

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:

Stropnik, P., 2016. Presoja ekonomsko sprejemljivih izgub v vodooskrbnih sistemih. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Banovec, P.): 131 str.

Datum arhiviranja: 23-09-2016

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:

Stropnik, P., 2016. Presoja ekonomsko sprejemljivih izgub v vodooskrbnih sistemih. M.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Banovec, P.): 131 pp.

Archiving Date: 23-09-2016

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Jamova 2, p.p. 3422
1115 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



**MAGISTRSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
HIDROTEHNIČNA SMER**

Kandidatka:

PETRA STROPNIK, univ. dipl. inž. grad.

**PRESOJA EKONOMSKO SPREJEMLJIVIH IZGUB V
VODOOSKRBNIH SISTEMIH**

Magistrsko delo štev.: 279

**THE ASSESSMENT OF ECONOMIC LEVEL OF
LEAKAGE IN WATER SUPPLY SYSTEMS**

Master of Science Thesis No.: 279

Mentor:
doc. dr. Primož Banovec

Predsednik komisije:
prof. dr. Matjaž Četina

Člana komisije:
prof. dr. Franc Steinman
prof. dr. Polona Domadenik

Ljubljana, 20. september 2016

STRAN ZA POPRAVKE (ERRATA)

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisana študentka Petra Stropnik, vpisna številka 26108852, avtorica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: *Presoja ekonomsko sprejemljivih izgub v vodooskrbnih sistemih*

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 pridobila vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označila;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnala v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobila 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, 20. 9. 2016

Podpis študentke:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK	628.13:657.474(497.4)(043)
Avtor	Petra Stropnik, univ. dipl. inž. grad.
Mentor	doc. dr. Primož Banovec
Naslov	Presoja ekonomsko sprejemljivih izgub v vodooskrbnih sistemih
Tip dokumenta	magistrsko delo
Obseg in oprema	131 str., 16 pregl., 37 sl., 9 graf., 52 en.
Ključne besede	neprodana voda, vodne izgube, ekonomsko sprejemljive vodne izgube, strošek vode, upravljavec javnega vodovoda, aktivna kontrola puščanj, merilno območje, popravilo in zamenjava cevi

Izvleček

Cilj vsakega upravljavca javnega vodovoda je zmanjšanje vodnih izgub oz. neprodane vode na ustrezen nivo. Do sedaj se je v slovenskem prostoru ta nivo opredeljeval kot delež izgubljene vode glede na zajeto količino le-te, ciljne vrednosti pa so bile določene s smernicami na nivoju države in Evropske unije, pri čemer se je premalo pozornosti posvečalo obravnavanju procesa zmanjševanja vodnih izgub z ekonomskega stališča.

Kot pojem so vodne izgube v strokovni literaturi pomanjkljivo definirane, magistrska naloga se ukvarja s tistimi dejanskimi izgubami, ki se izražajo kot puščanja zaradi okvar na vodovodu, čeprav je potrebno stremeti tudi k zmanjšanju celotne neprodane vode (angl. non-revenue water). Ekonomsko sprejemljive vodne izgube nastopijo takrat, ko dosežemo ravnotežje med stroški, ki nastanejo pri odpravljanju puščanj, ter prihranki, ki nastanejo z naslova realizacije tega procesa (zmanjšanje količin izgubljene pitne vode). V osnovi se delijo na kratkoročne (angl. Short Run ELL) ter dolgoročne (angl. Long Run ELL). Pri določitvi SRELL so v izračun vključeni stroški aktivne kontrole puščanj ter stroški vode, pri določanju LRELL pa upoštevamo stroške obnov in investicijskega vzdrževanja ter tudi tu strošek vode. Za določitev ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub, tako kratkoročnih kot dolgoročnih, se običajno uporabljata metoda skupnih stroškov in metoda mejnih stroškov.

Cilj naloge je združiti ekonomska stališča s prakso iz upravljanja vodovodnih sistemov ter nato določiti ekonomsko sprejemljive vodne izgube na praktičnem primeru z namenom, da se ugotovijo morebitni problemi pri samem izračunu ter da se na podlagi dobljene vrednosti ELL oblikujejo smernice, kako dejansko doseči ekonomsko učinkovito zmanjšanje vodnih izgub, oziroma celotne neprodane količine pitne vode.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC	628.13:657.474(497.4)(043)
Author	Petra Stropnik, B.Sc.
Supervisor	Assistant Professor Primož Banovec, Ph.D.
Title	The assessment of economic level of leakage in water supply systems
Document type	M. Sc. Thesis
Notes	131 p., 16 tab., 37 fig., 9 graph., 52 eq.
Key words	non-revenue water, water losses, economic level of leakage, water cost, operator of public water supply, active leakage control, district metering area, repair and replacement of pipes

Abstract

The aim of every operator of public water supply is to reduce water losses or non-revenue water to an adequate level. Until now, this level in Slovenia has been defined as the proportion of non-revenue water with regard to the extracted amount of it. However, the targeted values have been defined by guidelines on the national and on the level of the European Union, wherein not enough attention has been paid to dealing with the process of reducing water losses from the economic standpoint.

As a concept, water losses are inadequately defined in technical literature. The Master's thesis deals with the actual losses that are expressed as leakages due to defects on the public water supply, although it is necessary to aim at reducing the total amount of non-revenue water. The economic level of leakage is achieved by balancing the costs that occur when reducing leakage and the savings from directing the realisation of this process (reducing the amount of drinking water leakage). Fundamentally, costs are divided into the Short Run ELL and the Long Run ELL. To determine the SRELL, costs of active leakage control and water costs are included in the calculation, while to determine the LRELL, costs of pipe replacements and investment maintenance, as well as water costs are taken into account. To determine the Short Run and the Long Run Economic Level of Leakage, mainly the method of total costs and the method of marginal costs are used.

The aim of the thesis is to combine economic standpoints with the practice of management of water supply systems and then determine the economic level of leakage with a practical example. The purpose is to detect potential problems with the calculation and on the basis of the obtained ELL value determine the guidelines on how to actually achieve the economic level of leakage or of the whole amount of non-revenue water.

ZAHVALA

Ob tej priložnosti se najlepše zahvaljujem svojemu mentorju, doc. dr. Primožu Banovcu - za vzpodbudo, usmerjanje in ključne napotke pri nastajanju magistrskega dela.

Vsem, ki ste me podpirali in mi kakorkoli priskočili na pomoč pri nastajanju te naloge, prav tako iskrena hvala.

Petra

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Opis področja in opredelitev problema	1
1.2	Namen in cilji naloge	2
1.3	Potek izdelave magistrskega dela	2
1.3.1	Temeljna hipoteza	2
1.3.2	Definicije ELL (poslovno sprejemljive izgube v vodovodnih sistemih)	3
1.3.3	Predviden potek dela ter metode dela	3
1.3.4	Predpostavke (izhodišča) in predvideni zaključki	4
2	VODNE IZGUBE (TEORETIČNA IZHODIŠČA)	6
2.1	Opredelitev vodnih izgub	7
2.1.1	Vodna bilanca vodovodnega sistema	8
2.1.2	Neobračunana poraba	10
2.1.3	Navidezne vodne izgube	10
2.1.4	Dejanske vodne izgube	11
2.1.5	Neizogibne vodne izgube	11
2.1.6	Specifične dejanske vodne izgube kot kazalnik stanja vodovodnega omrežja	12
2.2	Aktualna zakonodaja s področja zagotavljanja ustrezne oskrbe s pitno vodo	13
2.2.1	Državni akti s področja upravljanja vodovodnih sistemov in oskrbe s pitno vodo	14
2.2.2	Uredba o oskrbi s pitno vodo	16
2.2.3	Načrt upravljanja z vodami (NUV)	17
2.2.4	Operativni program oskrbe s pitno vodo za obdobje od 2015 do 2020	18
2.3	Ukrepi za zmanjševanje vodnih izgub	21
2.3.1	Upravljanje infrastrukture in nadzor nad obratovanjem	21
2.3.2	Aktivno preverjanje tesnosti omrežja (ALC – angl. Active Leakage Control)	22
2.3.3	Učinkovito odpravljanje ugotovljenih puščanj (sanacija okvar)	28
2.3.4	Optimizacija merilnih mest	29
2.3.5	Upravljanje s tlaki	30
2.3.6	Planiranje prioritetenih obnov omrežja na najbolj kritičnih odsekih	30
2.4	Uporaba inteligentnih sistemov kot podpora za odločanje	31
2.5	Sklep k teoretičnim izhodiščem	33
3	POSLOVNO SPREJEMLJIVE VODNE IZGUBE	34
3.1	Kazalnik uspešnosti upravljanja z dejanskimi vodnimi izgubami – ILI (Delgado, 2008)	36
3.2	Določitev ELI	38
3.3	Določitev poslovnega nivoja vodnih izgub (ELL)	40
3.3.1	Kratkoročne poslovno sprejemljive izgube (Short run ELL)	41
3.3.2	Dolgoročne poslovno sprejemljive izgube (Long run ELL)	46

3.3.3	Kombiniranje vseh aktivnosti za doseganje ELL	50
3.3.4	Zanesljivost oskrbe s pitno vodo in ekonomsko sprejemljive vodne izgube	51
3.3.5	Trajnostne ekonomsko sprejemljive izgube (SELL)	52
3.4	Metode računanja ELL	54
3.4.1	Načrtovanje zmanjšanja stroškov	54
3.4.2	Določitev marginalnih (mejnih) stroškov	58
3.4.3	Gibanje vrednosti vodnih izgub v času	61
3.4.4	Okoljski in socialni (družbeni) stroški	63
3.4.5	Vpliv izvajanja najboljše prakse na določitev ELL	68
3.5	Alternativne metode določanja ciljnih vrednosti poslovno sprejemljivih vodnih izgub	70
3.5.1	Nabor dejavnikov, ki vplivajo na relacijo vodne izgube – mejni stroški vode	70
3.5.2	Teoretične ciljne vrednosti, določene na podlagi tehničnih karakteristik vodovodnega sistema	71
3.5.3	Ciljna vrednost ELL, določena na osnovni ravni vodnih izgub	71
3.5.4	Vpliv razpoložljivosti (izdatnosti) vodnih virov na ELL	72
3.5.5	Samoiniciativen pristop k doseganju ciljnih vrednosti znižanja vodnih izgub	74
3.6	Implementacija teorije analize stroškov in koristi v proces določanja ELL	75
3.7	Ekonomsko sprejemljive vodne izgube drugod po Evropi	77
3.7.1	Avstrija	77
3.7.2	Hrvaška	78
3.7.3	Italija	78
3.7.4	Nemčija	78
3.7.5	Velika Britanija	79
4	POSLOVNO SPREJEMLJIVE IZGUBE V PRAKSI	80
4.1	Osnovne značilnosti vodovodnega sistema Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki	80
4.2	Vodna bilanca	81
4.3	Izračun osnovnih indikatorjev stanja vodovodnega sistema	84
4.3.1	Specifične dejanske vodne izgube	84
4.3.2	Neizogibne dejanske vodne izgube (UARL)	85
4.3.3	Izračun indeksa ILI	86
4.4	Določanje ELI in ELL	86
4.4.1	ELI	88
4.4.2	Kratkoročne poslovno sprejemljive vodne izgube	90
4.4.3	Dolgoročne poslovno sprejemljive vodne izgube	102
4.4.4	Trajnostne ekonomsko sprejemljive vodne izgube	110
4.5	Rezultati in razprava	111
4.5.1	Analiza dobljenih rezultatov	111
4.5.2	Razprava	113
4.5.3	Ugotovitve o veljavnosti hipotez	116

5 ZAKLJUČEK	118
6 SUMMARY	120
VIRI	122

PREGLEDNICE

PREGLEDNICA 1: IZRAČUN VODNE BILANCE (UREDBA O OSKRBI PITNO VODO, 2013).....	9
PREGLEDNICA 2: ORIENTACIJSKE VREDNOSTI ZA SPECIFIČNE VODNE IZGUBE (DVGW W392, 2003).....	13
PREGLEDNICA 3: OSNOVNE SMERNICE ZA DOLOČANJE CILJNEGA NIVOJA INFRASTRUKTURNEGA INDEKSA VODNIH IZGUB (FANNER, 2002).....	37
PREGLEDNICA 4: ZUNANJI STROŠKI IN KORISTI ZARADI ZMANJŠANJA VODNIH IZGUB (TRIPARTITE GROUP, 2002).....	64
PREGLEDNICA 5: IZRAČUN UARL ZA VODOOSKRBNI SISTEM VELENJE – ŠOŠTANJ – ŠMARTNO OB PAKI ZA 2015	85
PREGLEDNICA 6: DOLOČANJE ELL (FALLIS ET AL., 2011)	87
PREGLEDNICA 7: IZHODIŠČNI PODATKI.....	92
PREGLEDNICA 8: POJAVNOST OKVAR NA VODOVODNEM OMREŽJU VELENJE – ŠOŠTANJ – ŠMARTNO OB PAKI ZA OBDOBJE OD LETA 2007 DO 2015.....	93
PREGLEDNICA 9: IZRAČUN STROŠKOV DETEKCIJE OKVAR PO METODI A	97
PREGLEDNICA 10: STROŠKI AKTIVNE KONTROLE PUŠČANJ ZA VODOVODNI SISTEM VELENJE – ŠOŠTANJ – ŠMARTNO OB PAKI	99
PREGLEDNICA 11: PODATKI, POTREBNI ZA DOLOČITEV SRELL ZA VODOVODNI SISTEM VELENJE – ŠOŠTANJ – ŠMARTNO OB PAKI	100
PREGLEDNICA 12: PODATKI ZA IZRIS KRIVULJ STROŠKOV	101
PREGLEDNICA 13: INVESTICIJSKI VZDRŽEVALNI STROŠKI ZA OBDOBJE 2010 – 2015	105
PREGLEDNICA 14: PODATKI ZA IZRIS KRIVULJ STROŠKOV PRI DOLOČANJU LRELL.....	106
PREGLEDNICA 15: ITERACIJSKI POSTOPEK IZRAČUNA ENAČBE.....	108
PREGLEDNICA 16: MEJNI STROŠKI ZA OBDOBJE 2010 – 2015	109

GRAFIKONI

GRAFIKON 1: PRIKAZ TRENTA NIHANJA IZGUB V OBDOBJU 2006 – 2015	84
GRAFIKON 2: PRIMER PRIKAZA STROŠKOV PREVERJANJA TESNOSTI V ODVISNOSTI OD IZGUB PO METODI A	95
GRAFIKON 3: PRIMER PRIKAZA STROŠKOV PREVERJANJA TESNOSTI V ODVISNOSTI OD IZGUB PO METODI A – Z UPORABO NOVE VREDNOSTI KONSTANTE A	96
GRAFIKON 4: KRIVULJA KRATKOROČNIH POSLOVNO SPREJEMLJIVIH VODNIH IZGUB.....	101
GRAFIKON 5: MEDSEBOJNA ODVISNOST DOLGOROČNIH STROŠKOV IN IZGUB.....	107
GRAFIKON 6: KRIVULJA DOLGOROČNIH POSLOVNO SPREJEMLJIVIH VODNIH IZGUB	107
GRAFIKON 7: DOLOČITEV LRELL PO METODI MEJNIH STROŠKOV	109
GRAFIKON 8: PRIMERJAVA IZRAČUNANIH VREDNOSTI ZA SRELL.....	112
GRAFIKON 9: PRIKAZ SPREMEMBE PRESEČIŠČA ZARADI POVEČANJA STROŠKA VODE	116

SLIKE

SLIKA 1: DEJAVNOSTI, KI POVZROČAJO OBREMENJEVANJE VODA (MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR, 2008)	7
SLIKA 2: AZ RADIO LOGERJI (ANDOTEHNA D.O.O., 2015).....	24
SLIKA 3: PRINCIP ZAZNAVANJA ŠUMOV Z GEOFONOM (SEWERIN - TECHNOLOGIES FOR LEAK DETECTION, 2015).....	24
SLIKA 4: GEOFON (SEWERIN - TECHNOLOGIES FOR LEAK DETECTION, 2015).....	25
SLIKA 5: PRINCIP LOCIRANJA OKVAR S KORELATORJEM (SEWERIN - TECHNOLOGIES FOR LEAK DETECTION, 2015).....	26
SLIKA 6: KORELATOR (SEWERIN - TECHNOLOGIES FOR LEAK DETECTION, 2015)	26
SLIKA 7: PRIKAZ SHEMATSKEGA PROCESA ODLOČANJA, KI GA PODPIRA DSS WATERLOSS	32
SLIKA 8: PRIMER DELOVNE SHEME – PODROČJA, KJER JE MOŽNO ZMANJŠATI DELEŽ NEPRODANE VODE	32
SLIKA 9: SPLOŠNI PRIKAZ STROŠKOV, VEZANIH NA RABO VODNEGA VIRA (BANOVEC, 2001)....	34
SLIKA 10: PREDLAGANA UPORABA INDEKSA ILI GLEDE NA RAZVITOST DRŽAVE (SEAGO, MCKENZIE, LIEMBERGER, 2005)	38
SLIKA 11: ŠTIRI PRIMARNE KOMPONENTE PROCESA ZMANJŠEVANJA VODNIH IZGUB (RUŽIČ, SILA, 2015).....	41
SLIKA 12: DOLOČITEV (IZRAČUN) T.I. SHORT RUN ELL (PEARSON, TROW, 2005).....	42
SLIKA 13: RELACIJA MED DODATNIMI STROŠKI POPRAVILA TER SKRAJŠANIM ČASOM POPRAVILA	44
SLIKA 14: NAČRTOVANJE MINIMALNIH STROŠKOV - DOLGOROČNI NAČRT (TRIPARTITE GROUP, 2002).....	55
SLIKA 15: SOODVISNOST MEJNIH STROŠKOV IN STOPNJE VODNIH IZGUB (TRIPARTITE GROUP, 2002).....	59
SLIKA 16: MEDSEBOJNA ODVISNOST ZAGOTAVLJANJA USTREZNE VODNE BILANCE TER ZMANJŠEVANJA VODNIH IZGUB TEKOM DALJŠEGA ČASOVNEGA OBDOBJA (TRIPARTITE GROUP, 2002).....	60
SLIKA 17: POSTOPEK IZRAČUNA OKOLJSKEGA IN DRUŽBENEGA LRELL (TRIPARTITE GROUP, 2002).....	68
SLIKA 18: SOODVISNOST MEJNIH STROŠKOV VODE IN STOPNJE VODNIH IZGUB (TRIPARTITE GROUP, 2002).....	71
SLIKA 19: SKUPNI LETNI ODVZEM VODE KOT ODSOTOK DOLGOROČNO RAZPOLOŽLJIVIH SLADKOVODNIH VIROV OKROG LETA 1990 (WEI-90) V PRIMERJAVI Z ZADNJIM RAZPOLOŽLJIVIM LETOM V OBDOBJU 1998 -2007 (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2016).....	73
SLIKA 20: DOLOČITEV ELL S KRIVULJO SKUPNIH STROŠKOV (LIM, SAVIC, KAPELAN, 2015)	76
SLIKA 21: DOLOČITEV ELL S KRIVULJAMA MEJNIH STROŠKOV (LIM, SAVIC, KAPELAN, 2015)....	76

SLIKA 22: VODOVODNI SISTEM ŠALEŠKE DOLINE (MO VELENJE, ŠOŠTANJ IN ŠMARTNO OB PAKI)	81
SLIKA 23: POSTOPEK ZA OCENO TRENUTNE STOPNJE VODNIH IZGUB (TRIPARTITE GROUP, 2002)	82
SLIKA 24: PRIMER IZRAČUNA VODNE BILANCE ZA VODOVODNI SISTEM ŠALEŠKE DOLINE ZA LETO 2012 (BANOVEC, CERK, CILENŠEK, 2013)	83
SLIKA 25: DIAGRAM ZA IZRAČUN KAZALNIKOV USPEŠNOSTI (TABESH, ASADIYANI YEKTA, BURROWS, 2009).....	88
SLIKA 26: KOMPONENTE VODNIH IZGUB IN KAZALNIKI USPEŠNOSTI, PRI ČEMER JE IZRAŽEN TUDI FAKTOR SF (TABESH, ASADIANI YEKTA, 2005).....	89
SLIKA 27: ŠE EN PRIMER IZBRANE VREDNOSTI SF FAKTORJA (TABESH, ASADIYANI YEKTA, BURROW, 2009)	90
SLIKA 28: DOLOČANJE SRELL (MUNOZ-TROCHEZ, 2011).....	91
SLIKA 29: STROŠKI ODKRIVANJA OKVAR GLEDE NA STOPNJO VODNIH IZGUB PRI METODI A (TRIPARTITE GROUP, 2002).....	94
SLIKA 30: STROŠKI ODKRIVANJA IN POPRAVILA OKVAR GLEDE NA STOPNJO VODNIH IZGUB PRI METODI B.....	98
SLIKA 31: IZHODIŠČNI GRAF ZA DOLOČANJE KRATKOROČNIH EKONOMSKO SPREJEMLJIVIH IZGUB (MOP, 2015).....	100
SLIKA 32: TLAKI NA OMREŽJU ŠOŠTANJ PRED VGRADNJO REGULACIJSKEGA VENTILA (VGRAJEN NAVADEN REDUCIRNI VENTIL)	103
SLIKA 33: TLAKI NA OMREŽJU ŠOŠTANJ PO VGRADNJI REGULACIJSKEGA VENTILA.....	104
SLIKA 34: SPREMEMBA PRETOKA NA ODVODU IZ VODOHRANA RZ ŠOŠTANJ ZARADI VGRADNJE REGULACIJSKEGA VENTILA	104
SLIKA 35: TROJNI PRISTOP K ZAGOTAVLJANJU TRAJNE UČINKOVITOSTI (RAFTELIS, 2014)	111
SLIKA 36: DOLOČITEV ELL (SMOUT ET AL., 2010).....	114
SLIKA 37: EKONOMSKA ANALIZA VODNIH IZGUB NA KONKRETNEM PRIMERU – BANGKOK (SHAFIQUK ISLAM, SINGH BABEL, 2013).....	115

LIST OF TABLES

TABLE 1: CALCULATING WATER BALANCE (REGULATION OF DRINKING WATER SUPPLY, 2013) ...	9
TABLE 2: APPROXIMATE VALUES FOR SPECIFIC WATER LOSSES (DVGW W392, 2003)	13
TABLE 3: BASIC GUIDELINES FOR DETERMINING THE TARGET LEVEL OF ILI (FANNER, 2002)	37
TABLE 4: EXTERNAL COSTS AND BENEFITS OF LEAKAGE CONTROL (TRIPARTITE GROUP, 2002)	64
TABLE 5: CALCULATING UARL FOR WATER SUPPLY SYSTEM VELENJE – ŠOŠTANJ – ŠMARTNO OB PAKI FOR 2015.....	85
TABLE 6: DETERMINING THE ELL (FALLIS ET AL., 2011).....	87
TABLE 7: BASELINE DATA.....	92
TABLE 8: THE FREQUENCY OF LEAKAGE IN THE WATER SUPPLY SYSTEM VELENJE – ŠOŠTANJ – ŠMARTNO OB PAKI FOR THE PERIOD 2007 – 2015	93
TABLE 9: CALCULATING COSTS OF LEAKAGE DETECTION USING METHOD A	97
TABLE 10: ACTIVE LEAKAGE CONTROL COSTS FOR THE WATER SUPPLY SYSTEM VELENJE – ŠOŠTANJ – ŠMARTNO OB PAKI	99
TABLE 11: DATA FOR DETERMINING THE SRELL OF THE WATER SUPPLY SYSTEM VELENJE – ŠOŠTANJ – ŠMARTNO OB PAKI	100
TABLE 12: DATA FOR COST CURVES	101
TABLE 13: INVESTMENT MAINTENANCE COSTS FOR THE PERIOD 2010 – 2015	105
TABLE 14: DATA FOR COST CURVES IN DETERMINING THE LRELL	106
TABLE 15: ITERATIVE METHOD OF CALCULATION OF THE EQUATION	108
TABLE 16: MARGINAL COSTS FOR THE PERIOD 2010 – 2015	109

LIST OF GRAPHS

GRAPH 1: TREND OF FLUCTUATION OF NRW AND WATER LOSSES DURING THE PERIOD 2006 – 2015.....	84
GRAPH 2: AN EXAMPLE OF DETERMINING DETECTION COSTS VS. LEVEL OF LEAKAGE (METHOD A)	95
GRAPH 3: AN EXAMPLE OF DETERMINING DETECTION COSTS VS. LEVEL OF LEAKAGE (METHOD A) – USING THE NEW VALUE OF FITTING CONSTANT A.....	96
GRAPH 4: SHORT RUN ECONOMIC LEAKAGE LEVEL CURVE	101
GRAPH 5: THE INTERDEPENDENCE OF THE LONG-TERM COSTS AND LOSSES	107
GRAPH 6: LONG RUN ECONOMIC LEAKAGE LEVEL CURVE.....	107
GRAPH 7: DETERMINING THE LRELL, USING THE MARGINAL COST APPROACH	109
GRAPH 8: COMPARISON OF THE CALCULATED VALUES FOR THE SRELL.....	112
GRAPH 9: CHANGE OF THE INTERSECTION DUE TO INCREASED WATER COSTS.....	116

LIST OF FIGURES

FIGURE 1: ACTIVITIES WHICH CAUSE WATER POLLUTION (MINISTRY OF ENVIRONMENT AND SPATIAL PLANNING, 2008)	7
FIGURE 2: ACOUSTIC LOGGERS (ANDOTEHNA D.O.O., 2015).....	24
FIGURE 3: PINPOINTING WITH ACOUSTIC GROUND MICROPHONES	24
FIGURE 4: ACOUSTIC GROUND MICROPHONE (SEWERIN - TECHNOLOGIES FOR LEAK DETECTION, 2015).....	25
FIGURE 5: PINPOINTING WITH A CORRELATOR (SEWERIN - TECHNOLOGIES FOR LEAK DETECTION, 2015).....	26
FIGURE 6: CORRELATOR (SEWERIN - TECHNOLOGIES FOR LEAK DETECTION, 2015)	26
FIGURE 7: SCHEMATIC DECISION-MAKING PROCESS SUPPORTED BY THE DSS WATERLOSS	32
FIGURE 8: AN EXAMPLE OF WORK SCHEME - AREAS OF POSSIBLE REDUCTION OF NON-REVENUE WATER.....	32
FIGURE 9: GENERAL VIEW OF COSTS RELATED TO THE USE OF WATER RESOURCES (BANOVEC, 2001).....	34
FIGURE 10: PROPOSED USE OF ILI AS A PERFORMANCE INDICATOR IN DEVELOPED AND DEVELOPING COUNTRIES (SEAGO, MCKENZIE, LIEMBERGER, 2005)	38
FIGURE 11: FOUR PRIMARY COMPONENTS OF THE PROCESS OF REDUCING WATER LOSSES (RUŽIČ, SILA, 2015)	41
FIGURE 12: CALCULATING THE SHORT RUN ELL (PEARSON, TROW, 2005).....	42
FIGURE 13: ADDITIONAL COSTS OF REPAIR WITH REDUCED REPAIR TIME (PEARSON, TROW, 2005).....	44
FIGURE 14: CALCULATING THE LONG RUN ELL (TRIPARTITE GROUP, 2002).....	55
FIGURE 15: INTERDEPENDENCE OF MARGINAL COSTS AND RATES OF WATER LOSS (TRIPARTITE GROUP, 2002).....	59
FIGURE 16: SUPPLY-DEMAND BALANCE AND LEAKAGE PROFILE (TRIPARTITE GROUP, 2002).....	60
FIGURE 17: SCHEME OF CALCULATING THE ENVIRONMENTAL AND SOCIAL LONG RUN ELL.....	68
FIGURE 18: POLICY SET BY MARGINAL COST OF WATER (TRIPARTITE GROUP, 2002).....	71
FIGURE 19: ANNUAL TOTAL WATER ABSTRACTION AS A PERCENTAGE OF AVAILABLE LONG-TERM FRESHWATER RESOURCES AROUND 1990 (WEI-90) COMPARED TO LATEST YEAR AVAILABLE (1998–2007).....	73
FIGURE 20: DETERMINING THE ELL WITH TOTAL COST CURVE (LIM, SAVIC, KAPELAN, 2015)	76
FIGURE 21: DETERMINING THE ELL WITH MARGINAL COST CURVES (LIM, SAVIC, KAPELAN, 2015).....	76
FIGURE 22: WATER SUPPLY SYSTEM OF MO VELENJE, ŠOŠTANJ AND ŠMARTNO OB PAKI	81
FIGURE 23: THE PROCEDURE FOR ASSESSING CURRENT LEVELS OF WATER LOSSES (TRIPARTITE GROUP, 2002).....	82
FIGURE 24: EXAMPLE OF CALCULATING WATER BALANCE FOR THE WATER SUPPLY SYSTEM OF ŠALEK VALLEY FOR THE YEAR 2012 (BANOVEC, CERK, CILENŠEK, 2013).....	83

FIGURE 25: FLOWCHART OF THE PERFORMANCE INDICATORS CALCULATION (TABESH, ASADIYANI YEKTA, BURROWS, 2009).....	88
FIGURE 26: WATER LOSSES COMPONENTS AND THE PERFORMANCE INDICATORS WITH EXPRESSED ECONOMIC SAFETY FACTOR SF (TABESH, ASADIYANI YEKTA, 2005).....	89
FIGURE 27: ANOTHER EXAMPLE OF THE SELECTED VALUES OF THE ECONOMIC SAFETY FACTOR (TABESH, ASADIYANI YEKTA, BURROW, 2009).....	90
FIGURE 28: CALCULATING THE SRELL (MUNOZ-TROCHEZ, 2011).....	91
FIGURE 29: STEADY STATE DETECTION COSTS VS. LEVEL OF LEAKAGE FOR METHOD A (TRIPARTITE GROUP, 2002).....	94
FIGURE 30: STEADY STATE DETECTION COST AND REPAIR COST VS. LEVEL OF LEAKAGE FOR METHOD B.....	98
FIGURE 31: STARTING GRAPH FOR DETERMINING THE SRELL (MOP, 2015).....	100
FIGURE 32: PRESSURES ON THE NETWORK OF ŠOŠTANJ BEFORE THE INSTALLATION OF THE CONTROL VALVE (NORMAL PRESSURE REDUCING VALVE INSTALLED).....	103
FIGURE 33: PRESSURES ON THE NETWORK OF ŠOŠTANJ AFTER THE INSTALLATION OF THE CONTROL VALVE	104
FIGURE 34: CHANGE OF THE OUTFLOW FROM THE RESERVOIR RZ ŠOŠTANJ DUE TO THE INSTALLATION OF THE CONTROL VALVE.....	104
FIGURE 35: TRIPLE APPROACH TO ENSURING SUSTAINABLE EFFECTIVENESS (RAFTELIS, 2014)	111
FIGURE 36: ECONOMIC LEVEL OF LEAKAGE CALCULATION (SMOUT ET AL., 2010)	114
FIGURE 37: ECONOMICS OF LEAKAGE FOR CURRENT OPERATION – BANGKOK.....	115

OKRAJŠAVE

ALC	Active Leakage Control (aktivna kontrola puščanj)
CARL / OLDI	Current Annual Real Losses (obstoječe letne dejanske izgube)
DMA	District Metering Area (posamezno merilno območje)
DSS	Decision Support Systems (sistemi za podporo odločanju)
EARL	Economic Annual Real Losses (ekonomske letne vodne izgube)
EIF	Economic Intervention Frequency (ekonomska frekventnost intervencij)
EL	Exit Level (izhodni nivo)
ELI	Economic Leakage Index (ekonomski indeks vodnih izgub)
ELL	Economic Level of Leakage (stopnja ekonomsko sprejemljivih izgub v vodooskrbnem sistemu)
ENI	Ekonomski nivo izgub
IL	Intervention Level (intervencijski nivo)
ILI	Infrastructure Leakage Index (infrastrukturni indeks vodnih izgub)
IWA	International Water Association (mednarodno vodno združenje)
LRELL	Long Run Economic Level of Leakage (dolgoročne ekonomsko sprejemljive izgube)
MAC	Marginal Cost of water (mejni strošek vode)
MOP	Ministrstvo za okolje in prostor
NLM	Night Line Measurement (metoda merjenja minimalnih nočnih porab)
NPV	Net Present Value (neto sedanja vrednost)
NRW	Non Revenue Water (neprodana voda)
NUV	Načrt upravljanja z vodami
SDVI	Specifične dejanske vodne izgube
SELL	Sustainable Economic Level of Leakage (trajnostne ekonomsko sprejemljive izgube)
SF	Economic Safety Factor (ekonomski varnostni faktor)
SRELL	Short Run Economic Level of Leakage (kratkoročne ekonomsko sprejemljive izgube)
UARL / NLDI	Unavoidable Annual Real Losses (neizogibne letne dejanske izgube)
Ur. l. RS	Uradni list Republike Slovenije
WEI	Water Exploitation Index (indikator rabe vodnih virov)
WFD	Water Framework Directive (okvirna direktiva o vodah)

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Ukvarjanje z zmanjševanjem količin neobračunane vode (NRW¹) postaja, podobno kot v svetu, tudi v komunalnih podjetjih v slovenskem prostoru vse bolj pomembna aktivnost. Razlogov za to je veliko – prepoznan pritisk na vodne vire, ekonomika poslovanja, obvladovanje tveganj, klimatske spremembe (poplave, plazovi, žled, suša, idr.), demografske spremembe, staranje infrastrukture, ipd.

Težnja k temu, da izgub na vodovodnem sistemu sploh ne bi bilo, ni smiselna, saj vodnih izgub ni mogoče popolnoma preprečiti oz. bi to bilo ekonomsko nesprejemljivo oz. neupravičeno. Nivo sprejemljivih vodnih izgub kot osnovno merilo opredeljuje infrastrukturni indeks vodnih izgub ILI² (Lambert et al., 1999), vendar je omejitev odločanja samo na ta indikator problematična, saj preveč poenostavlja to kompleksno področje. Zato se pogosto uveljavljata tudi dva kriterija ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub, ki jih tuja literatura opredeljuje kot Economic Leakage Index (ELI) oziroma Economic Level of Leakage (ELL). Omenjeni pristop do sedaj v slovenskem okolju še ni bil uporabljen.

Izraz ekonomsko oz. poslovno sprejemljive vodne izgube (angl. Economic Level of Leakage – ELL) predstavlja optimalno točko, na kateri so stroški zmanjševanja vodnih izgub enaki prihrankom zaradi zmanjšanja le-teh³, pri čemer je potrebno način opredeljevanja obeh ustrezno oblikovati, kar po sodobnih teorijah zajema tudi stroške, vezane na dobro ekološko stanje vodnih teles.

Določanje ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub je precej kompleksno, saj moramo upoštevati vse stroške z naslova zagotavljanja ustrezne oskrbe s pitno vodo, tako neposredne stroške, ki nastanejo pri zajemu, pripravi in distribuciji vode, kot tudi vse dodatne stroške, ki so posledica zakasnelega reševanja težav v zvezi z zanesljivo in kontinuirano dobavo vode uporabnikom, do katerih pride zaradi visokih vodnih izgub, ki bi se jih sicer dalo z določenimi ukrepi ustrezno in še pravočasno zmanjšati.

Ker je določanje ELL zahtevno in ker literatura daje zgolj teoretična izhodišča ter načeloma obravnava ekonomsko sprejemljive izgube zgolj po posameznih segmentih in ne kot celote, ga v praksi upravljavci javnih vodovodov bolj poredko uporabljajo, čeprav bi se na daljše časovno obdobje upoštevanje ciljne vrednosti ELL pri izvajanju ukrepov zmanjševanja vodnih izgub precej obrestovalo.

¹ Neobračunane količine pripravljene vode;

² Angl. Infrastructure Leakage Index;

³ Ena od definicij ekonomsko sprejemljivih izgub v vodovodnih sistemih;

1.2 Namen in cilji naloge

Infrastrukturni indeks vodnih izgub (ILI) omogoča določitev stopnje puščanj na vodovodnem sistemu po posameznih merilnih območjih (DMA⁴) in ga lahko uporabljamo kot eno izmed pomembnejših usmeritev oz. ciljev za iskanje izgub v vodovodnih sistemih, poleg ILI pa se v tujini vse pogosteje uporablja termin ELL, ekonomsko oz. poslovno sprejemljive izgube v vodovodnih sistemih, s katerim je določena optimalna točka še učinkovitega delovanja na področju zmanjševanja vodnih izgub.

Namen te naloge je vpeljati v slovenski prostor dokaj nov pristop k zmanjševanju vodnih izgub, ki zagotavlja ustrezno ekonomsko učinkovitost na področju oskrbe s pitno vodo. Trenutno veljavna zakonodaja vse preveč poudarja, da je potrebno zmanjšati vodne izgube v največji možni meri, ne upošteva pa ekonomike poslovanja podjetij in s tem ne daje ustreznih smernic upravljavcem javnega vodovoda. S tem magistrskim delom želimo dokazati, da je pri zmanjševanju vodnih izgub v Sloveniji potrebno upoštevati številne dejavnike, od razpoložljivosti vodnih virov do trenutnega stanja vodovodov ter okoljske in družbene vidike, na podlagi tega pa realno oceniti smiselnost posameznih ukrepov zmanjševanja vodnih izgub.

V okviru naloge bomo obravnavali vprašanje določitve poslovno sprejemljivih izgub v vodovodnih sistemih in izvedli pregled razvoja na tem področju, hkrati pa bomo testno določili tudi poslovno sprejemljive vodne izgube za praktični primer izbranega vodovodnega sistema oziroma posameznega merilnega območja (DMA).

1.3 Potek izdelave magistrskega dela

1.3.1 Temeljna hipoteza

Odločanje na področju zmanjšanja vodnih izgub mora upoštevati tudi stopnjo ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub (ELL) kot ciljno funkcijo, ki se ji je potrebno približevati. Preseganje ELL z vidika vlaganja v zmanjšanje vodnih izgub je lahko tudi ekonomsko neupravičeno.

Do sedaj so se številni projekti v Sloveniji (npr. kohezijski strukturni projekti) opirali pretežno na infrastrukturni indeks vodnih izgub (ILI), ki je bil eden ključnih indikatorjev za upravičenost do teh sredstev in v nadaljevanju tudi za dokazovanje uspešnosti zastavljenih ciljev. Vendar se ob tem postavlja vprašanje, do katere meje je z ekonomskega stališča zmanjševanje vodnih izgub še

⁴ Angl. District Metering Area;

sprejemljivo oz. smiselno in kje je tista točka, na kateri se vlaganje v zmanjševanje vodnih izgub s finančnega stališča ne izide več.

V ta namen bi bilo potrebno uporabiti ekonomski indeks vodnih izgub (ELI), saj je v Sloveniji mogoče pričakovati, da je zaradi topografije (gravitacijsko napajani vodovodni sistemi) in kakovosti (ter tudi razpoložljivosti) vodnih virov, ki ne potrebujejo posebnih postopkov obdelave oz. priprave vode, ELI za nekatere vodovodne sisteme dokaj visok.

1.3.2 Definicije ELL (poslovno sprejemljive izgube v vodovodnih sistemih)

Literatura si pri definiranju ELL pogosto ni enotna - definicije so različne, kot na primer:

ELL predstavlja optimalno točko, na kateri so stroški zmanjševanja vodnih izgub enaki prihrankom zaradi zmanjšanja le-teh;

To je stopnja (odstotek) vodnih izgub po definiciji IWA (Lambert, Fantozzi, 2005), pri kateri bi morebitno nadaljnje zmanjševanje vodnih izgub predstavljalo večji strošek, kot bi bil strošek povečanja zajetih količin vode (npr. z novim vodnim virom);

Delovanje na stopnji poslovno sprejemljivih vodnih izgub pomeni učinkovito poslovanje podjetja ob minimalnih stroških končnega uporabnika;

1.3.3 Predviden potek dela ter metode dela

V teoretičnem delu magistrske naloge bodo najprej podrobneje obdelane vodne izgube, kot jih opredeljuje aktualna zakonodaja in kot jih poznajo upravljavci javnih vodovodov v slovenskem prostoru. Posebno mesto bo zavzela problematika zmanjševanja vodnih izgub kot tudi principi učinkovitega delovanja na tem področju.

Na osnovi pregledane literature bosta predstavljena indeksa ILI in ELI. Analiziran bo nabor spremenljivk (odvisnih in neodvisnih), ki jih potrebujemo za določitev obravnavanih indeksov, ter povzete tuje izkušnje pri njihovem določanju. Na podlagi analiziranih pristopov bomo lahko v empiričnem delu (praktični primer) oblikovali model za določitev ELI in ELL na izbranem vodovodnem sistemu oz. merilnem območju. Na podlagi le-tega bomo lahko v nadaljevanju izvedli presojo upravičenosti izvajanja ukrepov za zmanjševanje izgub na vodovodnem sistemu oz. posameznem merilnem območju (DMA).

V praktičnem delu bomo poskusili določiti poslovno sprejemljive vodne izgube (ekonomski oz. poslovni nivo vodnih izgub) vsaj za eno (karakteristično) merilno območje, kar bo lahko temelj za določevanje takšnih izgub tudi za preostala merilna območja obravnavanega vodovodnega sistema, in ne navsezadnje za določevanje ekonomsko sprejemljivih izgub v celotnem slovenskem prostoru.

Tako oblikovano delo predstavlja prenos trenutnega znanja na področju rehabilitacije in vzdrževanja vodovodnih sistemov v slovenski prostor, saj ti pristopi v Sloveniji še niso bili sistematično uporabljeni. **Pri tem želimo na praktičnem primeru potrditi ali ovreči tudi hipotezo, da lahko ob odsotnosti tovrstnih analiz izvajamo prekomerna vlaganja v zmanjšanje vodnih izgub - v Sloveniji namreč poglobljena ELL analiza do sedaj še ni bila narejena.**

1.3.4 Predpostavke (izhodišča) in predvideni zaključki

Ekonomsko sprejemljiv nivo vodnih izgub se na prvi pogled zdi povsem enostaven pojem, vendar glede na to, da je pri določanju le-tega potrebno upoštevati skupne stroške vseh aktivnosti s področja zmanjševanja vodnih izgub, lahko predpostavimo, da gre za precej bolj kompleksno stvar.

Določanje ELL si lahko nekoliko poenostavimo in se pri tem omejimo z določenimi izhodišči oziroma predpostavkami, če pa se želimo podrobneje seznaniti z dejavniki, ki vplivajo na ekonomsko sprejemljive vodne izgube, pa je potrebno izdelati obširnejšo analizo, ki vključuje tudi okoljevarstvene, družbene in druge vidike.

Pri določanju ELL bomo poskušali upoštevati številna teoretična izhodišča, saj že v osnovi ločimo kratkoročni in dolgoročni ELL, potem pa literatura obravnava še številne različice, zato je smiselno, da poskušamo narediti čim bolj obširen nabor podatkov.

Kadar vključujemo v dejavnost oskrbe s pitno vodo poleg tehničnih strok tudi ekonomijo, je potrebno pri tem takoj upoštevati in se prilagoditi na realnost specifičnega ekonomskega okolja. Infrastrukturni indeks vodnih izgub (ILI) že vključuje komponente sprejemljivosti in lokalnega gospodarstva ter je tako prilagojen za razvite, za nerazvite in za države v razvoju posebej, v okviru analize ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub (ELL) pa se je potrebno s tem ukvarjati še bolj poglobljeno.

Posebno pozornost moramo nameniti tudi neizogibnim vodnim izgubam. To so izgube, ki jih s tehničnega stališča ni mogoče odpraviti, oziroma bi bila za to potrebna nepojmljivo visoka finančna vlaganja. To je dejansko en ekstrem odvisnosti med vodnimi izgubami ter stroški, namenjenimi za zmanjševanje le-teh. Drugi ekstrem so zelo visoke izgube, ki prav tako zahtevajo visoke stroške za zmanjševanje, vendar se v tem primeru s primernimi ukrepi lahko približamo optimalni točki, t.j. ELL,

medtem ko bi se z zmanjševanjem že precej nizkih vodnih izgub od ELL le še bolj oddaljevali. Neizogibne vodne izgube zasedajo poseben prostor pri izračunu vodne bilance posameznega vodovodnega sistema, kot tudi pri določanju stopnje ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub.

Cilj tega magistrskega dela je uporabiti teoretično znanje tudi v praksi in tako na konkretnem primeru preveriti uporabnost obdelanih metod. V kolikor na razpolago ne bo podatkov o obratovanju celotnega vodovodnega sistema, se bomo omejili le na del tega, izziv pa bi bil vsekakor dobiti in obdelati podatke več vodovodnih sistemov, izdelati primerjavo stanja in obratovanja le-teh (t.i. benchmarking) in umestiti slovenski javni vodovod v evropski prostor.

2 VODNE IZGUBE (TEORETIČNA IZHODIŠČA)

V primerjavi z drugimi državami sveta je slovenski prostor nadpovprečno vodnat, vendar neenakomerna razporejenost padavin in raznolikost odtočnih razmer pogojujeta različno razpoložljivost vode za rabo, tako za oskrbo prebivalcev s pitno vodo kot tudi za druge vrste rabe.

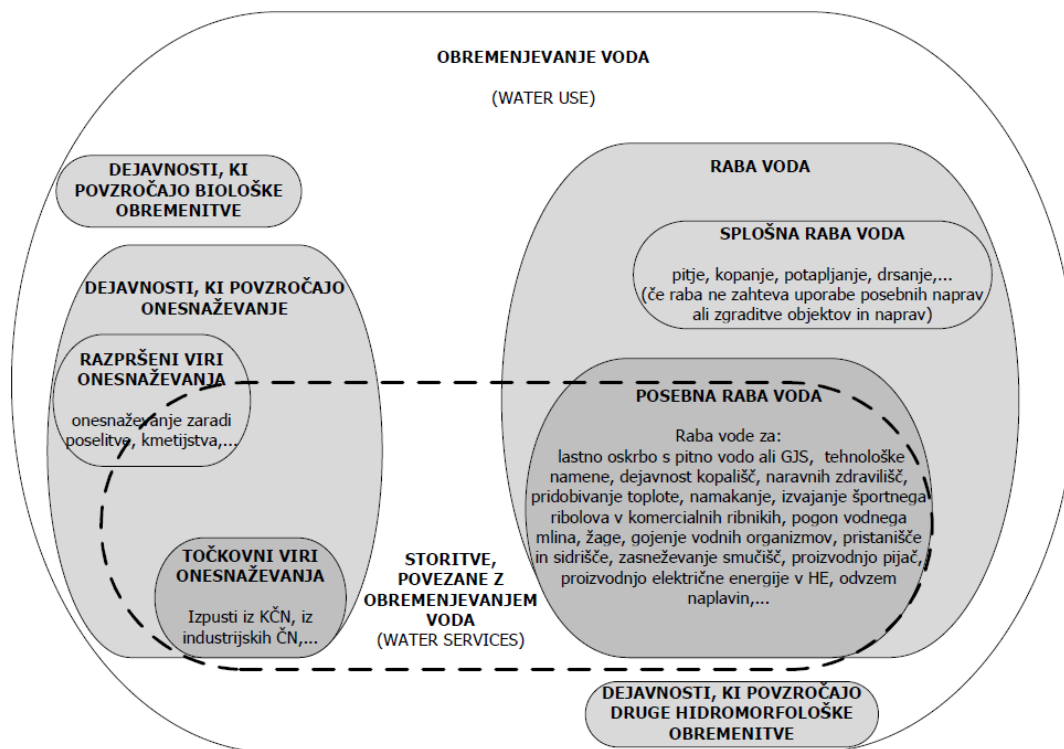
Tako imamo v slovenskem prostoru naselja, kjer težav z ustrezno oskrbo s pitno vodo skorajda ni (niti kvantitativno niti kvalitativno), medtem ko se na območju Krasa in Primorske občasno pojavljajo težave z razpoložljivo količino, predvsem v sušnih obdobjih. Potrebno pa je poudariti, da nobeno območje ni immuno na pomanjkanje vode, kar se je še posebej izkazalo v hidrološki suši leta 2012 (Agencija RS za okolje, 2012), zato je potrebno z vodo gospodarno ravnati. Eden pomembnejših ukrepov pri tem je zmanjševanje morebitnih vodnih izgub na upravljavcu vodovodnega sistema ekonomsko oz. poslovno sprejemljiv nivo.

Upravljanje vsakega vodovodnega sistema mora v osnovi slediti naslednjim ciljem (Gspan, 2005):

- V vsakem trenutku je potrebno zagotavljati pitno vodo v zadostnih količinah (ustrezni pretoki, tudi v primerih zagotavljanja požarne varnosti, ne samo za oskrbo s pitno vodo) ter pri ustreznem tlaku⁵,
- Kvaliteta pitne vode (vse njene lastnosti – organoleptične, fizikalne, kemijske in mikrobiološke) se zaradi zadrževanja v vodovodnem omrežju ne sme spremeniti (poslabšati),
- Življenjska doba sestavnih delov vodovodnega sistema mora biti čim daljša,
- Varnost obratovanja je za vse uporabnike glavna prioriteta;

Obratovalno sposobnost vodovodnega omrežja zagotavljamo z ustreznim načrtovanjem, organizacijo, koordinacijo dela ter z nadzorom nad izvajanjem le-tega. Delo na vodovodnem omrežju zajema vzdrževanje, popravila in rehabilitacijo (čiščenje, sanacija ter obnove) le-tega. Vse ukrepe je potrebno izvajati (v največji možni meri) načrtno ter pravočasno. V nasprotnem primeru pride hitreje do dotrajanosti vodovodnega omrežja, s čimer se poveča možnost nastanka okvar, pogostejša puščanja pa privedejo do večjih vodnih izgub na vodovodnih sistemih.

