Integralni model za povećanje učinkovitosti javne vodoopskrbe

Poljak, Davor

Doctoral thesis / Disertacija

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:136270

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

Davor Poljak

INTEGRALNI MODEL ZA POVEĆANJE UČINKOVITOSTI JAVNE VODOOPSKRBE

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

Davor Poljak

INTEGRALNI MODEL ZA POVEĆANJE UČINKOVITOSTI JAVNE VODOOPSKRBE

DOKTORSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić

Zagreb, 2020.

University of Zagreb

Faculty of mechanical engineering and naval architecture

Davor Poljak

AN INTEGRAL MODEL FOR INCREASING PUBLIC WATER SUPPLY EFFICIENCY

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisor:

Nedeljko Štefanić, PhD Full Professor

Zagreb, 2020.

PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU

UDK:	628.1
Ključne riječi:	Vodoopskrba, Učinkovitost vodoopskrbe, Održivost vodoopskrbe, KPI vodoopskrbe, Lean menadžment, Green menadžment, Industrija 4.0;
Znanstveno područje:	Tehničke znanosti
Znanstveno polje:	Strojarstvo
Institucija u kojoj je rad izrađen:	Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu
Mentor rada:	Prof. dr.sc. Nedeljko Štefanić
Broj stranica:	216
Broj slika:	63
Broj tablica:	30
Broj korištenih bibliografskih jedinica:	177
Datum Obrane:	06.03.2020.
Povjerenstvo:	Prof. dr.sc. Dragutin Lisjak (FSB, Zagreb) - predsjednik Prof. dr.sc. Nedeljko Štefanić (FSB, Zagreb) - mentor Prof. dr.sc. Nedjeljko Perić (FER, Zagreb) - član
Institucija u kojoj je rad pohranjen:	Fakultet strojarstva i brodogradnje, Nacionalna sveučilišna knjižnica, Zagrebu

ZAHVALA

Iskreno zahvaljujem svom mentoru Prof. dr. sc. Nedeljko Štefaniću na korisnim smjernicama, dobrim savjetima i trudu uloženom u višestruko čitanje i provjeru sadržaja rada, a posebno na prijateljskom ozračju i spontanosti u vremenu koje smo zajedno proveli analizirajući problematiku kojom se rad bavi.

Zahvaljujem ostalim članovima povjerenstva Prof. dr. sc. Dragutinu Lisjaku i Prof. dr.sc. Nedjeljku Periću na korisnim primjedbama i sugestijama čime su značajno doprinijeli da ovaj rad poprimi svoj konačni oblik.

Zahvaljujem kolegama sa Zavoda za industrijsko inženjerstvo, doc. dr. sc. Hrvoju Cajneru, dr. sc. Nataši Tošanović, dr. sc. Miri Hegediću i Mihaelu Gudlinu na podršci i savjetima, koji su osim za znanstvene teme uvijek našli vremena za korisne razgovore i rasprave proizašle iz mojih praktičnih stručnih iskustava. Vrijeme provedeno na poslijediplomskom studiju i izradi ovog rada donijelo mi je mnogo dragocjenih iskustava i motivacije za daljnji rad.

Osjećam potrebu zahvaliti brojnim kolegama i suradnicima koji su prošli kroz moj radni vijek neprestano me motivirajući i potičući na izgrađivanje ljubavi prema struci i znanosti. Oni su značajno utjecali na moj put koji je u konačnici doveo do realizacije ovoga rada, a zasigurno će se ovdje sami prepoznati.

Od srca zahvaljujem supruzi Dunji na motivaciji i podršci. Zajedno smo prošli ključna razdoblja života i zajednički donijeli sve odluke tijekom mog stručnog i znanstvenog usavršavanja čija je kruna ovaj rad koji posvećujem njoj i mojoj djeci, Nataši i Karlu.

SADRŽAJ

PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU I

ZAHVALA II

SADRŽAJ III

PREDGOVOR VIII

SAŽETAK IX

SUMMARY XI

KLJUČNE RIJEČI XIII

KEY WORDS XIII

POPIS SLIKA XIV

POPIS TABLICA XVII

POPIS OZNAKA XIX

POPIS KRATICA XX

1. UVOD 1

1.1. Motivacija za istraživanje 2

1.2. Ciljevi i hipoteza istraživanja 3

1.3. Plan istraživanja i metodologija rada 4

1.4. Očekivani znanstveni doprinos 6

1.5. Pregled dosadašnjih istraživanja 6

1.6. Struktura rada 7

2. JAVNA VODOOPSKRBA 9

2.1. Povijest i razvoj sustava javne vodoopskrbe 9

2.2. Javna vodoopskrba 10

2.3. Održivost sustava javne vodoopskrbe 16

2.4. Učinkovitost sustava javne vodoopskrbe 18

2.5. Ključni pokazatelji uspješnosti javne vodoopskrbe 23
2.6. Stvarni gubici vode u vodoopskrbnim sustavima 29
2.7. DMA Zone 35
2.8. Detekcija i lociranje gubitaka vode 37
2.9. Primjeri dobre vodoopskrbne prakse 40
2.10. Zakonodavni okvir 41
3. LEAN & GREEN MENADŽMENT 44
3.1. Povijest Lean menadžmenta 48
3.2. Gubici prema Lean menadžmentu 50
3.3. Principi Lean menadžmenta 54
3.4. Primjena Lean menadžmenta u djelatnosti javne vodoopskrbe 57
3.5. Alati Lean menadžmenta 58
3.5.1. Kaizen 59
3.5.2. 5S metoda 62
3.5.3. Povlačenje 64
3.5.4. TPM - Potpuno produktivno održavanje 65
3.5.5. Mapiranje toka vrijednosti – VSM 67
3.5.6. JIT – upravo na vrijeme 68
3.5.7. Brza izmjena alata - SMED 69
3.5.8. Poka Yoke 71
3.5.9. Proizvodnja u ćelijama 71
3.5.10. Standardni rad 72
3.5.11. Metoda 5 puta zašto 73
3.5.12. Preventivno održavanje 74
3.5.13. KPI - Postavljanje ciljeva 74
3.5.14. Kanban 75

3.5.15. A3 Izvještaj ... 76
3.6. Green menadžment ... 77
3.6.1. Održivo poslovanje ... 79
3.6.2. Društveno odgovorno poslovanje ... 80
3.6.3. Gubici prema Green menadžmentu ... 82
3.6.4. Standardi sustava upravljanja okolišem ... 82
3.7. Alati Green menadžmenta ... 83
4. DIGITALIZACIJA POSLOVANJA – INDUSTRIJA 4.0 ... 84
4.1. Povijest industrijalizacije - 4 industrijske revolucije ... 86
4.2. Kibernetičko – fizikalni sustavi CPS ... 87
4.3. Internet stvari IoT ... 91
4.4. Ekstenzivno korištenje podataka - BIG DATA ... 93
4.5. Prediktivna analitika ... 96
4.6. Geo informacijski sustav - GIS ... 97
4.7. Globalni položajni sustav - GPS ... 99
4.8. Digitalizacija poslovanja u djelatnosti javne vodoopskrbe ... 101
5. OBLIKOVANJE WALEGRIN 4.0 MODELA ... 113
5.1. Prva uporišna točka modela – Primjeri dobre vodoopskrbne prakse ... 114
5.2. Druga uporišna točka modela – Koncept Industrije 4.0 ... 115
5.2.1. Pametna CPS vodoopskrbna mreža ... 116
5.2.2. Prikupljanje, prijenos i pohrana podataka (3P) ... 117
5.2.3. Aplikativna potpora ... 119
5.2.4. Rana indikacija gubitaka vode u sustavu javne vodoopskrbe ... 121
5.2.5. Geo informacijski sustav vodoopskrbe ... 124
5.2.6. Fleet menadžment ... 125
5.2.7. CRM sustav ... 125

5.3. Treća uporišna točka modela - Koncept Lean i Green menadžmenta 126
5.3.1. Identifikacija Lean i Green gubitaka u vodoopskrbnim organizacijama 127
5.3.2. Primjena Lean i Green menadžmenta u vodoopskrbnim organizacijama 134
5.3.3. KPI-Ključni pokazatelji uspješnosti poslovanja vodoopskrbnih organizacija 139
5.3.4. Unapređenja temeljena na konceptu Lean i Green menadžmenta 141
5.4. Integralni model povećanja učinkovitosti javne vodoopskrbe WALEGRIN 4.0 145
6. VALIDACIJA WALEGRIN 4.0 MODELA 147
6.1. Testiranje modela pametne DMA zone 147
6.2. Opis stvarnog modela pametne DMA zone 147
6.3. Opis mjerenja na modelu pametne DMA zone 149
6.4. Analiza i obrada izmjerenih podataka 152
6.4.1. Analiza rezultata za simulirani slučaj stacionarnih gubitaka vode 152
6.4.2. Analiza rezultata za simulirani slučaj sporo rastućih gubitaka vode 156
6.4.3. Analiza rezultata za simulirani slučaj umjereno rastućih gubitaka vode 158
6.4.4. Analiza rezultata za simulirani slučaj brzo rastućih gubitaka vode 161
6.4.5. Smjernice za postupanje temeljem analiziranih rezultata mjerenja 163
6.5. Testiranje učinkovitosti metode RIGV izračunom ušteda vode 163
7. ZAKLJUČAK 169
7.1. Ostvareni ciljevi doktorskog rada 170
7.2. Potvrda hipoteze doktorskog rada 171
7.3. Ostvareni znanstveni doprinos doktorskog rada 171
7.4 Buduća Istraživanja 172
8. LITERATURA 174
9. PRILOZI 189
10. POPIS JAVNO OBJAVLJENIH ZNANSTVENIH RADOVA 211
11. ŽIVOTOPIS 213

12. BIOGRAPHY 215

PREDGOVOR

Još od pradavnih vremena čovjek nastoji svoje potrebe za vodom riješiti na zadovoljavajući i učinkovit način. Već 5.000 godina traje razvoj sustava vodoopskrbe, a zbog lokalne orijentacije i prirodnog monopola interesantnih, slikovitih i više ili manje uspješnih rješenja postoji koliko i vodoopskrbnih sustava.

Javna vodoopskrba u suvremenom smislu riječi datira od 1544. godine, kad je engleski parlament donio zakon o osiguranju „bistre vode“ za građane Londona. Sredinom 19. stoljeća, pod utjecajem druge industrijske revolucije, gradovi se ubrzano razvijaju. Rastom broja stanovnika i gospodarskih aktivnosti raste i potreba za pitkom vodom. Razvoj vodoopskrbnih sustava dobiva snažan zamah u Zapadnoj Europi i Sjevernoj Americi. Do početka 20. stoljeća većina gradova ima dostatan pristup vodi zadovoljavajuće kvalitete, a tijekom 20 stoljeća ovi se sustavi intenzivno šire s ciljem dostupnosti javne vodoopskrbe svakom pojedincu ili organizaciji.

U današnje vrijeme većina vodoopskrbnih sustava starija je od 100 ili 150 godina i dalje kontinuirano stari zbog nedovoljne obnove. Obnova vodoopskrbne infrastrukture u urbanim naseljima je složen i nimalo jeftin zadatak i provodi se tek na temelju pozitivne studije izvodljivosti. Do tada, zahtjevi za održavanjem sustava postaju sve veći. Zato ne čudi činjenica da s vremenom učinkovitost vodoopskrbnih sustava i organizacija opada, a posebno u dijelu učinkovitosti mjerene kriterijem gubitka vode. Zbog ovog, za sada nezaustavljivog trenda, problem učinkovitosti i održivosti javne vodoopskrbe postao je globalni problem, a gubici vode generalno se smatraju važnim pitanjem.

Baveći se problematikom javne vodoopskrbe od 2010. godine autor ovog doktorskog rada temeljem svog iskustva iz područja industrije i znanja na području menadžmenta uočava da se problematici javne vodoopskrbe još uvijek pristupa na „stari način“. Potaknut i motiviran ovim saznanjem započinje istraživanje o mogućnosti primjene novih znanja koja nam pružaju koncepti Lean & Green menadžmenta i četvrta industrijska revolucija.

Rezultati i zaključci ovog doktorskog rada, osim ostvarenog znanstvenog doprinosa, poslužit će vodoopskrbnim organizacijama da lakše i brže provedu potrebne promjene radi povećanja učinkovitosti. Također će im približiti i perspektivu koju im nudi, primjena koncepta Lean & Green menadžmenta i perspektivu koju im nudi primjena novih znanja i tehnologija proizašlih iz četvrte industrijske revolucije.

SAŽETAK

Javna vodoopskrba u suvremenom smislu riječi postoji tek 4.5 stoljeća. Preciznije, datira od 1544. godine, kad je engleski parlament donio zakon o osiguranju „bistre vode“ za građane Londona. Sredinom 19. stoljeća, pod utjecajem druge industrijske revolucije, gradovi se ubrzano razvijaju. Rastom broja stanovnika i gospodarskih aktivnosti raste i potreba za vodom. Razvoj vodoopskrbe dobiva snažan zamah u Zapadnoj Europi i Sjevernoj Americi. Do početka 20. stoljeća većina gradova ima dostatan pristup vodi zadovoljavajuće kvalitete. Ovaj je trend nastavljen do današnjih dana.

Ubrzanim rastom stanovništva, urbanizacijom, zagađenjem okoliša, te već prisutnim efektima klimatskih promjena sve je teže osigurati i održati dovoljne količine pitke vode. U referentnom dokumentu Europske komisije, voda je vrijedan prirodni resurs s kojim se mora upravljati na održiv način, a svi gubici ovog resursa trebaju uvijek biti minimizirani. Vodoopskrbne organizacije suočavaju se s izazovom uspostave ravnoteže između učinkovitosti distribucijskih vodoopskrbnih mreža i učinkovitosti u korištenju prirodnih, ljudskih, financijskih i drugih resursa, a odgovorne su za ostvarenje ciljeva održivog i učinkovitog poslovanja. Problem učinkovitosti i održivosti javne vodoopskrbe globalni je problem, a gubici vode generalno se smatraju važnim pitanjem.

To se posebno odnosi na razdoblje nakon 1996. godine, kada je u okviru međunarodne neprofitne organizacije za vodu IWA[1] osnovana radna grupa WLTF[2] za rješavanje pitanja gubitaka vode, sa zadaćom normiranja terminologije i procedura za obračun vode, te uvođenja dosljednih indikatora[3] za procjenu upravljačke i financijske učinkovitosti vodoopskrbnih sustava. Gubici vode prisutni u svim vodoopskrbnim sustavima uzrokovani su nizom operativnih i procesnih razloga, a posebno zabrinjava činjenica da u većini vodoopskrbnih organizacija gubici vode s vremenom rastu ili drugim riječima učinkovitost tih organizacija opada. Vodoopskrbni sustavi postaju sve veći, sve stariji, te zbog toga posljedično i sve složeniji za nadzor, upravljanje i održavanje. Posljedica takvog stanja je kontinuirani rast negativnih pokazatelja poslovanja. Vodoopskrbne organizacije u nastojanjima da poboljšaju svoje

[1] IWA - Međunarodno udruženje za vode koje djeluje kao neprofitna organizacija i središte znanja za vodeni sektor s više od 60 godina iskustva u povezivanju vodnih stručnjaka širom svijeta na rješavanju problema javne vodoopskrbe.

[2] WLTF – Skraćeno od punog naziva radne grupe na englskom jeziku „Water Loss Task Force”.

[3] KPI – Ključni pokazatelji uspješnosti poslovanja organizacija javne vodoopskrbe.

poslovanje koriste različite pristupe koji se uglavnom svode na sanaciju kvarova u borbi s gubicima vode.

Nakon desetak godina intenzivnih nastojanja i traženja rješenja za ostvarenje što boljeg rezultata ili napretka u borbi s gubicima vode, očekivani rezultati su izostali. Radna skupina WLTF zaključuje da nema značajnijeg pomaka u povećanju učinkovitosti vodoopskrbnih organizacija, te predlaže promjenu obrasca ponašanja i primjenu najnovijih znanja i dostignuća radi iznalaženja učinkovite metodologije za smanjenje gubitaka vode i željeni oporavak vodoopskrbnih sustava. Upravljanje gubicima vode bit će uspješno samo ako se uvodi kao dio cjelokupnog održivog paketa mjera definiranih dugoročnom strategijom.

U isto vrijeme, kada radna skupina nastoji pronaći rješenja za povećanje učinkovitosti javne vodoopskrbe, na globalnom gospodarskom polju pojavila su se dva nova, međusobno neovisna koncepta, koja unose značajna unaprjeđenja u poslovanje gospodarskih subjekata. Koncepti Lean i Green menadžmenta i Industrije 4.0 postaju imperativi uspješnosti poslovanja i ne zaobilazni su dio proizvodne okoline ali i vodeće proizvodne strategije u svijetu.

Povezujući ova tri koncepta u jedinstveni integralni model WALEGRIN 4.0, napravljen je model koji će unaprijediti procese upravljanja vodoopskrbnim sustavom i vodoopskrbnom organizacijom. Primjenom načela Lean & Green menadžmenta, te digitalizacijom poslovanja temeljenom na novim ICT tehnologijama, poboljšane su postojeće metode za učinkovito upravljanje vodoopskrbom. Integralni model upravljanja sustavom javne vodoopskrbe WALEGRIN 4.0 jedinstveno je rješenje problema povećanja učinkovitosti, a može se primijeniti na svaku organizaciju javne vodoopskrbe.

SUMMARY

Public water supply in the modern sense of the word exists only 4.5 centuries. More precisely, it dates back to 1544, when the English Parliament passed a law on "clear water" supply for London citizens. In the mid-19th century, under the influence of the second industrial revolution, cities are rapidly evolving. The increase in the number of inhabitants and economic activities also increases the water demand. Water supply development is gaining momentum in Western Europe and North America. Until the beginning of the 20th century, most cities have sufficient access to the water with satisfying quality. This trend has continued to this day.

With accelerated population growth, urbanization, environmental pollution, and already present effects of climate change, it is increasingly difficult to ensure and maintain sufficient quantities of drinking water. In the European Commission's reference document, water is a valuable natural resource to be managed in a sustainable manner, and all the losses of this resource should always be minimized. Water supply organizations face the challenge of establishing a balance between the efficiency of water supply networks and the efficiency of using natural, human, financial and other resources and are responsible for achieving the goals of a sustainable and efficient business. The problem of efficiency and sustainability of public water supply is a global problem, and water losses are generally considered an important issue.

This particularly applies to the period after 1996 when an IWA[4] (International Water Association) established a WLTF[5] working group on water loss issues, with the task to standardize the water losses terminology and water balancing procedures, and introducing consistent indicators[6] for assessing efficiency of the management and financial performances in water supply systems. Water losses in all water supply systems are caused by a series of operational and process reasons, and it is particularly worrying that in most water supply organizations the water losses grow over time, or in other words the efficiency of these organizations falls. Water supply systems are getting bigger, older and consequently more and more complicated for monitoring, management and maintenance. The consequence of such a situation is the continuous growth of negative business indicators. Water supply organizations

[4] IWA – The International Water Association is a non-profit organization and knowledge hub for the water sector, with over 60 years' experience connecting water professionals worldwide to find solutions to the world's water challenges.

[5] WLTF - Short for full working group name in English „Water Loss Task Force”.

[6] KPI - Key Performance Indicators of Public Water Supply Organizations.

in their efforts to improve their business use different approaches that are mostly reduced to repairing defects in the struggle with water losses.

After few years of intensive efforts and seeking solutions for achieving better results or progress in the struggle with water losses, the expected results absent. The WLTF Working Group concludes that there is no significant shift in the efficiency of water supply organizations, and proposes a change in the behavior pattern and applying the latest knowledge and achievements to find an effective methodology for reducing water losses and the desired recovery of water supply systems. Water Loss Management will only be successful if it is introduced as part of the overall sustainable package of measures defined by the long-term strategy.

At the same time, with a working group which tries to find solutions to increase the efficiency of public water supply, two new, mutually independent concepts have emerged in the global economic field, bringing significant improvements to the business of business entities. The concepts of Lean and Green Management and Industry 4.0 become the imperative of business success and an indispensable part of the production environment but also the leading manufacturing strategies in the world.

By linking these three concepts into unique integral model WALEGRIN 4.0, a model which has been developed to improve efficiency of management for water supply system and its organization. By applying the principles of Lean and Green management and digitisation of business based on new ICT technologies, existing methods for water supply management have been improved. An integral model for effective public water supply management WALEGRIN 4.0 is an unique solution to the problem of increasing efficiency and can be applied to any public water supply organization.

KLJUČNE RIJEČI

Vodoopskrba, Učinkovitost vodoopskrbe, Održivost vodoopskrbe, KPI vodoopskrbe, Lean menadžment, Green menadžment, Industrija 4.0;

KEY WORDS

Water Supply, Water Supply Efficiency, Water Supply Sustainability, KPI of Water Supply, Lean Management, Green Management, Industry 4.0;

POPIS SLIKA

Slika 2.1: Skica tlačnog sustava vodoopskrbe s dvije visinske zone [13]; 13

Slika 2.2: Granica isporuke vodne usluge; 14

Slika 2.3: 4 aspekta održivosti javne vodoopskrbe; 16

Slika 2.4: Gubici vode u vodoopskrbnom sustavu 19

Slika 2.5: Puknuće vodoopskrbnog cjevovoda [izvor: ViO]; 30

Slika 2.6: Kvar koji nije detektiran na vrijeme – indirektna šteta [izvor: ViO]; 31

Slika 2.7: Strategija kontrole gubitka vode - pravci djelovanja [5]; 32

Slika 2.8: Pokazatelji za procjenu stanja cijevi vodoopskrbne mreže [39]; 35

Slika 2.9: Shematski prikaz DMA zone; 36

Slika 2.10; Održivost DMA zona [35]; 37

Slika 2.11: Nevidljivo istjecanje vode na detektiranom mjestu kvara [internet]; 38

Slika 2.12: Dnevna promjena parametara u vodoopskrbnoj mreži [37]; 39

Slika 3.1: 5 principa Lean vodstva [52]; 45

Slika 3.2, Tri temeljna elementa poduzetne organizacije AM [54]; 46

Slika 3.3: Povijest Lean menadžmenta [68]; 49

Slika 3.4: Pet principa Lean menadžmenta [74]; 54

Slika 3.5: Podjela aktivnosti poslovnog procesa prema Lean menadžmentu [74]; 55

Slika 3.6: Učestali alati Lean menadžmenta [72]; 59

Slika 3.7: Šest koraka Kaizen metode [81]; 60

Slika 3.8: Komparacija tradicionalnog i Kaizen pristupa [56]; 61

Slika 3.9: Postupak mapiranja toka vrijednosti [72]; 68

Slika 3.10: 5 koraka SMED metode [56]; 70

Slika 3.11: Kontinuirano unaprjeđenje - *PDCA* ciklus; 72

Slika 3.12: Održivi razvoj (prilagođeno) [116]; 80

Slika 3.13: Koncept trostruke bilance 3P [56]; ... 81
Slika 4.1: Četiri industrijske revolucije i njihov utjecaj na razvoj vodnog sektora; ... 87
Slika 4.2: Koncept CPS sustava [138]; ... 88
Slika 4.3: Koncept CPS sustava [134]; ... 89
Slika 4.4: Koncept 5C arhitekture za izgradnju CPS sustava [142]; ... 90
Slika 4.5. Koncept Interneta Stvari – IoT; ... 91
Slika 4.6: BIG DATA - 3V definicija [150]; ... 94
Slika 4.7: Transformacija - od podataka do vrijednosti [izvor: SIEMENS]; ... 97
Slika 4.8: Koncept Geo-informacijskog sustava [157]; ... 98
Slika 4.9: Koncept globalnog položajnog sustava GPS [159]; ... 100
Slika 4.10: Aspekti digitalizacije [161]; ... 102
Slika 4.11: Trendovi digitalizacije [161]; ... 103
Slika 4.12: Primjena IoT i BIG DATA u vodoopskrbi [39]; ... 106
Slika 4.13 Koncept SMART vodoopskrbnog priključka - Singapur [168]; ... 108
Slika 4.14: Pametna vodoopskrbna mreža [170]; ... 109
Slika 4.15: Koncept povezanih mjerila u jedinstveni IoT vodoopskrbni sustav [173]; ... 111
Slika 4.16: Koncept pametne CPS vodoopskrbne mreže [137]; ... 112
Slika 5.1: Koncept WALEGRIN 4.0 Integralnog modela; ... 113
Slika 5.2: Koncept pametnog CPS vodoopskrbnog sustava; ... 116
Slika 5.3: SMART vodomjer [Izvor: KAMSTRUP]; ... 118
Slika 5.4: Primjer rangiranja DMA zona po prioritetima; ... 122
Slika 5.5: Koncept RIGV metode u DMA zoni; ... 122
Slika 5.6: Shematski prikaz uštede vode primjenom RIGV metode; ... 123
Slika 5.7: Mjerno upravljačke komore [33]; ... 137
Slika 5.8: Integralni model WALEGRIN 4.0; ... 146
Slika 6.1: Shema modela pametne DMA zone; ... 147

Slika 6.2: Stvarni model pametne DMA zone; 148

Slika 6.3: Položaj slavine potrošača (P1,P2 i P3) – simulacija korisne potrošnje vode; .. 150

Slika 6.4: Položaj ventila gubitaka G4 – simulacija gubitaka vode; 151

Slika 6.5: Stvarni i relativni gubici vode - slučaj stacionarnih gubitaka vode; 153

Slika 6.6: Kontrolna karta -Trend WL $\bar{x}$ - slučaj stacionarnih gubitaka vode; 155

Slika 6.7: Stvarni i relativni gubici vode – slučaj sporo rastućih gubitaka vode; 156

Slika 6.8: Kontrolna karta -Trend WL $\bar{x}$ - slučaj sporo rastućih gubitaka vode; 157

Slika 6.9: Stvarni i relativni gubici vode - slučaj umjereno rastućih gubitaka vode; 159

Slika 6.10: Kontrolna karta -Trend WL $\bar{x}$ - slučaj umjereno rastućih gubitaka vode; 160

Slika 6.11: Stvarni i relativni gubici vode – slučaj brzo rastućih gubitaka vode; 161

Slika 6.12: Kontrolna karta -Trend WL $\bar{x}$ - slučaj brzo rastućih gubitaka vode; 162

Slika 6.13: Kvar vodoopskrbnog sustava - Dijagram izgubljene vode; 164

Slika 9.1: Prikaz izmjerenih veličina u READy Manager aplikaciji; 198

POPIS TABLICA

Tablica 2.1: Internacionalna standardna bilanca vode [4]; 20

Tablica 2.2: Indikatori učinkovitosti gubitaka vode [13]; 26

Tablica 3.1: Gubici prema Lean menadžmentu [72]; 51

Tablica 3.2: Koraci kod 5S alata [88]; 63

Tablica 3.3: Gubici prema Green Menadžmentu [72]; 82

Tablica 5.1: Rang liste Lean alata prema pokazateljima poduzeća [176]: 135

Tablica 6.1: Elementi modela pametne DMA zone; 148

Tablica 6.2: Oprema korištena u modelu pametne DMA zone; 149

Tablica 6.3: Relativno smanjenje gubitaka za linearno rastuće gubitke vode; 166

Tablica 6.4: Relativno smanjenje gubitaka za nelinearno rastuće gubitke vode; 167

Tablica 9.1: Glavni uzroci curenja cjevovoda i njihova učestalost [13]; 190

Tablica 9.2: Predloženi novi ključni pokazatelji uspješnosti poslovanja KPI; 191

Tablica 9.3: Gubici prema Lean menadžmentu u vodoopskrbnim organizacijama; 192

Tablica 9.4: Gubici prema Green menadžmentu u vodoopskrbnim organizacijama; 193

Tablica 9.5: Plan ispitivanja pametne DMA zone – slučaj stacionarnih gubitaka; 194

Tablica 9.6: Plan ispitivanja pametne DMA zone, slučaj sporo rastućih gubitaka; 195

Tablica 9.7: Plan ispitivanja pametne DMA zone – slučaj umjereno rastućih gubitaka; . 196

Tablica 9.8: Plan ispitivanja pametne DMA zone – slučaj brzo rastućih gubitaka; 197

Tablica 9.9: Mjerenja – slučaj stacionarnih gubitaka vode [m^3]; 199

Tablica 9.10: Mjerenja – slučaj sporo rastućih gubitaka vode [m^3]; 200

Tablica 9.11: Mjerenja – slučaj umjereno rastućih gubitaka vode [m^3]; 201

Tablica 9.12: Mjerenja – slučaj brzo rastućih gubitaka vode [m^3]; 202

Tablica 9.13: Stvarni i relativni gubici vode – slučaj stacionarnih gubitaka [m^3]; 203

Tablica 9.14: Stvarni i relativni gubici vode – slučaj sporo rastućih gubitaka [m^3]; 204

Tablica 9.15: Stvarni i relativni gubici vode – slučaj umjereno rastućih gubitaka [m^3]; ... 205

Tablica 9.16: Stvarni i relativni gubici vode – slučaj brzo rastućih gubitaka [m^3]; 206

Tablica 9.17: Trend stvarnih gubitaka vode – slučaj stacionarnih gubitaka [m^3]; 207

Tablica 9.18: Trend stvarnih gubitaka vode – slučaj sporo rastućih gubitaka [m^3]; 208

Tablica 9.19: Trend stvarnih gubitaka vode – slučaj umjereno rastućih gubitaka [m^3]; 209

Tablica 9.20: Trend stvarnih gubitaka vode - slučaj brzo rastućih gubitaka [m^3];..... 210

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Značenje oznake
G_{12}	%	Relativno smanjenje gubitaka u vodoopskrbnom sustavu
L_m	km	Ukupna duljina cjevovoda
L_p	km	Ukupna duljina cjevovoda od granice posjeda potrošača
N_c	Kom.	Ukupan broj priključaka vode
p	N/m^2	Tlak
Q	m^3/y	Ukupno godišnje zahvaćena voda
Q_r	m^3/r	Količina vode koja je ušla u DMA zonu u danom razdoblju
Q_{AC}	m^3/y	Ovlaštena potrošnja vode
Q_{BAC}	m^3/y	Fakturirana ovlaštena potrošnja vode
Q_{NRW}	m^3/y	Ne prihodovana voda
Q_{NRWr}	m^3/r	Ne prihodovana voda razdoblja
Q_{RL}	m^3/y	Stvarni godišnji gubitak vode
Q_{RLr}	m^3/r	Stvarni gubitak vode razdoblja
Q_{RW}	m^3/y	Prihodovana voda
Q_S	m^3/y	Ušteda vode
Q_{UAC}	m^3/y	Nefakturirana ovlaštena potrošnja vode
Q_{WL}	m^3/y	Ukupni gubitak vode *(engl. Water Losses)*
WL	%	Gubitak vode u odnosu na zahvaćenu vodu
WL_r	%	Relativni gubitak vode razdoblja
WL_y	%	Relativni godišnji gubitak vode
$Q_{NRW\,/\,KMWSN}$	m^3 /km_{WSN}	Stvarni gubitak vode po kilometru mreže
$Q_{NRW\,/\,D}$	m^3 / danu	Stvarni gubitak vode po danu
$Q_{NRW\,/\,1000WSC}$	$m^3/1000_{WSC}$	Stvarni gubitak vode na 1000 priključaka
μ	m^3/razdoblju	Granica stabilnosti procesa
б	m^3/razdoblju	Kontrolna granica procesa
1,96 б	m^3/razdoblju	Kritična granica procesa
$\bar{x}$	m^3/razdoblju	Trend gubitaka vode

POPIS KRATICA

Kratica	Značenje kratice
3 P	Trostruka bilanca *(engl. Profits, People, Planet)*
5S / 6S	Lean alat za održavanje radnog mjesta produktivnim i sigurnim
6σ	Šest sigma *(engl. Six Sigma)*
app	Primjenjivi program (*engl. Application software*)
AC	Ovlaštena potrošnja (*engl. Authorized consumption*)
AL	Prividni gubici *(engl. Apparent Losses)*
AM	Autonomno održavanje *(engl. Autonomous Maintenance)*
AP	Pristupna točka *(engl. access point)*
AP	Atributni Pokazatelji
AM	Poduzetni proizvodni sustav (*engl. Agile Manufacturing system*)
AMR	Automatsko mjerenje i očitavanje *(engl. Automatic Metering and Reading)*
AWWA	Američko udruženje za vode *(engl. American Water Works Association)*
AWMR	Sustav daljinskog očitavanja vodomjera *(engl. Automatic Water Metering and Reading)*
BABE	Procjena puknuća i pozadinskog curenja (*engl. Burst and Background Estimates*)
BAC	Naplaćena ovlaštena potrošnja *(engl. Billed Authorized Consumption)*
BI	Poslovno Izvještavanje *(engl. Business Intelligence)*
BL	Pozadinsko curenje (*engl. Background Leakage*)
BS 7750	Standard upravljanja okolišem
CARL	Stvarni godišnji gubici vode *(engl. Current Annual Real Losses)*
CBM	Prediktivno održavanje (*engl. Condition Based Maintenance*)
CP	Čistija proizvodnja *(engl. Cleaner Production)*
CPS	Kibernetičko fizikalni sustavi *(engl. Cyber Physical Systems)*

CIP	Kontinuirano unaprjeđenje procesa *(engl. Continuous Improvement Process)*
CRM	Upravljanje odnosima s potrošačima *(engl. Customer Relationship Management)*
DFMA	Dizajn za proizvodnju i montažu (*engl. Design For Montage and Assembling*)
DMA	Kontrolirana zona mjerenja *(engl. District Metered Area)*
DMAIC	Mapiranje uskih grla *(engl. Define, Measure, Analyze, Improve and Control)*
DOP	Društveno odgovorno poslovanje
DSS	Sustavi za podršku odlučivanju *(engl. Decision Support Systems)*
EE	Ekološka efikasnost *(engl. Eco Efficiency)*
ELL	Ekonomska razina gubitaka (*engl. Economic Level of Losses*)
EMAS	Standard upravljanja okolišem *(engl. European Eco-Management and Audit Scheme System)*
EMS	Sustav upravljanja okolišem *(engl. Environmental Management Systems)*
EPA	Američka agencija za očuvanje okoliša *(engl. U.S. Environmental Protection Agency)*
ERP	(*engl. Enterprise Resources Planning*)
EU	Europska unija *(engl. European Union)*
FMEA	Analiza uzroka i efekta grešaka *(engl. Failure modes and effects analysis)*
FP	Financijski pokazatelj uspješnosti
G_{12}	Relativno smanjenje gubitaka u vodoopskrbnom sustavu [%]
GALP	Vitka i zelena proizvodnja *(engl. Green and lean production)*
Gbps	Jedinica za brzinu prijenosa podataka
GIS	Geo informacijski sustav *(engl. Geographic Information Science)*
GMM	Metoda geometrijske sredine *(engl. Geometric Mean Method)*
GP	Green proizvodnja *(engl. Green Production)*
GPRS	Komunikacijski protokol *(engl. General Packet Radio Service)*
GPS	Globalni položajni sustav *(engl. Global Positioning System)*
GRI	Izvještaj o održivosti (*engl. Global Reporting Initiative*)

GSM	Komunikacijski protokol *(engl. Global System for Mobile communications)*
GWP	Njemačko udruženje za vode *(engl. German Water Partnership)*
IAM	Upravljanje infrastrukturom *(engl. Infrastructure Asset Management)*
ICT	Informacijska i komunikacijska tehnologija *(engl. Information and Communications Technology)*
I_{CHD}	Indikator stvarnog tlaka vode (*engl. Supplied hydraulic head indicator*)
I_{OOB}	Indikator optimalnosti rada crpki (*engl. Optimized pumping operation indicator)*
I_{RHE}	Indikator povrata hidrauličke energije (*engl. Hydraulic energy recovery indicator*)
ILI	Infrastrukturni pokazatelj curenja *(engl. Infrastructure Leakage Indicator)*
IoD	Internet podataka *(engl. Internet of Data)*
IoE	Internet svega *(engl. Internet of Everything)*
IoP	Internet ljudi *(engl. Internet of People)*
IoS	Internet usluga *(engl. Internet of Services)*
IoT	Internet stvari *(engl. Internet of Things)*
IIoT	Industrijski Internet stvari *(engl. Industrial Internet of Things)*
IP	Internet protokol adresa *(engl. Internet Protocol address)*
ISO	Međunarodna organizacija za standardizaciju *(engl. International Organization for Standardization)*
ISO 9001:	Sustav upravljanja kvalitetom
IMVP	*(engl. International Motor Vehicle Program*)
ISM	Industrijski, Znanstveni i Medicinski *(engl. Industrial, Scientific and Medical)*
IWA	Međunarodno udruženje za vode – *(engl. International Water Association)*
JIT	Upravo na vrijeme *(engl. Just In Time)*
JV	Javna Vodoopskrba
KPI	Ključni pokazatelji uspješnosti *(engl. Key Performance Indicators)*
LAN	Telekomunikacijska infrastruktura *(engl. Local Area Network)*

LCA	Analiza životnog ciklusa proizvoda *(engl. Life Cycle Assessment)*
LLP	Metodologija *(engl. Localize, Locate and Pinpoint)*
LPS	Lean proizvodni sustav (*engl. Lean Production System*)
M2M	Komunikacija stroj – stroj *(engl. Machine to Machine)*
MPIs	Menadžerski pokazatelji uspješnosti *(engl. Management performance indicators)*
MARS	Softver za mjerenje i automatsko čitanje *(engl. Measurement and Automated Reading Software)*
MRP	Planiranje materijalnih potreba *(engl. Material Requirements Planning)*
NGA	Sljedeća generacija *(engl. Next Generation)*
NN	Narodne novine
NRW	Ne prihodovana voda *(engl. - Non-Revenue Water)*
NVAA	Aktivnosti koje ne donose vrijednost, ali su neophodne (engl. Non-Value Adding Activities)
NVAT	Vrijeme u kojem se ne dodaje vrijednost ali je neophodno (engl. Non-Value Adding Time)
OEE	Ukupna učinkovitost opreme *(engl. Overall Equipment Efficiency)*
On-Ramp	Komunikacijski protokol
OP	Operativni pokazatelj uspješnosti
OPIs	Operativni pokazatelji uspješnosti (engl. Operational performance indicators)
PDCA	Metoda unaprjeđenja bazirana na koracima: planiraj-uradi-provjeri-djeluj (engl. Plan-Do-Check-Act)
PM	Preventivno održavanje *(engl. Preventive Maintenance)*
PMS	Mjerenje uspješnosti *(engl. Performance Measurement System)*
PPM	Alat Lean menadžmenta *(engl. Value Analysis Value Engineering)*
RB	Prijavljeno puknuće (*engl. Reported Bursts*)
RFID	Tehnologija (*engl. Radio Frequency Identification Data)*
RGT	Registrator

RH	Republika Hrvatska
RIGV	Rana Indikacija Gubitaka Vode
RL	Stvarni gubici vode *(engl. Real Losses)*
ROI	Povrat investicije *(engl. Return of Investment)*
RPT	Pojačalo signala *(engl. Signal Repeater)*
RS	Realni sektor
RW	Prihodovana voda *(engl. Revenue Water)*
SCADA	Sustav nadzora kontrole i prikupljanja podataka *(engl. Supervisory Control and Data Acquisition)*
SDG	Ciljevi održivog razvoja *(engl. Sustainable Development Goals)*
SIPOC	Dobavljač – ulaz – proces – izlaz - kupac *(engl. Supplier-Input-Process-Output-Customer)*
SIV	Količina vode unesene u vodoopskrbni sustav *(engl. System Input Volume)*
SJV	Sustav Javne Vodoopskrbe
SMED	Brza izmjena alata *(engl. Single Minute Exchange of Die)*
SPC	Statistička kontrola procesa *(engl. Statistical Process Control)*
SWG	Pametna vodoopskrbna mreža *(engl. Smart Water Grid)*
TP	Tržišni pokazatelj uspješnosti
TPM	Potpuno (ukupno, cjelovito) produktivno održavanje *(engl. Total Productive Maintenance)*
TPS	Toyota proizvodni sustav *(engl. Toyota Production System)*
TK	Odašiljanje, prijenos i primanje informacija *(engl. Telecommunication)*
TQM	Ukupno upravljanje kvalitetom *(engl. Total Quality Management)*
UAC	Nenaplaćena ovlaštena potrošnja *(engl. Unbilled Authorized Consumption)*
UARL	Neizbježni godišnji stvarni gubici (*engl. Unavoidable Annual Real Losses)*
UL	Neizbježni gubici *(engl. Unavoidable Losses)*
UN	Ujedinjeni narodi *(engl. United Nations)*
UP	Ukupni prihod

UPN	Ugovaranje, Prodaja, Naplata
URB	Neprijavljeno puknuće (*engl. Unreported Bursts*)
VAA	Aktivnosti koje donose vrijednost *(engl. Value Adding Activities)*
VAT	Vrijeme u kojem se dodaje vrijednost *(engl. Value Adding Time)*
VAVE	Alat Lean menadžmenta *(engl. Value Analysis Value Engineering)*
VSM	Mapiranje toka vrijednosti *(engl. Value Stream Mapping)*
WA	Aktivnosti koje ne donose vrijednost tj. čisti gubitak (engl. Waste Activities)
WB	Svjetska banka *(engl. World Bank)*
WB	Bilanca vode (*engl. Water Balance*)
WCED	Svjetska komisija za okoliš I razvoj (*engl. World Commission on Environment and Development*)
WDN	Vodoopskrbne distribucijske mreže *(engl. Water Distribution Network)*
WDS	Vodoopskrbni sustav *(engl. Water Distribution System)*
WIP	Rad u procesu *(engl. work in process)*
WL	Gubici vode *(engl. Water Losses)*
WLTF	Radna grupa za rješavanje gubitaka vode *(engl. Water Loss Task Force)*
WM-Bus	Komunikacijski protokol
WS	Vodoopskrba *(engl. Water Supply)*
WSC	Vodoopskrbni priključak *(engl. Water Supply Connection)*
WSN	Bežična senzorska mreža *(engl. Wireless Sensor Network)*
WSN	Vodoopskrbna mreža *(engl. Water Supply Network)*
WSS	Vodoopskrbni sustav *(engl. Water Supply System)*
WT	Vrijeme koje je čisti gubitak (engl. Waste Time)
XPS	Proizvodni sustav određenog poduzeća *(engl. Company-specific Production System)*

1. UVOD

Život kakav poznajemo nije moguć bez vode jer voda je ne zamjenjiv dio svih poznatih oblika života, te stoga vodu s pravom nazivamo i izvorom života. U davna vremena, prvobitne zajednice formirane su oko izvora pitke vode ili na obalama rijeka ili jezera. Razvojem civilizacije, urbanih naselja i gospodarskih djelatnosti razvija se i širi potreba za vodoopskrbom [1]. Javna vodoopskrba u suvremenom smislu riječi postoji tek 4,5 stoljeća. Sredinom 19. stoljeća, pod utjecajem druge industrijske revolucije, razvoj vodoopskrbe dobiva snažan zamah u Zapadnoj Europi i Sjevernoj Americi. Gradovi se ubrzano razvijaju, a s porastom broja stanovnika i gospodarskih aktivnosti raste i potreba za vodom. Do početka 20. stoljeća većina gradova ima dostatan pristup vodi zadovoljavajuće kvalitete. Intenzivan razvoj javne vodoopskrbe nastavljen je tijekom 20. stoljeća, a na početku 21. stoljeća opskrba vodom postaje prioritetan zadatak urbanog življenja. Najnovije direktive Europske Unije propisuju da od 2020. godine svako naselje veće od 50 stanovnika mora biti priključeno na sustav javne vodoopskrbe[7].

Prema izvještaju globalnog vijeća za vode pri svjetskom ekonomskom forumu[8] [2] definiran je legitiman cilj, da do 2030. godine treba postići univerzalni i ravnopravni pristup sigurnoj i pristupačnoj pitkoj vodi za sve. Prema njihovoj definiciji, sigurna i pitka je voda bez ikakve fizikalne, biološke ili kemijske kontaminacije. Prema ciljevima održivog razvoja navedenim u referentnom dokumentu Europske komisije [3], navodi se da je voda vrijedan prirodni resurs s kojim se mora upravljati na održiv način, a svi gubici ovog resursa trebaju uvijek biti minimizirani. Razvojem i rastom vodoopskrbne infrastrukture uočen je problem kontinuiranog rasta gubitaka vode iz vodoopskrbnih sustava koji s vremenom, najvećim djelom zbog starenja instalacija ali i zbog mnogih drugih utjecaja, postaju sve veći. Nerijetko, u slabo razvijenim sustavima, gubici vode prelaze i 80% zahvaćene vode. Održivost i optimizacija sustava vodoopskrbe, strateški su ciljevi organizacija javne vodoopskrbe, a temelje se na uspostavi procesa aktivnog nadzora i upravljanja. Značajan pokazatelj učinkovitosti sustava javne vodoopskrbe upravo su gubici vode koja se tijekom distribucije od zahvata do potrošača nekorisno „izgubila“ (utrošila) iz sustava javne vodoopskrbe.

Vodoopskrbne organizacije suočavaju se s izazovom uspostave ravnoteže između učinkovitosti distribucijskih vodoopskrbnih mreža i učinkovitosti u korištenju prirodnih, ljudskih,

[7] Direktiva 98/83/EZ o kakvoći voda namijenjenih za ljudsku potrošnju
[8] World Economic Forum

financijskih i drugih resursa, a odgovorne su za ostvarenje ciljeva održivog poslovanja. Problem učinkovitosti i održivosti javne vodoopskrbe globalni je problem, a gubici vode generalno se smatraju važnim pitanjem. U aktivnosti smanjenja gubitaka vode 1996. godine uključila se i međunarodna organizacija za vodu IWA nastojeći da se trend rasta gubitaka vode zaustavi ili barem ublaži. Osnovana je radna grupa WLTF za rješavanje gubitaka vode, sa zadaćom normiranja terminologije i procedura u procesu prikaza obračuna vode, te uvođenja dosljednih indikatora za procjenu upravljačke i financijske učinkovitosti vodoopskrbnih organizacija [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10].

