). 2006. Health Aspects of Plumbing. Ženeva, World Health Organization and the World Plumbing Council: 129 str.

Water Research Foundation (WRF) in Environmental Protection Agency (EPA). 2015. Environmental Impact of Asbestos Cement Pipe Renewal Technologies. <http://www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4465.pdf> (Pridobljeno dne 20. 8. 2016)

Zagožen. 2015. Duktilne cevi (predstavitveni prospekt). <http://www.zagozen.si/si/vodovod/cevi/duktil-cevi> (Pridobljeno dne 10. 5. 2016)

Zagožen. 2015. PE cevi (predstavitveni prospekt) <http://www.zagozen.si/si/vodovod/cevi/pe-cevi> (Pridobljeno dne 10. 5. 2016)

Zakon o gospodarskih javnih službah. Uradni list RS, št. 32/93

Zakon o graditvi objektov. Uradni list RS, št. 102/04

Zakon o prepovedi proizvodnje in prometa z azbestnimi izdelki ter o zagotovitvi sredstev za prestrukturiranje azbestne proizvodnje v neazbestno. Uradni list RS, št. 35/2005

Zakon o varstvu okolja. Uradni list RS, št. 39/06

Zakon o vodah. Uradni list RS, št. 67/02

Žitnik, J., Žitnik, D. idr. 2008. Gradbeniški priročnik. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 711 str

KAZALO PRILOG**PRILOGA A: PREGLED METOD VGRADNJE IN REHABILITACIJE VODOVODNIH CEVI****PRILOGA B: SHEMATSKI PRIKAZ ODLOČANJA O REHABILITACIJI VODOVODNIH CEVI**

B.1 Odločitev med popravilom, obnovo ali zamenjavo (povzeto po Najafi, 2010)

B.2 Izbira ustrezne tehnologije obnove ali zamenjave 1 (povzeto po FCM IN NRC, 2003)

B.3 Izbira ustrezne tehnologije obnove ali zamenjave 2

B.4 Izbira ustrezne tehnologije obnove ali zamenjave v primeru ko cev ne zagotavlja ustrezne kakovosti pitne vode

B.5 Izbira ustrezne tehnologije obnove ali zamenjave v primeru ko je cev gradbeno ni ustrezna

B.6 Izbira ustrezne tehnologije obnove ali zamenjave v primeru ko je cev ni hidravlično ustrezna

PRILOGA C: VODOVODNI ODSEKI V QGIS

C.1 Prikaz vodovodnega odseka v Medvodah (Barletova cesta)

C.2 Prikaz vodovodnega odseka v Šenčurju (Pipanova cesta)

C.3 Prikaz vodovodnega odseka v Tupaličah

C.4 Prikaz vodovodnega odseka v Kranju (Vrečkova ulica)