⁵ Čeprav standard oskrbe običajno to zagotavlja 360 dni na leto (torej ne povsem 100% - no).



Slika 1: Dejavnosti, ki povzročajo obremenjevanje voda (Ministrstvo za okolje in prostor, 2008)

Figure 1: Activities which cause water pollution
(Ministry of Environment and Spatial Planning, 2008)

Kot prikazuje zgornja slika, vodo uporabljamo za številne namene. V prvi vrsti nam omogoča obstoj, saj brez nje praktično ni življenja, po drugi strani pa nam služi pri dejavnostih, ki so za človeka sicer sekundarnega pomena. Ne glede na vpliv, ki ga voda ima, pa se moramo zavedati, da jo je mogoče dosti hitreje in dosti lažje onesnažiti, kot pa jo potem očistiti. Mogoče za nekatere dejavnosti (npr. kot vir energije pri hidroelektrarnah) njena kvaliteta ni tako pomembna, je pa vsekakor pomembna za vsa živa bitja in za njihov obstoj. V nekaterih predelih Slovenije je voda še vedno neoporečna in je z osnovno pripravo že primerna za pitje, medtem ko mora večina slovenskih upravljavcev s pomočjo primernih tehnologij vodo najprej ustrezno pripraviti, da je po zahtevah evropskega prostora sploh pitna. S tega vidika je še toliko bolj pomembno, da pripravljena voda res služi svojemu namenu in se 'ne izgublja' na poti do končnega porabnika.

2.1 Opredelitev vodnih izgub

Gospodarske javne službe se financirajo s prihodki, ki jih omogočajo cene javnih dobrin, iz občinskih proračunskih sredstev, taks in drugih virov, določenih z zakonom ali odlokom lokalne skupnosti. Glavni prihodek upravljavcev javnega vodovoda pa še vedno ostaja lastna cena storitev javne službe,

sestavljena iz omrežnine in vodarine (Uredba o metodologiji za oblikovanje cen storitev obveznih občinskih gospodarskih javnih služb varstva okolja, 2012).

Stroški, ki so povezani z izvajanjem javne vodooskrbe, naraščajo hitreje, kot raste cena vode. To vpliva na negativno poslovanje dejavnosti oskrbe s pitno vodo, na slabo stanje komunalne infrastrukture ter na sam razvoj vodovodnega omrežja kot takega.

Zaradi dotrajanosti omrežja, ki vključuje tako starost vodovoda kot izbiro neprimernih materialov, obstaja težnja po naravni stopnji rasti vodnih izgub z nastajanjem vedno novih puščanj, pri čemer se moramo zavedati dejstva, da je določene okvare zelo težko najti in ostajajo neodkrite daljše časovno obdobje.

2.1.1 Vodna bilanca vodovodnega sistema

Vodna bilanca je količina vode, ki v vodovodni sistem priteka (dovedena voda) in iz njega izteka (različne vrste porabe vode in izgube), namen določanja le-te pa je čim bolj natančno opredeliti in količinsko ovrednotiti posamezne vrste odvzemov vode iz javnih vodovodnih sistemov glede na dovedene količine vode.

Pomemben del vodne bilance je za upravljavca vodovodnega sistema zagotovo prodana voda, razlika med zajeto in prodano količino vode pa predstavljajo vodne izgube. V grobem jih lahko delimo na izgube, ki nastajajo zaradi potreb obratovanja in vzdrževanja vodovodnega sistema⁶ (nezaračunana avtorizirana poraba – npr. odzem vode za gašenje požarov, izpiranje vodovodnega omrežja, pranje vodohranov, pregledi hidrantov, tlačni preizkusi, ipd.), na izgube, ki nastajajo zaradi okvar na vodovodnem omrežju (dejanske izgube) ter izgube, ki nastajajo zaradi nelegalnega odvzema vode (kraja) ter nenatančnosti meritev (navidezne izgube).

⁶ To so t.i. tehnološke izgube.

Preglednica 1: Izračun vodne bilance (Uredba o oskrbi pitno vodo, 2013)

Table 1: Calculating water balance (Regulation of drinking water supply, 2013)

Sklopi vodne bilance za vodovode				
Vtok v vodovodni sistem oz. količina zajete vode [m ³ /leto]	Ugotovljena poraba [m ³ /leto]	Obračunana poraba [m ³ /leto]	Obračunana merjena poraba (vključujoč izvoz vode) [m ³ /leto]	Prodane količine vode [m³/leto]
			Obračunana nemerjena poraba [m ³ /leto]	
		Neobračunana poraba [m ³ /leto]	Neobračunana merjena poraba (vključujoč izvoz vode) [m ³ /leto]	Neprodane količine vode [m³/leto]
			Neobračunana nemerjena poraba [m ³ /leto]	
	Vodne izgube [m ³ /leto]	Navidezne izgube [m ³ /leto]	Neugotovljena poraba [m ³ /leto]	Neprodane količine vode [m³/leto]
			Nenatančnost meritev [m ³ /leto]	
		Dejanske izgube [m ³ /leto]	Dejanske izgube na vodih surove vode in na sistemih za obdelavo vode (če obstajajo) [m ³ /leto]	
			Puščanje na transportnih in razdelilnih vodih [m ³ /leto]	
			Puščanje in prelivi na transportnih in/ali razdelilnih vodohranih [m ³ /leto]	
			Puščanje na priključkih do merilnega mesta [m ³ /leto]	

2.1.2 Neobračunana poraba

Po metodologiji IWA (International Water Association) ter posledično po Uredbi o oskrbi s pitno vodo uvrščamo med neprodane količine vode (NRW, angl. Non-Revenue Water) neobračunano porabo, navidezne vodne izgube ter dejanske vodne izgube. Neobračunana poraba je lahko merjena ali nemerjena (zgolj ocenjena).

Običajno gre za avtorizirano porabo vode, ki je nujno potrebna za ustrezno izvajanje procesa oskrbe s pitno vodo, kot je:

- poraba vode za potrebe požarnega varstva (redni letni nadzor hidrantnega omrežja ter pregledi hidrantov, dobava pitne vode uporabnikom s pomočjo cistern, poraba vode za gašenje požarov ter za gasilske vaje),
- poraba vode za zagotavljanje varne oskrbe s pitno vodo (priprava pitne vode – monitoring, čiščenje, dezinfekcija, redno in izredno pranje vodohranov, spiranje omrežja),
- druga raba vode (pranje cest, zalivanje zelenic, čiščenje kanalizacije);

2.1.3 Navidezne vodne izgube

Navidezni izgub (angl. apparent losses) ne moremo meriti, temveč jih lahko le ocenimo, in sicer na podlagi lastnih izkušenj ali s pomočjo podatkov iz strokovne literature. Med navidezne vodne izgube uvrščamo tiste, ki so posledica nenatančnosti meritev⁷ (nenatančnost vodomeroev in odstopanja meritev) in napak pri prenosu podatkov (med odčitkom in obračunskim sistemom), v večji meri pa gre za nekontroliran (nelegalen) odvzem vode iz vodovodnega sistema (t.j. nedovoljeni vodovodni priključki ter neprijavljeni odvzemi vode iz hidrantov). Gre torej za količine zajete, pripravljene in do uporabnika distribuirane vode, ki pa ni prodana in tako ne ustvarja nikakršnih prihodkov, kvečjemu le stroške.

Navidezne izgube je v okolju težko prepoznati in nanje nimamo neposrednega vpliva, s finančnega stališča pa zavzemajo pomembno mesto pri določanju vodne bilance ter zmanjševanju vodnih izgub. Navidezne vodne izgube je mogoče dokaj hitro odpraviti oziroma ustrezno zmanjšati z relativno nizkimi stroški, koristi ob izvedenih ukrepih zmanjševanja te vrste izgub pa se pokažejo v zelo kratkem času (Fallis et al., 2011).

⁷ Ta del navidezni izgub naj bi predstavljal največ okoli 2% vse dovedene vode v vodovodni sistem oz. posamezno merilno območje – DMA (Rošar, 2013).

2.1.4 Dejanske vodne izgube

Dejanske izgube so posledica okvar (puščanj) na sistemu, ki se lahko pojavijo iz številnih razlogov, kot so nepravilno skladiščenje in nepravilna vgradnja elementov omrežja (bodisi pri popravilih, bodisi pri novogradnjah), slabo izbrani materiali, pomanjkanje ustreznih rednih preventivnih vzdrževalnih del in neustrezno izvajanje korektivnih vzdrževalnih del, prevelike in nenadne tlačne spremembe na sistemu, dotrajanost vodovodnega omrežja ter različni zunanji vplivi (prometna obremenitev, plazovi, potresni sunki, ipd.). Dejanske izgube so lahko tudi posledica sistemskih napak, kot so naključni (in neprepoznani) prelivni v vodohranih, prehajanja vode iz enega merilnega območja v drugo zaradi nefunkcionalnih ventilov, ipd.

Dejanske izgube, ki so običajno posledica puščanj, so odvisne od številnih dejavnikov, kot so dolžina vodovodnega omrežja, število vodovodnih priključkov na km vodovoda, tlak in nihanja le-tega v vodovodnem sistemu, dotrajanost vodovodnih cevi (starost in material), kakovost gradnje cevovoda, korozija, premiki tal (plazovi), ipd.

Dejanske vodne izgube izračunamo tako, da od vse dovedene (zajete) vode odštejemo avtorizirano porabo (t.j. prodano količino vode in neobračunano porabo vode) ter ocenjene navidezne vodne izgube⁸.

2.1.4.1 Kazalniki stanja dejanskih vodnih izgub

Po metodologiji IWA sta določena dva osnovna načina prikazovanja dejanskih vodnih izgub, predstavljena s kratico CARL (angl. Current Annual Real Losses)⁹, in sicer:

- CARL v m³/km cevovoda/dan (v uporabi praviloma v primerih, ko je število priključkov manj kot 20 na km cevovoda),
- CARL v l/priključni vod/dan (v uporabi takrat, kadar je število priključkov več kot 20 na km cevovoda);

2.1.5 Neizogibne vodne izgube

Vse dejanske izgube je nemogoče popolnoma odpraviti. To v praksi ni niti tehnično izvedljivo niti poslovno sprejemljivo. Najmanjše letne dejanske vodne izgube, ki bi jih bilo v nekem dobro

⁸ Ena od obeh znanih metod, ki se najpogosteje uporabljata – 'bottom-up' in 'top-down' metoda. Zgoraj navedena je t.i. 'top-down' metoda določitve dejanskih izgub.

⁹ V slovenski strokovni literaturi najdemo tudi kratico OLDI – Obstoječe Letne Dejanske Izgube.

vzdrževanem in upravljanem vodovodnem sistemu tehnično še mogoče doseči, imenujemo neizogibne vodne izgube (Lambert, McKenzie, 2002). Te običajno označimo kot UARL (angl. Unavoidable Annual Real Losses)¹⁰.

Neizogibne vodne izgube so v glavnem tiste vodne izgube, ki nastajajo kot posledica iztekanja vode z zelo majhno intenzivnostjo, zato je taka puščanja skoraj nemogoče odkriti z uporabo običajnih metod in naprav. Odkrijejo se naključno ali kadar se njihova intenziteta sčasoma poveča.

2.1.5.1 Kazalniki stanja neizogibnih vodnih izgub

Po metodologiji IWA lahko neizogibne vodne izgube ocenimo oz. izračunamo s pomočjo spodnje enačbe, ki praviloma velja za vodovodne sisteme z več kot 5000 priključki, s povprečnim obratovalnim tlakom več od 2,5 bara ter z gostoto odjema, večjo od 20 priključkov na km glavnega cevovoda (t.j. transportni, primarni in sekundarni cevovod).

$$UARL = ((18 \times L_m + 0,8 \times N_c + 25 \times L_p) \times P) / N_c \text{ [l/priključni vod/dan]} \quad (1)$$

$$UARL = ((18 \times L_m + 0,8 \times N_c + 25 \times L_p) \times P) / L_m \text{ [m}^3\text{/km cevovoda/dan]} \quad (2)$$

UARL (angl. Unavoidable Annual Real Losses) ... neizogibne letne dejanske izgube vode,

L_m (angl. Length of mains) ... dolžina glavnih cevovodov [km],

N_c (angl. Number of service connections) ... število vodovodnih priključkov,

L_p (angl. Length of private service pipes) ... dolžina vodovodnih priključkov od javnega voda do vodomera [km],

P (angl. average Pressure) ... povprečni sistemski tlak [m VS];

2.1.6 Specifične dejanske vodne izgube kot kazalnik stanja vodovodnega omrežja

Specifične dejanske vodne izgube izražamo z $\text{m}^3 / (\text{km} \times \text{h})$. Te izgube so dober pokazatelj stanja omrežja in hkrati omogočajo primerljivost stanja med različno velikimi vodovodnimi sistemi oz. merilnimi območji, saj med seboj primerjamo dejanske izgube na km vodovodnega omrežja v določeni časovni enoti (običajno v eni uri).

¹⁰ V slovenski strokovni literaturi najdemo tudi kratico NLDI – Neizogibne Letne Dejanske Izgube.

Preglednica 2: Orientacijske vrednosti za specifične vodne izgube¹¹ (DVGW W392, 2003)

Table 2: Approximate values for specific water losses (DVGW W392, 2003)

Vrstica	Vodne izgube	Orientacijske vrednosti za specifične realne vodne izgube v $m^3/(km \cdot h)$		
		veliko mesto	mesto	podeželje
1	nizke (do 8% dovedene vode)	< 0,10	< 0,07	< 0,05
2	srednje (8% do 15% dovedene vode)	0,10 - 0,20	0,07 - 0,15	0,05 - 0,10
3	visoke (nad 15% dovedene vode)	> 0,20	> 0,15	> 0,10

Pomemben kazalnik stanja vodovodnega omrežja je tudi infrastrukturni indeks vodnih izgub, ki je v slovenski strokovni literaturi običajno obravnavan kar s kratico ILI (angl. Infrastructure Leakage Index). Indeks ILI je dejansko indikator stopnje vodnih izgub na vodovodnem sistemu, bolj kompleksen pojem od specifičnih dejanskih vodnih izgub in (po trenutnih predvidevanjih) primerljiv z ELI in ELL, zato je podrobneje obravnavan v tretjem poglavju.

2.2 Aktualna zakonodaja s področja zagotavljanja ustrezne oskrbe s pitno vodo

Direktiva je zakonodajni akt o določenem cilju, ki ga morajo doseči države EU, toda vsaka država sama sprejme svoje predpise o tem, kako bo posamezni cilj dosegla. Smernice na področju oskrbe s pitno vodo nam dajejo:

- Vodna direktiva (WFD-2000/60/ES)¹²,
- Direktiva o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi (98/83/ES),
- Direktiva o varstvu podzemne vode pred onesnaženjem in poslabšanjem (2006/118/ES),
- Direktiva o okoljskih standardih kakovosti na področju vodne politike (2008/105/ES);

Direktive so osnova za oblikovanje zakonov ter uredb na nivoju države.

¹¹ Posebne ukrepe za izboljšanje stanja vodovodnega omrežja bi bilo potrebno začeti izvajati takoj, ko specifične vodne izgube presežejo mejno vrednost $0,3 m^3/(km \cdot h)$ (Gspan, 2005).

¹² WFD – angl. Water Framework Directive (Vodna direktiva);

2.2.1 Državni akti s področja upravljanja vodovodnih sistemov in oskrbe s pitno vodo

Državne zakonodaje, ki temelji na zgoraj navedenih direktivah in katere cilj je neposredno ali posredno zmanjševanje vodnih izgub, je kar precej. Skladno z zakonodajo morata delovati tako lastnik kot upravljavec vodovodnega sistema. Lastnice infrastrukture javnega vodovodnega omrežja v slovenskem prostoru so občine, ki določijo upravljavca javnega vodovoda, t.j. izvajalca gospodarske javne službe oskrbe s pitno vodo. Krovni akti v zvezi z oskrbo s pitno vodo so Zakon o varstvu okolja, Zakon o gospodarskih javnih službah ter Zakon o vodah.

2.2.1.1 Zakon o varstvu okolja

Zakon o varstvu okolja (ZVO) opredeljuje oskrbo s pitno vodo kot obvezno lokalno gospodarsko javno službo varstva okolja, ki jo je potrebno izvajati v skladu in na način, kot ga določa Zakon o gospodarskih javnih službah. V Zakonu o varstvu okolja so prav tako določene obvezne državne gospodarske javne službe varstva okolja ter obvezne občinske gospodarske javne službe varstva okolja, med katerimi je tudi oskrba s pitno vodo.

Za spremljanje stanja na področju varstva okolja je Državni zbor ustanovil Svet za varstvo okolja Republike Slovenije, ki pa je bil kasneje ukinjen. Državni in občinski organi, izvajalci javnih služb in nosilci javnih pooblastil na področju varstva okolja so morali Svetu (v času obstoja le-tega) na njegovo zahtevo posredovati okoljske in druge podatke, ki jih je potreboval za svoje delo.

Lokalne gospodarske javne službe varstva okolja zadovoljujejo nekatere temeljne materialne potrebe dela in bivanja v naseljih. To med drugim pomeni, da imajo te službe svojstvene značilnosti, ki deloma izhajajo iz dejstva, da so vezane na naselja oziroma poselitev.

Prostorske, naravne in siceršnje raznolikosti naselij ter druge značilnosti poselitve v Sloveniji močno vplivajo na obseg in strukturo izvajanja lokalnih javnih služb varstva okolja in tudi na organizacijo dejavnosti. Tako so le-te razmeroma heterogene v več pogledih: po številu javnih služb, ki jih izvaja posamezno podjetje, po obsegu proizvodov in storitev, po koncentraciji in območju oskrbe, objektov in naprav, po oblikah organiziranosti javnih služb, ne pa tudi po virih in obsegu financiranja.

Pravno-formalno je zagotavljanje lokalnih javnih služb varstva okolja naloga lokalnih skupnosti, se pravi občin. Prvi odstavek 26. člena Zakona o varstvu okolja opredeljuje obvezne lokalne javne službe, ki so: oskrba s pitno vodo, odvajanje in čiščenje komunalnih odpadnih in padavinskih voda, ravnanje s komunalnimi odpadki, odlaganje preostankov komunalnih odpadkov, javna snaga in čiščenje javnih površin, urejanje javnih poti, urejanje površin za pešce ter zelenih površin,

pregledovanje, nadzorovanje in čiščenje kurilnih naprav, dimnih vodov in zračnikov zaradi varstva zraka. Pravno-formalna obveznost izvajanja lokalnih javnih služb varstva okolja ne pomeni, da občine tudi dejansko same izvajajo te službe. Izvajanje lahko zagotavljajo v petih organizacijskih oblikah, ki jih opredeljuje Zakon o gospodarskih javnih službah, in sicer kot: režijski obrat, javni zavod, javno podjetje, koncesija ali vlaganje javnega kapitala v dejavnost oseb zasebnega prava.

Zakon o gospodarskih javnih službah pravno urejuje tudi odnose med občino, izvajalcem javne službe v vsaki od možnih organizacijskih oblik in deloma odnose obeh do uporabnikov storitev in proizvodov javnih služb.

2.2.1.2 Zakon o gospodarskih javnih službah

Zakon o gospodarskih javnih službah določa način in oblike izvajanja gospodarskih javnih služb. Gospodarske javne službe se določijo z zakoni s področja energetike, prometa in zvez, komunalnega in vodnega gospodarstva in gospodarjenja z drugimi vrstami naravnega bogastva, varstva okolja ter z zakoni, ki urejajo druga področja gospodarske infrastrukture. Pri zagotavljanju javnih dobrin je pridobivanje dobička podrejeno zadovoljevanju javnih potreb.

2.2.1.3 Zakon o vodah

Zakon o vodah ZV-1 (Ur.l. RS 67/02, 110/02, 2/04, 41/04, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15) določa cilj upravljanja z vodami ter vodnimi in priobalnimi zemljišči. To je doseganje dobrega stanja voda in drugih z vodami povezanih ekosistemov, zagotavljanje varstva pred škodljivim delovanjem voda, ohranjanje in uravnavanje vodnih količin in spodbujanje trajnostne rabe voda, ki omogoča različne vrste rabe voda ob upoštevanju dolgoročnega varstva razpoložljivih vodnih virov in njihove kakovosti.

Druga slovenska zakonodaja s področja oskrbe s pitno vodo:

- Uredba o oskrbi s pitno vodo (Ur.l. RS, št. 88/12)
- Uredba o ureditvi določenih vprašanj s področja voda (Ur.l. SRS, št. 22/76, RS, št. 35/96)
- Uredba o stanju površinskih voda (Ur.l. RS, št. 14/09, 98/10, 96/13)
- Uredba o stanju podzemnih voda (Ur.l. RS, št. 25/09, 68/12)
- Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib (Ur.l. RS, št. 46/02, 41/04-ZVO-1)
- Uredba o merilih za določanje razvitosti infrastrukture in obremenjenosti okolja zaradi ugotavljanja deleža plačila občini za koncesijo na naravni dobrini (Ur.l. RS, št. 74/04)
- Uredba o metodologiji za oblikovanje cen storitev obveznih občinskih gospodarskih javnih služb varstva okolja (Uradni list RS, št. 87/12, 109/12)

- Pravilnik o pitni vodi (Ur. L. RS 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09)
- Pravilnik o obliki in vsebini napovedi za plačilo vodnega povračila (Ur.l. RS, št. 131/03)
- Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja (Ur.l. RS, št. 64/04, 5/06, 58/11)
- Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture (Ur.l. RS, št. 46/05)
- Pravilnik o obratovalnem monitoringu stanja površinskih voda (Ur. l. RS, št. 91/13)
- Pravilnik o obratovalnem monitoringu stanja podzemne vode (Ur. l. RS, št. 53/15)
- Sklep o določitvi višine vodnega povračila za osnove vodnih povračil za rabo vode, naplavin in vodnih zemljišč za leto 2015 (Ur.l. RS, št. 64/14);

2.2.2 Uredba o oskrbi s pitno vodo

Uredba o oskrbi s pitno vodo določa zahteve za oskrbo s pitno vodo, ki morajo biti izpolnjene pri opravljanju storitev obvezne občinske gospodarske javne službe varstva okolja oskrbe s pitno in pri lastni oskrbi prebivalcev s pitno vodo. Občina mora zagotavljati izvajanje storitev javne službe na vseh poselitvenih območjih na njenem območju, razen na območjih, ki so nad 1.500 m nadmorske višine, in na poselitvenih območjih, kjer se oskrbuje iz posameznega vodnega vira manj kot 50 prebivalcev s stalnim prebivališčem ali je letna povprečna zmogljivost oskrbe s pitno vodo manj kot 10 m³ pitne vode na dan.

Lastna oskrba prebivalcev s pitno vodo se lahko izvaja na območju poselitve, kjer se oskrba s pitno vodo ne zagotavlja v okviru storitev javne službe, če je vodovod v zasebni lasti, vodni vir pa oskrbuje poselitveno območje z manj kot 50 prebivalcev s stalnim prebivališčem in z letno povprečno zmogljivostjo oskrbe s pitno vodo, manjšo od 10 m³ pitne vode na dan, ali pa stavbe na območjih, ki so nad 1.500 m nadmorske višine.

Uredba o oskrbi s pitno vodo uvaja nekaj novosti na področju vodooskrbe. Zelo pomemben je 17. člen, ki govori o zmanjševanju izgub vode iz vodovodnih sistemov. Upravljavec vodovodnega sistema je zakonsko zavezan, da mora spremljati in evidentirati v vodni bilanci vse izgube vode. Prav tako mora pripraviti program ukrepov za zmanjšanje izgub vode, ki je sestavni del programa oskrbe s pitno vodo. Upravljavec vodovodnega sistema mora zagotavljati izvedbo rednega vzdrževanja in ukrepov za zmanjšanje izgub vode, ki nastajajo pri rednem obratovanju vodovodnega sistema, v skladu s programom ukrepov za zmanjšanje vodnih izgub. Šele potem, ko vodne izgube obstoječih vodovodnih sistemov ne presegajo dopustne ravni vodnih izgub, lahko občina zaradi potreb po večji rabi pitne vode načrtuje oskrbo s pitno vodo iz novih zajetij za pitno vodo ali povečanje zmogljivosti črpanja iz obstoječih zajetij za pitno vodo (Banovec, Cerk, Cilenšek, 2013).

Uredba o oskrbi s pitno vodo zajema smernice za širok spekter aktivnosti, ki so potrebne za čim boljše zagotavljanje oskrbe s pitno vodo, in od upravljavcev (tako javnih kot zasebnih) vodovodov zahteva ustrezno zmanjšanje vodnih izgub ob predhodni pripravi primerne programa ukrepov. Slaba stran uredbe je, da ne daje nobenih smernic, kako lahko določimo, kakšno je trenutno stanje obravnavanega vodovoda, in na kakšen način pripraviti ustrezen program ukrepov zmanjšanja vodnih izgub na le-tem. Druga večja pomanjkljivost uredbe je ta, da ne upošteva ekonomike poslovanja izvajalcev gospodarskih javnih služb. Vsak upravljavec vodovoda lahko pripravi program ukrepov za zmanjšanje vodnih izgub skladno z uredbo, vendar je težko vnaprej predvideti, ali bo pri pripravi programa upošteval, koliko se lahko investira (občina kot lastnik infrastrukture ter upravljavec kot izvajalec GJS), da se bodo z zmanjšanjem vodnih izgub dosegli ustrezni prihranki, s katerimi se v primernem časovnem obdobju obravnavana investicija povrne. Zmanjševanje vodnih izgub, ki ni ekonomsko upravičeno, vsekakor ni smiselno in to nikakor ne bi smel biti najpomembnejši cilj lastnikov infrastrukture (t.j. občin) oz. upravljavcev vodovoda.

2.2.3 Načrt upravljanja z vodami (NUV)

Za področje Slovenije sta pripravljena dva načrta – Načrt upravljanja voda za vodno območje Jadranskega morja za obdobje 2015 – 2021 ter Načrt upravljanja voda za vodno območje Donave za obdobje 2015 – 2021.

V NUV je podrobneje opisano stanje obravnavanega območja z značilnostmi pripadajočih površinskih in podzemnih voda, analizo človekovega delovanja in vpliva na vodo (obremenjevanja voda – točkovni in razpršeni viri onesnaženja površinskih ter podzemnih voda) in prikazana so območja s posebnimi zahtevami (vodovarstvena, kopalna, poplavna in drugače občutljiva območja).

NUV natančno opisuje (nadzorni, operativni in preiskovalni) monitoring površinskih in podzemnih voda, s katerim se spremlja količinsko, ekološko in kemijsko stanje voda. Na podlagi analize in ocene stanja voda so potem opredeljeni cilji s področja varstva, urejanja in rabe vode, ki so osnova za izdelan program ukrepov na tem področju za obravnavano obdobje, kateri je podrobneje predstavljen v končnih poglavjih NUV.

Čeprav najdemo na spletnih straneh Ministrstva za okolje in prostor podatke, da naj bi se obdobje pregleda osnutkov in posvetovanje z javnostjo zaključilo že v sredini novembra 2015, še vedno govorimo le o osnutkih obeh načrtov upravljanja z vodami, kljub temu, da bi morala že stopiti v veljavo, saj gre za načrta za obdobje od leta 2015 do leta 2021.

Zmanjšanje vodnih izgub je v osnutkih obeh NUV omenjeno le v eni alineji poglavja, ki obravnava cilje na področju rabe voda. Pitna voda je ena najpomembnejših dobrin, zato je cilj vsake lokalne skupnosti, da jo svojim prebivalcem zagotovi, bodisi z javnim, bodisi z zasebnim vodovodom. Naloga vsakega upravljavca vodovoda pa je, da z vodo ravna karseda gospodarno. To vključuje varovanje vodnih virov, ki je sicer tema obeh osnutkov NUV, pa tudi ustrezno ravnanje z zajetimi in pripravljenimi količinami pitne vode v smislu ustreznega uravnavanja stopnje puščanj tako z ekonomskega kot okoljevarstvenega vidika, kar pa obravnavanima osnutkoma NUV manjka.

2.2.4 Operativni program oskrbe s pitno vodo za obdobje od 2015 do 2020

Operativni program oskrbe s pitno vodo je izvedbeni dokument, s katerim so določena ciljna območja tako, da bodo občine ob podpori države izboljšale trenutno stanje oskrbe s pitno vodo. Predstavlja program koordiniranih ukrepov države in občin za postopno doseganje ciljev oskrbe z ustrezno pitno vodo in pomeni izhodišča za normativno razporejanje, tako časovno kakor krajevno, ter smotrno porabo finančnih sredstev, ki so trenutno na voljo za investicije in investicijsko vzdrževanje na področju komunalnega opremljanja za oskrbo s pitno vodo.

Prednostne naloge na področju oskrbe z vodo so opredeljene v Operativnem programu oskrbe s pitno vodo, ki ga sprejme Vlada Republike Slovenije. Do konca leta 2015 so se aktivnosti na področju oskrbe s pitno vodo izvajale skladno z Operativnim programom, sprejetim v letu 2006, ki je veljal za obdobje od 2007 do 2013, z zaključkom kohezijskih projektov v letu 2015. Oktobra 2015 pa je bil posredovan v javno obravnavo osnutek Operativnega programa oskrbe s pitno vodo za obdobje od 2015 do 2020, za katerega pa žal velja enako kot za oba osnutka NUV – tudi osnutek novega Operativnega programa še ni bil sprejet in obravnavani program še vedno ni v veljavi.

Področje oskrbe s pitno vodo je zelo pomembno, saj je dostop do vode ena od temeljnih pravic vsakega posameznika, po drugi strani pa je obravnavano področje mnogostransko, saj pitno vodo uporabljamo tudi za druge potrebe (v gospodinjstvu – npr. priprava hrane, pranje perila, zalivanje vrtov, pri gašenju požarov, za vzdrževanje kanalizacijskih sistemov, ipd.) in je v pristojnosti različnih institucij - Ministrstva za okolje in prostor, Ministrstva za zdravje, Ministrstva za obrambo, idr.

Kompleksnost vodovodnih sistemov opredeljuje že sama tehnična narava le-teh, saj so sestavljeni iz nizov med seboj močno soodvisnih elementov. Po drugi strani pa na delovanje sistema kot takega močno vpliva tudi raven organiziranosti in ekonomska moč družbe, v kateri sistemi delujejo. Poleg kompleksnosti sistemov in upravljanja z njimi lahko opozorimo tudi na to, da je treba posebno pozornost posvetiti tudi ciljem upravljanja z vodovodnimi sistemi, ki jih prav tako ni enostavno določiti. Osnovni cilji, kot so kakovost vode, pretok, tlak oziroma zanesljivost oskrbe, so običajno v

nasprotju s ciljem poceni oskrbe s pitno vodo. Če k temu dodamo še delovanje sistema za dobavo pitne vode, lahko ugotovimo, da je ta cilj pogosto v nasprotju s ciljem kvalitete dobavljene pitne vode.

Pri osnovanju najrazličnejših strategij z namenom zadovoljevanja ciljev na področju oskrbe s pitno vodo je tako potrebno slediti vsem obstoječim programom in zakonodaji na področju vode. Prav tako je potrebno slediti smernicam iz Evropske unije. Eden temeljnih dokumentov na področju oskrbe s pitno vodo je Operativni program oskrbe s pitno vodo, katerega vsebina izhaja iz Resolucije o nacionalnem programu varstva okolja 2005 - 2012 (Ur. l. RS, št. 2/06).

Ciljno stanje oskrbe s pitno vodo opredeljujejo naslednji strateški cilji:

- zagotovitev zanesljive oskrbe s pitno vodo in zaščito vodnih virov (trajnost oskrbe, vodne količine),
- zagotovitev oskrbe s kvalitetno in zdravstveno ustrezno pitno vodo,
- zagotovitev stroškovno (ekonomsko) učinkovite oskrbe s pitno vodo.

V nacionalnem operativnem programu so naloge oskrbe s pitno vodo ločene na naloge državnega in občinskega pomena.

Med naloge državnega pomena se uvrščajo:

- izgradnja ustrezne infrastrukture za oskrbo s pitno vodo,
- zagotavljanje rezervnih vodnih virov za večje vodovodne sisteme, ki oskrbujejo najmanj 50.000 prebivalcev,
- izgradnja večjih zadrževalnikov ter
- aktivna zaščita podtalnice oz. odprava posledic nekdanjih ekoloških nesreč z možnimi vplivi na več kot 10.000 prebivalcev.

Naloge državnega pomena se sofinancirajo iz Kohezijskega sklada in državnega ter občinskega proračuna.

Med naloge občinskega pomena se uvrščajo:

- zmanjševanje vodnih izgub in obnova dotrajanih delov vodovodnih omrežij,
- izboljšanje energetske učinkovitosti delovanja vodovodnih sistemov,
- spodbujanje povezovanja vodovodnih sistemov in upravljanja z njimi,
- sistemi nadzora nad vodovodnimi omrežji, varnost delovanja vodovodnih sistemov,
- sanacija in prevzem v upravljanje vaških vodovodnih sistemov,
- sanacija starih odlagališč odpadkov in starih bremen na vodovarstvenih območjih, odkup zemljišč na vodovarstvenih območjih,

- zagotavljanje rezervnih vodnih virov in povezave na manjših vodovodnih sistemih, ki oskrbujejo manj kakor 50.000 prebivalcev;

Na osnovi splošnega cilja Operativnega programa razvoja okoljske in prometne infrastrukture je opredeljena strategija področja varstva okolja, katere cilj je z izgradnjo in upravljanjem okoljske infrastrukture zagotoviti pogoje za trajnostni razvoj in kakovostno življenjsko okolje. Ključne usmeritve Slovenije na področju okolja navaja Nacionalni program varstva okolja in se nanašajo na podnebne spremembe, naravo in biotsko raznovrstnost, upravljanje z vodami in varstvo voda, rabo vode ter urejanje voda, varstvo zraka ter ravnanje z odpadki in industrijsko onesnaževanje.

Izboljšanje stanja pri oskrbi s pitno vodo je predvideno z naslednjimi ključnimi ukrepi:

- uskladitev upravljanja vodovodnih sistemov v skladu z evropsko direktivo o oskrbi s pitno vodo - usposobljeni in registrirani upravitelji vodovodnih sistemov, ki oskrbujejo več kakor 50 prebivalcev;
- posodobitev obstoječih vodovodnih sistemov s ciljem zmanjševanja vodnih izgub ter učinkovitejšega in uspešnejšega upravljanja z njimi;
- izgradnja transportnih cevovodov na območjih, kjer se centralizirana rešitev izkaže za ekonomsko oz. poslovno ustrezno;
- drugi ukrepi na vodovodnih sistemih, s katerimi se izboljšujejo standardi oskrbe s pitno vodo (ločevanje vodovodnih sistemov od oskrbe z vodo za gašenje v manjših vodovodnih sistemih, rezervni vodni viri za napajanje vodovodnih sistemov idr.);
- dolgoročna zagotovitev pitne vode ob podnebnih spremembah;
- dolgoročno zagotavljanje izboljšane kvalitete pitne vode v kemijskem in mikrobiološkem smislu.

Operativni program oskrbe s pitno vodo je precej široko zasnovan in obravnava mnoge cilje s področja oskrbe s pitno vodo ter že omenja pojem ekonomsko sprejemljive vodne izgube, čeprav se s tem ne ukvarja podrobneje. V programu je prikazan graf, ki ponazarja, kaj se pojmuje kot ELL, postopki določanja ELL pa še vedno niso definirani, čeprav se od upravljavcev že pričakuje, da v zmanjševanje vodnih izgub vključijo tudi ekonomske dejavnike.

Program od upravljavcev zahteva tudi določitev indeksa ILI, ki se odraža kot razmerje med trenutnimi in neizogibnimi izgubami, vendar postopek izračuna teh dveh kazalnikov v programu ni ustrezno definiran in upravljavcu ne daje oprijemljivih smernic. Glede na to, da naj bi bil Operativni program oskrbe s pitno vodo temeljna osnova za izvajanje oskrbe s pitno vodo ter upravljanje z vodovodnim omrežjem, bi moral dajati eksaktne smernice, brez možnosti, da bralec podvomi v pravilnost napisanega.

2.3 Ukrepi za zmanjševanje vodnih izgub

Ukrepe za zmanjševanje vodnih izgub lahko v grobem razdelimo v dve skupini, na operativne (kratkoročne) in na strateške (dolgoročne) ukrepe. Med operativne ukrepe spadata aktivno preverjanje tesnosti in odpravljanje odkritih puščanj (sanacija okvar), med strateške ukrepe pa uvrščamo optimizacijo merilnih mest, upravljanje s tlaki in planiranje prioriternih obnov na najbolj kritičnih odsekih. Upravljanje infrastrukture in nadzor nad obratovanjem sta del tako operativnih kot strateških ukrepov.

Ukrepe lahko razdelimo glede na kategorijo oz. vrsto vodnih izgub, ki jih želimo zmanjšati – neobračunana avtorizirana poraba vode, navidezne ter dejanske vodne izgube. Pri neobračunani avtorizirani porabi gre običajno za odvzem vode s hidrantov za zalivanje zelenic, čiščenje prometnih površin, ipd. Pri tem je pomembno, da se čim več odvzete vode izmeri, da lahko določimo količino neobračunane avtorizirane porabe. Prav tako je pomembno razmisliti o upravičenosti takega odvzema iz vodovodnega omrežja. Navidezne izgube, ki so posledica nedovoljenega odvzema, lahko zmanjšamo z uvedbo strožjih kazni ob dokazani tatvini vode, navidezne izgube, ki so posledica nenatančnosti meritev, pa lahko rešujemo tako, da proučimo razpoložljive možnosti za uvedbo ustrežnejših merilnih mest, in z investiranjem v natančnejšo in sodobnejšo merilno opremo (Banovec, Cerk, Cilenšek, 2013).

Ukrepi, ki se navezujejo na zmanjšanje dejanskih izgub (puščanj), so podrobneje predstavljeni v sledečih podglavljih. Opisane aktivnosti so odvisne predvsem od usposobljenosti in tehnološke opremljenosti izvajalca storitev (t.j. upravljavca vodovodnega sistema).

2.3.1 Upravljanje infrastrukture in nadzor nad obratovanjem

Zelo pomembno je, da ustrezno upravljamo z distribucijskim vodovodnim omrežjem kot tudi s pripadajočimi objekti (z zajetji, črpališči, vodohrani, idr.), in sicer s pravilno izbiro ter vgradnjo materialov, z ustreznim vzdrževanjem in obnavljanjem vodovodnega sistema ter s pravočasnim nadomeščanjem dotrajanih delov omrežja.

Za razvoj in izvajanje strategije ustreznega upravljanja vodovodnega sistema si je priporočljivo zastaviti dobre temelje. V tem primeru je to zmanjšanje vodnih izgub na poslovno sprejemljiv nivo. Ta nivo se razlikuje od sistema do sistema in je odvisen od različnih dejavnikov, pomembno pa je, da ko enkrat ta nivo dosežemo, da se ga trudimo tudi ohraniti.

Strategija zmanjšanja in ohranjanja določene stopnje dejanskih vodnih izgub vključuje naslednje procese (Ružič, Sila, 2015):

- izračun vodnih izgub in analiza pogostosti pojava okvar,
- analiza vodnih izgub in preučitev trendov (povečanje / zmanjšanje) tako s tehničnega kot z ekonomskega (poslovnega) vidika,
- skrajšanje odzivnih časov od zavedanja, odkrivanja do izvedbe popravila posamezne okvare,
- vzpostavitev aktivnega nadzora nad uhajANJI in puščANJI¹³ vodovodnega sistema,
- vodenje ustreznih evidenc nadzorovanja in vzdrževanja vodovodnega sistema (npr. HACCP),
- rehabilitacija omrežja (t.j. učinkovito upravljanje s premoženjem in infrastrukturo lastnika);

Zaradi boljšega nadzora nad vodnimi izgubami v vodovodnem sistemu je le-tega smiselno razdeliti na manjša podobmočja, t.i. DMA (angl. District Metering Area), ki se jih običajno določi na podlagi vzpostavitve stalnih merilnih mest (meritve pretokov). Podrobneje je ta proces opisan v naslednjih podpoglavjih.

2.3.2 Aktivno preverjanje tesnosti omrežja (ALC – angl. Active Leakage Control)

Odkrivanje okvar in odpravljanje le-teh v okviru aktivnega preverjanja tesnosti vodovodnega sistema sta trajna procesa in jih je potrebno vključiti v procese rednega preventivnega vzdrževanja. Preverjanje tesnosti mora biti načrtovano (predpisana periodika pregledov, uporaba različnih metod iskanja puščanj), rezultati analiz vodnih izgub ter okvar pa osnova za nadaljnje načrtovanje obnov vodovodnega omrežja.

Proces aktivne kontrole tesnosti vodovodnega sistema lahko razdelimo na šest korakov:

1. Spremljanje minimalnih nočnih porab po posameznih merilnih območjih
2. Komunikacija med zaposlenimi, ki se ukvarjajo z zmanjševanjem vodnih izgub
3. Določitev aktivnosti za iskanje puščanj
4. Določitev širšega območja puščanja (t.i. makrocone)
5. Določitev točnega mesta puščanja (t.i. mikrocone)
6. Popravilo okvare, preverjanje delovanja ter vzpostavljanje normalnega obratovanja vodovodnega sistema.

¹³ Kot uhajanja smatramo nekontrolirane izgube vode iz vodovodnega sistema, kot so npr. neprepoznan preliv vode v vodohranih, nedovoljen odvzem na hidrantih, ipd. Puščanja pa so tista vrsta vodnih izgub, ki so posledica okvar na cevovodu.

2.3.2.1 Oprema za aktivno iskanje puščanj

Nadzor nad obratovanjem celotnega vodovodnega omrežja nam omogoča razdelitev le-tega na posamezna merilna območja in spremljanje nočnih pretokov po posameznih območjih merjenja (DMA). S pomočjo t.i. tehnoloških vodomerov lahko izračunamo vodno bilanco za neko daljše časovno obdobje (npr. za en mesec, polletje, leto), medtem ko lahko z meritvami z merilniki pretoka, tlaka in nivoja v vodohranih ter s kontinuiranim prenosom podatkov z le-teh v nadzorni sistem konstantno nadzorujemo obratovanje vodovodnega sistema. Zaposleni, ki se s spremljanjem hidravličnih parametrov srečujejo vsakodnevno, pridobijo občutek, kakšni so normalni obratovalni parametri na posameznih delih vodovodnega sistema, zato lahko v primeru znatnih odstopanj od normalnih vrednosti hitro ugotovijo, če pride na nekem območju do nenormalno povečane porabe (kar je lahko posledica nastanka okvare, nekontroliranega odvzema vode, idr.).

Pri postopku določanja širšega območja puščanja običajno uporabljamo dve metodi. Prva metoda je zapiranje vode po posameznih odsekih in spremljanje pretokov (angl. step testing), katero se navadno izvaja ponoči, ko uporabniki spijo in prekinjena dobava vode ne predstavlja večje težave. Pri tej metodi se zapirajo ventili po posameznih odsekih, s čimer se izolira posamezni del cevovoda, in istočasno se izvajajo meritve pretoka. Če je padec pretoka nepričakovano izrazit, lahko predpostavimo, da gre na obravnavanem odseku za puščanje. V nasprotnem primeru preidemo na naslednji odsek oz. nadaljujemo s procesom tako dolgo, dokler ne zaznamo kritičnega dela omrežja.

Druga metoda določanja širšega območja puščanja je beleženje šumov s t.i. AZ¹⁴ radio zbiralci (angl. acoustic logger). Naprava je sestavljena iz sond (angl. logger), ki se jih s pomočjo posebnega magneta montira na vodovodno armaturo (npr. zasune, hidrante, ipd.) in katere zbirajo podatke o šumih iz okolice v naprej predvidenih časovnih intervalih, ter iz centralne enote, na katero se prenesejo zbrani podatki. Podatki o šumih se beležijo v nočnem času, ko motečih šumov iz okolice ni veliko, zaradi manjše porabe pa je tlak v omrežju nekoliko večji in je zvok puščanj izrazitejši. Podatki se nato preko dneva prenesejo na centralno enoto, s pomočjo katere se jih potem analizira in določi potencialno območje puščanja. Ta metoda je v primerjavi s prvo za upravljavca boljša, saj ni potreb po nadurnem delu v nočnem času, oprema kot taka pa ne zahteva posebnih (nadstandardnih) znanj.

¹⁴ AZ je kratica za Acoustic Zoning (akustično coniranje).



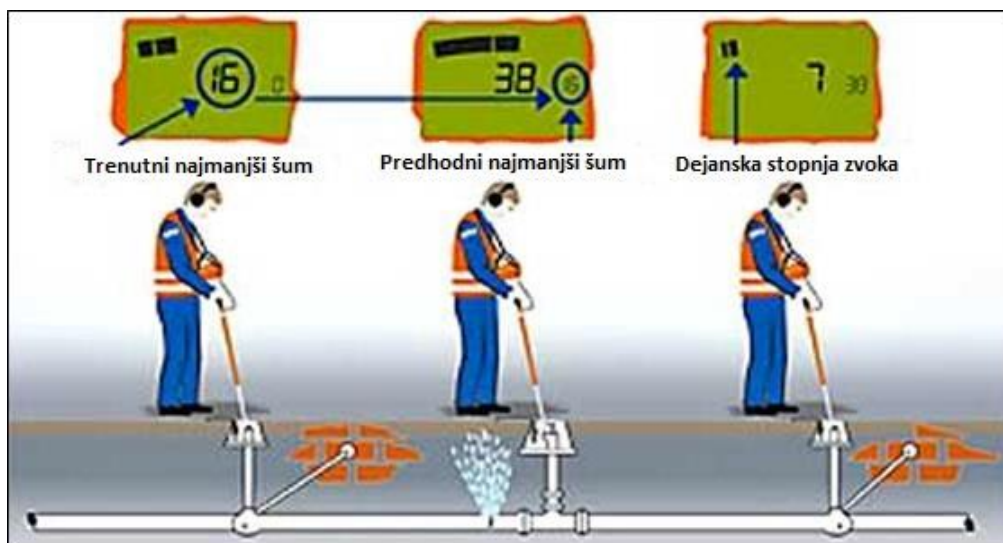
Slika 2: AZ radio logerji (Andotehna d.o.o., 2015)

Figure 2: Acoustic loggers (Andotehna d.o.o., 2015)

Točno mesto puščanja (t.i. mikrocono puščanja) lahko določimo na več načinov, v praksi uporabljamo predvsem tri načine – s poslušanjem šumov in z uporabo t.i. geofonov ter korelatorjev.

Najbolje uveljavljena praksa za določanje točnega mesta puščanja je poslušanje šumov, ki jih neko puščanje povzroča. Zvok se od mesta nastanka prenaša po cevi do armatur, npr. ventilov, kjer se ga da poslušati s kovinsko palico. Ta metoda je zelo enostavna in priročna, vendar zahteva nekaj spretnosti in znanja, v glasnem urbanem okolju pa jo lahko uporabljamo le v nočnem času.

Pri uporabi t.i. geofonov gre za podoben princip kot v predhodno omenjeni metodi, le da se v tem primeru uporabljajo geofoni na način, kot je razvidno na spodnji sliki.



Slika 3: Princip zaznavanja šumov z geofonom (Sewerin - technologies for leak detection, 2015)

Figure 3: Pinpointing with acoustic ground microphones

(Sewerin - technologies for leak detection, 2015)

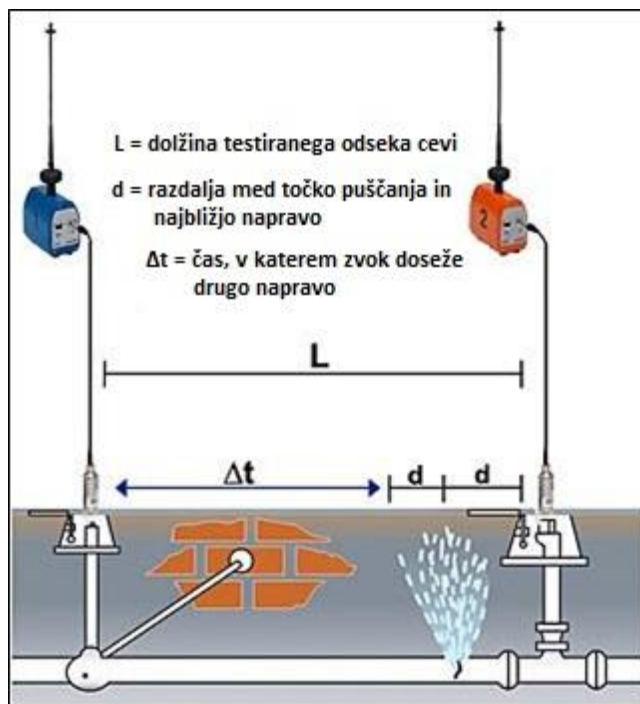


Slika 4: Geofon (Sewerin - technologies for leak detection, 2015)

Figure 4: Acoustic ground microphone (Sewerin - technologies for leak detection, 2015)

Tretja metoda je odkrivanje mest puščanj z uporabo korelatorjev. Korelator je elektronska naprava za odkrivanje in natančno lociranje okvar na cevovodih, iz katerih pod tlakom izteka medij. To je lahko voda, para, vroča voda ali kakšna druga snov, ki pri iztoku povzroča šum. Na odseku, za katerega obstaja sum, da gre za puščanje, se na armaturo montirata senzorja, ki zaznata lastnosti šuma, podatke z obeh senzorjev pa zabeleži korelator, ki na podlagi le-teh določi točno mesto puščanja.