Međutim, poslije nekoliko godina intenzivnih aktivnosti na polju smanjenja gubitaka vode, izostali su očekivani rezultati u većini vodoopskrbnih organizacija. Istovremeno, došlo se do novih spoznaja. Upravljanje gubicima vode uspješno je samo ako se uvodi kao dio cjelokupnog održivog paketa mjera definiranih dugoročnom strategijom. Promjena obrasca ponašanja i primjena najnovijih znanja i tehnoloških dostignuća nameće se kao imperativ u daljnjoj borbi s gubicima vode i ostvarenju željenog oporavka vodoopskrbnih sustava. Većina autora i organizacija koji se bave ovom problematikom generalno pozivaju dionike vodoopskrbnih sustava da predlože učinkovitu metodologiju za smanjenje gubitaka vode, te da je primjene u stvarnim vodoopskrbnim sustavima.

1.1. Motivacija za istraživanje

Baveći se menadžmentom u javnoj vodoopskrbnoj organizaciji (ViO[9]) autor ovog rada svakodnevno se suočavao s preprekama i izostankom očekivanih rezultata u nastojanjima da se poslovanje unaprijedi. Rješenje je potraženo u promjeni ustaljenih obrazaca ponašanja. Budući da je promjene moguće provoditi primjenom raznih principa i načela, važno je istražiti aktivnosti uspješnih tvrtki radi spoznaje onih obrazaca ponašanja na kojima se njihov uspjeh temelji.

U današnje je vrijeme globalno prihvaćen koncept „Lean menadžmenta“ kao dobrog obrasca ponašanja, a kojeg primjenjuje većina uspješnih tvrtki u svome poslovanju. Drugi primjer dobrog obrasca ponašanja su tvrtke koje primjenjuju koncept „Industrije 4.0“ i provode digitalizaciju poslovanja. Veliki je broj kompanija koje su primjenom navedenih koncepata unaprijedile svoje poslovanje, te stvorile proizvode i usluge bolje kvalitete uz korištenje manje rada, prostora, kapitala i vremena. Upravo ova spoznaja je bila osnovni motiv daljnjeg

[9] ViO – Vodoopskrba i Odvodnja d.o.o., Zagreb

istraživanja mogućih promjena i poboljšanja u javnoj vodoopskrbi primjenom navedenih koncepata i kako takve promjene i poboljšanja utječu na povećanje učinkovitosti javne vodoopskrbe.

Važan i ništa manje bitan motiv za istraživanje je i generalni poziv kojim većina autora i organizacija, koje se bave problematikom javne vodoopskrbe, pozivaju dionike vodoopskrbnih sustava da predlože učinkovitu metodologiju za smanjenje gubitaka vode, te da je primjene u stvarnim vodoopskrbnim sustavima.

1.2. Ciljevi i hipoteza istraživanja

Uzevši u obzir uvodno navedene spoznaje, može se zaključiti da područje javne vodoopskrbe nedovoljno prati napredak novih znanja i tehnologija. Primjena načela Lean i Green menadžmenta, i pametnih (*engl. SMART*) tehnologija u okviru koncepta Industrije 4.0 ubrzano širi horizonte za nova istraživanja i mogućnosti primjene. Integracija Lean i Green alata i načela upravljanja, te novih znanja i pametnih tehnologija u integralni model upravljanja javnom vodoopskrbom omogućit će daljnji razvoj vodoopskrbe.

U sklopu ovog rada provest će se potrebna istraživanja radi izrade integralnog modela upravljanja i održavanja sustava javne vodoopskrbe. Integralnog modela koji će omogućiti unapređenje poslovanja javne vodoopskrbe povećanjem učinkovitosti, smanjenjem troškova poslovanja, novim mogućnostima upravljanja i održavanja, te povećanjem kvalitete usluge javnog isporučitelja vodnih usluga.

Ovim radom nisu obuhvaćene aktivnosti na izgradnji i proširenju sustava javne vodoopskrbe jer su te aktivnosti regulirane Zakonima i drugim pod zakonskim aktima i kao takve nisu predmet ovog rada.

Ciljevi doktorskog rada su:

1. Istražiti mogućnosti primjene Vitkog i Zelenog menadžmenta (engl. Lean & Green management) i novih „digitalnih“ tehnologija na sustav javne vodoopskrbe radi unaprjeđenja i uspostave održivosti poslovanja, te povećanja učinkovitosti.

2. Izraditi integralni model upravljanja vodoopskrbnom organizacijom, radi unaprjeđenja i uspostave održivosti poslovanja, te povećanja učinkovitosti sustava javne vodoopskrbe s obzirom na ključne pokazatelje uspješnosti poslovanja *(engl. Key Performance Indicators).*

Postavlja se sljedeća hipoteza:

Primjenom integralnog modela za upravljanje sustavom javne vodoopskrbe, temeljenog na načelima vitkog i zelenog menadžmenta i digitalizaciji poslovanja, moguće je povećati učinkovitost javne vodoopskrbe mjereno ključnim pokazateljima uspješnosti poslovanja.

Iz danih ciljeva i hipoteze moguće je sumirati ključna istraživačka pitanja.

1. Koje alate koncepta Lean i Green menadžmenta je opravdano primijeniti u poslovanju javne vodoopskrbe?
2. Koje procese javne vodoopskrbe je potrebno digitalizirati na temeljima koncepta industrije 4.0, te kakav učinak ostvaruje digitalizacija tih procesa?
3. Mogu li vodoopskrbna poduzeća istovremenom primjenom koncepta Lean i Green menadžmenta i koncepta Industrije 4.0 ostvariti poboljšanja učinkovitosti mjereno ključnim pokazateljima uspješnosti.

1.3. Plan istraživanja i metodologija rada

Problem učinkovitosti i održivosti javne vodoopskrbe globalni je problem, a gubici vode generalno se smatraju važnim pitanjem. Kako bi se ostvarili prethodno definirani ciljevi u prvoj fazi izrade doktorskog rada istražit će se relevantne baze znanstvenih radova i prikupiti dostupna znanstvena literatura, uključujući i doktorske disertacije, na temu povećanja efikasnosti, ekonomske, okolišne i socijalne održivosti proizvodnih, uslužnih i vodoopskrbnih organizacija.

U prvoj fazi izrade doktorskog rada istražit će se vodoopskrbna djelatnost na globalnoj razini. Opisat će se osnovne značajke ove djelatnosti, te istaknuti temeljni problemi koji utječu na učinkovitost. Istražit će se dostupna literatura i doktorske disertacije iz području učinkovitost javne vodoopskrbe. Informacije dobivene pregledom literature koristit će se za određivanje učestalo korištenih ključnih pokazatelja uspješnosti poslovanja - KPI *(engl. Key Performance Indicators)*, te svih vrsta gubitaka koji se pojavljuju prilikom korištenja prirodnih, ljudskih, financijskih, materijalnih i ostalih resursa koje koriste vodoopskrbne organizacije. Na temelju spoznaja i primjera prikazanih u prikupljenoj literaturi analizirat će se aktivnosti koje značajno pridonose povećanju učinkovitosti vodoopskrbnih organizacija. U ovoj fazi istraživanja analizirat će se i moguća zakonska ograničenja (Direktive Europske unije i zakoni Republike Hrvatske) koji bi mogli utjecati na daljnje aktivnosti poboljšanja procesa javne vodoopskrbe.

U drugoj fazi izrade doktorskog rada istražit će se pristup poznat pod nazivom Lean i Green menadžment (*engl. Lean & Green Management*) općenito ali i u primjeni u vodoopskrbnim organizacijama. Informacije dobivene pregledom literature koristit će se za analizu primjenjivosti načela i alata Lean i Green menadžmenta u vodoopskrbnim organizacijama. Informacije dobivene istraživanjem literature koristit će se i kod izrade integralnog modela upravljanja javnom vodoopskrbom.

U trećoj fazi izrade doktorskog rada istražit će se nova znanja i ICT tehnologije na području digitalizacije poslovnih procesa općenito ali i u vodoopskrbnim organizacijama. Informacije dobivene pregledom literature koristit će se za analizu vodoopskrbnih procesa pogodnih za digitalizaciju ali i kod izrade integralnog modela upravljanja javnom vodoopskrbom.

U četvrtoj će se fazi istraživanja analizirati podaci prikupljeni iz sve tri perspektive (sastavnice) koje čine integralni model kako bi se precizno odredili stvarni gubici vodoopskrbnog procesa koje je potrebno pratiti radi ostvarenja željenih unaprjeđenja. U ovoj fazi izrade doktorskog rada metodom konkretizacije oblikovat će se integralni model za povećanje učinkovitosti javne vodoopskrbe. Na temelju provedene analize i identificiranih gubitaka (*engl. Waste*) u vodoopskrbnom procesu oblikovat će se model za povećanje učinkovitosti vodoopskrbne organizacije integriranjem Lean i Green menadžmenta i novih digitalnih tehnologija u jedinstveni model. Ovaj će model obuhvaćati alate za mjerenje učinkovitosti, prijedloge Lean i Green alata, te digitaliziranih procesa koje vodoopskrbna organizacija može koristiti u postupcima povećanja učinkovitosti. Za analizu podataka će se koristiti primjerene analitičke metode koje će najbolje odgovarati prikupljenim podacima. U ovoj će fazi također biti predloženi i novi ključni pokazatelji uspješnosti poslovanja za vodoopskrbne organizacije.

U Petoj fazi izrade doktorskog rada ćemo provjeriti primjenjivost i učinak primjenjivosti integralnog modela na sustave javne vodoopskrbe. Verifikaciju modela ćemo provesti deskriptivnom metodom, analizom i sintezom, te matematički uz primjenu simuliranih podataka na ključnim pokazateljima poslovanja.

U završnoj fazi izrade doktorskog rada dodatno će se analizirati, te sustavno, grafički i analitički prikazati utvrđeni ključni pokazatelji uspješnosti poslovanja kao i gubici koji se pojavljuju u procesima javne vodoopskrbe. U ovoj će se fazi analizirati ostvareni rezultati i donosit će se zaključci.

1.4. Očekivani znanstveni doprinos

Izradom ovog rada očekuju se sljedeći znanstveni doprinosi:

1. Razvoj novog model za povećanje učinkovitosti vodoopskrbne organizacije integriranjem vitkog i zelenog menadžmenta i digitalnih tehnologija u okviru koncepta Industrije 4.0 u jedinstveni model.

2. Smjernice za smanjenje organizacijskih i tehničkih nedostataka u procesima vodoopskrbe.

3. Prijedlog novih ključnih pokazatelja uspješnosti poslovanja vodoopskrbe.

1.5. Pregled dosadašnjih istraživanja

Pregled dosadašnjih istraživanja predstavljen je u poglavljima 2,3 i 4. Istraživanja su provedena pregledom i analizom dostupne literature objavljene do konca 2018. godine pronađene u znanstvenim bazama ScienceDirect, ResearchGate i Scopus. Navedena pretraga proširena je na znanstvene radove dostupne kroz tražilicu Google Scholar. Dodatno je pretražena literatura iz područje javne vodoopskrbe pregledom izdanja IWA Publishing izdavača. U razmatranje su uzeti samo recenzirani radovi, a kod pretrage su korištene sljedeće ključne riječi: water supply, water losses, lean management, green management, Industry 4.0, CPS – Cyber Physical Systems, efficiency and effectiveness. U analizu literature uključeni su i radovi koji su spomenuti u nekom od analiziranih radova, a za koje je autor smatrao da su relevantni za njegovo istraživanje.

Područje djelovanja javne vodoopskrbe u republici Hrvatskoj regulirano je Uredbama Europske unije, zakonima Republike Hrvatske, te drugim pod zakonskim propisima. Zakonom definirani podaci korišteni su u ovome radu u onim poglavljima u kojima je to imalo smisla i tamo gdje je to bilo potrebno.

Pretraživanjem znanstvenih baza nisu pronađeni radovi koji istražuju utjecaj primjene Lean načela i alata na učinkovitost javne vodoopskrbe. Proširenim pretraživanjem literature pronađeni su radovi koji obrađuju područje primjene Lean načela i alata u javnoj vodoopskrbi.

Pretraživanjem znanstvenih baza nisu pronađeni radovi koji istražuju utjecaj digitalizacije poslovanja na učinkovitost javne vodoopskrbe. Proširenim pretraživanjem literature također nisu pronađeni radovi koji obrađuju područje digitalizacije poslovanja vodoopskrbnih organizacija. Međutim, pronađeno je nekoliko radova koji obrađuju područje digitalizacije poslovanja vodnog sektora s naglaskom na praćenje razina površinskih voda u realnom

vremenu. U obzir su uzeti i ovi radovi kako bi se vidjelo koje se promjene i poboljšanja mogu provesti u praćenju parametara vodoopskrbnih organizacija u realnom vremenu.

1.6. Struktura rada

Prvo poglavlje predstavlja uvod u rad, te su u njemu navedene dosadašnje spoznaje koje je autor stekao u području javne vodoopskrbe kao i motivacija za istraživanje. U prvom su poglavlju također navedeni ciljevi i hipoteza istraživanja, plan i metodologija rada, te očekivani znanstveni doprinos.

Drugo poglavlje sadrži pregled saznanja dobivenih proučavanjem dostupne literature koja obrađuje područje javne vodoopskrbe. Razvoj javne vodoopskrbe opisan je kroz povijesni pregled važnijih dostignuća. Sastavnice modernog sustava jave vodoopskrbe tehnički su opisane. Utvrđene su osnovne značajke sustava javne vodoopskrbe kao što su održivost, učinkovitost, te ključni pokazatelji uspješnosti. Posebno su izdvojeni primjeri dobre prakse u upravljanju vodoopskrbnim organizacijama. Opisani su i ključni problemi kao uvod u oblikovanje integralnog modela za povećanje učinkovitosti javne vodoopskrbe.

Treće poglavlje sadrži pregled saznanja dobivenih proučavanjem dostupne literature na području Lean menadžmenta. Opisan je povijesni razvoj ovog koncepta, njegove osnovne značajke, principi i alati, te gubici poslovanja prema Lean menadžmentu. Posebno je istraženo područje primjene koncepta Lean menadžmenta u javnoj vodoopskrbi kao uvod u oblikovanje integralnog modela za povećanje učinkovitosti. Također, treće poglavlje sadrži i pregled saznanja dobivenih iz dostupne literature na području Green menadžmenta. Osim povijesnog razvoja ovog koncepta opisane su njegove osnove, te standardi sustava upravljanja okolišem.

Četvrto poglavlje sadrži pregled saznanja dobivenih proučavanjem dostupne literature na području koncepta Industrije 4.0. Opisan je povijesni razvoj ovog koncepta i njegove osnove značajke. Istraženi su i opisani kibernetičko-fizikalni sustavi CPS (*engl. Cyber Physical Systems*), digitalizacija poslovanja, upravljanje i korištenje velikih količina podataka, te primjena i značaj tehnika prediktivne analitike. Kratko su opisani sve prisutni i vrlo korisni sustavi GIS[10] i GPS[11]. Posebno je istraženo područje primjene koncepta Industrije 4.0 u procesima digitalizacije poslovanja javne vodoopskrbe kao uvod u oblikovanje integralnog modela za povećanje učinkovitosti.

[10] GIS - Geo Informacijski Sustav.
[11] GPS - Globalni Položajni Sustav.

Na temelju spoznaja navedenih u drugom, trećem i četvrtom poglavlju, te ranije iskazanoj motivaciji u petom je poglavlju oblikovan novi model upravljanja javnom vodoopskrbom nazvan WALEGRIN 4.0. Novi se model za povećanje učinkovitosti javne vodoopskrbe temelji na tri neovisna koncepta. Način i razlozi oblikovanja modela temeljem svakog od uporišnih koncepata, te njihova povezanost u ovom su poglavlju detaljno opisani. Za djelatnost vodoopskrbe su izdvojeni primjeri dobre vodoopskrbne prakse. Za koncept Industrije 4.0 je opisan proces digitalizacije poslovanja vodoopskrbnih organizacija opisom digitaliziranih sastavnica vodoopskrbnog procesa, kao što su: CPS pametna vodoopskrbna mreža, sustav mjerenja i daljinskog očitavanja, sustav prikupljanja, prijenosa i pohrane velikih količina podataka, aplikativna potpora, te metoda rane indikacije gubitaka vode. U ovom je poglavlju također opisana primjena, za vodoopskrbu vrlo korisnih, podsustava GIS i Fleet menadžment[12].

U šestom je poglavlju opisan postupak validacije modela WALEGRIN 4.0. Postupak validacije poveden je testiranjem realnog modela pametne DMA zone, a izmjereni su podaci analizirani i obrađeni radi potvrde valjanosti predložene metode rane indikacije. Učinkovitost metode rane indikacije gubitaka vode izračunata je na dva primjera simuliranih kvarova.

U zaključnom su poglavlju navedeni glavni rezultati provedenih istraživanja, ostvareni ciljevi doktorskog rada i potvrda hipoteze. Navedeni su i ostvareni znanstveni doprinosi ovog rada i mogućnosti za nastavak daljnjih istraživanja na povećanju učinkovitosti javne vodoopskrbe.

[12] Fleet menadžment – Sustav nadzora i upravljanja vozilima i radnim strojevima.

2. JAVNA VODOOPSKRBA

2.1. Povijest i razvoj sustava javne vodoopskrbe

Život kakav poznajemo nije moguć bez vode jer voda je ne zamjenjiv dio svih poznatih oblika života. Zato vodu s pravom nazivamo i izvorom života. U davna vremena, prvobitne zajednice formirane su oko izvora pitke vode ili na obalama rijeka ili jezera. Razvojem civilizacije, urbanih naselja i gospodarskih djelatnosti razvija se i širi potreba za vodoopskrbom. Arheološkim istraživanjima 5.000 godina starih ruševina grada Mohenjo-Daro na donjem toku rijeke Ind u današnjem Pakistanu, otkriveno je da je grad tada imao jedinstveni sustav vodoopskrbe [1]. Sustav koji je bio vrlo funkcionalan i prisutan u svim stambenim jedinicama, u javnim zgradama i na javnim površinama. Dizanje vode s velike dubine bilo je poznato u starom Egiptu, Babilonu i Kini. Pronađeni su zdenci promjera 3-4 metra i dubine do 200 metara. Izgradnja vodovoda osobito se razvila u grčkoj i rimskoj civilizaciji. U to je doba bio poznat gravitacijski sustav vodoopskrbe, pa su dominantne vodoopskrbne građevine bili tuneli i mostovi za provođenje vode (akvadukti), od kojih su neki i danas u funkciji. 550 godina prije Krista izgrađen je na grčkom otoku Samosu u sjevernom Egejskom moru vodovodni tunel duljine 1 kilometar. 19. godine prije Krista izgrađen je i rimski akvadukt preko rijeke Gard (Pont du Gard) za opskrbu vodom grada Nimesa u Francuskoj. U Hrvatskoj je potkraj 3. i početkom 4. stoljeća izgrađen rimski vodovod duljine 9 kilometara za opskrbu Dioklecijanove palače u današnjem Splitu. Akvadukti i tuneli toga vodovoda i danas se upotrebljavaju. Iako postoji veliki broj primjera vrlo učinkovitih vodoopskrbnih sustava u starome vijeku, u srednjem je vijeku nastao zastoj u razvoju vodoopskrbe. Počeci ponovne izgradnje vodovoda u europskim gradovima zabilježeni su potkraj 12. i početkom 13. stoljeća [1].

Javna vodoopskrba u suvremenom smislu riječi postoji tek 4,5 stoljeća. Preciznije, datira od 1544. godine, kad je engleski parlament donio zakon o osiguranju „bistre vode“ za građane Londona. Ovim zakonom omogućena je pojava prvih vodoopskrbnih organizacija [11]. Opskrba vodom u većini europskih gradova čak i početkom 19. stoljeća nije se bitno razvijala, već se i dalje oslanjala na zdence, rijeke i privatne prodavače vode. Gradovi još nisu bili voljni ulagati u sustave javne vodoopskrbe. Opskrba vodom bila je nedostatna, niske kvalitete i uvelike troškovno neefikasna. Sredinom 19. stoljeća, pod utjecajem druge industrijske revolucije, gradovi se ubrzano razvijaju. Rastom broja stanovnika i gospodarskih aktivnosti raste i potreba za vodom. Razvoj vodoopskrbe dobiva snažan zamah u Zapadnoj Europi i Sjevernoj Americi. Do početka 20. stoljeća većina gradova ima dostatan pristup vodi

zadovoljavajuće kvalitete. Ovaj je trend nastavljen do današnjih dana, a najnovije smjernice i direktive Europske Unije[13] propisuju da svako naselje veće od 50 stanovnika mora do 2020 godine biti priključeno na sustav javne vodoopskrbe.

2.2. Javna vodoopskrba

Javna vodoopskrba je djelatnost zahvaćanja podzemnih i površinskih voda, obradu i pripremu vode za piće, pripremu hrane, higijenske, komunalne i gospodarske potrebe, te njezin, transport i distribuciju od njenog izvora do krajnjeg potrošača [12]. Ubrzanim rastom stanovništva, urbanizacijom, zagađenjem okoliša, te već prisutnim efektima klimatskih promjena sve je teže osigurati i održati dovoljne količine pitke vode. U referentnom dokumentu Europske komisije [3], voda je vrijedan prirodni resurs s kojim se mora upravljati na održiv način, a svi gubici ovog resursa trebaju uvijek biti minimizirani. Vodoopskrbne organizacije suočavaju se s izazovom uspostave ravnoteže između učinkovitosti distribucijskih vodoopskrbnih mreža i učinkovitosti u korištenju prirodnih, ljudskih, financijskih i drugih resursa, a odgovorne su za ostvarenje ciljeva održivog poslovanja.

Sustav vodoopskrbe ili skraćeno vodovod je sustav građevina, uređaja i instalacija namijenjenih opskrbi vodom. Vodoopskrba podrazumijeva zahvaćanje, obradu, transport, i distribuciju vode koja se rabi za piće, pripremu hrane, higijenske, komunalne i gospodarske potrebe, od njenog izvora do krajnjeg potrošača. Pojam obrade vode podrazumijeva procese kontrole i tretmana vode neodgovarajuće kakvoće. Vodoopskrbom je potrebno osigurati dovoljne količine zdravstveno ispravne pitke vode radi zadovoljenja potrebe potrošača na vodoopskrbnom uslužnom području. S obzirom na veličinu vodoopskrbnog područja i njegove potrebe, te na lokacije izvorišta i njihovu izdašnost, vodoopskrbni sustavi mogu biti komunalnog ili regionalnog karaktera. Komunalni vodoopskrbni sustavi opskrbljuju vodom pojedinačna naselja, pri čemu je udaljenost od zahvata vode do potrošača relativno mala. Naselja koja u svom okruženju nemaju dostatne izvore pitke vode, vodu dopremaju iz udaljenih izvorišta transportnim cjevovodima. Dužina transportnih cjevovoda može iznositi više desetaka kilometara. Takve sustave nazivamo regionalnim vodoopskrbnim sustavima. Vodoopskrbni sustavi s obzirom na vrstu pogonske energije koju koriste radi ostvarivanja potrebnog tlaka vode mogu biti gravitacijski, tlačni ili mješoviti. Gravitacijski sustavi koristi potencijalnu energiju vode zbog visinskog položaja izvorišta koja su na većoj visini od naselja koja

[13] Direktiva 98/83/EZ o kakvoći voda namijenjenih za ljudsku potrošnju

opskrbljuju vodom. Tamo gdje potencijalna energija nije dostatna jer se voda crpi iz podzemnih izvorišta, koristimo tlačni vodoopskrbni sustav u kojem pumpna postrojenja prisilno osiguravaju potreban radni tlak vode. Sustav vodoopskrbe je skup funkcionalno povezanih objekata i opreme u jedinstveni sustav radi realizacije vodoopskrbnog procesa, a sastoji se od sljedećih vodnih građevina:

1. Vodocrpilišta
2. Pumpnih stanica
3. Postrojenja za kondicioniranje, obradu ili poboljšanje kakvoće vode
4. Vodosprema
5. Vodoopskrbne mreže

Vodocrpilišta su objekti koji služe za prikupljanje vode na podzemnim, površinskim ili atmosferskim izvorištima. Najčešće se koriste podzemna vodocrpilišta jer se podzemne vode u velikom broju slučajeva nalaze u blizini naselja. Osim toga, voda strujanjem kroz podzemlje prolazi kroz proces prirodnog filtriranja (auto purifikacije), koji je dovodi u zadovoljavajuće stanje s obzirom na fizikalne, kemijske i mikrobiološke parametre. Da bi se vodocrpilišta zaštitila od raznih štetnih utjecaja i zagađenja uvode se zone sanitarne zaštite vodocrpilišta. Zone sanitarne zaštite vodocrpilišta utvrđuju se u skladu sa zakonskim odredbama, nakon provedenih vodo-istražnih radova i na temelju izrađenog elaborata. Voda se iz podzemnih vodocrpilišta prikuplja u zdence (bunare). Površinska vodocrpilišta kod kojih vodu uzimamo (zahvaćamo) još nazivamo i vodo zahvati zbog načina prikupljanja vode. Vodo zahvati podrazumijevaju objekte za zahvat vode iz površinskih izvora, odnosno rijeka, jezera, vanjskih izvora i mora. Vodo-zahvatni objekti na takvim nalazištima mogu biti jednostavni (potoci, rijeke), ali i vrlo složeni i skupi (jezera, mora). Zahvati morske vode izvode se posebnim podmorskim (podvodnim) objektima, a obavezno su opremljeni uređajima za desalinizaciju, uklanjanje planktona, riba i drugog. Posebna vrsta vodo-zahvatnih građevina su kaptaže. Kaptaža izvora građevni je objekt za zahvat vode koja iz podzemlja izbija prirodnim, silaznim ili uzlaznim tokom, koji se zbog ekoloških i okolišnih razloga ne smije poremetiti ni u kojem slučaju. Kaptaža je u pravilu zaštićena i zatvorena radi zaštite od onečišćenja (zagađenja), pa se sastoji od jedne ili više komora s cijevima za odvod i ispust.

Atmosferski vodo-zahvati predstavljaju građevine projektirane i izgrađene na način koji omogućava prikupljanje vode od atmosferskih oborina. Cisterna za skupljanje i spremanje

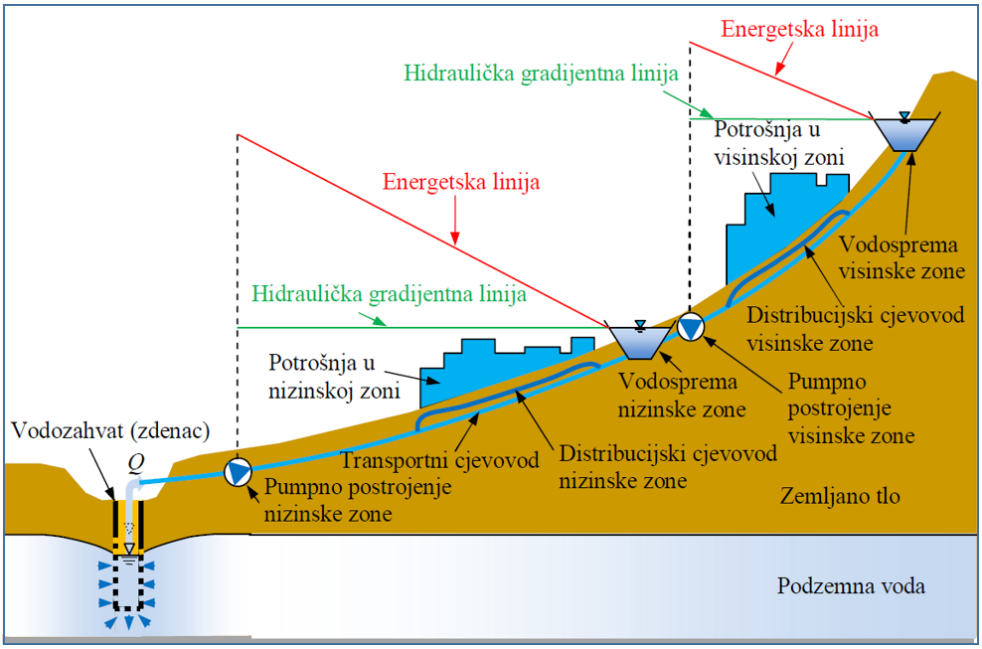
oborinske vode (kišnice) rabi se u sušnim područjima (na primjer bezvodna područja krša). Kao dio vodoopskrbnog sustava koriste se rijetko i samo za manja naselja.

Pumpne stanice, koriste se za podizanje energetske razine vode unutar vodoopskrbne distributivne mreže i objekata vodoopskrbnog sustava koji su na mrežu priključeni. Osnovni element pumpne stanice je *pumpni agregat* koji se sastoji od pumpe i elektromotornog pogona. Kada se voda transportira pod većim tlakom koriste se najčešće više-stupanjske centrifugalne pumpe s više serijski povezanih radnih kola. Za transport vode kod manjih tlakova koriste se aksijalne pumpe, primjerice kod transporta vode od izvorišta do uređaja za obradu vode ili od izvorišta do sabirne vodospreme pri maloj visinskoj razlici. Pumpni agregat mora imati radnu karakteristiku, koja je definirana odnosom visine dobave i protokom, usklađenu s radnom karakteristikom cjevovoda kojim se voda doprema. Radi regulacije procesa u ovisnosti o dinamici promjene visine dobave ili kapaciteta sustava vodoopskrbe, ugrađuje se više serijski ili paralelno povezanih pumpi. Osim toga, u sustavu trebaju biti instalirane i pričuvne (redundantne) pumpe za slučaj kvara ili remonta postrojenja. Pumpne stanice osim pumpnih agregata opremljene su i svom potrebnom opremom za upravljanje i zaštitu postrojenja.

Postrojenje za Kondicioniranje vode neodgovarajuće kakvoće. Razvoj naselja i povećanje standarda stanovništva negativno utječe na zagađenje čovjekove okoline, a među najteže oblike zagađenja svakako ubrajamo i zagađenje voda. Sve su rjeđa izvorišta besprijekorno čiste vode, a sve češći slučajevi ponovnog korištenja već korištenih voda. U takvim slučajevima kao i kada zahvaćena voda ne zadovoljava propisane vrijednosti kakvoće, vodu je potrebno podvrgnuti postupcima dodatne obrade radi uklanjanja onečišćenja i štetnih tvari. Obrada vode je proces kojim se mijenjaju fizikalni, kemijski ili mikrobiološki parametri vode do zadovoljenja zakonom propisanih parametara za kakvoću pitke vode. Postrojenja za obradu vode su vodne građevine s instaliranom potrebnom procesnom opremom radi obrade ili kondicioniranja vode do željene ili propisane razine kakvoće.

Vodosprema. Vodospreme su krajnji objekti vodoopskrbe u kojima se akumuliraju potrebne količine vode kao i potencijalna energija vode radi stabilizacije vodoopskrbnog procesa. Vodospreme se grade na projektiranoj visini koja osigurava potreban opskrbni tlak u najkritičnijoj točki vodoopskrbnog sustava. Drugim riječima vodospreme su zbog visinske kote na kojoj su izgrađene ujedno i regulatori tlaka u vodoopskrbnoj mreži. Veličinom vodospreme definirana je vremenska konstanta stabilizacije sustava. U slučaju poremećaja od kojih je najčešći nestanak električne energije vodoopskrba ovisi isključivo o akumuliranoj vodi u

vodospremama. Za prihvatljivu razinu sigurnosti preporučuje se da ukupni vodospremni prostor sustava vodoopskrbe treba imati kapacitet dnevno iscrpljene vode. Vodospreme moraju biti tehnički i sanitarno besprijekorno izvedene, a njihov obujam dovoljan da osigura sigurnu opskrbu u razdobljima najveće potrošnje bez obzira na sve moguće poremećaje u radu vodoopskrbnog sustava. Na slici 2.1 je prikazana skica tlačnog sustava vodoopskrbe s dvije visinske zone.



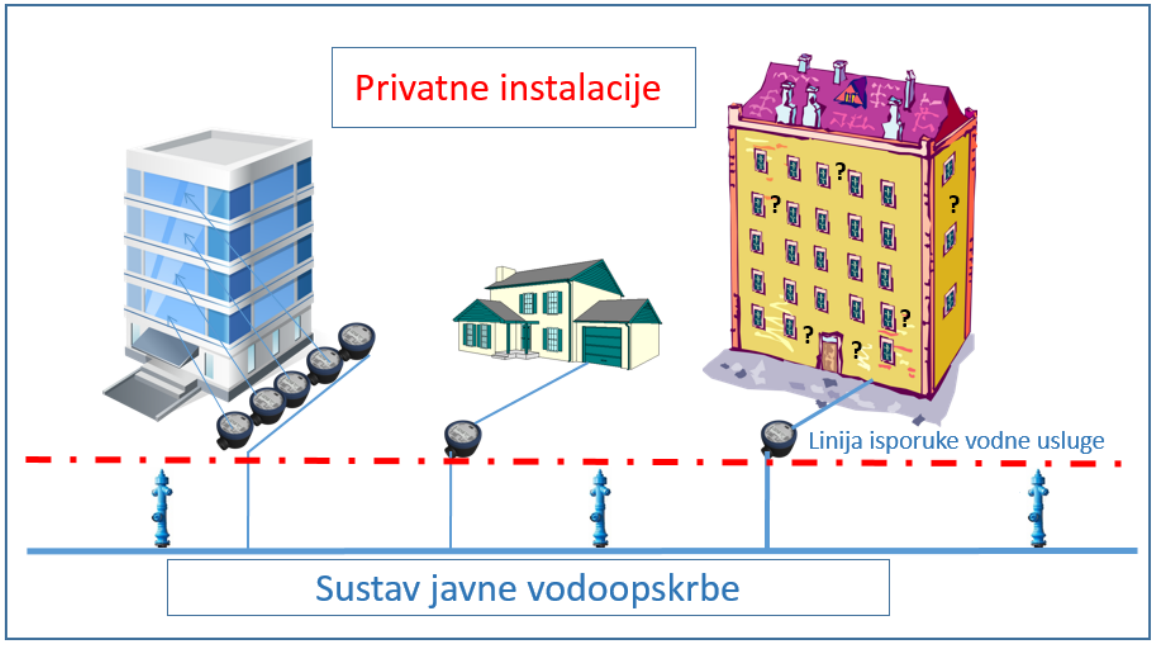
Slika 2.1: Skica tlačnog sustava vodoopskrbe s dvije visinske zone [13];

***Vodoopskrbna* mreža** je skup povezanih građevnih elemenata koji čine cijevi, oblikovni ili „fazonski“ elementi cjevovoda, vodovodne armature, a koji su međusobno povezani u funkcionalnu cjelinu. Tlocrtni raspored cjevovoda u odnosu na smjer dovoda vode ovisi o veličini naselja, urbanističkom rješenju i topografskim prilikama. Cjevovodi se prema funkciji dijele na transportne i distribucijske cjevovode, a prema topologiji na složene i jednostavne cjevovode. Vodoopskrbna mreža kojom se voda transportira i distribuira od izvorišta do krajnjih potrošača mora zadovoljavati niz tehničkih i zdravstvenih zahtjeva. Osnovni je tehnički zahtjev nepropusnost. Osim nepropusnosti, bitni zahtjevi su mali hidraulički otpor strujanju, mehanička otpornost prema vanjskim i unutarnjim silama, otpornost na kemijske utjecaje, te mogućnost jednostavne i pouzdane ugradnje. Osim cijevi, vodovodna mreža obuhvaća i razne oblikovne i armaturne elemente cjevovoda. Ventili (zasuni), koriste se za isključivanje pojedinih dijelova mreže radi izmjene ili popravaka. Od-zračne ventile za ispuštanje zraka u najvišim dijelovima mreže. Hidrante za dobavu većih količina vode za vatrogasne potrebe, više

vrsta funkcionalnih armatura za smanjenje (redukciju) tlaka, manometre, označavanje vodostaja i potrošnje u vodospremama priključne garniture i registratore potrošnje (kućni vodomjeri). Za osiguranje potrebne količine i tlaka vode u visokim zgradama i u naseljima gdje tlak vode nedovoljan izgrađuju se mini vodospreme (rezervoari) na vrhovima kuća ili se postavljaju automatske crpne stanice (hidrofori).

Potreban tlak u vodoopskrbnoj mreži uvjetovan je nizom čimbenika, na primjer visinom zgrada, zahtjevima protupožarnih uređaja, a za učinkovito djelovanje mora iznositi više od 2,5 bara. Povećanje broja kvarova u vodoopskrbnoj mreži proporcionalno raste s povećanjem tlaka. Zato se visoki tlakovi izbjegavaju gdje god je to moguće, a preporučena je nazivna veličina radnog tlaka od 6 bara. Vodoopskrbni sustavi koji se zbog topografskih obilježja područja rasprostiru na većem rasponu nadmorskih visina radi ograničenja tlaka u mreži podijeljeni su u odvojene visinske zone.

Prema organizacijskom ustroju, vodoopskrbne mreže mogu biti javne i privatne. Javna vodoopskrbna mreža služi za opskrbu vodom i zadovoljenje potreba stanovništva i industrije Linija primopredaje vodne usluge s organizacije javne vodoopskrbe krajnjim korisnicima prikazana je na slici 2.2.



Slika 2.2: Granica isporuke vodne usluge;

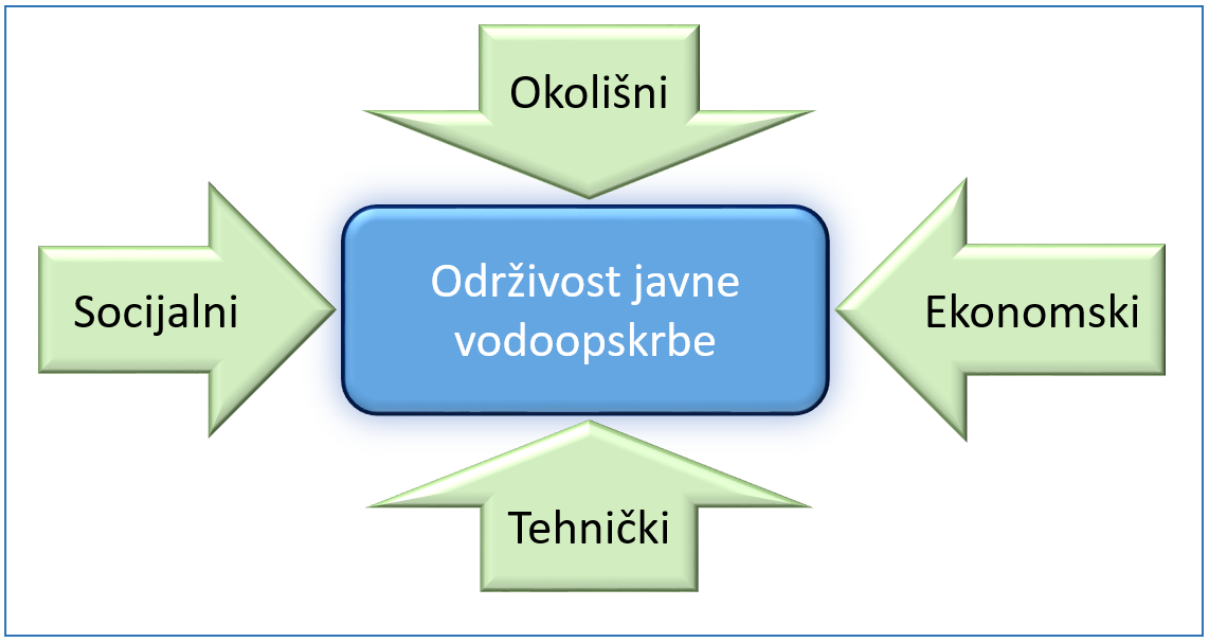
Privatne vodoopskrbne mreže mogu biti industrijske, kućne ili protupožarne.. Industrijska vodovodna mreža posebna je vodovodna (samostalna) mreža za velike industrijske komplekse

(željezare, postrojenja kemijske industrije i drugo). Kućna vodovodna mreža vodovodna je instalacija unutar stambenih i javnih zgrada s vodoravnim i okomitim razvodima. Sastoji se od razvodne mreže hladne vode i razvodne mreže tople vode. Protupožarna vodovodna mreža posebna je vodovodna mreža za zaštitu od požara. Protupožarni cjevovodi u naseljima mogu biti kao zasebni sustav potpuno odijeljeni od vodoopskrbnih instalacija (obično za industrijske i velike vojne komplekse, rafinerije nafte i slično). Isto tako, i u velikim stambenim i javnim objektima protupožarni su cjevovodi izvedeni kao zasebni sustav. Prema obliku, vodovodna mreža može biti prstenasta i razgranata. Prstenasta vodovodna mreža omogućava cirkulacijsko protjecanje vode kroz sustav. Razgranata vodovodna mreža sastoji se od jednoga glavnoga dovodnog ogranka, iz kojega se odvajaju pojedinačni cjevovodi kao grane prema krajevima.

Vodoopskrbne cijevi okruglog su presjeka, a proizvode se od nekoliko različitih vrsta materijala. Od lijevanoga željeza, čelika, betona, armiranoga betona ili polimernih materijala. Izbor vrste materijala za cijevi ovisi o maksimalnom radnom tlaku, gospodarskim i zdravstvenim zahtjevima, te topološkim, geološkim i seizmološkim karakteristikama terena u koji se ugrađuju. Najčešće korišteni materijal za proizvodnju cijevi je lijevano željezo. Lijevano - željezne cijevi proizvode se od nodularnog i sivog lijeva. Prednost ovih cijevi je velika otpornost prema vanjskim utjecajima (udarcima, koroziji) i unutarnjim utjecajima (tlaku), te dugačak životni vijek ili trajnost cijevi. Lijevano – željezne cijevi već u osnovnoj izvedbi izdržavaju tlakove veće od 40 bara, unutarnjeg su promjera od 50 do 1800 mm i uobičajene debljine stijenke od 5 do 6 mm. Prilikom izvedbe vodoopskrbne mreže potrebno je svladati promjene pravca, profila i vrste spojeva, te izvesti ogranke. Za tu se namjenu koriste oblikovni elementi cjevovoda ili „fazonski“ komadi, koji se također proizvode tehnologijom lijevanja. Funkcionalne elemente vodoopskrbne mreže nazivamo vodovodne armature, a u pravilu se proizvode od lijevanog željeza i čelika, istih nazivnih promjera i tlakova kao i vodovodne cijevi. Armature možemo podijeliti prema primjeni na armature za zatvaranje i regulaciju, armature za uzimanje vode, zaštitne armature. Svi elementi vodoopskrbne mreže moraju imati odgovarajuću dokumentaciju kojom dokazuju svoju sukladnost s propisima koji uređuju područje kvalitete vode za ljudsku potrošnju. Vodoopskrbna mreža čini najveći dio vodoopskrbnog sustava, pa se najveći broj kvarova u sustavima vodoopskrbe dešava upravo u vodoopskrbnoj mreži.

2.3. Održivost sustava javne vodoopskrbe

Prema široko prihvaćenoj definiciji, održivost podrazumijeva „razvoj koji osigurava zadovoljenje sadašnjih potreba bez štete po zadovoljenje potreba budućih generacija“ (WCED[14] - 1987; WB[15] - 2009;). Održivost sustava javne vodoopskrbe možemo promatrati s 4 aspekta održivosti; socijalnog, ekonomskog, okolišnog i tehničkog (slika 2.3).



Slika 2.3: 4 aspekta održivosti javne vodoopskrbe;

Socijalni aspekt održivosti; Voda je jedna od temeljnih ljudskih potreba (zrak, voda, hrana), te je Svjetska zdravstvena organizacija WHO[16] izdala smjernice za kvalitetu pitke vode[17]. Primarna svrha Smjernica je zaštita javnog zdravlja. Voda je bitna za održavanje života, a zadovoljavajuća (odgovarajuća, sigurna i dostupna) vodoopskrba mora svima biti na raspolaganju. Poboljšanje pristupa pitkoj vodi može rezultirati značajnim koristima za zdravlje stanovništva, te zato treba uložiti maksimalne napore na ostvarenju visokih standarda kakvoće pitke vode. Da bi se odredila obvezna ograničenja, poželjno je smjernice razmatrati u kontekstu lokalnih ili nacionalnih, okolišnih, socijalnih, ekonomskih i kulturnih uvjeta.

Temeljem navedenog, socijalni aspekt održivosti javne vodoopskrbe je političko pitanje jer svakom pojedincu treba osigurati pristup zdravstveno ispravnoj vodi po prihvatljivoj cijeni i u

[14] WCED - World Commission on Environment and Development.
[15] WB - World Bank.
[16] WHO – World Health Organization.
[17] World Health Organization - Guidelines for drinking-water quality: incorporating first addendum.Vol.1, Recommendations.– 3rd ed., ISBN 92 4 154696 4.

količini koja zadovoljava njegove potrebe u kontekstu lokalnih ili nacionalnih, okolišnih, socijalnih, ekonomskih i kulturnih uvjeta. Dostupnost javnoj vodoopskrbi definirana je prema EU direktivi, a koja traži da svako naselje veće od 50 stanovnika bude priključeno na sustav javne vodoopskrbe do 2020 godine. Nedostupnost, previsoka cijena, nedovoljne količine ili kvaliteta vode dovode sustav javne vodoopskrbe u poziciju socijalne neodrživosti.