Prednost te metode je, da je precej zanesljiva in jo lahko uporabimo vselej, ko z drugimi metodami ne uspemo določiti t.i. mikrocone puščanja. Slabost pa je ta, da delo s korelatorjem zahteva določene veščine in znanja v zvezi z rokovanjem s to napravo.



Slika 5: Princip lociranja okvar s korelatorjem (Sewerin - technologies for leak detection, 2015)

Figure 5: Pinpointing with a correlator (Sewerin - technologies for leak detection, 2015)



Slika 6: Korelator (Sewerin - technologies for leak detection, 2015)

Figure 6: Correlator (Sewerin - technologies for leak detection, 2015)

2.3.2.2 Naprednejše tehnologije za aktivno kontrolo puščanj

Za ustrezen nadzor nad delovanjem vodovodnih sistemov se vse bolj uporabljajo tudi hidravlični modeli. Hidravlični model je lahko statičen ali dinamičen. Statični model nam omogoča vpogled v splošne hidravlične razmere na sistemu, medtem ko imamo pri dinamičnem modelu s pomočjo tehničnih podatkov kot tudi s kontinuiranim prenosom meritev s sistema v model ter s cikličnim

izvajanjem simulacij vpogled v dejanske razmere na sistemu (t.i. real time simulacije). Za izdelavo hidravličnega modela so na voljo različne aplikacije, najpogosteje pa se pri nas uporabljata Epanet in Aquis.

Za lociranje puščanj na samem terenu se lahko uporabljajo tudi ne-akustične metode, vendar v slovenskem prostoru doslej še niso bile primerno vpeljane v prakso, saj zahtevajo visoko stopnjo usposobljenosti.

Ena od metod oziroma tehnik, ki se v zadnjem času pojavljajo v praksi, je polaganje plastičnih cevi, ki imajo v steni vgrajen električno prevoden sloj. Ko se na cevi pojavi puščanje, je vzpostavljen kontakt med puščajočo vodo ter medijem, ki obdaja cev, pri čemer se avtomatsko sproži alarm, ki opozori na nastanek puščanja oz. okvare.

Druga naprednejša tehnologija je slikanje površine zemlje z infrardečim sprejemnikom slik, ki zaznava toplotno sevanje in ga pretvarja v slike, ki prikazujejo temperaturo posameznih površin ali predmetov z različnimi odtenki sivine ali različnimi barvami, ki pa sicer ne merijo temperature ali prikazujejo merjenih vrednosti v številkah. V primeru puščanj se na teh lokacijah zazna neko odstopanje v temperaturi. Lociranje okvar na ta način je najlažje takrat, kadar so temperature okolja izredno visoke ali pa izredno nizke, da dosežemo čim večji kontrast, t.j. največjo možno temperaturno razliko med temperaturo puščajoče vode ter temperaturo okolice.

Naslednja tehnologija je uporaba georadarjev (GPR – angl. Ground Penetrating Radar). Gre za geofizikalno metodo, ki uporablja radarske impulze za slikanje medija pod površjem. Georadar uporablja elektromagnetno sevanje, pri čemer se zazna odboj signala od podzemnih struktur. Uporaba georadarja je možna v različnih medijih (skala, zemlja, led, voda, ...). V primernih pogojih lahko strokovnjak na svojem področju uporablja GPR za odkrivanje podzemnih predmetov, spremembe lastnosti materialov, iskanje praznin ali razpok pod površjem, ipd. Prav z iskanjem praznin v zemlji, ki jih pri puščanju ustvari voda, ko si utira pot po površjem, lahko določimo lokacijo okvare. Ta metoda je močno odvisna od lastnosti zemljine in je primerna za uporabo pri tleh, ki dobro odvajajo vodo, učinkovitost metode pa je pri večjih globinah slabša.

Za določanje mikrolokacije okvar v zadnjem času stroka uporablja tudi plin. Vodik, ki ga uporabljamo kot sledljiv plin, zaradi svojih specifičnih lastnosti prehaja skozi materiale, kot so zemlja, beton, tlakovci, ipd. Plin prehaja hitro, zaznamo pa ga s pomočjo senzorja, tako da lahko naprava natančno pokaže koncentracijo vodika. Mejne vrednosti se nastavijo poljubno in ob prekoračitvi koncentracije plina nas aparat, zvočno in s prikazom na zaslonu, na to tudi opozori. Ta metoda je najbolj učinkovita pri uporabi na cevovodih manjših premerov, predvsem na priključkih.

Poznamo pa še eno naprednejšo metodo točnega lociranja puščanj, to je t.i. 'inverzna prehodna analiza'. Gre za metodo, ki temelji na spremembah v tlaku, zaznanih s pretvornikom tlaka. Metoda je bila sicer učinkovito preizkušena v laboratoriju, v praksi pa je njena uporaba še v fazi testiranja. Metoda je primerna za iskanje okvar na manjših sistemih.

2.3.3 Učinkovito odpravljanje ugotovljenih puščanj (sanacija okvar)

O učinkovitem odkrivanju okvar govorimo takrat, kadar je prepoznavanje izliva vode iz omrežja hitro, kratek pa mora biti tudi odzivni čas pri lociranju okvare. Glavna predpogoja za to sta vzpostavitev stalnih merilnih mest ter oblikovanje ustreznih merilnih območij (DMA).

Ko odkrijemo in lociramo okvaro, je pomembno, da jo potem tudi v najkrajšem možnem času popravimo (ne glede na dejstvo, ali je upravljavec javnega vodovoda sam našel okvaro v okviru preverjanja netesnosti sistema ali pa je bilo puščanje javljeno s strani uporabnikov – izlitje vode na prosto, uporabniki brez vode, ipd..).

Pomembno je, da je okvara odpravljena v najkrajšem možnem času ter kvalitetno, pri čemer moramo biti pozorni tudi, da:

- imajo delavci, ki okvaro popravljajo, ustrezno zaščitno opremo (delovna obleka, rokavice, škornji, čelada, ...)
- je gradbena jama ustrezno varovana (izkop pod kotom oz. zaščitni opaž, zaščita okoli gradbene jame zaradi mimoidočih, ipd.)
- je primerno izvedena cestna zapora ali preusmeritev prometa
- je gradbena jama v primeru del v nočnem času ustrezno osvetljena
- s črpanjem vode iz gradbene jame omogočamo ustrezno popravilo okvare
- ustrezno obvestimo vse uporabnike, ki v času okvare brez vode ali je zaradi okvare potrebno posegati v prostor oz. nepremičnino, ki je v njihovi lasti.

Kadar pride do okvare izven rednega delovnega časa, je dobro presoditi, ali puščanje povzroča škodo ter za kako veliko puščanje gre. Slovenija je na srečo vodnata dežela, ki razpolaga z zadostnimi količinami vode, kar pomeni, da je strošek priprave in distribucije pitne vode do uporabnika razmeroma nizek v primerjavi s stroški popravila okvar izven delovnega časa. Zato je smotno, da se oceni, ali je poslovno bolj sprejemljivo, da se izvede popravilo takoj, ali pa se počaka do prvega delovnega dne¹⁵.

¹⁵ Za države, ki nimajo na razpolago dovolj vode, bi se zdelo tako razmišljanje popolnoma nesprejemljivo.

Kadar ugotavljamo, da prihaja na enem in istem odseku do vse pogostejših okvar, je bolje, da se izvede obnova celotnega odseka vodovoda. Zato je smiselno v fazi planiranja obnov (v začetku posameznega investicijskega obdobja) izvesti analizo pogostosti okvar za obdobje nekaj let in v planu razporediti odseke vodovoda po nujnosti obnov (Tripartite group, 2002).

2.3.4 Optimizacija merilnih mest

Del navideznih vodnih izgub predstavlja tudi nenatančnost meritev (Rošer, 2013). Najpomembnejši tehnološki merilniki na vodovodnem omrežju so merilniki pretoka, tlaka in nivoja, ki omogočajo nadzor nad upravljanjem vodovodnega sistema, posebno skrb pa je potrebno nameniti tudi obračunskim vodomernom pri uporabnikih. Cilj vsakega dobrega upravljavca je namreč tudi povečanje natančnosti merjenja porabljene vode, povečanje prihodkov, nadzor in zmanjšanje nelegalne rabe vode ter nadzor neprodane rabe vode.

Pomembno je, da se na vodovodno omrežje vgradijo merilniki, ki ustrezajo karakteristikam sistema in imajo čim večjo natančnost meritve ter so postavljeni na ustrezna (najbolj sporočilna) merilna mesta. Vse merilne naprave imajo svojo življenjsko dobo in jih je potrebno glede na to ustrezno menjati. Enako velja za vodomere pri končnih uporabnikih, ki so osnova za obračun porabljene vode¹⁶. Kadar podvomimo v pravilnost meritve, je dobro, da izvedemo kontrolo z vzporedno meritvijo (s pomočjo prenosnih merilnikov pretoka, tlaka, idr.).

Za tehnološke meritve je pomembno, da se izvede prenos podatkov v centralno bazo podatkov, kjer se le-ti obdelajo in se jih nato grafično prikaže v aplikaciji nadzornega sistema. Nadzorni sistem nudi upravljavcu javnega vodovoda možnost kontrole obratovanja vodovodnega sistema iz nadzornega centra.

V zadnjem obdobju se na področjih z zelo visoko gostoto odjema vzpostavlja tudi sistem daljinskega odčitavanja obračunskih vodomernov, ki omogoča hitrejšo zbiranje podatkov o porabljeni količini vode pri posameznih porabnikih. Za ta način je smiselna predhodna analiza finančne upravičenosti, saj ni nujno, da je tak način odčitavanja števecv v vsakem primeru tudi poslovno sprejemljiv¹⁷.

¹⁶ Komunalno podjetje Velenje menja vsak obračunski vodomern na pet let.

¹⁷ Obstaja veliko različnih metod daljinskega odčitavanja obračunskih vodomernov.

2.3.5 Upravljanje s tlaki

Z zmanjšanjem tlakov na vodovodnem sistemu do te mere, da še vedno zagotavljamo ustrezne obratovalne tlake pri vseh uporabnikih na sistemu (oz. normalno oskrbo s pitno vodo), lahko zmanjšamo število lomov cevi in tako zmanjšamo puščanja na sistemu, nižji tlaki pa znižajo tudi puščanja na neodkritih lokacijah.

Tlaki in tlačna nihanja so odvisni od dnevne dinamike porabe vode v vodovodnem sistemu ter načina obratovanja črpališč, delovanja reducirnih ventilov ipd. Pozitivni učinki znižanja tlakov se poznajo kot zmanjšanje puščanj na obstoječih okvarah, z optimizacijo tlačnih karakteristik pa je pričakovati tudi zmanjšanje števila okvar tako na vodovodnem omrežju kot vodovodnih priključkih (še posebej na mestih, kjer predvidimo vgradnjo regulatorjev tlaka).

2.3.6 Planiranje prioritetenih obnov omrežja na najbolj kritičnih odsekih

Podjetja, ki se ukvarjajo z upravljanjem vodovoda, kar 65 – 80% prihodka namenjajo za popravila in obnovo vodovodnega omrežja. Gre za velik delež prihodka, ki vpliva ne le na tekoče poslovanje podjetja, pač pa tudi na stroške obratovanja vodovodnega sistema v prihodnosti (Gspan, 2005).

Zaradi pomanjkanja sredstev je potrebno vlaganja usmeriti le v obnovo najbolj kritičnih odsekov vodovodnega omrežja. Ti se določijo na podlagi različnih kriterijev, s pomočjo katerih se oblikuje najbolj ustrezna strategija obnove omrežja.

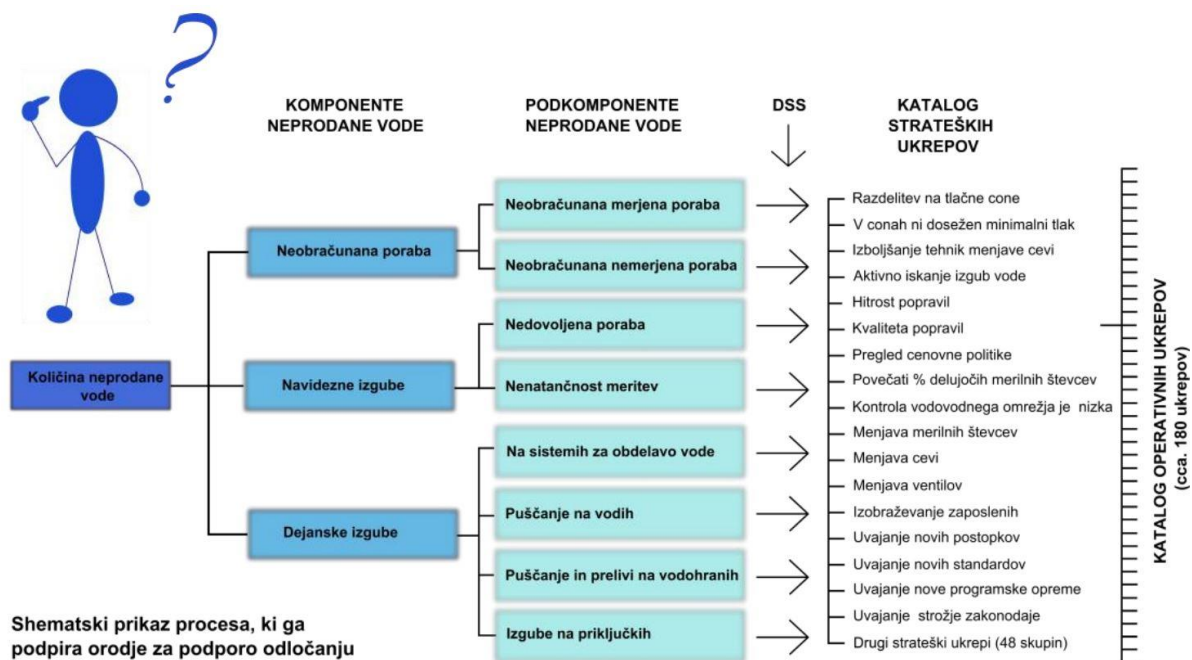
Vsak upravljavec javnega vodovoda se kdaj pa kdaj znajde v dilemi, ali popravljati vse pogostejše okvare na nekem kritičnem odseku ali pa ga obnoviti. Na podlagi stroškovne analize lahko primerjamo stroške obnove vodovodnega omrežja oziroma posameznih odsekov le-tega, s čimer lahko ugotovimo, katera je tista stopnja okvar, pri kateri je bolj smiselno vodovod kar obnoviti (Kanakoudis, Muhammetoglu, 2014). Pri tem je stroške smiselno obravnavati tako s stališča upravljavca vodovoda oziroma lastnika vodovodnega omrežja kot tudi s širšega, družbenega vidika (upoštevamo tehnične, družbene in okoljske stroške). Strošek zamenjave cevi vključuje splošne stroške, ki so odvisni od karakteristik cevi (material, premer, dolžina) ter od načina, težavnosti in lokacije vgradnje. Strošek popravila okvare pa je odvisen od samih karakteristik okvare (loma) in metode popravila le-te. Skupen strošek popravila okvare vključuje stroške, vezane direktno na popravilo (delo, transport, oprema, material za izvedbo popravila, nadzor, idr.), ter posredne stroške, t.i. okoljske in družbene stroške (prekinitev dobave pitne vode, začasno ogrožena požarna varnost, zastoji v prometu zaradi popravila okvar, ipd.). Posredni stroški so lahko dvakrat do štirikrat večji od samega stroška popravila okvare (Kanakoudis, Tolikas, 2001).

2.4 Uporaba inteligentnih sistemov kot podpora za odločanje

Sistemi za podporo odločanju (angl. Decision Support Systems – DSS) so med drugim namenjeni tudi reševanju slabše strukturiranih problemov, ki jih je z uporabo iz ene situacije v drugo mogoče postopno ustrezno prestrukturirati. Zato so lahko taki sistemi za podporo odločanju tudi pomembno orodje pri nadzoru, spremljanju ter zmanjševanju vodnih izgub. Zaradi navedenega dejstva je bilo v okviru projekta EU MED Waterloss (Banovec et al., 2013) razvito ustrezno podporno orodje, ki kot sistem za podporo odločanju vodi uporabnika (t.j. upravljavca vodovodnega sistema) k prepoznavanju ustreznih ukrepov za zmanjševanje vodnih izgub oziroma neprodane vode.

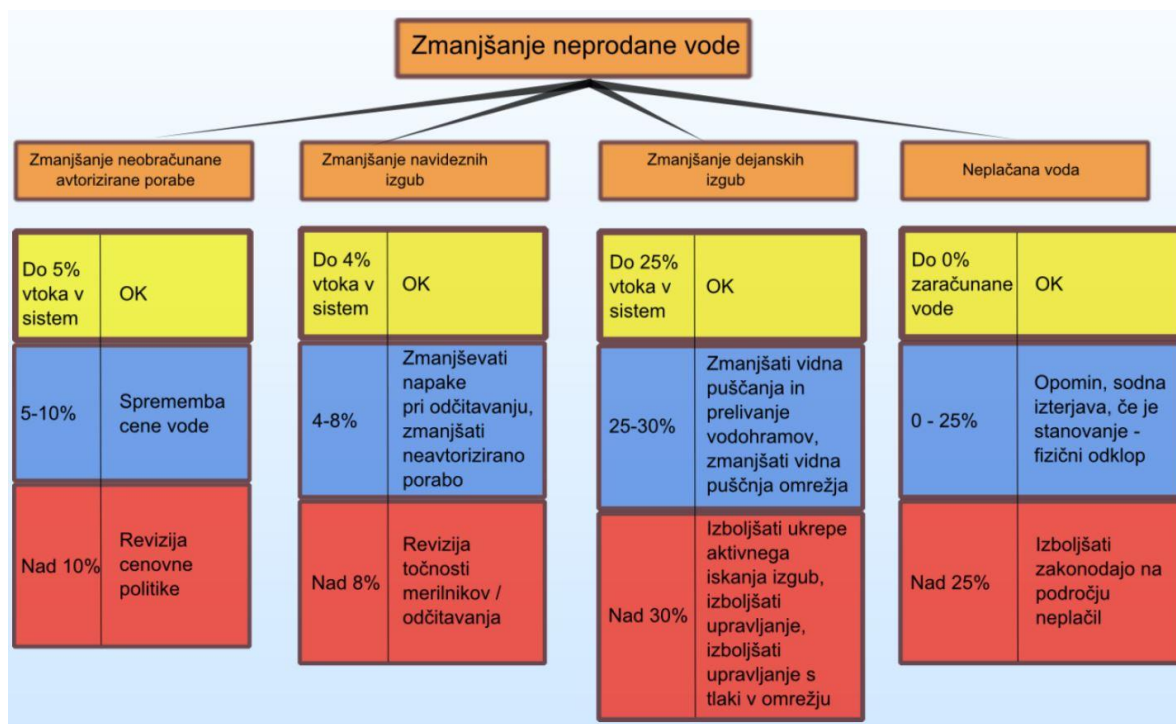
Sistem za podporo odločanju, ki je sicer zasnovan kot internetna aplikacija, omogoča naslednje procese posredovanja, obdelave in vrednotenja podatkov:

- Deluje kot neke vrste poročevalski modul, s pomočjo katerega uporabnik posreduje podatke o svojem vodovodnem sistemu. Na podlagi le-teh se izračuna vodna bilanca sistema.
- Omogoča analizo potrebnih in razpoložljivih spremenljivk in kazalnikov, v katero je bilo v okviru izvedbe omenjenega projekta vključenih 60 pomembnejših indikatorjev, ki jih v procesu primerjalne analize predlaga Mednarodno vodno združenje (IWA). Na osnovi analize se poiščejo tipični vzroki za neprodane količine vode ter predlaga nabor najpomembnejših ukrepov za posamezno kategorijo neprodane vode.
- Uporabnika vodi po sistemu za podporo odločanju pri izboru prednostnih ukrepov za zmanjšanje vodnih izgub (s pomočjo predhodno pripravljenega kataloga ukrepov ter hierarhičnega odločitvenega drevesa), pri čemer omogoča pregled možnih ukrepov za zmanjšanje vodnih izgub ter na koncu tudi možnost poročanja o rezultatih oziroma učinkih izvedenih ukrepov za zmanjšanje dejanskih vodnih izgub.



Slika 7: Prikaz shematskega procesa odločanja, ki ga podpira DSS Waterloss
(Waterloss UL portal, 2015)

Figure 7: Schematic decision-making process supported by the DSS Waterloss
(Waterloss UL portal, 2015)



Slika 8: Primer delovne sheme – področja, kjer je možno zmanjšati delež neprodane vode
(Waterloss UL portal, 2015)

Figure 8: An example of work scheme - areas of possible reduction of non-revenue water
(Waterloss UL portal, 2015)

Pomembna naloga vsakega upravljavca vodovodnega sistema je, da se temeljito posveti zmanjševanju vodnih izgub. Pristop k izbiri ukrepov je odvisen od predhodnega znanja, izkušenj ter finančnih omejitev, sistem za podporo odločanju pa lahko posameznemu uporabniku omogoča lažje sprejemanje odločitev pri iskanju najustrežnejših ukrepov za zmanjšanje vodnih izgub.

2.5 Sklep k teoretičnim izhodiščem

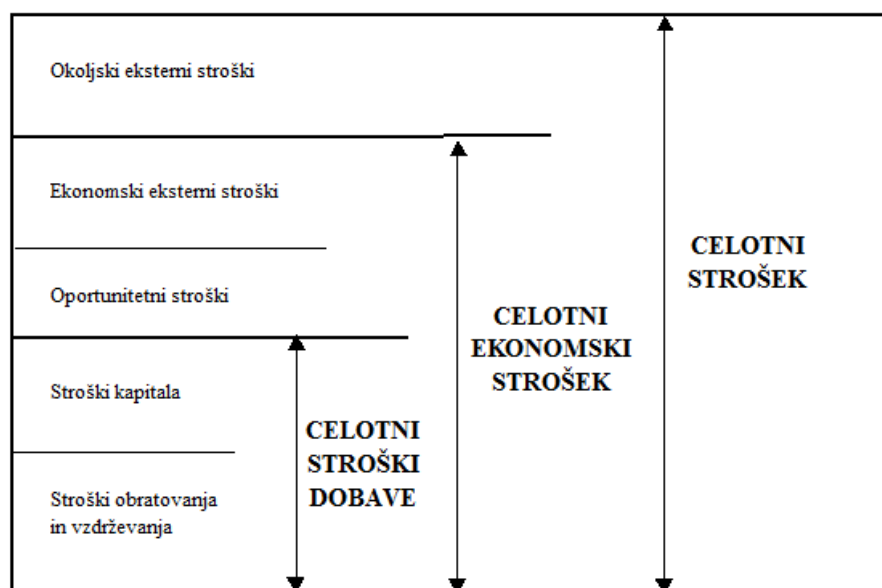
Zmanjševanje vodnih izgub je dolgotrajen in kompleksen proces, sestavljen iz številnih dejavnosti, ki so med seboj povezane. Osnova so vzpostavljene kontinuirane meritve pretokov in tlakov na sistemu, na podlagi katerih izvajamo preglede omrežja periodično in načrtovano, v primeru večjih odstopanj pa izvajamo preverjanje tesnosti glede na prioritete. Poleg ustrezne kontrole puščanj je odločilnega pomena tudi popravilo okvar oz. obnova kritičnih odsekov vodovodnega sistema.

Vodne izgube so precej slabo definiran pojem in velikokrat ne izražajo dejanskega stanja obratovanja vodovodnega sistema. Mednarodno vodno združenje (IWA) za oceno stanja sistema uporablja številne druge kazalnike, ki dajejo realnejšo sliko in so lahko osnova za primerjanje slovenskih vodovodnih sistemov med seboj ali pa služijo kot izhodišče za umestitev v evropski ali celo mednarodni prostor. Nekateri preprostejši kazalniki so že opisani v podpoglavju 2.1, nekaj bolj kompleksnih pa je obravnavanih v naslednjem (tretjem) poglavju.

Teoretične osnove, ki se bile opisane v drugem poglavju, nam služijo za boljše razumevanje vseh procesov, ki so potrebni za zmanjšanje vodnih izgub. Na ta način bomo lažje opredelili medsebojno odvisnost med stroški in stopnjo vodnih izgub ter tako poskusili določiti poslovno sprejemljive vodne izgube. Za določitev ELL je poleg izračuna vodne bilance potrebno izvesti tudi analizo vseh stroškov obratovanja in vzdrževanja, analizo stroškov rehabilitacije omrežja, potrebno pa je analizirati tudi številne druge dejavnike, med katerimi je potrebno izpostaviti predvsem okoljske ter družbene.

3 POSLOVNO SPREJEMLJIVE VODNE IZGUBE

Vodne izgube imajo lahko različne negativne posledice, v tej nalogi pa bodo še posebej izpostavljene ekonomske. Zato je pomembno, da določimo tisto stopnjo izgub, pri kateri so skupni stroški različnih subjektov minimalni. To imenujemo ekonomsko oz. poslovno sprejemljive vodne izgube, v literaturi pa najdemo tudi pojme, kot so ekonomski nivo vodnih izgub, meja ekonomske učinkovitosti, ipd. Da lahko določimo medsebojno soodvisnost stroškov in vodnih izgub, moramo imeti pregled nad vsemi stroški, ki jih imamo z zajemom, pripravo in distribucijo pitno vode do uporabnikov.



Slika 9: Splošni prikaz stroškov, vezanih na rabo vodnega vira (Banovec, 2001)

Figure 9: General view of costs related to the use of water resources (Banovec, 2001)

Če želimo definirati ekonomsko sprejemljive izgube, moramo poznati vse vrste stroškov, ki nastanejo pri zagotavljanju oskrbe s pitno vodo in določajo medsebojno odvisnost s stopnjo vodnih izgub. Pod stroške dobave pitne vode štejemo investicijske stroške lastnika omrežja ter stroške obratovanja in vzdrževanja vodovodnega sistema, ki nastanejo pri procesu zajema, priprave ter distribucije pitne vode (v nadaljevanju navajamo to kot strošek vode). Pri določanju ELL so poleg stroškov vode pomembni stroški aktivne kontrole tesnosti (SRELL), kamor spadata kontrola puščanj omrežja in popravilo najdenih okvar, ter stroški, ki dolgoročno vplivajo na zmanjšanje vodnih izgub (LRELL), kamor uvrščamo obnove vodovoda, razdelitev omrežja na DMA, optimizacijo tlakov in druge vzdrževalne stroške, ki pripomorejo k zmanjšanju stopnje puščanj.

Oportunitetni stroški so tisti stroški, ki nastanejo zaradi izrabe nekega vodnega vira, pri čemer je onemogočena raba istega vodnega vira drugim subjektom, eksterni stroški pa so tisti stroški, ki jih

posamezna raba vode povzroči drugim subjektom (Banovec, 2001). Ekonomske eksterne stroške se običajno opredeljuje kvalitativno oz. posredno, saj jih je kvantitativno težko analizirati. O okoljskih stroških je skupaj z opredelitvijo družbenih stroškov več zapisanega v nadaljevanju (oboji so pomembni za določanje trajnostnih ekonomsko sprejemljivih izgub).

Investiranje v infrastrukturo, kamor spadajo izgradnja novega vodovoda in rekonstrukcija ter obnove obstoječega vodovodnega omrežja, se običajno pokriva iz vira najemnine (upravljaec vodovoda plačuje občini kot lastniku infrastrukture), iz komunalnih prispevkov (uporabniki plačajo občini), občinskih sredstev ter nepovratnih sredstev s strani države (proračun RS) ter Evropske unije.

Cena vode je po Uredbi o metodologiji za oblikovanje cen storitev obveznih občinskih GJS varstva okolja sestavljena iz dveh delov - omrežnine (fiksni del) in vodarine (variabilni del).

V omrežnino (del cene vode, ki predstavlja stroške javne infrastrukture) so vključeni:

- Stroški amortizacije ali najema osnovnih sredstev in naprav, ki so del javne infrastrukture,
- Stroški zavarovanja infrastrukture javne službe,
- Stroški odškodnin, ki vključujejo odškodnine za sluznost ali odškodnine za povzročeno škodo, povezano z gradnjo, obnovo in vzdrževanjem infrastrukture javne službe,
- Stroški 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,
- Stroški nadomestil za zmanjšanje dohodka iz kmetijske dejavnosti v skladu s predpisi, ki urejajo nadomestilo za zmanjšanje dohodka iz kmetijske dejavnosti zaradi prilagoditve ukrepom vodovarstvenega režima (t.i. odškodnine),
- Plačilo za vodno pravico v skladu s predpisi, ki urejajo vode,
- Odhodki financiranja v okviru stroškov omrežnine, ki vključujejo obresti in druge stroške, povezane z dolžniškim financiranjem gradnje in obnove infrastrukture javne službe oskrbe s pitno vodo, pri čemer se upošteva višina stroškov na podlagi podpisanih pogodb;

Vodarina je tisti del cene vode, v katerega so lahko vključeni le stroški, ki se nanašajo na opravljanje storitev javne službe. Sem spadajo:

- Neposredni stroški materiala in storitev,
- Neposredni stroški dela,
- Drugi neposredni stroški,
- Splošni (posredni) proizvajalni stroški, ki vključujejo stroške materiala, amortizacije poslovno potrebnih osnovnih sredstev, storitev in dela,
- Splošni nabavno-prodajni stroški, ki vključujejo stroške materiala, amortizacije poslovno potrebnih osnovnih sredstev, storitev in dela,

- Splošni upravni stroški, ki vključujejo stroške materiala, amortizacije poslovno potrebnih osnovnih sredstev, storitev in dela,
- Obresti zaradi financiranja opravljanja storitev javne službe,
- Neposredni stroški prodaje,
- Stroški vodnega povračila za prodano pitno vodo in za vodne izgube do dopustne ravni vodnih izgub v skladu s predpisom, ki ureja oskrbo s pitno vodo;

Poleg cene vode, ki je sestavljena iz omrežnine ter vodarine, uporabnik plača določen prispevek še državi (DDV, plačilo za vodno pravico, vodno povračilo). Posebej pa je pri poslovanju potrebno urejati stroške, povezane z vodnimi izgubami, višjimi od dopustne ravni, in poslovno nepotrebne stroške.

Da poznamo vse stroške, ki so kakorkoli povezani z izvajanjem oskrbe s pitno vodo in z upravljanjem vodovodnega sistema, s tem pa posredno tudi z zmanjševanjem vodnih izgub, je v našem primeru zelo pomembno predvsem zato, da se lahko sploh lotimo določanja ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub, ki so predmet te naloge. Poznavanje stroškov s tega področja je osnova za izračun ELL.

3.1 Kazalnik uspešnosti upravljanja z dejanskimi vodnimi izgubami – ILI (Delgado, 2008)

Infrastrukturni indeks vodnih izgub (ILI) je eden pomembnejših kazalnikov stanja vodovodnega omrežja. Določen je kot razmerje med dejanskimi letnimi izgubami vode (Current Annual volume of Real Losses – CARL) in neizogibnimi letnimi dejanskimi izgubami vode (Unavoidable Annual Real Losses – UARL).

$$ILI = CARL / UARL \quad (3)$$

Kazalnik ILI nam pokaže, kako dobro se obravnavani vodovodni sistem vzdržuje. To vključuje vzdrževanje cevovodov, popravila, rekonstrukcije, posodobitve, itd. – s ciljem, da se nadzoruje in zmanjšuje dejanske vodne izgube.

Kadar znašajo vrednosti infrastrukturnega indeksa med 1 in 5, je stanje vodooskrbnega sistema ocenjeno kot zelo dobro. Večja kot je vrednosti ILI, slabše naj bi bilo stanje sistema. V zelo slabem vodovodnem omrežju lahko znaša vrednost infrastrukturnega indeksa vodnih izgub tudi 30 in več.

Preglednica 3: Osnovne smernice za določanje ciljnega nivoja infrastrukturnega indeksa vodnih izgub
(Fanner, 2002)

Table 3: Basic guidelines for determining the target level of ILI (Fanner, 2002)

Ciljni nivo ILI	Vidik vodnih virov	Vidik obratovanja	Finančni vidik
1,0 - 3,0	Obstoječi viri so zelo omejeni in/ali slabi.	Povečanje vodnih izgub nad ciljni nivo bi zahtevalo izgradnjo nove infrastrukture in/ali vključevanje novih vodnih virov.	Zagotavljanje novih vodnih virov je drago, možnosti za dvig cene vode so omejene.
3,0 - 5,0	Vodni viri so ocenjeni kot zadostni za dolgoročne potrebe, izvaja se upravljanje z vodnimi viri in vodnimi izgubami.	Obstoječe zmogljivosti vodovodne infrastrukture so ocenjene kot zadostne za pokrivanje dolgoročnih potreb v primeru, da se izvaja razumno upravljanje z vodnimi izgubami in nadzor sistema.	Cena za širitev oz. zagotavljanje novih vodnih virov je sprejemljiva. Mogoče je občasno povišanje cene vode.
5,0 - 8,0	Vodnih virov je dovolj, možnosti za izkoriščanje so ugodne.	Zelo dobro povezan in visoko zmogljiv vodovodni sistem omogoča relativno dobre možnosti za premostitev posledic okvar ali izpada zmogljivosti.	Cena proizvodnje, nakupa ali priprave pitne vode je za upravljavca vodovodnega sistema nizka. Cena vode, ki jo plačujejo potrošniki, je nizka.
nad 8,0	Obratovalni in finančni vidik bi morda dopuščal ciljni nivo ILI tudi večji od 8,0, vendar tak nivo ne pomeni učinkovite izrabe vode kot dobrine. Kot kratkoročni in dolgoročni cilj moramo zagotoviti, da ILI ne preseže vrednosti 8.		

Kljub temu, da se kazalnik ILI uporablja v čedalje več državah, je potrebno upoštevati dejstvo, da ILI ne daje oprijemljivih rezultatov v sistemih, ki imajo (Liemberger, McKenzie, 2005):

- manj kot 5000 priključkov,
- obratovalni tlak manj kot 2,5 bara,
- manj kot 20 priključkov / km glavnega vodovodnega omrežja;

Pomemben kriterij, ki ga je potrebno upoštevati pri interpretaciji faktorja ILI, je razvitost posamezne države. V razvitih državah se pričakuje nižje vrednosti ILI, medtem ko so v državah v razvoju sprejemljive višje vrednosti. Kategorizacija je skupaj z okviri sprejemljivosti predstavljena v sledeči tabeli.

KATEGORIJA TEHNIČNE ZMOGLJIVOSTI		ILI	LITRI / PRIKLJUČEK / DAN pri povprečnem obratovalnem tlaku (m VS):				
			10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
RAZVITE DRŽAVE	A	1 - 2		< 50	< 75	< 100	< 125
	B	2 - 4		50-100	75-150	100-200	125-250
	C	4 - 8		100-200	150-300	200-400	250-500
	D	> 8		> 200	> 300	> 400	> 500
DRŽAVE V RAZVOJU	A	1 - 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B	4 - 8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8 - 16	100-200	200-400	300-600	400-800	500- 1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

Slika 10: Predlagana uporaba indeksa ILI glede na razvitost države (Seago, McKenzie, Liemberger, 2005)

Figure 10: Proposed use of ILI as a performance indicator in developed and developing countries (Seago, McKenzie, Liemberger, 2005)

3.2 Določitev ELI

ELI je kratica za Economic Leakage Index in pomeni ekonomski indeks vodnih izgub, določimo pa ga kot razmerje med dejanskimi letnimi vodnimi izgubami ter poslovnimi vodnimi izgubami, določenimi na letnem nivoju (Pearson, Trow, 2005).

$$ELI = CARL / EARL \quad (4)$$

CARL ... angl. Current Annual Real Losses (dejanske letne vodne izgube),

EARL ... angl. Economic Annual Real Losses (poslovne letne vodne izgube);

Poslovne letne vodne izgube (Tabesh, Asadiyani Yekta, Burrows, 2009) izračunamo kot produkt neizogibnih vodnih izgub (*UURL*) in t.i. ekonomskega varnostnega koeficienta (*SF* ... angl. Economic Safety Factor).

$$EARL = UURL \times SF \quad (5)$$

$$UURL < EARL < CARL \quad (6)$$

Poslovne vodne izgube (EARL in tudi ELL) so večje od neizogibnih (najmanjših možnih) vodnih izgub in manjše od dejanskih vodnih izgub.

Ekonomski indeks vodnih izgub (ELI) se v strokovni literaturi pojavlja zelo poredko, prav tako tudi poslovne letne vodne izgube (EARL) in ekonomski varnostni faktor (SF). ELI in EARL je mogoče izračunati, medtem ko za faktor SF nikjer v literaturi ni opredeljeno, kako ga določiti. Faktor SF je bil kot vrednost najden le v enem strokovnem članku (Tabesh, Asadiyani Yekta, Burrows, 2009), in sicer kot $SF = 2$.

Če matematično primerjamo izraza za ILI in ELI, lahko do pridemo naslednjega spoznanja:

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \rightarrow CARL = ILI \times UARL \quad (7)$$

$$ELI = \frac{CARL}{EARL} \rightarrow CARL = ELI \times EARL \quad (8)$$

Če enačimo izraza (7) in (8), lahko izračunamo sledeče:

$$ILI \times UARL = ELI \times EARL = ELI \times (UARL \times SF) = ELI \times UARL \times SF \quad (9)$$

Če obe strani enačbe (9) delimo z UARL, dobimo:

$$ILI = ELI \times SF \rightarrow ELI = \frac{ILI}{SF} \rightarrow SF = \frac{ILI}{ELI} \quad (10)$$

Zgornji izraz kaže medsebojno odvisnost indeksov ILI in ELI, za katero bi lahko rekli, da je na nek način definirana s faktorjem SF. Če bi predpostavili, da je SF enak 2, potem bi lahko rekli, da znaša ELI polovico vrednosti indeksa ILI. Kaj točno nam to pove, je težko reči, saj izrazov pod enačbo (10) v literaturi ni bilo mogoče najti, je pa logična izpeljava iz izrazov za ILI in ELI, ki kaže na njuno medsebojno povezanost.

Konceptualna zasnova indeksa ELI je torej zastavljena, vendar ELI do uporabnega nivoja ni dodelan, zato se verjetno marsikdo ustavi kar pri določanju indeksa ILI, čeprav je za posameznega upravljavca še kako smiselno, da se določijo poslovno sprejemljive vodne izgube posameznega vodovodnega sistema.

V literaturi najdemo različne pojme – ELI, EARL, ELL, idr. Ti pojmi so obdelani zgolj teoretično, vsakega upravljavca javnega vodovoda pa zanima praktična uporabnost vseh teh pojmov, kar je

predmet četrtega poglavja te naloge, kjer bodo izpostavljene predvsem poslovno sprejemljive izgube (ELL).

3.3 Določitev poslovnega nivoja vodnih izgub (ELL)

V slovenski strokovni literaturi (Kovač, Fantozzi, 2013) je kazalnik ELL pojmovan tudi kot ekonomska raven izgub, s kratico ENI (ekonomski nivo izgub), ki daje podatek, do katere meje se lahko realno pričakuje zniževanje dejanskih vodnih izgub (t.j. ob ekonomski dobičkonosnosti). Ekonomska raven izgub se določi na podlagi ekonomskega izračuna vseh stroškov.

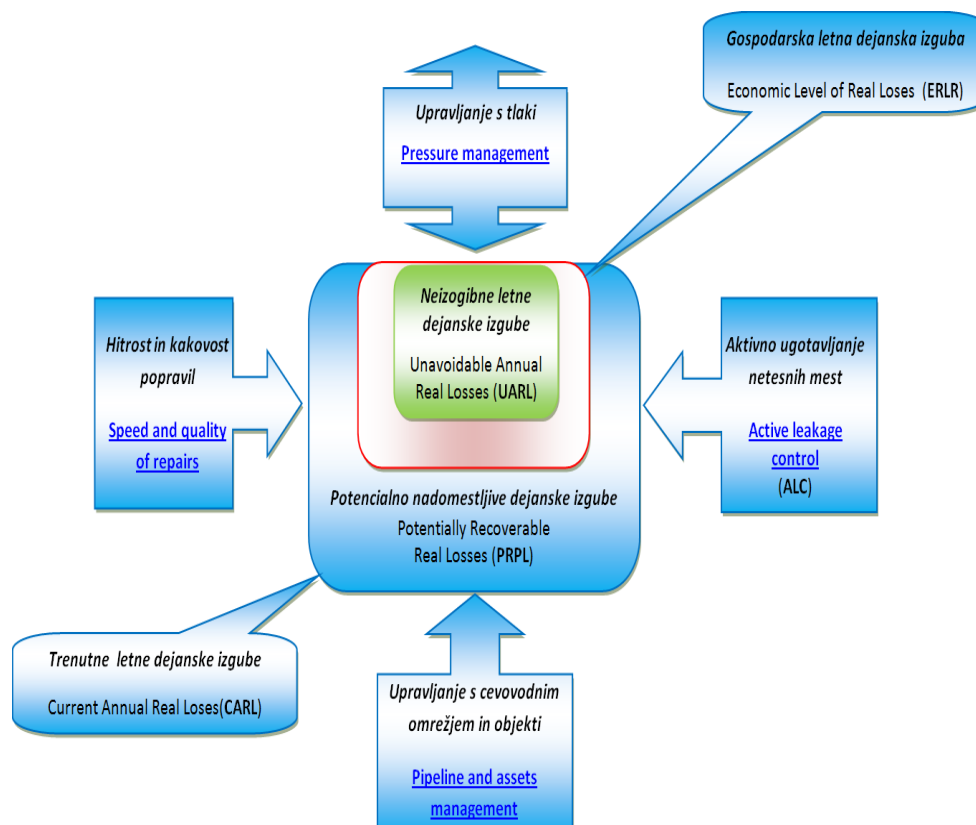
Ker se v nalogi obravnavajo ekonomsko sprejemljive vodne izgube predvsem z vidika ekonomike poslovanja podjetja, ki nastopa kot upravljavec javnega vodovoda, bomo ELL opredelili kot poslovno sprejemljive vodne izgube.

Ekonomske oz. poslovno sprejemljive vodne izgube lahko obravnavamo v dveh časovnih okvirih, kot kratkoročne (angl. Short Run) in dolgoročne (angl. Long Run).

Definicije časovnih okvirov izvedbe nekega procesa se med seboj (glede na vrsto dejavnosti) nekoliko razlikujejo, v primeru zmanjševanja vodnih izgub pa govorimo o dolgoročnem procesu takrat, kadar se stroški neke zastavljene investicije v celoti povrnejo, kratkoročni proces pa je lahko katerikoli segment oz. perioda dolgoročnega.

Ta pristop se lahko v osnovi uporabi v štirih primarnih aktivnostih – optimizacija hidravličnih karakteristik na vodovodnem sistemu (tlaki, pretoki), aktivno iskanje puščanj na omrežju, ustrezno popravilo okvar ter investiranje v infrastrukturo.

Aktivno iskanje puščanj ter ustrezno popravilo okvar uvrščamo med kratkoročne dejavnosti, medtem ko sta optimizacija tlakov ter obnova vodovoda dolgoročna procesa.



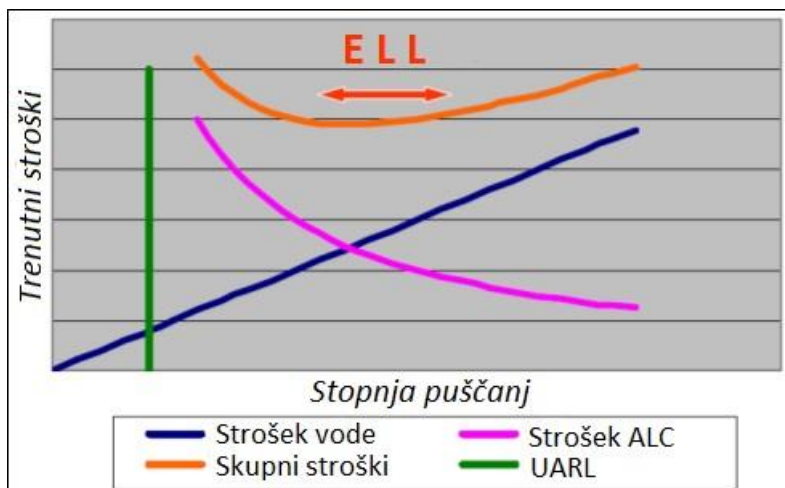
Slika 11: Štiri primarne komponente procesa zmanjševanja vodnih izgub (Ružič, Sila, 2015)
Figure 11: Four primary components of the process of reducing water losses (Ružič, Sila, 2015)

3.3.1 Kratkoročne poslovno sprejemljive izgube (Short run ELL)

Kratkoročne poslovno sprejemljive vodne izgube (SRELL) so odvisne od treh dejavnikov:

- Od trenutnih variabilnih stroškov vode,
- Od stroškov aktivne kontrole puščanj,
- Od stopnje naraščanja neprijavljenih puščanj;

Da lahko določimo SRELL, moramo prepoznati stroške aktivne kontrole tesnosti omrežja ter popravila okvar in strošek vode (Slika 12).



Slika 12: Določitev (izračun) t.i. Short Run ELL (Pearson, Trow, 2005)

Figure 12: Calculating the Short Run ELL (Pearson, Trow, 2005)

3.3.1.1 Aktivna kontrola puščanj kot (podporni) ukrep za določitev SRELL

V grobem ločimo dve vrsti puščanj. Eno so okvare, ki se pokažejo same in jih upravljavec vodovodnega sistema običajno javijo uporabniki. To so običajno kratkotrajna puščanja (angl. transition leaks). V drugo skupino uvrščamo puščanja, ki se sama ne pokažejo, ampak jih z različnimi metodami najde upravljavec sam. Gre večinoma za dolgotrajna puščanja (angl. backlog leaks).

Dolgotrajna (skrita) puščanja

To so puščanja, ki nastajajo na vodovodnem sistemu postopoma in jih je težko odkriti, njihovo število pa se skozi večletno obdobje neprestano veča, prav tako so stroški popravil takšnih okvar lahko kar precejšnji. Pri popravilu takšne okvare gre dejansko za enkratne stroške, katere lahko dokaj natančno ocenimo.

Če tovrstnih puščanj ne uspemo najti in imamo cilj na takih območjih zmanjšati vodne izgube, potem lahko uporabimo še druge aktivnosti, ki so vključene v proces zmanjševanja vodnih izgub, kot je npr. optimizacija tlakov, kar je opisano v naslednjih poglavjih.

Tuja literatura taka skrita puščanja imenuje tudi 'background leakage', določimo pa jih lahko s pomočjo spodnjih izrazov (Tabesh, Asadiani Yekta, 2005).

Skrito puščanje iz glavnih cevovodov (angl. background leakage from mains)

$$Q_{BLM} = Q_{L,m} \times \left(\frac{P^{av}}{50}\right)^N \times L_m \quad (11)$$

$Q_{L,m}$... puščanje iz glavnih cevovodov (20 – 60 l/km/h),

P^{av} ... povprečni tlak (m VS),

N ... tlačni eksponent¹⁸ (Lambert, 1997),

L_m ... dolžina glavnih cevovodov (km);

Skrito puščanje iz priključkov (angl. background leakage from connections)

$$Q_{BLC} = Q_{L,c} \times \left(\frac{P^{av}}{50}\right)^N \times n \quad (12)$$

$Q_{L,c}$... puščanje pri priključkih (1,5 – 4,5 l/priključek/h),

n ... število priključkov;

Kratkotrajna (prehodna) puščanja

To so puščanja, ki nastanejo hipoma in se jih tudi hitro zazna (ali jih javijo uporabniki ali pa jih s svojimi metodami poišče upravljavec javnega vodovoda). Običajno stroški popravila takih okvar niso pretirano visoki, vendar se lahko zgodi, da ko se taka okvara popravi, se lahko zelo hitro pojavi nova, na naslednji, t.i. šibki točki cevovoda. Kadar gre za cevovod, kjer se puščanja pojavljajo kar eno za drugim, je smiselno uvesti enega od dolgoročnih ukrepov, t.j. investiranje v sanacijo celotnega kritičnega odseka.

Velikost kratkotrajnih puščanj določimo s spodnjima izrazoma (Tabesh, Asadiani Yekta, 2005).

Puščanje skozi luknjo ali razpoko

$$Q_{RB,h-c} = 5042,6 \times C_d \times A \times \sqrt{P}^{19} \text{ [l/h]} \quad (13)$$

C_d ... koeficient puščanja (0,8 za luknjo in 0,6 za razpoko),

¹⁸ Pressure exponent;

¹⁹ Produkt konstante in koeficienta puščanja je primerljiv s koeficientom iztoka μ v primeru izračuna iztoka iz majhnih odprtin (Steinman, 1999). Podobno velja za konstanto v enačbi (14).

A ... velikost luknje oziroma razpoke [cm^2],

P ... tlak (atm^{20});

Puščanje zaradi preloma (in zamika) cevi

$$Q_{RB,rc} = 9505 \times a \times D \times \sqrt{P} \text{ [l/h]} \quad (14)$$

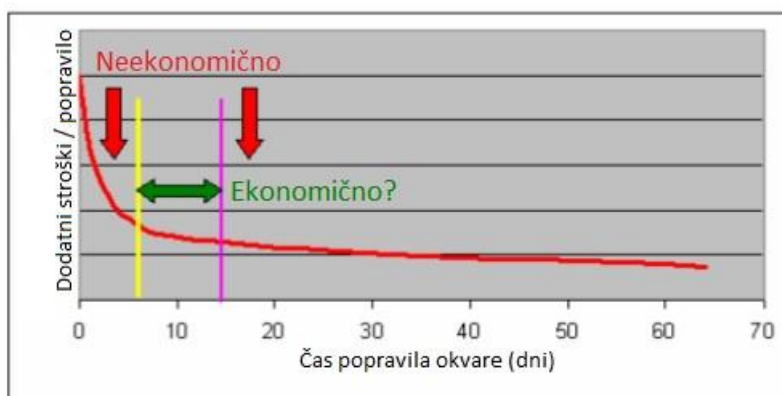
a ... razmik med dvema deloma prekinjene cevi [cm],

D ... premer cevi [cm];

3.3.1.2 Ekonomsko sprejemljiv čas popravila okvar (sanacije puščanj)

Podobno kot pri aktivni kontroli puščanj se v tem primeru lahko določi stroškovno najbolj primeren časovni okvir, v katerem se naj izvede popravilo okvare. Odzivni čas (od zaznanega puščanja do pričetka popravila okvare) je lahko zelo kratek, vendar to z ekonomskega stališča ni vedno najbolj sprejemljivo. V primeru, da okvara nastopi izven delovnega časa, mogoče v nočnem času ali na dela proste dneve, je popravilo takšne okvare bistveno dražje v primerjavi s ceno izgubljenih količin vode. Zato je pomembno, da zna upravljavalec vodovodnega sistema oceniti, kdaj je popravilo okvare s finančnega stališča nujno potrebno in kdaj se ga da ustrezno časovno zamakniti.

Torej, obstaja relacija med skupnimi stroški posamezne okvare ter časom popravila le-te, ekonomsko sprejemljiv čas popravila okvare pa je tisti čas, pri katerem celoten strošek popravila okvare ne presega stroška izgubljene pripravljene vode, oziroma je le-temu enak.



Slika 13: Relacija med dodatnimi stroški popravila ter skrajšanim časom popravila
(Pearson, Trow, 2005)

Figure 13: Additional costs of repair with reduced repair time (Pearson, Trow, 2005)

²⁰ 1 atm = 10 m VS;

3.3.1.3 Ekonomska pogostost intervencij kot podlaga za določitev SRELL

Ekonomska pogostost intervencij označujemo s kratico EIF (angl. Economic Intervention Frequency) ali jo izražamo tudi kot T_e (ekonomska perioda). Obravnavana pogostost (Lambert, Lalonde, 2005) je odvisna od treh dejavnikov, in sicer nanjo vplivajo:

- Strošek intervencije (CI – angl. Cost of an Intervention), ki se običajno izraža z enoto [EUR] ali [EUR/priključek] ali [EUR/km javnega vodovoda], pri čemer so izvzeti stroški popravila neprijavljenih okvar, ki so bile odkrite s spremljanjem nočnih porab in preverjanjem tesnosti (dejavnosti v procesu redne kontrole puščanj),
- Variabilni stroški izgubljene vode (CV – angl. Variable Cost of a lost water) v [EUR/m³],
- Stopnja naraščanja vodnih izgub zaradi neprijavljenih okvar²¹ (RR – angl. Rate of Rise of unreported leakage) z enoto [m³/dan/leto];

Nekatera literatura obravnava stopnjo naraščanja vodnih izgub zaradi neevidentiranih okvar (RR oziroma S) tudi z naslednjim izrazom²²:

$$S = Q_u \times NDF / T \text{ [m}^3\text{/dan/dan]} \quad (15)$$

Pri tem je:

Q_u [m³/dan] ... sprememba pretoka naraslih vodnih izgub zaradi neprijavljenih okvar v izbranem časovnem obdobju,

NDF [-] ... nočno-dnevni faktor, ki pomeni razmerje med nočnim puščanjem ter povprečnim dnevnim puščanjem (izgubami),

T [dni] ... izbrano časovno obdobje za analizo;

Volumen izgubljene količine vode zaradi nezabeleženih okvar v obravnavanem časovnem obdobju lahko izračunamo na naslednji način:

$$V = 0,5 \times S \times T^2 \text{ [m}^3\text{]} \quad (16)$$

Če pomnožimo dobljeno vrednost volumna s ceno 1 m³ vode, dobimo mejni strošek vode, ki ga označimo s kratico MAC (angl. marginal cost of water). Mejni strošek vode je strošek dodatno proizvedene enote outputa oz. proizvoda, v tem primeru strošek dodatno proizvedenega m³ pitne vode,

²¹ Običajno se RR določa na podlagi spremljanja nočnih porab (angl. Night Flow Measurements), ni pa to pravilo.

²² S je identično RR;

v katerega so vključeni strošek zajema, priprave in distribucije vode. Natančneje je mejni strošek definiran v nadaljevanju.

Ekonomska pogostost intervencij nastopi takrat, kadar je strošek intervencij (brez stroška popravila okvar!) enak mejnemu strošku puščanj zaradi nezabeleženih okvar (Lambert, Lalonde, 2005).

$$CI = MAC \times V = MAC \times 0,5 \times S \times T_e^2 \quad (17)$$

oziroma

$$T_e = \sqrt{\frac{CI}{0,5 \times MAC \times S}} \text{ [dni]} \quad (18)$$

T_e je t.i. ekonomska perioda med intervencijami, ki je običajno izražena v dnevih, lahko pa je tudi izražena z meseci ali leti²³.

S pomočjo T_e lahko določimo t.i. ekonomski procent sistema, pri čemer moramo paziti, da je vrednost T_e izražen v mesecih.

$$EP = 100 \times (12/T_e) \text{ [%]} \quad (19)$$

Letni proračun za intervencije (angl. Annual Budget for Intervention):

$$ABI = EP\% \times CI \text{ [EUR]} \quad (20)$$

Ekonomsko sprejemljiv letni volumen nezabeleženih puščanj (angl. Economic Unreported Real Losses):

$$EURL = ABI / MAC^{24} = EP \times CI / MAC \text{ [m}^3\text{]} \quad (21)$$

3.3.2 Dolgoročne poslovno sprejemljive izgube (Long run ELL)

Nekatere aktivnosti, ki se nanašajo na kontrolo tesnosti vodovodnega omrežja, bodo morebiti vključevale večje investicijske ukrepe, investicija pa se bo povrnila v daljšem časovnem obdobju. Med te ukrepe spadata tudi optimizacija tlakov ter obnova dotrajanega vodovodnega omrežja. Takšne investicije so poslovno sprejemljive takrat, ko so stroški investicije enaki ceni s tem privarčevane vode (oz. privarčujemo vsaj toliko pripravljene vode, kolikor ekvivalentno znašajo investicijski stroški).

²³ Uporablja se tudi oznaka EIF – angl. Economic Intervention Frequency.

²⁴ CV je identično MAC;

Dolgoročne poslovno sprejemljive vodne izgube so v grobem odvisne od dveh dejavnikov:

- Od predvidenih stroškov vode v prihodnosti,
- Od sprememb v kratkoročnih poslovno sprejemljivih vodnih izgubah glede na investicije v obratovanje vodovodnega sistema (optimizacija tlakov, obnove vodovoda, spremljanje nočnih porab po posameznih merilnih območjih, idr.);

O dolgoročnih poslovno sprejemljivih izgubah govorimo takrat, kadar upoštevamo daljše časovno obdobje, to je običajno 20 – 30 let. Za obdobje, ki si ga zastavimo, skušamo predvideti vse (možne) stroške in koristi ter odvisnost stopnje vodnih izgub od obojih. Pri tem je potrebno upoštevati vse aktivnosti, ki jih uporabljamo pri zmanjševanju vodnih izgub v tem zastavljenem daljšem časovnem obdobju. V sledečih podpoglavjih so predstavljeni podporni ukrepi, ki jih v praksi uporabljamo za doseganje t.i. dolgoročnih poslovno sprejemljivih vodnih izgub.

3.3.2.1 Optimizacija tlakov kot ukrep za doseganje dolgoročnih poslovno sprejemljivih izgub

Pri procesu optimizacije tlakov na vodovodnem omrežju bodo investicijski stroški vključevali enkratne stroške vgradnje merilnikov tlaka, stroške nabave ustreznih ventilov (reducirnih, varnostnih, zadrževalnih) ter stroške vgradnje oz. zamenjave le-teh.

Glede na izvedene ukrepe se bo povprečni tlak na omrežju temu ustrezno znižal. Večji kot je sicer tlak na sistemu, večje je puščanje. Če tlake zmanjšamo, se posledično zmanjša tudi puščanje na mestu okvare. V takih primerih lahko določimo prag rentabilnosti, torej prelomno točko, pri kateri so dodatni stroški, ki se navezujejo na optimizacijo tlakov, enaki marginalnim stroškom priprave vode. To lahko poimenujemo tudi poslovno sprejemljiva stopnja redukcije tlakov.

Stopnja okvar na vodovodnem sistemu se z optimizacijo tlakov zmanjša, s tem pa se zmanjšajo številni stroški upravljavca javnega vodovoda, kot so stroški prijave okvare (to se sicer običajno nanaša na uporabnike), stroški aktivnega iskanja okvar v primeru neprijavljenih okvar ter stroški ogleda in popravila okvare, posredno pa se zmanjšajo tudi stroški, povezani z rizikom v zvezi s kvaliteto pitne vode (povečana motnost) ter motnjami oskrbe s pitno vodo (prekinitve dobave pitne vode zaradi popravila okvar).

3.3.2.2 Obnova vodovodnega omrežja (kot ukrep za doseganje LRELL)

Z obnovo vodovodnega omrežja, tako glavnih cevovodov²⁵ kot vodovodnih priključkov, se znatno zmanjša možnost nastanka okvar, s čimer na dolgi rok zmanjšamo možnost puščanja ter s tem tudi vodne izgube.

Če pogledamo z ekonomskega stališča, so investicijski stroški obnove vodovoda lahko precejšnji, vendar se s tem ukrepom izognemo stroškom, ki nastajajo pri okvarah, kot je cena izgubljene količine pitne vode in v grobem stroški lociranja ter popravila okvare.

Najbolj logičen pristop k zmanjševanju vodnih izgub v okviru obnov vodovodnega omrežja je ta, da najprej izvedemo analizo pogostosti okvar na omrežju, torej poiščemo najbolj kritične odseke, kjer se okvare najpogosteje pojavljajo, in te najprej saniramo, nato pa prehajamo na sanacijo odsekov z manjšo pogostostjo pojava okvar.

Iz strokovne literature je razvidno, da se skrita (dolgotrajna) puščanja obravnavajo drugače od okvar, ki nastanejo nenadoma in jih zaznamo takoj (t.i. lom cevi). Cevovodi, kjer se cevi lomijo zelo pogosto, lahko imajo nizko stopnjo skritih puščanj, in obratno. Zaradi tega je smiselno, da se cevovodi obravnavajo ločeno – da se izvede posebej analiza cevovodov po pogostosti okvar, kjer gre za nenadna puščanja, ter posebej analiza po pogostosti skritih puščanj.

Pri iskanju t.i. ekonomične točke obnove vodovodnega omrežja je potrebno upoštevati naslednje dejavnike:

- Oceni se strošek sanacije vodovoda,
- Ocenijo se koristi (dobiček), do katerih privede sanacija obravnavanega odseka vodovoda,
- Oceni se zmanjšanje vodnih izgub na račun sanacije vodovoda,
- Ocenijo se nadaljnji prihranki in stroški v zvezi s pregledi, popravili ter aktivnim iskanjem okvar,
- Ocenijo se mejni stroški, ki naj bi bili praviloma nižji od prihrankov, ki nastanejo kot rezultat zmanjšanja puščanj;

²⁵ Transportni, primarni in sekundarni cevovod;

3.3.2.3 Razdelitev omrežja na merilna območja in spremljanje nočnih porab kot podporni ukrep za doseganje LRELL

Vodovodno omrežje lahko razdelimo na manjša merilna območja (DMA), za katera je mogoče spremljati vodno bilanco, torej vtok v DMA, porabo pitne vode (t.j. prodane količine) ter posledično izgubljene količine vode. Na podlagi izračuna vodnih izgub lahko določimo stopnjo puščanj, ki so večinoma posledica okvar.

Analiza meritev pretokov po posameznih merilnih območjih nam omogoča, da lažje odkrijemo najbolj problematične dele omrežja in na le-teh pričnemo s saniranjem stanja sistema (morebiti z iskanjem okvar in ustreznim popravilom le-teh ali pa z obnovo določenega kritičnega odseka vodovoda).

Razdelitev omrežja na posamezna merilna območja zajema naslednje stroške:

- Enkratni stroški vgradnje merilnikov pretoka,
- Stroški meritev, zamenjave in rednega servisa merilnikov,
- Stroški opreme za prenos in shranjevanje podatkov,
- Tekoči stroški analize podatkov;

Stroški razdelitve omrežja na posamezna merilna območja so odvisni tudi od samega okolja, kompleksnosti vodovodnega omrežja in stopnje predhodno dosežene razdelitve na t.i. DMA.

Kalkulacije stroškov in prihrankov so podobne tistim, ki se nanašajo na optimizacijo tlakov ter na obnovo vodovodnega omrežja, ter prav tako omogočajo določitev praga rentabilnosti, s čimer se oceni poslovno sprejemljiva stopnja razdelitve omrežja ter določitev optimalne velikosti posameznih merilnih območij (Tripartite group, 2002).

Puščanja lahko s pomočjo metode nočnih pretokov določimo na naslednji način (Tabesh, Asadiani Yekta, Burrows, 2009):

$$Q_{L,MNF} = MNF - Q_P \quad (22)$$

MNF ... minimalni nočni pretok (angl. Minimum Night Flow),

Q_P ... nočna poraba pri uporabnikih (upoštevamo 6% vseh uporabnikov na obravnavanem območju ter povprečno porabo 10 l/uporabnika/h);

Trenutni (urni) pretok, določen po metodi NLM²⁶, je tako:

$$Q_{L,t} = Q_{L,MNF} \times (P_t / P_{MNF})^N \quad (23)$$

P_t ... tlak pri času t ,

P_{MNF} ... tlak v času minimalne nočne porabe,

N ... tlačni eksponent (Lambert, 1997);

Na podlagi seštevanja $Q_{L,t}$ lahko dobimo količine puščanj na dnevnem nivoju.

3.3.3 Kombiniranje vseh aktivnosti za doseganje ELL

Zgoraj opisane metodologije zahtevajo oceno prihrankov iz posamezne aktivnosti zmanjševanja vodnih izgub. Izvedba ene od aktivnosti v procesu zmanjševanja vodnih izgub vpliva z ekonomskega stališča tudi na izvedbo ostalih aktivnosti, npr. prihranki pri obnovi vodovodnega omrežja se zmanjšajo (so manjši od pričakovanih), če smo že predhodno izvedli optimizacijo (redukcijo) tlakov na sistemu.

Cilj vsakega podjetja, ki izvaja dejavnost oskrbe s pitno vodo v okviru GJS, je v praksi razviti strategijo, s pomočjo katere dosežemo ekonomično ravnotežje med vsemi aktivnostmi, ki so del procesa zmanjševanja vodnih izgub (t.j. aktivno iskanje puščanj, popravilo okvar, obnova vodovodnega omrežja, razdelitev omrežja na DMA in optimizacija tlakov).

Da to ravnotežje uspešno dosežemo, se je tega najbolje lotiti tako, da vzorčno²⁷ izvedemo na nekem območju obravnavane aktivnosti in nato za vsako od le-teh opazujemo, določamo in računamo tako stroške kot prihranke. Aktivnosti nato razvrstimo glede na učinek in kot prvo v proces zmanjševanja vodnih izgub implementiramo tisto, pri kateri je v obdobju opazovanja dosežen največji učinek. Tako to ponavljamo, vse dokler ne razporedimo aktivnosti po doseženih prihrankih. Aktivnosti v končni kombinaciji nato povečujemo vse do točke, ko mejni stroški vsake od aktivnosti presežejo mejni strošek vode. Na ta način dosežemo ekonomično stopnjo puščanj oz. poslovno sprejemljive vodne izgube.

Z zgoraj opisanim postopkom zmanjšujemo izbor nadaljnjih aktivnosti. Če ustrezno izberemo in izvajamo (t.i. primarne) aktivnosti za zmanjševanje vodnih izgub, potem dosežemo točko, ko je

²⁶ NLM ... Night Line Measurement (metoda merjenja minimalnih nočnih porab).

²⁷ V manjšem obsegu uvedemo vsako od aktivnosti, za neko enoto.

razmerje med stroški in prihranki tako rekoč ekonomsko optimalno, vsaka naslednja aktivnost pa ni več ekonomična, kar pomeni, da so mejni stroški previsoki v primerjavi s ceno zajema, priprave in distribucije vode (govorimo o t.i. unconstrained Long Run ELL²⁸).

3.3.4 Zanesljivost oskrbe s pitno vodo in ekonomsko sprejemljive vodne izgube

Z okvirnimi izračuni, opisanimi v prejšnjih podpoglavjih, lahko (teoretično) dosežemo poslovno sprejemljive vodne izgube, glede na mejne stroške priprave vode. V praksi pa se lahko stopnja teh izgub, če upoštevamo še nihanje porabe vode, izkaže kot nezadostna pri zagotavljanju potrebne zanesljivosti vodooskrbe upravljavca javnega vodovoda.

Glavna naloga vsakega upravljavca javnega vodovoda je oskrba s pitno vodo v zadostnih količinah ter ustrezne kvalitete, torej zanesljiva vodooskrba. Vrednost zanesljivosti kot take je težko oceniti z ekonomskega stališča. Ekonomska ocena se običajno ukvarja le z neposrednimi stroški, medtem ko stroška zanesljivosti oz. nezanesljivosti oskrbe s pitno vodo ni tako lahko ovrednotiti, upoštevamo ga lahko le posredno. Zanesljivost vodooskrbe bi lahko uvrstili med družbene vidike oskrbe s pitno vodo, strošek nezanesljivosti pa opredelili kot enega družbenih (socialnih) stroškov.

V Sloveniji je izdatnost vodnih virov običajno bistveno večja od same porabe pri uporabnikih, zato težav z oskrbo s pitno vodo skorajda ni. Na nekaterih območjih pa vodni viri niso tako izdatni, da bi zadostili potrebam prebivalcev, zato je potrebno pri upravljanju takih vodovodnih sistemov stremeti k temu, da res optimalno zmanjšamo vodne izgube, tako s tehničnega kot z ekonomskega stališča. Kadar to nikakor ne uspe (kar za naše kraje niti ni značilno), se lahko lotimo reševanja problema na dva načina – ali poiščemo dodatne vodne vire ali pa uvedemo t.i. redukcije porabe pri uporabnikih²⁹.

Kadar z iskanjem puščanj ne zmanjšamo vodnih izgub toliko, da bi lahko zagotovili uporabnikom zadostne količine pitne vode, je smiselno pretehtati, koliko bi znašali stroški morebitnega povečanja aktivnosti na področju zmanjševanja vodnih izgub in koliko bi znašali stroški zagotovitve novega vodnega vira. Pretehtamo obe možnosti in se odločimo za (ekonomsko) bolj ustrezno. Kadar se odločimo in povečamo obseg aktivnosti na področju zmanjševanja vodnih izgub, se lahko zgodi, da hitro dosežemo stopnjo, ko zadostimo ustreznim kvantitativnim potrebam po preskrbi s pitno vodo, in mogoče sploh ne dosežemo takšnih stroškov, kot bi jih morebiti imeli z zagotovitvijo novega vodnega

²⁸ Neomejene dolgoročne aktivnosti za doseganje ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub.

²⁹ V okviru izvajanja javne vodooskrbe v Šaleški dolini je bil pogosto, v sušnih obdobjih, tak primer vodovodni sistem Šmartno ob Paki. Z navezavo na centralno vodovodno omrežje Velenje-Šoštanj v letu 2014 se je ta problematika ustrezno rešila.

vira. Takšno stopnjo lahko poimenujemo kot časovno določene dolgoročne aktivnosti za doseg ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub (govorimo o t.i. constrained Long Run ELL³⁰).

3.3.4.1 Občasni dolgoročni ukrepi

V mnogih primerih poraba pitne vode zaradi demografskih sprememb niha. Povečanje porabe lahko vpliva tudi na oceno ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub. Če poraba na nekem območju narašča tako hitro, da je iskanje novih vodnih virov neizogibno, potem bodo po vključitvi novih vodnih virov v delovanje nekega vodovodnega sistema marginalni stroški priprave vode padli, s tem pa se bo zmanjšala tudi stopnja ELL.

Da določimo najbolj ekonomično rešitev, moramo pripraviti plan najnižjih stroškov. Izhodišča za pripravo le-tega so rutinski optimizacijski postopki, ki vključujejo vso možno kontrolo nad puščanji, ustrezno distribucijo vode in upravljanje z vodnimi viri, ter vsakoletni izračun vodne bilance.

Ko pretehtamo vse možne ukrepe, pripravimo shemo izvajanja le-teh ter določimo skupne stroške, ki bi nastali pri tem (upoštevamo neto sedanjo vrednost vseh stroškov aktivnosti s področja zmanjševanja vodnih izgub – pri LRELL so to stroški zmanjšanja vodnih izgub, ki se navezujejo na obnovo vodovodnega omrežja, redno vzdrževanje omrežja, razdelitev omrežja na DMA in optimizacijo tlakov na sistemu). Plan z najnižjo neto sedanjo vrednostjo formira najnižji stroškovni plan, s katerim dobimo program potrebnih aktivnosti za doseganje zelene zanesljivosti v prihajajočem obdobju.

Zgoraj opisani postopek uporabljamo takrat, kadar so nihanja v porabi na nekem območju zelo izrazita in se iz leta v leto precej spreminjajo. V takih primerih se lahko stopnja ELL v okviru izvajanja istega programa precej spreminja, zato je smiseln pogostejši izračun vodne bilance in hkrati potrebna sprotna prilagoditev izvedbe najustreznejših aktivnosti na področju zmanjševanja vodnih izgub.

3.3.5 Trajnostne ekonomsko sprejemljive izgube (SELL)

V literaturi, ki obravnava ekonomsko sprejemljive vodne izgube, se pojavlja tudi pojem trajnostnega ekonomskega nivoja vodnih izgub ali trajnostne ekonomsko sprejemljive izgube vode (SELL - angl. Sustainable Economic Level of Leakage). Trajnostne ekonomsko sprejemljive vodne izgube nastopijo takrat, ko so mejni stroški kontrole puščanj enaki mejnim stroškom vode (European Commission, 2013).

³⁰ Časovno omejene (določene) dolgoročne aktivnosti za doseganje ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub.

Mejni stroški so stroški dodatne proizvedene enote outputa in pomenijo spremembo celotnih stroškov, ki izhaja iz spremembe outputa v določenem časovnem obdobju. Poznamo diskretne mejne stroške, ki pomenijo spremembo celotnih stroškov, katere lahko pripišemo spremembi ene enote outputa, ter zvezne mejne stroške, ki predstavljajo stopnjo spremembe celotnih stroškov, ki jo povzroči sprememba outputa in jo izračunamo kot prvi odvod funkcije celotnih stroškov (Rebernik, 1999).

Diskretni mejni stroški:

$$MC = \frac{\Delta TC}{\Delta Q} \quad (24)$$

Zvezni mejni stroški:

$$MC = \frac{dTC}{dQ} \quad (25)$$

MC ... mejni stroški,

TC ... celotni (skupni) stroški,

Q ... količina outputa;

Če se od teorije mejnih stroškov vrnemo nazaj k trajnostnim ekonomsko sprejemljivim vodnim izgubam (SELL), ko so mejni stroški kontrole puščanj enaki mejnim stroškom vode, lahko zapišemo sledeči enačbi (European Commission, 2013).

$$MCoLC = MCoW \quad (26)$$

$$MCoW = MCoW_{IWRM} + MCoW_{WSP} \quad (27)$$

$MCoLC$... mejni stroški kontrole tesnosti omrežja (angl. Marginal Cost of Leakage Control),

$MCoW$... mejni strošek vode (angl. Marginal Cost of Water),

$MCoW_{IWRM}$... mejni stroški vode integriranega upravljanja in zaščite vodnih virov pred zajemom vode (angl. Marginal Cost of Water for the integrated management and protection of the water resource prior to abstraction by the water service provider),

$MCoW_{WSP}$... mejni stroški vode za upravljavca javnega vodovoda (angl. Marginal Cost of Water for the Water Service Provider);

Trajnostne ekonomsko sprejemljive izgube so dejansko dolgoročne ekonomsko sprejemljive izgube (Long run ELL), ki poleg vseh že zgoraj naštetih dejavnikov obravnavajo in vključujejo v izračunu še okoljske, družbene in druge zunanje (posredne) dejavnike.

3.4 Metode računanja ELL

V tem poglavju so predstavljene ključne smernice, na podlagi katerih lahko določimo ELL. To je t.i. ekonomski nivo vodnih izgub, o katerem govorimo takrat, ko so dodatni stroški zmanjševanja vodnih izgub enaki prihrankom, kateri nastanejo kot posledica nadaljnjih zmanjšanj izgub (zmanjšanih izgub v prihodnosti zaradi vlaganja v to v današnjem času).

Določitev ELL bazira na izračunu vodne bilance za obravnavani vodovodni sistem ali za del le-tega. Zmanjšanje vodnih izgub pomeni zmanjšanje določene količine vode, ki se tako rekoč izgubi v procesu priprave ter distribucije pitne vode. S tem zmanjšamo operativne stroške oz. ustvarimo določen prihranek, npr. pri porabi električne energije zaradi prečrpavanja vode, pri uporabi kemikalij ob pripravi pitne vode, ipd.

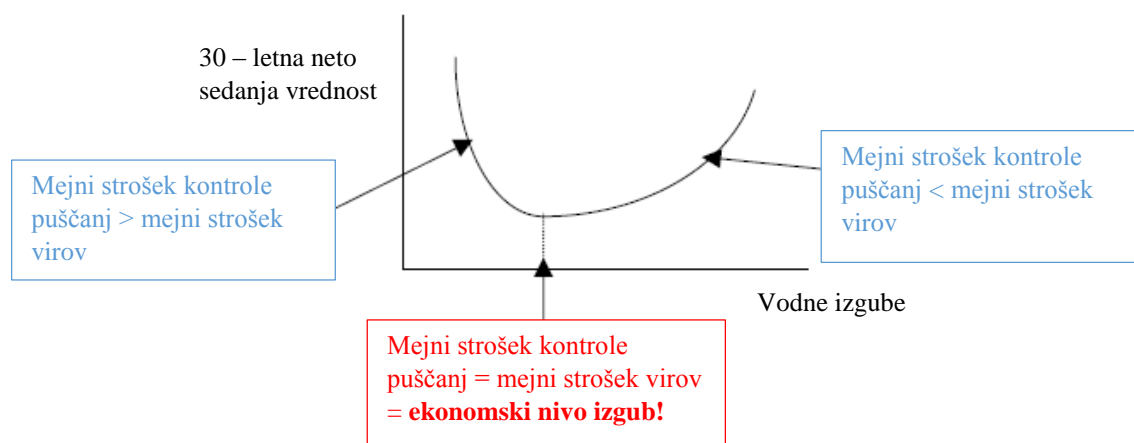
Koristi zmanjšanja vodnih izgub sežejo tudi na področje okoljskega varstva in družbenega delovanja kot takega. Te posredne koristi bodo obravnavane v enem od naslednjih podpoglavij.

V praksi se uporabljata dva (med seboj povezana) pristopa, s pomočjo katerih določamo predvidene prihranke zaradi zmanjšanja vodnih izgub – načrtovanje zmanjšanja stroškov ter določitev marginalnih (mejnih) stroškov.

3.4.1 Načrtovanje zmanjšanja stroškov

Ta pristop stremi k zmanjšanju vseh stroškov upravljanja z vodno bilanco³¹ v nekem daljšem časovnem okviru na minimum in zahteva pripravo dolgoročnih načrtov, običajno za obdobje od 25 do 30 let. Cilj te metode je ustrezno zmanjšati neto sedanjo vrednost (angl. net present value - NPV) vlaganj v zmanjševanje vodnih izgub, vključujoč investicijske, sistemske, operativne ter morebiti tudi socialne in okoljske stroške (določanje SELL).

³¹ Načrt zmanjšanja stroškov mora temeljiti na napovedih vodne bilance. Kadar so prihranki zaradi uspešnega uravnavanja vodne bilance večji od dolgoročnih (investicijskih in operativnih) stroškov, je to nujno potrebno vključiti v program minimiziranja (optimizacije) stroškov.



Slika 14: Načrtovanje minimalnih stroškov - dolgoročni načrt (Tripartite group, 2002)

Figure 14: Calculating the Long Run ELL (Tripartite group, 2002)

Zgornja slika prikazuje odvisnost neto sedanje vrednosti investiranja v zmanjševanje vodnih izgub od velikosti izgub na vodovodnem omrežju. Pri zelo majhnih vodnih izgubah so dodatni stroški kontrole puščanj bistveno večji od prihrankov zaradi preložitve morebitnega iskanja novih vodnih virov na kasnejši čas in priprave večjih količin vode. Manjše kot želimo imeti vodne izgube, večje je razmerje med stroški in prihranki, zato krivulja na grafu hitro narašča, vse dokler ne doseže skrajne minimalne vrednosti vodnih izgub (angl. the policy minimum level of leakage). Dokler so stroški aktivne kontrole puščanj večji od stroškov razvoja novih vodnih virov, v tem območju ni ekonomično delovati. Pri visokih vrednostih vodnih izgub so stroški aktivne kontrole puščanj bistveno nižji od stroškov priprave novih virov. Na ta način prav tako ni ekonomsko sprejemljivo delovati, dokler lahko vodne izgube ustrezno zmanjšamo z iskanjem in odpravljanjem puščanj. Kadar pa lahko stroške aktivne kontrole puščanj ustrezno uravnavamo s prihranki s področja zmanjšanja oz. ohranjanja zajetih količin, govorimo o t.i. poslovno sprejemljivih vodnih izgubah. Minimum krivulje tako predstavlja ekonomski nivo vodnih izgub (ELL).

3.4.1.1 Analiza neto sedanje vrednosti investicije

Kadar delamo zgolj tehnično analizo procesa zmanjševanja vodnih izgub, upoštevamo standarde, ki se nanašajo na samo oskrbo s pitno vodo. Kot je bilo že večkrat omenjeno, je prioriteta zagotavljanje kontinuirane vodooskrbe, pri čemer mora biti pitna voda ustrezne kvalitete, potrebno pa je tudi uporabniku zagotavljati dobavo pitne vode z ustreznimi hidravličnimi karakteristikami (ustrezen tlak in zadovoljiv pretok).

Z ekonomskega (oz. s poslovnega) stališča pa je pomembna tudi stroškovna analiza (t.i. cost-benefit analiza - CBA) obratovanja vodovodnega sistema, v našem primeru s poudarkom na zmanjševanju vodnih izgub. Tu govorimo tako o analizi trenutnega obratovanja kot tudi o analizi stroškov in koristi predvidenih investicij.

Osnova za analizo mora biti pripravljen program, katerega cilj je zmanjšati neto sedanje stroške na minimum in maksimirati neto koristi. Pri tem je potrebno upoštevati daljše časovno obdobje, da razpolagamo z realnimi podatki, z uporabo metode neto sedanje vrednosti pa prevedemo (diskontiramo) ocenjene donose v prihodnjih letih na sedanjo vrednost (Rebernik, 1999). Diskontna stopnja je odvisna od stroškov kapitala posameznega podjetja in naj bi znašala od 6% do 8% (Tripartite group, 2002).

3.4.1.2 Upoštevanje vseh stroškov

Na načrtovanje optimizacije stroškov imajo vpliv predvsem stroški, ki se nanašajo na uravnavanje vodne bilance. To so:

- variabilni stroški sistema oz. operativni stroški (električna energija, kemikalije),
- investicijski stroški (nova vlaganja v sistem – npr. novogradnje vodovoda, vzdrževanje sistema – sanacija vodovoda, menjava merilne opreme, ipd.),
- fiksni operativni stroški (npr. strošek dela),
- prispevki lokalni skupnosti (omrežnina),
- stroški odvzema,
- okoljski in družbeni stroški;

Prispevki lokalni skupnosti in stroški odvzema ne vplivajo bistveno na uravnavanje vodne bilance, zato jih pri planiranju optimizacije stroškov ni potrebno upoštevati.

3.4.1.3 Vpliv klimatskih sprememb

Klimatske spremembe vplivajo tudi na izdatnost vodnih virov. Zaradi negotovih okoliščin, ki bodo vplivale na klimatske spremembe, je potrebno predvideti različne možne scenarije, do katerih lahko pride. Vsekakor pa bodo klimatske spremembe vplivale tudi na poslovno sprejemljive vodne izgube.

Zaradi vpliva klimatskih sprememb je zelo pomembno spremljanje vremena in vremenskih prognoz, vzporedno s tem pa ustrezno upravljanje z vodnimi viri (odločanje, kateri vodni viri bodo v danem trenutku vključeni v vodooskrbo in kako). Pomembno je tudi, da imamo že vnaprej pripravljen

dolgoročni (rezervni) načrt zagotavljanja ustrezne oskrbe s pitno vodo v primeru izrednih razmer (suša, poplave, ipd.).

Vpliv klimatskih sprememb je zelo težko vključiti v določanje poslovno sprejemljivih vodnih izgub, vendar pa klimatske razmere dolgoročno precej vplivajo na samo oskrbo s pitno vodo, zato je prav, da se jih pozorno spremlja, lahko na državni ravni, lahko pa tudi na ravni več držav skupaj. Takšen primer je bil projekt CC-Ware, t.j. Program transnacionalnega sodelovanja, ki se je odvijal v obdobju 2013 - 2014 in je združeval članice jugovzhodne Evrope (CC-WARE, 2016). Partnerji, ki so zastopali posamezne države (članice tega združenja), so sodelovali pri raziskavah, katere se nanašajo na preučevanje klimatskih sprememb v preteklosti in na prognozo vremena vnaprej, za krajše in daljše časovno obdobje. Glede na vremenske spremembe in na karakteristike tal na posameznem območju je mogoče potem oceniti razpoložljivost površinskih in podzemnih voda za namen ustrezne oskrbe s pitno vodo. Slovenijo je kot partner v tem projektu zastopala Univerza v Ljubljani.

V tej nalogi se osredotočamo bolj na kratkoročni ELL, ki vključuje načeloma le stroške vode in stroške aktivne kontrole tesnosti vodovodnega omrežja, vendar tudi na te stroške imajo klimatske spremembe posreden vpliv. V primeru določanja dolgoročnega ELL pa imajo le-te večji vpliv, saj lahko znatno vplivajo na razpoložljivost vodnih virov (suša), možnost pogostejših okvar na vodovodu (plazovi ob obilnejših padavinah), na samo kvaliteto pitne vode (slabša, kot je kvaliteta vodnega vira, večji je strošek priprave take vode), idr.

3.4.1.4 Raven storitev

Vodna bilanca se odraža tudi pri kvaliteti storitev posameznega podjetja v zvezi z ustrezno oskrbo uporabnikov s pitno vodo. Sprememba nivoja storitev (npr. morebitne redukcije vode) oz. zmanjšanje standarda oskrbe bi potrebovala podporo uporabnikov, kot pomemben dejavnik pa bi jo bilo potrebno upoštevati pri analizi dejavnikov tveganja.

3.4.1.5 Analiza dejavnikov tveganja

Ena ključnih spremenljivk v razvijanju načrta minimalnih stroškov je t.i. ciljni prostor med zajetimi in porabljenimi količinami vode. Večji manevrski prostor bo omogočil zmanjšanje tveganja v zvezi z moteno dobavo pitne vode uporabnikom, vendar bodo investicijski stroški, ki se nanašajo na zagotavljanje večjih količin zajete vode, bistveno višji. Manjši manevrski prostor (manjša razlika med zajetimi in prodanimi količinami) pa bi sicer zmanjšal stroške, vendar se pri tem poveča tveganje v primeru izvajanja nujnih ukrepov (npr. gašenje požarov).

3.4.2 Določitev marginalnih (mejnih³²) stroškov

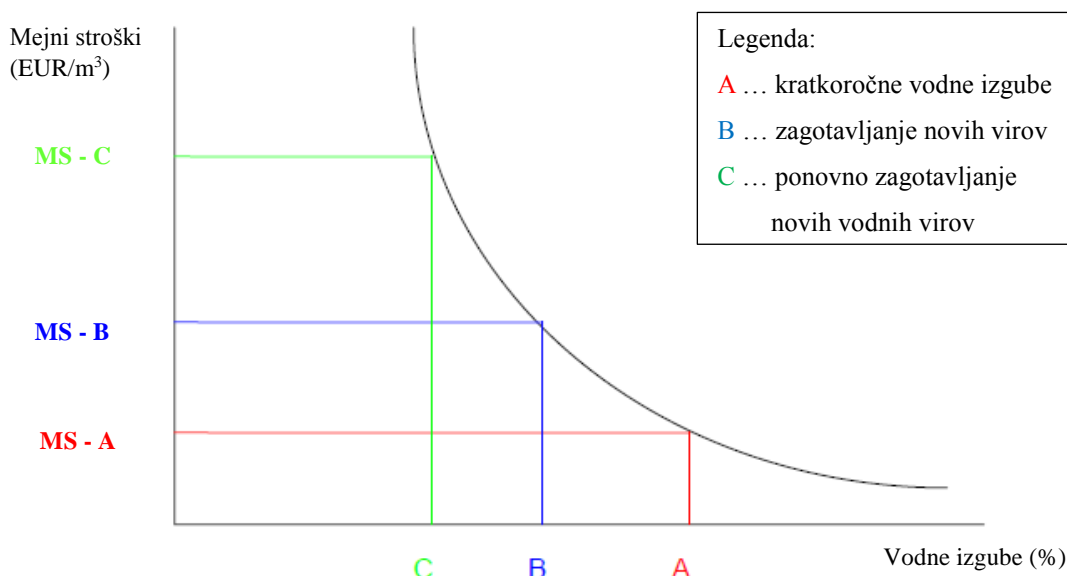
Pristop določanja marginalnih stroškov lahko dopolnjuje kompleksnejši načrt zmanjšanja stroškov (prejšnje podpoglavje). Ta pristop zahteva primerjavo marginalnih stroškov aktivne kontrole tesnosti omrežja z marginalnimi stroški drugih alternativnih metod operativnega korigiranja vodne bilance (t.j. povezava med zajetimi in prodanimi količinami pitne vode). Pri tem se upošteva izračun predvidenih stroškov za naslednje (prihajajoče) obdobje.

V primeru, da se načrpane (zajete) količine vode ne spreminjajo, poraba vode pa se večja, se ob predpostavljenem vodne izgube zmanjšajo. S tem bi se mejni stroški vode zmanjšali. V kolikor pa bi se poraba zmanjšala, zajeta količina pa bi še vedno ostala enaka, pa imamo večje izgube, zaradi česar se mejni stroški vode večajo.

Poslovno sprejemljive vodne izgube nastopijo takrat, kadar se mejni stroški kontrole puščanj (izgub) izenačijo z mejnimi stroški vode (iz naslednjega vira). Pri izgubah, nižjih od ELL, bo zmanjševanje puščanj dražje kot priprava novega vodnega vira, zato je pri cilju nadaljnega zmanjševanja vodnih izgub potrebno uvesti drugi omenjeni ukrep.

Spodnji graf prikazuje soodvisnost mejnih stroškov ter vodnih izgub. Krivulja predstavlja vrednost ELL, ki je lahko določena za katerokoli vrednost mejnih stroškov vode. Stroški vode v primeru A predstavljajo mejne operativne stroške, ki so precej nizki in zato rezultirajo k razmeroma visoki vrednosti ELL.

³² Mejni stroški so stroški, ki se pojavljajo pri dodatno proizvedeni količinski enoti (spletne strani ZRFR www.zvezarfr.si).

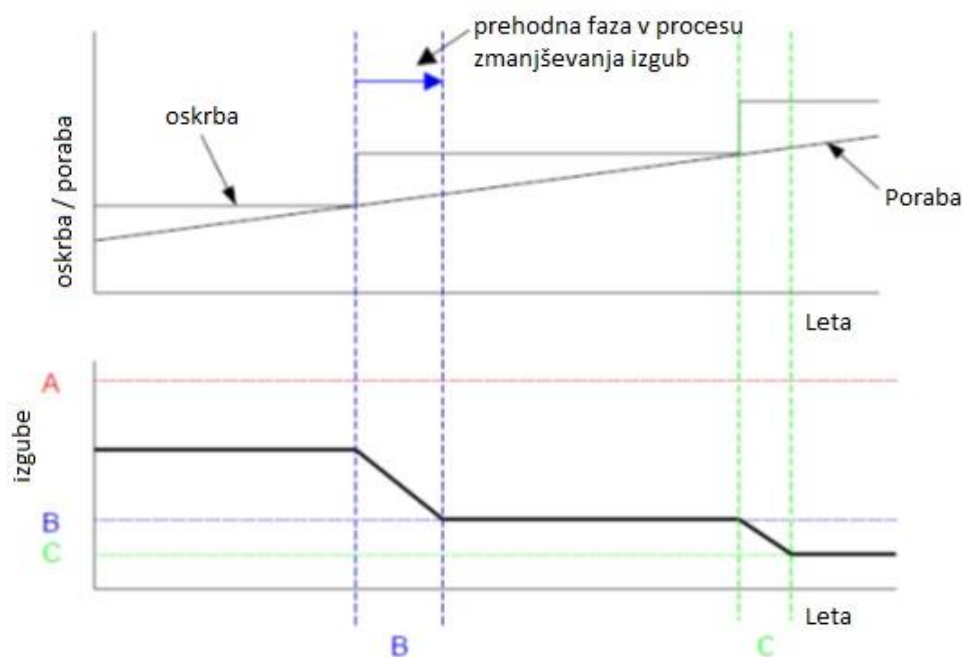


Slika 15: Soodvisnost mejnih stroškov in stopnje vodnih izgub (Tripartite group, 2002)

Figure 15: Interdependence of marginal costs and rates of water loss (Tripartite group, 2002)

Naslednja slika prikazuje okvirni potek spreminjanja vodne bilance skozi dolgoletno obdobje (predpostavljeno 30 let), z ustreznim profilom zmanjševanja vodnih izgub. Predpostavljamo, da je začetna količina vodnih izgub nižja od nivoja A (kratkoročne vodne izgube) in se vzdržuje, vse dokler ni potrebna nova investicija v zagotavljanje novih vodnih virov (točka B na grafu). Na tej točki so mejni stroški kontrole puščanj nižji od mejnih stroškov uvedbe novega vodnega vira. Zato je bolj učinkovito zniževati vodne izgube vse do točke, ko se mejni stroški kontrole puščanj izenačijo z mejnimi stroški vode. Od te točke dalje pa zmanjševanje vodnih izgub ni stroškovno učinkovito in potrebno je zagotoviti nov vodni vir. Učinkovito zmanjševanje vodnih izgub omogoča odložitev investiranja v zagotavljanje novih vodnih virov, izgradnja novih vodnih virov pa zagotavlja rezervno zmogljivost in tako se količina izgubljene vode vzdržuje, dokler ni potrebno investiranje v zagotavljanje novih vodnih virov. Tak vzorec se nato ponavlja.

S poslovnega stališča bi bilo lahko dovoljeno, da vodne izgube po izgradnji novega vodnega vira narastejo (ob zadostni izdatnosti vodnih virov). Razmerje med vodnim virom in porabo je s tem okrepljeno in v tem trenutku se potreba po zmanjševanju vodnih izgub zmanjša. Kljub temu je potrebno stremeti k temu, da se nivo vodnih izgub na tem mestu vzdržuje in da se na sistemu ne pojavljajo nova puščanja. Novi vodni viri se bodo v bodoče pridobili (zajeli) le, če bo interesent dokazal gospodarno ravnanje z vodo in bo zato upravičen do dodatnih količin vode.



Slika 16: Medsebojna odvisnost zagotavljanja ustrezne vodne bilance ter zmanjševanja vodnih izgub tekom daljšega časovnega obdobja (Tripartite group, 2002)

Figure 16: Supply-demand balance and leakage profile (Tripartite group, 2002)

Ta pristop je manj fleksibilen v primerjavi s pristopom načrtovanja zmanjšanja stroškov, vendar je dovolj dober za bolj robustno obravnavo in določitev ELL.

3.4.2.1 Variabilni operativni ekonomski nivo vodnih izgub

Ta nivo vodnih izgub mora biti preračunan tako, da upošteva variabilne operativne stroške (npr. električna energija, kemikalije). Vodne izgube se praviloma ne bi smele dvigniti nad ta nivo. Določitev in doseganje variabilnega operativnega ekonomskega nivoja vodnih izgub je priporočljivo takoj, ko je to praktično izvedljivo.

3.4.2.2 Dolgoročni ekonomski nivo vodnih izgub

Dolgoročni nivo se izračunava z upoštevanjem mejnih stroškov naslednjega reprezentativnega vodnega vira. Profil vodnih izgub se ob tem iz trenutnega primerno formira v dolgoročni profil oz. stopnjo izgub. Le-te bi se morale zmanjšati na isti stopnji, ko se zapolni vrzel med zajetimi in porabljenimi količinami vode.

Ta nivo vodnih izgub je potrebno doseči, preden se predvidi vključitev novega vodnega vira v sistem. Potreben čas zagotavljanja tega nivoja izgub je torej odvisen od tega, kako dolgo lahko (količinsko) zagotavljamo ustrezno preskrbo s pitno vodo glede na trenutno razpoložljive vodne vire.

3.4.2.3 Izračun mejnih stroškov vode

Izračun mejnih stroškov vode vključuje izračun vrednosti variabilnih operativnih stroškov ter dolgoročnih mejnih stroškov vode. Pri izračunu se je potrebno osredotočiti na razvoj mejnih stroškov, ki omogočajo enakopravno primerjavo z mejnimi stroški kontrole tesnosti vodovodnega omrežja.

Med kratkoročne variabilne operativne stroške spadajo npr. stroški porabe električne energije ter stroški uporabe različnih kemikalij za pripravo pitne vode, medtem ko med dolgoročne stroške štejemo investicijske, fiksne in variabilne operativne stroške ter stroške investicijskega vzdrževanja. Dolgoročni stroški zajemajo obdobje od 25 do 30 let.

Analiza vseh mejnih stroškov, ki se navezujejo na aktivnosti zmanjševanja vodnih izgub, ter primerjava mejnih stroškov vode s predhodno omenjenimi mejnimi stroški bosta omogočili določitev vrednosti kratkoročnih ter dolgoročnih ekonomskih ciljev (oziroma SRELL ter LRELL). Med obema vrednostima (mejni strošek vode v primerjavi z mejnim stroškom aktivnosti zmanjševanja izgub) je potrebno vzdrževati tak nivo izgub, ki ustrezno balansira oskrbo in dejansko porabo pri končnih odjemalcih.

3.4.3 Gibanje vrednosti vodnih izgub v času

Zmanjševanje vodnih izgub na dolgi rok (angl. leakage glide-path) lahko poteka bodisi po principu načrtovanja najnižjih stroškov bodisi s pristopom mejnih stroškov vode, pri tem pa je potrebno upoštevati pomembne smernice, najpomembnejše so obravnavane v sledečih odstavkih.

Če za neko območje velja trenutni primanjkljaj (potrebe po vodi so večje od razpoložljivih količin le-te), potem morajo trenutne poslovno sprejemljive izgube temeljiti na mejnih stroških trenutnih programov zajema in priprave vode. V takšnih okoliščinah uporaba koncepta ELL ni smiselna, saj se mora podjetje v prvi vrsti osredotočiti na ustrezno vodno bilanco ter zavzeti takojšnje ukrepe za zagotavljanje zadostnih količin vode.

Kadar imamo območje z velikim presežkom (zajamemo lahko veliko večje količine vode, kot se je dejansko prodala), je potrebno upoštevati ELL, ki vključuje variabilne operativne stroške, seveda pa tudi neupravičene prevelike stroške vodnih povračil, idr. Če je obravnavano območje povezano z drugimi

območji, ki sicer nimajo na razpolago zadostnih kapacitet, je smiselno presežek vode transportirati v ta območja³³, v nasprotnem primeru pa je potrebno stremeti k zmanjšanju zajetih količin vode oz. k ukinitvi določenih vodnih virov ali pripravi le-teh za rezervne vodne vire (v primeru pomanjkanja vode v prihodnosti). V primeru, da dobava vode v drugo območje ni ekonomična, tudi drugi ukrepi ne bodo pripomogli h kratkoročnemu zmanjšanju vodnih izgub in v taki situaciji mora podjetje vzdrževati trenutni nivo izgub, pri tem pa spremljati prihranek stroškov s področja aktivne kontrole tesnosti vodovodnega omrežja. Ko se pojavi potreba po novi investiciji, ki zadeva vodno bilanco (npr. vključitev novih vodnih virov, izgradnja transportnega vodovoda, ipd.), in ko se ta investicija realizira, nastopi trenutek, v katerem se zgoraj omenjeni prihranki vložijo v aktiven proces zmanjševanja vodnih izgub³⁴.