Ekonomski aspekt održivosti; Temeljem smjernica Svjetske zdravstvene organizacije ekonomski aspekt održivosti je političko pitanje jednako kao i socijalni. Poslovanje vodoopskrbnih organizacija mora biti ekonomično i učinkovito, a dugoročno gledano mora biti u financijskoj ravnoteži. Ekonomska se održivost u Europi temelji na propisima koje je donijela Europska unija kao što su smjernica 2000/60/EC i Direktiva 98/83/EZ kojima je određeno da se javne vodoopskrbne organizacije smiju baviti isključivo djelatnošću javne vodoopskrbe, da moraju biti neovisne i da njihovo poslovanje mora biti troškovno, a ne profitno orijentirano. Prihodi od prodane vode ($Q_{RW'}$) moraju biti dostatni za pokrivanje troškova vodoopskrbne djelatnosti kao što su troškovi energije, troškovi održavanja vodnih građevina, troškovi amortizacije, te troškovi vodoopskrbnih djelatnika. Financijska sredstva potrebna za izgradnju vodnih građevina osiguravaju se iz naknade za razvoj vodoopskrbe (sastavnica u cijeni vode), te bespovratnih sredstava iz proračuna lokalne samouprave i fondova EU.

Okolišni aspekt održivosti; Javna vodoopskrba je djelatnost zahvaćanja podzemnih i površinskih voda, obrada i priprema vode za piće, priprema hrane, higijenske, komunalne i gospodarske potrebe, te njezin, transport i distribuciju od njenog izvora do krajnjeg potrošača. Vodoopskrbne organizacije posebnu pozornost moraju posvetiti izvorištima vode (vodocrpilišta za zahvaćanje podzemnih voda i kaptaže za zahvaćanje površinskih voda) radi trajne zaštite od neželjenih posljedica. Zaštita od zagađenja provodi se uvođenjem zona sanitarne zaštite i drugih potrebnih mjera. Količine zahvaćene vode Q moraju biti u granicama koje će osigurati trajno korištenje Izvorišta. Okolišni aspekt održivosti posebno dolazi do izražaja na uslužnim područjima siromašnim izvorištima vode.

Tehnički aspekt održivosti; Vodoopskrbni sustavi složeni su sustavi koji zahtijevaju ljudske (znanje i vještine) i materijalne (strojevi, alati i materijal) resurse u dovoljnim količinama dostatnim za upravljanje i održavanje sustavom vodoopskrbe na održiv način. Postojeći vodoopskrbni sustavi stari su tek oko 150 godina i postaju sve stariji. Takvo stanje zahtijeva učinkovito upravljanje sustavom, te kvalitetno preventivno i prediktivno održavanja, a samo iznimno korektivno održavanje. Dijelovi vodoopskrbnog sustava, koji zahtijevaju prevelike

troškove održavanja ili imaju prevelike aktivnosti i troškove korektivnog održavanja, moraju biti sanirani. Upravljanje vodoopskrbnim sustavom mora biti učinkovito.

Navedeni aspekti održivosti međusobno su povezani, pa će tako gubici vode iz sustava javne vodoopskrbe narušiti okolišni aspekt održivosti i povećati potrebu zahvaćanja vode. Prekomjerno zahvaćanje vode povećava troškove energije i troškove korektivnog održavanja. Povećani troškovi utiču na ekonomičnost poslovanja koji će negativno utjecati ma ekonomsku održivost. Neekonomični sustavi imaju previsoku cijenu prodane vode RW što pak narušava socijalnu održivost. Izazov za vodoopskrbne organizacije je uspostava ravnoteže između učinkovitosti distribucijskih vodoopskrbnih mreža i učinkovitosti u korištenju prirodnih, ljudskih, financijskih i drugih resursa radi ostvarenja ciljeva održivog poslovanja.

Pregledom literature pronađen je rad koji obrađuje problem održivosti. Autori Sidani i Youssef [14] u svom radu ukazuju na problem održivosti vodoopskrbnih sustava u zemljama u razvoju. Naglo povećanje stanovništva u gradovima tijekom posljednjih desetljeća uzrokovano migracijama, povećanjem trgovine, turizma i drugih aktivnosti, dovelo je do prenaseljenost u urbanim sredinama. Gradovi rastu brže od očekivanog i planiranog, te zadovoljenje dovoljnih količina pitke vode za građane i industriju postaje novi izazov. U svom radu autori pokušavaju istražiti interakciju ekoloških pitanja vezanih uz opskrbu pitkom vodom u zemljama u razvoju, te analiziraju studije dva slučaja uspješnih vodoopskrbnih organizacija (Singapur i Nizozemska) radi identifikacije njihovih pristupa problemu javne vodoopskrbe.

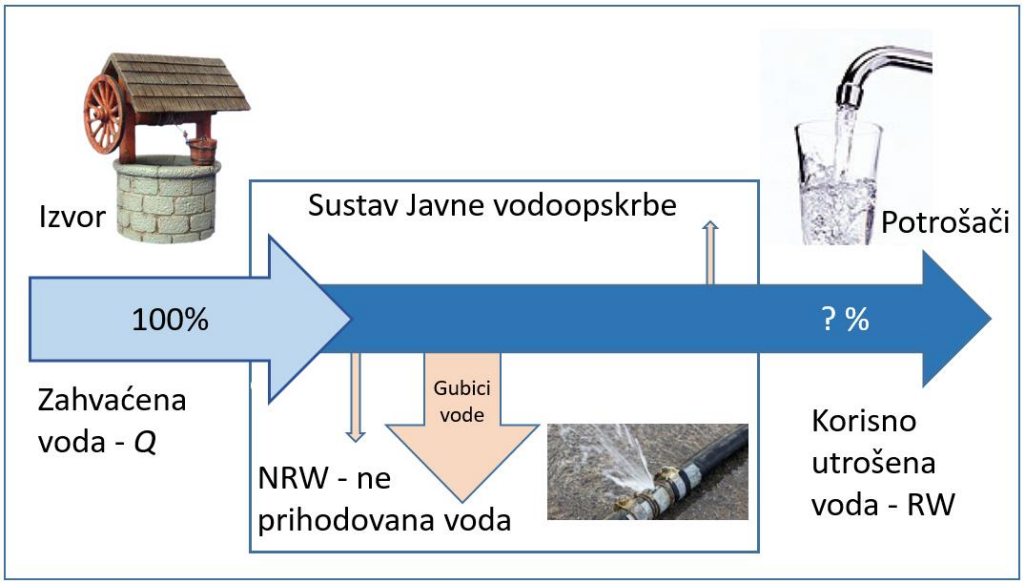
2.4. Učinkovitost sustava javne vodoopskrbe

Razvojem vodoopskrbe razvijane su mnoge metode i alati za povećanje učinkovitosti vodoopskrbnih sustava i smanjenje gubitaka vode u korelaciji s dostupnim znanstvenim i tehnološkim dostignućima. Međutim rezultati vrlo često izostaju ili su ispod očekivanja jer organizacije javne vodoopskrbe teško prihvaćaju nova znanja, a promjene rijetko rade dosljedno.

U referentnom dokumentu Europske komisije [3], voda se navodi kao vrijedan prirodni resurs s kojim se mora upravljati na održiv način, a svi gubici ovog resursa trebaju uvijek biti minimizirani. Vodoopskrbne organizacije suočavaju se s izazovom uspostave ravnoteže između učinkovitosti distribucijskih vodoopskrbnih mreža i učinkovitosti u korištenju prirodnih, ljudskih, financijskih i drugih resursa, a odgovorne su za ostvarenje ciljeva održivog poslovanja. Ubrzanim rastom stanovništva, urbanizacijom i već prisutnim efektima klimatskih

promjena sve teže je osigurati i održati dovoljne količine vode namijenjene za ljudsku potrošnju.

Prema stručnoj publikaciji [15] Svjetske zdravstvene organizacije, gubici vode povećavaju količinu zahvaćene vode i moraju se smatrati dijelom cjelovitog dugoročnog plana upravljanja vodnim resursima. Ovo je posebno važno za područja s nedostatnim prirodnim vodnim resursima gdje u vrijeme suše nije moguće osigurati potrebne količine pitke vode. Prekomjerni gubici vode (gubici vode prikazani su shematski na slici 2.4.) smatraju se „otpadom“, a takve vodoopskrbne organizacije se smatraju neučinkovitim. Iz tih razloga, gubici vode iz vodoopskrbnih sustava ključni su pokazatelj uspješnosti vodoopskrbnih organizacija. Svjetska zdravstvena organizacija i svjetska banka ukazuje na globalnost problema propuštanja vode iz distribucijskih mreža vodoopskrbnih sustava i generalno pozivaju sve dionike vodoopskrbnih sustava da predlože učinkovitu metodologiju za smanjenje gubitaka vode, te da je primjene u stvarnim vodoopskrbnim sustavima.



Slika 2.4: Gubici vode u vodoopskrbnom sustavu

Problem učinkovitosti i održivosti javne vodoopskrbe globalni je problem, a gubici vode generalno se smatraju važnim pokazateljem uspješnosti vodoopskrbe. 1996 godine, međunarodno udruženje za vodu IWA osniva radnu grupu za rješavanje gubitaka vode WLTF sa zadaćom normiranja terminologije i procedura za ispunjavanje prikaza obračuna vode, te uvođenja dosljednih indikatora za procjenu upravljačke i financijske učinkovitosti vodoopskrbnih sustava. Do kraja 2000. godine radna grupa WLTF je predložila bilancu gubitaka vode, terminologiju, te indikatore učinkovitosti [16]. Generalno, gubici vode

definirani su kao postotak od ukupne količine vode unesene u vodoopskrbni sustav SIV *(engl. System Input Volume)*. Međutim, gubici vode imaju svoju strukturu u ovisnosti o uzroku nastajanja. Zbog važnosti ove tematike i uvažavajući činjenicu da se na strukturi gubitaka temelje aktivnosti za smanjenje gubitaka vode, IWA predlaže unificiranu i standardiziranu bilancu gubitaka vode WB (*engl. Water Balance)* [4], [16], koja je pregledno prikazana tablicom 2.1.

Tablica 2.1: Internacionalna standardna bilanca vode [4];

<table>
<tr><td rowspan="9">Zahvaćena voda
Q</td><td rowspan="4">Ovlaštena potrošnja
Q_{AC}</td><td rowspan="2">Fakturirana ovlaštena potrošnja
Q_{BAC}</td><td>Mjerena fakturirana količina vode</td><td rowspan="2">Prihodovana voda
Q_{RW}</td></tr>
<tr><td>Nemjerena fakturirana količina vode</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Nefakturirana ovlaštena potrošnja
Q_{UAC}</td><td>Mjerena nefakturirana količina vode</td><td rowspan="7">Ne prihodovana voda
Q_{NRW}</td></tr>
<tr><td>Nemjerena nefakturirana količina vode</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Gubici vode
Q_{WL}</td><td rowspan="2">Prividni gubici
Q_{AL}</td><td>Netočnost mjerenja potrošnje</td></tr>
<tr><td>Neovlaštena potrošnja vode</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Stvarni gubici
Q_{RL}</td><td>Curenja na cjevovodima</td></tr>
<tr><td>Puknuća cjevovoda</td></tr>
<tr><td>Prelijevanje vodosprema</td></tr>
</table>

Standardna IWA bilanca vode podrazumijeva količine vode koje se mjere tijekom jedne godine što se iskustveno pokazalo kao primjereno referentno razdoblje, te je mjerna jedinica za svaki od navedenih elemenata strukture gubitaka vode [m^3/y], gdje y označava razdoblje od jedne godine *(engl. Year)*. Godišnja količina izgubljene vode iskazana u postotku ili u m^3 važan je, a prema autorima u radu [17] i najvažniji pokazatelj učinkovitosti vodoopskrbne organizacije. Praćenjem godišnjih gubitaka vode u višegodišnjem razdoblju dobijemo trend učinkovitosti

javne vodoopskrbe. Visoki gubici vode s trendom rasta pokazatelj su neučinkovitog planiranja i izgradnje, te niske aktivnosti prediktivnog održavanja.

Gubici vode prisutni su u svim vodoopskrbnim sustavima, a uzrokovani su operativnim, procesnim razlozima ili gubitkom potrebnih funkcionalnih svojstava dijelova vodnih građevina zbog starosti, loše izvedbe, lošeg održavanja, seizmičkih aktivnosti tla, direktnog i indirektnog utjecaja građevinskih aktivnosti, neovlaštenog korištenja kao i niza drugih faktora koji više ili manje utječu na pojavu gubitaka [3].

Gubici vode nisu konstantni već se apsolutno i relativno mijenjaju pod utjecajem niza parametara. Zbog navika potrošača razlikujemo dnevnu, tjednu i sezonsku raspodjelu potrošnje vode, pa shodno tome razlikujemo i dnevnu, tjednu i sezonsku raspodjelu gubitaka vode. Primjerice, tijekom noći, kada je potrošnja najmanja, relativni gubici vode su najveći. Tijekom dana kada je potrošnja vode veća, relativni gubici su manji. Relativna veličina gubitaka vode s obzirom na uzrok nastajanja razlikuje se od vodoopskrbnog do vodoopskrbnog sustava u ovisnosti o njegovim značajkama kao što su topografija terena, veličina uslužnog područja, gustoća priključaka, starost vodnih građevina, vrsta i karakteristike primijenjenih građevnih materijala, te učinkovitosti organizacije, kvaliteti upravljanja i održavanja vodoopskrbnog sustava [13].

Pod gubicima vode Q_{WL} *(engl. Water Losses)* podrazumijeva se količinski dio od ukupno zahvaćene vode Q u obračunskom razdoblju od jedne godine koji nekontrolirano i nenamjenski isteče iz vodoopskrbne mreže kao posljedica nesavršenosti u upravljanju i korištenju sustava vodoopskrbe. Ostatak zahvaćene vode koji se kontrolirano i namjenski isporuči iz sustava vodoopskrbe naziva se ovlaštena potrošnja Q_{AC} *(engl. Authorized Consumption)*. Međutim, za objektivnu i iscrpniju analizu stanja vodoopskrbnoga sustava potrebno je u obzir uzeti više pokazatelja koji su sastavnice standardne IWA bilance gubitaka vode. Klimatske promjene, rast populacije stanovništva, te pogoršanje stanja vodoopskrbne infrastrukture čine konstantan pritisak na vodoopskrbne organizacije radi smanjenja gubitaka vode. Sve je veća svijest o važnosti precizne procjene i učinkovite kontrole gubitaka vode kao sredstava za očuvanje vodnih resursa. Propuštanje iz sustava distribucije vode negativno utječe na mnoge različite funkcije korisnosti vodoopskrbnog sustava. Prekomjerno propuštanje povećava ukupne troškove crpljenja, obrade i distribucije vode, a posljedično povećava i energetske potrebe. Radi kompenzacije količina izgubljene vode, nepotrebno se povećavaju i kapaciteti vodoopskrbnih građevina.

Prema međunarodnom udruženju za vode IWA stvarni se gubici vode CARL *(engl. Current Annual Real Losses)* ne mogu u potpunosti ukloniti. Uvijek će postojati razina propuštanja vode koja se mora tolerirati u bilo kojem sustavu i s kojom se mora upravljati u prihvatljivim granicama. Izazov je upravljati gubicima vode na optimalan način. Smanjenje gubitaka vode je aktivnost koji zahtijeva stalnu pozornost i djelovanje svih relevantnih dionika procesa vodoopskrbe. Načelno i dugoročno gledano CARL nije konstantan jer se tolerantna razina gubitaka vode stalno preispituje pod okolnostima novih znanja i tehnologija, te ciljeva održivog poslovanja. CARL predstavlja trenutno prihvatljivu razinu gubitaka vode.

Vermersch i Rizzo, u svom članku [18], bave se dizajniranjem učinkovitog akcijskog plana. Navode da su mnoge organizacije, uključujući IWA, uložile velike napore u promicanje novih koncepata i metoda za poboljšanje učinkovitosti u upravljanju vodoopskrbnim organizacijama, a posebno u smanjenju količina ne prihodovane vode NRW. Ukazuju da je već prilično jasno na globalnoj razini da NRW nije pod kontrolom u većini vodoopskrbnih poduzeća. Mnoge agencije su potrošile značajne iznose novaca kako bi smanjile NRW, a rezultati su često prilično loši jer se NRW i dalje povećava na naizgled neizbježan način. To upućuje da poboljšanje definicija i koncepata nije dovoljno za rješavanje problema, uzroci neuspjeha moraju se detaljno istražiti u fazi planiranja i provedbe aktivnosti, te je potrebno razviti sustavniji pristup. Iskustvo autora u provedbi brojnih akcijskih planova za smanjenje NRW-a omogućilo im je da odrede djelotvoran okvir za akcijsko planiranje. Strateški gledano, za povećanje učinkovitosti javne vodoopskrbe neophodan je aktivan pristup prilagođen specifičnostima pojedine vodoopskrbne organizacije. Pasivni pristup ili zanemarivanje bilo kojeg faktora bitnog za kontrolu gubitaka vode, rezultirat će neprekidnim porastom gubitaka vode sa štetnim posljedicama. Kako bi se ova situacija okrenula i kako bi se zaustavilo kontinuirani rast gubitaka vode, nužno je uspostaviti strukturirani pristup i uvesti potrebne aktivnosti, kao i praćenje napretka kroz odgovarajuće pokazatelje.

Vermersch i Rizzo, članovi radne skupine WLTF, u želji da ostvare pozitivne pomake u borbi s gubicima vode, u svom radu [19], objavljenom 2009. godine i ponovno objavljenom 2016. godine u proširenom izdanju, ukazuju na potrebu promjene načina upravljanja vodoopskrbnim organizacijama jer je to „karika koja nedostaje“. Ukazuju na potrebu provedbe uspješnog akcijskog plana i postizanja održivih rezultata. Zaključuju da je upravljanje gubicima vode uspješno samo ako se uvodi kao dio cjelokupnog održivog paketa mjera definiranih dugoročnom strategijom. Evoluiranjem svojih spoznaja ukazuju da smanjenja ne prihodovane

vode NRW nije samo inženjerski problem, već je riječ i o društvenim znanostima i umijeću upravljanja. Nakon što su uveli trodimenzionalnu strukturu akcijskog planiranja, uvode i nove alate za upravljanje kao što su analiza mreže kulture, mreža dionika i kaleidoskop promjena. Navode da je promjena ključna riječ, a kada se promjenama pravilno upravlja one mogu dovesti do unaprijed određenih ciljeva. Zaključno, ukazuju da je temelj učinkovite vodoopskrbne organizacije aktivno i suvereno upravljanje svim aspektima vodoopskrbne organizacije. Kontinuirano unaprjeđenje zahtijeva efektivno rješavanje problema strukturiranim pristupom. Promjena obrasca ponašanja i primjena najnovijih znanja i dostignuća nameće se kao imperativ u nastojanjima da se smanje gubici vode i da se ostvari željeni oporavak vodoopskrbnih sustava. Da bi se predloženi model uspješno provodio i postao učinkovit potrebno je primijeniti nova znanja iz područja upravljanja. Upućen je i generalni poziv dionicima vodoopskrbnih sustava da predlože učinkovitu metodologiju za smanjenje gubitaka vode, te da je primjene u stvarnim vodoopskrbnim sustavima.

Vodoopskrbne organizacije suočavaju se s izazovom uspostave ravnoteže između učinkovitosti distribucijskih vodoopskrbnih mreža i učinkovitosti u korištenju prirodnih, ljudskih, financijskih i drugih resursa, a odgovorne su za ostvarenje ciljeva održivog poslovanja. Vodoopskrbni sustavi postaju sve veći, sve stariji, te zbog toga posljedično i sve složeniji za nadzor, upravljanje i održavanje. Posljedica takvog stanja je kontinuirani rast negativnih pokazatelja poslovanja, primjerice kontinuirani rast ne-prihodovane vode NRW. Promjena obrazaca ponašanja u nadzoru, upravljanju i održavanju vodoopskrbnih sustava postaje imperativ daljnjeg razvoje radi povećanja učinkovitosti koje će se pozitivno odraziti na ključne pokazatelje poslovanja.

2.5. Ključni pokazatelji uspješnosti javne vodoopskrbe

Ključni pokazatelji uspješnosti KPI *(engl. Key Performance Indicators)* javne vodoopskrbe važni su elementi poslovnog izvještavanja kako bi relevantni dionici, korisnici, javnost, nevladine organizacije i regulatori imali jasnu sliku o učinkovitosti sustava javne vodoopskrbe. Pokazatelji uspješnosti usmjereni su u nekoliko glavnih pravaca kao što su učinci na okoliš, učinkovitost resursa, ekonomičnost i gubici vode u vodoopskrbnom sustavu. Najčešće korišteni pokazatelji uspješnosti upravo su pokazatelji vezani uz gubitke vode jer oni na direktan ili indirektan način utječu na sve ostale pokazatelje. Nažalost, u praksi se još uvijek koriste neprikladni tradicionalni pokazatelji uspješnosti koji nisu dostatni za usporedbu učinkovitosti između javnih organizacija vodoopskrbe ni unutar pojedinih zemalja niti na međunarodnom

planu [3]. Gubici vode u vodoopskrbnom sustavu, iskazani kao postotak zahvaćene vode u razdoblju od godine dana, ključni su pokazatelj uspješnosti vodoopskrbnih organizacija. Međutim ovaj ključni pokazatelj uspješnosti nije dostatan za određivanje apsolutne učinkovitosti.

Berg i Padowski [20] analiziraju vrednovanje *(engl. Benchmarking)* vodoopskrbnih organizacija na teoretskoj razini. Naglašavaju značaj vrednovanja za one koji razvijaju i provode vodnu politiku. Vrednovanje osigurava regulatorima i upraviteljima komunalnih organizacija način uspoređivanja performansi tijekom vremena, između vodoopskrbnih poduzeća i između različitih zemalja. Stoga, vrednovanje i rangiranje može poslužiti kao katalizator za bolje upravljanje vodoopskrbnim organizacijama. Vrednovanje može promicati rješavanje nesuglasica između ove dvije skupine dopuštajući sudionicima da se usredotoče na rad i moguću pomoć u premošćivanju jaza između tehničkih istraživača i onih koji provode studije učinkovitosti za vladine agencije i vodoopskrbna poduzeća. Kako bi se riješio širok raspon pitanja koja se pojavljuju pri ocjenjivanju učinka vodnog komunalnog poduzeća, analitičari su razvili pet metodologija za usporedbu, od kojih svaka rješava specifična pitanja. Osim toga, ako menadžeri ne znaju koliko dobra je njihova organizacija ili sektor kojim upravljaju, ne mogu postaviti razumne ciljeve za planiranja budućih aktivnosti. Proces uspoređivanja radi vrednovanja podijelili su u pet koraka: identifikaciju ciljeva, odabir metodologije, prikupljanje podataka; pregled i analiza podataka i testiranje dosljednosti i osjetljivosti. Ipak, naglašavaju da prilikom vrednovanja treba voditi računa i koristiti sveobuhvatne pokazatelje jer parcijalno korištenje podataka može dovesti do krivog vrednovanja.

Uobičajena ocjena gubitaka vode podrazumijeva odnos između apsolutnih gubitaka (prividnih i stvarnih) i apsolutno zahvaćene vode u razdoblju od godinu dana i iskazuje se u postotku. Međutim, ovaj pokazatelj nije dostatan za potpunu ocjenu učinkovitosti sustava vodoopskrbe. Tako primjerice, međusobna usporedba različitih sustava vodoopskrbe temeljem isključivo ovoga pokazatelja ne daje realnu sliku o tome koji sustav je učinkovitiji. Uzroci toga su kompleksnost i raznolikost sustava vodoopskrbe, te činjenica da je svaki vodoopskrbni sustav jedinstven i po svojim značajkama specifičan u odnosu na druge sustave [1].

Da bi se omogućila bolja ocjena upravljanja sustavom vodoopskrbe prema preporuci američkog udruženja vodovoda uvode se dodatni pokazatelji učinkovitosti [21], [22]. Oznake pokazatelja proizišle su iz engleskoga govornog područja, te se u praksi nazivaju: ne prihodovana voda

NRW, gubici vode WL, stvarni gubici vode RL *(engl. Real Losses)*, stvarni godišnji gubici vode CARL , neizbježni godišnji stvarni gubici UARL (*engl. Unavoidable Annual Real Losses)*, te infrastrukturni pokazatelj curenja ILI *(engl. Infrastructure Leakage Indicator) koji je definiran izrazom:*

$$ILI = CARL / UARL. \tag{2.1}$$

ILI Indikator govori o tome koliko puta su stvarni gubici veći od neizbježnih, te kod idealno vođenih sustava vodoopskrbe čiji su stvarni gubici vode jednaki neizbježnim gubicima vode, poprima najmanju moguću vrijednost koja je jednaka jedan.

Pojam gubitaka vode WL podrazumijeva količinski dio Q_{WL} od ukupno zahvaćene vode Q u obračunskom razdoblju od jedne godine koji nekontrolirano i nenamjenski isteče iz vodoopskrbne mreže kao posljedica nesavršenosti u upravljanju i korištenju sustava vodoopskrbe. Ostatak zahvaćene vode koji se kontrolirano i namjenski isporuči iz sustava vodoopskrbe naziva se ovlaštena potrošnja Q_{AC} *(engl. Authorized Consumption)*. Zahvaćena ili ukupno uvedena voda u sustav vodoopskrbe može se prikazati kao zbroj gubitaka i ovlaštene potrošnje:

$$Q = Q_{WL} + Q_{AC} \tag{2.2}$$

Gubici se dijele na stvarne gubitke Q_{RL} *(engl. Real Losses)* i prividne gubitke Q_{AL} *(engl. Apparent Losses)*, te je

$$Q_{WL} = Q_{RL} + Q_{AL} \tag{2.3}$$

Stvarni gubici se definiraju kao istjecanje vode na objektima i opremi vodoopskrbnog sustava: curenje i puknuća cjevovoda, prelijevanje vodosprema i dr. Prividni gubici podrazumijevaju količine vode koje nekontrolirano istječu putem registriranih (evidentiranih) mjesta potrošnje uslijed netočnosti vodomjera ili kroz neregistrirana mjesta potrošnje kao posljedica krađe vode. Ovlaštena potrošnja Q_{AC} sastoji se od fakturirane ovlaštene potrošnje Q_{BAC} *(engl. Billed Authorized Consumption)* i nefakturirane ovlaštene potrošnje Q_{UAC} *(engl. Unbilled Authorized Consumption)*, te je:

$$Q_{AC} = Q_{BAC} + Q_{UAC} \tag{2.4}$$

Ako se gubicima vode dodaju količine nefakturirane ovlaštene potrošnje vode koje odgovaraju vlastitoj potrošnji vodovoda, dobiva se količina vode koja se naziva ne prihodovana voda Q_{NRW} *(engl. Non-revenue Water)*, a jednaka je:

$$Q_{NRW} = Q_{WL} + Q_{UAC} \tag{2.5}$$

Iz ekonomskog aspekta gledano, zahvaćena voda dijeli se na prihodovanu vodu Q_{RW} i ne prihodovanu vodu Q_{NRW}. Razlika između zahvaćene vode i ne prihodovane vode predstavlja prihodovanu vodu Q_{RW} *(engl. Revenue Water)* vodoopskrbnog sustava, tako da je

$$Q = Q_{RW} + Q_{NRW} \tag{2.6}$$

Indikatori učinkovitosti vodoopskrbnog sustava temeljeni na strukturi gubitaka prikazani su u tablici 2.2.

Tablica 2.2: Indikatori učinkovitosti gubitaka vode [13];

Oznaka indikatora	Naziv indikatora	Izračun indikatora	Jedinica indikatora
NRW	Ne prihodovana voda	Q_{NRW} / Q	-, *x 100%*
WL	Gubitak vode u odnosu na zahvaćenu vodu	Q_{WL} / Q	-, *x 100%*
CARL	Godišnji stvarni gubici za $N_c \leq 20$/km cjevovoda	$1000Q_{RL} / 365L_m$	1 / km cjevovoda x dan
	Godišnji stvarni gubici za $N_c > 20$/km cjevovoda	$1000Q_{RL} / 365N_c$	1 / priključak x dan
UARL	Neizbježni godišnji stvarni gubici za $N_c \leq 20$/km cjevovoda	$1000Q_{UL} / 365L_m$	1 / km cjevovoda x dan
	Neizbježni godišnji stvarni gubici za $N_c > 20$/km cjevovoda	$1000Q_{UL} / 365N_c$	1 / priključak x dan
ILI	Infrastrukturni Indikator Curenja	*CARL / UARL*	-

Indikator UARL predstavlja najmanju referentnu teoretsku vrijednost gubitaka vode koju je uz trenutno postojeće metode i tehnologiju smanjenja gubitaka moguće postići u određenom vodoopskrbnom sustavu [6], [23]. Dobiven je iz veličine koja se naziva neizbježni gubici Q_{UL} *(engl. Unavoidable Losses)*, a čija vrijednost se izračunava pomoću empirijskog izraza:

$$Q_{UL} = 0{,}365(18L_m + 0{,}8N_c + 25L_p)p \tag{2.7}$$

Način izračuna neizbježnih gubitaka razvijen je 1999. godine i objavljen u [21], a prema [22] i [24] se pokazao pouzdanim u većini sustava vodoopskrbe. Veličina L_m je ukupna duljina cjevovoda vodoopskrbnog sustava izražena u kilometrima, N_c je broj priključnih mjesta u sustavu vodoopskrbe, a L_p je duljina cjevovoda od granice posjeda potrošača do vodomjera izražena u kilometrima. Veličina p je prosječan tlak u sustavu izražen u metrima vodenog stupca. Razlika između stvarnih i neizbježnih gubitaka daje gubitke iznad neizbježnih *(engl. Avoidable Losses)* koji su jednaki

$$Q_{AL} = Q_{RL} - Q_{UL} \tag{2.8}$$

Veličine Q_{AL} i Q_{UL}, također su izražene u [m^3/y]. Stvarni gubici, na koje se odnosi u pravilu najveći dio gubitaka vode, uzrokovani su puknućima cjevovoda, gubicima vode iz vodosprema i gubicima vode na priključcima krajnjih potrošača. Prividne gubitke čine pogreške u mjerenju prodane vode, neovlaštena potrošnja (krađa vode) i pogreške u očitanju potrošnje.

Giustolishi i drugi, u radu [25], navode da svako istjecanje vode iz sustava javne vodoopskrbe, a koje se ne naplaćuje, smatramo ne prihodovanom vodom NRW, a definira se kao razlika između vode zahvaćene na izvoru ili vodocrpilištu i prihodovane vode RW, a iskazuju se u postotcima. Veliki dio ne prihodovane vode odnosi se na gubitke koji nastaju nekontroliranim istjecanjem vode uzrokovanim, lošim spojevima, puknućima cjevovoda i ne kontroliranim istjecanjima na mjestima gdje se potrošnja vode ne mjeri (ilegalni priključci, hidranti). Veličina gubitaka vode ovisi o preventivnom, prediktivnom i interventnom održavanju vodoopskrbnog sustava, a upravljanje gubicima vode u sustavu javne vodoopskrbe jedan je od temeljnih zadataka javnih opskrbljivača.

Alegre i Covas [26] navode da su struktura i veličina gubitaka vode temelj analize kvalitete i ocjene učinkovitosti vodoopskrbnog sustava.

Vilanova i drugi [27] analiziraju literaturu o mjerenjima učinkovitosti i pokazateljima poslovanja u sektoru vodoopskrbe, a pregled uključuje i međunarodne primjere. Ukazuju na važnost i značaj mjerenja uspješnosti koje menadžerima u vodoopskrbnim organizacijama omogućuje kvantifikaciju učinkovitosti. Ova mjerenja će pružiti osnovu za usporedbu sličnih organizacija javne vodoopskrbe. Također ukazuju na značaj mjerenja održivosti i utjecaja na okoliš koje sve više postaje trend u ovom području, te razvoj specifičnih metodologija uz već prisutna tradicionalna mjerenja uspješnosti. U svom drugom radu [28] Vilanova i drugi ukazuju na nužnost razvoja indikatora hidrauličke i energetske učinkovitosti za upravljanje i odlučivanje u vodoopskrbnim sustavima WSS *(engl. Water Supply System)* koji mogu omogućiti usporedbu

trenutnog stanja sustava s njegovim optimalnim tehničkim stanjem u pogledu energetskih i hidrauličkih uvjeta. Takvi pokazatelji moraju uzeti u obzir i predstaviti fizičke i operativne komponente koje integriraju procese hidrauličke i energetske pretvorbe u vodoopskrbnim sustavima. U literaturi je izvjesno da se mjerenje učinkovitosti i performansi vodoopskrbnog sustava uglavnom provodi na komparativan način, bez razmatranja učinkovitosti svakog sustava u apsolutnom pristupu. Kako bi se učinkovitost i performanse vodoopskrbnog sustav razmatrale s apsolutnog stajališta autori u svom radu predlažu uvođenje pokazatelja oporavka hidrauličke energije I_{RHE} *(engl. Hydraulic Energy Recovery Indicator)*, indikator optimalnosti rada crpke I_{OOB} *(engl. Optimized Pumping Operation Indicator)* i indikator isporučenog tlaka vode I_{CHD} *(engl. Supplied hydraulic head indicator)*.

Mutikanga i drugi [29] opisuju metodologiju procjene očiglednih gubitaka na temelju terenske revizije i operativnih podataka za sustav distribucije vode u gradu Kampali u Ugandi, Istočna Afrika. Predložen je okvir za izračunavanje prividnih gubitaka i njegovih komponenti u komunalnim uslugama zemalja u razvoju sa sličnim korisnim profilima i kontekstnim informacijama. Utvrđeno je da su netočnost mjerenja i nezakonita uporaba vode veće od očekivanog, dok su pogreške očitavanja brojila, pogreške u rukovanju podacima i procjene potrošnje niže od očekivanih.

Gonzalez–Gomez i drugi [30] istražuju učinkovito upravljanje vodnim resursima i ukazuju na složenost i važnost ovog problema. Analiziraju rast gubitaka vode u većini gradova u svijetu. Paradoksalno, iako su ljudi svjesni te potrebe, količina ne-prihodovane vode je pretjerana u mnogim gradovima u svijetu. Podaci o ne prihodovanoj vodi pokazuju da postoji mnogo prostora za poboljšanje upravljanja vodoopskrbnim sustavima, te ukazuju na nedostatak motivacije za rješavanje problema u kratkom roku. U zaključcima navode moguće uzroke ovakvoga stanja.

Coelho i Andrade-Campos [31] ukazuju na gubitke vode sa stajališta energetske učinkovitosti. Svjetska opskrba vodom predstavlja značajan dio globalne potrošnje energije. Ta potrošnja energije, povezana s prikupljanjem, obradom i transportom vode, podrazumijeva velike troškove. Međutim, ovi troškovi mogu biti svedeni na najmanju moguću mjeru s ili bez smanjenja potrošnje energije. Svrha je njihovog rada dati pregled mjera i metoda za postizanje učinkovitosti sustava vodoopskrbe. Prikazane su mjere s i bez ulaganja kako bi se smanjili troškovi i potrošnja energije. U radu se također istražuje korištenje hidrauličkih simulacijskih i optimizacijskih strategija u vodoopskrbnim sustavima, uključujući teme kao što su predviđanje

potražnje vode, dizajn vodoopskrbne mreža, rad crpki, operacije u stvarnom vremenu i proizvodnja obnovljive energije. Zaključuju, iako je došlo do velikog napretka u tom području, postoje neistražene (ili slabo istražene) metodologije koje se mogu testirati i možda primijeniti u velikom broju vodoopskrbnih sustava.

Mamade i drugi [32] u svom radu predstavljaju standardiziranu shemu za provjeru i procjenu energetske učinkovitosti u vodoopskrbnim sustavima. Glavna inovacija u ovoj shemi je izravna veza s provjerom sustava vodoopskrbe kako bi se potaknulo vodovodna poduzeća da povežu upravljanje gubicima vode i upravljanje pripadajućom i povezanom energetskom učinkovitosti u jedinstveni integralni proces. Ključni indeksi energetske učinkovitosti izračunavaju se na temelju energetskog pregleda bez potrebe za hidrauličkim modeliranjem. Istražuju se i razmatraju dvije studije slučaja. Ovaj rad pokazuje da specifična potrošnja energije i učinkovitost pumpe nisu dovoljni za procjenu energetske učinkovitosti određenog sustava.

2.6. Stvarni gubici vode u vodoopskrbnim sustavima

Stvarni gubici vode prisutni su u svim vodoopskrbnim sustavima, a posljedica su loših spojeva i lomova (kvarova) na vodoopskrbnoj mreži i drugim vodnim građevinama, uzrokovanih gubitkom potrebnih funkcionalnih svojstava dijelova vodnih građevina zbog starosti, loše izvedbe, lošeg održavanja, seizmičkih aktivnosti tla, te direktnog i indirektnog utjecaja građevinskih radova.

Broj kvarova na vodoopskrbnoj mreži raste starenjem vodoopskrbne mreže. Prema karakteru, kvarovi mogu biti stacionarni i rastući. Rastući kvarovi se razvijaju, tijekom vremena postaju sve veći, a završavaju puknućem cjevovoda, koji nakon toga mora biti saniran. Kvar uzrokovan puknućem cjevovoda vodoopskrbne mreže prikazan je na slici 2.5.

Slika 2.5: Puknuće vodoopskrbnog cjevovoda [izvor: ViO];

Kvar uslijed kojeg je cjevovod izgubio funkcionalna svojstva nazivamo puknućem ili lomom cjevovoda. Puknuća cjevovoda uzrokuju velike indirektne štete uslijed razaranja i plavljenja mjesta kvara uzrokovanog istjecanjem velike količine vode u kratkom roku. U ovoj se fazi kvar lako detektira očevidom jer su posljedice vidljive i stručnim i nestručnim promatračima, a popravak se provodi interventno (korektivno) sanacijom vodoopskrbne mreže u zoni kvara.

Pravovremena detekcija kvarova najsloženiji je zadatak za operatere vodoopskrbnih sustava, a zahtijeva aktivan pristup upravljanju i održavanju vodoopskrbnog sustava.

S obzirom na to da vodoopskrbnu mrežu većim dijelom čine podzemne instalacije, dinamičke promjene, te pojave novih kvarova i istjecanja vode unutar sustava vodoopskrbe skrivene su, te ih nije moguće detektirati očevidom. Za njihovu je detekciju potreban metodološki pristup uz primjenu adekvatne tehnologije, te puno znanje i iskustva. Takvi „nevidljivi“ kvarovi mogu ostati ne detektirani mjesecima i godinama. Posljedično, na kvarnim mjestima voda istječe duže vrijeme, gubici vode postaju značajni kao i indirektne štete uzrokovane kumulativnim djelovanjem izgubljene vode. U ekstremnim slučajevima, posljedica duljeg vremenskog istjecanja vode su značajna oštećenja i destrukcija građevina u okruženju, te visoki indirektni troškovi sanacije nastale štete. Na slici 2.6 prikazane su posljedice kvara koji je otkriven tek kada je nastupilo urušavanje tla i oštećenje okolnih građevina.

Slika 2.6: Kvar koji nije detektiran na vrijeme – indirektna šteta [izvor: ViO];

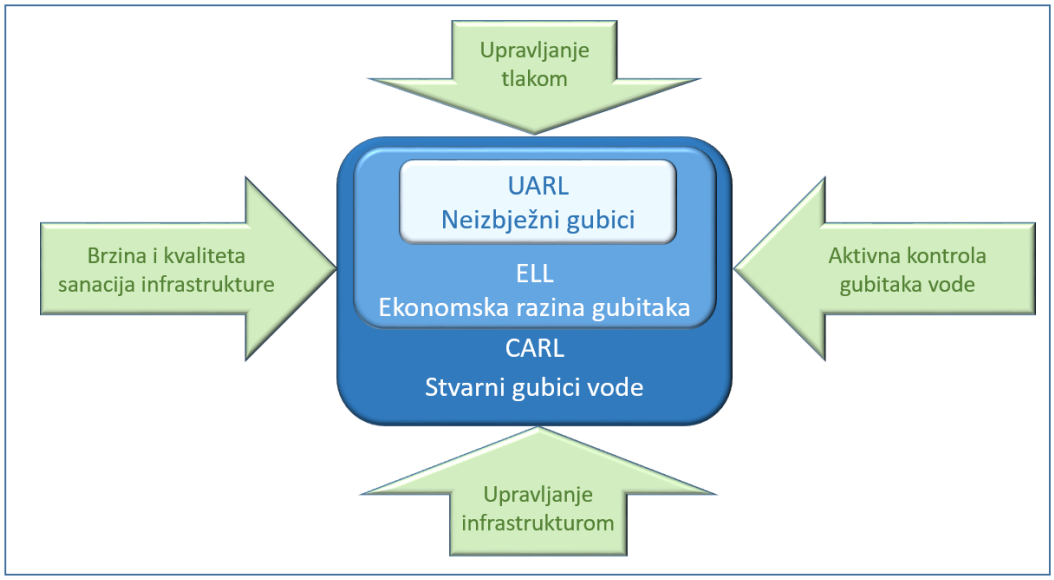
U radovima [13] i [33] Iličić navodi da aktivno upravljanje i održavanje sustava vodoopskrbe zahtijeva aktivnosti upravljanja procesima u kojima se parametri mijenjaju u prostoru i vremenu. Gledano prema poziciji nastanka kvara, oni se pojavljuju bilo gdje na vodoopskrbnoj mreži vodoopskrbnog područja. S obzirom na to da je veći dio vodoopskrbne mreže (cjevovodi, zasunske komore) smješten podzemno, lociranje kvarnih područja zahtijeva kontinuiran i sustavan pristup uz značajan angažman ljudskih i materijalnih resursa, te primjenu adekvatnih tehnologija. Problem postaje veći i izraženiji što je vodoopskrbni sustav veći. Kontinuirana nastojanja za povećanjem učinkovitosti sustava javne vodoopskrbe iziskuju razvoj i primjenu novih metoda analize sustava radi ostvarenja strateških, taktičkih i operativnih ciljeva. Tehnike koje se pritom koriste utječu na brojne parametre sustava, čije su međusobne veze najčešće vrlo zamršene, pa je prikladno koristiti statističke metode. Na ovaj način se rezultati iskustava i provedenih analiza, dobiveni na određenom uzorku sustava vodoopskrbe, mogu primijeniti na ostatak sustava, a u određenim slučajevima i na vodoopskrbne sustave u cjelini. Autor navodi primjer korištenja statističke metode „Monte Carlo“ s ciljem aktivne kontrole gubitaka na vodoopskrbnoj mreži. Iličić također navodi da je pristup upravljanju gubicima vodoopskrbnih sustava najčešće ograničen na niz osnovnih aktivnosti koji u praksi često traju više dana, a u ekstremnim slučajevima i tjednima. Zaključuje da se poboljšanje sustava radi otkrivanja gubitaka treba usmjeriti na:

- detektiranje i lokaliziranje puknuća cjevovoda unutar distribucijskog sustava,
- razgraničenje puknuća cjevovoda od neočekivane potrošnje ili sustavnih pojava,
- razgraničenje puknuća koja se događaju trenutno od puknuća koja se razvijaju postupno.

Da bi se postupci za ostvarivanje ovih ciljeva unaprijedili potrebno je osim poboljšanja postojećih istražiti nove metode detekcije i lociranja puknuća cjevovoda. Mogućnosti za to se povećavaju sa stalnim napretkom računalne tehnologije. Autor istražuje mogućnosti neuronskih mreža u detekciji i lociranju puknuća za različite intenzitete istjecanja vode. Na temelju poznavanja vrijednosti protoka i tlaka mjerenih na unaprijed određenim lokacijama, u radu je istražena mogućnost prepoznavanja pojave puknuća cijevi unutar kontrolirane zone, te utvrđivanje prostorne lokacije na kojoj je uslijed puknuća cijevi došlo do nekontroliranog istjecanja vode. Da bi se ove veze prepoznale i iskoristile, nužno je uvođenje dovoljnog broja mjernih mjesta za mjerenje protoka i tlaka.

Thornton i Lambert [34] istražuju praktične metoda za razumijevanje i predviđanje gubitaka vode, frekvencija razaranja i nekih elemenata potrošnje u distribucijskim vodoopskrbnim sustavima, a koji su uzrokovani tlakom.

Grupa WLTF radi na strategiji pristupa problemu učinkovitog upravljanja gubicima vode i predlažu četiri pravca djelovanja koji su prikazani na slici 2.7.



Slika 2.7: Strategija kontrole gubitka vode - pravci djelovanja [5];

Stvarne gubitke vode CARL moguće je umanjiti provođenjem mjera na bilo kojem od predložena četiri međusobno neovisna pravca djelovanja.

Grupa WLTF uvodi i novi pokazatelj „Ekonomska razina gubitaka“ ELL (*engl. Economic Level of Losses*) kako je i prikazano na slici 2.7. Cilj je vodoopskrbnih organizacija ostvariti upravo ekonomsku razinu gubitaka jer se daljnjim ulaganjima u sanaciju vodoopskrbne infrastrukture troše znatna financijska sredstva, a učinak je neznatan. U tom bi se slučaju, zbog prevelikih troškova, narušila ravnoteža socijalne i ekonomske održivosti vodoopskrbnog sustava.

Upravljanje tlakom drugi je pravac djelovanja kojim se može preventivno odgoditi ili u potpunosti spriječiti nastanak kvara. Jedan od važnih uzroka pojave kvarova u vodoopskrbnim sustavima je utjecaj povišenog statičkog i/ili dinamičkog tlaka u vodoopskrbnom sustavu. Razina statičkog tlaka na poziciji priključka definirana je veličinom visinskih zona (hidraulička gradijentna linija) i visinom vodoopskrbnog priključka unutar visinske zone (slika 2.1). Dinamički tlakovi unutar vodoopskrbne zone ovise o uvjetima potrošnje i načina upravljanja vodoopskrbnim sustavom. Na pojavu kvarova će utjecati visok statički tlak, primjerice noću (slika 2.12) kada je potrošnja minimalna, a vodospreme su pune (najviša razina hidrauličke gradijentne linije) i u slučajevima pojave visokog dinamičkog tlaka (hidraulički udari). Upravljanje tlakom se postiže promjenom razine vode u vodospremama, optimiranjem rada pumpnih postrojenja, te uz pomoć daljinski upravljanih regulatora tlaka ugrađenih na ključnim pozicijama vodoopskrbnog sustava.