Znotraj upravljanja vodovodnega omrežja lahko določena območja delujejo z izgubami, manjšimi od ELL, medtem ko lahko imajo druga območja izgube, večje od ELL. V takih primerih je pomembno, da se aktivnosti kontrole vodnih izgub prerazporedijo med posameznimi območji tako, da se z območij, kjer so izgube manjše od ELL, prenesejo na območja z izgubami nad ELL. Pri tem mora podjetje (upravljavalec) zagotoviti, da se izgube celotnega vodovodnega sistema zaradi tega ne povečajo.

Ciljna stopnja vodnih izgub predstavlja dolgoročni projekt podjetja, ki je upravljavec nekega vodovodnega sistema. Skozi daljše časovno obdobje je mogoče, da vodne izgube nihajo – kakšno leto so višje, naslednje pa spet nižje. Kljub pričakovanim nihanjem vodnih izgub pa mora podjetje stremeti k doseganju svojih ciljev, t.j. k znižanju vodnih izgub na zastavljen nivo (v optimalnem primeru je to ELL, ekonomski nivo izgub oz. poslovno sprejemljive vodne izgube).

Pri spremljanju vodnih izgub skozi daljše časovno obdobje (od 25 do 30 let) je eden najpomembnejših dejavnikov vpliv porasti prebivalstva oz. povečanje števila vodovodnih priključkov. Pri določanju razmerja med izgubami ter stroški za zmanjševanje le-teh je potrebno izgube upoštevati v enotah l/priključek/dan, medtem ko pri določanju ciljnih izgub običajno uporabljamo enote l/dan oz. m³/leto. V primeru, ko so ciljne izgube določene količinsko in ne glede na delež zajetih količin (procentualno), pri tem pa se znatno poveča število priključkov, mora podjetje zmanjšati količino izgubljene vode na priključek dnevno (l/priključek/dan).

³³ Pri dobavi vode v drugo območje je to potrebno upoštevati kot dolgoročni mejni strošek, nanašajoč se na območje, ki to vodo prejema.

³⁴ Slika 14;

3.4.4 Okoljski in socialni (družbeni) stroški

Kontrola tesnosti vodovodnega omrežja je povezana z določitvijo zunanjih stroškov in koristi, ki jih je potrebno ustrezno vključiti v določitev ekonomskega nivoja vodnih izgub. Pri ekonomski analizi je zaželeno upoštevati tudi okoljske in družbene stroške in koristi (določitev SELL). Pri tem je potrebno poudariti, da so ti stroški oziroma koristi še vedno težko določljivi, zato jih običajno le posredno vključujemo v ekonomsko analizo. Sicer so že na razpolago nekatere metodologije določevanja le-teh, vendar so te še vedno na razvojni stopnji, zato bomo uporabili zgolj praktičen pristop pri oceni okoljskih in socialnih stroškov, ki vplivajo na določitev ELL.

3.4.4.1 Zunanji stroški in koristi v procesu kontrole tesnosti vodovodnega omrežja

Aktivnosti s področja kontrole tesnosti omrežja obsegajo velik spekter dejavnosti – odkrivanje in popravilo okvar, obnove najbolj kritičnih odsekov vodovoda, upravljanje s tlačnimi karakteristikami na sistemu, idr. V praksi se obseg zunanjih stroškov in koristi spreminja glede na izbrane (prej navedene) aktivnosti.

Zunanji stroški so lahko z aktivnostmi za zmanjševanje puščanj neposredno povezani, lahko pa gre za posredne stroške, ki so odvisni od pogostosti in trajanja različnih vplivov, kot so prometni zastoji, potovalni čas, ipd. V spodnji tabeli je okvirna razvrstitev po tipih vpliva oz. posledic posameznih aktivnosti, ki so del procesa zmanjševanja vodnih izgub.

Preglednica 4: Zunanji stroški in koristi zaradi zmanjšanja vodnih izgub (Tripartite group, 2002)

Table 4: External Costs and Benefits of Leakage Control (Tripartite group, 2002)

Vpliv / posledica aktivnosti kontrole puščanj	Eksterni stroški	Zunanje koristi
Daljši čas potovanja (prometni zastoji, obvozi)	Stroški zamud	Zmanjšanje pogostosti okvar na ceveh, ki vodijo k motnjam (npr. programi zamenjave cevovodov)
Motenje pešcev z omejitvijo ali zaprtjem pešpoti	Stroški zamude pešcev ter ovrednotenje motenj	
Motenje prebivalstva (planirane / neplanirane prekinitve)	Stroški plačila morebitnih odškodnin (npr. pri odpovedi prireditve)	
Zmanjšanje možnih aktivnosti ob vodotokih		Prednosti uporabe (rekreacija, ribolov) in neuporabe izboljšanih rečnih tokov
Zmanjšanje možnosti koriščenja podtalnice		Koristi uporabe oz. neuporabe obvodnega in vodnega (rečnega) okolja
Odložena izgradnja rečne akumulacije	Nekoriščenje vodnih in obvodnih rekreacijskih dejavnosti (ribolov, vodni športi, ipd.)	Izogibanje stroškom zaradi neugodnosti pokrajine ter stroškom gradnje

3.4.4.2 Metode za oceno okoljskih in družbenih stroškov in koristi

Postopek določanja okoljskih in družbenih vplivov je razdeljen na dva sklopa:

- Prepoznavanje oz. ocena okoljskih in družbenih stroškov in koristi, ki se navezujejo na puščanja (kot del vodnih izgub);
- Prepoznavanje oz. ocena okoljskih in družbenih stroškov, ki se navezujejo na aktivnosti zmanjševanja puščanj;

a) Okoljski in družbeni stroški ter koristi puščanj

Stroški puščanj so lahko zasebni, okoljski ali družbeni. Pri izračunu stroškov moramo biti pozorni na to, da se le-ti v evidencah ne podvajajo. Tak primer je recimo porabljena električna energija za

prečrpavanje vode, ki jo lahko obravnavamo kot okoljski strošek, lahko pa jo uvrščamo med zasebne stroške podjetja.

Kadar imamo na razpolago dovolj podatkov, ki so specifični za določeno obravnavano območje, lahko ocenimo okoljske vplive z uporabo le-teh. Recimo, da za potrebe izvajanja javne vodooskrbe zajemamo vodo iz nekega vodotoka (zajetje površinske vode). Če zmanjšamo puščanja (izgube) na vodovodnem sistemu, posledično ne potrebujemo zajemati več takih količin vode, kot smo jih prej, zato se pretok vodotoka poveča. S tem se izraža t.i. prenos koristi. Stroški, ki izhajajo iz prenosa koristi, imajo lahko tudi pomemben vpliv na okoljske stroške in koristi, na podlagi katerih določimo ELL. Kadar gre za malenkostne okoljske vplive (t.j. kadar so okoljski in družbeni stroški relativno nizki glede na zasebne stroške), bo za izračun ELL zadostovala kar približna ocena stroškov oz. koristi, v primeru večjih okoljskih vplivov pa je potrebno izdelati podrobnejše raziskave. Kot večji okoljski vplivi se smatrajo tisti vplivi, katerih stroški sami po sebi povzročijo spremembo ELL za več kot 5%. Za opredelitev okoljskih koristi se običajno uporablja t.i. PHABSIM³⁵ metoda, ki je podrobneje opisana v enem od sledečih odstavkov. S pomočjo te metode ovrednotimo fizične habitate reke skozi ves spekter rečnih režimov. S tem določimo ekološko vrednost posameznih rečnih pretokov.

b) Okoljski in družbeni stroški zmanjšanja puščanj (izgub)

Zasebni, družbeni in okoljski stroški zmanjševanja vodnih izgub so odvisni od metod, ki jih izberemo za doseganje zastavljenih ciljev. Bolj, kot si želimo zmanjšati vodne izgube, bolj bodo narasli zasebni stroški vzdrževanja dosežene stopnje izgub. Družbeni in okoljski stroški procesa zmanjševanja puščanj se pojavljajo na različnih stopnjah vodnih izgub in jih je potrebno prišteti k zasebnim stroškom podjetja za investiranje v iskanje oz. določitev družbeno učinkovitega nivoja vodnih izgub.

Med okoljske in družbene stroške, ki se pojavijo pri zmanjševanju vodnih izgub, štejemo predvsem stroške zaradi motenj v prometu, ki nastanejo kot posledica iskanja (lociranja) ali popravila okvar na vodovodu, ter stroške zaradi redukcij tlakov na vodovodnem omrežju, ki bi morebiti vplivale na kvaliteto oskrbe s pitno vodo (npr. prenizek tlak pri končnem uporabniku, vprašljiva požarna varnost, ipd.).

Stroške v procesu zmanjševanja vodnih izgub, ki nastanejo zaradi okoljskih in družbenih vplivov, je zelo težko ovrednotiti. Ustrezno lahko ovrednotimo le stroške, ki nastanejo zaradi motenj v prometu. Pri tem je potrebno upoštevati naslednje vhodne podatke:

- zasebni mejni stroški vode in stroški aktivne kontrole tesnosti omrežja,

³⁵ Angl. Physical habitat simulation;

- podatki, nanašajoči se na karakteristike okoljskih in družbenih vplivov, ki so bili zaznani znotraj pomembnejšega oskrbovanega območja,
 - število (med sabo povezanih) priključkov znotraj posameznega oskrbovanega območja;
- c) Izračuni stroškov in koristi

Zasebne stroške puščanj izražamo kot zmanjšanje obravnavanih dnevnih puščanj na priključek, v enotah [l/priključek/dan].

Zasebne stroške popravila okvar določamo s stroški popravila okvar za zagotavljanje določenega nivoja vodnih izgub v EUR na priključek letno, v enotah [EUR/priključek/letno].

Za izračun okoljskih koristi kontrole puščanj se uporabljajo različne metode (RPA, NERA, PHABSIM).

NERA Economic Consulting (NERA Economic Consulting, 2016) je podjetje s strokovnjaki, ki uporabljajo različne gospodarske, finančne ter kvantitativne principe za reševanje zapletenih poslovnih in pravnih izzivov. RPA, Risk & Policy Analysts Limited (RPA - Risk & Policy Analysts, 2016), je neodvisno svetovalno podjetje, ki deluje na področju okolja, ekonomije, kemije, politike EU in trajnostnega razvoja. Podjetji sta razvili svoje metodologije za določanje okoljskih prihrankov, pri čemer se uporablja konkretne podatke podjetij, ki upravljajo vodooskrbne sisteme, v kombinaciji s standardiziranimi vrednostmi, določenimi glede na tip obravnavanega vodotoka, akumulacije, ipd.

Izračun okoljskih prihrankov poteka večstopenjsko, in sicer:

- ovrednotenje okoljskih vplivov oz. določitev primerjalnih vrednosti za prenos pri aktivnostih, kot so ribolov, kmetijstvo, rekreacija, vrednotenje neuporabe, ribolov in rekreacija ob akumulaciji (RPA, 1998),
- prilagoditev okoljskih koristi z določitvijo korekcijskega faktorja (po PHABSIM metodologiji);

PHABSIM metodologija (Tripartite group, 2002) obravnava povečan vodostaj obravnavanega vodotoka, iz katerega naj bi se zajemala voda za potrebe oskrbe s pitno vodo (t.j. v primeru površinskih vodnih virov). Pretok vodotoka se na račun zmanjšanja vodnih izgub lahko znatno poveča, saj lahko ob konstantni porabi in zmanjšanih vodnih izgubah posledično zmanjšamo količino zajete vode. Po tej metodi lahko določimo okoljski prihranek prav na račun tega.

Za določitev korekcijskega faktorja (PHABSIM) je potrebno upoštevati naslednje količine:

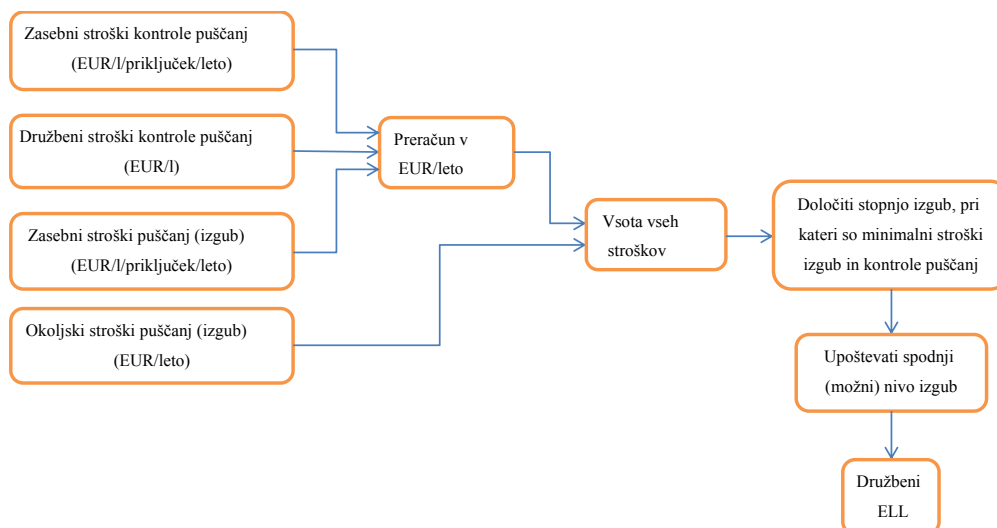
- Predvidene trenutne vodne izgube nad minimalnimi (možnimi) vodnimi izgubami, izražene v l/priključek/dan, ki jih pomnožimo s številom priključkov in dobimo količino izgubljene vode v m³/dan,
- Dobljeno količino prištejemo trenutnim pretokom Q_{98} oz. Q_{75} ³⁶ in dobimo pretok ob predpostavljenih minimalnih možnih vodnih izgubah (angl. zero leakage flow),
- Okoljske koristi na podlagi trenutnega pretoka:
$$0,67 \times (\text{trenutni pretok} / \text{naravni pretok}) + 50$$
- Okoljske koristi pri pretoku ob predpostavljenih min. možnih izgubah:
$$0,67 \times ((\text{trenutni pretok} + \text{trenutne izgube}) / \text{naravni pretok}) + 50$$
- Razlika med obema zgornjima vrednostima okoljskih koristi, izražena v procentih, nam določa korekcijski faktor, s katerim lahko izračunamo okoljske koristi ob zmanjšanju vodnih izgub na minimum. Z interpolacijo pa lahko določimo, kakšen je prihranek ob dejanskem trenutnem zmanjšanju puščanj (Tripartite group, 2002);

Kadar govorimo o izračunu družbenih stroškov in koristi kontrole puščanj, običajno mislimo na izračun neto družbenih stroškov. Tu gre za stroške, ki nastanejo zaradi zapor cest, kadar gre za popravila okvar na vodovodu. V izračun teh stroškov sta vključena dva parametra - zmanjšanje hitrosti vozil zaradi del na cesti ter dodaten potovalni čas. S tema dvema parametroma se izračuna strošek ene zapore na časovno enoto ene ure. Strošek zmanjšanja vodnih izgub dobimo, če dobljeno vrednost pomnožimo s številom zapor cest ter s trajanjem del na cestiščih.

Koristi zmanjševanja puščanj bi lahko najbolj enostavno določili s pridobljenimi koristmi, če bi to količino vode ponudili najugodnejšemu ponudniku za opravljanje gospodarske dejavnosti.

Princip določanja ekonomskega nivoja vodnih izgub kot posledice okoljskih in družbenih dejavnikov je predstavljen v spodnji shemi.

³⁶ Q_{75} je pretok vodotoka, ki je zagotovljen 75% časa v letu. Po istem principu se tolmači Q_{98} ;



Slika 17: Postopek izračuna okoljskega in družbenega LRELL (Tripartite group, 2002)

Figure 17: Scheme of calculating the environmental and social Long Run ELL

(Tripartite group, 2002)

3.4.4.3 Ukrepi za internalizacijo³⁷ družbenih in okoljskih stroškov ter koristi

Vsako gospodarno podjetje, ki upravlja z javnim vodovodom, si prizadeva zmanjšati zasebne stroške kontrole tesnosti omrežja na minimum oz. maksimirati koristi z naslova te dejavnosti. Kadar je interes za zmanjšanje puščanj precej velik, lahko nastanejo dodatni stroški, ki pa si jih upravljavec žal ne sme privoščiti, saj za to nima sredstev, hkrati pa teh stroškov ne sme nalagati strankam (končnim porabnikom), zato se družbeni in okoljski stroški običajno pokrivajo iz finančnih virov, kot so npr. okoljska dajatev, vodno povračilo ipd., ki jih pa zopet krijejo porabniki.

V evropskem prostoru lahko proces zmanjševanja vodnih izgub izvajamo tudi z različnimi kreditiranj ali s pridobitvijo nepovratnih evropskih sredstev, s čimer se članicam EU omogoča investiranje v različne ukrepe, ki omogočajo zmanjšanje vodnih izgub (izgradnja novega vodovoda, nabava ustrezne merilne opreme ter programske opreme za nadzor omrežja, ipd.).

3.4.5 Vpliv izvajanja najboljše prakse na določitev ELL

V sledečih podpoglavjih so na kratko predstavljeni ukrepi, ki najbolj vplivajo na določitev ciljne vrednosti ekonomskega nivoja vodnih izgub. Le-tega določimo v štirih korakih:

- Določitev osnovnih obravnavanih območij,

³⁷ Proces, kjer morajo tisti, ki proizvajajo blago ali nudijo storitve, ki negativno vplivajo na okolje ali družbo, pri bodočih poslovnih odločitvah računati tudi z možnimi negativnimi posledicami take proizvodnje (<http://www.evroterm.gov.si/>).

- Presoja trenutnega stanja,
- Pregled (možnih) predvidenih ukrepov,
- Določitev ekonomskega nivoja oz. poslovno sprejemljivih vodnih izgub (ELL);

3.4.5.1 Razdelitev vodovodnega omrežja na manjša (merilna) območja

Izbira ustrezne velikosti posameznega območja pomembno vpliva na poslovno sprejemljive vodne izgube. Če je posamezno merilno območje (DMA) preveliko, se lahko zgodi, da težko določimo, ali razpolagamo z zadostnimi količinami vode ali pa je potrebno investirati v zagotavljanje novih vodnih virov. V primeru, da imamo premajhno območje, pa lahko to vpliva na višje vrednosti ELL. Vsekakor je pomembno, da upravljavec javnega vodovoda določi ciljno vrednost ELL za celoten vodovodni sistem, h kateri je potrebno stremeti z vsakim merilnim območjem posebej.

3.4.5.2 Izračun trenutne osnovne ravni vodnih izgub

Osnovna raven vodnih izgub je tista stopnja le-teh, ki jo v praksi še lahko dosežemo³⁸. Osnovna raven ima pomemben vpliv na določitev ekonomskega nivoja vodnih izgub predvsem v conah (DMA-jih), kjer so bila puščanja zmanjšana zaradi potreb po zagotavljanju zadostnih količin vode (premajhna izdatnost vodnih virov v primerjavi s porabo na sistemu, vključujoč puščanja v okviru distribucije pitne vode). V primeru, da bomo ocenili osnovno raven prenizko, bomo tudi vrednost ELL določili premajhno, in obratno.

3.4.5.3 Aktivna kontrola puščanj in stroški popravila okvar

Izvajanje kontrole puščanj v nekem podjetju pomembno vpliva na medsebojno odvisnost stopnje izgub in stroškov zaradi težnje k doseganju ciljnih vrednosti le-te. Pri tem je pomemben gradient te medsebojne odvisnosti.

Ko želimo za zmanjšanje vodnih izgub vključiti v prakso nove postopke, je zelo pomembno, da izdelamo podrobnejšo analizo, kako oz. v koliki meri bodo novi načini zmanjševanja vodnih izgub vplivali na stopnjo le-teh, kar posledično vpliva na ELL. Včasih se namreč izkaže, da uvedba novih tehnologij mogoče ne bi bila ekonomsko oz. poslovno upravičena.

Včasih se pokaže, da nekatere podjetja ne izvajajo velikih sprememb v procesu zmanjševanja vodnih izgub, temveč preudarno in postopoma vlagajo v to dejavnost, kar se na dolgi rok pokaže kot zelo

³⁸ UARL – neizogibne vodne izgube (?)

učinkovita metoda. Počasen porast učinkovitosti vodi k znatnemu zmanjšanju stroškov, vse do naslednje investicije, ki se navezuje na vodno bilanco (razmerje med zajetimi in porabljenimi količinami), kar pa potem določa nižji ELL.

3.4.5.4 Načrt najnižjih stroškov

Dolgoročno gledano, mora vsako podjetje, ki se ukvarja z upravljanjem vodovodnega sistema ter posledično z zmanjševanjem vodnih izgub, stremeti k čim nižjemu ELL, t.j. da doseže najboljšo poslovno učinkovitost pri čim nižji stopnji vodnih izgub.

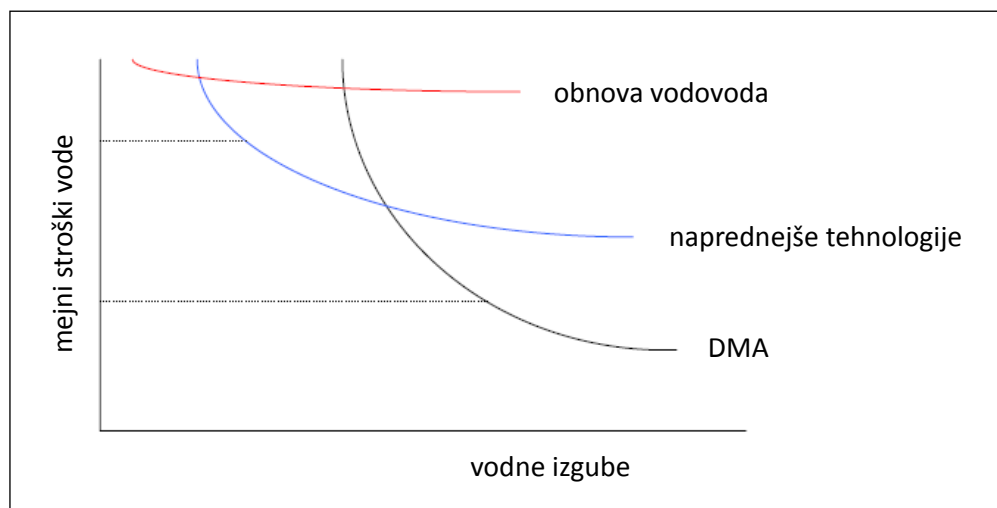
Kot že rečeno, predpostavljamo kot dolgoročno obdobje nekje od 25 do 30 let, kar lahko ima vpliv na ELL. Proces zmanjševanja vodnih izgub običajno zahteva visoke operativne in nizke investicijske stroške, medtem ko je pri procesu vključevanja novih vodnih virov ravno obratno. Vrednost ELL je tako odvisna od izbora oz. kombiniranja zgornjih dveh procesov, na kar pa niti ne moremo vplivati. Če je možno vodno bilanco optimizirati samo z zmanjšanjem puščanj, je to ekonomsko bistveno bolj sprejemljivo, saj ni potrebno investirati v zagotavljanje novih vodnih virov, hkrati pa se je potrebno tudi zavedati, da večje količine zajete vode potegnejo za sabo večje potrebe po nadzoru distribucije vode ter kontroli sistema z namenom vzdrževanja doseženega nivoja vodnih izgub, kar predstavlja dodatne operativne stroške.

Ekonomika obratovanja vodovodnega sistema je precej kompleksen pojem, saj je težko zbrati vse stroške, ki se navezujejo na obratovanje in vzdrževanje vodovodnega omrežja ter na distribucijo vode do končnih uporabnikov. Trenutna praksa kaže, da je spremljanje stroškov z visoko resolucijo izredno redko – stroški običajno niso natančno opredeljeni in jih je kasneje težko definirati (npr. strošek zajema vode, strošek priprave vode, ipd.). V kolikor bi stroške že sprti ustrezno evidentirali po posameznih stroškovnih mestih, bi bila ekonomska analiza bistveno lažje izvedljiva.

3.5 Alternativne metode določanja ciljnih vrednosti poslovno sprejemljivih vodnih izgub

3.5.1 Nabor dejavnikov, ki vplivajo na relacijo vodne izgube – mejni stroški vode

S tem pristopom ugotavljamo, kako različni mejni stroški vode (obnova vodovoda, naprednejše tehnologije, razdelitev omrežja na DMA) pogojujejo zmanjšanje vodnih izgub.



Slika 18: Soodvisnost mejnih stroškov vode in stopnje vodnih izgub (Tripartite group, 2002)

Figure 18: Policy set by marginal cost of water (Tripartite group, 2002)

Ta metoda kot osnovo uporablja podatke podjetja in omogoča dosledno določanje ciljne vrednosti ELL, upoštevajoč načrt najnižjih stroškov podjetja. Pomanjkljivost tega pristopa je, da zahteva veliko podatkov, s katerimi mora razpolagati podjetje, da lahko izdelamo analizo medsebojne odvisnosti mejnih stroškov vode in stopnje vodnih izgub. Prav tako se je potrebno zavedati, da dobljeni rezultati veljajo le za individualno vodovodno omrežje in jih ni mogoče posploševati.

3.5.2 Teoretične ciljne vrednosti, določene na podlagi tehničnih karakteristik vodovodnega sistema

Ta metoda določa tehnično dosegljivo stopnjo vodnih izgub, ki temelji na fizičnih karakteristikah vodovodnega sistema. Pri tem moramo nujno upoštevati dolžino glavnih vodov, število vodovodnih priključkov, obratovalni tlak in število okvar. Ti podatki so bistveni za določitev ciljne vrednosti ELL, vendar moramo pri tem upoštevati tudi druge karakteristike sistema (t.i. pojasnjevalni faktorji).

Pri tej metodi zahteve glede izbora podatkov niso tako visoke kot pri pristopu, predstavljenem v prejšnjem poglavju, metoda pa se lahko uporablja na nivoju vseh podjetij, ki se ukvarjajo z upravljanjem vodovodnega sistema.

3.5.3 Ciljna vrednost ELL, določena na osnovni ravni vodnih izgub

Ekonomsko sprejemljive vodne izgube nekega zaključenega oskrbovanega območja naj bi v praksi znašale približno 20-30% več od minimalne stopnje vodnih izgub. Za slednjo se smatra nižja od naslednjih dveh vrednosti:

- Teoretični minimum vodnih izgub, ki je lahko še dosežen,
- Dejansko dosežene minimalne vodne izgube;

Po tej metodi naj bi se vodovodno omrežje razdelilo na posamezna merilna območja (DMA), za katera se določi nek osnovni nivo poslovno sprejemljivih vodnih izgub, ki naj bi ga podjetje doseglo. Metoda obravnava kratkoročno obdobje, t.j. obdobje petih let. Po preteku petih let se ponovno izračuna osnovna raven vodnih izgub (oz. minimalna stopnja vodnih izgub), ki predstavlja cilj za naslednjih pet let. Gre torej za neke vrste periodičen proces, običajno s periodo petih let, ki je razmeroma enostaven in transparenten ter bazira na podatkih, ki so za večino komunalnih podjetij relativno dosegljivi (npr. minimalni nočni pretoki). Da je lahko ta metoda učinkovita in zanesljiva, je za ustrezno uporabnost le-te pomembna natančna ocena puščanj.

3.5.4 Vpliv razpoložljivosti (izdatnosti) vodnih virov na ELL

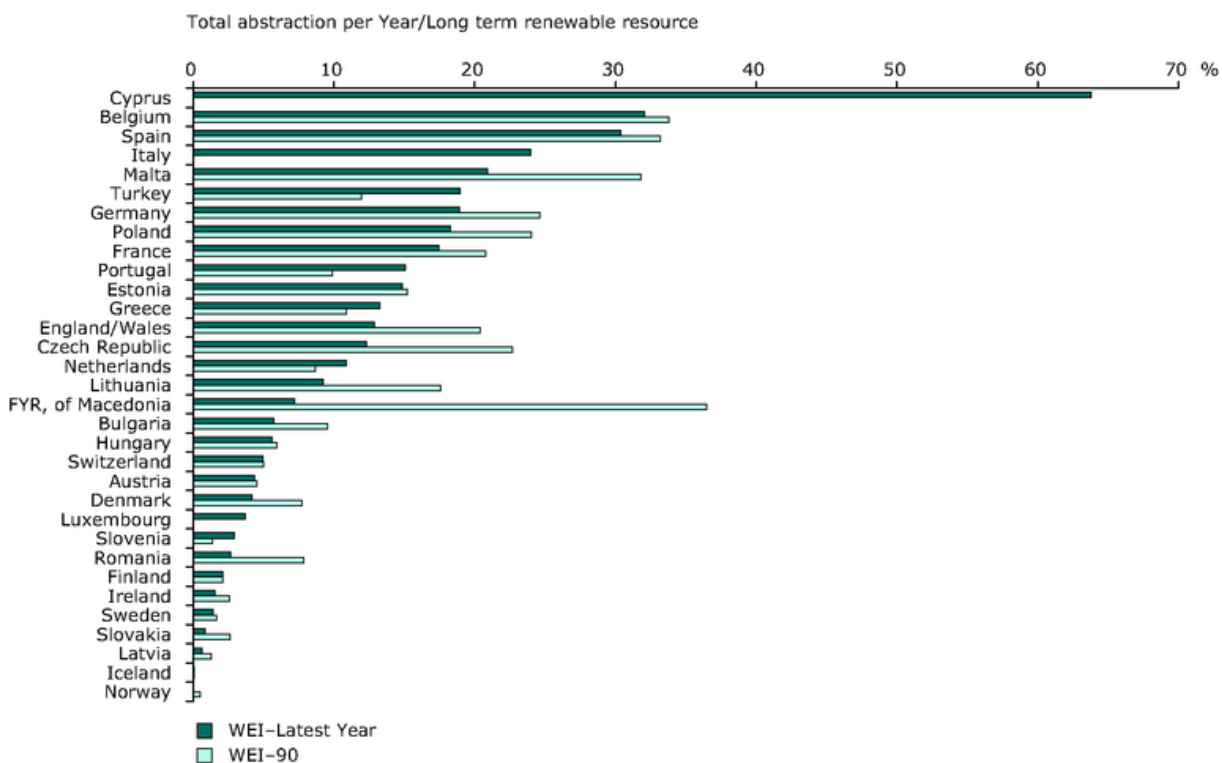
Nekateri upravljavci javnega vodovoda razpolagajo z vodnimi viri, ki imajo zares visoke izdatnosti, zaradi česar je izhodiščni nivo poslovno sprejemljivih vodnih izgub lahko relativno visok, velja pa tudi obratno. Če bi npr. koncedent določil sprejemljivo količino odvzema na prebivalca, bi dokaj enakomerna razpoložljivost vodnih virov postavila vsem upravljavcem javnega vodovoda enaka izhodišča za učinkovito kontrolo nad vodnimi izgubami.

V zvezi z razpoložljivostjo vodnih virov ter dejansko rabo le-teh uporabljamo za analizo in primerjavo med posameznimi geografskimi enotami (države, regije, porečja, ipd.) indikator rabe vodnih virov (angl. Water Exploitation Index – WEI). Ta indeks predstavlja razmerje med skupnim letnim odvzemom vode ter količino vseh dolgoročno razpoložljivih sladkovodnih virov, izraženo v odstotkih (European Environment Agency, 2016).

Spodnja slika prikazuje indeks WEI za leto 1990 ter zadnji razpoložljiv podatek WEI (nanašajoč se na obdobje 1998-2007) za vse evropske države. Vidimo lahko, da imata najnižji indeks WEI Islandija in Norveška. To pomeni, da sta izredno vodnati državi in da se glede na razpoložljivost (sladkovodnih) virov zajame oz. odvzame zelo majhen delež te vode. Tudi Slovenija je med državami z zelo nizkim indikatorjem WEI, kar kaže na razmeroma visoko razpoložljivost vodnih virov v slovenskem prostoru v primerjavi z ostalimi evropskimi državami.

Kadar je razpoložljivost vodnih virov visoka, kvaliteta vode na samem viru pa ustreza fizikalnim, kemijskim, makro- in mikrobiološkim kriterijem, je lahko strošek zajema vode zelo nizek, pravzaprav že skoraj zanemarljiv v primerjavi z morebitnim stroškom priprave ter distribucije pitne vode uporabnikom. Če sta tudi ta dva stroška nizka, je celoten strošek vode razmeroma nizek. In če je le-ta

več ali manj skozi določeno časovno obdobje konstanten, je njegov vpliv na spremembo vodnih izgub in s tem na določitev ekonomsko sprejemljivih izgub zanemarljiv.



Slika 19: Skupni letni odvzem vode kot odstotek dolgoročno razpoložljivih sladkovodnih virov okrog leta 1990 (WEI-90) v primerjavi z zadnjim razpoložljivim letom v obdobju 1998 -2007 (European Environment Agency, 2016)

Figure 19: Annual total water abstraction as a percentage of available long-term freshwater resources around 1990 (WEI-90) compared to latest year available (1998–2007) (European Environment Agency, 2016)

Ni nujno, da bo zmanjšanje vodnih izgub v vsakem primeru rezultiralo k okoljevarstvenim in družbenim koristim. Če bi želeli doseči ustrezno kvaliteto tako z družbenega kot z okoljskega vidika, morajo vsi upravljavci, ki zajemajo vodo iz istega porečja (oz. istega vodonosnika), med seboj primerno sodelovati. Pri tem je pomembno, da se (na letnem nivoju) spremljajo vremenske razmere. Kadar gre za leto bolj obilnih padavin, bo poraba vode nekoliko nižja, vodni viri pa bodo imeli večjo izdatnost. V takem primeru bi si lahko dovolili imeti večje vodne izgube. V nasprotnem primeru, ko imamo sušno obdobje, je izdatnost vodnih virov nižja, poraba pa zaradi potreb nekoliko večja, zato je za takšno obdobje zelo pomembna čim nižja stopnja vodnih izgub. Ta pristop razmišljanja se ne osredotoča na puščanja, temveč na odvzem vode in posledično na okoljske koristi, čeprav je zmanjšanje vodnih izgub v slovenskem prostoru še vedno domena nacionalnega regulativnega organa.

Razmere pa se bistveno spremenijo, če bo koncedent pri povpraševanju po dodatni količini zahteval, da se dokaže upravičenost povpraševanja – npr. tudi s tem, da so vodne izgube sprejemljivo majhne.

3.5.5 Samoiniciativen pristop k doseganju ciljnih vrednosti znižanja vodnih izgub

Obstaja več možnih načinov uravnavanja oziroma optimizacije vodnih izgub³⁹ na nivoju podjetja:

- Upravljanje in vodenje, ko se na ravni posameznega podjetja določi sprejemljiva stopnja vodnih izgub.
- Kontrola in proces zmanjševanja vodnih izgub, ko se skupna ciljna vrednost vodnih izgub določi za neko večje področje (običajno porečje), pri tem pa lahko posamezno podjetje primerno svojim zmogljivostim zmanjšuje vodne izgube tako, da so skupne vodne izgube na celotnem obravnavanem območju v okviru ciljnih vrednosti, medtem ko od sistema do sistema variirajo.
- Samoiniciativen pristop, ko se na ravni nekega področja določijo dovoljene vodne izgube znotraj le-tega, način, kako jih doseči, pa je odvisen od upravljavcev samih in njihovega medsebojnega dogovora.

Samoiniciativen pristop ne predpisuje oziroma ne diktira, na kakšen način je potrebno zmanjšati vodne izgube. Običajno se na ravni pristojnega regulativnega organa določi ciljna vrednost vodnih izgub, odgovornost upravljavcev pa je, da tem pogojem zadostijo, vključujoč skupna prizadevanja za izvajanje ukrepov, s pomočjo katerih se zmanjšajo vodne izgube (iskanje in popravila okvar, optimizacija tlačnih razmer na sistemu, skupno investiranje v obnovo vodovoda, ipd.).

Za nadzor pristojna organizacija izvaja naključne preglede, ki zajemajo vpogled v nočne pretoke, meritve zajema vode ter pretoke na vodovodnem omrežju. V kolikor posamezen upravljavec preseže dovoljene vrednosti, odgovarja za to z vnaprej določeno kaznijo. Da se podjetja temu izognejo, vzpostavljajo lastni sistem monitoringa oziroma spremljanja pretočnih, tlačnih in drugih razmer na sistemu zajema vode kot tudi priprave in distribucije le-te (t.i. nadzorni sistem obratovanja). V primeru samoiniciativnega pristopa je poslovanje podjetij med seboj povezano, zato je zelo pomembno, da podjetja med seboj sodelujejo, sicer bi to pomenilo izpad dohodka za vsa vključena podjetja, ki se nahajajo znotraj področja, za katerega je vzpostavljen obravnavan pristop k zmanjševanju vodnih izgub.

³⁹ V osnovi delimo pristop na regulatoren in samoiniciativen. Regulatorni pristop zmanjševanja vodnih izgub običajno zahteva neka višja institucija, ki opredeljuje ukrepe in postopke, hkrati pa izpostavlja tudi zahtevane ciljne vrednosti. O samoiniciativnem pristopu pa govorimo takrat, kadar upravljavec vodovodnega sistema sam išče rešitve in načine za doseganje le-teh. Določanje ELL je izrazito samoiniciativen pristop k reševanju problematike zmanjšanja vodnih izgub.

Za slovenski prostor lahko rečemo, da žal nimamo institucije, ki bi imela nadzor nad aktivnostmi zmanjševanja vodnih izgub in gospodarnega upravljanja vodovodnih sistemov nasploh. V tujini predstavlja primer dobre prakse Ofwat (angl. The economic regulator of the water sector in England and Wales), ki ureja proces gospodarnega ravnanja z vodo na območju Anglije in Walesa v Veliki Britaniji (Ofwat, 2016).

Glavna prednost samoiniciativnega pristopa je dokazana ekonomska učinkovitost, pri čemer še vedno izpolnjujemo vse pogoje z okoljevarstvenega vidika. Podjetja sama določijo metode zmanjševanja vodnih izgub, ki so za njihove razmere poslovno najbolj ugodne in hkrati ustrezno učinkovite. Pri tem izbiramo aktivnosti z najnižjimi stroški.

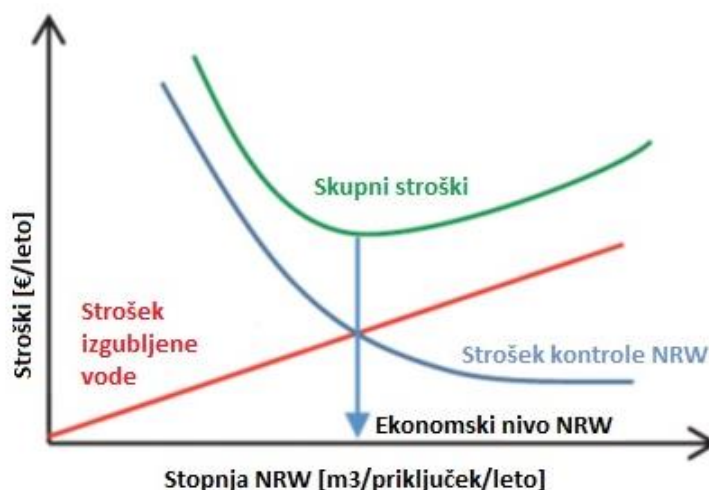
Slaba stran takega pristopa je, da ne dopušča vpogleda in kontrole v celoten proces. To je pomembno predvsem v primerih, ko rezultati niso v skladu s pričakovanim.

Primer takšnega samoiniciativnega pristopa je združenje držav povodja reke Donave, v katerega je vključenih 16 evropskih držav. Združenje ima izdelan svoj program aktivnosti (angl. Danube Water Program), s pomočjo katerih je posamezni članici omogočen hitrejši razvoj na področju oskrbe s pitno vodo. Ena od članic je tudi Slovenija, saj leži v porečju reke Donave. Združenje oz. njegovo delovanje je podrobneje predstavljeno na spletnih straneh (IAWD – Danube Water Program, 2016).

3.6 Implementacija teorije analize stroškov in koristi v proces določanja ELL

Za določitev ELL se običajno uporabljata dve metodi, ki sicer izhajata iz teorije povpraševanja in ponudbe – to sta metoda skupnih stroškov in metoda mejnih stroškov. Obstaja še tretja metoda, t.i. kumulativna analiza stroškov in koristi (angl. cumulative cost-benefit analysis), ki jo je bilo v strokovni literaturi mogoče zaslediti le pri obravnavi ELL za primer območja Južne Koreje (Lim, Savic, Kapelan, 2015).

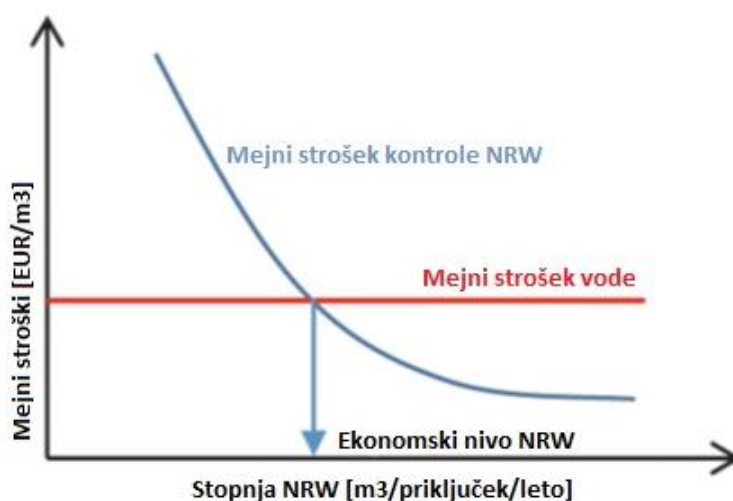
Po **metodi skupnih stroškov** se najprej določi krivulja, ki predstavlja seštevek stroškov aktivne kontrole tesnosti vodovodnega omrežja ter stroškov vode. Ko je funkcija skupnih stroškov (angl. total costs) določena, se izračuna njen minimum. To je točka ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub (ELL).



Slika 20: Določitev ELL s krivuljo skupnih stroškov (Lim, Savic, Kapelan, 2015)

Figure 20: Determining the ELL with total cost curve (Lim, Savic, Kapelan, 2015)

Po **metodi mejnih stroškov** se ELL izračuna tako, da se določi presečišče krivulje mejnih stroškov aktivne kontrole tesnosti omrežja ter krivulje (premice) mejnih stroškov vode.



Slika 21: Določitev ELL s krivljama mejnih stroškov (Lim, Savic, Kapelan, 2015)

Figure 21: Determining the ELL with marginal cost curves (Lim, Savic, Kapelan, 2015)

Ugotovimo lahko, da smo do sedaj operirali le z izrazom ELL, ki se navezuje na dejanske izgube, kot posledico puščanj na vodovodnem sistemu. V zgoraj navedeni strokovni literaturi pa prvič opazimo uporabo pojma NRW – t.j. uporabo celotnih neprodanih količin vode. Princip določanja sicer ostaja enak.

Krivulji stroškov aktivne kontrole tesnosti omrežja ter stroškov vode na grafu, ki se navezuje na določanje ELL po metodi skupnih stroškov, sta obrnjeni (zrcalni glede na vertikalo) - v primerjavi s krivuljama ponudbe in povpraševanja z grafa osnovne teorije tržnega ravnovesja. To je zato, ker na abscisni osi nimamo navadnega outputa, temveč vodne izgube, ki so v obratnem sorazmerju s količino outputa. V našo korist se torej štejejo čim manjše izgube, ki jih lahko interpretiramo kot naš output (količina proizvoda).

3.7 Ekonomsko sprejemljive vodne izgube drugod po Evropi

Vodne izgube kot take predstavljajo povsod po svetu velik problem. Strokovnjaki s tega področja in okoljevarstveniki verjamejo, da je mogoče na področju zmanjševanja vodnih izgub še precej postoriti. Veliko pa je bilo na tem področju narejenega že v evropskih državah, med katerimi izstopata Velika Britanija in Nemčija s svojimi trdno zasnovanimi smernicami.

T.i. »the economic level of operation« je pojem, ki se uporablja tudi v drugih gospodarskih panogah oz. industriji in pomeni ekonomsko sprejemljivo ali najbolj optimalno izvajanje neke operacije ali dejavnosti. Ta pojem je na področje vodooskrbe projiciran z uporabo ELL, t.j. poslovno sprejemljivih vodnih izgub.

V tem podpoglavju so predstavljene le nekatere evropske države, ki so bile na področju zmanjševanja vodnih izgub do sedaj najbolj aktivne. Na podlagi različne strokovne literature in ob spoznavanju izkušenj slovenskih upravljavcev je bilo mogoče ugotoviti, da se v Sloveniji že najdejo podjetja, ki upravljajo z javnim vodovodnim omrežjem in ki pri tem aktivno delujejo na področju tehnično-ekonomske optimizacije sistema, le redkokateri pa dajejo večji in globlji pomen ekonomsko oz. poslovno sprejemljivim vodnim izgubam – ta princip reševanja obstoječe problematike pri nas še vedno ni zaživel v pravem pomenu besede.

3.7.1 Avstrija

Naša severna sosedica, Avstrija, se ponaša z 2354 občinami, od katerih je kar 2128 takšnih, ki imajo manj kot 5000 prebivalcev, zato izvajanje oskrbe s pitno vodo rešujejo s približno 5500 vodovodnimi sistemi. Ti sistemi so zaradi karakteristik površja večinoma zelo majhni, predvsem tisti na območju Alp ter tudi v drugih pokrajinah, ki večinoma ležijo v porečju reke Donave. Za avstrijske vodovodne sisteme je značilno, da v nekaterih primerih znašajo vodne izgube tudi preko 50%, medtem ko na drugi strani najdemo čisto majhne vodovode, primerljive z velikostjo enega DMA srednje velikega vodovodnega sistema, ki pa imajo faktor ILI celo manjši od 1, kar izkazuje visoko učinkovitost upravljanja takega sistema (European Commission, 2015).

Medtem ko imamo na eni strani izredno majhne sisteme, pa je lahko primer drugega ekstrema Salzburg, glavno mesto enako imenovane avstrijske zvezne dežele, ki ima približno kar 150.000 prebivalcev. Nekateri odseki vodovodnega omrežja so stari tudi preko 100 let, vendar z učinkovitim, dolgoročno zastavljenim upravljanjem sistema uspešno regulirajo vodne izgube, katerih nivo je povsem primerljiv z mednarodnimi vrednostmi le-teh. Spremljanje obratovanja vodovodnega omrežja z ustrezno programsko opremo skupaj s hitrim in učinkovitim popravilom okvar omogoča nadzor nad izgubami na kratek rok, razdelitev omrežja na DMA, optimizacija tlačnih razmer na sistemu ter razsodno investiranje v obnovo omrežja pa omogočajo ustrezno upravljanje sistema na dolgi rok.

3.7.2 Hrvaška

Hrvaška je zaradi obilice morja in ustreznega podnebja izrazito turistična država. Turizem je intenziven v poletnih mesecih, medtem ko ga v zimskih mesecih praktično ni. Zaradi tega je največja težava na področju oskrbe s pitno vodo precejšnje nihanje števila uporabnikov, ki je v sezoni bistveno višje, zato je potrebno v tem času zagotavljati tudi večje količine pitne vode, ki pa mora biti skozi vse leto ustrezne kvalitete. Taki vodovodni sistemi morajo biti dimenzionirani na dva popolnoma različna režima (obdobje sezone in obdobje izven sezone), upravljanje le-teh pa zna biti zaradi tega zelo težavno.

3.7.3 Italija

Iren group je največje italijansko podjetje, ki se ukvarja z distribucijo vode, plina in elektrike ter z ravnanjem z odpadki. Deluje na območju severnega predela Italije. Na območju Reggio Emilia upravlja s kar 28 vodovodnimi sistemi, preko katerih se s pitno vodo oskrbuje skupno okoli 475.000 uporabnikov iz 45 različnih občin. Primer je izpostavljen zato, ker se že od leta 2005 uporabljajo kazalniki stanja izgub po metodologiji IWA ter strategije reševanja vodnih izgub, na podlagi katerih so se zmanjšala puščanja za kar 50%, dosežena pa je tudi dobra vrednost ILI faktorja, ki znaša približno 2,5. Hkrati je to primer, ki potrjuje, da je optimizacijo tlakov na sistemu potrebno uvesti čim hitreje, že pred ali pa vsaj tekom oblikovanja DMA con, kar se je izkazalo kot zelo učinkovita strategija zmanjševanja vodnih izgub (European Commission, 2015).

3.7.4 Nemčija

Nemčija izvaja kontrolo tesnosti vodovodnega omrežja že vrsto let, z začetki v letu 1986 (priprava pravil German Technical and Scientific Association for Gas and Water - DVGW).

Poleg Slovenije je ena redkih evropskih držav, ki za to, da bi ustrezno zaščitile vodne vire, plačujejo kmetom in gradbenikom neke vrste nadomestilo za zmanjšanje dohodka iz kmetijske in gradbene dejavnosti na vodovarstvenih območjih, s čimer želijo zaščititi vodo že na samem vodnem viru, da postopki nadaljnje priprave pitne vode sploh ne bi bili potrebni.

Čeprav se Nemčija že vrsto let aktivno ukvarja s kontrolo vodnih izgub, pa imajo v tej državi velike težave pri tem predvsem zaradi karakteristik tal, ki so ponekod peščena in gramozna ter zaradi tega izredno prepustna, zaradi česar se na površju pojavijo le zelo velika puščanja, medtem ko ostala poniknejo v tla in jih nikakor ni mogoče prepoznati. S tega stališča je še kako pomembno, da se pri novogradnjah in obnovah vodovoda daje velik poudarek tako kvaliteti vgrajenega materiala kot kvaliteti izvedbe del.

3.7.5 Velika Britanija

V Veliki Britaniji se z aktivnim zmanjševanjem vodnih izgub ukvarjajo približno od leta 1990, torej zadnjih 25 let. Britanci so pri raziskovanju na področju zmanjševanja vodnih izgub izhajali iz dejstva, da ustrezna kombinacija različnih aktivnosti pripomore k (z ekonomskega stališča) optimalnemu zmanjšanju vodnih izgub, dajejo pa poudarek optimizaciji tlačnih razmer na vodovodnem sistemu.

Tako so razvili svojo metodologijo zmanjševanja vodnih izgub, pri kateri je potrebno vsako od načrtovanih aktivnosti analizirati ter nato primerjati stroške zmanjševanja vodnih izgub pri izvajanju različnih aktivnosti, hkrati pa skupek stroškov, ki nastane pri izvajanju teh aktivnosti, primerjati s ceno vode kot take.

Znotraj Velike Britanije velja izpostaviti Anglijo (England) in Wales, kjer je 10 podjetij, ki upravljajo tako vodovodni kot kanalizacijski sistem, ter 12 podjetij, ki so samo upravljavci vodovodnega sistema. Območje pokriva več kot 300.000 km vodovodnega omrežja, ki se ponaša z več kot 23 milijoni priključkov. DMA območja so reda velikosti 1000 - 3000 priključkov. Puščanja kot taka znašajo povprečno 143 l/priključek/dan.

Ofwat je v Veliki Britaniji zelo pomemben regulativen organ. Ena njegovih pomembnejših nalog je bila priprava smernic za zmanjšanje vodnih izgub na podlagi analize ELL, ki so bile pripravljene v letu 1997. Predvsem pomembne so trajnostne ekonomsko sprejemljive vodne izgube (SELL), saj vodna bilanca zavisi večinoma od naraščanja/upadanja prebivalstva in od klimatskih sprememb in na daljše časovno obdobje dobimo realnejše rezultate.

4 POSLOVNO SPREJEMLJIVE IZGUBE V PRAKSI

V tem poglavju bomo poskusili teoretične osnove, ki so zbrane in obdelane v predhodnih poglavjih, ustrezno uporabiti v praktičnem primeru. Kot predmet obdelave bomo vzeli obratovanje vodovodnega sistema Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki, katerega (večinske) lastnice so Mestna občina Velenje, Občina Šoštanj ter Občina Šmartno ob Paki, upravljavec vodovodnega omrežja in vseh pripadajočih infrastrukturnih objektov pa je Komunalno podjetje Velenje.

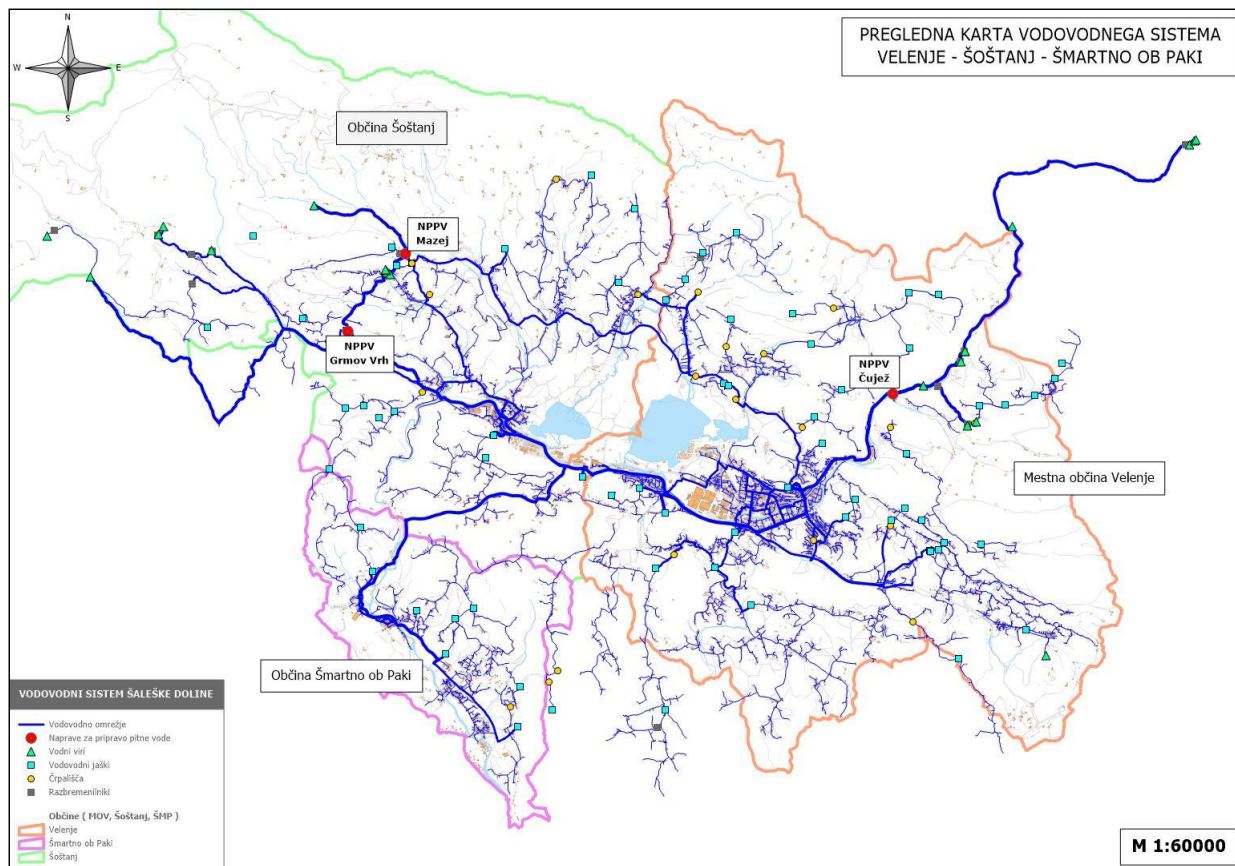
Ker v slovenskem prostoru trenutno še ne poznamo primera, ko bi se kak upravljavec javnega vodovoda lotil določanja ELL, se bomo najprej omejili na izračun kratkoročnega ELL (SRELL), saj se ta osredotoča le na stroške aktivne kontrole puščanj, ki zajemajo preverjanje tesnosti vodovodnega omrežja, lociranje morebitnih okvar ter popravilo le-teh, in pa na stroške vode. Poleg tega se večina literature prav tako ustavlja pri izračunu kratkoročnega ELL. V nadaljevanju pa bomo poskusili določiti tudi dolgoročni ELL (LRELL) oziroma trajnostni ELL (SELL), pri katerih pa je potrebno vključiti stroške aktivnosti, ki vplivajo dolgoročno na zmanjšanje vodnih izgub, pri trajnostnih ekonomsko sprejemljivih izgubah pa se upoštevajo tudi okoljski in družbeni stroški.

4.1 Osnovne značilnosti vodovodnega sistema Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki

Vodovodni sistem Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki je srednje velik sistem, ki pokriva celotno območje Šaleške doline – Mestno občino Velenje ter občini Šoštanj in Šmartno ob Paki, del vodovodnega omrežja pa sega tudi v občine Mozirje, Polzela, Žalec, Dobrna in Mislinja.

Vodovodni sistem sestavlja slabih 695 km omrežja (vključno z vodovodnimi priključki). Voda se zajema na 20 vodnih virih, od katerih sta večja Ljubija in Toplice – Ljubija s srednjo izdatnostjo cca. 95 l/s in Toplice s srednjo izdatnostjo 65 l/s. Vsa zajeta voda se s postopkom ultrafiltracije očisti na treh napravah za pripravo pitne vode – NPPV Grmov Vrh, NPPV Mazej in NPPV Čujež, iz katerih se nato ustrezno pripravljena pitna voda distribuira (gravitacijsko ali s črpanjem) do uporabnikov. Obravnavani sistem oskrbuje s pitno vodo približno 44.100 prebivalcev Šaleške doline, preko njega pa se zagotavlja tudi požarna varnost tega področja, in sicer z več kot 900 hidranti.

Če upoštevamo samo dva večja vira (65 l/s in 95 l/s) in število prebivalcev, dobimo povprečno porabo 315 l/os./dan. To pomeni, da gre za vodovodni sistem, ki skrbi za preskrbo s pitno vodo in za oskrbo gospodarskih dejavnosti (obrt, industrija, kmetijstvo, idr.).



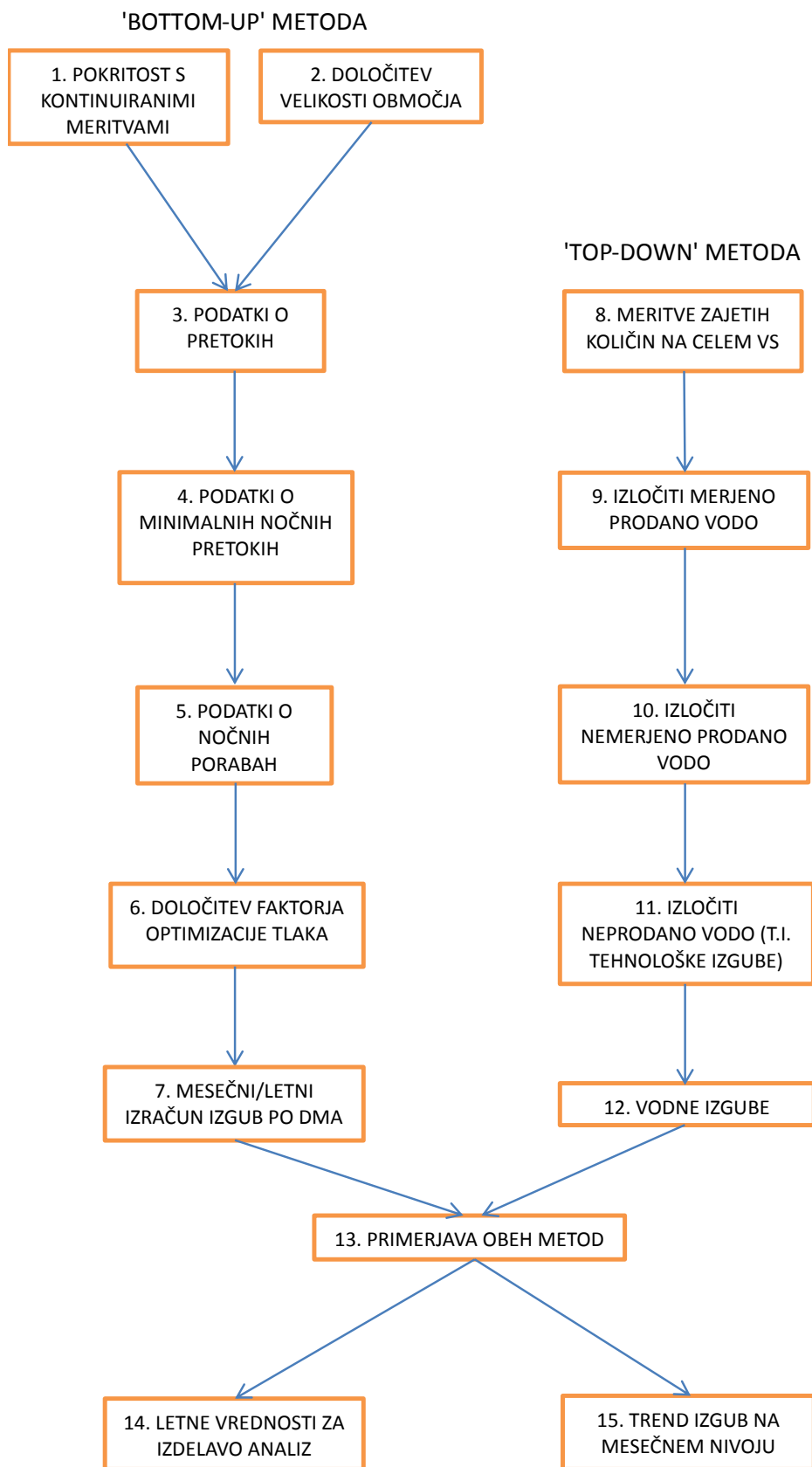
Slika 22: Vodovodni sistem Šaleške doline (MO Velenje, Šoštanj in Šmartno ob Paki)

Figure 22: Water supply system of MO Velenje, Šoštanj and Šmartno ob Paki

4.2 Vodna bilanca

Priprave vodne bilance se lahko lotimo na dva načina – s pomočjo top-down metode ali a pomočjo bottom-up metode. Postopek določitve vodnih izgub po obeh metodah je prikazan na spodnji sliki. V praksi običajno uporabljamo top-down metodo, pri kateri izhajamo iz podatkov za celoten vodovodni sistem.

Zaradi vlaganj v posodabljanje merilne opreme in v izgradnjo daljinskega nadzora vodovodnega sistema Šaleške doline v sklopu izvedbe večjega kohezijskega projekta (Celovita oskrba s pitno vodo v Šaleški dolini) se je na obravnavanem vodovodnem omrežju vgradilo že precej merilnikov pretokov, na podlagi katerih smo lahko celoten sistem razdelili na približno 60 merilnih območij (DMA). Za vsako tako območje se spremljajo dobavljene količine kontinuirano, zato lahko takoj zaznamo povečano porabo in temu primerno takoj ukrepamo. Na podlagi vzpostavljenih meritev lahko posledično spremljamo distribuirane količine vode v posameznem merilnem območju na dnevnem, tedenskem ali mesečnem nivoju, skupaj s spremljanjem nočnih porab pa bomo lahko določili vodne izgube tudi z bottom-up metodo.



Slika 23: Postopek za oceno trenutne stopnje vodnih izgub (Tripartite group, 2002)

Figure 23: The procedure for assessing current levels of water losses (Tripartite group, 2002)

Vtok v vodovodni sistem A3 100 %	Dovoljena poraba A14 70.7 %	Obrač. p. A10 66.4 %	Obrač. m. p.A8 66.4 %	Prod.kol.vode A20 66.4 %
		Neobrač. p. A13 4.3 %	Obrač. nem.p.A9 0 %	
		Vodne izgube A15 29.3 %	Navidez. izgube A18 5.9 %	Neob. m. p.A11 2.1 %
	Dejanske izgube A19 23.5 %		Neob.nem.p.A12 2.2 %	
				Nedovolj. p. A16 2.9 %
			Nenat. mer. A17 2.9 %	

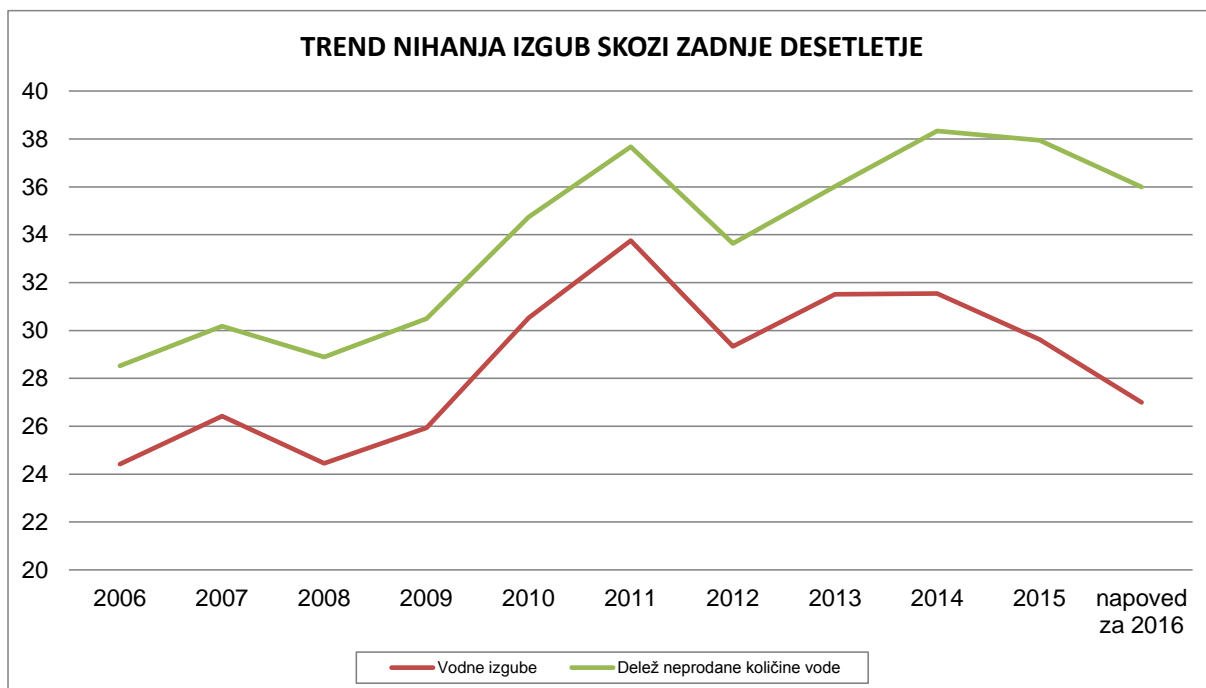
Slika 24: Primer izračuna vodne bilance za vodovodni sistem Šaleške doline za leto 2012
 (Banovec, Cerk, Cilenšek, 2013)

Figure 24: Example of calculating water balance for the water supply system of Šalek valley for the year 2012 (Banovec, Cerk, Cilenšek, 2013)

Vodna bilanca se je do leta 2015 računala na polletnem in letnem nivoju, v letu 2015 pa se je zaključil projekt Celovita oskrba s pitno vodo v Šaleški dolini, znotraj katerega so se med drugim dodale še številne meritve (predvsem pretoka in tlaka na sistemu), na podlagi katerih se je celoten vodovodni sistem razdelil na približno 60 merilnih območij (DMA). Z izvedbo evropskih kohezijskih projektov se proces optimizacije sistem meritev še ni končal, ampak se še naprej nadgrajuje.

Na podlagi kontinuiranih meritev se v tem trenutku v okviru aplikacije, ki služi Komunalnemu podjetju Velenje kot poročilni sistem, pripravlja platforma za spremljanje vodnih izgub v poljubnem (izbranem) časovnem obdobju, pri čemer je osnova vodna bilanca, ki temelji na dnevni vrednosti tehnoloških meritev ter na predpostavljeni povprečni dnevni porabi pri končnih uporabnikih.

Spodnja slika prikazuje nihanja deleža neprodanih količin ter deleža skupnih izgubljenih količin vode v obdobju zadnjega desetletja. Na grafu lahko opazimo vseskozi trend naraščanja deleža neprodane vode, kar je potrebno pripisati dotrajanosti omrežja in s tem preveliki pogostosti okvar na vodovodnem sistemu, pa tudi slabemu spremljanju obratovanja omrežja. Obdobje 2014-2015 predstavlja prelomnico, saj se z večjo izvedeno investicijo in s povečanjem aktivnosti na področju preverjanja tesnosti vodovodnega omrežja pričakuje trend upadanja neprodanih količin vode v prihajajočem obdobju.



Grafikon 1: Prikaz trenda nihanja izgub v obdobju 2006 – 2015

Graph 1: Trend of fluctuation of NRW and water losses during the period 2006 – 2015

4.3 Izračun osnovnih indikatorjev stanja vodovodnega sistema

Pri vseh izračunih, ki bodo predmet četrtega poglavja, se bomo opirali na dejanske podatke, ki veljajo za vodovodni sistem Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki. Uporabili bomo podatke za leto 2015, kar se tiče tehničnih karakteristik samega vodovodnega omrežja, pa bodo uporabljeni podatki, pridobljeni koncem leta 2015.

4.3.1 Specifične dejanske vodne izgube

Da lahko izračunamo specifične dejanske vodne izgube (SDVI), potrebujemo naslednje podatke:

Dejanske (letne) vodne izgube v m^3 v obravnavanem vodovodnem sistemu (CARL): 1.175.926 m^3

Dolžina (glavnega) vodovodnega omrežja v km v sistemu: 512 km

Privzeta časovna enota je ena ura: 1 leto = 8.760 ur

Specifične dejanske izgube znašajo:

$$SDVI = \frac{1.175.926 m^3}{512 km \times 8.760 h} = 0,262 \frac{m^3}{km \times h} \quad (28)$$

Če pogledamo vrednost specifičnih dejanskih vodnih izgub za leto 2015, ki jo dobimo v zgornji enačbi, in jo primerjamo z vrednostmi v *Preglednici 2*, lahko ugotovimo, da izračunane specifične dejanske vodne izgube še vedno kažejo na razmeroma visoke vodne izgube obravnavanega vodovodnega sistema.

4.3.2 Neizogibne dejanske vodne izgube (UARL)

Če uporabimo naslednjo enačbo:

$$UARL = (18 \times Lm + 0,8 \times Nc + 25 \times Lp) \times P \text{ [l/dan]}, \quad (29)$$

kjer so:

dolžina glavnih vodovodov [km]: $Lm = 511,939 \text{ km}$

število vodovodnih priključkov: $Nc = 7.638$

dolžina vodovodnih priključkov od javnega voda do vodomera [km]: $Lp = 182,834 \text{ km}$

povprečni sistemski tlak [m]: $P = 4,5 \text{ bar} = 45 \text{ m V.S.},$

dobimo vrednosti, predstavljene v *Preglednici 5*.

Preglednica 5: Izračun UARL za vodooskrbni sistem Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki za 2015

Table 5: Calculating UARL for water supply system Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki for 2015

P (bar)	P (m VS)	UARL (l/dan)	UARL (m3/dan)	UARL (m3/leto)	UARL (%)
2	20	397.923	398	145.242	3,04
2,5	25	497.404	497	181.552	3,80
3	30	596.885	597	217.863	4,56
3,5	35	696.365	696	254.173	5,32
4	40	795.846	796	290.484	6,08
4,5	45	895.327	895	326.794	6,84
5	50	994.808	995	363.105	7,60
5,5	55	1.094.288	1.094	399.415	8,36
6	60	1.193.769	1.194	435.726	9,12
6,5	65	1.293.250	1.293	472.036	9,89
7	70	1.392.731	1.393	508.347	10,65
7,5	75	1.492.211	1.492	544.657	11,41
8	80	1.591.692	1.592	580.968	12,17

V zgornji preglednici so izračunane vrednosti neizogibnih dejanskih vodnih izgub v odvisnosti od predpostavljenega tlaka. Na obravnavanem vodovodnem omrežju znaša povprečni tlak 4,5 bara. Tako znašajo neizogibne dejanske vodne izgube na letnem nivoju 326.794 m³, kar predstavlja 6,84% od zajete količine vode (t.j. od 4.775.094 m³ – podatek za leto 2015).

4.3.3 Izračun indeksa ILI

Če uporabimo podatke za leto 2015, dobimo vrednost infrastrukturnega indeksa 3,6. Izračun faktorja ILI prikazuje spodnja enačba.

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} = \frac{1.175.926 \text{ m}^3}{326.794 \text{ m}^3} = 3,6 \quad (30)$$

Infrastrukturni indeks vodnih izgub (ILI) uvršča vodovodni sistem Velenje - Šoštanj - Šmartno ob Paki v relativno dobre sisteme. Kljub temu se je potrebno zavedati, da je na omrežju še vedno veliko kritičnih odsekov, ki jih je potrebno čim prej obnoviti, saj je izgube na le-teh zelo težko obvladovati.

4.4 Določanje ELI in ELL

Da se bomo lažje lotili določanja poslovno sprejemljivih vodnih izgub, nam bo kot izhodišče služila preglednica na naslednji strani. V preglednici so pripravljene osnovne smernice za ustrezen pristop k ekonomsko učinkovitemu zmanjševanju vodnih izgub.

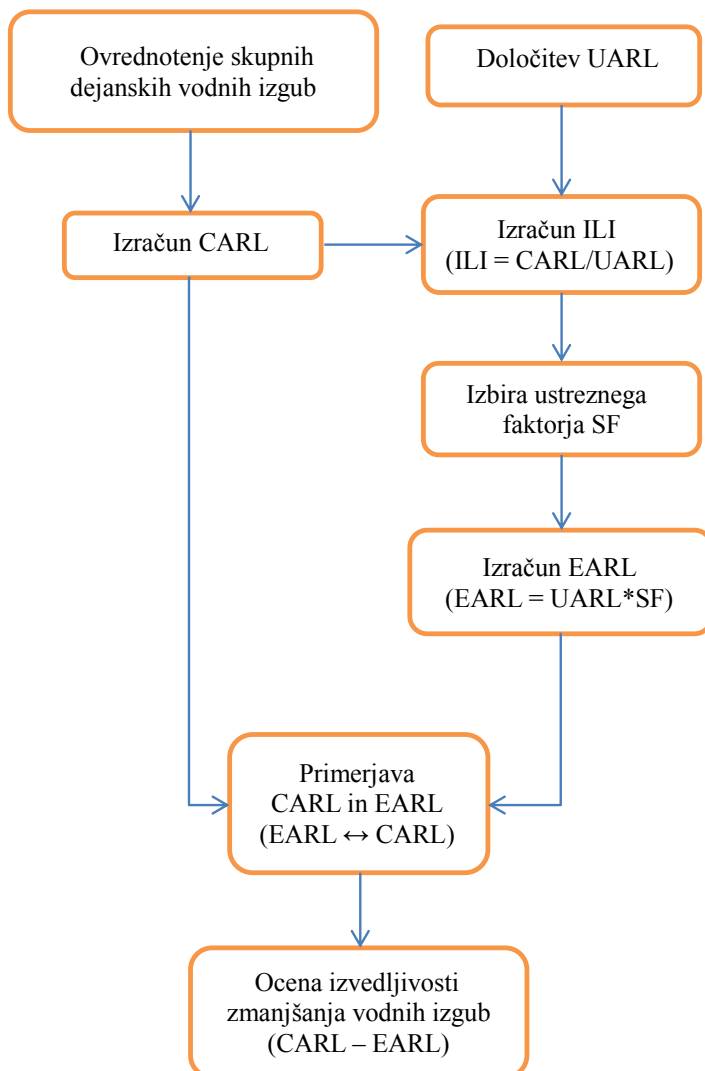
Preglednica 6: Določanje ELL (Fallis et al., 2011)

Table 6: Determining the ELL (Fallis et al., 2011)

Korak	
Določitev trenutnega stanja obratovanja VS	<ul style="list-style-type: none">⇒ Kakšne so trenutno vodne izgube?⇒ Kakšni so dejanski operativni stroški?⇒ Kakšni so dejanski investicijski stroški?⇒ V kolikšni meri se izvaja aktivna kontrola tesnosti vodovodnega omrežja?
Določitev UARL	UARL je kriterij za določanje nadaljnjih aktivnosti na področju zmanjševanja vodnih izgub (CARL).
Ocena trenutne strukture stroškov	<ul style="list-style-type: none">⇒ Kateri potencialni prihranki so zaznani pri analizi operativnih in investicijskih stroškov?⇒ Mejni strošek osnovnega kapitala mora biti vključen v izračun ELL v primeru omejenih vodnih virov oz. v primeru potreb po zagotavljanju novih vodnih virov, izgradnji novih naprav za pripravo pitne vode, ipd.
Izbor števila aktivnosti (štiri primarne aktivnosti: aktivna kontrola tesnosti omrežja, hitrost in kvaliteta popravila okvar, optimizacija tlakov in ustrezno upravljanje infrastrukture)	⇒ Število aktivnosti na področju zmanjševanja vodnih izgub mora biti izbrano na podlagi predvidenih potencialnih prihrankov. Za vsako aktivnost posebej bi bilo potrebno izdelati analizo stroškov in prihrankov ter jo ustrezno razvrstiti na podlagi dobljenih rezultatov. Aktivnosti s predvidenimi najvišjimi prihranki se najprej izvedejo.
Ponovna ocena strukture stroškov	<ul style="list-style-type: none">⇒ Po določenem časovnem obdobju se prihranki izbrane aktivnosti ponovno ocenijo. Priporočljiva perioda je <u>pet let</u>. Ponovna ocena se izvede s ponovitvijo predhodnih korakov.⇒ Ta proces se nadaljuje, vse dokler se mejni stroški katerekoli od aktivnosti ne <u>izenačijo</u> ali pa ne presežejo mejnega stroška (izgubljene) vode. Na tej točki dosežemo ekonomsko sprejemljive izgube (ELL).⇒ Pri oceni je potrebno upoštevati, da lahko pride pri vodnih izgubah do naključnih (kratkoročnih) nihanj, zato je prav, da se upošteva povprečje daljšega časovnega obdobja (več zaporednih let).⇒ Opisana analiza je sestavljena s perspektive ekonomskega upravljanja vodovoda. Upravljavec vodovoda pa se mora zavedati, da nosi tudi okoljske in družbene stroške.

4.4.1 ELI

ELI izračunamo kot razmerje med CARL in EARL po postopku, prikazanem na spodnji sliki.



Slika 25: Diagram za izračun kazalnikov uspešnosti (Tabesh, Asadiyani Yekta, Burrows, 2009)

Figure 25: Flowchart of the performance indicators calculation (Tabesh, Asadiyani Yekta, Burrows, 2009)

V poglavju 4.3 smo že izračunali vrednosti CARL, UARL in ILI (za leto 2015), ki jih potrebujemo za izračun ELI, glede na zgornji diagram pa se nam ustavi pri določitvi ekonomskega varnostnega faktorja SF. Tega, kako se ta faktor dejansko določi, v literaturi ni bilo mogoče najti. Smo pa našli dva primera preračunov, pri katerih je bila obakrat uporabljena vrednost 2, kar je prikazano tudi na obeh spodnjih slikah.

Leakage Performance Indicator		
Water Supplied to System	2430245	M ³ /yr
Authorised Consumption	1436868	M ³ /yr
Non-revenue Water	996493	M ³ /yr
Total Losses	993377	M ³ /yr
Apparent Losses	24395723	M ³ /yr
Current Annual Real Losses (CARL)	74941976	M ³ /yr
Unavoidable Annual Real Losses(UARL)	11322903	MCM/yr w.s.p
Unavoidable Annual Real Losses(UARL)	54.21	Lit/Connection/day w.s.p
Traditional Leakage Index	358.82	Lit/Connection/day w.s.p
Infrastructure Leakage Index (ILI)	6.61	
SF	2	
Economic Annual Real Losses	22645807	M ³ /yr w.s.p
Economic Annual Real Losses	108.42	Lit/Connection/day w.s.p
Economic Leakage Index	3.30	
Economic Efficiency	30.21	%
Volume of Non-revenue Water	41.00	as % of Annual System Input Volume
Value of Non-revenue Water		as % of Annual Cost of Running the syestem
Reported Burst	12797226	M ³ /yr w.s.p
Background leakage	29284323	M ³ /yr w.s.p
UnReported Burst	32860427	M ³ /yr w.s.p

Slika 26: Komponente vodnih izgub in kazalniki uspešnosti, pri čemer je izražen tudi faktor SF (Tabesh, Asadiani Yekta, 2005)

Figure 26: Water losses components and the performance indicators with expressed economic safety factor SF (Tabesh, Asadiani Yekta, 2005)

Table 1 Network performance indicators (wsp = when system is pressurised)

Leakage performance indicator	Value	Unit
Current annual real losses	1.693	Mm ³ /year wsp
Unavoidable annual real losses (UARL)	0.113	Mm ³ /year wsp
Unavoidable annual real losses (UARL)	54	l/connection/day wsp
Infrastructure leakage index (ILI)	14.95	
Economic safety factor (SF)	2	
Economic annual real losses	0.227	Mm ³ /year wsp
Economic annual real losses	108	l/connection/day wsp
Economic leakage index	7.47	
Economic efficiency	13.37	%
Reported burst	0.128	Mm ³ /year wsp
Background leakage	0.293	Mm ³ /year wsp
Unreported burst	1.272	Mm ³ /year wsp

Slika 27: Še en primer izbrane vrednosti SF faktorja (Tabesh, Asadiyani Yekta, Burrow, 2009)

Figure 27: Another example of the selected values of the economic safety factor (Tabesh, Asadiyani Yekta, Burrow, 2009)

Privzemimo torej, da znaša vrednost ekonomskega varnostnega faktorja 2. Potem lahko izračunamo sledeče:

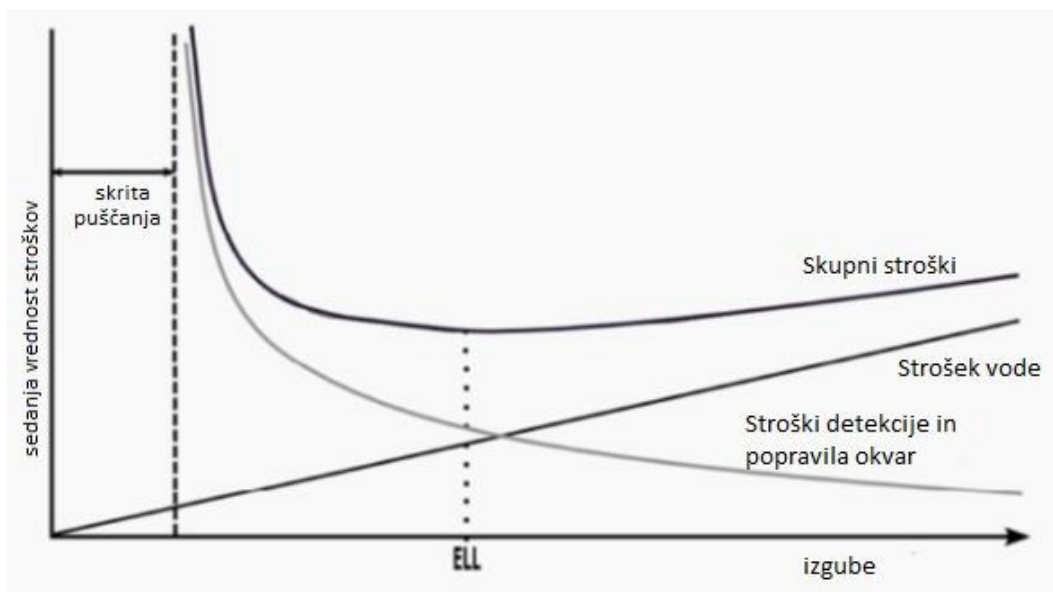
$$EARL = UARL \times SF = 326794 \times 2 = 653.588 \frac{\text{m}^3}{\text{leto}} \quad (31)$$

$$ELI = \frac{CARL}{EARL} = \frac{1175926}{653588} = 1,8 \quad (32)$$

Ekonomski indeks vodnih izgub (ELI) nam pove, da so trenutne dejanske letne vodne izgube (za leto 2015) kar za 80% večje od poslovnih letnih vodnih izgub.

4.4.2 Kratkoročne poslovno sprejemljive vodne izgube

Kot je obravnavano že v tretjem poglavju, na določitev kratkoročnih ELL vplivata aktivna kontrola puščanj (preverjanje tesnosti omrežja) ter popravilo okvar. Najprej je potrebno zajeti vse stroške, vezane na izvajanje teh dveh aktivnosti, potem pa najti medsebojno odvisnost med temi stroški ter stopnjo vodnih izgub, vključujoč tudi strošek vode.



Slika 28: Določanje SRELL (Munoz-Trochez, 2011)

Figure 28: Calculating the SRELL (Munoz-Trochez, 2011)

Kot je razvidno iz zgornje slike, so kot mejna vrednost, h kateri naj bi limitirali stroški preverjanja tesnosti omrežja, ugotavljanja puščanj ter popravila okvar, mišljena skrita puščanja. Določena strokovna literatura ta minimum opredeljuje drugače, kot vsoto skritih puščanj ter javljenih puščanj, spet v drugi literaturi pa najdemo kot minimum neizogibne vodne izgube (UARL) ali tudi nedoločljive izgube (Ministrstvo za okolje in prostor, 2015). Ker si avtorji literature s tega področja pri tem niso enotni, predstavlja to za tistega, ki se konkretno ukvarja z določanjem ekonomsko sprejemljivih izgub, še en dodaten izziv (ali pa težavo).

V tej nalogi bomo pri določanju SRELL kot ta minimum privzeli vrednost neizogibnih vodnih izgub (UARL), izračunanih za leto 2015.

4.4.2.1 Izračun stroškov aktivne kontrole tesnosti vodovodnega omrežja

Ustaljeni stroški aktivne kontrole tesnosti omrežja (Tripartite group, 2002) so lahko fiksni (stroški monitoringa, stroški popravila okvar) ali variabilni (stroški iskanja in lociranja okvar).

Izračun po metodi A

Preglednica 7: Izhodiščni podatki

Table 7: Baseline data

Oznaka	Slovenski izraz	Angleški izraz	Enota
M	osnovna raven vodnih izgub ⁴⁰	policy minimum leakage	l/priključek/dan
P	pasivni nivo vodnih izgub	passive level of leakage	l/priključek/dan
NRR	naravna stopnja naraščanja vodnih izgub	natural rate of rise of leakage	l/priključek/dan/leto
L _o	vodne izgube na začetku obravnavanega leta	leakage at start of current year	l/priključek/dan
C _{dc}	stroški odkrivanja okvar za obravnavano leto	detection costs for current year	EUR/priključek
R _c	število popravljenih okvar v obravnavanem letu	leakage repairs for current year	okvare/1000 priključkov/leto
R _o	povprečna pojavnost okvar	average leak occurrence rate	okvare/1000 priključkov/leto

Ustaljeni stroški odkrivanja okvar za posamezno leto:

$$C_{do} = C_{dc} \times \frac{R_o}{R_c} = 1,1025 \times \frac{59,36}{52,37} = 1,2497 \frac{\text{EUR}}{\text{priklj.}} \quad (33)$$

$$C_{dc} = \frac{8421,05}{7638} = 1,1025 \frac{\text{EUR}}{\text{priklj.}} \quad (34)$$

Povprečno pojavnost okvar, ki znaša 59,36 okvar/1000 priključkov/leto, smo izračunali na podlagi razpoložljivih podatkov iz obdobja od 2007 do 2015, ki jih najdemo v spodnji preglednici.

⁴⁰ UARL;

Preglednica 8: Pojavnost okvar na vodovodnem omrežju Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki za obdobje od leta 2007 do 2015

Table 8: The frequency of leakage in the water supply system Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki for the period 2007 – 2015

Leto	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Okvara vodomernege mesta	72	102	147	108	105	151	112	123	124
Okvara hišnega priključka	143	56	71	47	63	53	62	82	91
Okvara na javnem omrežju	241	206	248	327	249	255	227	225	185
SKUPNO ŠTEVILO OKVAR	456	364	466	482	417	459	401	430	400
ŠTEVILO PRIKLJUČKOV	6857	6956	7034	7191	7268	7431	7494	7531	7638
ŠTEVILO OKVAR NA 1 PRIKLJUČEK	0,0665	0,0523	0,0662	0,0670	0,0574	0,0618	0,0535	0,0571	0,0524
ŠTEVILO OKVAR NA 1000 PRIKLJUČKOV	66,50	52,33	66,25	67,03	57,37	61,77	53,51	57,10	52,37

Povprečne izgube v posameznem letu:

$$L_{avo} = L_o + \frac{NRR}{2} = 471 - \frac{42,5}{2} \cong 450 \frac{l}{\text{priklj./dan}} \quad (35)$$

$$L_o = \frac{1.293.587 \times 1000}{7531 \times 365} = 471 \frac{l}{\text{priklj./dan}} \quad (36)$$

$$NRR = \frac{1.175.926 - 1.293.587}{(7531 + 7638)/2} = \frac{-117.661}{7584,5} \frac{m^3}{\text{priklj./leto}} = \frac{-117.661 \times 1000}{7584,5 \times 365} \frac{l}{\text{priklj./dan}} = -42,5 \frac{l}{\text{priklj./dan}} \quad (37)$$

Stroški detekcije okvar:

$$C_d = \frac{(\ln \frac{P-M}{L_{av}-M})^n}{A} \quad (38)$$

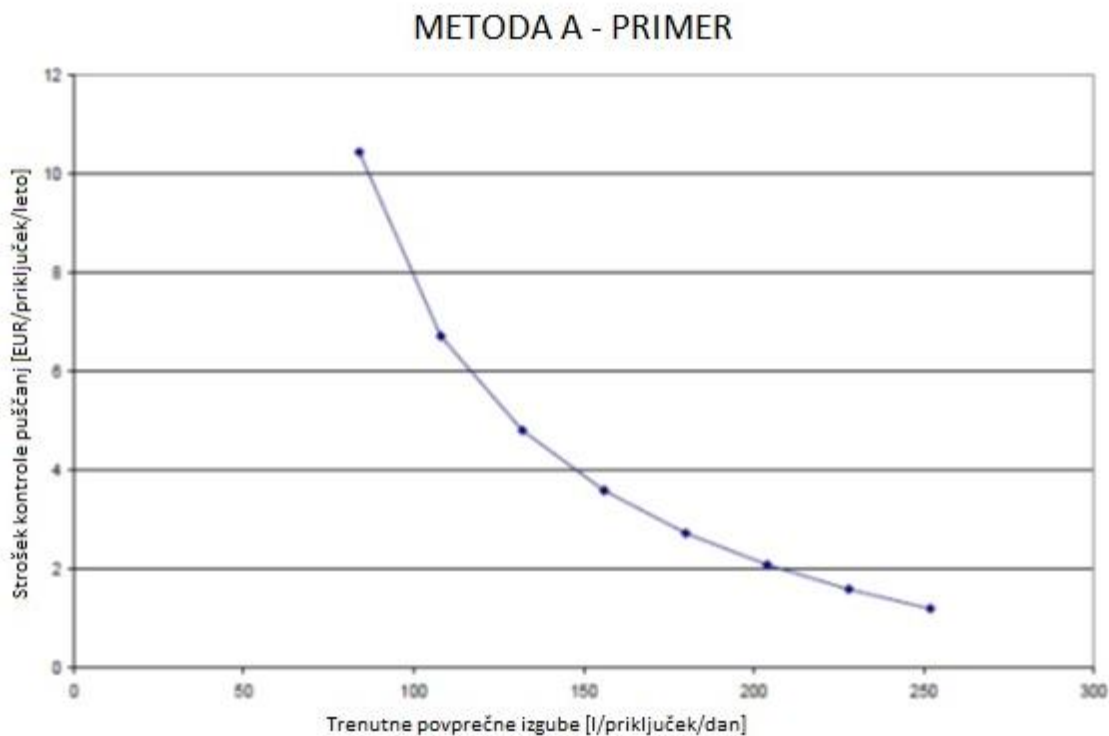
L_{av} ... letne povprečne izgube [l/priključek/dan],

ln ... naravni logaritem,

A, n ... konstanti (n = 1,5 in A = 0,43);

Da lahko rešimo zgornjo enačbo, moramo poznati pasivni nivo vodnih izgub (P), osnovno raven vodnih izgub (M), ter konstanti A in n. Povprečne izgube v obravnavanem letu (L_{av}) so na abscisi na spodnjem grafikonu, od vseh naštetih količin pa poznamo le M (M = 117 l/priključek/dan⁴¹). Pasivni nivo izgub pomeni tiste izgube, pri katerih je strošek detekcije okvar enak 0 (Tripartite group, 2002), vendar načina, kako te izgube določimo, v literaturi ni bilo mogoče najti. Prav tako sta v literaturi podani zgoraj navedeni vrednosti konstant A in n, čeprav tudi za ti dve konstanti ni znano, na kakšen način sta bili določeni. Ker nismo mogli definirati vseh potrebnih vrednosti za matematični izračun stroškov detekcije okvar, bomo ostali le pri navedeni enačbi, ki pa sicer daje soodvisnost, prikazano na spodnji sliki.

⁴¹ Izhajamo iz UARL = 326.794 m³/leto pri 7.638 priključkih (podatki za leto 2015);



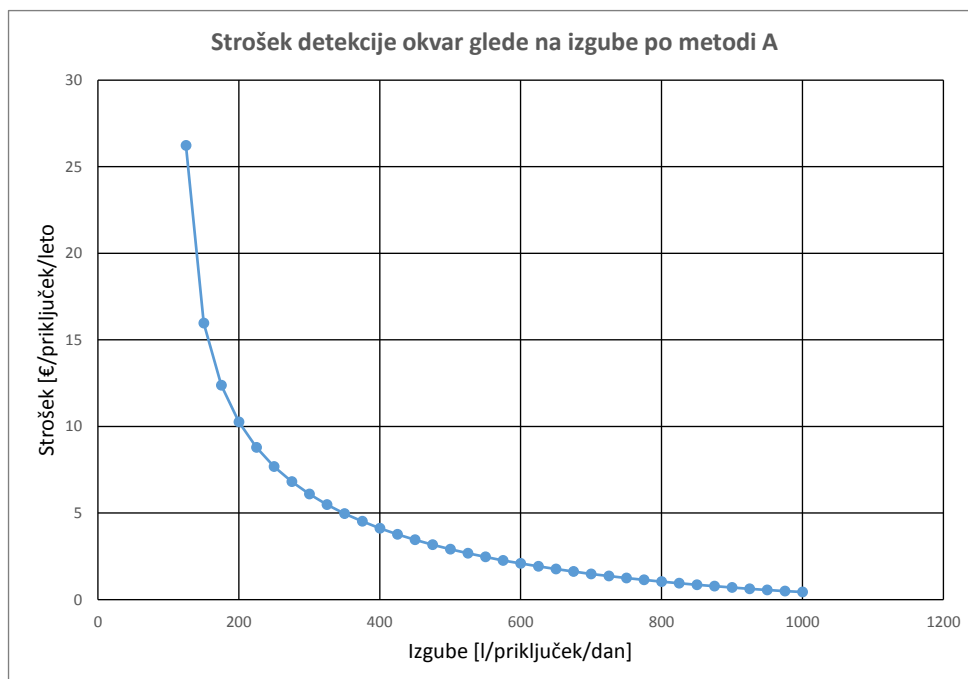
Slika 29: Stroški odkrivanja okvar glede na stopnjo vodnih izgub pri metodi A (Tripartite group, 2002)

Figure 29: Steady state detection costs vs. level of leakage for method A (Tripartite group, 2002)

Zaenkrat bomo privzeli zgoraj navedeni vrednosti konstant A in n ter predpostavili, da je M enak 117 l/priključek/dan. Če predpostavimo, da je pri 50%-nih dejanskih izgubah strošek iskanja in lociranja okvar enak 0, potem lahko rečemo, da bi pasivni nivo izgub P znašal 1.340 l/priključek/dan (zgolj predpostavka!). Na podlagi vseh teh predpostavk lahko izpeljemo naslednjo enačbo:

$$C_d = \frac{\left(\ln \frac{1340-117}{L_{av}-117}\right)^{1,5}}{0,43} = \frac{\left(\ln \frac{1223}{L_{av}-117}\right)^{1,5}}{0,43} \quad (39)$$

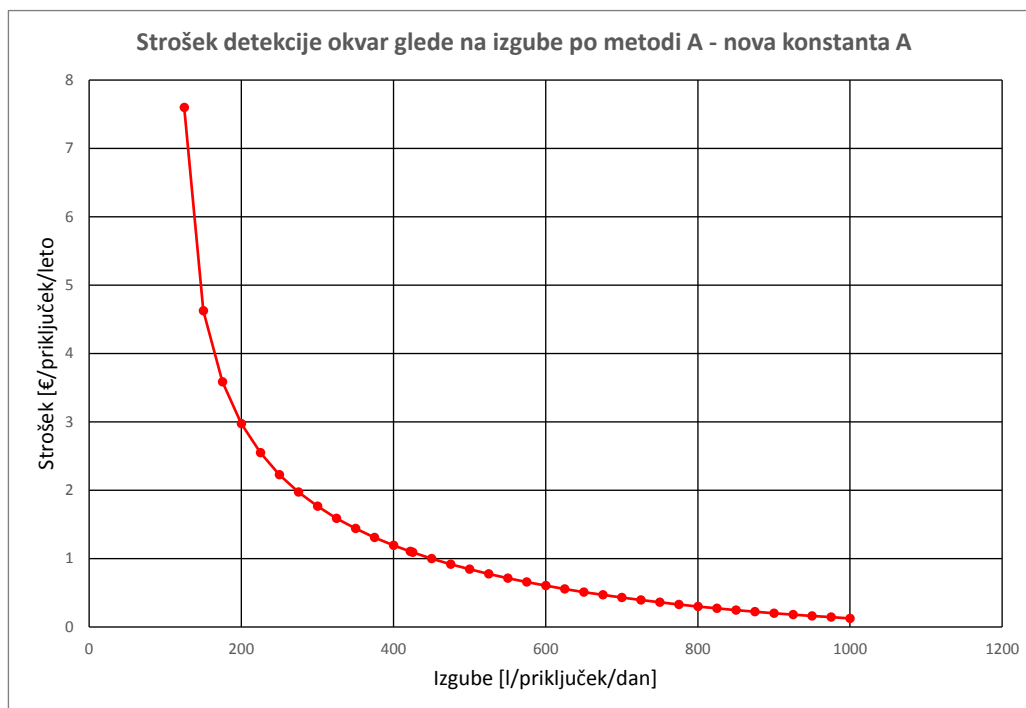
Na podlagi zgornje enačbe dobimo spodnji graf:



Grafikon 2: Primer prikaza stroškov preverjanja tesnosti v odvisnosti od izgub po Metodi A

Graph 2: An example of determining detection costs vs. level of leakage (Method A)

Z zgornjim preračunom in oblikovanjem grafa smo sicer dobili neko soodvisnost med stroškom iskanja okvar ter stopnjo puščanj, vendar glede na podatke iz konkretnega primera dobljeni rezultati niso realni (izračunan strošek je znatno previsok). Zato smo izvedli postopek iteracije, upoštevajoč podatka iz prakse, in sicer vodne izgube 422 l/priključek/dan ter strošek iskanja okvar 1,1025 EUR/priključek/leto. Pri tem smo postavili novo vrednost konstante A, ki za naš (konkretni) primer znaša 1,484. Tako smo dobili rezultate, prikazane na sledečem grafu.