Treći pravac djelovanja „upravljanje infrastrukturom“ provodi se radi homogenizacije protočnosti vode, kvalitete vode i raspodjele tlakova u vodoopskrbnom sustavu. Postoje vodoopskrbni sustavi koji imaju vodospreme samo na početku vodoopskrbne mreže (na primjer, vodoopskrba grada Berlina). Kod takvih se vodoopskrbnih sustava upravljanje tlakovima i protocima provodi isključivo putem aktivnog upravljanja pumpnim postrojenjima i konfiguriranjem vodoopskrbne mreže (upravljanje infrastrukturom).

Četvrti pravac djelovanja je „brzina i kvaliteta sanacije infrastrukture.“ Aktivnosti obnove infrastrukture spadaju u kategoriju investicijskog održavanja. Temeljita i kvalitetna sanacija infrastrukture osigurat će dugoročno najbolje rezultate u borbi s gubicima vode. Primjenom najnovijih materijala (radne karakteristike i životni vijek) i najnovijih tehnologija izgradnje vodoopskrbnih sustava kod zamjene dotrajalih i zastarjelih dijelova vodoopskrbnog sustava, ostvarit će se najbolji rezultati. Međutim, zbog ekonomskih (visoki troškovi) i organizacijskih razloga (radovi u „živim“ urbanim zonama), ovaj se pravac djelovanja primjenjuje parcijalno. Prema preporuci WLTF grupe, godišnje treba rekonstruirati 0,5% do 3% vodoopskrbnog sustava radi ostvarenja tehničke održivosti.

Grupa WLTF uvodi i koncept podjele sustava vodoopskrbe na manje kontrolirane zone vodoopskrbe. Ove zone nazvane su DMA *(engl. District metered area)* zonama, a njihov je teoretski i praktični značaj obrađivan u više radova [5], [35], [36].

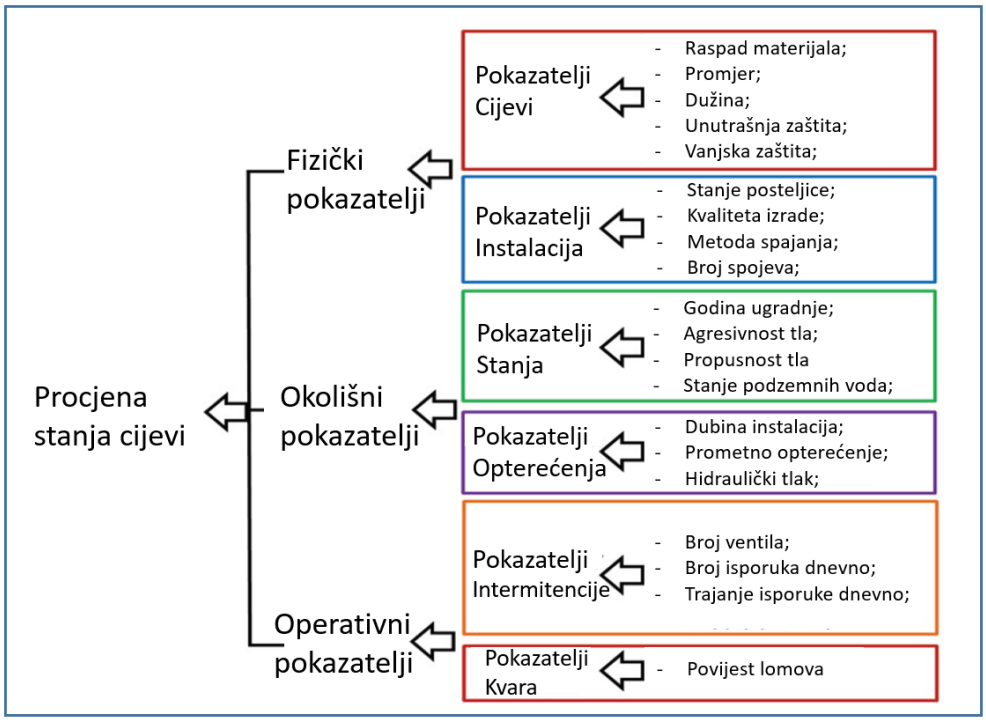
Morison i Tooms [37] također analiziraju primjenu DMA metodologije i ukazuju da je upravljanje DMA zonama uspješno samo ako se uvede kao dio cjelovitog i održivog paketa mjera temeljenog na dugoročnoj strategiji aktivnog praćenja, smanjenja i kontrole propuštanja vode u vodoopskrbnoj mreži. U očekivanju ostvarenja što boljeg rezultata ili napretka na smanjenju gubitaka vode, očekivani rezultati u pravilu izostaju. Autori navode da je veliki problem što se dugoročne aktivnosti nisu dobro razumjele i planirale. Objašnjavaju razloge zašto bi vodoopskrba trebala smanjiti propuštanje vode i utvrditi način rješavanja problema s gubicima vode pomoću dostupnih tehnologija i to na uravnotežen način i uzimajući u obzir sve aspekte održivosti vodoopskrbne organizacije.

Westhpal i drugi [38] ukazuju, na nedavni napredak u računalnoj tehnologiji i mogućnostima modeliranja, na dostupnost hidro klimatskih podataka u stvarnom vremenu. Napredak u našoj sposobnosti da razvijemo sučelja za grafičke modele prilagođene korisniku, doveli su do značajnog rasta u razvoju i primjeni DSS sustava *(engl. Decision Support Systems),* koji podržavaju odlučivanje u djelatnosti vodnih resursa. Navode primjer grada (regije) Bostona koji ima ali i dalje razvija prilagodljivo upravljanje sustavom spremnika vode u realnom vremenu radi osiguravanje dovoljnih količina pitke vode. DSS sustav koristi platformu koja povezuje model sliva, hidraulički model ležišta i model kvalitete vode u spremniku s linearnim i nelinearnim optimizacijskim algoritmima.

Dan Koo i drugi u radu [39] ukazuju na održivost sustava vodoopskrbe koji se suočava s nekoliko predstojećih izazova, kao što su:

- Rast gubitaka vode uzrokovan većim brojem puknuća u vodoopskrbnoj mreži;
- Smanjenje resursa pitke vode;
- Nepoznata struktura potrošnje ne-prihodovane vode NRW; i
- Povećanje potražnje za vodom.

Obrađuju područje upravljanja vodoopskrbnim mrežama, te ukazuju na korisnost primjene senzora u vodoopskrbnim mrežama, a koji nam mogu dati korisne podatke kao što su naprezanje, temperatura, tlak, protok i korozija. Ukazuju na značaj procjene stanja cijevi vodoopskrbnog sustava radi planiranja preventivnih mjera održavanja. Autori također navode različite pokazatelje za procjenu stanja cijevi vodoopskrbne mreže (slika 2.8).

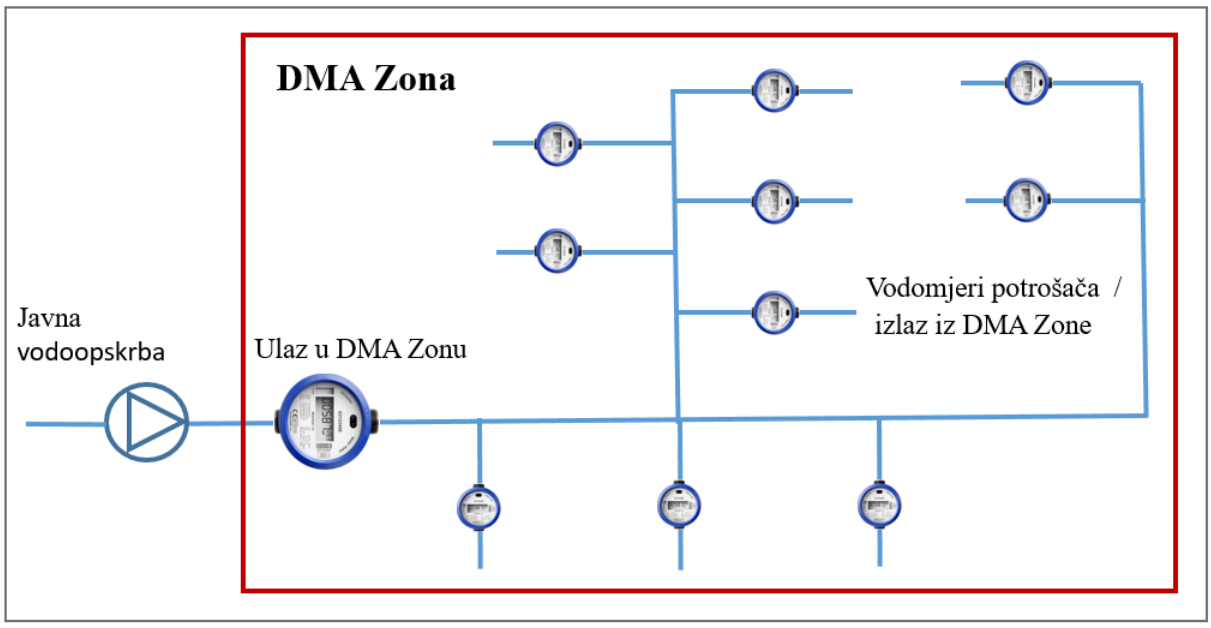


Slika 2.8: Pokazatelji za procjenu stanja cijevi vodoopskrbne mreže [39];

2.7. DMA Zone

Gubici vode prisutni u svim sustavima vodoopskrbe zahtijevaju od javnih opskrbljivača ili distributera aktivan pristup u procesu upravljanja gubicima. Ovisno o karakteristikama sustava donosi se strategija i odabire se optimalna metoda. Grupa WLTF je predložila upotrebu metode zoniranja sustava uvođenjem DMA zona. Ova je metoda praktično značenje i važnost dobila sredinom 20. stoljeća [35], [36], [37] prilikom naglog razvoja vodoopskrbnih sustava. Temeljna ideja ove metode je podijeliti distribucijski vodoopskrbni sustav, radi lakšeg praćenja i upravljanja, na optimalan broj manjih podsustava koje nazivamo kontroliranim zonama. Shematski prikaz DMA zone prikazan je na slici 2.9.

Za uspostavu DMA zone moraju biti zadovoljeni određeni uvjeti, a posebno uvjet preciznog mjerenja količine vode koja ulazi u DMA zonu i količina vode koja izlazi iz DMA zone. Razlika između količine vode koja je ušla u DMA zonu i količine vode koja je isporučena krajnjim korisnicima kao prihodovana voda RW naziva se ne prihodovana voda NRW. Najveći dio ne prihodovane vode odnosi se na stvarne gubitke vode.

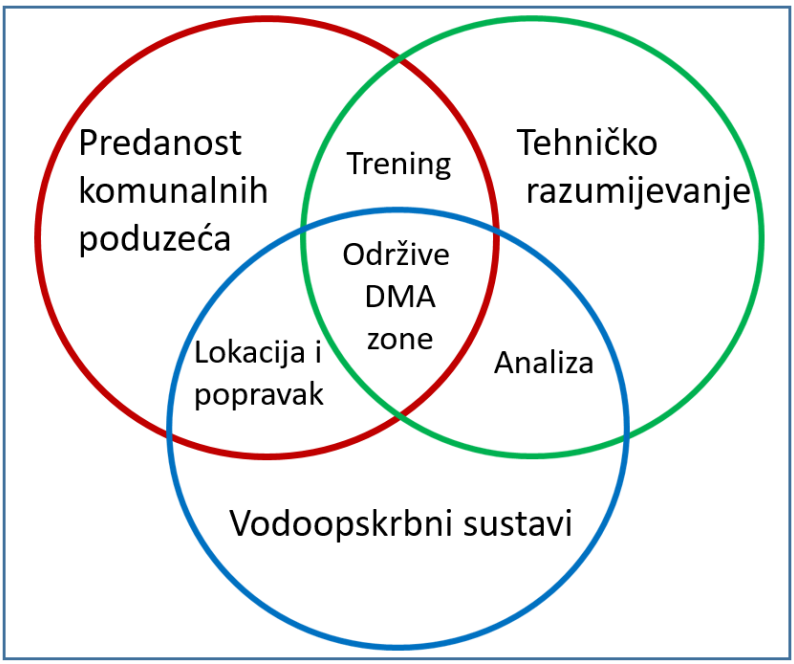


Slika 2.9: Shematski prikaz DMA zone;

Najmanji vodoopskrbni sustavi imaju samo jednu DMA zonu, dok izrazito veliki vodoopskrbni sustavi imaju više desetaka, pa i više od stotinu DMA zona. Gubitke vode, kvalitetu i učinkovitost vodoopskrbnog sustava podijeljenog u DMA zone, analiziramo komparacijom kvalitete različitih DMA zona. Cilj provedenih mjerenja i analiza po DMA zonama je utvrđivanje problematičnih zona i lokacija radi planiranja i provedbe potrebnih aktivnosti na praćenju, upravljanju, održavanju ili sanaciji vodoopskrbne infrastrukture, te utvrđivanje prioriteta i dinamike planiranih aktivnosti.

Cilj je unutar DMA zone otkriti kvarove u njihovoj ranijoj fazi razvitka, a osobito prije puknuća cjevovoda, a sve radi prediktivnog djelovanja. Nakon što se unutar DMA zone detektira područje (u radijusu od nekoliko stotina metara) potencijalno velikog kvara, pokreću se aktivnost preciznog lociranja mjesta kvara radi sanacije. Precizno lociranje mjesta kvara unutar detektiranog područja provode specijalizirani djelatnici uz pomoć sofisticirane opreme.

Morison i Tooms, [35] zaključuju da bi DMA zone bile održive, a prema tome i sustav vodoopskrbe u cjelini, potrebno je DMA zone formirati po unaprijed određenim pravilima, a u obzir treba uzeti i niz utjecajnih faktora. Formiranje i upravljanje DMA zonama kao jednim od alata bitnih za kontrolu gubitaka vode ne smije se pristupati po principu brzog rješenja. To je dugoročna obveza koja će sigurno biti jedna od najučinkovitijih mjera u borbi s gubicima vode, pod uvjetom da se provodi pravilno i temeljito. Održivost DMA zone prikazana je na slici 2.10.



Slika 2.10; Održivost DMA zona [35];

Upravljanje DMA zonama dokazana je metoda koja učinkovito pomaže u nadzoru i procesu smanjenja nekontroliranih istjecanja vode iz distribucijske vodoopskrbne mreže. Međutim, primjena tradicionalnih mjerila, koja očitavaju isključivo djelatnici očevidom, značajno limitira njezine mogućnosti. Kvarovi zbog toga ostaju nevidljivi kroz duže razdoblje, a posljedice su velika direktna i indirektna šteta (slika 2.6). Pojedina DMA zona ima nekoliko tisuća krajnjih potrošača, čije vodomjere nije moguće stalno očitavati. Osim toga prisutan je i problem istovremenosti očitanja. U pravilu očitanja potrošnje vode vrše se jednom mjesečno ili jednom u nekoliko mjeseci. U međuvremenu, stanje potrošnje se procjenjuje radi formiranja mjesečnog računa. Zbog ovih nedostataka, analiza protoka i potrošnje unutar DMA zone je otežana i nedovoljno kvalitetna za ranu indikaciju istjecanja vode.

2.8. Detekcija i lociranje gubitaka vode

Stvarni gubici se, prema preporuci koju daje IWA, definiraju kao godišnja količina vode izgubljena u vodoopskrbnom sustavu zbog svih vrsta curenja, puknuća i prelijevanja transportnih i distribucijskih cjevovoda, vodosprema i priključnih cjevovoda sve do mjernog mjesta potrošača. Stvarni gubici procjenjuju se korištenjem triju različitih metoda:

- Godišnji obračun vode *(engl. Top-Down Annual Water Balance)*;
- Analiza komponenata stvarnih gubitka *(engl. Component Analysis of Real Losses)*;

- Analiza noćnih protoka *(engl. Bottom-Up Analysis of Night Flows),*

ili njihovom kombinacijom.

Godišnjim obračunom vode prema IWA bilanci vode (koja je prikazana tablicom 2.1) temeljem izmjerene količine zahvaćene vode Q, te izmjerene i procijenjene količine ovlašteno potrošene vode Q_{AC} i prividnih gubitaka Q_{AL}, se izračunavaju stvarni gubici vode Q_{RL} pomoću izraza:

$$Q_{RL} = Q - Q_{AC} - Q_{AL} \ . \tag{2.9}$$

Nedostatak ove metode je njena općenitost, budući da se ne raščlanjuju i analiziraju zasebno pojedine kategorije gubitaka, tako da njihov udio u ukupnim gubicima ostaje nepoznat. Iz tog razloga se ova metoda gotovo uvijek koristi u kombinaciji s jednom ili obje preostale metode.

Metoda analize komponenata stvarnih gubitaka razvila se iz originalne metode „procjene puknuća i pozadinskog curenja“ BABE (*engl. Burst and Background Estimates*) koja je 1990. godine uvedena kao prvi pravi korak naprijed prema rješavanju gubitaka vode u sustavima vodoopskrbe. Kategorije curenja vode prema BABE metodi su prijavljena puknuća RB (*engl. Reported Bursts*) koja podrazumijevaju evidentna (vidljiva) curenja vode bez potrebnih daljnjih aktivnosti njihovog traženja (slika 2.5), te neprijavljena puknuća URB (*engl. Unreported Bursts*) koja podrazumijevaju skrivena curenja vode kako je i prikazano na slici 2.11.

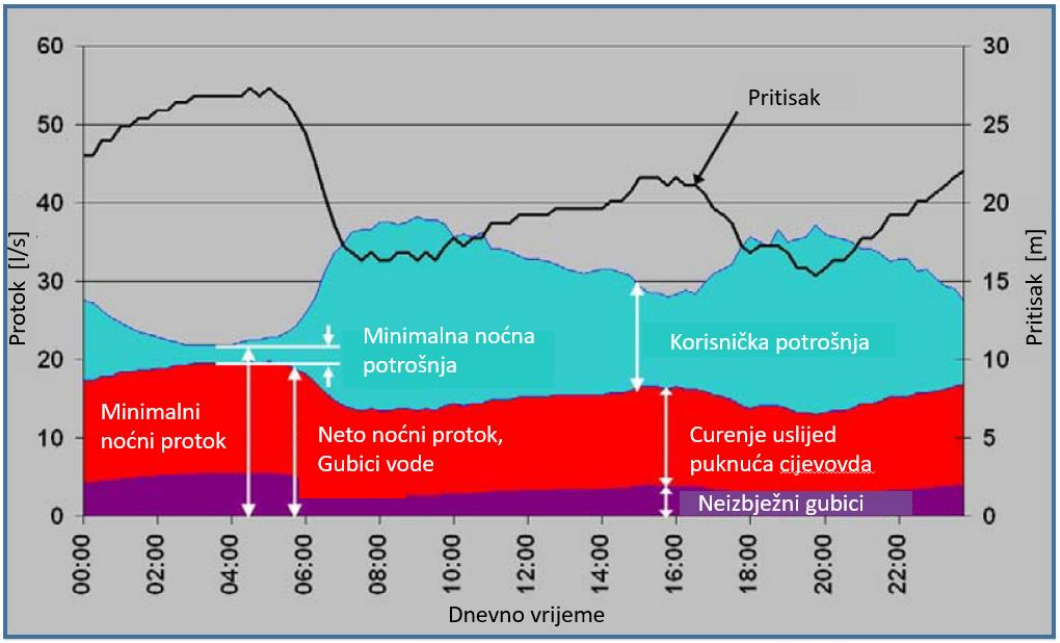
Slika 2.11: Nevidljivo istjecanje vode na detektiranom mjestu kvara [internet];

Neprijavljena puknuća URB opažaju se temeljem indikacija, a radi detekcije točnog mjesta kvara potrebne su daljnje aktivnosti uz pomoć primjene dostupnih tehnologija kao što su:

- Detekcija curenja vode zatvaranjem cjevovoda po sekcijama *(engl. Step Testing);*
- Detekcija curenja vode primjenom korelatora;
- Detekcija curenja vode primjenom geofona;
- Detekcija curenja vode primjenom akustičnih logera;

Osim kategorija RB i URB metoda BABE prepoznaje i treću kategoriju, a to je pozadinsko curenje BL (*engl. Background Leakage*), pod čime se podrazumijevaju istjecanja vode manjeg intenziteta (nevidljiva curenja) na mnoštvu raspršenih lokacija, zbog čega je njihova detekcija jako otežana. Temeljne značajke BABE metode su podjela ukupnih gubitaka na stvarne i prividne, utjecaj tlaka vode na veličinu gubitaka, te utvrđivanje veličine gubitaka tijekom minimalnih noćnih protoka (slika 2.12).

Dnevna se raspodjela potrošnje vode utvrđuje mjerenjima, a daljnjom analitikom izmjerenih parametara moguće je utvrditi postojanje nevidljivih curenja vode uzrokovanih kvarovima cjevovoda, te pokrenuti aktivnosti radi otkrivanja točne lokacije kvara.



Slika 2.12: Dnevna promjena parametara u vodoopskrbnoj mreži [37];

Utjecaj svake od navedenih kategorija na količinu izgubljene vode ovisi o intenzitetu i trajanju curenja. Vrijeme curenja vode možemo podijeliti na:

- vrijeme zapažanja (Z),

- vrijeme lociranja (L) i
- vrijeme sanacije (S),

Glavni uzroci curenja vode iz vodoopskrbnih sustava i njihova učestalost prikazani su u tablici 9.1 koja je dana u prilogu 1.

2.9. Primjeri dobre vodoopskrbne prakse

Morrison i Tooms u radu [35] daju pregled 11 značajnijih događaja koji su doveli do primjera dobre prakse u upravljanju vodoopskrbnim organizacijama:

1) 1980, Leakage Control Policy and Practice (Report 26), UK
2) 1985, District Metering: Part 1: System Design and Installation, UK
3) 1987, District Metering: Part 2: System Operation, UK
4) 1994, Managing Leakage Reports, UK
5) 1999, A Manual of DMA Practice, UK
6) 2001, Leakage Management and Control, WHO, Geneva
7) 2002, Losses in Water Distribution Networks, UK
8) 2004, Managing Leakage by District Metered Areas, UK
9) 2005, Managing and Reducing Losses from Water Distribution Systems, Australia
10) 2006, Water losses control in drinking water systems, Portugal
11) 2007, Leakage Management Technologies, AWWA

U nastojanjima da se unaprijedi poslovanje i poveća učinkovitost organizacija javne vodoopskrbe izrađeno je nekoliko priručnika dobre prakse. Skupina WLTF pod pokroviteljstvom međunarodnog udruženja za vode IWA izdaje niz priručnika koji se temelje na najboljoj svjetskoj praksi u procjeni gubitaka vode, strategijama smanjenja gubitaka vode i taktičkim alatima. Neki od navedenih priručnika su:

- „Leak Location & Repair - Guidance Notes“ [40];
- „District Metered Areas - Guidance Notes“ [37];
- „Guidelines for water loss reduction - A focus on pressure management“ [41];
- „Losses in Water Distribution Networks - A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control“ [42];
- „Technology and Equipment for Water Loss Management“ [43];

Radna skupina WLTF također predlaže i takozvanu LLP-metodu *(engl. Localize, Locate and Pinpoint)* radi otkrivanja mjesta kvara na vodoopskrbnoj mreži [44]. Lokalizirati *(engl. Localize)* znači metodološki odrediti da je mjesto kvara na određenom području (ako vodoopskrbni sustav nema DMA zone) ili unutar određene DMA zone za vodoopskrbne sustave podijeljene na DMA zone. Locirati *(engl. Locate)* znači metodološki odrediti zonu kvara vodoopskrbne mreže unutar 300 metara od mjesta kvara. Odrediti *(engl. Pinpoint)* znači metodološki pronaći točno mjesto kvara radi potrebne sanacije. Za otkrivanje točne lokacije curenja vode iz vodoopskrbnog cjevovoda u načelu se koristite tri glavne metode bazirane na:

- Praćenju protoka;
- Praćenju tlaka;
- Praćenju buke (šum istjecanja vode);

Pojavljuju se i drugi priručnici pa tako Alegre i Covas izdaju priručnik [26] kojim uvode globalni okvir, ključna načela, koncept, te glavne izazove i mogućnosti za organizacije javne vodoopskrbe. Priručnik je zamišljen kao vodič kroz najbolju praksu za integralno planiranje gradskih vodnih usluga, s naglaskom na upravljanje infrastrukturom IAM *(engl. Infrastructure Asset Management)*. Cilj IAM-a je osigurati da se infrastrukturom upravlja tako da se održivost usluge osigura maksimiziranjem izvedbe usluge uz minimalne troškove i s dugoročno prihvatljivim razinama rizika.

2.10. Zakonodavni okvir

Područje djelovanja javne vodoopskrbe u republici Hrvatskoj regulirano je zakonima Republike Hrvatske, Uredbama i Direktivama Europske unije, te drugim pod zakonskim propisima Republike Hrvatske.

Pojam vodnih usluga podrazumijeva usluge javne vodoopskrbe i javne odvodnje. U tom smislu, isporučitelji vodnih usluga pravne su osobe ovlaštene za obavljanje javne službe vodoopskrbe i odvodnje.

Prema Zakonu o vodama od početka 2012. svi isporučitelji vodnih usluga moraju biti ustrojeni kao trgovačka društva ili javne ustanove koje se bave samo djelatnostima vodoopskrbe pitkom vodom i/ili odvodnje otpadnih voda. Osnivači i vlasnici isporučitelja mogu biti isključivo jedinice lokalne samouprave tj. gradovi i općine. Ako su isporučitelji komunalnih usluga u

djelatnostima opskrbe pitkom vodom, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda obavljali i druge komunalne djelatnosti sukladno tom Zakonu, bili su dužni iz predmeta svoga poslovanja isključiti sve te komunalne djelatnosti u roku od 3 godine po stupanju na snagu Zakona o vodama, dakle do početka 2013. godine.

Isporučitelji vodnih usluga djelatnost vodoopskrbe obavljaju na vodoopskrbnom području, a djelatnost odvodnje otpadnih voda na području aglomeracije. Područje koje obuhvaća jedno ili više vodoopskrbnih područja i aglomeracija zove se uslužno područje.

Propisi koji reguliraju djelatnost javne vodoopskrbe u Republici Hrvatskoj su:

- Direktiva 98/83/EZ o kakvoći voda namijenjenih za ljudsku potrošnju;
- Zakon o komunalnom gospodarstvu (Narodne novine 36/95, 70/97, 128/99, 57/00, 129/00, 59/01, 82/04, 110/04 - Uredba, 178/04, 38/09, 79/09);
- Zakon o vodama (Narodne novine, br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14 i 46/18);
- Zakonom o izmjenama i dopunama Zakona o poljoprivrednom zemljištu (Narodne novine, broj 63/11) djelomično ukinute pojedine odredbe Zakona o vodama);
- Zakon o financiranju vodnoga gospodarstva (Narodne novine, br. 153/09, 90/11, 56/13, 120/16 i 127/17);
- Zakonom o izmjenama i dopunama Zakona o prostornom uređenju i gradnji (Narodne novine, broj 90/11) djelomično ukinute pojedine odredbe Zakona o financiranju vodnoga gospodarstva);
- Uredba o najnižoj osnovnoj cijeni vodnih usluga i vrsti troškova koje cijena vodnih usluga pokriva (Narodne novine, broj 112/10);
- Zakon o hrani (Narodne novine 46/2007);
- Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (Narodne novine 47/2008);
- Uredba o standardima kakvoće vode (Narodne novine 73/2013);
- Uredba o mjerilima ekonomičnog poslovanja isporučitelja vodnih usluga (Narodne novine, broj 112/10);
- Zakon o vodnim uslugama (Narodne novine 66/2019);

U skladu sa smjernicama Strategije upravljanja vodama i odredbama Zakona o vodama ('Narodne novine', broj 153/09, 63/11, 130/11, 56/13 i 14/14) osnovano je neovisno regulatorno

tijelo Republike Hrvatske „Vijeće za vodne usluge“[18] radi osiguranja zakonitosti u području određivanja cijene vodnih usluga iz Zakona o vodama i naknade za razvoj iz Zakona o financiranju vodnoga gospodarstva (Narodne novine, broj 153/09, 90/11, 56/13, 154/14, 119/15, 120/16 i 127/17).

Djelatnost javne vodoopskrbe vrlo je značajna za Europsku uniju, a okviri poslovanja se reguliraju sve detaljnije. Područje vodnih usluga jedno je od najznačajnijih područja javnog interesa obavljanje nužno za svakodnevni život građana Republike Hrvatske kao i za zaštitu prirode i okoliša, te na kompleksnost uređenja predmetnog područja. Iz tog se razloga ukazala potreba za donošenjem posebnog zakona koji će regulirati područje vodnih usluga. Koncem 2018. godine u javnu je raspravu poslan „Zakon o vodnim uslugama“. Usvajanjem ovog zakona vodne usluge neće više biti regulirane kao do sada „Zakonom o vodama“ (Narodne novine, br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14 i 46/18;).

Način mjerenja i obračuna vodnih usluga u području vodoopskrbe definiran je Zakonima i Propisima:

- Zakon o mjeriteljstvu (Narodne novine, broj 74/14, 111/18).

[18] „Vijeće za vodne usluge“ – neovisno regulatorno tijelo Republike Hrvatske

3. LEAN & GREEN MENADŽMENT

Menadžment je disciplina koja istražuje djelotvornost načina upravljanja organizacijom radi povećanja njezine učinkovitosti. Jedan od najpoznatijih pristupa za ostvarenje ovog cilja globalno je poznat pod nazivom Lean menadžment. Koncept Lean menadžmenta evoluirao je iz Toyota proizvodnog sustava – TPS *(engl. Toyota production System)* u filozofiju menadžmenta koja se fokusira na povećanje vrijednosti proizvoda ili usluge, promatrano s pozicije korisnika, smanjenjem ili potpunom eliminacijom onih resursa (materijal, rad, energija, vrijeme, prostor, informacija, kapital) koji ne sudjeluju u stvaranju tražene vrijednosti [45].

Iako korijene ima u proizvodnom sektoru koncept Lean menadžmenta se s vremenom proširio i na uslužni sektor, te školstvo, zdravstvo i javnu upravu. U nekoliko desetljeća Lean je postao neizostavni dio proizvodne okoline prvenstveno u SAD-u, a postupno i vodeća proizvodna strategija u cijelome svijetu.

Autori Hines i drugi, u radu [46], potaknuti brzim širenjem Lean menadžmenta izvan sektora automobilske industrije u druge sektore gospodarstva nastoje detaljnije protumačiti i opisati sam koncept Lean menadžmenta. Nedostatak jedinstvene definicije Lean menadžmenta rezultirao je konfuzijom i nejasnim granicama s drugim konceptima upravljanja. Autori nastoje radi boljeg razumijevanja i promocije samog koncepta Lean menadžmenta, popuniti praznine u Lean razmišljanju uzrokovane ovakvom situacijom.

U radu [47] Shah i Ward opsežnim pregledom literature identificiraju vremensku crtu evolucijskog razvoja kritičnih faza Lean proizvodnje. Prepoznaju razdoblje do 1927 godine (Henry Ford), razdoblje napretka Lean razmišljanja u Japanu od 1945 do 1978 godine. Razdoblje prihvaćanja TPS-a u SAD-u od 1973 do 1988 godine. Razdoblje akademskog napretka Lean koncepta od 1988 do 2000 godine i razdoblje globalnog prihvaćanja fenomena Lean menadžmenta nakon 2000-te godine. Također autori identificiraju elementarni skup od 48 stavaka koji čini Lean proizvodnju. Daljnjom analizom, ovaj je popis empirijski sužen na 10 osnovnih elemenata. Na taj su način definirali operativni prostor koji odgovara konceptualnom prostoru Lean proizvodnje.

U radu [48] Pettersen ukazuje da još uvijek ne postoji konsenzus u definiciji Lean proizvodnje, te se tvrdi da organizacije ne bi trebale prihvatiti bilo koju slučajnu varijantu Lean menadžmenta, već trebaju aktivno izabrati i prilagoditi koncept koji odgovara organizacijskim

potrebama. Kroz ovaj proces prilagodbe, organizacija će povećati vjerojatnost izvođenja predvidljive i uspješne provedbe.

Autori Andres-Lopez i drugi [49] ukazuju na značaj implementacije Lean principa u proizvodnim organizacijama, te kontinuirano širenje i primjenu Lean principa i u uslužnim organizacijama. Također ukazuju da rezultati možda neće biti očekivani pri pokušaju primjene tehničkih alata, razvijenih za industrijske procese, na nematerijalne proizvode.

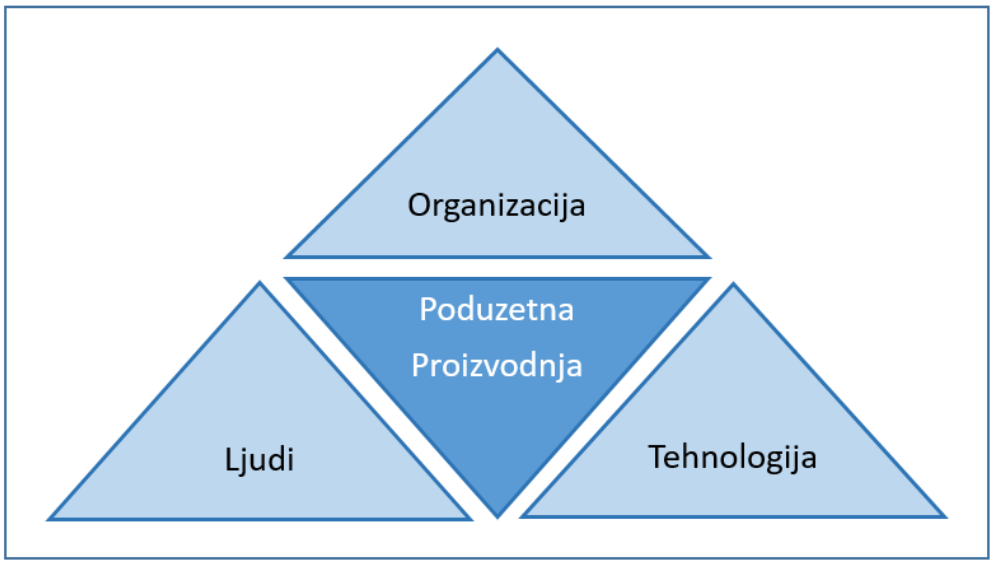
U radu [50] autori Asnan i drugi ukazuju da i mnoge organizacije javnog sektora usvajaju Lean principe kako bi poboljšale svoje poslovanje i unaprijedile kvalitetu usluga koje pružaju svojim klijentima. U članku je napravljen pregled provedbe Lean principa u sektoru javnih usluga u kojem posebno ukazuju na otpor na promjene i važnost upravljanja promjenama u prijelazu na Lean upravljanje. Uspješan slučaj implementacije Lean menadžmenta u administrativne poslove javnog sektora predstavljen je u članku [51] autora Monteira. Prikaz glavnih postignuća dodatno je izražen pomoću identificiranih ključnih pokazatelja uspješnosti.

Dombrowski i Mielke [52] naglašavaju da je prilikom implementacije Lean-a ključni faktor uspjeha uključivanje zaposlenika u svakodnevna unapređenja. Zaključuju, da je to moguće ostvariti samo ako to provodi kvalitetno vodstvo. Identificiraju 5 ključnih principa kojih se Lean vodstvo mora pridržavati ako želi uspješno implementirati Lean (slika 3.1).

Slika 3.1: 5 principa Lean vodstva [52];

Autorica Kadarova i drugi u radu [53] istražuju budućnost Lean menadžmenta, njegov potencijal za implementaciju u različitim industrijskim sektorima kao i obrazovni proces Lean menadžmenta. Analiziraju mogućnosti njegove primjene u javnoj administraciji, zdravstvu, informatičkom sektoru, te opisuju kako se različiti principi Lean menadžmenta prenose na uslužni sektor. Zaključuju da Lean menadžment zahtjeva strogu disciplinu, te odgovorne vođe i vodstvo. Potrebni su menadžeri s vizijom, a za uzvrat Lean donosi sigurnost za budućnost.

Autorica Alves i drugi, u radu [54], istražuju Lean paradigmu kao promotora kreativnosti radnog i inovativnog potencijala. Prepoznaju ljudski potencijal kao temeljnu vrijednost potrebnu za rast i uspjeh, te neophodnu poduzetnost kompanije. Istražuju i pojam poduzetnog proizvodnog sustava AM (*engl. Agile Manufacturing system*). AM definiraju kao set alata, tehnika i inicijativa koji omogućuju organizaciji da napreduje u uvjetima nepredvidivih promjena. Sto posto poduzetnim proizvodnim sustavom smatraju onu organizaciju koja se može trenutno prilagoditi potrebama bez ikakvih troškova. Zaključuju da bi organizacija postala poduzetnom potrebna je metodologija koja uključuje tri temeljna elementa za podršku AM-u (slika 3.2).



Slika 3.2, Tri temeljna elementa poduzetne organizacije AM [54];

- Organizaciju, odnosno inovativnu strukturu menadžmenta i organizacije;
- Ljude koji podržavaju bazu znanja, vještina i kompetencija;
- Tehnologiju.

Zaključuju da je Lean menadžment prepoznat kao model u kojem osobe preuzimaju ulogu mislioca, a njihova uključenost promiče neprekidno poboljšanje i pruža tvrtkama okretnost koja im je potrebna da se suoče sa zahtjevima tržišta i promjenama okoliša u sadašnjosti i budućnosti.

Autori Modi i Thakkar, u radu [55], istražuju Lean razmišljanje, redukciju gubitka, upravljanje vremenom i ostalim troškovima kroz primjenu Lean alata, tehnika i metoda. Zaključuju da Lean menadžment pruža razne strategije za unapređenje, te ukazuju na potrebu širenja aktivnosti prema Green proizvodnji primjenom Green načela.

Uvođenjem koncepta Lean proizvodnje uočena je i njegova povezanost s mjerama zaštite okoliša. Kako bi se odgovorilo na porast zahtjeva kupaca za proizvodima i uslugama koji su ekološki održivi i koji su u skladu s propisima o zaštiti okoliša, tvrtke su prisiljene razmotriti i te ciljeve i preispitati način upravljanja svojim poslovima i procesima. Pristup proizvodnji koji za svrhu ima smanjenje utjecaja proizvodnje na okoliš poznat je pod nazivom Green menadžment [56], [57]. Jedan od ranijih pokazatelja uvođenja koncepta Green proizvodnje u proizvodne procese je i transformacija proizvodnih sustava prema načelima okolišnog standarda ISO 14001.

U radu [58] autori Aquado i drugi prikazuju studiju slučaja kojom se pokazuje da se troškovi, prihodi, društvena odgovornost i održivost mogu poboljšati primjenom principa Green menadžmenta, pretvarajući istovremeno tradicionalni sustav u Green sustav. Vrlo slična razmišljanja navode Fercoq i drugi u radu [59], ukazujući da će uklanjanjem „otpada“ (materijala, vremena i ostalih nepotrebnih resursa) Lean sustav konvergirati prema Green sustavu.

Autori Kurdve i drugi, u radu [60], istražuju na konkretnim primjerima prepreke pri proširenoj integraciji koncepata Lean i Green menadžmenta u proizvodni sustav točno određenog poduzeća XPS *(engl. Company-specific Production System)* Jedan od nedostataka je definitivno nedostatak strategije integracije. Nadalje, postoji nedostatak mjerila održivosti i prilagodbe metoda poboljšanja kako bi se potaknula operativna učinkovitost poduzeća. Osim toga, još uvijek se javljaju organizacijska pitanja vezana uz odgovornost nad upravljanjem okolišem u odnosu na odgovornost cjelokupnog poslovanja. Na temelju rezultata istraživanja zaključuju da se preporučuju procesi integracije koncepta Lean i Green menadžmente u XPS. Posebno ističu da svaka organizacija treba uzeti u obzir svoje poslovanje, korporacijsku kulturu i poslovne mogućnosti upravljanja okolišem. Ipak, ugradnja sustava upravljanja okolišem u XPS smatra se učinkovitim načinom unapređenja poslovanja tvrtke u stalnom poboljšanju, što rezultira holističkim razumijevanjem i poboljšanjem učinkovitosti organizacije.

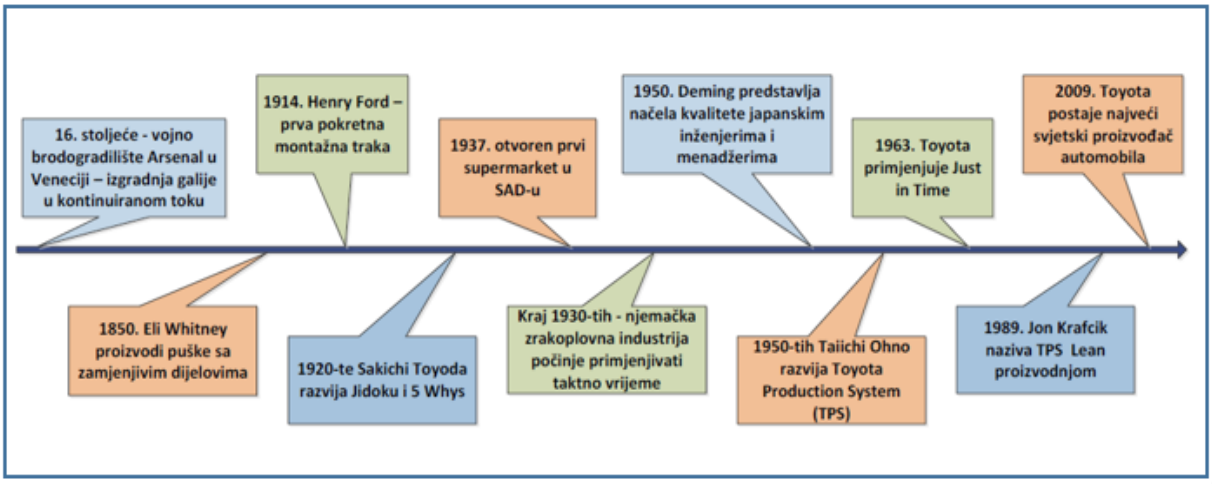
3.1. Povijest Lean menadžmenta

Lean menadžment je konceptualno nastao na temeljima proizvodnog sustava japanskog proizvođača automobila Toyota Motor Corporation tijekom 1980-ih godina, a zbog razvoja tržišne ekonomije, zapadne su tvrtke spoznale da su japanski proizvođači konkurentniji. Potaknuti ovom činjenicom skupina znanstvenika s MIT-a *(Massachusetts Institute of technology)* pokreče istraživački projekt IMVP *(engl. International Motor Vehicle Program*) radi proučavanja i analize uspješnosti proizvodnog sustava japanskih proizvođača automobila [61], [62], [63]. Svojim petogodišnjim istraživanjima spoznali su da su japanski proizvođači produktivniji i uspješniji zahvaljujući njihovom unaprjeđivanju proizvodnih procesa i načinu organizacije.

Humphreys u svojoj knjizi [64] opisuje fenomen Toyota proizvodnog sustava, te zaključuje da su Toyotini proizvodni procesi brži, da koriste manje resursa, imaju manje pogrešaka, zalihe materijala na skladištu su minimalne, imaju i manje dobavljača, pa je i ukupan rezultat bolji jer s manjim investicijama postižu željenu razinu proizvodnog kapaciteta i kvalitete. Opisani način proizvodnje nazvan je Lean proizvodnja. Sama riječ Lean, koja u engleskom jeziku znači „Vitko“, pojavljuje se prvi put u radu [65] John F. Krafcika koji je objavio 1988 godine radeći u grupi istraživača na IMVP projektu. Lean menadžment je kasnije populariziran kroz knjigu „*The machine that changed the world“* [66] i kroz djelovanje Jamesa P. Womacka i Daniela T. Jonesa. Knjiga je 1990. godine uvela i popularizirala pojam Lean proizvodnje, a postala je jedna od najčešće citiranih referenci u upravljanju procesima u posljednjem desetljeću 20. stoljeća. Unatoč činjenici da je koncept proizvodnje upravo na vrijeme JIT *(engl. Just in Time)* bio poznat već desetak godina, knjiga je odigrala ključnu ulogu u širenju koncepta izvan Japana. Druga knjiga istih autora na temu Lean menadžmenta, *„Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation“* [67], predstavila je temeljne principe Lean menadžmenta, te prve primjere primjene ovih principa u različitim vrstama industrije. Lean proizvodnja nije samo uspješno osporila prihvaćenu praksu masovne proizvodnje u automobilskoj industriji, značajno mijenjajući kompromis između produktivnosti i kvalitete, nego je također dovela do ponovnog promišljanja širokog raspona proizvodnih i uslužnih operacija izvan okruženja masovne proizvodnje. Od tada pa sve do današnjih dana Lean menadžment se kontinuirano razvija i unaprjeđuje, te globalno postaje vodeći koncept upravljanja procesima.

Principi i načela na kojima se temelji Lean menadžment kao i neki Lean alati poznati su i iz ranijih razdoblja. Womack u radu [68] navodi primjere iz različitih zemalja koji su doprinijeli

povijesnom razvoju Lean proizvodnje, a najznačajniji primjeri su prikazani na slici 3.3. Još je 1798 godine Eli Whitney razvio međusobno zamjenjive dijelove, a 1908. do 1913. Henry Ford je razvio i uveo pokretnu montažnu liniju. 1920 godine Sakichi Toyoda je izumio uređaj za automatsku zaštitu tkalačkog stana u kojoj je implementirao načelo Jidoke (autonomna automatizacija), što znači da se stroj zaustavi kada se pojavi problem. Ovaj je princip kasnije postao dio Toyotinog proizvodnog sustava. Toyoda je također razvio alat za otkrivanje uzroka i otklanjanje grešaka poznat pod nazivom „5 zašto„ *(engl. 5 Why).*



Slika 3.3: Povijest Lean menadžmenta [68];

Neovisno od pojave i razvoja Lean menadžmenta i od prilike u isto vrijeme, razvijena je i svijest o potrebi zaštite prirode smanjenjem utjecaja na okoliš. Ovo je potaknuto nizom znanstvenih otkrića kao što je primjerice otkriće da upotreba tetra-etil olova kao anti-detonatora u motornim benzinima dovodi do intenzivnog i vrlo štetnog zagađenja okoliša gotovo nevidljivo raspršenim olovom. Pokrenute su „zelene“ inicijative i aktivnosti na unapređenju sustava zbog zaštite okoliša. Jedan od ranijih i poznatijih pokazatelja uvođenja koncepta Green proizvodnje u proizvodne procese je i transformacija proizvodnih sustava prema načelima okolišnog standarda ISO 14000. S vremenom je uočena korelacija između aktivnosti koje se bave unaprjeđenjem učinkovitosti i aktivnosti koje se bave unaprjeđenjem procesa radi smanjenja utjecaja na okoliš. Neovisno s kojeg aspekta promatramo proces, s aspekta učinkovitosti ili s aspekta zaštite okoliša ove se aktivnosti isprepliću jer se temelje na istim načelima, a za ostvarivanje cilja pozitivno djeluju na iste resurse (financijska sredstva, materijal, radno vrijeme, prostor i dr.). Kada se proces istovremeno unaprjeđuje i zbog učinkovitosti i zbog zaštite okoliša evidentan je sinergijski efekt.

3.2. Gubici prema Lean menadžmentu

Cilj je Lean menadžmenta proizvesti željeni proizvod ili uslugu očekivane kvalitete vrijednosti iz perspektive kupca, a da pri stvaranju te vrijednosti utrošak materijal, rada, kapitala, prostora, vremena i informacija bude minimalan, baš za tu očekivanu vrijednost iz perspektive kupca. Sve više utrošeno, smatra se gubitkom i vrijednošću koju nitko ne želi platiti. Ranije je spomenuto da u toku vrijednosti postoje aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu i one koje ne dodaju. Aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu jedinstveno nazivamo gubicima *(engl. Waste, jap. Muda)*. Postoje još dva pojma koja su povezana uz gubitke; prvi pojam je varijacija *(jap. Mura)* koja se javlja u procesu, a drugi je preopterećenje *(jap. Muri)*. Prije nego se objasni pojam gubitak, objašnjeni su pojmovi varijacija i preopterećenje, s obzirom na to da njihova pojava u proizvodnji rezultira pojavom gubitaka.

U radovima [69] i [70] autori ukazuju na varijacije i preopterećenje koja se javljaju svaki put kad je tok vrijednosti zbog nekog poremećaja prekinut jer nisu uspostavljeni zadovoljavajući uvjeti za odvijanje procesa (nedostatak materijala, dokumentacije i slično). Varijacija može nastati kao varijacija u kvaliteti i kao posljedica nekvalitetnog toka vrijednosti zbog različitog vremena trajanja pojedinih operacija. Drugim riječima, varijacija znači neregularan ili nedosljedan način angažmana ljudi ili strojeva. Preopterećenje, radnika, strojeva ili cijelog procesa često je rezultat određenih poremećaja koji se javljaju u tom istom toku vrijednosti.

Prema spoznajama preuzetim iz TPS-a razlikujemo sedam vrsta gubitaka u proizvodnji [64]. To su prekomjerna proizvodnja, zalihe, transport, čekanje, nepotrebna kretanja, škart i prekomjerna obrada. Razvojem Lean menadžmenta ovim je gubicima pridodan i osmi gubitak uzrokovan nedovoljnim korištenjem potencijala zaposlenika [71]. Svih osam gubitaka prema Lean menadžmentu prikazano je u tablici 3.1.

Tablica 3.1: Gubici prema Lean menadžmentu [72];

	Vrsta gubitaka	Opis
1.	Prekomjerna proizvodnja	- Proizvodnja za nepoznatog kupca - Stvaranje dokumentacije koju nitko ne zahtijeva - Prekomjerna dokumentacija u opticaju - Proizvodnja „za svaki slučaj“
2.	Zalihe	- Visoke zalihe povezane su sa prekomjernom. proizvodnjom („zamrznuti kapital“ u skladištima). - Više materijala i informacija nego što je potrebno.
3.	Transport	- Nepotrebno kretanje materijala (obradaka) između operacija. - Neučinkovito i nepotrebno slanje informacija. - Neuspješna komunikacija, gubitak podataka, nekompatibilnost, nepouzdanost informacija.
4.	Čekanje	- Vrijeme čekanja materijala između operacija. - Čekanje radnika na strojevima. - Čekanje na podatke, informacije, odluke, potpis, odobrenje... - Čekanje na isporuku (npr. kasni sirovina).
5.	Nepotrebna kretanja	- Loš raspored strojeva - nepotrebno kretanje radnika. - Ljudi se kreću kako bi došli do informacija. - Ručni rad kako bi se kompenzirali nedostaci u procesu.
6.	Škart	- Prekid rada zbog grešaka, nepotrebni utrošak vremena i prostora te troškovi za analizu i otklanjanje. - Nepotpune, netočne, nepravodobne informacije.
7.	Prekomjerna obrada	- Predimenzionirani strojevi. - Kriva ili nedostatna tehnološka oprema. - Previše procesa obrade. - Loš dizajn proizvoda, uz previše koraka obrade (presložen proizvod).
8.	Nedovoljno korištenje potencijala zaposlenika	- Zaposlenici nisu uključeni u aktivnosti poboljšanja procesa. - Nejasno definirane uloge, odgovornosti i slobode djelovanja. - Ograničavanje autoriteta i odgovornosti kod donošenja rutinskih odluka.

Prekomjerna proizvodnja

Nekad vrlo popularna i često korištena proizvodnja za nepoznatog kupca radi uspostave što masovnije proizvodnje, pokazala se kao jedan od glavnih gubitaka utvrđenih Lean menadžmentom. Prekomjerna proizvodnja nastaje kada se provode nepotrebne aktivnosti i kada se stvori prividna vrijednost koju u konačnici nitko ne želi platiti već se smatra gubitkom. Ovaj gubitak obuhvaća [70]:

1. stvaranje proizvoda koji se ne mogu plasirati na tržište.
2. izvođenje pojedinih operacija koje nisu nužne.
3. stvaranje nepotrebne dokumentacije (prekomjerna administracija).
4. loše predviđanje zahtijeva tržišta i neodgovarajuća procjena plana prodaje.
5. slanje uputa prema prevelikom broju ljudi
6. proizvodnju za svaki slučaj.

Radi eliminacije gubitaka uslijed prekomjerne proizvodnje Lean je menadžment razvio nekoliko namjenskih alata kao što su primjerice, „Taktno vrijeme“ (radi usklađenja proizvodnje i potražnje) i „Kanban“ (radi povlačenje samo potrebitih vrijednosti u procesu).

Zalihe

Višak zaliha povezan je s prekomjernom proizvodnjom, nastaje kada su količine robe (sirovina, poluproizvoda i gotovih proizvoda) veće od trenutnih potreba tako da nepotrebno angažiraju novac i prostor te troše vrijeme [70]. Kako bi se zalihe smanjile ili bolje rečeno održavale na optimalnoj razini, treba se uz već navedene alate koje koristimo za eliminaciju prekomjerne proizvodnje, primjenjivati i alate kao što su JIT *(engl. Just In Time)* i kontinuirani tok radi smanjenja zaliha između proizvodnih operacija [73].

Transport

Gubici transporta [70] nastaju uslijed nepotrebnog kretanja materijala, poluproizvoda i gotovih proizvoda, između operacija u proizvodnom procesu ili između skladišnih površina i to zbog:

1. neučinkovitog rasporeda strojeva *(engl. Layout)*
2. neučinkovite transportne funkcije procesa.
3. neuspješne komunikacije i krivih informacija, tako da dolazi do gubitka podataka, nekompatibilnosti, nepouzdanosti informacija i sl.

Čekanje

Gubitak vremena WT (*engl. Waste Time*) uzrokovani raznim zastojima zbog čekanja [68]:

1. materijala, sirovina, poluproizvoda i proizvoda unutar procesa;
2. na isporuku sirovina, materijala, poluproizvoda i proizvoda od dobavljača;
3. radnika u procesu;
4. dokumentacije i raznih informacija potrebnih u procesu (certifikati, odobrenja i sl.).

Nepotrebna kretanja

Gubitak koji obuhvaća nepotrebna kretanja svih vrsta ljudskih i materijalnih resursa koja ne dodaju vrijednost, a posljedica su [70]:

1. neodgovarajućeg rasporeda strojeva;
2. kretanja radnika u potrazi za informacijama;
3. ručnog rada radi dorade u proizvodnji;

Škart

Prekid toka vrijednosti promatranog procesa zbog grešaka u procesu, a koji zahtijeva dodatni utrošak ljudskih i materijalnih resursa, te vremena radi dorade i ponovne uspostave toka vrijednosti [70]. Proizvodnja loših proizvoda koji traže dodatnu obradu ili su u potpunosti neupotrebljivi, predstavljaju čisti gubitak koji se može spriječiti primjenom alata Lean menadžmenta [73]. Primjerice *Poka-Yoke alat koristimo kod* projektiranje procesa kako bi smanjili ili u potpunosti otklonili vjerojatnost za proizvodnju pogrešaka. Jidoku alat koristimo kod projektiranja procesa koji preventivno otkriva pogreške radi njihove eliminacije. Pet puta zašto je alat kojim otkrivamo uzroke neželjenih stanja. Korištenjem standardnog rada osiguravamo kontinuitet i dosljednost u načinu proizvodnje.

Prekomjerna obrada

Gubitak koji nastaje kao posljedica [70]:

1. predimenzioniranosti strojeva;
2. krive ili nedostatne tehnološke opreme;
3. čišćenja između obrade;
4. neodgovarajućeg pripremno-završnog vremena;

5. previše procesa obrade;
6. previše detaljne obrade (viša razina obrade proizvoda od one koju kupac želi);
7. loše konstrukcije proizvoda koja zahtijeva previše koraka obrade (složen proizvod).

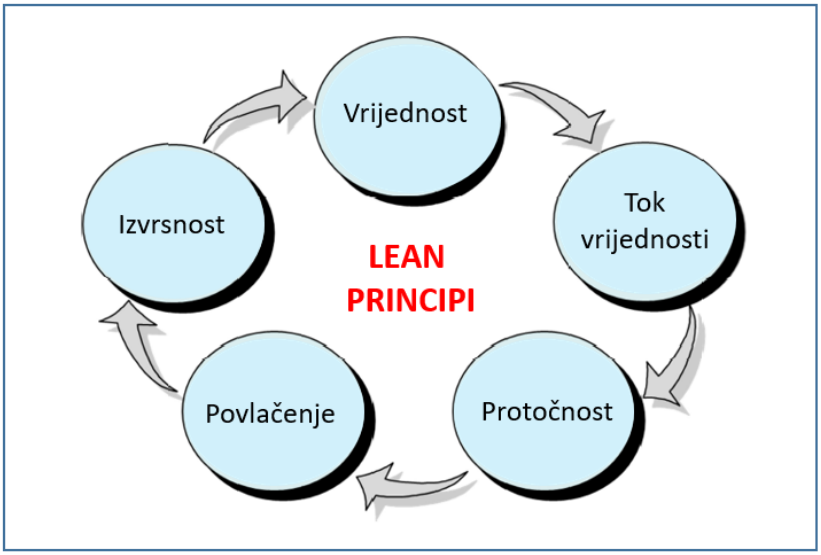
Da bi se prekomjerna obrada mogla otkriti i uspješno ukloniti treba ispravno primijeniti *Kaizen* alat radi usporedbe zahtjeva kupaca s proizvodnim mogućnostima i kako bi se pronašla bolja i jednostavnija konstruktivna i proizvodna rješenja [70].

Nedovoljno korištenje potencijala zaposlenika

Gubitak koji se pojavljuje zbog izgubljenih prilika, zbog smanjenja motivacije i kreativnosti radnika, a posljedica je lošeg korištenja ljudskih resursa i potencijala od strane menadžmenta, loše politike zapošljavanja i rukovođenja. Potrebno je uključiti sve radnike u aktivnosti kontinuiranog poboljšanja procesa *(Kaizen)*, prepoznati njihove prirodne kompetencije, razvijati njihovu kreativnost i usmjeravati ih na radne zadatke kojima je cilj ukloniti gubitke i poboljšati kvalitetu rada [73].

3.3. Principi Lean menadžmenta

U knjizi „Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation“ Womack, J. P. and Jones, D.T [67] definiraju pet osnovnih principa Lean menadžmenta. Principi koji će pomoći poduzećima u ostvarivanju ciljeva Lean menadžmenta povećanjem vrijednosti proizvoda za krajnjeg korisnika kroz smanjenje ili potpunu eliminaciju resursa koji ne donose vrijednost. Principi Lean menadžmenta prikazani su na slici 3.4.

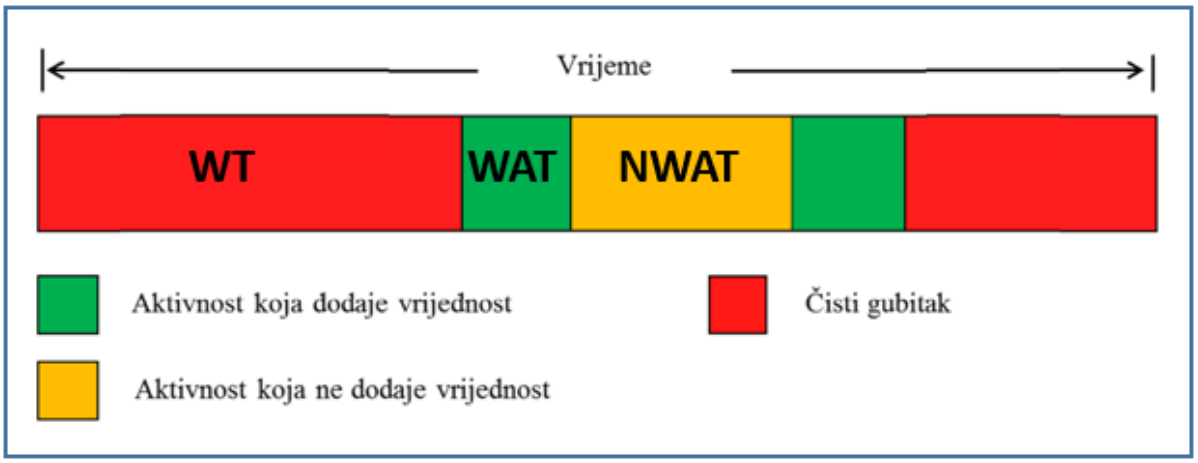


Slika 3.4: Pet principa Lean menadžmenta [74];

Principe Lean menadžmenta čine: vrijednost, tok vrijednosti, protočnost, povlačenje te izvrsnost. Ovi se principi najčešće prikazuju kao zatvoren krug s obzirom na to da implementacija Lean menadžmenta predstavlja proces koji nikad ne završava.

1. **Vrijednost;** Vrijednost je temeljni princip Lean menadžmenta, a definira se i opisuje iz perspektive kupca. Vrijednost je kritična polazna točka Lean razmišljanja i ona treba biti jasno određena, isključivo iz perspektive kupca proizvoda ili korisnika usluge. Da bi to bilo moguće nužno je imati Inter-aktivne odnose s kupcima, te kroz jasnu komunikaciju prepoznati zahtjeve i potrebe kupaca kako bi razumjeli što proizvod ili usluga predstavljaju krajnjim korisnicima i kako bi s toga stajališta odredili ciljanu ili željenu vrijednost proizvoda ili usluge.

2. **Tok vrijednosti;** Kada je poduzeću jasna vrijednost koju daje kupcu, a koja je definirana prvim principom, potrebno je prema drugom principu utvrditi na koji način se ta vrijednost dodaje u procesu, te kako vrijednost teče kroz proces ili drugim riječima, potrebno je odrediti tok vrijednosti. Vrijednost proizvoda ili usluge promatra se s aspekata materijala, informacija ili aktivnosti [67]. Aktivnosti (rad ljudi i strojeva) se dijele na aktivnosti koje dodaju vrijednost procesu VAT *(engl. Value Adding Time)*, aktivnosti koje ne dodaju vrijednost procesu NVAT *(engl. Non Value Adding Time)* i aktivnosti koje su čisti gubitak WT *(engl. Waste Time)* kako je i prikazano na slici 3.5.



Slika 3.5: Podjela aktivnosti poslovnog procesa prema Lean menadžmentu [74];

VAT – Aktivnosti koje donose vrijednost, koje transformiraju ili oblikuju proizvod ili uslugu bez grešaka i koju je krajnji kupac spreman platiti.

NVAT – Aktivnosti koje ne donose vrijednost ali se iz procesnih razloga ne mogu eliminirati iz procesa ali u konačnici nisu uključene u vrijednost krajnjeg proizvoda ili usluge (indirektne aktivnosti, kontrola kvalitete, transport i slično).

WT – Aktivnosti koje ne donose vrijednost ali se mogu eliminirati iz procesa. Ove su aktivnosti apsolutni gubitak kojeg krajnji kupac nije spreman platiti (čekanja, škart, dorade i slično).

Lean menadžment će ostvariti temeljne ciljeve unaprjeđenja efikasnosti ako iz procesa eliminira sve WT aktivnosti, a minimizira NVAT aktivnosti. Organizacije koriste različite alate kako bi definirali tok vrijednosti, a najpoznatiji alat je „mapiranje toka vrijednosti“ koje predstavlja vizualni prikaz toka materijala, informacija i razvoja koristeći jasno definirane simbole i pravila. Iako se mapiranje toka vrijednosti najčešće koristi u proizvodnim procesima, česta je njegova primjena i u uslužnoj djelatnosti.

3. **Protočnost;** Treći je princip Lean menadžmenta kojim se uspostavlja način na koji se vrijednost kreće kroz proces. Nakon što je poduzeće definiralo vrijednost iz perspektive kupca, i nakon što u potpunosti razumije način na koji ta vrijednost prolazi kroz poduzeće, potrebno je ostvariti optimalnu protočnost procesa tako da se eliminiraju sve vrijednosti (materijal, informacije, aktivnosti) koje ne dodaju novu vrijednost za kupca. Reduciranje aktivnosti koje ne dodaju vrijednost i aktivnosti koje su gubitak nužno je za stvaranje optimalnog toka. Protočnost se ostvaruje uvođenjem toka jednog komada *(engl. one piece flow)* kako bi se eventualni problemi i greške na vrijeme otkrili i kako bi se izbjegle serijske greške, te zastoji koji povlače za sobom puno veće vremenske gubitke (dorada cijele serije ili ponovna izrada cijele serije) kao i puno veće gubitke materijala što u konačnici značajno povećava trošak proizvoda. U slučaju toka jednog komada, greške se lakše uočavaju, nisu sustavne, te ne zahvaćaju cijelu seriju. Lakše i brže ih je moguće ispraviti kako bi se proces vratio svom planiranom toku. U tu su svrhu u Toyoti razvili niz alata (Andon, Poka-yoke i drugi) radi lakšeg uočavanja i otklanjanja grešaka.

4. **Povlačenje;** Četvrti je princip Lean menadžmenta koji se dijametralno razlikuje od tradicionalnog principa gurajućeg sustava. Prema tradicionalnom principu guranja svaka operacija svoj proizvod ili uslugu šalje sljedećoj operaciji bez obzira treba li to sljedeća operacija u tom trenutku ili ne. Zbog toga dolazi često do zagušenja procesa korisnim i nekorisnim proizvodima. Promjenom načina rada i uspostavom principa povlačenja, osigurava se provedba samo onih aktivnosti u procesu koje su zahtijevane od naredne faze „internim zahtjevom“, a cijeli proces počinje s povlačenjem vrijednosti od strane kupca.

5. **Izvrsnost;** Peti je princip Lean menadžmenta, a koji govori o potrebi za stalnim, kontinuiranim unapređenjem procesa do razine Izvrsnosti u danom trenutku. U Toyoti su davno primijenili ovaj način razmišljanja. Njihova je premisa bila da svakodnevne male promjene daju u konačnici veća poboljšanja koje je lakše trajno zadržati nego što je to slučaj s velikim i

rijetkim projektima poboljšanja koji podrazumijevaju velike zahvate i rekonstrukcije. Nakon prvobitnog uspjeha takva velika unaprjeđenja se u pravilu ne mogu trajno održati.

Mourtzis i drugi u radu [75] definiraju Lean principe kao skup eksplicitnih pravila koja se temelje na Lean teoriji, načelima i praksi (Lean alati), a tiču se cjelokupnog životnog ciklusa proizvoda ili usluge, s ciljem uklanjanja svih vrsta gubitaka radi povećanja profita i zadovoljstva dionika. Također predlažu razvrstavanje, formatiranje i identifikaciju Lean pravila kako bi se stvorio sveobuhvatni i primjenjiv priručnik.

Autorice Norani i Vahab [76] predlažu okvir organizacijskih promjena kao pripremu za primjenu principa Lean menadžmenta koji bi poslužio kao osnova za daljnje empirijsko istraživanje i validaciju procesa. Okvir će dodatno proširiti skup znanja povezujući upravljanje organizacijskim promjenama s prijelazom na implementaciju Lean menadžmenta.

3.4. Primjena Lean menadžmenta u djelatnosti javne vodoopskrbe

U drugom je poglavlju zaključeno da vodoopskrbne organizacije teško prihvaćaju nova znanja, a kada ih i prihvate u pravilu ih ne provode dosljedno. Tako je pretraživanjem znanstvenih baza pronađeno tek nekoliko radova koji obrađuju područje primjene Lean menadžmenta u djelatnosti javne vodoopskrbe. Nađeno je i nekoliko radova koji govore o primjeni koncepta Lean menadžmenta ali na strani potrošača vode radi učinkovitijeg korištenja vodnih resursa.

Američka agencija za očuvanje okoliša EPA[19] razvila je metodologiju [77] za integriranje koncepta Lean menadžmenta u procesima za učinkovito korištenje vode u industriji. Ured za politiku EPA-e sponzorirao je i vodio razvoj ovog alata, dok je Ured za vodu EPA dao značajan doprinos. Prilikom izrade ovog alata korištena su stručna iskustva i ideje mnogih pojedinaca. Njihov je cilj da daljim istraživanjem, primjene načela i alate Lean menadžmenta u vodnom sektoru, te da kroz pozitivnu praksu sustavno unapređuju učinkovitost korištenja vodnih resursa.

Vrlo sličnom tematikom bavi se i grupa autora u radu [78]. Cilj njihovog rada je identificirati područja rasipanja i učinkovitog korištenja vode i istražiti izvrsnosti procesa kroz učinkovitost korištenja vode pomoću Lean strategije za vodne objekte u industriji. Posebno ističu značaj vode za svjetsko gospodarstvo, te potrebu učinkovitog korištenja vode i vodnih resursa. Njihovo stajalište s pozicije velikog potrošača vode (industrija) je da se učinkovitost korištenja

[19]EPA - United States Environmental Protection Agency

vode primjenom Lean koncepta može povećati učinkovitost korištenja vodnog resursa. Lean menadžment osigurava okvir u kojem organizacije mogu rješavati gubitke vode, štedeći troškove, smanjujući rizike i dodajući vrijednost kupcu. Lean menadžment je sustav koji se temelji na učinkovitosti i optimizira protok kako bi se smanjila količina gubitaka i korištenjem naprednih metoda za poboljšanje proizvodnog sustava promjenom postojećih ideja. Nadalje, autori ukazuju na mogućnosti koje Lean koncept pruža kroz operativne alate koji mogu podržati širu korporativnu strategiju održivosti vode. Usredotočenost Lena na mjerenje uspješnosti, stalno poboljšanje kroz angažiranje zaposlenika, uklanjanje gubitaka, poboljšanje učinkovitosti, povećanje profita i zadovoljstva kupaca mogu se iskoristiti kako bi se podržali korporativni napori upravljanja vodama u mjerenju i izvješćivanju o korištenju vode i provedbi praktičnih i učinkovitih rješenja. Navode i primjer General Electric-a koji koristi Kaizen u potrazi za mogućnostima učinkovitog korištenja vode. Na kraju zaključuju da se primjenom Lean načela učinkovitost korištenje vode može poboljšati. Postrojenja koja koriste vodu će minimizirati svoju upotrebu vode isključivanjem nepotrebnih aktivnosti i provest će nužna poboljšanja radi optimizacije korištenja vodnih resursa.

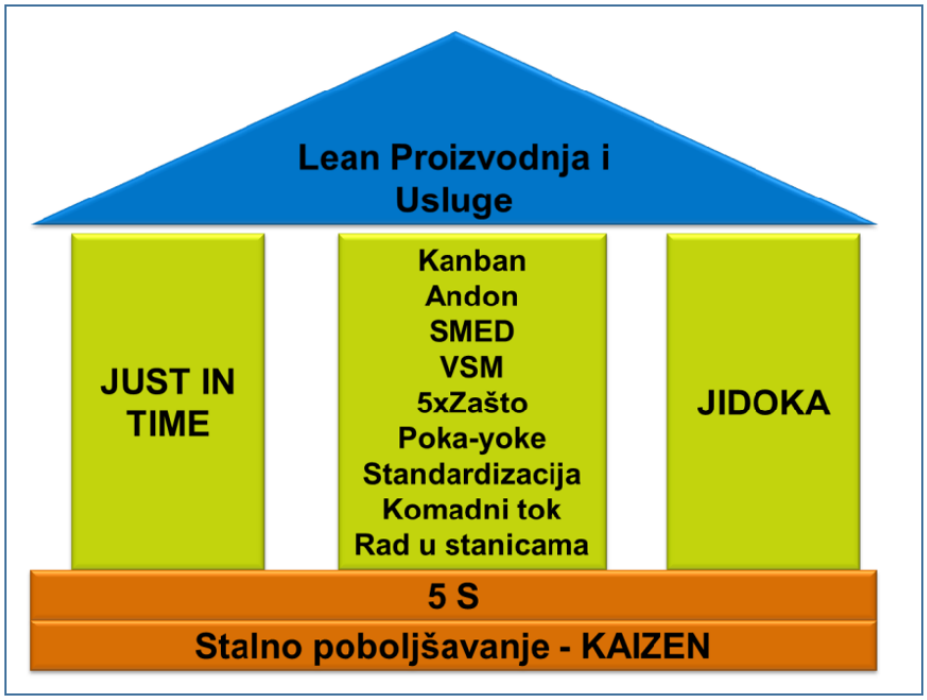
Autori u radu [79] ne istražuju direktno primjenu Lean-a u vodoopskrbnim sustavima ali govore o uvođenju Lean i Green menadžmenta u procese održavanja sustava. Upravljanje vodoopskrbnim sustavom većim dijelom se i sastoji od procesa održavanja vodoopskrbne mreže, pa su njihova razmišljanja i zaključci mogu primijeniti i u ovome doktorskom radu.

3.5. Alati Lean menadžmenta

Za uklanjanje gubitaka iz procesa i primjenu Lean načela radi povećanja učinkovitosti koriste se brojne metode, mjere, aktivnosti ili pristupi, koje se u literaturi naziva i alatima Lean menadžmenta. U doktorskom radu [56] se ukazuje da treba uzeti u obzir i činjenicu da ponekad poduzeća, pa samim time i istraživači koriste različite nazive alata iako oni označuju sličan ili isti alat. Razlog prvenstveno leži u činjenici da poduzeća prilikom usvajanja koncepta Lean menadžmenta ne koriste uvijek standardizirani pristup, već stvaraju svoj vlastiti sustav implementacije prilagođen svojim potrebama, tako da od različitih alata uzimaju samo one dijelove koji im odgovaraju. Ipak, kroz dugi niz godina uspješna su poduzeća razvila razne više ili manje uspješne i prepoznatljive alate za unaprjeđenje poslovanja.

Većina uspješnijih alata s vremenom je postala dio koncepta Lean menadžmenta. Proučavanjem literature autor [56] je izdvojio 46 različitih Lean alata. Daljnjim istraživanjima učestalosti

navođenja pojedinih alata u literaturi izdvojeni su najznačajniji Lean alati. Alati Lean menadžmenta koji se učestalo primjenjuju prikazani su na slici 3.5.



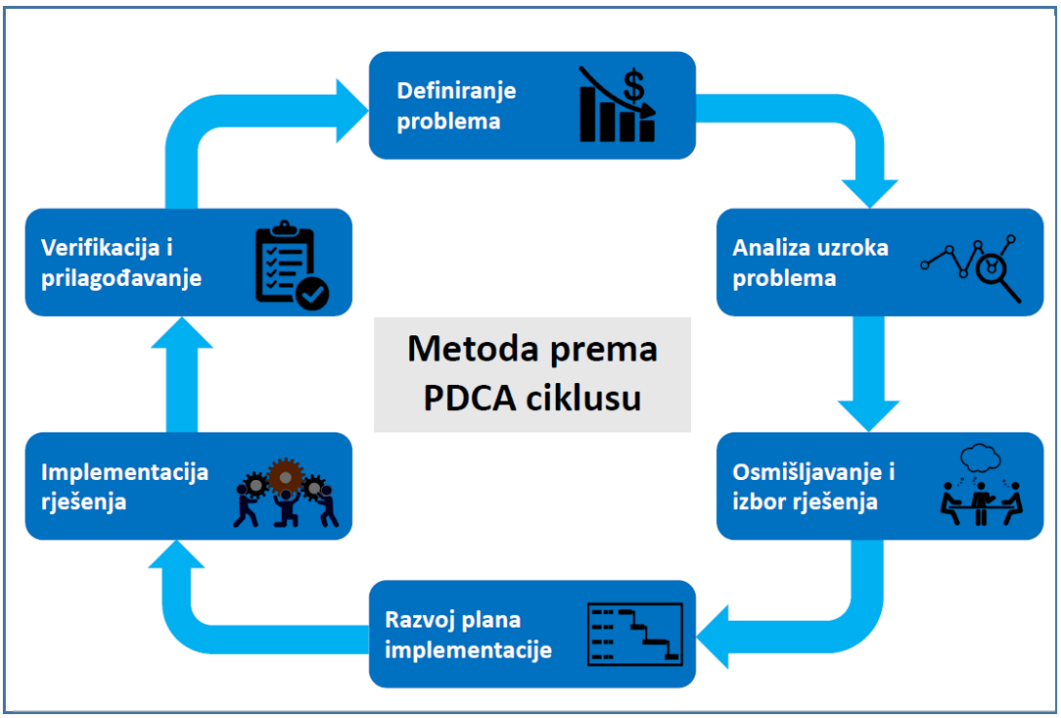
Slika 3.6: Učestali alati Lean menadžmenta [72];

Razvojem tehnike i tehnologije, te daljnjim širenjem koncepta Lean menadžmenta na sve segmente gospodarstva i života razvijat će se i novi alati neophodni za uklanjanje gubitaka i usvajanje Lean principa. S vremenom će znanstvena zajednica kroz istraživanja prepoznati vrijednost novo razvijenih alata i dodatno ih standardizirati [72]. U nastavku su opisni neki od učestalo korištenih alata.

3.5.1. Kaizen

Kaizen je japanska složenica koja dolazi od kombinacija riječi „Kai“ koja znači promjena i riječi „Zen“ koja znači dobro. Ovaj se japanski termin odnosi na promjene na bolje ili poboljšanja koja se mogu definirati kao kontinuirano postupno poboljšanje. Kaizen je filozofija stalnog poboljšavanja cjelokupnog toka vrijednosti, ali i individualnih procesa, kako bi se stvorilo više vrijednosti sa što manje gubitaka. Principijelno, Kaizen se usredotočuje na primjenu malih svakodnevnih promjena koje, tijekom vremena, vode do značajnih poboljšanja. Kaizen obuhvaća niz aktivnosti kojima se nastoji iz procesa eliminirati rasipanja, vremena i materijala (jap. *MUDA*), koja povećavaju cijenu proizvoda, a ne pridodaju nikakvu vrijednost proizvodu.

Ovaj pojam definirao je i utvrdio Taiichi Ohno unaprjeđenjem strojne obrade u Toyoti. Kasnije je ova filozofija kontinuiranog unapređenja primijenjena na sve organizacijske dijelove Toyote gradeći Toyotin proizvodni sustav TPS. Cilj Kaizena je metodologija kontinuiranog unapređenja u koju su uključeni svi zaposlenici, od radnika na liniji do menadžera [80], a ovisi o zaposlenicima koji predlažu promjene. Primjerice, samo 1999. godine, 7000 zaposlenika u Toyotinoj tvornici u SAD-u dostavilo je više od 75.000 prijedloga za poboljšanje, od kojih je 99 posto provedeno. Kaizen je filozofija stalnog poboljšavanja, te se u ovoj definiciji vidi duboka povezanost Kaizena s Demingovim PDCA ciklusom (slika 3.10). Kaizen predstavlja strukturirani način rješavanja problema koji se sastoji od 6 osnovnih koraka prikazanih na slici 3.7.



Slika 3.7: Šest koraka Kaizen metode [81];

Rezultat Kaizen strategije su unaprjeđenja svih segmenata poslovanja kao što su primjerice kvaliteta proizvoda, troškovi poslovanja, odnosi s kupcima ili korisnicima i drugo. Dosljedna primjena Kaizen strategije, s vremenom dovodi do povećanja zadovoljstva kupaca proizvoda ili korisnika usluga [82]. Ako Kaizen nije top prioritet visokog menadžmenta, bilo kakva inicijativa da se strategija kontinuiranog unapređenja uvede u poduzeće neće dati rezultata.

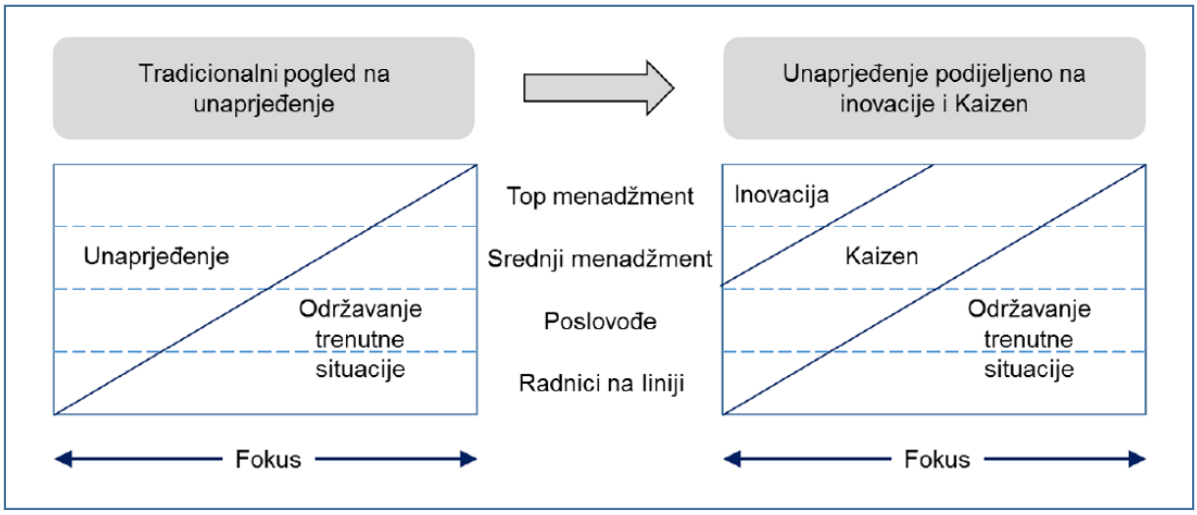
Brojni autori ističu ključne značajke Kaizena na različiti način, no većina se fokusira na njegove tri ključne značajke [83]:

- **Kaizen je kontinuirani proces** koji razvija kulturu rješavanja problema s fokusom na analizu i uz primjenu znanstvenog i strukturiranog razmišljanja na beskonačnom putu prema kvaliteti i učinkovitosti.

- **Kaizen je po svojoj prirodi inkrementalan** jer se razvija potaknut unutarnjom aktivnošću svih zaposlenika. Kaizen stavlja ljude u središte sustava i počiva na stalnom angažmanu i naporu svakog zaposlenika koji su konstantno i na svim razinama uključeni u aktivnosti poboljšanja za razliku od aktivnosti razvoja potaknutih od strane visokog menadžmenta stalnim reorganizacijama i tehnološkim unaprjeđenjima.

- **Kaizen je participativan** jer podrazumijeva uključenost i inteligenciju radne snage, generirajući intrinzične psihološke i kvalitetne radne i životne beneficije za zaposlenike.

Kako prikazuje Slika 3.8, tradicionalni pogled na unaprjeđenje može se razdvojiti na dva dijela: inovacije i Kaizen. U tom slučaju, Kaizen predstavlja svakodnevna mala poboljšanja, dok inovacije predstavljaju veće promjene, koje zahtijevaju duži razvoj, a često i veći budžet.



Slika 3.8: Komparacija tradicionalnog i Kaizen pristupa [56];

Važno je da poduzeće ima dobro definirane ciljeve! Samo u tom slučaju će aktivnosti unaprjeđenja poslovanja biti usmjerene prema njihovom ostvarenju [67].

Postoji nekoliko različitih vrsta Kaizena kao što su Gemba Kaizen, Dnevni Kaizen, Kaizen radionica i Kaizen Događaji. Svima njima je u osnovi kontinuirano rješavanje problema i uključenost svih zaposlenika. Najučestaliji oblik od ranije spomenutih je Kaizen radionica koja je jednodnevni ili višednevni događaj na kojem se rješava određen problem na strukturiran način. Kaizen radionica zaposlenicima služi i kao trening iz vještina rješavanja problema ali i

kao način motivacije uključenih zaposlenika, kako bi se kasnije lakše provele planirane aktivnosti unaprjeđenja [84], [85]. Za uspješnost Kaizen radionice, važno je da na njoj sudjeluju svi zaposlenici koji su uključeni u proces u kojem se nalazi definirani problem.

Kako je rješavanje problema u osnovi Kaizena, razvijeni su različiti alati koji strukturiraju taj proces i olakšavaju rješavanje problema. Neki od razvijenih alata koji podržavaju princip kontinuiranog unaprjeđenja su: 5 puta zašto *(engl. 5Why)*, Ishikawa dijagram koji je poznat još i pod nazivom dijagram uzroka problema ili riblja kost, zatim SIPOC *(engl. Supplier-Input-Process-Output-Customer)* dijagram, FMEA *(engl. Failure modes and effects analysis)*, Studija rada i vremena i dr. Svi ovi nabrojani alati imaju svrhu olakšati proces rješavanja problema i tako pomoći zaposlenicima kod provođenja unaprjeđenja.

U radu [86] autori Glover i drugi identificiraju čimbenike koji najjače utječu na održivost stavova zaposlenika i predanost Kaizen događajima na temelju terenskog istraživanja 65 događaja u osam proizvodnih organizacija.

Modarress i drugi u radu [87] ističu kako su u posljednjem desetljeću, zbog sve veće globalne konkurencije, američke tvrtke radikalno promijenile svoje proizvodne prakse radi poboljšanja konkurentnosti. U ostvarenju tog cilja usvojili su brojne napredne tehnike, kao što su primjerice pravovremeni rad, cjelovito upravljanje kvalitetom, Lean proizvodnja i fleksibilni proizvodni sustavi. Autori predstavljaju studiju troškova uvođenja Kaizena u tvrtki Boeing Commercial Airplane Company, IRC Division.

3.5.2. 5S metoda

Okvir primjene metode 5S u poslovanju prvi je put formalizirao početkom 1980-ih Takashi Osada. Cilj metode 5S je ugraditi vrijednosti organizacije, urednosti, čišćenja, standardizacije i discipline na radnome mjestu. U Japanu je praksa 5S pokrenuta u proizvodnom sektoru, a zatim je proširena na druge industrije, a s vremenom i na sektor usluga. Toyotin proizvodni sustav pruža u praksi dobro poznati primjer načela 5S, rane verzije [88]. Iako se 5S metodologija na prvi pogled može poistovjetiti s aktivnostima za održavanjem reda i čistoće u proizvodnom pogonu ili uredu njezin je krajnji učinak daleko veći. Naziv alata 5S dolazi od prvih slova japanskih riječi koje označavaju 5 koraka primjene ovog alata. Kao ekvivalent japanskim riječima u literaturi se koriste i engleske riječi koje počinju sa slovom „S“. Kratko objašnjenje svakog koraka 5S metode prikazuje tablica 3.2.

Tablica 3.2: Koraci kod 5S alata [88];

Japanski	Engleski	Hrvatski	Značenje
Seiri	Sort	Sortirati	Radno mjesto osloboditi od ne potrebnih predmeta i prepreka
Seiton	Set in order	Postaviti na mjesto	Potrebne predmete za rad odložiti na optimalnu poziciju unutar radnog mjesta
Seiso	Shine	Očistiti	Temeljito očistiti i urediti radno mjesto
Seiketsu	Standardize	Standardizirati	Standardizirati stanje koje je postignuto kroz prethodna tri koraka.
Shitsuke	Sustain	Održati	Proces izgradnje kulture radi održanja postignutog stanja i uvođenja kontinuiranog unaprjeđenja

Gapp i drugi [89] navode da se 5S metoda u praksi pokazala vrlo djelotvornom i kao takva je postala jedan od temeljnih alata Lean proizvodnje koji je općenito važan za uspjeh uvođenja koncepta Lean menadžmenta u poduzeće. Primjena ove metode globalno je prihvaćena i njezina se primjena preporučuje prije implementacije složenijih alata kao što su TPM ili JIT. Primjenom 5S metode ostvaruje se povećanje sigurnosti, kvalitete, produktivnosti i pouzdanosti procesa.

Gorše [90] navodi da metodu 5S drugim riječima možemo prikazati kao filozofiju i kao način organiziranja i vođenja radnog mjesta i radnih zadataka. Primjenom 5S metode procese unaprjeđujemo preventivnom eliminacijom smetnji koje bi za posljedicu mogle imati neželjene gubitke u procesu. Nakon primjene prva dva koraka, radno mjesto je uređeno, pristupačno i logično za učinkovit rad. Provedbom trećeg koraka ono postaje čisto, funkcionalno i privlačno. Prva tri koraka čine dobru praksu stvaranja i održavanja urednih radnih mjesta. Četvrti korak pomaže kod održanja postignutog rezultata, a peti korak označava izgradnju discipline i kulture. Danas se 5S metoda proširuje s još jednim dodatnim S, koji označava Sigurnost *(engl. Safety)*, stoga se sve češće spominje i metoda 6S.

Autori u radu [91] naglašavaju značaj motivacije i izgradnje discipline kod svih zaposlenika i iskrenu i predanu uključenost i podršku menadžmenta, koja je od presudne važnosti za održanje i daljnje unaprjeđenje postignutog stanja.

3.5.3. Povlačenje

Povlačenje *(engl. Pull)* je širi koncept koji također možemo prikazati kao filozofiju i način organiziranja i vođenja procesa, a podrazumijeva „povlačenje“ vrijednosti kroz proces. Povlačenje je jedan od 5 temeljnih principa Lean menadžmenta, a osim na materijal ovaj se alat primjenjuje i na ostale elemente procesa kao što su dokumentacija, informacije ili usluge. Temeljni je princip povlačenja da se proizvodi (isključivo na zahtjev) samo ono što je sljedećoj fazi u procesu potrebno. Ovo je princip dijametralno suprotan od prvobitnog principa „guranja“ *(engl. Push)* materijala kroz proizvodnju kod kojeg je svaka operacija u procesu proizvodila temeljem naloga i bez obzira treba li taj materijal u tome trenutku sljedećoj operaciji ili ne. Guranje započinje proces kod prve operacije ili faze i nastavlja se kroz cijeli proces do njegovog okončanja. Zajedno s materijalom u proces se guraju i svi poremećaji nastali zbog razlike u kapacitetu ili uslijed nekog drugog uzroka. Posljedica takvog načina rada je gomilanje količina materijala u procesu, a posljedično i drugih indirektnih gubitaka što u konačnici produžuje trajanje procesa i stvara nepotrebne troškove [56].

Princip povlačenja jedan je od osnovnih principa Lean proizvodnje. Kako bi objasnili i definirali što je to princip povlačenja, najbolje je objasniti princip „guranja“, koji je prethodio principu povlačenja, te napraviti usporedbu ta dva principa. Guranje proizvodnje *(engl. push production)* se povezuje s planiranjem potreba za materijalom MRP (*engl. Material Requirements Planning*). Ovom se metodologijom pomoću računalnih programa određuju proizvodne količine, te vremena početka i završetka proizvodnih operacija. Napredna verzija ove metodologije, poznata pod nazivom „Manufacturing Resource Planning“ uzima u obzir i opterećenje kapaciteta, radne snage itd. Push sustav zasnovan na MRP-iju pušta materijal u proizvodnju temeljem iscrpnog planiranja koje je temeljeno na prognozi potražnje ali ne uzima u obzir trenutno stanje u sustavu i stvarnu potrebu za materijalom. Kod push sustava nema specifičnog ograničenja na količinu rada u procesu WIP *(engl. work in process)*. Jedini način za kontrolu rada u procesu jeste kontrola broja radnih naloga, a time i količine materijala, koji ulaze u proizvodni sustav [74].

Princip povlačenja često se poistovjećuje s Kanban metodom. Međutim Kanban je samo sredstvo za postizanje principa povlačenja u proizvodnom sustavu.

3.5.4. TPM - Potpuno produktivno održavanje

Potpuno (ukupno, cjelovito) produktivno održavanje TPM *(engl. Total Productive Maintenance)* predstavlja cjelovit pristup održavanju i poboljšanju integriteta proizvodnje, sigurnosnih sustava i sustava kvalitete putem strojeva, opreme, procesa i zaposlenika koji organizaciji dodaju vrijednost. TPM je fokusiran na povećanje efektivne kvalitete opreme i produženje njezinog životnog vijeka kroz cjelovit sustav preventivnog i prediktivnog održavanja [67]. TPM također uključuje univerzalni pristup Lean menadžmenta prema kojem svi zaposlenici moraju biti uključeni u proces kako bi se ostvario održivi rezultat. Temeljni alat Lean menadžmenta 5S može se smatrati uvodom u TPM [89].