Grafikon 3: Primer prikaza stroškov preverjanja tesnosti v odvisnosti od izgub po Metodi A – z uporabo nove vrednosti konstante A

Graph 3: An example of determining detection costs vs. level of leakage (Method A) – using the new value of fitting constant A

Če primerjamo izračunane vrednosti stroškov odkrivanja okvar po metodi A in stroške, določene na podlagi razpoložljivih operativnih podatkov, lahko vidimo, da so odstopanja kar precejšnja (primerjalna vrednost označena z modro v spodnji tabeli – po metodi A je vrednost stroška 1,3682 EUR/priključek/leto, medtem ko smo z ekstrapolacijo v *Preglednici 10* izračunali vrednost 1,7121 EUR/priključek/leto). To pomeni, da bi bilo potrebno z nadaljnjimi iteracijami natančneje določiti vrednosti (sicer empirično določenih) konstant A in n.

Preglednica 9: Izračun stroškov detekcije okvar po metodi A
Table 9: Calculating costs of leakage detection using Method A

Izgube [l/priključek/dan]	Strošek [€/priključek/leto]
125	7,5989
150	4,6256
175	3,5860
200	2,9726
225	2,5470
250	2,2264
275	1,9722
300	1,7637
325	1,5884
350	1,4383
363	1,3682
375	1,3077
400	1,1929
422	1,1025
425	1,0909
450	0,9996
475	0,9173
500	0,8428

Izračun po metodi B

Izhodiščni podatki:

L_1 ... vodne izgube na začetku leta [l/priključek/dan]

L_2 ... vodne izgube ob koncu leta [l/priključek/dan]

L_r ... redukcija (zmanjšanje) vodnih izgub:

$$L_r = L_2 - L_1 \quad (40)$$

Stroški detekcije okvar za zmanjšanje vodnih izgub na enoto:

$$U_d = a \times (L - M)^b = 17,78 \times (450 - 117)^{-1,33} = 17,78 \times 333^{-1,33} = 0,0079 \frac{\text{EUR}}{\text{l/dan}} \quad (41)$$

Stroški popravila okvar za zmanjšanje vodnih izgub na enoto:

$$U_r = c \times (L - M)^d = 0,44 \times (450 - 117)^{-0,45} = 0,44 \times 333^{-0,45} = 0,0322 \frac{\text{EUR}}{\text{l/dan}} \quad (42)$$

L ... stopnja vodnih izgub [l/priključek/dan]

a, b, c, d ... konstante (a = 17,78; b = -1,33; c = 0,44; d = -0,45;)

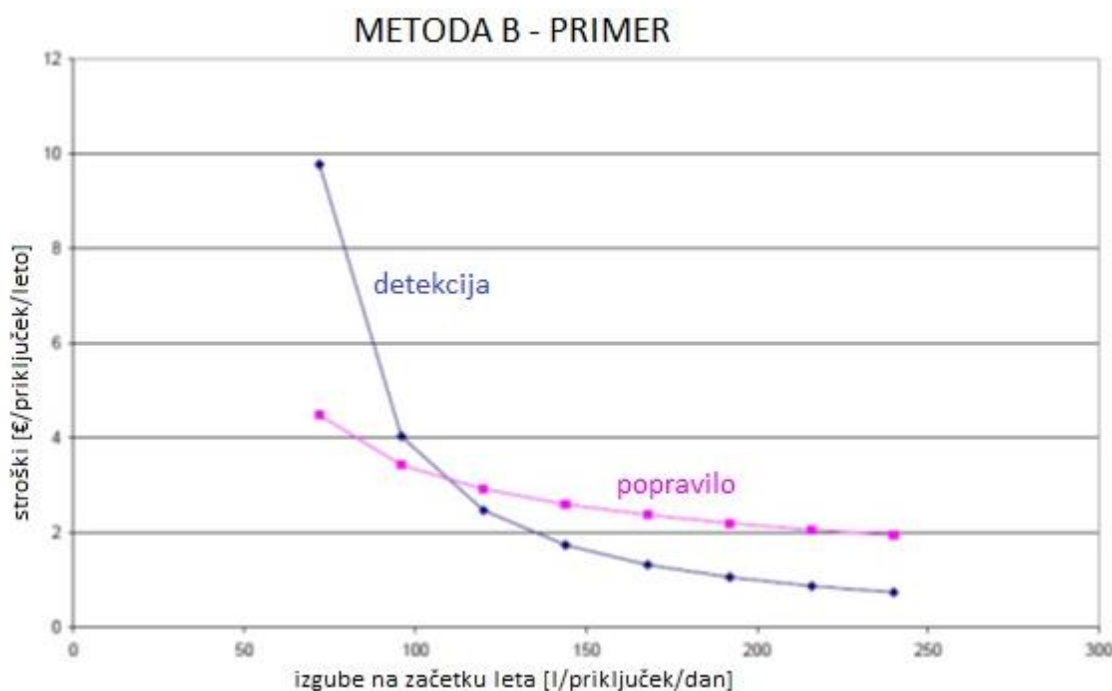
Stroški detekcije okvar na leto⁴²:

$$C_d = -53,88 \times ((L_1 - M + NRR)^{-0,33} - (L_2 - M)^{-0,33}) = -53,88 \times ((471 - 117 - 42,5)^{-0,33} - (422 - 117)^{-0,33}) = -53,88 \times (311,5^{-0,33} - 305^{-0,33}) = -53,88 \times (0,1504 - 0,1514) = -53,88 \times (-0,001) = 0,0539 \frac{\text{EUR}}{\text{priklj./leto}} \quad (43)$$

Stroški popravila okvar na leto:

$$C_r = 0,80 \times ((L_1 - M + NRR)^{0,55} - (L_2 - M)^{0,55}) \quad (44)$$

Vse enačbe stroškov, vezane na izračun le-teh po metodi B, dajejo rezultate, ki za naš primer niso realni, zato zadnje enačbe niti ne bomo računali. Po vsej verjetnosti bi bilo potrebno preučiti vrednosti konstant a, b, c in d, in sicer na podoben način, kot smo to naredili v primeru metode A, ko smo na novo določili vrednost konstante A. Bi pa pri izračunu morali dobiti približno takšen grafikon odvisnosti stroškov iskanja in popravila okvar od stopnje vodnih izgub, kot je prikazan na spodnji sliki.



Slika 30: Stroški odkrivanja in popravila okvar glede na stopnjo vodnih izgub pri metodi B
(Tripartite group, 2002)

Figure 30: Steady state detection cost and repair cost vs. level of leakage for method B
(Tripartite group, 2002)

⁴² Po podatkih iz prakse (za konkreten primer – kot je razvidno iz Preglednice 10) znaša strošek iskanja okvar 1,1025 EUR/priključek/leto, kar pomeni, da je izračunana vrednost C_d bistveno prenizka.

Metodi A in B določata stroške na podlagi empiričnih enačb, ki bi jih moral vsak upravljavec vodovoda prilagoditi karakteristikam sistema, s katerim upravlja, pri tem pa bi bilo potrebno upoštevati čim bolj obsežen nabor podatkov, ki se nanašajo na obratovanje dotičnega vodovodnega sistema. Vsak vodovodni sistem ima svoje posebnosti in posledično svojevrstne karakteristike.

4.4.2.2 Interpretacija stroškov aktivne kontrole tesnosti omrežja na podlagi podatkov iz praktičnega primera

Na podlagi prejšnjega primera (izračun stroškov aktivne kontrole puščanj po metodi B) lahko ugotovimo, da ni najbolj smiselno prevzemati enačb iz strokovne literature, določenih z empiričnimi metodami. Zato bomo raje analizirali podatke obratovanja in upravljanja vodovodnega sistema Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki na svoj način.

Za analizo smo izbrali dva časovna prereza. Prvi je zaključek leta 2015, drugi pa je konec marca leta 2016 (prvo četrtletje tekočega leta). Za prvi časovni prerez imamo podatke že pripravljene na letnem nivoju, medtem ko bomo podatke za drugi časovni prerez določili z ekstrapolacijo na obdobje enega leta, tako da bodo vrednosti med seboj primerljive.

Za določanje SRELL potrebujemo stroške aktivnega preverjanja tesnosti, t.j. stroške iskanja puščanj in stroške popravila najdenih okvar. Dejanski stroški, pridobljeni na Komunalnem podjetju Velenje, ki je upravljavec obravnavanega vodovoda, so predstavljeni v spodnji preglednici.

Preglednica 10: Stroški aktivne kontrole puščanj za vodovodni sistem Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki

Table 10: Active leakage control costs for the water supply system Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki

Strošek:	2015	1-3 2016	2016	Enote
Kontrola tesnosti omrežja	8.421,05	3.290,63	13.162,52	EUR/leto
Popravilo okvar:				
priključki	110.908,54	28.641,81	114.567,24	
sekundarni vodi	249.977,59	68.111,45	272.445,80	
primarni vodi	25.941,95	3.501,64	14.006,56	
transportni vodi	35.891,01	15.717,29	62.869,16	
Skupaj - popravilo okvar:	422.719,09	115.972,19	463.888,76	EUR/leto
SKUPAJ - ALC:	431.140,14	119.262,82	477.051,28	EUR/leto

Ker za različne preračune potrebujemo iste podatke v različnih enotah, smo vrednosti izračunali kar v Excelovi datoteki. V spodnji tabeli so tako zajete vse količine, ki jih potrebujemo za določitev kratkoročnih poslovno sprejemljivih vodnih izgub. Stroški aktivne kontrole tesnosti so predstavljeni na grafu v naslednjem podpoglavju.

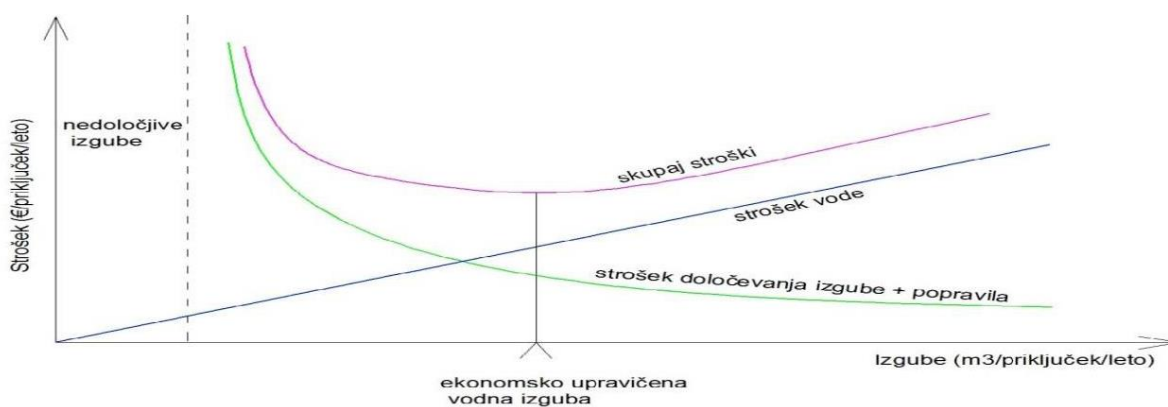
Preglednica 11: Podatki, potrebni za določitev SRELL za vodovodni sistem Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki

Table 11: Data for determining the SRELL of the water supply system Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki

VREDNOSTI ZA IZRAČUN SHORT RUN ELL	2014	2015	1-3 2016	ekstrapolacija na celo leto 2016	ENOTA
CARL (celoten, letni)	1.293.587	1.175.926		1.018.184	m3/leto
CARL (celoten, letni, na priključek)	172	154		132	m3/priključek/leto
CARL (celoten, v litrih, na priključek, na dan)	471	422		363	l/priključek/dan
UARL (celoten, letni)		326.794		326.767	m3/leto
UARL (celoten, letni, na priključek)		43		43	m3/priključek/leto
št. priključkov	7531	7638		7688	
cena vode (vodarina)		0,5933		0,5933	EUR/m3
strošek izgubljene vode		697.677		604.089	EUR
strošek izgubljene vode (na priključek)		91		79	EUR/priključek/leto
strošek iskanja okvar		8.421	3.291	13.163	EUR/leto
strošek iskanja okvar		1,1025		1,7121	EUR/priključek/leto
strošek iskanja okvar		0,0030		0,0047	EUR/priključek/dan
strošek popravila okvar		422.719	76.650	463.889	EUR/leto
strošek ALC - skupaj		431.140	79.941	477.051	EUR
strošek ALC (skupaj, na priključek)		56		62	EUR/priključek/leto
skupaj stroški		148		141	EUR/priključek/leto

4.4.2.3 Določitev SRELL

Osnova za določitev SRELL je graf iz osnutka Operativnega programa oskrbe s pitno vodo za obdobje od 2015 do 2020 (izbor medsebojno odvisnih količin, enote, idr.).



Slika 31: Izhodiščni graf za določanje kratkoročnih ekonomsko sprejemljivih izgub (MOP, 2015)

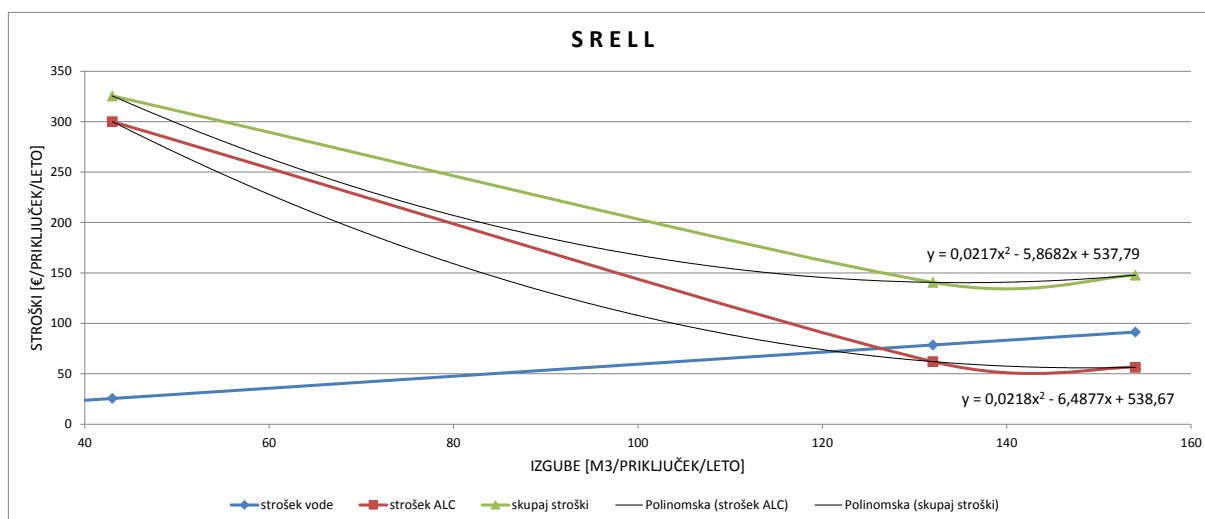
Figure 31: Starting graph for determining the SRELL (MOP, 2015)

Na podlagi zgornjega grafa smo iz Excelove tabele (*Preglednica 9*) izluščili podatke za izris krivulj.

Preglednica 12: Podatki za izris krivulj stroškov

Table 12: Data for cost curves

Izgube (m ³ /priključek/leto)	strošek vode	strošek ALC	skupaj stroški	opomba
0	0			
43	26	300	326	*neskončno (strošek ALC limitira v neskončno pri UARL)
133	79	62	141	
154	91	56	148	
300	178	5	183	*strošek ALC pri zelo velikih izgubah limitira k 0 (ni na grafu);



Grafikon 4: Krivulja kratkoročnih poslovno sprejemljivih vodnih izgub

Graph 4: Short Run Economic Leakage Level curve

Iz zgornjih krivulj lahko poskušamo določiti SRELL na dva načina:

1. Predpostavimo, da lahko skupne stroške ponazorimo z zgornjo krivuljo (na sliki označena z zeleno), za katero naj bi veljala funkcija $y = 0,0217x^2 - 5,8682x + 537,79$. Potrebno je določiti minimum te funkcije, ki ga dobimo tako, da izračunamo prvi odvod funkcije in določimo x , pri katerem je odvod funkcije enak nič.

$$y = 0,0217x^2 - 5,8682x + 537,79 \quad (45)$$

$$y' = 0,0434x - 5,8682 = 0$$

$$0,0434x = 5,8682$$

$$\underline{x_{ELL} = 135,2 \text{ m}^3/\text{priključek/leto}}$$

$$y_{ELL} = 0,0217 \times 135,2^2 - 5,8682 \times 135,2 + 537,79$$

$$\underline{y_{ELL} = 141,1 \text{ EUR/priključek/leto}}$$

Po tem izračunu naj bi kratkoročne poslovno sprejemljive izgube znašale približno 135 m³/priključek/leto.

2. Druga možna predpostavka je, da poslovno sprejemljive izgube nastopijo takrat, ko se stroški aktivne kontrole puščanj izenačijo s stroški izgubljene vode. To pomeni, da se funkcija stroška vode (modra premica na sliki) in funkcija stroška aktivne kontrole tesnosti (rdeča krivulja) v tej točki sekata.

$$y_1 = 0,0218x^2 - 6,4877x + 538,67 \quad (46)$$

$$y_2 = 0,5933x \quad (47)$$

$$y_1 = y_2$$

$$0,0218x^2 - 6,4877x + 538,67 = 0,5933x$$

$$0,0218x^2 - 7,081x + 538,67 = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{7,081 \pm \sqrt{(-7,081)^2 - 4 \times 0,0218 \times 538,67}}{2 \times 0,0218} = \frac{7,081 \pm 1,78}{0,0436}$$

$$x_1 = 203,2 \text{ m}^3/\text{priključek/leto} \text{ (ni realna vrednost)}$$

$$x_2 = \mathbf{121,6 \text{ m}^3/\text{priključek/leto}}$$

$$\mathbf{x_{ELL} = 121,6 \text{ m}^3/\text{priključek/leto}}$$

$$y_{ELL} = y_1 + y_2 = 2 \times 0,5933x$$

$$\mathbf{y_{ELL} = 144,3 \text{ EUR/priključek/leto}}$$

V tem primeru dobimo vrednost kratkoročnih poslovno sprejemljivih vodnih izgub približno 122 m³/priključek/leto.

Dobljene rezultate bomo analizirali nekoliko kasneje, v podpoglavju *Rezultati in razprava*.

4.4.3 Dolgoročne poslovno sprejemljive vodne izgube

Pri določanju dolgoročnih poslovno sprejemljivih vodnih izgub je potrebno upoštevati stroške optimizacije tlačnih razmer na sistemu ter investicijske stroške, ki se nanašajo predvsem na obnove kritičnih odsekov vodovoda.

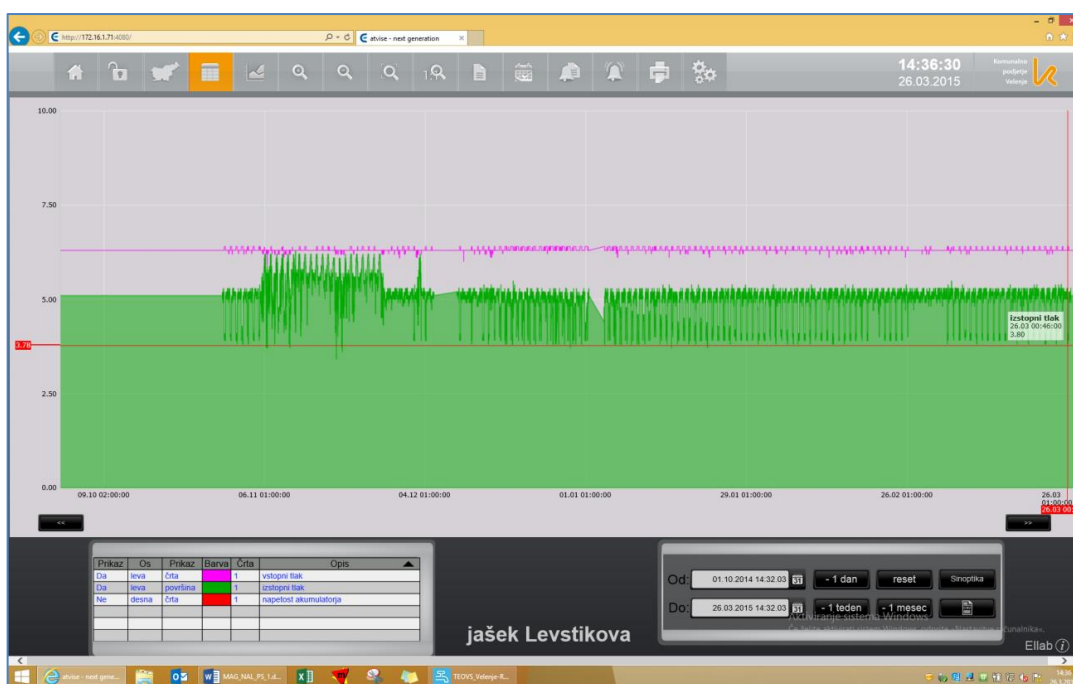
4.4.3.1 Optimizacija tlačnih razmer na vodovodnem omrežju

Predpostavimo, da imamo pred optimizacijo tlačnih razmer na vodovodnem sistemu tlak P_0 in puščanja L_0 . Z zmanjšanjem tlaka na vrednost P_1 zmanjšamo tudi puščanja (dobimo L_1), ki jih teoretično lahko definiramo s spodnjo enačbo:

$$L_1 = L_0 \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N_1} \quad (48)$$

Pri tem je N_1 tlačni eksponent, katerega vrednost je običajno med 0,5 (privzeta vrednost za lom cevi) in 2,5 (najvišja vrednost za skrita puščanja). Kot obravnava literatura, je povprečna vrednost tlačnega eksponenta enaka 1. Pri sistemih z visokim procentom skritih puščanj bo vrednost N_1 presegla 1, pri sistemih, kjer pa se pretežno pojavljajo lomi cevi, pa bodo vrednosti N_1 manjše od 1 (Delgado, 2008).

Na vodovodnem omrežju Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki je optimizacija tlakov zaradi pestrosti terena (velike razlike v nadmorski višini med najnižje in najvišje ležečimi uporabniki) težko izvedljiva, smo pa poskušali izvesti večji proces optimizacije tlakov na območju centra Šoštanja, kjer se je na odvodu iz vodohrana RZ Šoštanj (v t.i. jašek Levstikova) vgradil regulacijski ventil. Dejansko gre za napravo za regulacijo tlaka, ki regulira tlake glede na dnevni in nočni režim porabe vode. Podnevi, ko je poraba pitne vode večja, je izstopni tlak na mestu vgrajenega ventila nekoliko višji kot ponoči, oz. je obratovalni tlak na celotnem sistemu nekoliko višji. V nočnem času, ko so potrebe po vodi manjše, pa je tlak prilagojen nočnim potrebam po vodi in je nekoliko nižji. S tem, ko reguliramo tlake na sistemu, zmanjšamo tudi količino izgubljene vode, ki izteče na mestih puščanj.



Slika 32: Tlaki na omrežju Šoštanj pred vgradnjo regulacijskega ventila⁴³ (vgrajen navaden reducirni ventil)

Figure 32: Pressures on the network of Šoštanj before the installation of the control valve (normal pressure reducing valve installed)

⁴³ Vijolična črta prikazuje vstopni tlak, zelena pa izstopnega.

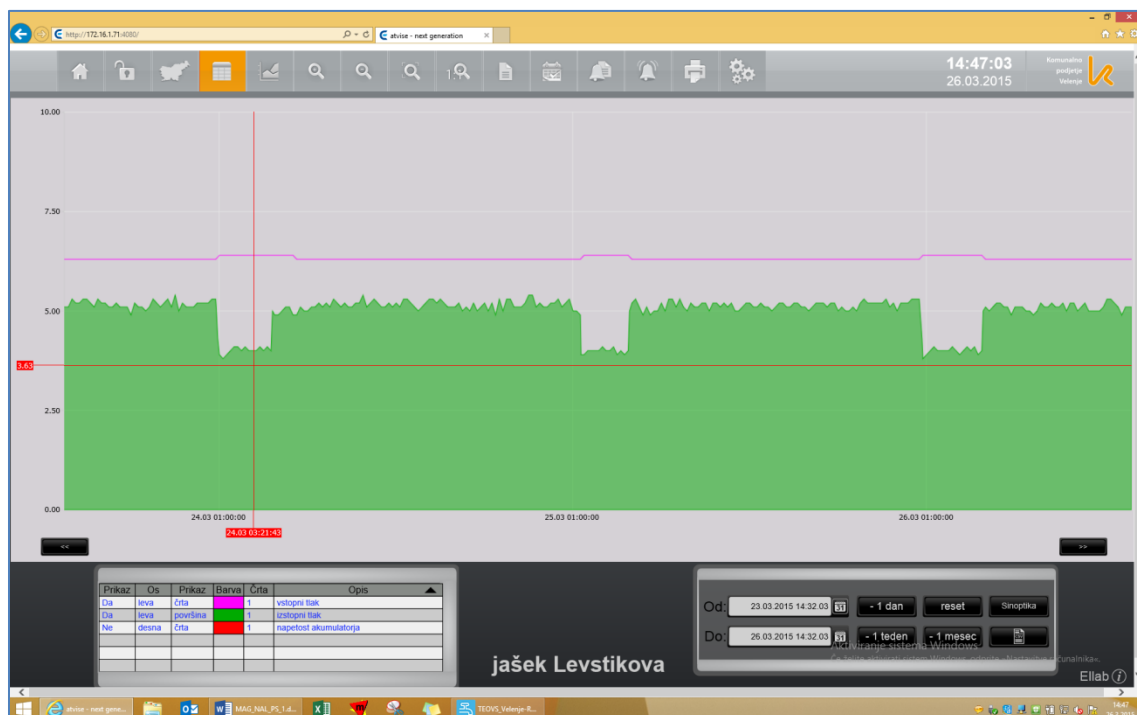
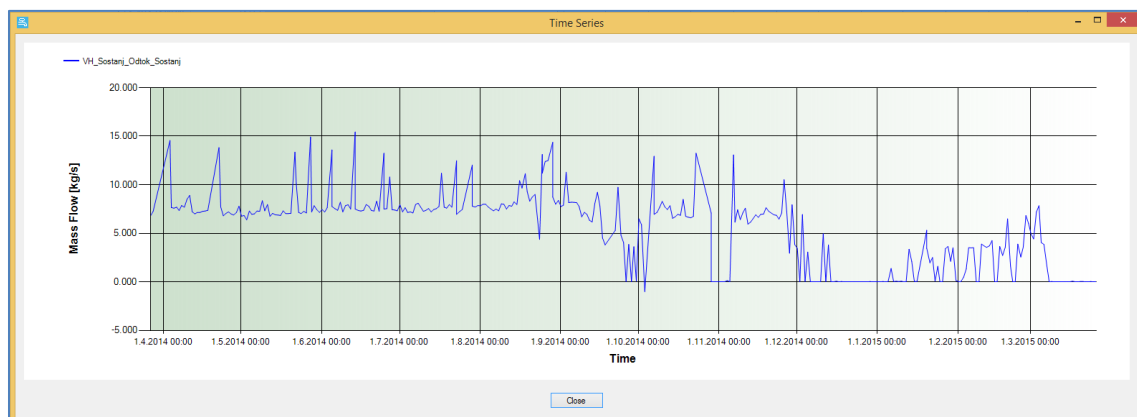
Slika 33: Tlaki na omrežju Šoštanj po vgradnji regulacijskega ventila⁴⁴

Figure 33: Pressures on the network of Šoštanj after the installation of the control valve



Slika 34: Sprememba pretoka na odvodu iz vodohrana RZ Šoštanj zaradi vgradnje regulacijskega ventila

Figure 34: Change of the outflow from the reservoir RZ Šoštanj due to the installation of the control valve

Vidimo lahko, da so se z vgradnjo regulacijskega ventila spremenile tlačne razmere tako, da je čez dan tlak konstantno okoli 5 barov, v času minimalnih porab pa pade na približno 3,5 bara. Tudi odtok iz vodohrana RZ Šoštanj se je po vgradnji ventila znatno zmanjšal, pravzaprav preveč. Do tega je prišlo

⁴⁴ Vijolična črta prikazuje vstopni tlak, zelena pa izstopnega.

zato, ker se mesto Šoštanj oskrbuje s pitno vodo kar s treh strani. Ker so zaradi regulacije tlaki v nočnem času na tem mestu preveč padli, se je povečala oskrba z drugih dveh strani. Ugotovili smo, da bo regulacijski ventil dobil svojo pravo funkcijo šele takrat, ko bomo mesto razdelili na tri cone in se bo vsaka od teh con napajala po svoje. Ko se bo obravnavani del Šoštanja oskrboval samo iz vodohrana RZ Šoštanj, bomo lahko s tem regulacijskim elementom izvedli optimizacijo tlakov v pravem pomenu besede.

Ker do sedaj še nismo izvedli konkretnih ukrepov v zvezi z optimizacijo tlakov na sistemu, tega stroška pri morebitnem določanju dolgoročnih ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub ne moremo upoštevati.

4.4.3.2 Investiranje v infrastrukturo

Za določanje dolgoročnih poslovno sprejemljivih vodnih izgub bi morali upoštevati obdobje 25 – 30 let. Da bi lahko izdelali korektno analizo LRELL, bi potrebovali tudi podatke o investicijskih vzdrževalnih stroških za vsaj približno enako dolgo obdobje. Žal imamo na razpolago le podatke za obdobje od leta 2010 do leta 2015, ki so prikazani v spodnji tabeli.

Preglednica 13: Investicijski vzdrževalni stroški⁴⁵ za obdobje 2010 – 2015

Table 13: Investment maintenance costs for the period 2010 – 2015

Leto	Izgube (m ³)	Št. priključkov	Izgube (m ³ /priklj./leto)	Investicije v obnove/vzdrževanje (EUR)	Strošek obnov/vzdrževanja (EUR/priklj./leto)
2010	1.478.834	7191	205,65	63.204	8,79
2011	1.630.994	7268	224,41	92.420	12,72
2012	1.322.266	7431	177,94	678.626	91,32
2013	1.252.940	7494	167,19	382.750	51,07
2014	1.293.587	7531	171,77	304.648	40,45
2015	1.175.926	7638	153,96	793.938	103,95

Že iz zgornjih podatkov lahko opazimo, da gre v obravnavanem obdobju za trend intenzivnega naraščanja stroškov v obnove in vzdrževanje infrastrukture. Povezava med vlaganji v infrastrukturo in vodnimi izgubami je zelo očitna, če pogledamo trend naraščanja/padanja vodnih izgub na *Sliki 22*. V letih 2010 in 2011 so bili stroški zelo nizki, temu primerno imamo v tem obdobju trend intenzivnega povečevanja vodnih izgub. V letu 2012 se prične intenzivno vlaganje v obnove infrastrukture in istočasno nastopi opazno znižanje vodnih izgub.

⁴⁵ Kot je razvidno iz preglednice, število priključkov iz leta v leto raste – v obdobju od 2010 do 2015 se je število priključkov povečalo za 447, kar znaša dobrih 6%. Trend naraščanja je delno pogojen z novogradnjami, delno pa s širitvijo omrežja (priključitev okoliških naselij na javni vodovod – Lipje, Vinska Gora, Hrastovec, Ravne, Gorenje, idr.).

4.4.3.3 Določitev LRELL po metodi skupnih stroškov

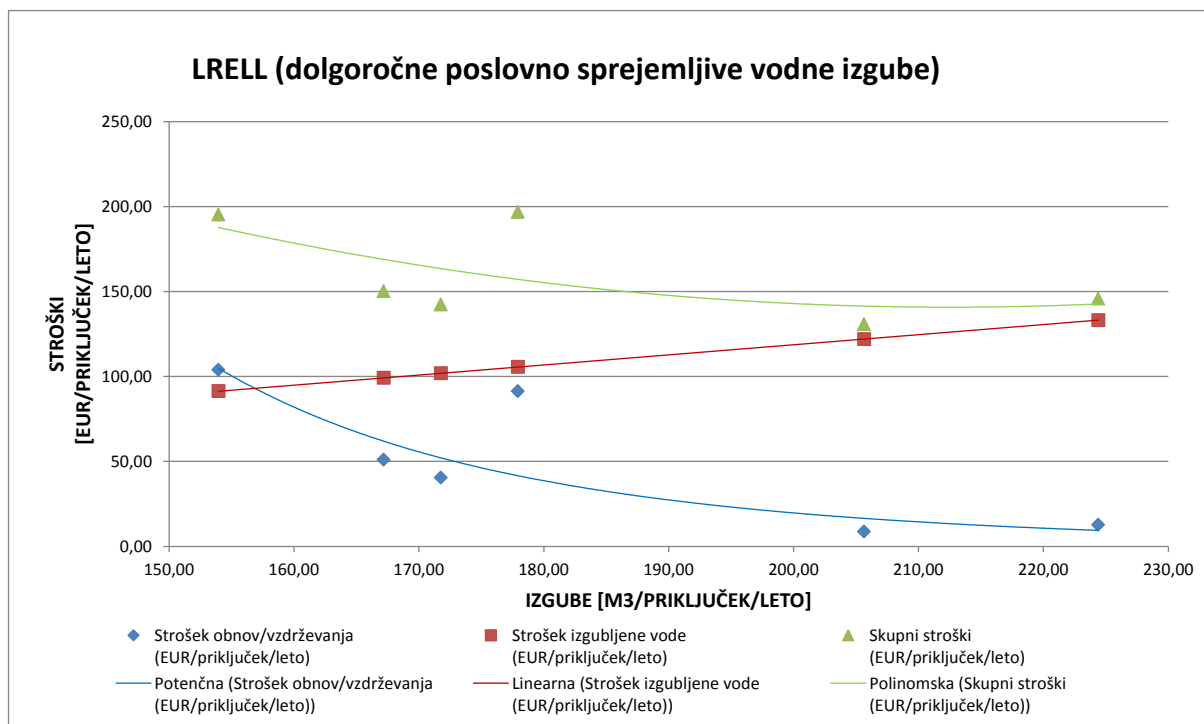
Smernic, kako točno določiti dolgoročne poslovno sprejemljive vodne izgube, v strokovni literaturi žal ni mogoče najti. Zato pri tem uporabimo enak princip kot pri določanju SRELL, vendar tokrat namesto stroškov aktivne kontrole tesnosti omrežja upoštevamo stroške, ki se nanašajo na dolgoročne aktivnosti zmanjševanja vodnih izgub. V našem primeru so to stroški obnov vodovoda ter vzdrževalni stroški vseh infrastrukturnih objektov. Ker imamo na voljo podatke za obdobje 2010 – 2015, smo lahko pripravili šest 'paketov' podatkov, ki nakazujejo medsebojno odvisnost vodnih izgub, stroška izgubljene vode ter stroška vlaganj v obnove infrastrukture.

Preglednica 14: Podatki za izris krivulj stroškov pri določanju LRELL

Table 14: Data for cost curves in determining the LRELL

Izgube (m ³ /priključek/leto)	Strošek obnov/vzdrževanja (EUR/priključek/leto)	Strošek izgubljene vode (EUR/priključek/leto)	Skupni stroški (EUR/priključek/leto)
153,96	103,95	91,34	195,29
167,19	51,07	99,20	150,27
171,77	40,45	101,91	142,36
177,94	91,32	105,57	196,89
205,65	8,79	122,01	130,80
224,41	12,72	133,14	145,86

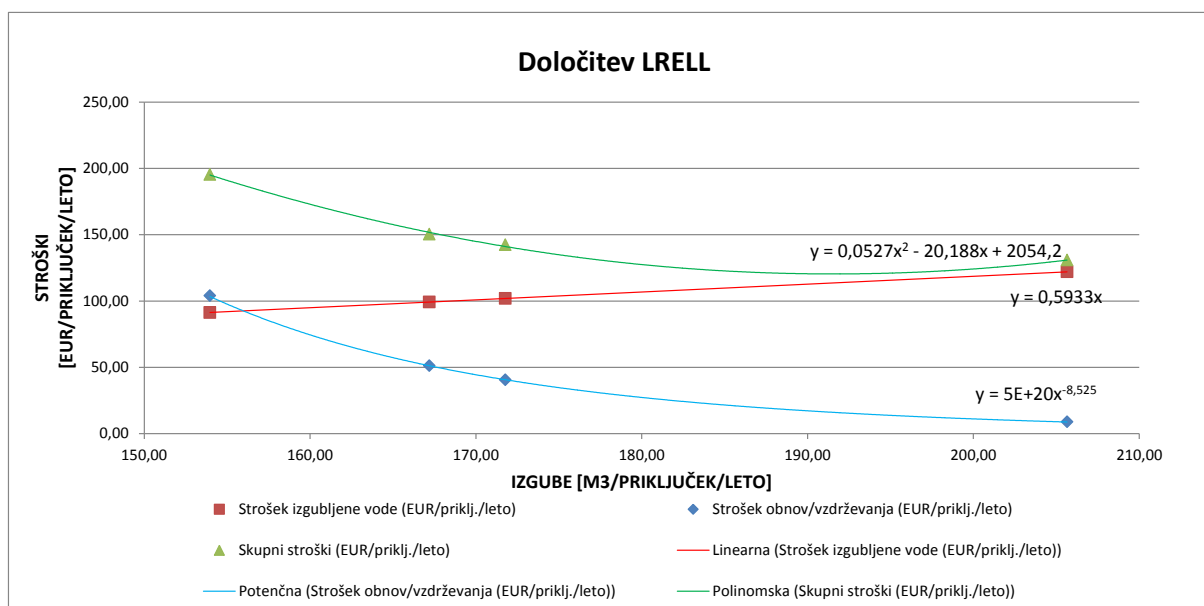
Medsebojna odvisnost izgub in stroškov iz zgornje preglednice je grafično prikazana na spodnji sliki, kjer so z različnimi krivuljami nakazani še trendi.



Grafikon 5: Medsebojna odvisnost dolgoročnih stroškov in izgub

Graph 5: The interdependence of the long-term costs and losses

Če pogledamo zgornji grafikon, lahko opazimo, da podatki o stroških v četrti in šesti točki (prerezu) izgub odstopajo od trendnih krivulj, zato jih pri določanju LRELL ne bomo upoštevali. Če pogledamo in analiziramo preostale podatke, dobimo krivulje, prikazane na spodnji sliki.



Grafikon 6: Krivulja dolgoročnih poslovno sprejemljivih vodnih izgub

Graph 6: Long Run Economic Leakage Level curve

Če ponovno predpostavimo, da poslovno sprejemljive vodne izgube nastopijo takrat, kadar se stroški (v našem primeru obnov in vzdrževanja) izenačijo s stroškom izgubljene vode, potem funkciji izenačimo in rešimo enačbo.

$$y_1 = 0,5933x \quad (49)$$

$$y_2 = 5 \times 10^{20} \times x^{-8,525} \quad (50)$$

$$y_1 = y_2$$

$$5 \times 10^{20} \times x^{-8,525} = 0,5933x$$

$$5 \times 10^{20} \times x^{-8,525} - 0,5933x = 0$$

Zgornjo enačbo najlažje rešimo z iteracijskim postopkom, kot je prikazano v spodnji preglednici.

Preglednica 15: Iteracijski postopek izračuna enačbe

Table 15: Iterative method of calculation of the equation

x	$5E+20x^{-8,525} - 0,5933x$	x	$5E+20x^{-8,525} - 0,5933x$
100	4396,9247	157,36	0,0596
110	1912,1499	157,37	0,0030
120	870,5849	157,38	-0,0535
130	398,8666	157,39	-0,1099
140	170,0009	157,4	-0,1664
150	51,5424	157,5	-0,7291
151	43,2097	157,6	-1,2887
152	35,3501	157,7	-1,8454
153	27,9319	157,8	-2,3990
154	20,9256	157,9	-2,9497
155	14,3040	158	-3,4974
156	8,0417	159	-8,8163
157	2,1152	160	-13,8604
157,1	1,5401	170	-52,5114
157,2	0,9682	180	-77,0929
157,3	0,3994	190	-93,9945
157,35	0,1161	200	-106,5627

Iz zgornje preglednice je razvidno, da se stroški izenačijo pri izgubah **157,4 m³/priključek/leto**.

Rečemo lahko torej, da naj bi glede na naše podatke znašale dolgoročne poslovno sprejemljive vodne izgube približno 157 m³/priključek/leto.

4.4.3.4 Poskus določitve LRELL z metodo mejnih stroškov

Do sedaj smo določali tako SRELL kot LRELL po metodi skupnih stroškov, vemo pa, da to ni edina metoda. Zato je prav, da poskušamo določiti ELL tudi s pomočjo metode mejnih stroškov. To bomo naredili v sklopu določanja LRELL, pri čemer bomo uporabili podatke iz enakega časovnega obdobja

kot pri določitvi LRELL po metodi skupnih stroškov, da bomo lahko rezultate obeh metod med seboj primerjali.

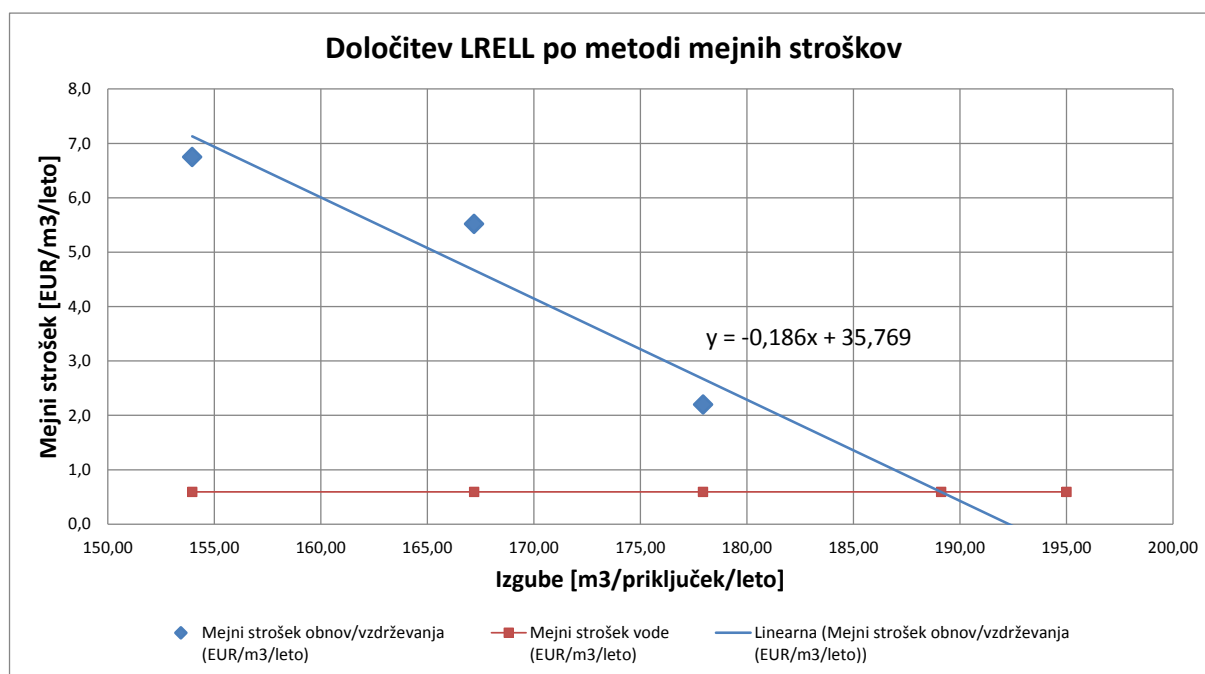
Mejni strošek, ki se navezuje na obnovo in vzdrževanje vodovodnega omrežja, izračunamo s pomočjo spremembe v izgubljenih količinah vode tekom obravnavanega leta, kar je prikazano v spodnji preglednici.

Preglednica 16: Mejni stroški za obdobje 2010 – 2015

Table 16: Marginal costs for the period 2010 – 2015

Leto	Izgube (m ³ /leto)	Št. priključkov	Sprememba izgub v preteklem letu (m ³ /leto)	Investicije v obnovo/vzdrževanje (EUR)	Mejni strošek obnov/vzdrževanja (EUR/m ³ /leto)	Mejni strošek vode (EUR/m ³ /leto)	Izgube (m ³ /priklj./leto)
2010	1.478.834	7191		63.204		0,59	205,65
2011	1.630.994	7268	-152.160	92.420	-0,6	0,59	224,41
2012	1.322.266	7431	308.729	678.626	2,2	0,59	177,94
2013	1.252.940	7494	69.326	382.750	5,5	0,59	167,19
2014	1.293.587	7531	-40.647	304.648	-7,5	0,59	171,77
2015	1.175.926	7638	117.660	793.938	6,7	0,59	153,96

Prvi in četrti podatek o mejnem strošku obnov oz. vzdrževanja sta glede na izračun negativna, zato ju pri formiranju krivulj nismo upoštevali. Ob upoštevanju podatkov za leta 2012, 2013 in 2015 dobimo krivulji mejnih stroškov, ki ju prikazuje spodnja slika.



Grafikon 7: Določitev LRELL po metodi mejnih stroškov

Graph 7: Determining the LRELL, using the marginal cost approach

Da izračunamo LRELL, moramo poiskati stičišče obeh funkcij.

$$y_1 = -0,186x + 35,769 \quad (51)$$

$$y_2 = 0,5933 \quad (52)$$

$$y_1 = y_2$$

$$-0,186x + 35,769 = 0,5933$$

$$0,186x - 35,1757 = 0$$

$$0,186x = 35,1757$$

$$x = 35,1757 / 0,186$$

$$\underline{\underline{x_{LRELL} = 189,1 \text{ m}^3/\text{priključek/leto}}}$$

Zanimivo pri uporabi te metode je, da dobimo kot rezultat zelo visoko vrednost LRELL. Kot je razvidno iz zgornjega grafikona, naj bi bil mejni strošek vode konstanten. To je zato, ker je strošek enega kubičnega metra vode trenutno v slovenskem prostoru več ali manj konstanten in se s časom le malo spreminja (razpoložljivost in kvaliteta vodnih virov konstantno zadovoljiva, poceni električna energija, ipd). Glede na konstantnost funkcije mejnega stroška vode lahko ugotovimo, da na izračun LRELL vpliva samo strošek dolgoročnih aktivnosti, vezanih na zmanjševanje vodnih izgub (optimizacija tlakov, obnove vodovoda, investicijsko vzdrževanje, idr.). Več o smiselnosti dobljenega rezultata in uporabe metode mejnih stroškov bomo razpravljali v podpoglavju *Rezultati in razprava*.

4.4.4 Trajnostne ekonomsko sprejemljive vodne izgube

Kot je zapisano že v tretjem poglavju, so trajnostne ekonomsko sprejemljive izgube (SELL) bistveno bolj kompleksne od SRELL in LRELL, saj je pri določanju le-teh potrebno upoštevati tudi okoljske in družbene stroške (emisije škodljivih plinov v ozračju zaradi morebitnih prometnih zastojev, zmanjšanje pretoka vodotokov, vpliv na rekreacijske aktivnosti ob akumulacijah, ipd.). Te pri izračunu SELL upoštevamo le posredno, saj so ti stroški težko določljivi in posledično tudi težko merljivi.

Pri SELL moramo torej upoštevati troje stališč – vplive zmanjšanja vodnih izgub na človeka (družbeni vidik), na okolje (okoljevarstveni vidik) ter na gospodarstvo (ekonomski vidik).



Slika 35: Trojni pristop k zagotavljanju trajne učinkovitosti (Raftelis, 2014)

Figure 35: Triple approach to ensuring sustainable effectiveness (Raftelis, 2014)

Ker je določanje trajnostnih ekonomsko sprejemljivih izgub izredno kompleksen proces, s katerim običajno napovedujemo ELL tudi za obdobje 50 let, smo se v tej nalogi omejili zgolj na izračun SRELL in LRELL, smernice za oceno SELL pa so predstavljene že v teoretičnem delu naloge.

4.5 Rezultati in razprava

4.5.1 Analiza dobljenih rezultatov

Obstaja več načinov, kako določiti najbolj optimalen nivo vodnih izgub tako s tehničnega kot z ekonomskega vidika. V četrtem poglavju so pripravljene izračuni na podlagi praktičnega primera, pri čemer smo prišli do naslednjih zaključkov:

1. Po osnutku Operativnega programa oskrbe s pitno vodo za obdobje od 2015 do 2020 naj bi se vrednosti ILI gibale med 2 in 4, najbolj optimalen ILI pa naj bi bil enak 2. To pomeni, da naj bi bile po tem kriteriju optimalne vodne izgube največ dvakrat večje od neizogibnih vodnih izgub.

$$ILI = \frac{CARL}{U_{ARL}} = 2 \rightarrow CARL_{optimalen} = 2 \times U_{ARL} = 2 \times 326.794 = 653.588 \frac{\text{m}^3}{\text{leto}} \quad (33)$$

$$CARL_{optimalen} = 653.588 \frac{\text{m}^3}{\text{leto}} = 85,6 \frac{\text{m}^3}{\text{priklj./leto}}$$

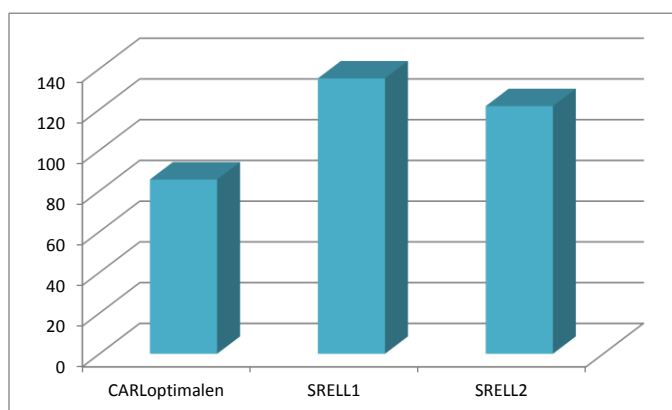
Ugotovimo lahko, da je ta vrednost primerljiva z EARL, vrednost faktorja ILI pa je pravzaprav primerljiva z ekonomskim varnostnim faktorjem SF.