McCarthy i Rich u radu [92] navode da će primjena TPM-a imati najveći utjecaj u sustavima u kojima postoji veća automatizacija procesa, odnosno u onim proizvodnjama u kojima postoji veliki udio rada strojeva i opreme. TPM je bitan za implementaciju koncepta Lean menadžmenta u tehnološki intenzivnim sustavima. Autori zaključno definiraju 6 osnovnih gubitaka TPM-a:

1. zastoji,
2. namještanje i uhodavanje opreme,
3. vrijeme mirovanja i manji zastoji,
4. smanjenje brzine,
5. pokretanje proizvodnje,
6. nedostaci u kvaliteti i dorada.

Ovih 6 gubitaka moguće je smanjiti ili u cijelosti eliminirati pravilnom primjenom TPM-a. Tradicionalno održavanje provodi se isključivo putem odjela zaduženog za održavanje. Uvođenjem TPM-a uvode se dodatna pravila i politike kojima se omogućuje svakom zaposleniku da utječe na učinkovitost i pouzdanost strojeva i opreme.

Koncept Lean menadžmenta nastoji ukloniti iz svih procesa gubitke vezane za čovjeka, stroj, materijal i metode rada. TPM se bavi područjem gubitaka koja se odnose isključivo na opremu i strojeve koji su dio određenog procesa. Uvođenje i primjena TPM-a, preduvjet je za uspješno uvođenje Lean transformacije u organizaciju. TPM aktivnosti mogu značajno pomoći u procesima gdje strojevi i oprema intenzivno dodaju vrijednosti proizvodu i tako igraju bitnu ulogu u primjeni Lean principa. TPM sustav i njegova implementacija temelje se na 8 stupova:

1. Sigurnost, zdravlje i okoliš,

2. Edukacija i trening,
3. Unapređenje učinkovitosti opreme,
4. Autonomno održavanje,
5. Plansko održavanje,
6. Održavanje kvalitete,
7. TPM u uredu,
8. Upravljanje razvojem opreme.

TPM je Lean alat kojeg poduzeća rado primjenjuju. Razlog učestalosti primjene može se pronaći u nastojanjima poduzeća da maksimiziraju iskoristivost strojeva i opreme. Primjerice, poduzećima je vrlo lako izračunati ROI *(engl. Return of Investment)* svakog stroja te odrediti graničnu iskoristivost kod koje se investicija isplati. Imajući na umu da svaki zastoj stroja direktno utječe na njegovu iskoristivost, a indirektno i na iskoristivost procesa, poduzeća stavljaju veliki naglasak na preventivno održavanje kroz programe TPM-a. Preventivnim se održavanjem žele izbjeći korektivne aktivnosti održavanja koje negativno utječu na izvršenje planiranih aktivnosti stroja, a posljedično i na sve povezane aktivnosti procesa.

Leachman u radu [93] navodi da je utjecaj TPM-a na kvalitetu proizvoda i učinkovitost procesa globalno prihvaćen. Autor matematički pristupa mjerenju ukupne učinkovitosti opreme OEE (*engl. Overall Equipment Efficiency*) pod TPM paradigmom radi ostvarenja planiranih kapaciteta proizvodnje.

Azizi u radu [94] analizira studiju slučaja radi procjene produktivnosti proizvodnje kontinuiranim poboljšanjem učinkovitosti opreme i kontrole procesa u industriji proizvodnje pločica. Predlaže upotrebu statističke kontrole procesa SPC (*engl. Statistical Process Control*), ukupnu učinkovitost opreme OEE i autonomno održavanje AM (*engl. Autonomous Maintenance*) kao indikatore za mjerenje učinkovitosti opreme.

Puvanasvaran i drugi [95] naglašavaju važnost ukupne učinkovitosti opreme (OEE) visoko zahtjevnog procesnog postrojenja u avionskoj industriji kroz provedbu vremenskih studija aktivnosti koje dodaju vrijednost i aktivnosti koje ne dodaju vrijednost. Posebno ističu problem izračunavanja ukupne učinkovitosti opreme OEE.

U radu [96] Pintelon i Muchiri opisuju ukupnu učinkovitost opreme OEE kao alat za mjerenje učinka koji mjeri različite vrste proizvodnih gubitaka i ukazuje na područja poboljšanja procesa. Dobro održavanje je važna sastavnica proizvodnog sustava. Potpuno (ukupno, cjelovito) produktivno održavanje TPM alternativni je pristup održavanju opreme koji

nastoji postići nula kvarova i nula grešaka. TPM je pristup održavanja postojećeg postrojenja i opreme na višoj produktivnoj razini kroz suradnju svih područja organizacije. U radu [97] Rajput i Jayaswal analiziraju rezultate probnog uvođenja TPM-a radi poboljšanja ukupne učinkovitosti opreme OEE i smanjenja broja nesreća na radnom mjestu. Na temelju nalaza, preporučeno je implementirati TPM radi poboljšanja ukupne učinkovitosti opreme OEE postrojenja.

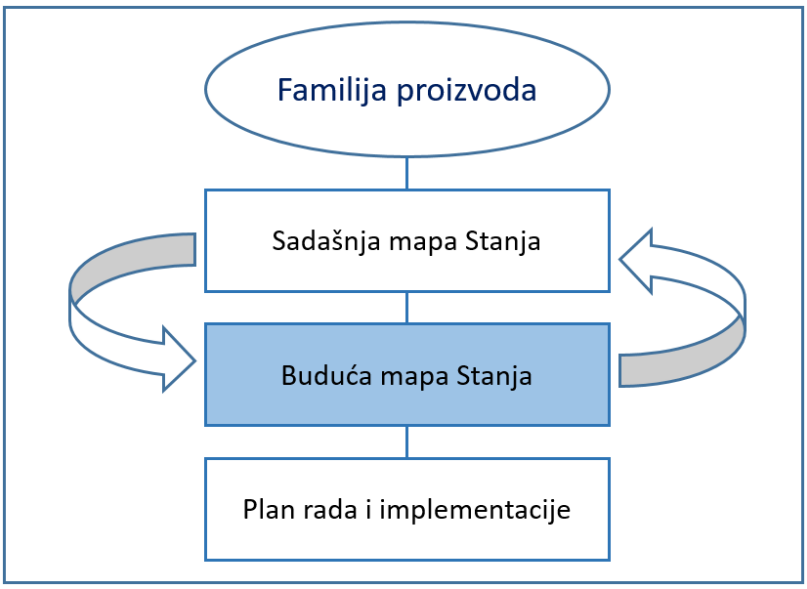
3.5.5. Mapiranje toka vrijednosti – VSM

Plan ili mapiranje toka vrijednosti *(engl. Value stream mapping)* je alat koji se primjenjuje za vizualizaciju toka proizvodnog ili uslužnog procesa. Ovim se alatom sve aktivnosti, procesi i tokovi (materijalni i informacijski), stave na jedno mjesto, međusobno dovedu u vezu, počevši od sirovine pa sve do gotovog proizvoda, tj. sve do kupca ili krajnjeg korisnika [98]. Tok vrijednosti uključuje sve aktivnosti (one koje dodaju vrijednost i one koje ne dodaju vrijednost) koje se javljaju u proizvodnom ili uslužnom procesu od narudžbe do isporuke. Glavni cilj je snimiti postojeće stanje i prepoznati sve oblike rasipanja. Pri tome je najbolje sve bitne informacije prikupiti samostalno na licu mjesta jer podaci koji se nalaze u raznim dokumentima i datotekama najčešće ne predstavljaju stvarno stanje već prikazuju vrlo često idealno stanje.

Osnovni koraci mapiranja toka vrijednosti su [72]:

1. izbor procesa koji se žele mapirati;
2. crtanje mape postojećeg stanja;
3. unaprjeđenje mape postojećeg stanja u mapu budućeg stanja;
4. razvijanje plana aktivnosti poboljšanja za ostvarivanje budućeg stanja;
5. dodjeljivanje odgovornih osoba, rokova i učestalosti nadgledanja odvijanja aktivnosti;
6. izvještavanje nadređenih od strane odgovornih osoba u svrhu kontrole izvršenosti aktivnosti provođenja te podrške i usavršavanja.

Mapiranje toka vrijednosti VSM je postupak vizualizacije toka vrijednosti konkretnog procesa pomoću standardiziranih simbola i informacija dobivene iz procesa [99]. Pomoću VSM-a se identificiraju procesni elementi koji stvaraju dodatnu vrijednost kao i procesni elementi koji ne stvaraju dodatnu vrijednost. VSM se koristi kao vizualni alat za pomoć u otkrivanju skrivenih gubitaka *(engl. Waste, jap. Muda)* i detekcije njihovih izvora [100]. Radi unaprjeđenja procesa dokumentira se sadašnja mapa stanja i novo-razvijena mapa budućeg stanja kako je i prikazano na slici 3.9.



Slika 3.9: Postupak mapiranja toka vrijednosti [72];

3.5.6. JIT – upravo na vrijeme

Proizvodnja upravo na vrijeme JIT *(engl. Just in Time)* predstavlja način proizvodnje s ciljem kontinuiranog smanjenja do zaključno potpune eliminacije svih vrsta gubitaka iz procesa. Ovaj pristup proizvodnji razvijen je u Japanu u 70-tim i 80-tim godinama prošlog stoljeća prvenstveno u automobilskoj industriji [64]. Temeljna je ideja bila proizvodnja bez zaliha (skladišta), a potreban materijal i dijelovi su dostavljani od strane dobavljača direktno na proizvodnu liniju. To je moguće postići jedino tako da dobavljači dostavljaju sirovine, materijal i dijelove u količini i kvaliteti sinkronizirano s potrebama proizvodnje. Kasnije se ovaj princip proširio na cijeli lanac vrijednosti procesa, a s vremenom je evoluirao u temeljni princip Lean menadžmenta (povlačenje) [101]. JIT proizvodnja je jedna od najčešće istraživanih tema u području upravljanja operacijama [102].

Pojam proizvodnje upravo na vrijeme JIT nastao je prije pojma Lean proizvodnje pa se često ta dva pojma poistovjećuju. JIT kao i drugi pristupi proizvodnji, kao što su TQM i TPM, imaju temeljni cilj postizanja kontinuiranog napretka i smanjenja gubitaka. Prednosti implementacije JIT proizvodnje manifestiraju se kroz niske zalihe, te smanjenje troška skladištenja i posljedičnog škarta, bolju kvalitetu, bolju prilagodljivost na promjene u konstrukciji i veću produktivnost [56].

3.5.7. Brza izmjena alata - SMED

Brza izmjena alata SMED *(engl. Single Minute Exchange of Die)* jedan je od značajnih koncepata unapređenja procesa izbacivanjem svih aktivnosti koje ne donose vrijednost. SMED je nastao sredinom prošlog stoljeća kao rezultat višegodišnje detaljne analize teoretskog i praktičnog aspekta unaprjeđenja proizvodnog procesa u Toyoti. U automobilskoj se industriji kapacitet proizvodnje mjeri u broju proizvedenih automobila u minuti. Zastoj proizvodnog procesa zbog bilo kojeg razloga pa i zbog izmjene alata direktni je gubitak. Za razvoj ove metodologije ponajviše je zaslužan Shigeo Shingo pod čijim je vodstvom razvijena ova metoda za brzu izmjenu alata [103]. Ova je metodologija u zapadnim zemljama postala popularna 1985. godine, te je značajno utjecala na daljnja poboljšanje efikasnosti i sniženje troškova proizvodnje.

Vrijeme izmjene alata definira se kao vrijeme potrebno za pripremu stroja, procesa ili sustava, a mjeri se od završetka proizvodnje zadnjeg dobrog proizvoda iz prethodne serije do završetka proizvodnje prvog dobrog proizvoda iz nove serije. Tijekom vremena izmjene alata sustav ne stvara vrijednost za kupca. Samo optimalno utrošeno vrijeme izmjene alata je NVAT aktivnost, a svako vrijeme utrošeno iznad optimalno potrebnog vremena, smatra se izgubljenim vremenom WT ili direktnim gubitkom.

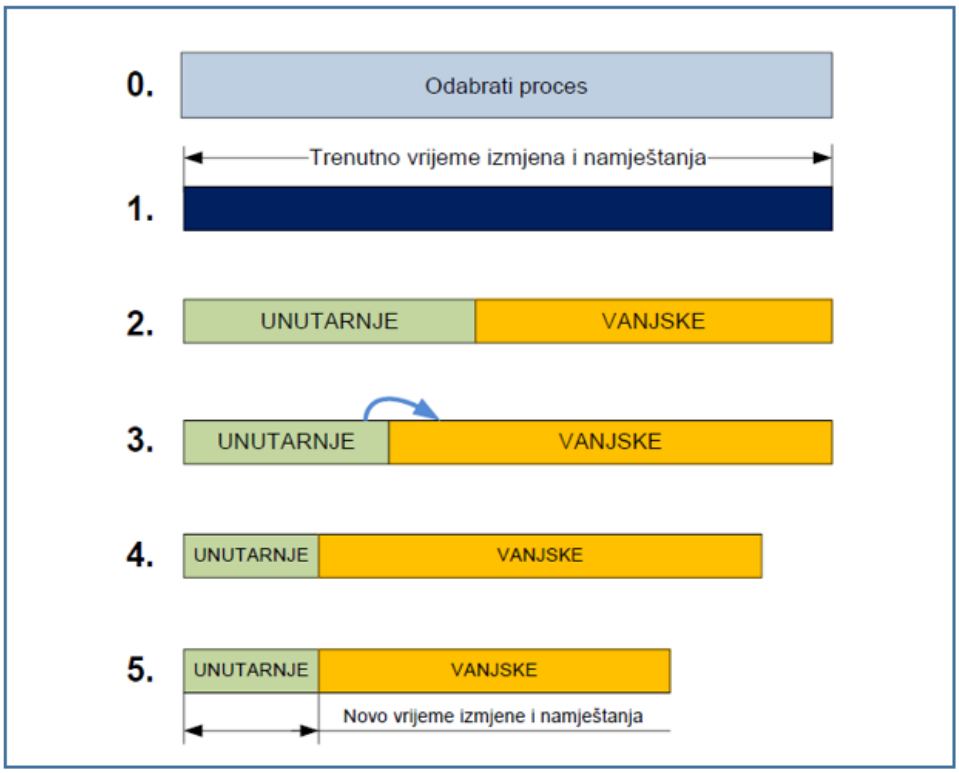
SMED metoda se zasniva na pretpostavci da kod izmjene alata postoje dvije vrste aktivnosti:

1. Unutarnje (interne) aktivnosti – aktivnosti koje se mogu raditi samo kad stroj stoji (npr. skidanje ili postavljanje alata).

2. Vanjske (eksterne) aktivnosti – pripremne i završne aktivnosti kod izmjene alata, a koje se mogu napraviti tijekom aktivnog rada stroja (npr. dopremanje alata).

Sama metoda temelji se na logici skraćenja vremena potrebnog za provedbu unutarnjih aktivnosti kod izmjene alata, te pretvorbi mogućih unutarnjih aktivnosti u vanjske aktivnosti. Čitav je proces potrebno optimirati kako bi se ukupno vrijeme izmjene alata smanjilo na najmanju moguću mjeru [104].

Primjena SMED alata provodi se kroz 5 osnovnih koraka kako je prikazano na slici 3.10.



Slika 3.10: 5 koraka SMED metode [56];

1. Promatrati i izmjeriti aktualni proces. U ovom koraku mogu se koristiti različiti alati, kao što su: VSM, Spaghetti dijagrami i tablice za unos aktivnosti. Za ovaj korak može se iskoristiti i snimanje kamerom, kako bi se cijeli proces mogao naknadno analizirati bez potrebe za zaustavljanjem proizvodnje. Fokus je na dobivanju podataka o procesu izmjene alata, kako bi se mogla u drugom koraku odrediti vrsta pojedine aktivnosti.
2. Razdvojiti aktivnosti u procesu izmjene alata na unutarnje i vanjske. Nakon što su sve aktivnosti u procesu proanalizirane, potrebno je odrediti spadaju li one u unutarnje ili vanjske. Kad se aktivnosti podijele, moguće je skratiti vrijeme u kojem stroj stoji, s obzirom na to da će se većina vanjskih aktivnosti napraviti za vrijeme dok je stroj još u radu.
3. Sve unutarnje aktivnosti, koje god je moguće, potrebno je u trećem koraku promijeniti u vanjske.
4. U četvrtom koraku potrebno je skratiti unutarnje aktivnosti. Skraćenje ovih aktivnosti je vrlo važno jer za vrijeme njihovog odvijanja stroj stoji.
5. Skratiti vanjske aktivnosti je peti i zadnji korak. Ovaj korak označuje smanjenje svih vanjskih aktivnosti, kako bi se smanjilo ukupno vrijeme koje se potroši na izmjenu alata.

Primjena SMED alata značajno povećava efikasnost i snižava troškove proizvodnje, a njezin su krajnji učinak standardne procedure koje detaljno opisuju svaki potrebni korak, te uključuju kontrolne liste s popisom provjera koje je potrebno napraviti. Ovaj alat predstavlja jedan od temeljnih alata Lean menadžmenta, a posebno je koristan u okruženju fleksibilnih procesa u kojima se proizvodi veći broj različitih proizvoda u manjim količinama.

3.5.8. Poka Yoke

Poka Yoke je naziv metode za onemogućavanje pogrešaka u proizvodnim procesima. Naziv dolazi od Japanskih riječi Poka, koja u prijevodu znači pogreška i Yoke koja u prijevodu znači sprječavanje. Kako bi se spriječile pogreške od strane radnika konstruiraju se poka yoke uređaji i naprave koji ne dozvoljavaju pogreške u procesu obrade i prijenosa neispravnog dijela u sljedeći proces. Uređaji su obično jednostavne izvedbe, nisu skupi, manje se kvare, lakše se kontroliraju i održavaju. Za dobro projektiranje uređaja potrebno je točno analizirati proizvodne procese i odrediti jasan cilj što se želi postići u proizvodnji. Radnici se ohrabruju i motiviraju da aktivno sudjeluju u fazi projektiranja poka-yoke uređaja i naprava (primjerice šablona) koje će im olakšati rad, smanjiti stres i mogućnost njihove pogreške. Vrijeme koje bi potrošili na provjeru proizvoda mogu iskoristiti za obavljanje drugih aktivnosti ili za odmor. Poka Yoke uređaji su bolje rješenje od kontrole kvalitete proizvoda po završetku proizvodnog procesa jer je tada kasno za preventivno otklanjanje pogrešaka. Primjenom poka yoke uređaja zadovoljni su i management poduzeća i radnici, management jer se smanjuje varijacija u proizvodnji i mogućnost proizvodnje lošeg proizvoda, a radnici jer su rasterećeni obaveze stalne i zahtjevne provjere proizvoda.

Oblik poka yoke tehnike je pojednostavljivanje uređaja i operacija. Jednostavni primjer je OS2 ulaz za miša na matičnoj ploči računala. Nemoguće je priključiti miša pogrešno jer priključak odgovara samo jednoj poziciji. Najčešće su oba dijela priključka iste, u ovom slučaju zelene boje, tako da i taj faktor olakšava priključenje i umanjuje mogućnost pogrešnog instaliranja. Ovo je jednim dijelom standardizacija, a jednim dijelom poka yoke princip. Principi Lean menadžmenta teže prema oba ova pravca.

3.5.9. Proizvodnja u ćelijama

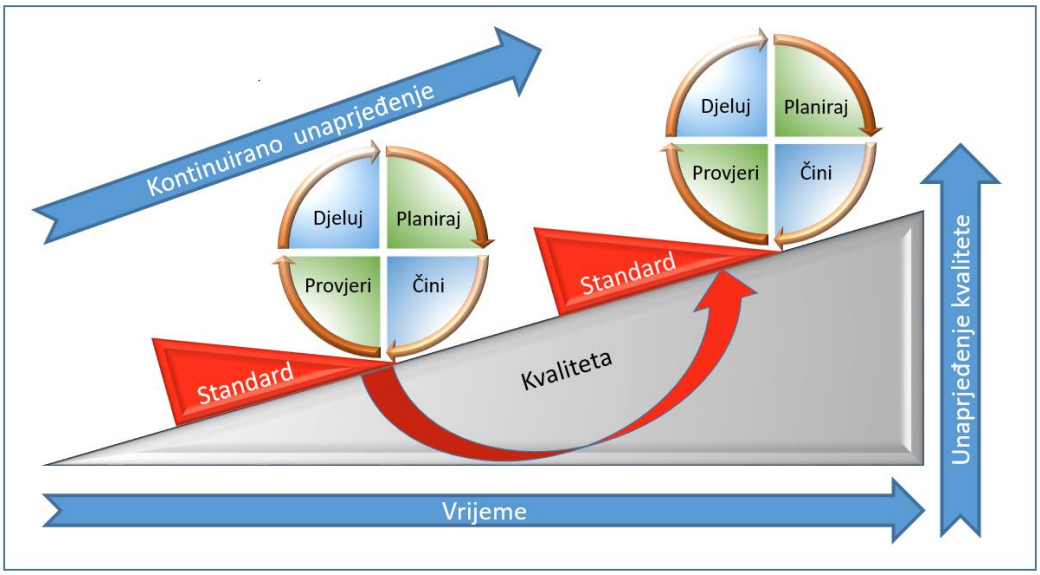
Proizvodnja u ćelijama predstavlja način organizacije radnih mjesta unutar proizvodnje. Unutar ćelije, radna mjesta (operacije) su posložena jedna odmah iza drugih, imajući u vidu njihovu međuzavisnost. Tako, dijelovi i dokumenti mogu biti skoro u kontinuiranom toku, bilo da s

operacije na operaciju idu pojedinačno ili u malim serijama koje se održavaju kroz cijeli proces. Proizvodna ćelija predstavlja najviši nivo proizvodnje u proizvodnom poduzeću organiziranom prema principima Lean menadžmenta, a sastoji se od konačnog broja operacija ili strojeva [105]. Proizvodnja u ćelijama ili samo proizvodne (radne) ćelije *(engl. manufacturing cells or work cells)* opće su poznate kao strategija za skraćenje glavnih tehnoloških vremena, unaprjeđenje kvalitete proizvoda i povećanja fleksibilnosti.

Da bi se određeni sustav mogao nazvati proizvodnom ćelijom, mora sadržavati obilježja koja određuju proizvodne ćelije.

3.5.10. Standardni rad

Standardizirani rad skuplja trenutno najbolje prakse za obavljanje pojedinih procesa, uključujući i vrijeme potrebno za njihovo obavljanje. Dosljedno primjenjujući najbolju (standardiziranu) praksu uklanjaju se gubici iz procesa, stabilizira se kvaliteta i stvara temelj za buduća poboljšanja [106]. Standardnim se radom stabilizira kvaliteta, te pronalaze rješenja za poboljšavanje tih procesa. Poboljšanja u obavljanju procesa se dokumentiraju i tako postaju novi, viši standardi za obavljanje tih procesa kako je i prikazano na slici 3.11.



Slika 3.11: Kontinuirano unaprjeđenje - *PDCA* ciklus;

Standardizirani rad se propisuje, a njegovo se provođenje uvodi i održava internom edukacijom. Standardizacija rada ključna je za uklanjanje ljudskih pogrešaka iz proizvodnih i uslužnih procesa.

3.5.11. Metoda 5 puta zašto

Metoda 5 puta zašto *(engl. 5 Whys)* iterativna je tehnika ispitivanja s ciljem pronalaženja uzroka problema uočenih prilikom kontrole kvalitete ili prigovorima zaprimljenih od kupaca. Umjesto brzim i ishitrenim popravcima, koji u pravilu rješavaju samo posljedice, primjenom metode 5 puta zašto pokušava se pronaći uzrok problema radi njegovog trajnog uklanjanja [107]. Ime metode 5 puta zašto dolazi iz prakse i predstavlja najčešće poznati potreban broj iteracija neophodan da bi se pronašao uzrok problema. Važno je naglasiti, da odgovor na pitanje, pridonosi temeljima za oblikovanje svakog sljedećeg pitanja. Držeći se dosljedno postulata tehnike 5 puta zašto moguće je osigurati logičan tijek pitanja kojim ulazimo sve dublje u srž korištenih postupaka, a istodobno doprinositi otkrivanju uzroka problema. Postavljajući pet puta pitanje zašto se nešto događa, u svakom koraku se otkriva ponešto što u konačnici dovodi do otkrivanja pravog problema i tako pomaže da se primjeni odgovarajuća korektivna mjera kako bi se isti riješio i otklonio.

Primjerice, potrebno je riješiti problem: „Puknuća vodoopskrbnog cjevovoda“.

1. Došlo je do puknuća cjevovoda ? Zašto?
2. Zbog mehaničkih naprezanja i zamora materijala. Zašto?
3. Zbog Građevinskih radova koji su destabilizirali tlo, Zašto?
4. Građevinski radovi i nadzor nisu vođeni po pravilima struke. Zašto?
5. Propust u izvođenju i nadzoru građevinskih radova.

Rješenje: Osigurati nazočnost nadzornog inženjera tijekom izvođenja radova. Predmetni cjevovod treba sanirati, a okolni teren dodatnim građevinskim zahvatima stabilizirati.

Veliki broj primjera iz prakse pokazuje da je pet iteracija dovoljno za pronalaženje uzroka problema ali se broj pitanja može i povećati. U ovom se primjeru ispitivanje može nastaviti sa šestim i sedmim pitanjem što nas dodatno navodi na preventivno otklanjanje problema. Cilj ove metode je da se održavanjem stalne veze s osnovnim problemom, izbjegnu često pogrešni zaključci ishitrenim zaključivanjem. Važno je da 5-ti zašto sugerira proces koji je moguće mijenjati i kontrolirati. Uzrok problema mora biti transparentno dijagnosticiran i povezan s konkretnim problemom u procesu. Neiskusni tražitelj uzroka problema često će pogrešno zaključiti kako je uzrok problema nedostatak vremena, pomanjkanje investicija ili radnika. Ovakav zaključak je općenit i ne pomaže u rješavanju problema.

3.5.12. Preventivno održavanje

Preventivno održavanje (*engl. Preventive Maintenance*) je proces održavanje prilikom kojeg se detektiraju potencijalno degradirani dijelovi, kvar se predviđa, a samo održavanje se vrši preventivno prije nego kvar nastane. Preventivni način održavanja, za razliku od korektivnog ili interventnog održavanja, pruža dodatnu sigurnost pri radu uređaja, a s time se značajno smanjuju indirektni troškovi zbog zastoja u procesu. Definicija održavanja sukladno normi HRN EN 13306 glasi "Preventivno održavanje je održavanje koje se obavlja na unaprijed određenim intervalima ili prema propisanim kriterijima, a čija je svrha smanjivanje vjerojatnosti kvara ili degradacije funkcioniranja stavke". Preventivno održavanje ima svoje prednosti i mane u odnosu na korektivno održavanje. Prednosti su mu veća pouzdanost uređaja i sustava u radu, mogućnost planiranja trenutka održavanja, te mogućnost predviđanja troškova održavanja a samim time i lakša kontrola. Nedostaci preventivnog održavanja su, mogućnost kvara uređaja radi utjecaja greške osoblja koje vrši održavanje, te povećani troškovi održavanja zbog nepotrebne zamjene još uvijek ispravnih dijelova. Međutim, pravilnim preventivnim održavanjem troškovi (direktni i indirektni) kroz životni vijek uređaja, znatno su manji od troškova održavanja uređaja s korektivnim održavanjem.

Preventivno održavanje smatra se prethodnikom cjelovitog učinkovitog održavanja TPM koji se temelji na redovitom planiranom pregledu i remontu. U Lean proizvodnji radnici svakodnevno imaju dnevne obaveze za provođenje osnovnih zadataka preventivnog održavanja poput: kontrole tekućina, podmazivanje, stanje filtera, zategnutost remenja, vijaka i matica, redovitost izmjene potrošnih dijelova i drugo. Preventivno održavanje je dio Potpunog produktivnog održavanja TPM. Prije razvoja modernijeg i učinkovitijeg TPM alata održavanje se dijelilo na preventivno i korektivno. U skladu s tom podjelom rađene su strojne karte i organizacija odjela održavanja.

3.5.13. KPI - Postavljanje ciljeva

Još u 19. stoljeću Lord Kelvin[20] je rekao „ako ne znaš mjeriti procese onda procesima ne znaš niti upravljati“. Menadžeri odlučuju o planovima poslovanja u kojima se obavezno navode i ciljevi koje poduzeće treba ostvariti u narednom razdoblju. Kako bi mogli pratiti realizaciju i dokazati izvršenje tih ciljeva, moraju uspostaviti odgovarajuću metriku. Prije samih mjerenja

[20] Sir William Thomson, 1. barun Kelvin Largsa (Belfast, 26. lipnja 1824. - Netherhall kraj Largsa, 17. prosinca 1907.), engleski fizičar.

potrebno je identificirati ključne pokazatelje uspješnosti poslovanja KPI *(engl. Key Performance Indicators)* koji će pružiti korisne informacije potrebne u procesu donošenja odluka. Metrika nam omogućuje usporedbu ostvarenja tekućeg razdoblja s ostvarenjima prethodnog razdoblja. U drugom koraku moguća je usporedba s ostvarenjima drugih organizacija iste ili slične djelatnosti. Dimenzije koje se obično mjere su kvaliteta, vrijeme i troškovi [108].

Svako poduzeće postavlja vlastite KPI-ove kao vitalne navigacijske pokazatelje, koje menadžeri koriste u procesima upravljanja i tijekom analiza poslovanja, a sve radi usmjeravanja poslovanja u dobrom smjeru. Važno je identificirati i mjeriti upravo ono što je važno, tj. Ključne pokazatelje uspješnosti poslovanja.

Procesom komparativne analize KPI-ova najbolje prakse, menadžment identificira najbolje tvrtke u svojoj ili sličnoj djelatnosti i uspoređuje njihove rezultate i procese s vlastitim rezultatima i procesima radi redefiniranja ciljeva i daljnjih unapređenja. Mjerenje KPI-ova može biti jednokratan događaj, ali se najčešće definira kao kontinuirani proces u kojem organizacije neprestano nastoje poboljšati svoje poslovanje.

3.5.14. Kanban

Kanban je jedan od poznatijih alata koji se bazira na principu povlačenja, a temelji se na organizaciji proizvodnje pomoću signalnih kartica kojima se kontrolira rad u procesu WIP *(engl. Work In Process)*. Izraz Kanban je kovanica koja dolazi od japanskih riječi KAN što znači vizualno i BAN što znači kartica. Kanban je japanski pojam za sustav komunikacije između operacija u procesu proizvodnje, a kojim se signalizira potražnja, i koji se koristi kao signal za povlačenje [109]. Taiichi Ohno, industrijski inženjer, razvio je kanban alat sredinom 20. stoljeća kako bi poboljšao učinkovitost proizvodnje u Toyoti. Zato se Kanban u određenoj literaturi [110] definira kao podsustav Toyotinog proizvodnog sustava, a koji je osmišljen radi kontrole proizvodnje, razine zaliha komponenata, a u određenim slučajevima i sirovog materijala. Kanban podržava drugi Toyotin strateški pristup, proizvodnje na vrijeme JIT. Kanban je kao i neki drugi sustavi originalno napravljen za specifične potrebe Toyote u proizvodnji automobila, a njegova primjena u organizacijama s različitom djelatnošću je pokazala i različitu primjenjivost ovog alata. Primjena kanban-a u proizvodnim procesima s nestabilnom potražnjom, s nestabilnim procesnim vremenima, s dugim vremenima pripreme stroja, s raznolikim proizvodima, s nesigurnošću u isporuci sirovina, te u kojima postoje nestandardne operacije, pokazala se nedovoljno učinkovitim. Zbog ovih ograničenja, u literaturi

[110] se spominju čak 32 različite vrste Kanban sustava. Primjena Kanban sustava zahtijeva reorganizaciju i promjenu upravljanja procesima, uz obaveznu primjenu ključnih principa za implementaciju Kanban alata kao što su:

1. Nivelirati proizvodnju i uravnotežiti raspored u svrhu postizanja čim niže varijabilnosti.

2. Izbjeći kompleksne informacijske kontrole i hijerarhijske raspodjele.

3. Povlačiti dijelove bez Kanban-a ne smije biti moguće.

4. Povlačiti se smije samo trenutno potreban proizvod.

5. Povlačenje mora biti ograničeno samo na trenutno potrebnu količinu.

6. U sljedeću fazu smiju se slati isključivo proizvodi koji zadovoljavaju kvalitetom.

Uvođenjem sustava povlačenja postižu se minimalne zalihe, minimalno vrijeme proizvodnje i povećana produktivnost. S obzirom na razlike koje postoje u poduzećima, svako poduzeće treba za sebe odabrati sustav povlačenja koji će najbolje odgovarati danim uvjetima [111].

3.5.15. A3 Izvještaj

A3 Izvještaj je još jedan od niza alata razvijenih u Toyotinim pogonima. Namjena ovog alta je rješavanje problema strukturiranim pristupom. Alati za rješavanje problema dolaze u mnogim oblicima i veličinama. A3 izvještaj u Toyoti je standardna metoda za rješavanje problema tako da se sastavi izvještaj na jednom listu papira veličine A3 formata, najveću veličinu koja se može slati putem telefaks uređaja [107]. Izvještaj koji sadrži sve informacije o potencijalnom problemu, analiza problema, potrebne korektivne radnje i plan djelovanja. Temelji se na 13. načelu Toyotinog puta “Donositi odluke polako konsenzusom”. Izvješće o rješavanju problema A3 je prvenstveno alat dizajniran za kontinuirano izvještavanje visokog rukovodstva u procesu donošenja odluka. Ovim se alatom ,učinkovito postiže konsenzus pri donošenju složenih odluka.[112].

Izvješća A3 temelje se na ciklusu Plan-Do-Check-Act, algoritmu za rješavanje problema na visokoj razini koji je uveo Walter Shewhart 1930-ih, a kasnije ga je usvojio W. Edwards Deming 1950-ih. PDCA ciklus evoluirao je u ciklus Plan-Do-Study-Act (PDSA).

Upravljanje učenjem Toyotinog veterana Johna Shooka otkriva razmišljanje na kojem se temelji proces upravljanja A3 izvještajem, a koji se nalazi u suštini Lean menadžmenta. Shook objašnjava kako “A3 razmišljanje” pomaže menadžerima i rukovoditeljima da identificiraju, oblikuju i djeluju na probleme i izazove. A3 pristup Shook naziva "ključ Toyotinog

cjelokupnog sustava razvoja talenata i kontinuiranog produbljivanja znanja i sposobnosti". Proces A3 standardizira metodologiju za inoviranje, planiranje, rješavanje problema i izgradnju temeljnih struktura, te za dijeljenje šireg i dubljeg oblika mišljenja, a koje će pak proizvesti organizacijsko učenje duboko ukorijenjeno u samom radu" [113].

A3 izvještaj je dio unaprjeđenja procesa, te je važno strukturirati snažan A3 izvještaj koji sadrži optimalnu količinu bitnih informacija. A3 izvještaj kombinira više dokazano učinkovitih Lean alata namijenjenih rješavanju problema radi unapređenja kao što su primjerice: Mapiranje uskih grla, DMAIC *(engl. Define, Measure, Analyze, Improve and Control)*, Preventivno održavanje, Proizvodnja na vrijeme JIT, Dizajn za proizvodnju i montažu DFMA (*engl. Design for Montage and Assembling*), Statistička kontrola procesa SPC *(engl. Statistical process Control)*, Kontrola kvalitete, Praćenje uskih grla, VAVE *(engl. Value Analysis Value Engineering)* radionice, Upravljanje kvalitetom, Mapiranje kompetencija, Prolazak kroz proizvodnju (Gemba Walk), Upravljanje promjenama, PPM *(engl. Process Performance Management)*, Rješavanje problema *(engl. Problem solving)*, Vodstvo *(engl. Leadership)*, 7 gubitaka, Praćenje aktivnosti *(engl. Activity sampling)*, Potvrda procesa *(engl. Process Confirmation)* i drugo [114].

3.6. Green menadžment

Kako bi se odgovorilo na zakonske obveze i osviještenost kupaca za proizvodima i uslugama koji su ekološki održivi i koji su u skladu s propisima o zaštiti okoliša, tvrtke su prisiljene preispitati način upravljanja svojim poslovima i procesima i prilagoditi ih novim zahtjevima. Jedan od ranijih pokazatelja takve prilagodbe je i transformacija proizvodnih sustava prema načelima okolišnog standarda ISO 14001. Uvođenjem koncepta Lean proizvodnje u te iste procese uočena je njihova srodnost i povezanost s mjerama zaštite okoliša [115]. Promatranje proizvodnih sustava s aspekta njihovog utjecaja na okoliš s ciljem smanjenja štetnih utjecaja i zaštite okoliša, dovodi nas do pojmova Green proizvodnje i Green menadžmenta. Green menadžment pristupa proizvodnji i uslugama s ciljem minimalizacije otpada, potrošnje energije i bilo kakvog zagađenja okoliša. Green ciljevi se postižu oblikovanjem proizvoda ili usluge u razvojnoj fazi, te kontrolom i upravljanjem procesa u proizvodnoj fazi realizacije [116].

Lean i Green proizvodnju karakterizira, najmanji utrošak resursa i energije, zatvoreni ciklus proizvodnje, korištenje obnovljive energije i niske emisije štetnih plinova. Green proizvodnja prepoznaje sedam vrsta Green gubitaka: energiju, vodu, materijal, otpad, transport, emisije (plinovi, zračenje) i bio-raznolikost.

- **Energija;** Gubici koji se u proizvodnom ili uslužnom procesu pojavljuju zbog nepotrebne potrošnje svih oblika energije, te zbog nekorištenja otpadne energije i energije proizvedene iz obnovljivih izvora.
- **Voda;** Procesi u kojima se troše veće količine vode trebaju se temeljito analizirati kako bi se prekomjerna potrošnja smanjila, a time i značajni troškovi i rasipnost ovog vrijednog resursa. Tamo gdje je to moguće i opravdano, iskorištenu vodu u procesu treba pročistiti, pripremiti i kao sekundarnu vodu vratiti u proces.
- **Materijal;** Green gubici uzrokovani materijalom nastaju uglavnom zbog primjene štetnih i neodgovarajućih materijala u proizvodnim i uslužnim procesima, te zbog nepotrebnog trošenja materijala koji tako postaje otpad. Treba koristiti materijale prihvatljive za okoliš u optimalnoj količini, te materijale koji se mogu reciklirati i ponovno koristiti bilo u istom procesu ili u neke druge korisne svrhe.
- **Otpad;** Sve vrste direktnog i indirektnog materijala korištenog u procesu, a koji ne čini krajnji proizvod. To su gubici koji najčešće nastaju u proizvodnom procesu zbog primjene loših tehnologija, neodgovarajuće ambalaže, načina pakiranja proizvoda i nekih drugih dodataka koji se jednokratno koriste i zatim bacaju kao otpad.
- **Transport;** Gubici zbog nepotrebnog kretanja ljudi, materijala, proizvoda i informacija, a koji štetno djeluju na okoliš.
- **Emisije;** Ispuštanje ili istjecanje tvari u tekućem, plinovitom ili čvrstom stanju. Ispuštanje energije koje se manifestira kao toplina, zračenje, buka, vibracije ili svjetlost), te ispuštanje organizama. Sve su ovo emisije štetne ako su nastale kao posljedica ljudskih aktivnosti. Korištenje neodgovarajućih tehnologija, te prekomjerna potrošnja, imaju za posljedicu veće emisije štetnih tvari. Osim nepotrebnih troškova značajan je i negativan utjecaj na okoliš. Green menadžment zahtijeva korištenje čiste energije iz obnovljivih izvora, te racionalno i učinkovito gospodarenje potrošnjom svih oblika energenata.
- **Bioraznolikost;** Uništavanje životinjskog i biljnog svijeta koje nastaje kao posljedica narušene ravnoteže ekosustava uslijed prekomjernog iskorištavanje prirodnih resursa.

Na tragu ovih spoznaja autor u radu [117] ukazuje na mogućnost izgradnja Fotonaponskih sunčanih elektrana na vodocrpilištima javnog isporučitelja vodnih usluga Vodoopskrba i odvodnja d.o.o. (ViO). Javni isporučitelj vodnih usluga za Grad Zagreb, Samobor, Svetu Nedjelju i općinu Stupnik, na taj će način iskoristiti potencijal lokacija vodocrpilišta bez rizika da se ugrozi samo vodocrpilište. Izgradnjom sunčanih elektrana na tri najveća vodocrpilišta (Mala Mlaka, Sašnak i Petruševac) proizvesti će se dovoljna količina električne energije za

pokriće vlastitih potreba. Na taj će se način ViO, veliki potrošač električne energije, dokazati kao zelena organizacija koja vodi brigu o očuvanju okoliša i koja poštuje Green principe jer će proizvoditi više „zelene energije“ nego što su vlastite potrebe. Ovakvo opredjeljenje javnog isporučitelja vodnih usluga naglašava njegovu društvenu odgovornost.

Energetskom učinkovitošću vodoopskrbnih sustava bave se i autori u radu [118]. Ukazuju da su vodoopskrbni sustavi veliki potrošači energije i da se čak 90 posto njihove potrošnje odnosi na rad pumpi. Na konkretnim slučajevima istražuju mogućnosti uštede energije i u konačnici zaključuju da su gubici energije u vodoopskrbnim sustavima značajni, te da je potrebno raditi na podizanju svijesti vodoopskrbnog osoblja, te im pružiti svu potrebnu pomoć radi unapređenja energetske efikasnosti.

Proučavajući znanstvene radove na temu Green menadžmenta iz njegove ranije faze razvoja (devedesete godine prošlog stoljeća) može se uočiti da oni govore uglavnom o primjeni načela Lean proizvodnje kao okvira za poboljšanje uspješnosti proizvodnje u automobilskoj industriji te komercijalnoj (civilnoj) i vojnoj industriji [119]. Ranije poimanje i primjena Lean principa samo u proizvodnim procesima u novije se vrijeme uzdiže na razinu strategije koja zbog sveobuhvatnosti svojih načela omogućuje prilagođavanje i širenje koncepta Lean menadžmenta i na druga područja u proizvodnim poduzećima [120], te na mnoge druge uslužne djelatnosti [49].

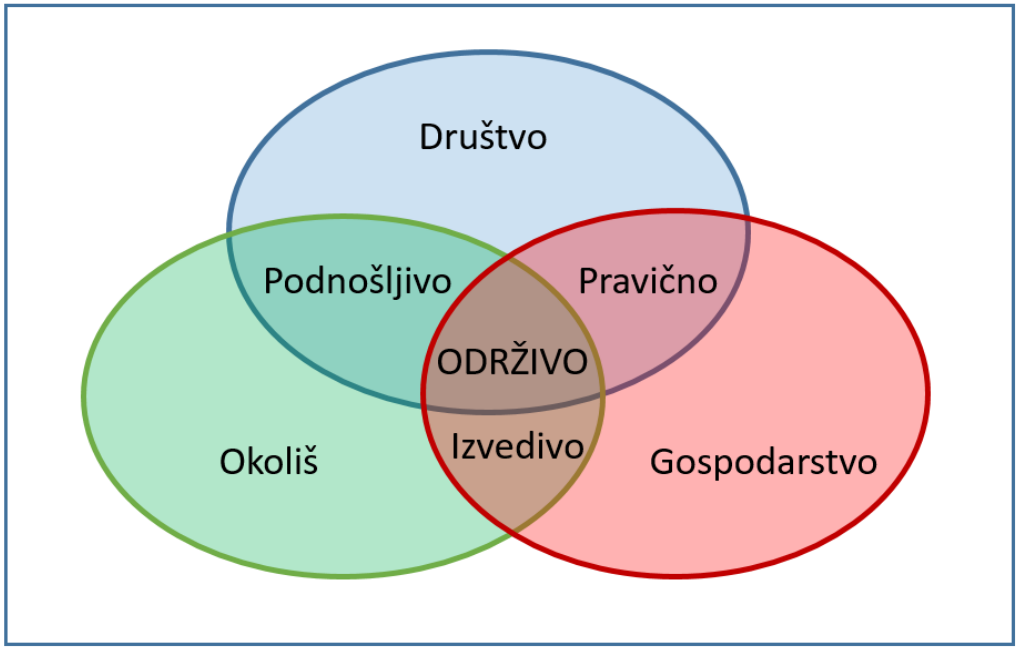
Danas poduzeća vide aktivnosti smanjenja utjecaja na okoliš kao priliku i stratešku prednost. U poduzećima je još uvijek prisutna podjela na aktivnosti koje se bave unaprjeđenjem efikasnosti procesa i na aktivnosti koje se bave unaprjeđenjem (smanjenjem) utjecaja na okoliš. Ove aktivnosti se prate i provode u dva različita procesa ali oni to nisu. Radi se o istim ili vrlo sličnim aktivnostima kojima se pristupa s različitih aspekata.

Autori u radu [115] istražuju povezanost i sinergiju Lean i Green pristupa. Navode da je usmjeravanje pozornosti na nužnost smanjenja i ublažavanja klimatskih promjena, te povećanje brige o zaštiti okoliša, doprinijelo razvoju Green pristupa. Njime se analizira potrošnja energije i ostalih Green elemenata u proizvodnim i uslužnim procesima. Teži se povećanju energetske učinkovitosti, te povećanju učešća energije iz obnovljivih izvora radi smanjenja emisije štetnih plinova.

3.6.1. Održivo poslovanje

Prema široko prihvaćenoj definiciji, održivost podrazumijeva „razvoj koji osigurava zadovoljenje sadašnjih potreba bez štete po zadovoljenje potreba budućih generacija“ (WCED,

1987; World Bank, 2009). Održivi razvoj je okvir za oblikovanje politika i strategija kontinuiranog gospodarskog i socijalnog napretka, bez štete za okoliš i prirodne izvore bitne za ljudske djelatnosti u budućnosti. Održivo poslovanje se oslanja na ambicioznu ideju prema kojoj razvoj ne smije ugrožavati budućnost dolazećih naraštaja trošenjem neobnovljivih izvora i dugoročnim devastiranjem i zagađivanjem okoliša (slika 3.12).



Slika 3.12: Održivi razvoj (prilagođeno) [116];

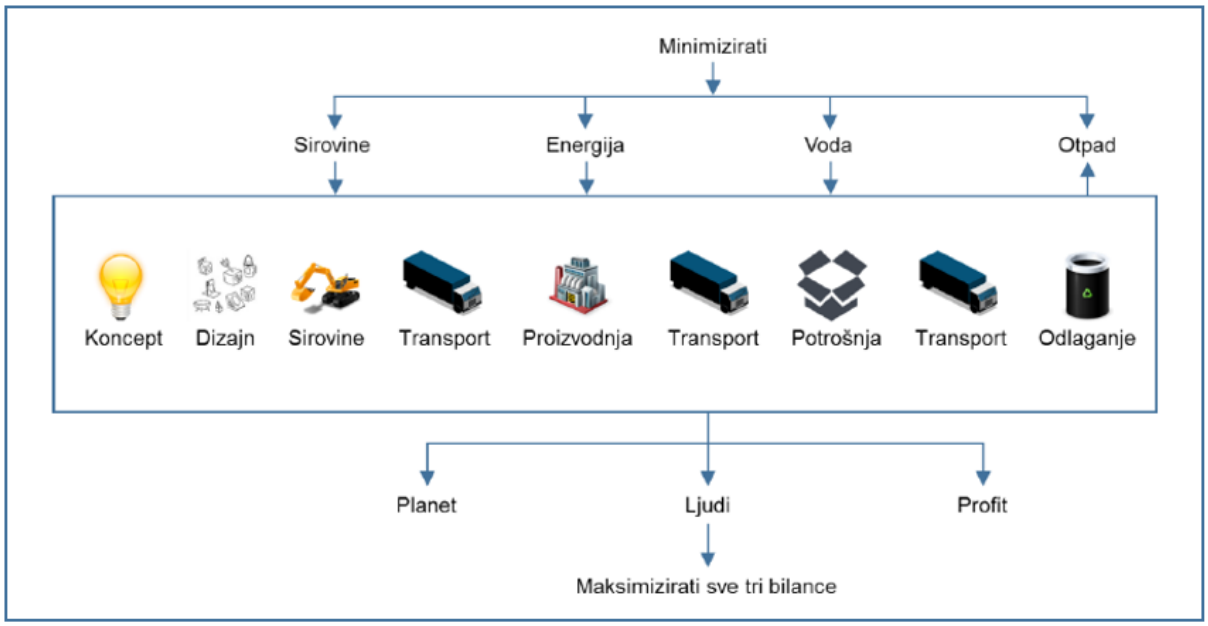
Prema gore navedenim definicijama vidimo da poslovanje može biti „Green“ jedino i isključivo ako je istovremeno i održivo. Primjenom koncepta Lean i Green menadžmenta transformiramo procese tako da uklanjamo iz procesa sve što nije neophodno. Takvim pristupom jačamo održivost poslovanja.

3.6.2. Društveno odgovorno poslovanje

Osim održivog poslovanja često se u literaturi i medijima spominje i Društveno odgovorno poslovanje (DOP). Društveno odgovorno poslovanje proširuje pojam održivosti poslovanja, a odnosi se na način kojim organizacije upravljaju svojim poslovnim procesima radi ostvarenja pozitivnog učinka na društvo. Točnije DOP se odnosi na preuzimanje odgovornosti organizacije za učinak njenih aktivnosti na društvo i okoliš, pri čemu te aktivnosti moraju biti u skladu s interesima društva, temeljiti se na etičkom ponašanju i biti u skladu sa zakonima i ostalim pravnim regulativama. Društveno odgovorno poslovanje je područje koje se sve brže

razvija, a izvještavanje o društvenom učinku i održivosti postaje uobičajena praksa uglednih tvrtki.

Mjerenje učinka poslovanja, ne samo s financijskim već i s ekološkim i socijalnim učinkom, ušao je u uobičajenu upotrebu u menadžmentu, a najčešće se može pronaći pod pojmom trostruke bilance 3P *(engl. Profits, People, Planet)* [121] kako je i prikazano na slici 3.13.



Slika 3.13: Koncept trostruke bilance 3P [56];

Pozitivno i pro-aktivno djelovanje poslovnog sektora i to iznad razina koje su propisane zakonom u različitim poslovnim procesima (npr. proizvodni procesi, utjecaj na okoliš, politika zapošljavanja, edukacija zaposlenika, ulaganje u društvenu zajednicu itd.) postalo je ustaljena praksa u razvijenom svijetu. S vremenom se pokazalo da od takve prakse postoje višestruke koristi i za organizaciju i cjelokupno društvo [122].

Iako je prije pedesetak godina ideja društvene odgovornosti bila relativno nova, danas se upravljanje društvenom odgovornošću brzo razvija i postaje neizostavno područje menadžmenta. Briga za okruženje u kojem neka organizacija djeluje počinje sve više utjecati na korporativnu strategiju velikih tvrtki, kao i malog i srednjeg poduzetništva širom svijeta. Te promjene u korporativnoj politici potiču organizacije na razvijanje svijesti i povećanje brige za društvo i okoliš u kojem djeluju. Odlika odgovornih organizacija je njihova fokusiranost na strateške i dugoročno orijentirane ciljeve, te na aktivnosti koje doprinose njihovom ostvarenju. Upravljanje društveno odgovornim aktivnostima podrazumijeva rad s drugima (interesno-utjecajnim skupinama), a nikako ne u izolaciji.

3.6.3. Gubici prema Green menadžmentu

Sedam vrsta Green gubitaka prikazani su u tablici 3.3.

Tablica 3.3: Gubici prema Green Menadžmentu [72];

	Vrsta gubitaka	Opis
1.	Energija	- Prekomjerno korištenje energije; - Ne korištenje energije iz obnovljivih izvora;
2.	Voda	- Prekomjerno korištenje čiste vode; - Ne korištenje sive vode; - Ne korištenje vode u zatvorenim procesima;
3.	Materijal	- Prekomjerno korištenje materijala; - Korištenje nereciklirajućih materijala; - Korištenje opasnih materijala;
4.	Otpad	- Prekomjerna produkcija otpada za odlaganje. Otpada koji se više neće koristiti u drugim procesima (sve vrste direktnog i indirektnog materijala);
5.	Transport	- Nepotrebna kretanja materijala, ljudi i informacija;
6.	Emisije	- Ispuštanje ili istjecanje tvari u plinovitom, tekućem ili čvrstom stanju; - Ispuštanje energije; - Ispuštanje organizama;
7.	Bio raznolikost	- Preveliki utjecaj na žive organizme (flora i fauna); - Preveliko korištenje prirodnih resursa;

3.6.4. Standardi sustava upravljanja okolišem

Iako je prije pedesetak godina upravljanje okolišem bilo tek u začetku vrlo se brzo spoznao značaj ovog područja djelovanja. Danas je upravljanje okolišem važno područje menadžmenta i neizostavni je dio svakog projekta poznat kao sustav upravljanja okolišem EMS *(engl. Environmental Management Systems)*. Koncem osamdesetih godina 20. stoljeća pojavili su se prvi standardi za izgradnju sustava upravljanja okolišem (BS 7750) iz kojeg se razvio danas najučestaliji standard upravljanja okolišem ISO 14.001:2015. Danas se još koristi i EMAS standard *(engl. European Eco-Management and Audit Scheme System)*, a u skorije vrijeme sve više poduzeća s razvijenom komponentom društvene odgovornosti koriste GRI (*engl. Global Reporting Initiative*) standard. GRI je dobrovoljni izvještaj o održivosti, a temelji se na uputi kako bi organizacije trebale izvještavati javnost o svojim naporima na području održivosti.

Osim navedenih standarda poznate su i neke inicijative koje imaju za cilj unapređenje sustava mjereno Green pokazateljima poslovanja. Neke od poznatijih inicijativa su: Zelena proizvodnja GP *(engl. Green Production)*, Čistija proizvodnja CP *(engl. Cleaner Production)*, Eko efikasnost EE *(engl. Eco Efficiency)* i Analiza životnog ciklusa proizvoda LCA *(engl. Life Cycle Assessment)* [56].

3.7. Alati Green menadžmenta

Ostvarenje ciljeva Green menadžmenta radi smanjenja ukupnih troškova, poboljšanja konkurentnosti i održivosti poslovanje kroz minimalna rasipanja resursa, minimiziranje otpada, te uklanjanje nepotrebnih aktivnosti zahtjeva upotrebu adekvatnih alata i metodologija kao što su primjerice.

- **Analiza granica Green sustava;** Slično kao i kod Lean analize toka vrijednosti, ovdje se određuje početno stanje nekog poduzeća kako bi se vidjelo koliki je utjecaj procesa na okoliš. Pri tome se prate sve vrijednosti ključnih Green pokazatelja na ulazu i izlazu iz promatranog procesa radi izrade Green bilance. Green sustav se prikazuje kao linearni model kojeg čine proizvođači sirovina i energije, prerađivač (promatrano poduzeće) i kupac proizvoda ili usluge. Analizira se trenutno stanje sa stajališta Green menadžmenta, te se pronalaze i analiziraju kritične aktivnosti. Predlažu se mjere za poboljšanje procesa koje će rezultirati smanjenjem Green gubitaka i povećanjem učinkovitosti procesa.
- **Prošireno Mapiranje procesa komponentama održivosti;** Prilikom mapiranja procesa izrada VSM mape u tablice pojedinih procesa dodaju se i polja komponente održivosti. U ovim se poljima prikazuju vrijednosti ključnih Green pokazatelja za početno, sadašnje i buduće stanje.
- **Model izvrsnosti Lean i Green proizvodnje;** Najbolje rezultate poduzeća postižu kada istovremeno uvode Lean i Green menadžment jer tada do izražaja dolaze već ranije spomenuti sinergijski efekti. Mnogo je sličnosti i dodirnih točaka ova dva pristupa tako da se učinkovitijim pokazao cjeloviti model istovremenog uvođenja Lean i Green menadžmenta u odnosu na uvođenje pojedinog koncepta. Primjena odgovarajućih Lean alata i tehnika doprinosi primarno poboljšanju proizvodnih pokazatelja ali istovremeno može imati i značajan utjecaj na smanjenje pojedinih Green gubitaka i poboljšanje Green pokazatelja.

Zbog već ranije spomenute povezanosti Lean i Green menadžmenta većina Lean alata ostvaruje Green učinke, pa ih kao takve možemo smatrati i alatima Green menadžmenta.

4. DIGITALIZACIJA POSLOVANJA – INDUSTRIJA 4.0

Intenzivnim razvojem znanosti, brzina kojom se danas dolazi do aktualnih otkrića bez presedana je u ljudskoj povijesti. U usporedbi s prethodnim industrijskim revolucijama, četvrta se razvija eksponencijalno i donosi značajne koristi u svim segmentima poslovanja. Sinonimi za četvrtu industrijsku revoluciju su digitalizacija procesa (poslovanja) ili u širem kontekstu pojam poznat kao koncept "Industrija 4.0" *(engl. Industry 4.0).* Koncept industrije 4.0 je strateški pristup za integraciju naprednih sustava upravljanja temeljenih na internet tehnologiji, a koji omogućava komunikaciju između ljudi, strojeva, proizvoda i drugih složenih sustava [123]. Pojam Industrije 4.0 prvi put je primijenjen u njemačkoj industrijskoj strategiji za razdoblje do 2020 godine, a koja je predstavljena na svjetskoj izložbi industrijske tehnologije "Hannover Messe" 2011. godine. Glavni ciljevi koncepta Industrije 4.0 su stvaranje pametnih tvornica, te digitalizacija poslovnih i proizvodnih procesa radi povećanja sveukupne kvalitete, smanjenja troškova proizvodnje i poslovanja, te povećanja fleksibilnosti i učinkovitosti proizvodnje. Zbog svojih univerzalnih principa koncept Industrije 4.0 se može primijeniti, osim u proizvodnji i u ostalim sektorima gospodarstva kao što su poljoprivreda, turizam, uslužna djelatnost. Značajan doprinos može ostvariti i u komunalnoj djelatnosti, zdravstvu, upravi, obrazovnom sustavu, te u ostalim segmentima svakodnevnog života.

Nova znanja i tehnologije pokrenula su i procese redefiniranja industrijskih strategija. Tako je u novoj Njemačkoj strategiji visokih tehnologija i inovacija zapisano „Cilj je, dobre ideje brzo provesti u inovativne proizvode i usluge" [124]. Njemačka industrijska 4.0 inicijativa ima za cilj podržati pomoću Internetske infrastrukture integraciju i virtualizaciju proizvodnog dizajna i proizvodnih procesa, radi stvaranja pametnih proizvoda, koji pak predstavljaju osnovu za stvaranje pametnih usluga [125].

Qin i drugi [126] opisuju kako i pod kojim okolnostima je krenula 4. industrijska revolucija. Ukazuju na brz napredak u razvoju tehnologija i aplikacija koji je omogućio pojavu mnogih koncepata u industrijskoj proizvodnji. Općenito je poznato da je dalekovidni pojam koncepta Industrije 4.0 objavljen kako bi istaknuo novu industrijsku revoluciju. Mnoge proizvodne organizacije, tvrtke i znanstvene institucije istražuju ovu temu. Međutim zaključuju, da su kriteriji postignuća industrije 4.0 još uvijek neizvjesni jer tehnološki plan puta za postizanje industrije 4.0 još uvijek nije jasan ni u industriji niti u akademskoj zajednici. Autori se usredotočuju na temeljnu koncepciju industrije 4.0 i stanje postojećih proizvodnih sustava. Identificiraju postojanje praznine u istraživanjima između postojećih proizvodnih sustava i

zahtjeva koncepta industrije 4.0. U radu nastoje pojasniti koji su to zahtjevi koje traži koncept Industrije 4.0, te predlažu višeslojni okvir za njegovu implementaciju.

Farris i drugi, u radu [127], istražuju tehnološki razvoj i nova otkrića u posljednja dva desetljeća, kao što su RFID (*engl. Radio Frequency Identification Data)* tehnologija, GPS *(engl. Global Position System),* Geo informacijski sustav GIS *(engl. Geographic Information System),* SMART senzori, aktuatori i mjerila, a koji će nam omogućiti kontinuirano prikupljanje i obradu podataka u realnom vremenu. Kao rezultat ovih mogućnosti pojavljuju se i nove discipline kao što su „Big Data", "Smart Data", "Predictive Analytics", a koje su i razvijene upravo s ciljem da bolje koriste dostupne podatke i da osiguraju bolje ulazne podatke u procese kojima se upravlja.

Maxim i drugi [128] istražuju važnost automatizacije u industriji koja se dramatično povećala u posljednjih nekoliko godina. Industrijska komunikacija jedan je od ključeva za povećanje učinkovitosti, smanjenje ukupnih troškove poslovanja, te poboljšanje produktivnosti. Zaključuju da postoji ogroman potencijal, osobito u djelu bežičnih komunikacija koji otvara nove perspektive od djelomične modernizacije postrojenja, pa sve do optimizacije složenih logističkih ili proizvodnih procesa.

Kolberg i Zühlke [129] daju pregled postojećih kombinacija koncepta Lean Proizvodnje i automatizacije, koja se također naziva Lean automatizacija *(engl. Lean Automation).* Nadalje, raspravljaju o glavnim temeljima koncepta industrije 4.0 i povezuju ih s dokazanim Lean pristupom. Primjeri kombiniranja ova dva koncepta su pametni satovi za potporu Andon principa ili kibernetičko-fizikalni sustavi CPS za fleksibilno Kanban planiranje proizvodnje.

Autorice Mrugalska i Wyrwicka [130] istražuju Lean Proizvodnju kao široko priznat koncept prihvaćen u industrijskom okruženju. Međutim, ukazuju na pojavu nove paradigme zvane Industrija 4.0 ili četvrta industrijska revolucija koja omogućuje stvaranje pametne mreže strojeva, proizvoda, komponenti, svojstava, pojedinaca i ICT sustava u cijelom lancu vrijednosti kako bi stvorili inteligentnu tvornicu. Istražuju kako ova dva pristupa mogu koegzistirati i međusobno se podržavati. Definiraju koncept Industrije 4.0 kao integraciju složenih fizičkih strojeva i uređaja s umreženim senzorima, te s aplikacijama koje se koriste za predviđanje, upravljanje i planiranje boljih poslovnih i društvenih ishoda. Zaključuju da s ova dva koncepta međusobno podržavaju, te da je preporučljivo međusobno ih povezati. Sličnim se

istraživanjem bave i autori Wagner i ostali u radu [131]. Oni također zaključuju da primjena koncepta Industrije 4.0 stabilizira i podupire Lean principe.

Transformacija je neizbježna, a sve su tvrtke, više ili manje uspješne, suočene s izazovima prijenosa svojih proizvoda i usluga u digitalno okruženje i izgradnju novih poslovnih modela. Svjesni, da će u slučaju da se ne prilagode, uskoro biti nekonkurentni i u velikim poslovnim poteškoćama.

Cilj je nacionalne platforme za digitalizaciju industrije Republike Hrvatske stvoriti pametne *(engl. SMART)* tvrtke i digitalizirati poslovne i proizvodne procese kako bi se povećala kvaliteta, fleksibilnost i učinkovitost, a smanjili ukupni troškovi proizvodnje [132].

4.1. Povijest industrijalizacije - 4 industrijske revolucije

Otkriće uporabljivog parnog stroja u drugoj polovici 18 stoljeća, pokrenulo je snažan napredak tehnike, te korjenite promjene u načinu proizvodnje i prijevoza. Time je počeo razvoj koji je, od kraja 18. do sredine 19 stoljeća, temeljito izmijenio ranije političke, gospodarske i društvene sustave u većem dijelu svijeta. Ovaj se događaj općenito smatra pokretačem industrijalizacije globalnih razmjera koji se jedinstveno naziva „prvom industrijskom revolucijom“.

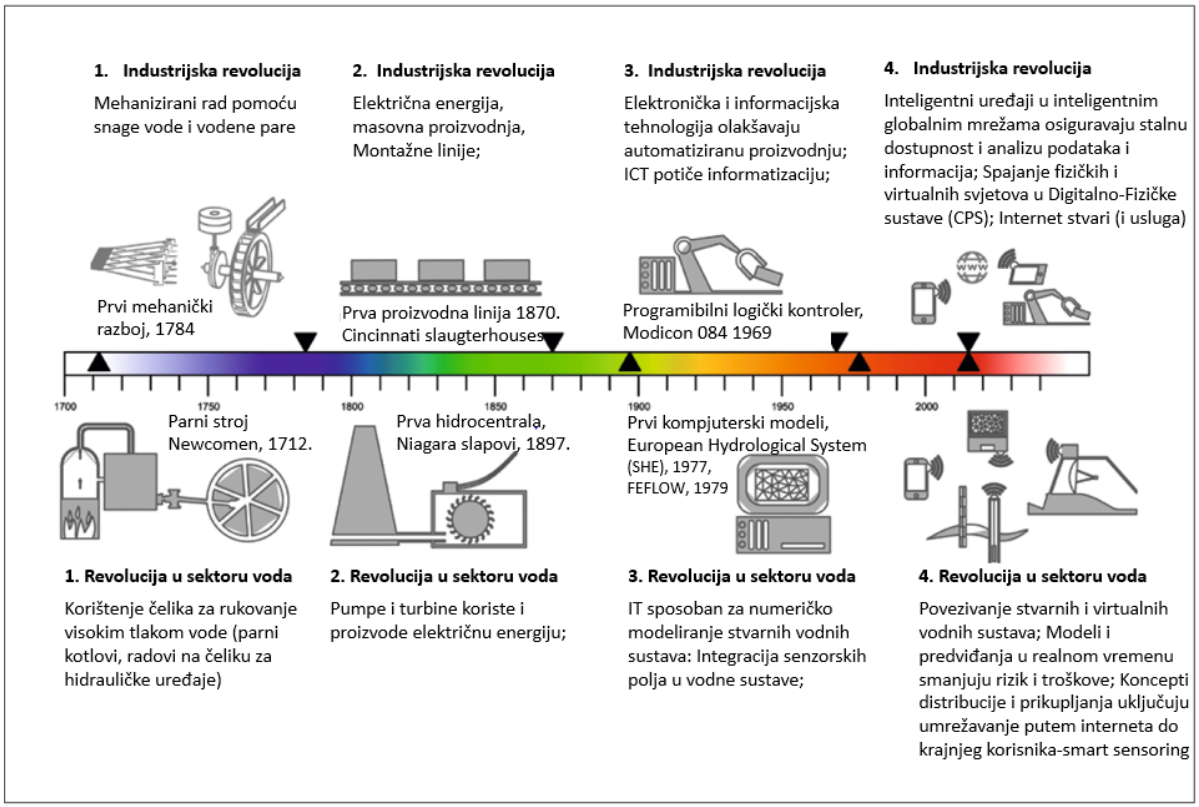
Izumitelj Nikola Tesla je 1887. godine izumio motor na izmjeničnu struju koji je osnova današnje pogonske elektrotehnike. Teslin pronalazak višefaznih izmjeničnih struja i transformatora omogućio je jeftino prenošenje električne energije na velike udaljenosti i njezinu masovnu primjenu. Ovim otkrićima je pokrenut novi val daljnje industrijalizacije u drugoj polovici 19. stoljeća koji općenito smatramo drugom industrijskom revolucijom. Treća ili Digitalna industrijska revolucija, započela je krajem 60-tih godina 20. stoljeća, a obilježena je razvojem elektronike i računala, te informacijskih sustava, koji su od analogne elektrike i mehaničkih uređaja napredovali do digitalnih tehnologija kakve koristimo danas [133], [134], [135], [136].

Četvrtu industrijsku revoluciju definira razvoj interneta, bežičnih komunikacija i primjena SMART tehnologija temeljenih na CPS sustavima. Koncept Industrije 4.0 je sinonim za pojam četvrte industrijske revolucije koji je postao globalno prihvaćen [124], [135], [137].

Pojam digitalnog ili e-poslovanja još je 1975. godine ušao u poslovni leksikon (doduše, samo kao ideja ureda bez papira). U članku objavljenom u Business Week-u pod naslovom „Ured budućnosti“, George Pake, legendarni čelnik Xerox Palo Alto Research Center-a, predvidio je tehnologiju koja je trebala do 1995. omogućiti zaposlenicima da pritiskom tipke zamijene

gomilanje ispisanih dokumenata u uredima, a da informacija dođe do svih kojima je namijenjena.

Na slici 4.1. prikazane su sve četiri industrijske revolucije i napredak u tehnologiji koji ih je okarakterizirao, također je prikazan i utjecaj tehnološkog razvoja na razvoj vodnog sektora.



Slika 4.1: Četiri industrijske revolucije i njihov utjecaj na razvoj vodnog sektora;

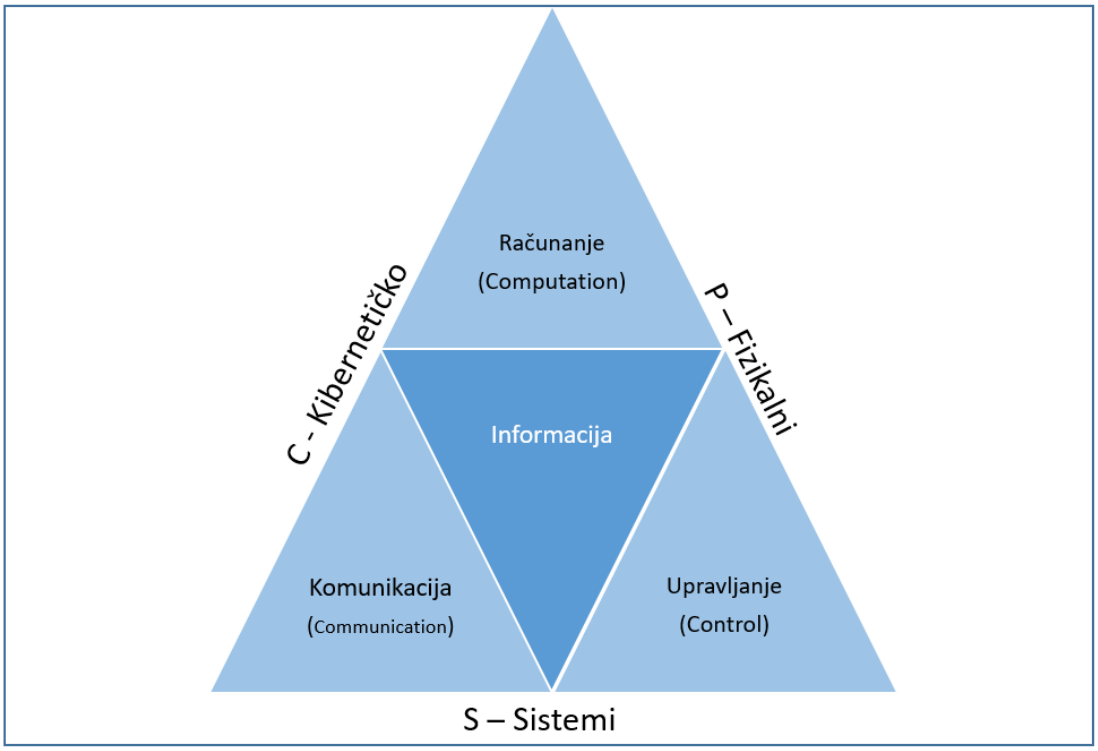
Gotovo četvrt stoljeća poslije svi poslovni procesi u poduzećima teku upravo u tom smjeru. Uredi danas nisu ograničeni samo na četiri zida. Većina komunikacije i poslovnih procesa obavlja se upotrebom internetske veze i različitih aplikacija koje, brzim prihvaćanjem i primjenom u svakodnevnim poslovnim procesima, donose prednost pred konkurencijom koja takvu tehnologiju ne koristi. Poduzeća koja ulažu u informacijske sustave, mijenjajući ustaljene manualne radnje su efikasnije i ekonomičnije. Digitalno upravljane procesima vrlo brzo ostvaruje značajno veću učinkovitost, a samim time i konkurentnost.

4.2. Kibernetičko – fizikalni sustavi CPS

Intenzivnim razvojem znanosti, digitalnih i općenito ICT tehnologija, omogućen je razvoj i dostupnost SMART tehnologija temeljenih na kibernetičko – fizikalnim sustavima. CPS je okosnica koncepta Industrije 4.0, jer umrežava računalne i fizičke procese. Računala putem

mreža nadziru i upravljaju fizičkim procesima, a putem povratnih veza ostvaruju stalnu optimizaciju.

Na slici 4.3 prikazan je koncept CPS sustava temeljen na njegovim glavnim komponentama.



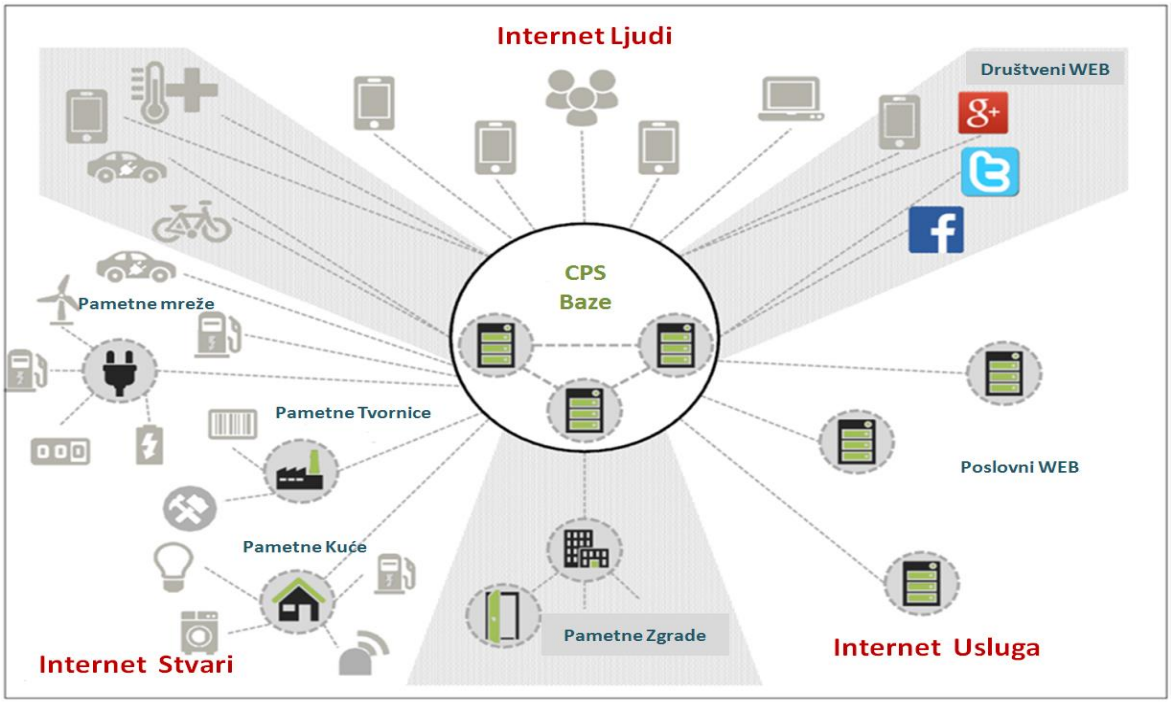
Slika 4.2: Koncept CPS sustava [138];

Iako mnogi autori pokušavaju jednoznačno opisati CPS sustav, za sada ne postoji jedinstvena definicija. Tako se CPS opisuje kao transformacijska tehnologija, za upravljanje međusobno povezanih sustava, kao što su fizički uređaji u stvarnom svijetu i računalne mogućnostima u digitalnom svijetu. Budući industrijski sustavi mogu se realizirati korištenjem CPS-a koji zagovara koegzistenciju kibernetskih i fizičkih poveznica u jedinstvenu umreženu strukturu za obavljanje funkcija sustava na kooperativan način. U CPS sustavima se mogu ostvariti tri vrste komunikacije:

- komunikacija ljudi s ljudima;
- komunikacija između ljudi i stvari;
- komunikacije između stvari i stvari M2M *(engl. machine to machine).*

Zezulka i drugi, u radu [138], CPS opisuju kao sustav koji ima poveznicu između virtualnog *(engl. Cyber)* svijeta i stvarnog ili fizičkog *(engl. Physical)* svijeta. CPS se koristi kao sučelje čovjek - stroj kako bi se ostvarila pravilna (željena) komunikacija između korisnika i

proizvodnog postrojenja. Ukazuju na najnovija tehnološka dostignuća koja rezultiraju povećanom raspoloživošću i mogućnostima senzora za prikupljanje podataka i umreženih računalnih mreža za obradu prikupljenih podataka. Ove mogućnosti potiču organizacije da promijene ustaljeni način razmišljanja i djelovanja. Posljedično, sve veća upotreba senzora i računalnih mreža rezultirala je kontinuiranim generiranjem velikih skupova podataka koji su postali globalno poznati kao BIG DATA (*engl. Big Data*). U takvom okruženju, CPS se može dalje razvijati kao sustav za upravljanje velikim skupovima podataka radi ostvarenja ciljanog procesa sačinjenog od inteligentnih, fleksibilnih i automatskih adaptivnih strojeva. Autori zaključuju da nedavni napredak i ostvareni rezultati u primjeni pametnih tehnologija, ubrzano šire primjenu CPS-a prema kojem se informacije, iz svih povezanih perspektiva (od proizvodnog pogona do digitalnog računalnog prostora), usko prate i međusobno sinkroniziraju. Popularni prikaz kibernetičko – fizikalnog sustava CPS prikazan je na slici 4.3.



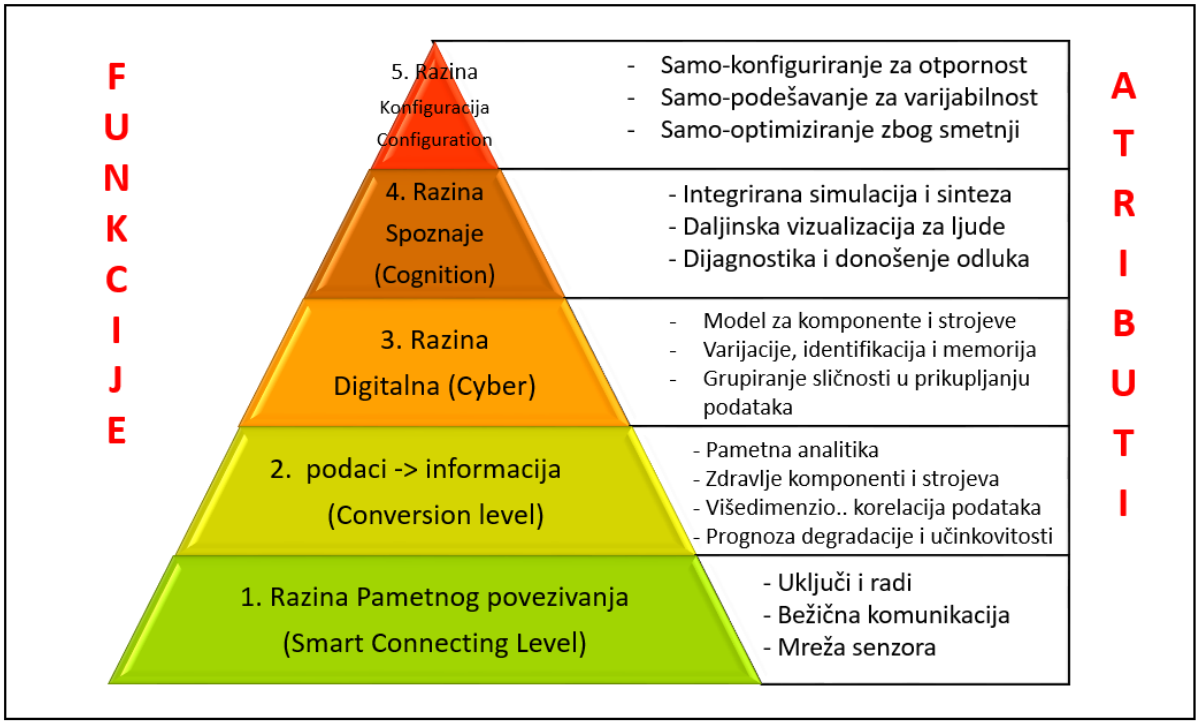
Slika 4.3: Koncept CPS sustava [134];

Leitao i drugi, u radu [139], ukazuju na „Multi Agent“ sustave koji dijele zajednički jezik s CPS sustavima i koji se mogu osnažiti s mnoštvom novih mogućnosti u njihovim naporima da postignu složenost, robusnost, prilagodljivost i odgovornost. U svom radu ispituju i analiziraju trenutno stanje industrijske primjene „Multi Agent“ tehnologije u CPS okruženju. Autori nam pružaju viziju načina na koji izvršitelji (senzori, posrednici, aktuatori i slično) mogu učinkovito omogućiti postavljene izazove CPS-a.

Herterich i drugi [140] zaključuju da će se integracijom CPS-a u proizvodnju, logistiku i usluge, današnje organizacije transformirati u buduće tvornice na temelju koncepta Industrije 4.0 sa značajnim ekonomskim potencijalom.

Khaitan i McCalley, u radu [141], istražuju CPS kao novu klasu sustava koji nude blisku interakciju između kibernetičkih i fizičkih komponenti. Područje CPS-a identificirano je kao ključno područje istraživanja, a od CPS-a se očekuje da ostvari važnu ulogu u oblikovanju i razvoju budućih sustava. U svom radu istražuju najnovija dostignuća u razvoju i primjeni CPS sustava kao opipljive stvarnosti koja će u bliskoj budućnosti igrati glavnu ulogu u oblikovanju i razvoju pametnih mreža sljedećih generacija, pametnih domova, zrakoplova, svemirskih vozila i ostalih segmenata svakodnevnog života. Proučavanjem literature nastoje identificirati buduće izazove koje istraživači i dizajneri trebaju riješiti prije nego što predlože nova rješenja za široko prihvaćanje CPS-a.

Izgradnja CPS strukture složen je i vrlo specifičan proces. Lee i drugi u radu [142] predlažu izgradnju CPS-a kroz 5 razina. Naime, 5C arhitektura nudi korak-po-korak smjernice za razvoj i implementaciju CPS-a. 5C arhitektura jasno pokazuje kako treba izgraditi CPS od početnog prikupljanja podataka preko analitike do stvaranja konačne vrijednosti. Na slici 4.4 prikazan je predloženi koncept 5C arhitekture za izgradnju CPS strukture.



Slika 4.4: Koncept 5C arhitekture za izgradnju CPS sustava [142];

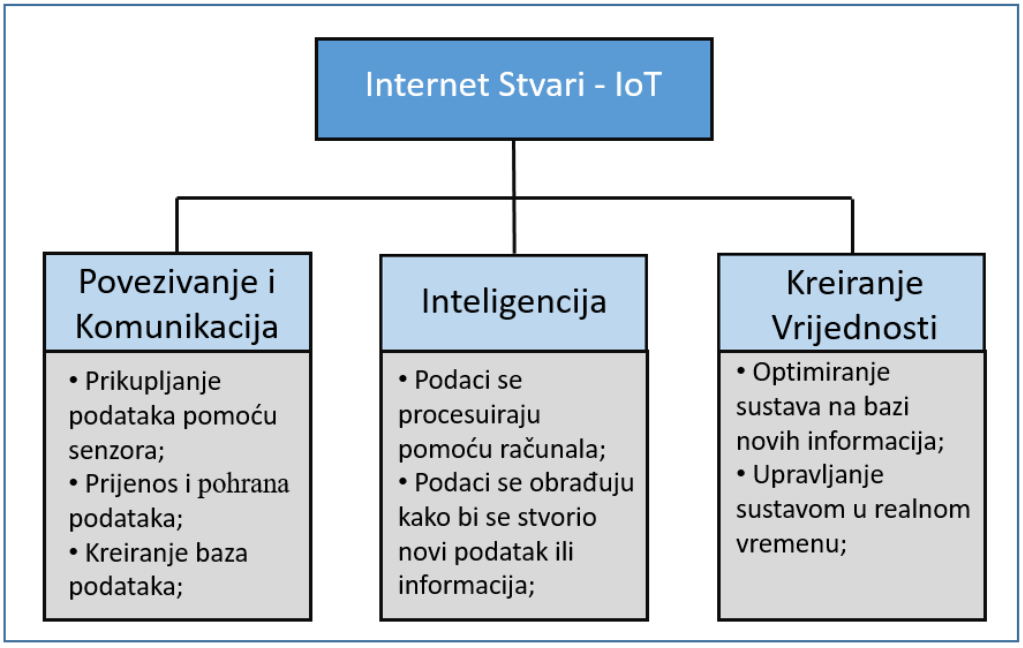
U radu [143], Lee istražuje pojam CPS-a i zaključuje, za razliku od uobičajenih sustava, CPS je potpuno dizajniran kao mreža interakcijskih elemenata s fizičkim ulazom i izlazom umjesto samostalnih i neovisnih uređaja. CPS sustavi nude koordinaciju računalnih i fizičkih resursa, te se stoga očekuje da igraju važnu ulogu u dizajnu i razvoju pametnih proizvoda.

Schumaher i drugi, u radu [144], razvijaju model za procjenu spremnosti proizvodnih organizacija za primjenu koncepta Industrije 4.0. Ukazuju da će napredak u razvoju CPS sustava uvelike poboljšati učinkovitost mnogih važnih procesa. Napredak će se ostvariti prvenstveno digitalizacijom procesa na cijelom lancu vrijednosti.

Alippi u knjizi [145] navodi da se kontinuiranim napretkom u znanosti i inženjerstvu poboljšava veza između računalnih digitalnih i fizičkih elemenata pomoću inteligentnih mehanizama, povećavajući prilagodljivost, autonomiju, učinkovitost, funkcionalnost, pouzdanost, sigurnost i upotrebljivost CPS sustava.

4.3. Internet stvari IoT

Internet stvari - IoT *(engl. Internet of Things)* je podskup CPS sustava, a opisuje se kao sustav međusobno povezanih računalnih uređaja, mehaničkih i digitalnih strojeva, predmeta, životinja ili ljudi koji imaju jedinstvene identifikatore UID (*engl. Unique Identification Data*) i koji mogu vršiti razmjenu podataka putem mreže bez dodatnog traženja. Na slici 4.5 prikazan je koncept IoT-a.



Slika 4.5. Koncept Interneta Stvari – IoT;

Kao i za CPS, ne postoji jedinstvena definicija, već se IoT opisuje na različit načine. Cohin i Sondi, u radu [146], opisuju IoT kao mrežu fizičkih objekata koji sadrže ugrađenu tehnologiju kako bi osjetili i komunicirali, te kako bi stupili u interakciju sa svojim unutarnjim stanjima ili vanjskim okruženjem. IoT je na ušću učinkovitih bežičnih protokola, poboljšanih senzora i jeftinijih procesora. Brojne "start-up" tvrtke su osnovane radi razvoja potrebnog softvera za upravljanje i praktičnu primjenu, čime se koncept IoT stavlja u fokus interesa i kao takav postaje ne zamjenjiv.

Wang, u radu [147], istražuje glavne komponente i definicije koncepta industrije 4.0, njegov značaj na transformacije poslovnih procesa, te mogućnosti implementacije ovog koncepta u industriji. Posebno istražuje i daje okvir transformacije za inteligentno prediktivno održavanje sustava putem IoT-a. Povezivanje uređaja putem interneta daje nam nove mogućnosti za međusobnu interakciju različitih sustava radi njihove kontrole, praćenja i pružanje naprednih usluga. Internet stvari omogućuje integraciju ogromne količine uređaja koji imaju ugrađene adekvatne senzore i koji više ili manje samostalno komuniciraju jedni s drugima i s raznim aplikacijama.

Botta i drugi, u radu [148], istražuju moguću integraciju računarstva u oblaku i interneta stvari. Analiziraju komplementarnost ova dva sustava s pojedinostima koje trenutno doprinose njihovoj integraciji.

Mourtzis i drugi u radu [149] razmatraju primjenu Interneta stvari (IoT) u proizvodnji u procesu pretvorbe tradicionalnih proizvodnih sustava u moderne, digitalizirane sustave, koji generiraju značajne ekonomske mogućnosti kroz preoblikovanje organizacija. Industrijski internet stvari IoT osposobljava suvremene tvrtke da usvoje nove strategije temeljene na podacima i da se lakše nose s globalnim konkurentskim pritiskom. Međutim, usvajanje interneta stvari, osim evidentnih novih mogućnosti, značajno povećava i ukupni obujam generiranih podataka, s obzirom na senzorne sustave i mobilne uređaje, a takva situacija zahtijeva od organizacija dodatne napore za prilagodbu.

Učestalom primjenom paradigme IoT-a pojavili su se i novi akronimi kojima se želi podrobnije opisati o kakvoj vrsti IoT-a se radi, pa tako razlikujemo:

- **Internet Usluga – IoS**

S pojavom interneta vrlo brzo se razvilo tržište internetskih usluga. Tehnologija internetskih usluga pokriva širok raspon tehnologija koje se koriste za razvoj i održavanje weba, web

proizvodnju, upravljanje bazama podataka, grafički dizajn, umrežavanje i e-trgovinu. Akronim za internet usluga je IoS *(engl. Internet of Service)*

- **Internet Podataka – IoD**

S pojavom četvrte industrijske revolucije, proizvodni sustavi pretvaraju se u digitalne ekosustave. U ovoj transformaciji, internet stvari IoT generira velike količine podataka. U takvom okruženju industrijska poduzeća ušla su u novo doba, doba velikih skupova podataka *(engl. Big Data)*, gdje obujam, brzina i raznovrsnost podataka eksponencijalno rastu. Akronim za okruženje u kojem se putem interneta razmjenjuje i pohranjuje velike količine podataka je Internet podataka IoD *(engl. Internet of Data)*.

- **Internet Ljudi – IoP**

Akronim za okruženje u kojem putem interneta komuniciraju ljudi je internet ljudi IoP *(engl. Internet of People)*. Ovaj termin nije zaživio zbog pojave internetske usluge za povezivanje korisnika poznatije pod nazivom društvene mreže. Društvene se mreže najčešće javljaju u obliku platforme, prozora ili web-stranice. Danas postoje stotine ovakvih servisa, a među najpoznatijima su Facebook i Twitter.