2. Pri določanju SRELL smo dobili dve možni vrednosti:

$$\text{SRELL}_1 = 135 \text{ m}^3/\text{priključek/leto} = 1.034.505 \text{ m}^3/\text{leto}$$

$$\text{SRELL}_2 = 122 \text{ m}^3/\text{priključek/leto} = 934.886 \text{ m}^3/\text{leto}$$

Tekom določanja kratkotrajnih poslovno sprejemljivih vodnih izgub smo ugotovili, da je potrebno večjo pozornost nameniti temu, v katerih enotah izražamo posamezne količine. Vemo, da je procent vodnih izgub izračunan iz podatkov, ki vseskozi variirajo. Če izražamo izgube v enotah [$\text{m}^3/\text{priključek/leto}$], so vrednosti med sabo bistveno bolj primerljive.



Grafikon 8: Primerjava izračunanih vrednosti za SRELL

Graph 8: Comparison of the calculated values for the SRELL

Pri določanju SRELL lahko zaključimo, da za prvo vrednost, določeno na podlagi optimalnega indeksa ILI, težko rečemo, da je realno dosegljiva, vsekakor pa pri doseganju tako nizkih izgub ne moremo govoriti o ekonomski učinkovitosti upravljanja vodovodnega sistema. Lahko pa rečemo, da sta druga in tretja vrednost realni. Glede na razpoložljive podatke je za naš izračun bolj primerna druga metoda, vrednost SRELL, ki jo pri tem dobimo, pa tudi v okvirih pričakovanega.

Zaključimo lahko torej, da za naš praktični primer pričakovane kratkoročne poslovno sprejemljive vodne izgube znašajo **122 m³/priključek/leto**.

Potem, ko smo določili SRELL, smo na podlagi razpoložljivih podatkov poskusili izračunati še LRELL, pri čemer smo uporabili oba postopka – metodo skupnih stroškov ter metodo mejnih stroškov. Po prvi metodi smo dobili rezultat LRELL = 157 m³/priključek/leto. Po drugi metodi smo kot rezultat dobili bistveno višjo vrednost (LRELL = 189 m³/priključek/leto), vendar glede na linearnost trendne črte, ki naj bi aproksimirala medsebojno odvisnost mejnih stroškov obnov in investicijskega vzdrževanja ter stopnje izgub, ne moremo govoriti o merodajnosti le-te, zato bomo dobljeni rezultat vzeli z rezervo in ga izključili iz nabora realnih rezultatov, sprejemljivih za nadaljnjo analizo. Vidimo

lahko, da je metoda skupnih stroškov v primerjavi z metodo mejnih stroškov primernejša za izračun ELL.

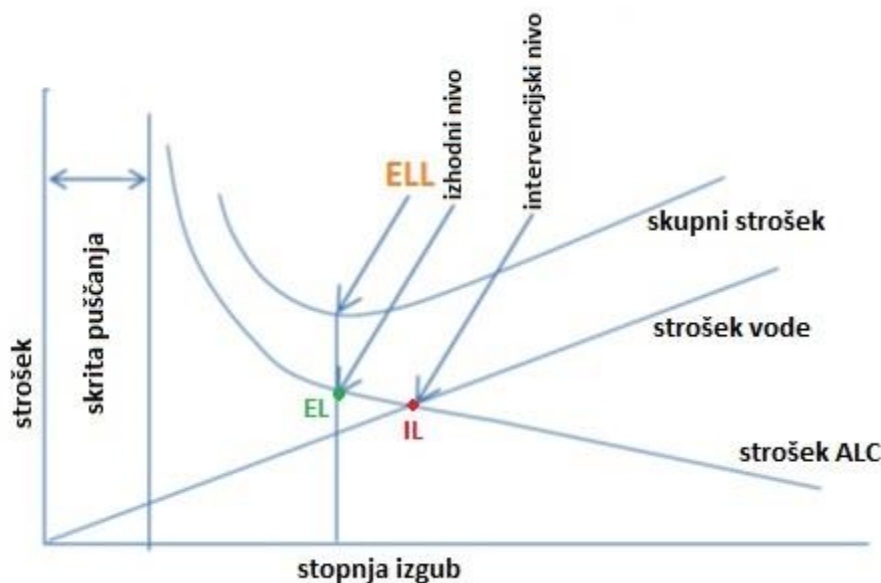
Če primerjamo SRELL in LRELL, vidimo, da je vrednost LRELL veliko višja od vrednosti SRELL. To lahko pripišemo položnosti krivulje, ki govori o elastičnosti ponudbe in povpraševanja. Povpraševanje je elastično takrat, kadar je procentualna sprememba količine večja od procentualne spremembe cene (Rebernik, 1999). Enako velja za elastičnost ponudbe. V našem primeru gre za to, da že majhna sprememba stroškov povzroči precejšnjo spremembo izgub. Kadar govorimo o stroških vode, so izgube premo sorazmerne s temi stroški, torej je elastičnost povpraševanja konstantna. Če pa pogledamo stroške aktivne kontrole tesnosti omrežja (pri SRELL) ter stroške obnov in vzdrževanja (pri LRELL), pa vidimo, da sta ti dve krivulji med seboj primerljivi. Ti stroški so pri zelo nizkih izgubah že precej 'neelastični'. To pomeni, da pri nizkih vrednostih izgub velika sprememba stroškov povzroči le majhno spremembo pri samih izgubah, medtem ko je krivulja pri večjih izgubah položnejša in vpliv povečanja/zmanjšanja stroškov na izgube bistveno bolj izrazit.

4.5.2 Razprava

Temeljni članek za nastanek magistrskega dela nosi naslov *Calculating Economic Levels of Leakage*, v katerem Pearson in Trow (2005) kratko in jedrnato predstavita osnovna izhodišča, ki se navezujejo na pojmovanje ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub, podrobnejše informacije pa je bilo potrebno poiskati v številni drugi strokovni in znanstveni (tuji) literaturi.

Pri izračunu SRELL in LRELL so se najprej pojavile težave pri samem zbiranju in obdelavi podatkov, da so le-ti ustrezno pripravljene za postopek določitve ELL. To so podatki, ki se konstantno spreminjajo, kar je izredno težko upoštevati pri samih izračunih. Na razpolago je bilo še ravno dovolj podatkov za aproksimacijo funkcij stroškov aktivne kontrole tesnosti vodovodnega omrežja ter stroškov obnov in investicijskega vzdrževanja, ki so osnova za izračun ELL.

Od vseh možnih pristopov je za obravnavan sistem bila najbolj optimalna metoda skupnih stroškov. Pri implementaciji le-te v naš praktični primer je bilo ugotovljeno, da presečišče krivulje stroškov aktivne kontrole tesnosti pri SRELL (oz. krivulje stroškov obnov in vzdrževanja pri LRELL) ter krivulje stroškov vode ne sovпада z minimumom krivulje skupnih stroškov, kot je to v teoretičnem delu naloge prikazano na *Sliki 21*. Na ta način obravnava določanje ELL večina strokovne oz. znanstvene literature. Da je dvom v merodajnost metode upravičen, z uveljavitvijo novih pojmov, kot sta 'Intervention level' in 'Exit level', potrdi v svojem prispevku tudi Smout s svojimi sodelavci (2010), s čimer odpre novo področje tolmačenja ekonomsko sprejemljivih izgub.

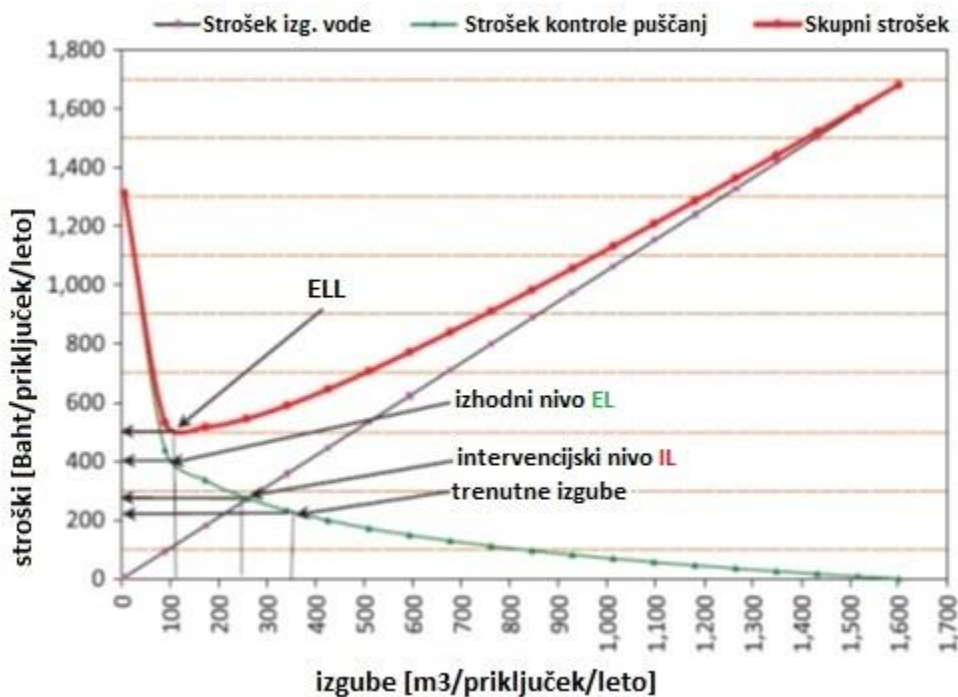


Slika 36: Določitev ELL (Smout et al., 2010)

Figure 36: Economic Level of Leakage Calculation (Smout et al., 2010)

Ta način tolmačenja ELL sta v svojem prispevku že upoštevala Shafiqul Islam in Singh Babel (2013), zato bi bilo v bodoče smiselno razdelati metodo skupnih stroškov tako, da se upošteva sledeče:

- Presečišče krivulje aktivne kontrole tesnosti omrežja (pri SRELL) in krivulje stroškov vode določa t.i. 'intervencijski nivo' (angl. intervention level). To je tista stopnja vodnih izgub, pri kateri prične upravljavec vodooskrbnega sistema s preverjanjem tesnosti, iskanjem in lociranjem puščanj ter popravilom okvar. Pričetek aktivnosti ALC bazira na zaznanih prekomernih puščanjih. Pri izgubah, večjih od te točke, je strošek izgubljene vode večji od stroška aktivne kontrole tesnosti vodovodnega omrežja.
- Minimum krivulje skupnih stroškov določa ekonomsko sprejemljive izgube (ELL).
- Pri izgubah, pri katerih nastopi ELL, nastopi tudi t.i. 'izhodni nivo'. Kaj to natanko pomeni, bo potrebno še podrobneje raziskati, je pa to točka na krivulji stroškov aktivne kontrole tesnosti omrežja, ko le-ta s področja elastičnosti preide v področje relativne neelastičnosti, zato je smiselno, da na tej točki upravljavec vodovoda preneha z nadaljnjimi aktivnostmi aktivnega zmanjševanja puščanj, saj še bolj intenzivno izvajanje teh ni več ekonomsko ali poslovno upravičeno.



Slika 37: Ekonomska analiza vodnih izgub na konkretnem primeru – Bangkok (Shafiqul Islam, Singh Babel, 2013)

Figure 37: Economics of leakage for current operation – Bangkok
(Shafiqul Islam, Singh Babel, 2013)

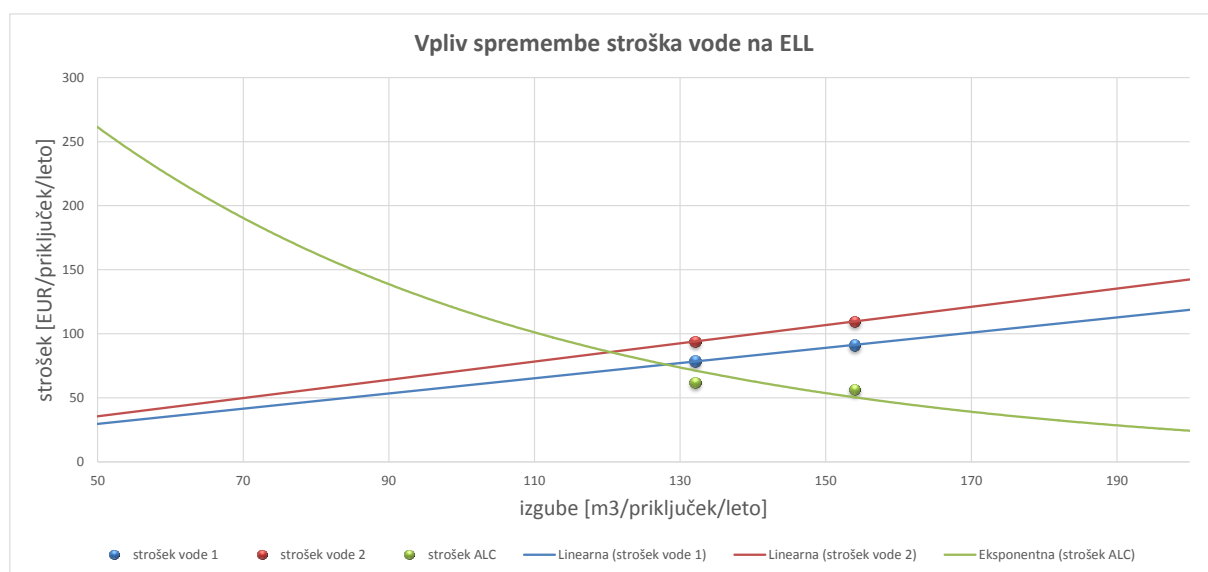
Če bi ta spoznanja želeli prenesti na naš primer določitve SRELL, bi rekli, da nastopi IL (intervention level) pri 121,6 m³/priključek/leto (presečišče krivulje stroška ALC in krivulje stroška vode), EL (exit level) in ELL pa pri 135,2 m³/priključek/leto (minimum krivulje skupnih stroškov). Ti dve vrednosti žal med sabo nista primerljivi, ker mora biti vrednost IL praviloma večja od EL in ELL. Napako oz. odstopanje v izračunu gre pripisati slabi aproksimaciji funkcije skupnih stroškov (nepravilen rezultat EL oz. ELL!), kar je posledica tega, da je bilo na razpolago zelo malo podatkov. Z intenzivnejšim spremljanjem obratovanja vodovodnega sistema se v prihodnosti predvideva razširitev nabora podatkov in s tem večja učinkovitost operiranja z njimi, na ta način pa tudi boljše možnosti za določanje ciljnih vrednosti ELL.

Indikatorja EL in ELL (minimum krivulje skupnih stroškov) predstavljata tiste izgube, pri katerih gre za najbolj optimalno ekonomsko učinkovitost procesa zmanjševanja vodnih izgub, indikator IL (presečišče krivulje stroškov ALC ter krivulje stroška vode pri SRELL oz. presečišče krivulje stroškov dolgoročnih ukrepov ter krivulje stroška vode pri LRELL) pa predstavlja maksimalne izgube, pri katerih še lahko govorimo o procesu ekonomsko ustreznega zmanjševanja vodnih izgub. Ko presežemo vrednost IL (strošek izgubljene vode na tej točki preseže strošek vlaganj v zmanjševanje vodnih izgub), pademo iz cone ustreznega izvajanja

dejavnosti na področju zmanjševanja vodnih izgub. Na podlagi zgornjih grafikonov ter v tem odstavku navedenih dejstev lahko ugotovimo, da naj bi bilo 'varno območje' delovanja na področju zmanjševanja vodnih izgub med vrednostima EL (ELL) in IL.

4.5.3 Ugotovitve o veljavnosti hipotez

Uvodoma je bilo v okviru hipoteze predpostavljeno, da se za slovenski prostor predvideva precej visok indeks ELI. S pregledom strokovne literature na to temo je bilo ugotovljeno, da je o indeksu ELI zelo malo napisanega, prav tako le-ta ni do potankosti definiran. Bolj kot ELI je smiselno uporabljati ELL, ekonomsko sprejemljive vodne izgube. Skladno s hipotezo lahko rečemo, da so te za slovenski prostor res razmeroma visoke. To je zato, ker je strošek vode razmeroma nizek. Na strošek vode v grobem vplivajo razpoložljivost in kvaliteta vodnih virov, način priprave pitne vode ter distribucija le-te v omrežje. Če se že eden od teh dejavnikov, ki so trenutno razmeroma ugodni, spremeni (npr. poveča se cena elektrike za črpanje vode), se takoj poveča strošek vode in dobimo novo funkcijo, ki je manj 'elastična'. Novo presečišče obeh krivulj je pri manjših izgubah, torej je ciljna vrednost ELL nižja, sam skupni strošek pa večji.



Grafikon 9: Prikaz spremembe presečišča zaradi povečanja stroška vode

Graph 9: Change of the intersection due to increased water costs

Kratkoročne poslovno sprejemljive izgube so odvisne predvsem od stroška aktivnega zmanjševanja puščanj, ki variira glede na trenutno obnašanje vodovodnega sistema in trenutno stanje puščanj. Zato je stroške aktivne kontrole puščanj za prihajajoče obdobje zelo težko določiti oz. jih ustrezno predvideti, s tem pa je tudi težko določiti SRELL za obdobje nekaj let. Smiselno je določiti ciljno vrednost SRELL za obdobje 1-2 let, pri tem pa sproti spremljati izgube ter na podlagi sprotnih analiz

stroška izgubljene vode in stroška aktivne kontrole puščanj postavljati sprotne ciljne vrednosti SRELL. Podobno velja za LRELL – čeprav se določa za obdobje 25-30 let, je prav, da se vsaj na nekaj let (praviloma na pet let) preveri trenutno stanje, da se prepozna presek realizacije načrtanih ukrepov v zvezi z zmanjševanjem vodnih izgub in na nek način 'posodobi' ciljna vrednost LRELL.

Tako kot se pojavljajo dvomi o načinu interpretacije vodnih izgub v procentualni obliki za posamezni vodovodni sistem, lahko podobno ugotovimo tudi za indeks ILI. Zakonodaja obravnava ciljno vrednost 2 kot še smiseln kriterij za slovenski prostor, kar pa na podlagi konkretnega izračuna ne moremo potrditi. Pri tej vrednosti bi morale izgube na vodovodnem sistemu Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki znašati komaj slabih 86 m³/priključek/leto, ker je za tretjino manj od dobljene vrednosti SRELL in skoraj za polovico manj od določene vrednosti LRELL. Kriterij, ki upošteva indeks ILI, je glede na vrednosti ELL bistveno preostro zastavljen in dejansko nima nobene uporabne vrednosti.

Ekonomsko sprejemljive izgube lahko računamo po metodi skupnih stroškov ter po metodi mejnih stroškov. Pogostejša je uporaba prve metode, medtem ko je druga problematična predvsem s stališča določitve mejnih stroškov. Kadar je mejni strošek vode razmeroma konstanten, je izračun ELL odvisen samo od mejnega stroška aktivnosti, vezanih na proces zmanjševanja vodnih izgub. Pri SRELL je to mejni strošek aktivne kontrole puščanj, pri LRELL pa strošek dolgoročnih aktivnosti, vezanih na zmanjševanje vodnih izgub (optimizacija tlakov, obnove vodovoda, drugi vzdrževalni stroški). Kot smo opazili, dobimo pri določitvi LRELL po metodi mejnih stroškov precej visoko vrednost, ki sicer ne sovпада v okvir ostalih dobljenih vrednosti, vendar je prav, da jo omenimo. Visoka vrednost LRELL je namreč (glede na karakteristike vodnatosti vodnih virov v slovenskem prostoru in glede na razmeroma nizke stroške priprave in distribucije vode) z ekonomskega stališča povsem sprejemljiva.

Praktični izračun je bil izveden za celoten vodovodni sistem Velenje – Šoštanj – Šmartno ob Paki, smiselno pa bi bilo določiti ELL za posamezne DMA-je. Tako bi se lahko lotili zmanjšanja vodnih izgub bolj sistematično (glede na prioritete), rezultati pa bi bili še boljši in tudi hitreje opazni.

Obstaja veliko različnih načinov, kako se lotiti zmanjšanja vodnih izgub. Določitev ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub lahko predstavlja zelo pomemben dodaten indikator, kakšno je stanje nekega vodovodnega sistema, hkrati pa si lahko na podlagi analize stroškov in izračuna ELL načrtamo ustrezne smernice pri (še kako kompleksnem) procesu zmanjševanja vodnih izgub.

5 ZAKLJUČEK

V procesu iskanja strokovnih in znanstvenih člankov na temo ekonomsko sprejemljivih vodnih izgub je bilo ugotovljeno, da v slovenski literaturi pravzaprav ne moremo najti ničesar, kar bi opredeljevalo ELL, medtem ko je tuje literature kar precej, čeprav gre večinoma le za teoretične pristope, medtem ko uporabo izračuna ELL v praksi le redkokdaj zasledimo, če pa že, pa je izračun omejen zgolj na kratkoročne ekonomsko sprejemljive izgube.

Kot že rečeno, razvrščamo ekonomsko sprejemljive izgube v tri kategorije – kratkoročne, dolgoročne in trajnostne. Pri kratkoročnih (SRELL) operiramo s stroški izgubljene vode ter s stroški aktivne kontrole tesnosti vodovodnega omrežja, pri dolgoročnih (LRELL) s stroški aktivnosti, ki jih postavljamo v daljši časovni okvir (t.j. optimizacija tlakov in investiranje v obnovo vodovoda), medtem ko pri trajnostnih (SELL) poleg ukrepov za določanje LRELL upoštevamo še bolj kompleksne stroške, kot so okoljski in družbeni.

Upravljalci javnih vodovodov v slovenskem prostoru se do sedaj z ekonomsko učinkovitostjo zmanjševanja vodnih izgub niso ukvarjali. Gre za nov koncept tolmačenja izgub, ki pa ga bo zaradi pomanjkanja kadra verjetno kar težko uporabljati. Glede na dejstvo, da se nas večina z določanjem in presojo ekonomskih izgub v vodovodnem sistemu srečuje prvič, smo se v magistrski nalogi najprej osredotočili na izračun kratkoročnih ekonomsko sprejemljivih izgub, pri katerih je potrebno najti medsebojno odvisnost vsote stroška izgubljene vode in stroška aktivne kontrole puščanj od stopnje vodnih izgub. Na podlagi te funkcije lahko določimo minimum vsote. Stopnja izgub, pri kateri dosežemo ta minimum, so kratkoročne poslovno sprejemljive izgube.

Dobljen rezultat lahko primerjamo tudi z drugimi kazalniki, ki jih je potrebno skladno z zakonodajnimi okviri spremljati. Takšen primer je indeks ILI, za katerega je v Operativnem programu opredeljeno, da naj bi znašal manj kot 2. To pomeni, da naj bi lahko bile dejanske letne vodne izgube (CARL) kvečjemu dvakrat večje od neizogibnih letnih vodnih izgub (UARL). Za upravljavca je vsekakor izziv, da primerja obe ciljni vrednosti in se opredeli glede realnosti doseganja vsakega od obeh zastavljenih ciljev.

Glede na to, da je obravnavano področje v slovenskem prostoru šele v povojih, je prav, da smo si v pričetku zastavili kot cilj določitev kratkoročnih poslovno sprejemljivih vodnih izgub. Poleg SRELL smo se poglobili tudi v določitev LRELL. Sedaj, ko razumemo koncept izračuna obojih, tako SRELL kot LRELL, bi se bilo smiselno v nadaljevanju lotiti še trajnostnega ELL, čeprav je ta pojem že precej kompleksen, saj je potrebno v izračunu upoštevati tudi posredni vpliv tako okoljskih kot družbenih vidikov.

Ker se smatra, da je v slovenskem prostoru v okviru izvajanja obveznih gospodarskih javnih služb oskrbe s pitno vodo precejšnje pomanjkanje kadra, katerega prioriteta naloga naj bi bila zmanjševanje vodnih izgub s poudarkom na presoji ekonomsko sprejemljivih izgub, bi bilo dobro razmisliti o uporabniku prijazni aplikaciji, ki bi omogočala na osnovi vnosa osnovnih tehničnih in obratovalnih podatkov izračun kazalnikov, kot so UARL, ILI in v končni fazi tudi ELL⁴⁶. Poslovno sprejemljive vodne izgube so stvar področja ekonomije ter procesa izvajanja oskrbe s pitno vodo, zato bi bilo smiselno, da bi pri izdelavi takšne aplikacije sodelovala strokovnjak s področja ekonomije ter strokovnjak s področja upravljanja javnih vodovodov oziroma oskrbe s pitno vodo.

Tekom prebiranja literature o ekonomsko sprejemljivih vodnih izgubah se vseskozi srečujemo z dejanskimi izgubami, čeprav bi moral biti cilj vsakega upravljavca javnega vodovoda obravnavati celoten koncept neprodane vode, poleg v nalogi obravnavanih ukrepov rehabilitacije vodovodnega omrežja in aktivnega iskanja vodnih izgub na le-tem pa se je potrebno zavedati tudi številnih drugih ukrepov, ki so pomembni za optimizacijo obratovanja vodooskrbnih sistemov.

Cilj magistrske naloge je bil razdelati medsebojno odvisnost med različnimi vrstami stroškov, ki se navezujejo na proces zmanjševanja vodnih izgub, in na podlagi tega določiti ekonomsko sprejemljive vodne izgube. Tako zastavljena ciljna vrednost ELL je izhodišče za izbiro, formiranje, planiranje in na koncu realizacijo izbranih ukrepov, katerih učinke je potem nujno potrebno spremljati in ustrezno analizirati, da bomo lahko v prihodnosti zmanjševanje vodnih izgub oz. neprodane vode uspešno sistematično obvladovali.

⁴⁶ V Italiji so za ta namen že razvili tako programsko orodje. Gre za neke vrste sistem za podporo odločanju (angl. decision support system), aplikacijo pa so poimenovali PALM+. PALM+ v Italiji že uporabljajo v praksi, za namen ekonomsko učinkovitega znižanja vodnih izgub (Rogers, Calvo, 2015).

6 SUMMARY

When searching for technical and scientific literature on the economic level of leakage, it was discovered that we could not find anything in the Slovene literature that would define the ELL. However, there is a lot of foreign literature, yet it deals mostly with theorization, while the implementation of the ELL calculation is seen rarely in practice and when it is, the calculation is limited only on the Short Run Economic Level of Leakage.

As has been said before, the economic level of leakage is divided into three categories: Short Run, Long Run and Sustainable ELL. The Short Run ELL (SRELL) deals with water costs and with costs of active leakage control. The Long Run ELL (LRELL) deals with costs of activities that are set within a longer time frame (i.e. pressure management and investment in pipe replacements), while the sustainable ELL (SELL) takes into account the measure of determining the LRELL, as well as more complex costs such as environmental and social costs.

The operators of public water supplies in Slovenia have not been concerned with economic effectiveness of water loss reduction until now. This is a new concept of interpreting losses that will be probably difficult to acquire due to the lack of staff. Considering that most of us met with determination and assessment of economic losses in water supply systems for the first time, we focused first on calculating the Short Run ELL. We need to find a mutual dependence of the amount of water costs and costs of the active leakage control on the level of water losses. We can determine the minimum of the sum on the basis of this function. This level of water losses, where the minimum is achieved, is called the Short Run ELL.

The result can be compared also to other indicators that need to be followed in accordance with the legislative framework. Such an example is the ILI index, which should be lower than 2, according to the Operational programme. This means that Current Annual volume of Real Losses (CARL) could be twice as big as Unavoidable Annual Real Losses (UARL) at most. It is definitely a challenge for the operator to compare both target values and to define the possibility of achieving each of the two objectives pursued.

Considering the area in question is still in its early stages, it is right that we first aimed at determining the Short Run Economic Level of Leakage. Together with the SRELL, we also further investigated the the LRELL designation. Now that we understand the concept of calculating the two designations, the SRELL and the LRELL, it would be reasonable to continue with the Sustainable ELL, although the concept is quite complex because the indirect influence of environmental and social aspects has to be included in the calculation.

It is believed that in Slovenia there is a significant lack of staff within the obligatory public utilities that provide drinking water supply, whose priority should be the reduction of water losses, with a particular emphasis on the estimation of the economic level of leakage. Therefore, it would be necessary to think about a user-friendly application, which would enable the calculation of indicators such as UARL, ILI, and even ELL⁴⁷ based on the entry of technical and operating data. The economic level of leakage is a matter of the fields of economy and drinking water supply, which is why it would be reasonable to include an expert in the field of economy and an expert in the field of operating public water supplies and drinking water supply.

While reading literature about the economic level of leakage, we continually encounter real losses, although the objective of every operator of public water supply should be dealing with the whole concept of non-revenue water. Together with the discussed measures of rehabilitation of the water supply network and an active search of water losses on it, it is necessary to be aware also of various other measures that are important for the optimisation of water supply operation systems.

The purpose of this Master's thesis was to define a mutual dependence of various types of costs that are connected with the process of water loss reduction and on the basis of this determine the economic level of leakage. The targeted value of the ELL set in such a way is a starting point for choosing, forming, planning and finally realising the chosen measures. Their effects then need to be followed and properly analysed, so that we will achieve systematic and successful management of the reduction of water losses and non-revenue water in the future.

⁴⁷ Such a software tool has been already developed in Italy. It is some kind of decision support system and the application has been named PALM+. It is already in use in Italy for a successful economic reduction of water losses. (Rogers, Calvo, 2015).

VIRI

Agencija RS za okolje, Urad za meteorologijo, Urad za hidrologijo in stanje okolja. 2012. Razvoj suše v letu 2012: 12 str.

<http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Susa%20v%20Sloveniji%202012.pdf> (Pridobljeno 13. 3. 2016.)

Alkasseh, J. M. A., Adlan, M. N., Abustan, I., Hanif, A. B. M. 2015. Achieving an economic leakage level in Kinta Valley. *Water Utility Journal* 11: 31 - 47.

http://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ_2015_11_03.pdf (Pridobljeno 3. 5. 2016.)

Andotehna d.o.o. 2015.

www.andotehna.si (Pridobljeno 26. 6. 2015.)

Ascott, M. J., Gooddy, D. C., Lapworth, D. J., Stuart, M. E. 2016. Phosphate dosing of mains water: novel approaches to water loss reduction through leakage detection and policy. Abstract. In: *Water Loss 2016*, Bangalore, India, 1-3 Feb 2016. Nerc - Science of the environment: 3 str.

<http://nora.nerc.ac.uk/513210/> (Pridobljeno 3. 5. 2016.)

Ashton, C. H., Hope, V. S. 2001. Environmental valuation and the economic level of leakage. *Urban Water* 3: 261 - 270.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462075801000462> (Pridobljeno 4. 9. 2014.)

Astra. 2016.

<http://astra.si/category/ekonomija/mikroekonomija/> (Pridobljeno 9. 4. 2016.)

Banovec, P. 2001. Povezovanje sistema vodnogospodarskih podatkov s sistemom standardnih klasifikacij. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba P. Banovec): 126 str.

Banovec, P., Cerk, M., Cilenšek, A. 2013. WATERLOSS – orodje za podporo odločanju pri izboru ukrepov za zmanjšanje neprodane vode (NRW) – Prispevek k varovanju vodnih virov. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 48 str.

<http://waterloss.vokas.si> (Pridobljeno 1. 2. 2016.)

Banovec, P., Cerk, M., Cilenšek, A., Kompare, B. 2013. Zmanjševanje vodnih izgub z uporabo inteligentnih sistemov za podporo odločanju. V: Zbornik 3. problemske konference komunalnega gospodarstva. Podčetrtek, 19. in 20. september 2013. Ljubljana, GZS, Zbornica komunalnega gospodarstva: str. 139 - 146.

Briscoe, J. 1996. Water as an economic good: the idea and what it means in practice, a paper presented at the world congress of the international commission on irrigation and drainage, Cairo, Egypt, September. Washington, The World Bank: 13 str.

CC-WARE. 2016.

<http://www.ccware.eu> (Pridobljeno 27. 3. 2016.)

Choi, T., Kang, K., Koo, J. 2015. Efficiency Evaluation of Leakage Management Using Data Envelopment Analysis. Journal AWWA 107, 1: 1 - 26.

http://www.awwa.org/publications/journal-awwa/articleid/48268517/issueid/48268518.aspx?getfile=/documents/dcdfiles/48268517/jaw201501ch oi_pr.pdf (Pridobljeno 3. 5. 2016.)

Costa Morais, D., Teixeira de Almeida, A. 2006. Group decision – making for leakage management strategy of water network. Resources Conservation and Recycling 52: 441 - 459.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344907001449> (Pridobljeno 4. 9. 2014.)

Delgado, D. M. 2008. Infrastructure Leakage Index (ILI) as a Regulatory and Provider Tool. Arizona, University of Arizona, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics, College of Engineering: 25 str.

<http://wsp.arizona.edu/sites/wsp.arizona.edu/files/uawater/documents/Fellowship200708/Delgado.pdf> (Pridobljeno 4. 9. 2014)

DVGW W 392. 2003. Rohrnetzinspektion und Wasserverluste - Maßnahmen, Verfahren und Bewertungen, Mai 2003.

Ehsan Shafiee, M., Berglund, A., Zechman Berglund, E., Downey Brill, E., Mahinthakumar, G. 2015. Parallel Evolutionary Algorithm for Designing Water Distribution Networks to Minimize Background Leakage. Journal of Water Resources Planning and Management, Volume 142, Number 5: 7 str.

<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29WR.1943-5452.0000601> (Pridobljeno 16. 5. 2016.)

European Environment Agency. 2016.

<http://www.eea.europa.eu/> (Pridobljeno 16. 5. 2016.)

European Commission. 2013. Resource and Economic Efficiency of Water distribution Networks in the EU (Final Report): 638 str.

<http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/Final%20REE%20Report%20Oct%202013.pdf>

(Pridobljeno 6. 2. 2016.)

European Commission. 2015. Good practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM (EU Reference document - Main Report): 114 str.

https://circabc.europa.eu/sd/a/ec13ae01-7800-4114-8d72-98827b509e18/Good%20Practices%20on%20Leakage%20Management%20-%20Case%20Study%20document_Final.pdf (Pridobljeno 6. 2. 2016.)

Fallis, P., Hübschen, K., Oertlé, E., et al. 2011. Guidelines for Water Loss Reduction: 228 str.

<http://www.waterloss-reduction.com/index.php?id=37> (Pridobljeno 27. 1. 2016.)

Fanner, P. V., Sturm, R., Thornton, J. et al. 2007. Leakage Management Technologies. Washington, Awwa Research Foundation, U.S. Environmental Protection Agency: 345 str.

Fanner, P. 2002. Evaluating Water Loss and Planning Loss Reduction Strategies (AWWARF Research Foundation Project). In: Leakage Management - A Practical Approach (Lemosos, Cyprus, 20-22 November 2002): str. 304.

Gspan, M. 2005. Tehnično ekonomska analiza stanja in predlog rehabilitacije vodovodnega omrežja. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Gspan): 141 str.

IAWD – Danube Water Program. 2016.

<http://sos.danubis.org/> (Pridobljeno 27. 3. 2016.)

Inštitut za javne službe. 2015. Primerjalna analiza izvajanja obveznih občinskih gospodarskih javnih služb varstva okolja – 1. faza projektne naloge: 42 str.

Islam, M. S., Babel, M. S. 2012. Economic analysis of leakage in the Bangkok water distribution system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139, 2: 209 - 216.

<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29WR.1943-5452.0000235> (Pridobljeno 3. 5. 2016.)

Kanakoudis, V., Gonelas, K., Tolikas, D. 2010. Basic principles for urban water value assessment and price setting towards its full cost recovery – pinpointing the role of the water losses. IWA Publishing 2011 - *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA/60.1/2011*): 13 str.

DOI:10.2166/aqua.2011.093 (Pridobljeno 26. 1. 2016.)

Kanakoudis, V., Muhammetoglu, H. 2014. Urban Water Pipe Networks Management Towards Non-Revenue Water Reduction: Two Case Studies from Greece and Turkey. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 42(7): 880 - 892.

DOI:10.1002/clen.201300138 (Pridobljeno 14. 5. 2016.)

Kanakoudis, V.K., Tolikas, D.K. 2001. The role of leaks and breaks in water networks: Technical and economical solutions. *Journal of Water Supply, Research and Technology - AQUA*, 50(5): 301 - 311.

https://www.researchgate.net/profile/Vassilis_Kanakoudis/publication/258286054_The_role_of_leaks_and_breaks_in_water_networks_-_Technical_and_economical_solutions/links/004635298882601103000000.pdf/download?version=vtp

(Pridobljeno 16. 5. 2016.)

Kanakoudis, V., Tsitsifli, S., Samaras, P., Zouboulis, A., Banovec, P. 2013. A new set of water losses - related performance indicators focused on areas facing water scarcity conditions. *Desalination and Water Treatment*, 51(13-15): 2994 - 3010.

doi: 10.1080/19443994.2012.748448 (Pridobljeno 14. 5. 2016.)

Kovač, J., Fantozzi, M. 2013. Upravljanje vodnih izgub po metodologiji IWA: pot proti zmanjšanju in uspešnemu nadzoru vodnih izgub. V: Zbornik 3. problemske konference komunalnega gospodarstva. Podčetrtek, 19. in 20. september 2013. Ljubljana, GZS, Zbornica komunalnega gospodarstva: str. 125 – 137.

Lambert A. 1997. Pressure management/leakage relationships: theory, concepts and practical applications. In: *Proceedings of minimizing leakage in water supply/distribution systems*. IQPC Seminar, London, April 1997.

Lambert, A. 2003. Assessing Non-Revenue Water and its Components - A Practical Approach. IWA Water Loss Task Force Water 21, 2: 5 str.

<http://www.studiomarcofantozzi.it/Water%2021%20-%20Article%20No.%202%20-%20Assessing%20NRW.pdf> (Pridobljeno 4. 9. 2014.)

Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., Weimer, D. 1999. A review of performance indicators for real losses from water supply system. Journal of Water Supply, Research and Technology - Aqua 1999 Sep, 48 (6): str. 227 - 237.

http://173.254.28.127/~leakssui/wp-content/uploads/2012/11/1999_LambertBrown-et-al-AQUA-1999M.pdf (Pridobljeno 15. 3. 2016.)

Lambert, A., Hirner, W. 2000. Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. IWA Website: 13 str.

<http://www.joat.co.za/IWA%20Blue%20Pages.pdf> (Pridobljeno 3. 5. 2016.)

Lambert, A. O., Fantozzi, M. 2005. Recent advances in calculating economic intervention frequency for active leakage control, and implications for calculation of economic leakage levels. In: IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance: 8 str.

<http://www.studiomarcofantozzi.it/Recent%20advances%20in%20ELL.pdf> (Pridobljeno 4. 9. 2014.)

Lambert, A. O., Lalonde, A. 2005. Using practical predictions of Economic Intervention Frequency to calculate Short-run Economic Leakage Level, with or without Pressure Management. In: Leakage 2005 Conference Proceedings: 12 str.

https://www.researchgate.net/publication/267564909_Leakage_2005_-_Conference_Proceedings_Using_practical_predictions_of_Economic_Intervention_Frequency_to_calculate_Short-run_Economic_Leakage_Level_with_or_without_Pressure_Management (Pridobljeno 4. 9. 2014.)

Lambert, A. O., McKenzie, R. D. 2002. Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index. Cyprus, IWA Conference 'Leakage Management: A Practical Approach': 16 str.

<http://www.studiomarcofantozzi.it/IWACyprusNov2002Lambert&McKenziepaper.pdf> (Pridobljeno 4. 9. 2014.)

Lenzen, M. et al. 2013. International trade of scarce water. Ecological Economics, 94: 78 - 85.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.06.018> (Pridobljeno 17. 5. 2016.)

Liemberger, R., Brothers, K., Lambert, A., McKenzie, R., Rizzo, A., Waldron, T. 2007. Water loss performance indicators. In: Proceedings of the IWA International Specialised Conference "Water Loss 2007" : str. 1-12.

http://www.miya-water.com/user_files/Data_and_Research/miyas_experts_articles/2_NRW/15_Water%20Loss%20Performance%20Indicators.pdf (Pridobljeno 26. 1. 2016.)

Liemberger, R., McKenzie, R. 2005. Accuracy Limitations of the ILI - Is it an Appropriate Indicator for Developing Countries? In: Proceedings of the IWA Specialised Conference "Leakage 2005" (m): 1 - 8.

http://www.miya-water.com/user_files/Data_and_Research/miyas_experts_articles/2_NRW/02_Accuracy%20Limitations%20of%20the%20ILI%20-%20Is%20it%20an%20Appropriate%20Indicator%20for%20Developing%20Countries.pdf

(Pridobljeno 21. 3. 2016.)

Lim, E., Savic, D., Kapelan, Z. 2015. Development of a leakage target setting approach for South Korea based on Economic Level of Leakage. Procedia Engineering, 119: 120 - 129.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815025321> (Pridobljeno 3. 5. 2016.)

Malm, A., Moberg, F., Rosén, L., Pettersson, T. J. 2015. Cost-Benefit Analysis and Uncertainty Analysis of Water Loss Reduction Measures - Case Study of the Gothenburg Drinking Water Distribution System. Water Resources Management, 29 (15): 5451 - 5468.

DOI 10.1007/s11269-015-1128-2 (Pridobljeno 3. 5. 2016.)

Marunga, A., Zvikomborero, H., Kaseke, E. 2006. Pressure management as a leakage reduction and water demand management tool: The case of the City of Mutare, Zimbabwe. Physics and Chemistry of the Earth, 31: 763 - 770.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147470650600146X> (Pridobljeno 4. 9. 2016.)

McKenzie, R., Seago, C. 2005. Assessment of real losses in potable water distribution systems: some recent developments. IWA Publishing 2005 - Water Science and Technology: Water Supply (5, 1): 30 - 40.

<http://ws.iwaponline.com/content/5/1/33> (Pridobljeno 26. 1. 2016.)

Ministrstvo za okolje in prostor. 2008. Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja 2009 – 2015: 570 str.

http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/nuv_donava_jadran_2015/nacrt_upravljanja_voda.pdf (Pridobljeno 4. 9. 2014.)

Ministrstvo za okolje in prostor. 2015. Osnutek Načrta upravljanja voda za vodno območje Donave za obdobje 2015 – 2021: 299 str.

Ministrstvo za okolje in prostor. 2015. Osnutek Načrta upravljanja voda za vodno območje Jadranskega morja za obdobje 2015 – 2021: 280 str.

Ministrstvo za okolje in prostor. 2010. Program ukrepov upravljanja voda za obdobje 2011 – 2015.

Ministrstvo za okolje in prostor. 2015. Osnutek operativnega programa oskrbe s pitno vodo za obdobje od 2015 do 2020: 100 str.

Munoz-Trochez, C., Smout, I., Kayaga, S. 2010. Incorporating energy use into the economic level of Leakage Model. World Wide Workshop for Young Environmental Scientists: 11 str.

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00521456/document> (Pridobljeno 27. 3. 2016.)

Munoz-Trochez, C. 2011. Inclusion of energy externalities in the economic level of leakage (ELL) model. A Master's Thesis. Loughborough, University Leicestershire (Publisher C. Munoz-Trochez): 211 str.

<https://dspace.lboro.ac.uk/2134/9533> (Pridobljeno 27. 3. 2016.)

Nemec, A. 2012. Reševanje vodnih izgub vodovoda Laško. Diplomaska naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za logistiko (samozaložba A. Nemec): 57 str.

NERA Economic Consulting. 2016.

www.nera.com (Pridobljeno 27. 3. 2016.)

Ofwat. 2016.

<http://www.ofwat.gov.uk/> (Pridobljeno 27. 3. 2016.)

Pearson, D., Trow, S. W. 2005. Calculating Economic Levels of Leakage. In: Leakage 2005 Conference Proceedings: 16 str.

<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Calculating+Economic+Levels+of+Leakage#1> (Pridobljeno 30. 7. 2014.)

Raftelis, G. A. 2014. Water and Wastewater Finance and Pricing: The Changing Landscape, Fourth Edition. Boca Raton, CRC Press - Taylor & Francis Group: 596 str.

Rebernik, M. 1999. Ekonomika podjetja. Ljubljana, Gospodarski vestnik: 445 str.

RPA - Risk & Policy Analysts. 2016.

<http://rpald.co.uk/> (Pridobljeno 27. 3. 2016.)

Rogers, D., Calvo, B. 2015. Defining the Rehabilitation Needs of Water Networks. Procedia Engineering, 119: 182-188.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.873> (Pridobljeno 3. 5. 2016.)

Rošer, P. 2013. Optimizacija vodomernih mest kot eden izmed ukrepov zmanjševanja vodnih izgub. V: Zbornik 3. problemske konference komunalnega gospodarstva. Podčetrtek, 19. in 20. september 2013. Ljubljana, GZS, Zbornica komunalnega gospodarstva: str. 147 – 155.

Ružič, T., Sila, M. 2015. Splošni protokol ugotavljanja vodnih izgub s terminskim načrtom. Osebna komunikacija. (4. 4. 2016.)

Schandl, H. et al. 2011. The Resource Efficiency: Economics and Outlook (REEO) for Asia and the Pacific. Bangkok, United Nations Environment Programme: 265 str.

Sewerin - technologies for leak detection. 2015.

<http://www.sewerin.co.uk/products/water-leak-location> (Pridobljeno 25. 6. 2015.)

Seago, C. J., Mckenzie, R. S., Liemberger, R. 2005. International Benchmarking of Leakage from Water Reticulation Systems. In: Proceedings of the IWA Specialised Conference "Leakage 2005": 13 str.

http://www.miya-water.com/user_files/Data_and_Research/miyas_experts_articles/2_NRW/06_International%20Benchmarking%20of%20Leakage%20from%20Water%20Reticulation%20Systems.pdf (Pridobljeno 21. 3. 2016.)

Smout, I.K., Kayaga, S.M., Munoz-Trochez, C. 2010. Adapting the economic level of leakage concept to include carbon emissions, and application with limited data. In: IWA World Water Congress 2010, Montreal, Canada, 19-24 September: 12 str.

<https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/6669/1/Smout%20.pdf> (Pridobljeno 9. 5. 2016.)

Steinman, F. 1999. Hidravlika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 295 str.

Študentski net – Građiva. 2016.

http://studentski.net/gradivo/upr_fmng_mn1_evm_sno_temelji_ekonomije_01?r=1 (Pridobljeno 4. 5. 2016.)

Tabesh, M., Asadiani Yekta, A.H. 2005. A Software Tool for Non-Revenue Water Calculations in Urban Water Systems in Conjunction with Hydraulic and GIS Models. In: Proceedings of the IWA Specialised Conference Leakage 2005, Issue 1980: 1 - 11.

<http://rash.apanela.com/tf/leakage/A%20Software%20Tool%20for%20Non-Revenue%20Water%20Calculations.pdf> (Pridobljeno 26. 1. 2016.)

Tabesh, M., Asadiani Yekta, A. H., Burrows, R. 2009. An integrated model to evaluate losses in water distribution systems. Water Resources Management 23: 477 - 492.

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11269-008-9284-2#/page-1> (Pridobljeno 4. 9. 2014.)

Tripartite group. 2002. Best practice principles in the economic level of leakage calculation: 154 str.

http://www.ofwat.gov.uk/publications/commissioned/rpt_com_tripartitestudybstpractprinc.pdf

(Pridobljeno 8. 8. 2014.)

Uredba o metodologiji za oblikovanje cen storitev obveznih občinskih gospodarskih javnih služb varstva okolja. 2012. Uradni list RS št. 87/2012 in 109/2012 z dne 16. 11. 2012.

Uredba o oskrbi s pitno vodo. Uradni list RS št. 88/2012 z dne 23. 11. 2012.

Vicente, D. J., Garrote, L., Sanchez, R., Santillan, D. 2015. Pressure Management in Water Distribution Systems: Current Status, Proposals, and Future Trends. Journal of Water Resources Planning and Management: 13 str.

[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000589](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000589) (Pridobljeno 26. 1. 2016.)

Waterloss UL portal. 2015.

<http://waterloss.vokas.si> (Pridobljeno 1. 2. 2016.)

Zakon o gospodarskih javnih službah. Uradni list RS št. 32/1993 z dne 17. 6. 1993.

Zakon o varstvu okolja. Uradni list RS št. 41/2004 z dne 22. 4. 2004.

Zakon o vodah. Uradni list RS št. 67/2002 z dne 26. 7. 2002.

Zieburtz, B., Staff, A. 2012. Principles of Water Rates, Fees, and Charges: M1 (Vol. 1). Denver, American Water Works Association: 380 str.