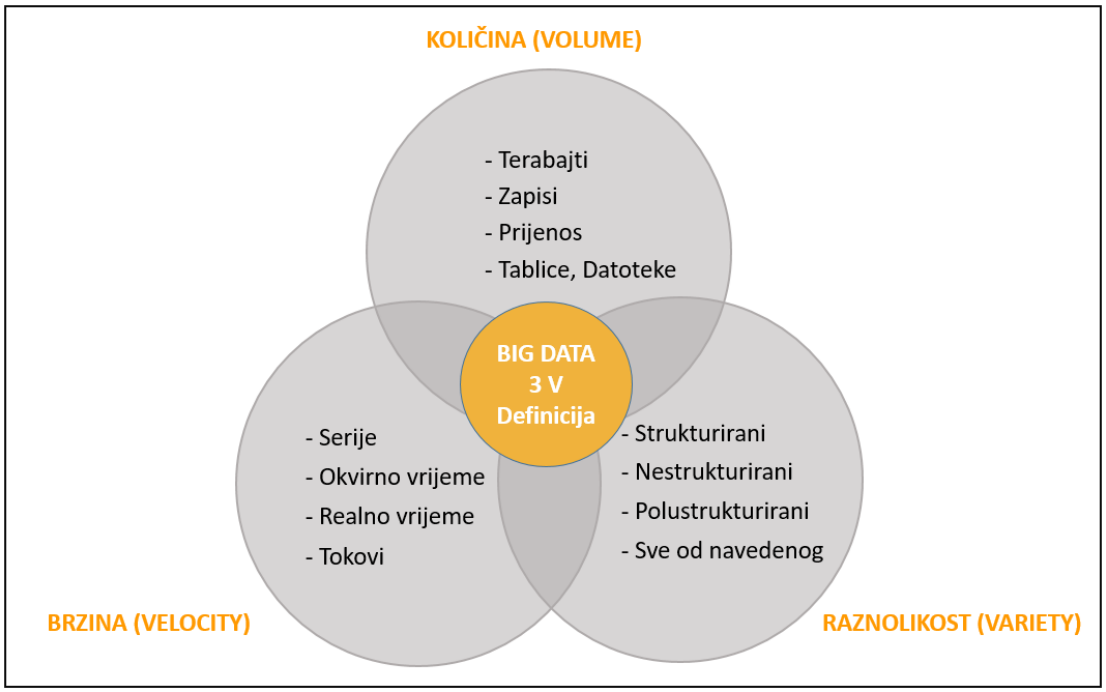
- **Internet Svega – IoE**

Razlika između interneta svega IoE *(engl. Intent of Everything)* i interneta stvari IoT je u inteligentnoj vezi. Internet stvari odnosi se uglavnom na povezanost fizičkih objekata koji komuniciraju jedni s drugima. Internet svega je ono što donosi inteligenciju u mreže i sve to povezuje u jedinstveni kohezivni sustav. Internet svega u najširem smislu povezuje sve ranije spomenute koncepte (IoT, IoS, IoP, IoD) u jednu kohezivnu cjelinu.

4.4. Ekstenzivno korištenje podataka - BIG DATA

Pojam velikih baza podataka (engl. BIG DATA) opisuje način upravljanja i korištenja velikih količina podataka, kako nestrukturiranih tako i strukturiranih, a koje organizacije svojim radom svakodnevno prikupljaju. Ovi veliki skupovi podataka mogu se filtrirati i pretvoriti u pametne podatke, prije nego li se koriste u procesima upravljanja, što dovodi do učinkovitijeg donošenja odluka. Pametni podaci mogu se opisati kao podaci koji su iz BIG DATA očišćeni, filtrirani i pripremljeni za kontekst. Od druge polovice 20. stoljeća razvoj elektronike eksponencijalno napreduje, tako da je sadašnji nivo tehnologije dosegnuo razinu razvoja kod koje brzina obrade i kapacitet pohrane podataka više ne predstavljaju realno ograničenje. U praćenju izvođenja

poslovnih procesa i poslovanja općenito nameće se pitanje možemo li uopće naći nešto korisno u svoj toj šumi podataka. Odgovore na to pitanje daje nam koncept i tehnologija BIG DATA koju je najbolje opisati definicijom koju često susrećemo kao 3V definiciju [150], a koja je slikovito prikazana na slici 4.6.



Slika 4.6: BIG DATA - 3V definicija [150];

- Količina *(engl. Volume)* – velika količina podataka koji se prikupljaju, obrađuju i stavljaju na raspolaganje za analizu;
- Brzina *(engl. Velocity)* – kontinuirano prikupljanje velike količine podataka u realnom vremenu;
- Raznolikost *(engl. Variety)* – podaci su dostupni u različitim oblicima i izvorima, a zapravo su najčešće nestrukturirani.

U jednoj rečenici, Velike skupove podatke opisujemo kao tehnologiju koja omogućava prikupljanje i obradu velikih količina strukturiranih i nestrukturiranih podataka u realnom vremenu.

Lee i drugi, u svojim radovima [151] i [152], istražuju transformacije proizvodnog sektora pod pritiskom novih tehnologija i potreba za većom konkurentnošću. Globalizacija svjetskih gospodarstava glavni je izazov za lokalnu industriju koji potiče proizvodni sektor na daljnju transformacija prema prediktivnoj proizvodnji. U želji da postanu konkurentniji, proizvođači

moraju prihvatiti nove tehnologije, kao što su napredna analitika i pristupi zasnovani na Kibernetičko-fizikalnim sustavima, radi poboljšanja njihove učinkovitosti i produktivnosti. Intenzivnim približavanjem prema "Internetu stvari" IoT, podaci postaju pristupačniji i sveprisutniji, pridonoseći okruženju velikih skupova podataka. Ovaj fenomen zahtijeva pravi pristup i alate za pretvaranje podataka u korisne i djelotvorne informacije.

Géczy, u radu [153], analizira pojavnost Velikih skupova podataka i njihove karakteristike. Eksponencijalno širenje generiranih digitalnih podataka nije razmjerno napretku tehnologija za obradu i pohranu podataka. To dovodi do situacije kada su dostupni podaci količinski pretjerano veliki, a organizacije nisu u stanju adekvatno obraditi tu količinu podataka i adekvatno upravljati njima. Nemogućnost suočavanja s aspektima rasta podataka dovela je do novih izazova. Pristup problemu velikih skupova podataka u korelaciji je s količinom generiranih podataka i mogućnostima obrade i upravljanja svim tim podacima. Problem velikih skupova podataka iskazuje se kao jaz između potrebnih i dostupnih sposobnosti organizacija da na zadovoljavajući način, prihvate, obrade i upravljaju prikupljenim podacima.

Autori u radu „Big Data for internet of things" [154], naglašavaju da su se u posljednjih nekoliko godina istraživanja, na temu Velikih skupova podataka, poprilično razvila. Ono što je donedavno bila isključivo akademska tema, polako se pretvara u opipljive, konkretne projekte. Mogućnost primjene zahvatila je mnoga područja kao što su primjerice, nadzor procesa proizvodnje ekstenzivnim korištenjem podatka koje generiraju senzori, ili znanstvena istraživanja obradom golemih skupova podataka u fizici, genetici ili astronomiji ili čak i u politici gdje se analizom podataka o ponašanju i javno dostupnim mišljenjima birača kreiraju efikasne izborne kampanje. Veliki su skupovi podataka pomogli otkriti Higgsov bozon i niz drugih najnovijih znanstvenih otkrića. Uz brzi razvoj Interneta stvari IoT, tehnologija BIG DATA se pojavila kao ključni alat za analizu podataka i kako bi znanje unutar IoT infrastrukture bolje odgovaralo svrsi IoT sustava i kako bi podržalo kritičko donošenje odluka. Mnogi tvrde da smo na rubu revolucije koja će potpuno transformirati naše živote u bližoj budućnosti, te da su Veliki skupovi podataka jedna od ključnih komponenti u tom procesu.

Dan Koo i drugi, u radu [39], obrađuju područje velikih skupova podataka u sektoru vodoopskrbe. Na primjer, senzori postavljeni na infrastrukturne komponente mogu dobiti određene podatke kao što su naprezanje, temperatura, tlak, protok i korozija. Prikupljeni podaci integrirani su kroz proces koji se naziva "fuzija podataka" kako bi se postigla rafinirana pozicija, te identificirale kompletne i pravovremene procjene stanja, prijetnji i njihovog

značaja. Nadalje, autori navode da je Internet stvari (IoT) nova paradigma u eri računarstva u kojoj su mnogi objekti međusobno povezani i međusobno komuniciraju s ili bez ljudske interakcije. Temeljna razlika IoT-a, u usporedbi s postojećim tehnologijama kao što je AMR *(engl. Automated Meter Reading)* ili sustav praćenja stanja, je ta da IoT proširuje korištenje podataka izvan sustava naplate komunalnih usluga. IoT objedinjuje podatke i traži uzajamnu korist za više dionika, uključujući vlasnika vodnih komunalnih usluga i klijente koji jednostavno pristupaju sustavu putem korisničkog portala.

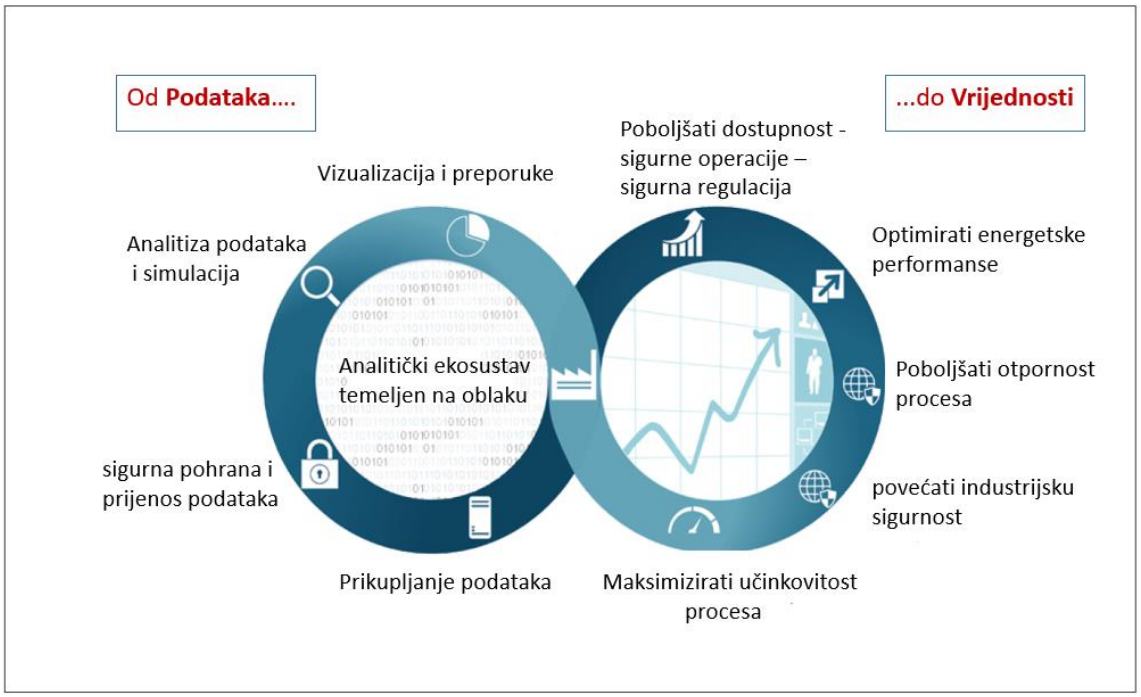
4.5. Prediktivna analitika

Prediktivna analitika obuhvaća razne statističke tehnike od prediktivnog modeliranja, strojnog učenja do upravljanja podacima kojima se analiziraju činjenice iz prošlosti i sadašnjosti kako bi se napravila predviđanje budućih odnosno za sada nepoznatih događaja. Zbog velike količine podataka koje tvrtke danas posjeduju mogućnosti primjene prediktivne analitike u današnje vrijeme doista su opsežne bilo u kontekstu industrija koje ju mogu koristiti, bilo u kontekstu raznih ključnih pitanja vezanih uz poslovanje svake pojedine tvrtke. Prediktivna analitika nadogradnja je poslovne analitike. Primjenom spomenutih statističkih i matematičkih metoda na strukturirane i nestrukturirane podatke, dobivamo uvid u odnose među podacima, te možemo procijeniti vjerojatnost da se u budućnosti određeni događaj dogodi ili ne dogodi. Prediktivna analitika može dati odgovore na neka od ključnih pitanja vezana uz poslovanje. Pomaže nam u optimizaciji poslovnih procesa, zaliha materijala, sirovina i rezervnih dijelova, optimizaciji investicija i što je u slučaju vodoopskrbe najvažnije, predviđanje potencijalnog kvara (puknuća) vodoopskrbne mreže. Prediktivna analitika također može pomoći upravljati vodoopskrbnim sustavom, pratiti kvalitetu vode i predviđati potencijalna zagađenja.

Prediktivna analitika je danas jedan od najmodernijih koncepata o kojem govore, mediji, tvrtke, te vlade u nastojanju da iz velike količine dostupnih podataka izvuku korisnu informaciju. Moderne tehnologije otvaraju ogromnu i rastuću dostupnost promatranja različitih procesa. Tako se proces stvaranja vrijednih informacija iz baza velikih skupova podataka pojavljuje kao nova znanstvena disciplina koja zahtijeva prikupljanje, pohranu, pred obradu, vizualizaciju i statističku analizu ogromnih serija podataka.

U svom radu [155],Torrecilla i Romo raspravljaju o ulozi statistike u vezi s nekim od pitanja koja se postavljaju ovoj novoj BIG DATA paradigmi, te predlažu analizu i korištenje podataka s ciljem da se opišu sve aktivnosti koje omogućuju dobivanje relevantnog znanja iz ovog izvora informacija. Na slici 4.7 prikazan je proces transformacije informacije od pukog podatka do

stvarne vrijednosti informacije na način kako to vidi globalno poznata multinacionalna kompanija.



Slika 4.7: Transformacija - od podataka do vrijednosti [izvor: SIEMENS];

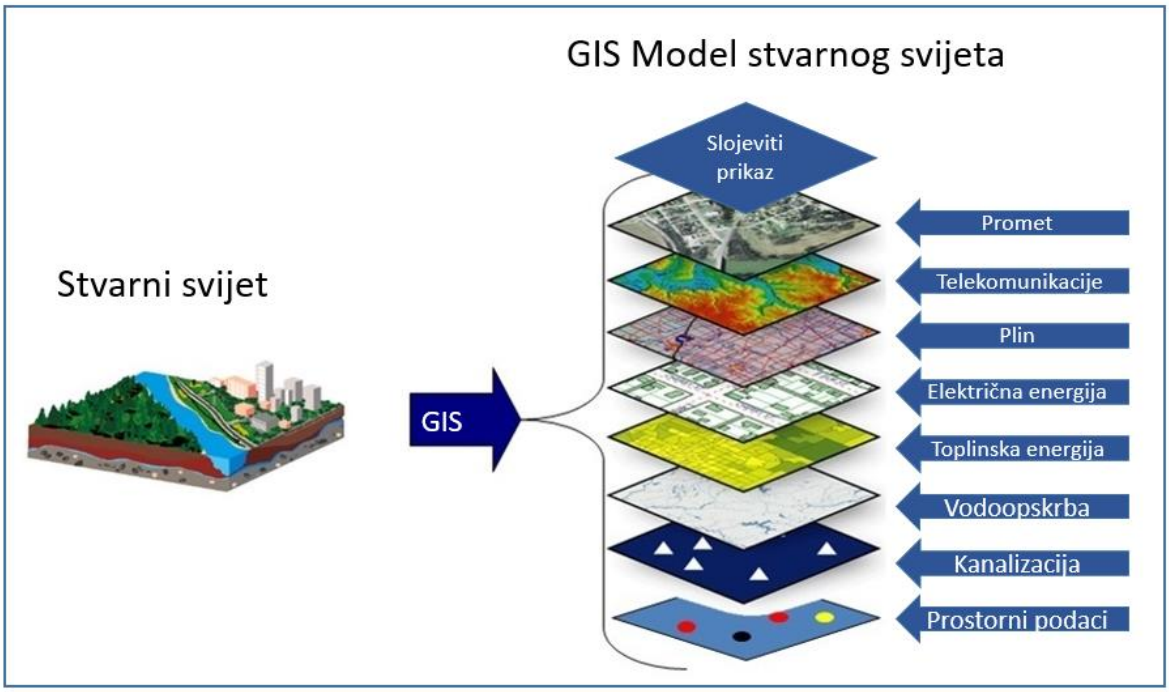
Lee i drugi, u radu [142], navode da je globalizacija svjetskih gospodarstava glavni izazov za industriju i potiče proizvodni sektor na daljnju transformacija prema prediktivnoj proizvodnji. Navode, da proizvođači moraju prihvatiti nove tehnologije, kao što su napredna analitika i pristupi zasnovani na CPS sustavu, ako žele poboljšati svoju učinkovitost i produktivnost, a u konačnici i konkurentnost. S agresivnim usmjeravanjem prema internetu stvari IoT, podaci su postali pristupačniji i sveprisutniji, pridonoseći okruženju velikih skupova podataka. Ovaj fenomen zahtijeva pravi pristup i alate za pretvaranje podataka u korisne, djelotvorne informacije.

Na tržištu se već pojavljuju aplikacije za prediktivnu analitiku kao što je primjerice IBM-ov softver SPSS Modeler.

4.6. Geo informacijski sustav - GIS

Nije potrebno mnogo riječi da se naglasi važnost Geo informacijskog sustava GIS *(engl. Geo Information System)* u svakom sustavu koji koristi prostorne podatke. Geo-informacijski sustav je informatički i računalni sustav za prikupljanje, pohranu, pretraživanje, analiziranje i prikazivanje podataka koji se odnose na određeno geografsko područje [156]. Najčešće služi u

djelatnostima koje se bave istraživanjem prostora ili njegovim upravljanjem. S obzirom na to da je svaki sustav javne vodoopskrbe vezan za točno određeno geografsko područje, GIS je idealan alat za opis vodoopskrbnog sustava. Osnovu GIS-a tvori baza podataka u kojoj se u slojevima pohranjuju raznorodni podaci povezani zajedničkim mjerilom i koordinatnim sustavom, kao što su na primjer podaci o topološkim značajkama reljefa, izgrađenim objektima, elementima stanovništva, raširenosti biljnoga pokrova, geološkim karakteristikama tla i slično. Na slici 4.8. prikazan je koncept Geo-informacijskog sustava.



Slika 4.8: Koncept Geo-informacijskog sustava [157];

Shekar i drugi, u radu [157], opisuju GIS kao širok pojam koji se može odnositi na brojne različite tehnologije, procese i metode. Priključen je mnogim operacijama i ima brojne aplikacije koje se odnose na inženjering, planiranje, upravljanje, transport / logistiku, osiguranje, telekomunikacije i poslovanje. Iz tog razloga, GIS i aplikacije za obavještavanje o lokaciji mogu biti temelj za mnoge usluge s omogućenom lokacijom koje se oslanjaju na analizu i vizualizaciju. Nikada u povijesti čovječanstva nismo imali takvu potrebu za geoprostornom perspektivom kao što to imamo danas. Ta globalna pitanja zahtijevaju sveobuhvatno, složeno znanje temeljeno na lokaciji koje može doći samo iz GIS-a. U GIS se unose svi potrebni podaci i atributi kojima se jednoznačno definiraju i opisuju građevine, komunalna infrastruktura, TK infrastruktura, zelenilo, prirodne karakteristike i ostali elementi koje želimo prikazati u prostornim podacima. Ovisno o naravi podataka, način njihova zapisivanja može biti rasterski

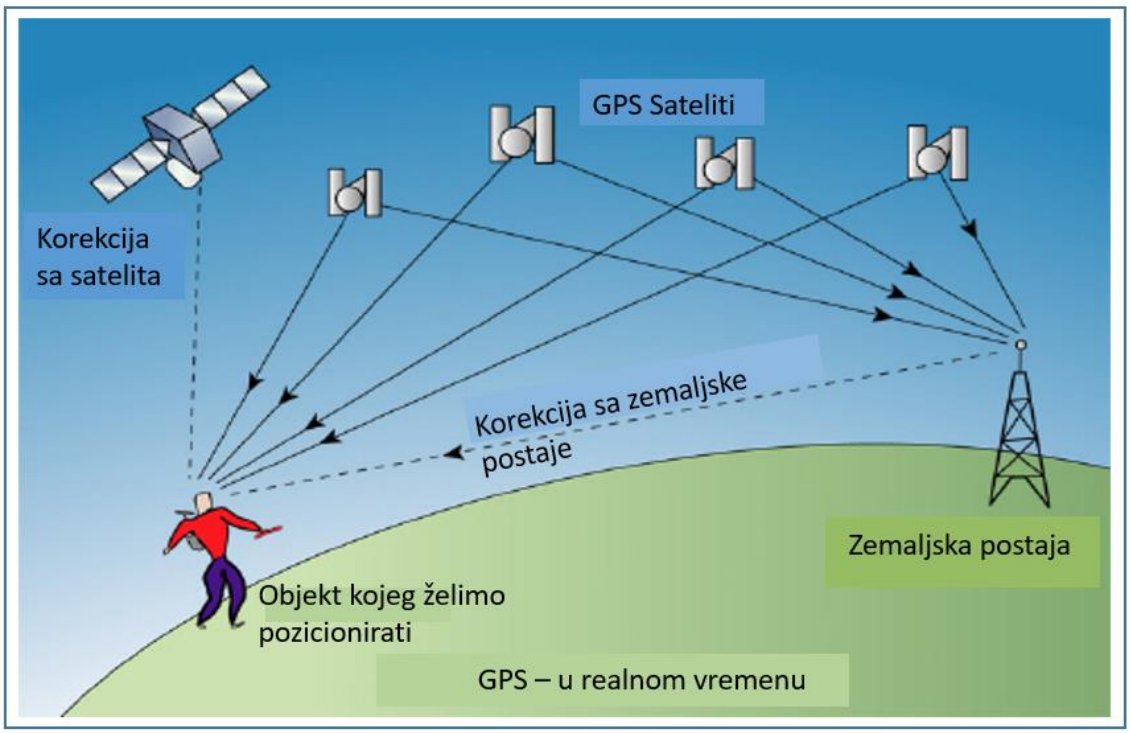
ili vektorski, uz mogućnost pripisivanja pojedinih obilježja i u alfanumeričkom obliku. Rasterski je zapis pogodan za podatke prikupljene npr. fotografskim, termografskim ili radarskim snimanjem zemljine površine iz zrakoplova ili satelita, dok je za obradbu podataka dobivenih npr. geodetskom izmjerom prikladniji vektorski zapis. Glavne su prednosti Geo-informacijskog sustava široke mogućnosti analize podataka usporedbom različitih slojeva u bazi podataka, te njihove statističke obrade i prikazivanja (vizualizacije), a u novije doba i mogućnosti integracije prostorne i vremenske dimenzije te pristupa podacima upotrebom globalne računalne mreže. Zbog svojih prednosti i karakteristika GIS je neizostavna komponenta u izgradnji prostorno orijentiranih CPS sustava

Reger, u svome radu [158], opisuje kako velike vodoopskrbne organizacije u pravilu koriste GIS u svojim svakodnevnim aktivnostima, dok većina manjih vodoopskrbnih organizacija to ne čini. Mnoge od tih organizacija vjeruju da je GIS troškovno zahtjevan i ne razumiju što bi mogli postići dobro osmišljenim GIS-om. Ovi se sustavi oslanjaju na izvornu dokumentaciju koja u pravilu s vremenom nije ažurirana, a neki sustavi uopće nemaju dokumentirane karte svoje infrastrukture. Autor ukazuje na svoje iskustvo u radu s preko 400 malih ruralnih vodoopskrbnih organizacija. Svega nekoliko je koristilo GIS, a ostali su se oslanjali na inženjerske tvrtke koje su za njihov račun i to po visokoj cijeni dokumentirale stvarno stanje vodoopskrbne mreže i ažurirale svakodnevne promjene. Autor ukazuje na prednosti GIS-a i njegov značaj, kao alata koji je od neprocjenjive važnosti, jednako i za velike i za male vodoopskrbne organizacije.

4.7. Globalni položajni sustav - GPS

Globalni položajni sustav GPS vrlo je važan i nezaobilazan sustav široke namjene. GPS je prvenstveno razvijen za vojne i navigacijske svrhe ali je s vremenom njegova primjena proširena na sve segmente svakodnevnog života. Danas je gotovo svako vozilo ili mobilni uređaj opremljen GPS sustavom. GPS je satelitski radionavigacijski sustav za određivanje položaja na Zemlji ili u njezinoj blizini. Sustav omogućuje korisniku određivanje sve tri koordinate njegova trenutačnog položaja u jedinstvenom svjetskom (globalnom) koordinatnom sustavu. Globalni položajni sustav čine skupina umjetnih satelita u orbitama oko Zemlje koji stalno (kontinuirano) odašilju kodirane radiosignale s podacima o svojem trenutačnom položaju i vremenu odašiljanja (satelitski segment sustava), zemaljske postaje koje preciznim mjerenjima utvrđuju položaj satelita i prate njihov rad (kontrolni segment sustava), te prijamnici

korisnika koji, najčešće u kompaktnom kućištu, sadržavaju antenu, radioprijamnik i računalo (korisnički segment) [159]. Koncept GPS sustava prikazan je na slici 4.9.



Slika 4.9: Koncept globalnog položajnog sustava GPS [159];

GPS je omogućio revoluciju u navigaciji i geodetskoj izmjeri. Sve se češće povezuje s drugim sustavima kao što su primjerice telekomunikacije, Geo-informacijski sustav, globalna računalna mreža i slično. Primjena GPS-a u cestovnim vozilima, navigaciji plovila, orijentaciji pojedinca u prostoru (na primjer planinara i izletnika) postao je dio svakodnevice. Uz prikladnu elektroničku kartu tako je moguće i automatsko vođenje plovila, letjelica i vozila optimalnim putem do željenoga cilja. Uporaba GPS sustava postala je nezaobilazan dio geodetske prakse, a dugotrajnim mjerenjima, te posebnim metodama obrade rezultata, njime je moguće opažati s milimetarskom točnošću čak i relativne pomake Zemljinih tektonskih ploča. Razvoj i minijaturizacija GPS prijamnika omogućila je da se njima opremaju i današnji mobiteli, što je područje primjene GPS-a dodatno proširilo na svakodnevni život velikoga dijela svjetske populacije. Zbog svoje praktičnosti GPS je nezaobilazan i u vodoopskrbi. Djelatnici svakodnevno koriste GPS radi lociranja elemenata vodoopskrbnog sustava čije su prostorne koordinate upisane u atributima Geo-informacijskog sustava. GPS je nužan i koristi se u sustavu upravljanja voznim parkom *(engl. Fleet Management)* opisanom u poglavlju 5.2.7.

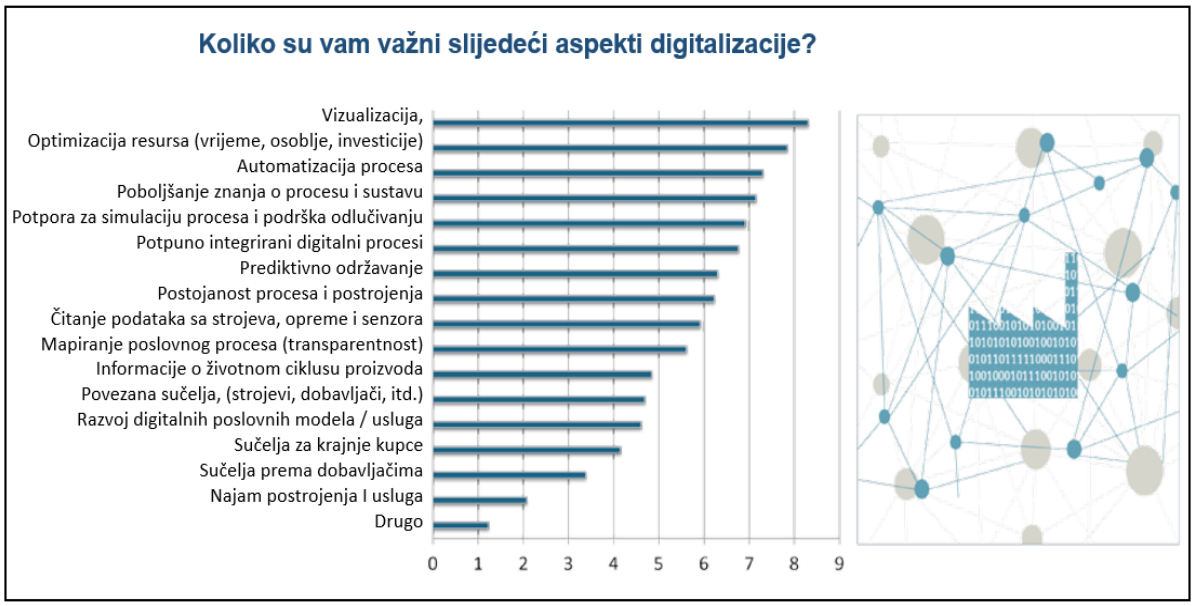
4.8. Digitalizacija poslovanja u djelatnosti javne vodoopskrbe

Potaknuti industrijskim strategijama visokih tehnologija temeljenih na konceptu industrije 4.0, većina proizvođača svoje proizvode kontinuirano unaprjeđuje i brzo prilagođava tehnološkim dostignućima u digitalizaciji poslovanja. Današnji su proizvodi napredni i prilagođeni za integraciju u jedinstvene interaktivne kibernetičko - fizikalne sustave.

Pod utjecajem takve evolucije mnoge organizacije, pa tako i vodoopskrbne, istodobno se suočavaju s novim mogućnostima i izazovima promjena. U radu [160] autor se bavi trendovima transformacija vodoopskrbnih organizacija radi rješavanja neminovnih izazova uzrokovanih digitalizacijom poslovanja u okviru koncepta industrije 4.0. Prvi je izazov za vodoopskrbne organizacije pretvorba vodoopskrbnog sustava u jedinstveni CPS sustav. Drugi je izazov prilagodba organizacije za rad u okruženju Velikih skupova podataka. Treći je izazov spremnost organizacije na primjenu pametnih i prediktivnih informatičkih alata. Autor zaključuje da vodoopskrbne organizacije suočene s pritiskom održivosti poslovanja s jedne strane, te novih znanja, tehnologija i mogućnosti s druge strane, moraju promijeniti ustaljene obrasce djelovanja na višu evolucijsku razinu.

U posljednjih nekoliko godina, digitalna transformacija promijenila je praktički sve [161], a digitalna tehnologija integrirana je u sva područja života, od znanosti do zdravlja, medija, politike i poslovanja. Digitalna transformacija potpuno je promijenila dotada ustaljene načine poslovanja i riješila je veliki dio traženja svojih klijenata ili kupaca. Na slici 4.10 prikazani su aspekti digitalizacije i njihov značaj na organizacije prema istraživanju Njemačkog udruženja voda GWP[21].

[21] GWP - Njemačko udruženje za vode *(engl. German Water Partnership)*



Slika 4.10: Aspekti digitalizacije [161];

Digitalizacijom poslovanja vodoopskrbne se organizacije transformiraju iz pasivnih u aktivne organizacije koje prate poslovanje u realnom vremenu i sposobne su uočiti promijene (pozitivne i negativne) i donijeti pravovremenu poslovnu oluku radi unaprjeđenja poslovanja. Navode da je bitno obratiti pozornost na dva temeljna pravca digitalizacije:

1. Uvođenje sustava poslovnog izvještavanja u realnom vremenu;

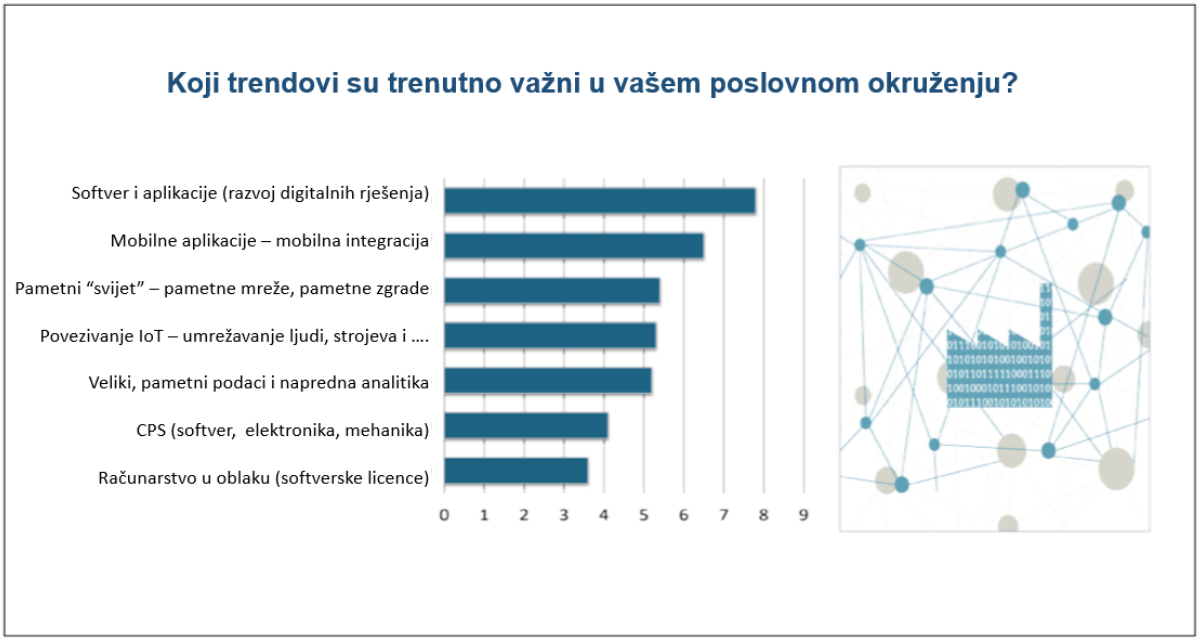
Periodični izvještaji vrlo su korisna stvar ali samo na prvi pogled. Njihova relevantnost opada svakim danom od lansiranja izvješća ili od datuma prikupljanja podataka temeljem kojih su izvještaji izrađeni. Daleko bolji pristup je poslovno izvještavanje BI *(engl. Business Intelligence).* Izvještavanje u realnom vremenu koja nam u svakom trenutku omogućuje pregled ključnih pokazatelja uspješnosti (KPI), a time i brzu prilagodbu aktivnosti.

2. Uvođenje upravljanja odnosima s potrošačima CRM;

Pomoću CRM-a *(engl. Customer Relationship Management)* možemo upravljati interakcijama između poslovanja, postojećih i potencijalnih kupaca. Ovo je sjajna točka za početak procesa digitalizacije koju nam omogućuje automatiziranje komunikacije s kupcima u procesima ugovaranja, prodaje i naplate. Uvođenje sustava daljinskog očitavanja vodomjera AMR-a *(engl. Automatic Metering and Reading)* logičan je korak ovog procesa.

Njemačko udruženje za vode GWP dalo je značajan doprinos digitalizaciji vodnog sektora uspostavom radne skupine „WATER 4.0“ i izdavanjem brošure [161] kojom su željeli pružiti okvir za definiranje koncepta VODA 4.0 i dokumentirati važnost digitalizacije za različite

skupine korisnika. Zaključuju da ne postoji samo jedno rješenje digitalizacije procesa. Ovisno o potrebama korisnika, mogu se implementirani različiti oblici digitalizacije vodoopskrbnih procesa. To se također vidi u velikom broju primjera gdje članovi GWP-a tumače digitalizaciju na različitim razinama vrijednosnog lanca i u složenim integralnim sustavima. Autori koji se bave procesom digitalizacije jedinstveni su u stavu da se proces digitalizacije poslovnog procesa mora provesti pažljivo na temelju dobro pripremljene strategije. Pri tome treba uzeti u obzir važnost i značaj procesa koji želimo digitalizirati, te aspekt s kojeg promatramo digitalizaciju. Prema istraživanju Njemačkog udruženja za vode GWP, vodoopskrbne organizacije koje rade na uspostavi pametne vodoopskrbne mreže u pravilu slijede trendove digitalizacije procese koji su prikazani na slici 4.11.



Slika 4.11: Trendovi digitalizacije [161];

Radna skupina VODA 4.0 postavlja digitalizaciju i automatizaciju u središte strategije za učinkovito upravljanje resursima, fleksibilno i konkurentno upravljanje vodama. Na taj je način koncept VODA 4.0 preuzeo iste glavne značajke i uvjete koncepta INDUSTRIJE 4.0. U provedbi koncepta VODE 4.0, CPS sustavi su temeljni pokretači optimalnog umrežavanja kibernetičkih i fizičkih komponenti vodnih sustava, pri čemu se planiranje, izgradnja i rad uglavnom obavljaju aplikacijama. To omogućuje inteligentno umrežavanje raznih korisnika vodnih dobara (poljoprivreda, industrija i kućanstva) sa SMART komponentama u održivoj vodnoj infrastrukturi. Nadalje, koncept VODA 4.0 omogućuje visok stupanj transparentnosti za korisnike vode, čime se pokrivaju zahtjevi za održiva i kreativna područja upravljanja

vodama. GWP navodi da Koncept Voda 4.0 nije konkretna tehnologija i ne postoji stroga definicija u smislu prirodnih znanosti. Umjesto toga, koncept Voda 4.0 je interakcija inovativnih, sadašnjih i budućih umreženih tehnologija s vodom kao okosnicom u kojoj je voda prirodni resurs, proizvod ili industrijski resurs. Temeljni je cilj ovog koncepta održivo upravljanje i korištenje, te smanjenje rizika, a uzimajući u obzir interese svih izravnih i neizravnih korisnika i interesnih skupina. Umrežavanje mjernih i upravljačkih sustava s analizom i modeliranjem podataka pretvara podatke u informaciju koja priprema, podržava ili donosi odluke i provodi mjere, te prati njihove intervencije u vodnom sustavu (povratne informacije). Isto tako informacije, prikupljene tijekom vremena, mogu dovesti do novih saznanja o tome kako se voda može bolje iskoristiti u različitim područjima primjene. Koncept Voda 4.0 je dinamičan holistički pristup koji slijedi tehnički razvoj i koristi nove mogućnosti, što opet omogućuje cjelovito razmatranje i donošenje održivih odluka.

Njemačko udruženje za vode GWP je u brošuri prezentiralo i nekoliko uspješnih primjera prve generacije CPS vodnih sustava koji već postoje u sektorima odvodnje, obrane od poplava ali i jedan primjer SMART mjerenja potrošnje vode u gradu Darmstadt-u.

Sirkia i drugi, u radu [162], analiziraju trenutnu ulogu podatkovne imovine i informacijskih sustava u vodoopskrbnim i kanalizacijskim poduzećima u kontekstu malih i srednjih komunalnih poduzeća. Poseban naglasak stavljen je na velike skupove podataka, otvorene podatke, te postojeće informacijske sustave za njihovo upravljanje. Na temelju ankete i dostupne literature zaključuju, da bi vodoopskrbne tvrtke mogle imati koristi od razvoja svoje podatkovne imovine, te da će sve veće količine podataka zahtijevati od komunalnih službi izgradnju vlastite kompetencije vezane za upravljanje, tehnologiju i sigurnost.

Teixeira de Azevedo i drugi, u radu [163], ukazuju na postojanje digitalne transformacije poznate kao četvrta industrijska revolucija, koja snažno podupire nove tehnologija kao što su Internet stvari (IoT), Veliki skupovi podataka, CPS sustavi i računarstvo u oblaku. Predlažu da se platforma za digitalnu transformaciju primjeni i na sustave javne vodoopskrbe s ciljem postizanja učinkovitog upravljanja resursima povezanim s racionalnim korištenjem vode.

March i drugi prenose svoja iskustva [164] u vezi SMART daljinskih mjerenja potrošnje vode u kućanstvima grada Alicante-a u Španjolskoj.

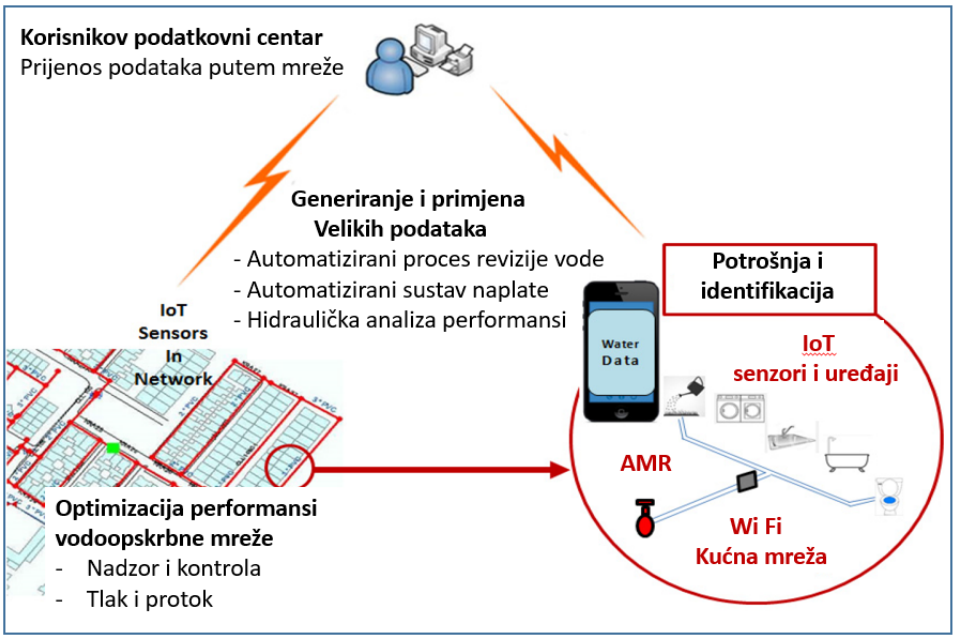
Chopra i Gogia, u radu [165], opisuju projekt prodaje i naplate pitke vode putem „vodomata“. Iako se ne radi o sustavu javne vodoopskrbe interesantan je pristup koji koristi digitalne tehnologije u prodaji pitke vode.

Cepa i drugi, u radu [166], procjenjuju kako digitalizacija može utjecati na ulogu i poslovanje komunalnih poduzeća. Raspravljaju o načinima na koje se komunalna industrija može digitalizirati, s posebnim naglaskom na učinke digitalizacije na vodoopskrbne i kanalizacijske mreže. Analiziraju učinke digitalizacije na poslovne modele komunalnih poduzeća i odnose s dionicima. Naglašavaju, da se digitalizacijom smanjuju troškovi poslovanja zahvaljujući optimizaciji različitih praksi upravljanja imovinom i naprednoj kontroli vodoopskrbne mreže, a to je najjača motivacija za usvajanje novih digitalnih tehnologija. Ukazuju na mogućnost novih izvora prihoda, koji bi mogli proizaći iz novih usluga koje pružaju komunalne tvrtke. Zaključuju, da se vodoopskrbna i druga komunalna poduzeća nakon desetljeća djelovanja bez značajnijih unaprjeđenja nalaze pod pritiskom novih znanja i tehnologija koja snažno utječu na njihov razvoj, te će oni zbog svog prirodnog monopola imati dovoljno snage za provedbu potpune digitalizacije.

Mutchek i Wiliams, u svom radu [167], ukazuju na problem urbanih vodoopskrbnih sustava koji se suočavaju s izazovima održivosti i otpornosti, uključujući gubitke vode, prekomjerno korištenje vodnih resursa, pitanja kvalitete vode, te mogućih odgovora na suše i prirodne katastrofe. Informacijska i komunikacijska tehnologija ICT *(engl. Information and Communications Technology)* bi mogla pomoći u rješavanju tih izazova kroz razvoj pametnih vodoopskrbnih mreža koje umrežavaju i automatiziraju nadzorne i upravljačke uređaje. Iako je napredak postignut na elementima vodoopskrbnog sustava (pametni mjerači protoka i tlaka, pametni vodomjeri), pametna vodoopskrbna mreža dobila je vrlo malo pozornosti. Autori ukazuju na potrebu podizanja svijesti o ideji pametnih vodoopskrbnih mreža na razini sustava kroz pregled tehnoloških elemenata i njihovu integraciju u pametne vodoopskrbne sustave. Naglašavaju prednosti održivosti i otpornosti takvih sustava, te istražuju izazove kod uvođenja pametnih vodoopskrbnih mreža. Gubici vode i generalna neučinkovitost ističu se kao važni faktori motivacije za primjenu pametnih vodoopskrbnih mreža. Potencijalne prepreke za usvajanje uključuju nedostatak sredstava za istraživanje i razvoj, ekonomske destimulacije, kao i institucionalne i političke strukture koje favoriziraju postojeći sustav. Sigurni su, da će pozitivni primjeri pametnih vodoopskrbnih mreža dodatno razjasniti njihove prednosti i tako odgovoriti na izazove za njihov daljnji razvoj.

Dan Koo i drugi, u radu [39], navode da je očitavanje mjerila ključni poslovni proces za kontinuitet poslovnih prihoda vodoopskrbnih organizacija. Ručno očitavanje brojila je radno intenzivan i vrlo skup proces, pa je u prošlosti bilo, uglavnom neuspješnih, pokušaja uvođenja

automatizacije očitavanja brojila. Automatsko očitavanje mjerača AMR *(engl. Automatic Metering and Reading)* je tehnologija automatskog prikupljanja podataka o potrošnji, dijagnostici i statusu vodomjera ili uređaja za mjerenje energije, te prijenos tih podataka u središnju bazu podataka radi naplate, rješavanja problema i analize. AMR je dobar primjer nedavnog razvoja tehnologije i uspješne primjene novih znanja i tehnologija u sektoru vodnih usluga. Do 2013. godine AMR sustav je instaliran u više od 40 posto ukupnih kućanstava u SAD-u. Najvažnije je da AMR sustav eliminira vrlo skupe i nepouzdane operatere koji vrše ručna očitanja. Vodoopskrbne organizacije mogu upravljati postupkom naplate učinkovitije i točnije od naplate temeljene na procijeni potrošnje, a istovremeno uz značajnije smanjenje ukupnih troškova poslovanja. Ostale prednosti uključuju poboljšanje točnosti i standardizaciju inventara brojila. Poboljšanje točnosti očitanja brojila daje bolji uvid u potencijalne gubitke vode i omogućuje bolju dijagnostiku vodovodnih cjevovoda radi popravka ili zamijene. U početku razvoja AMR sustava prikupljanje i prijenos podataka ostvareno je isključivo putem žičanih veza što se pokazalo nepraktičnim zbog velikog broja vodomjera i njihove rasprostranjenosti. S vremenom, AMR tehnologija je slijedila korake IT razvoja u mrežnim tehnologijama. Postupno su razvijeni sustavi za očitanje mjerila u hodu ili vožnji *(engl. walk-by or drive-by device)*. Sustav za očitanje mjerila u hodu ili vožnji samo su prijelazna tehnologija do konačnog rješenja. Najnoviji razvoj AMR-a usmjeren je prema upotrebi napredne bežične tehnologije za komunikaciju putem elektroničkih mreža kako je i prikazano na slici 4.12.



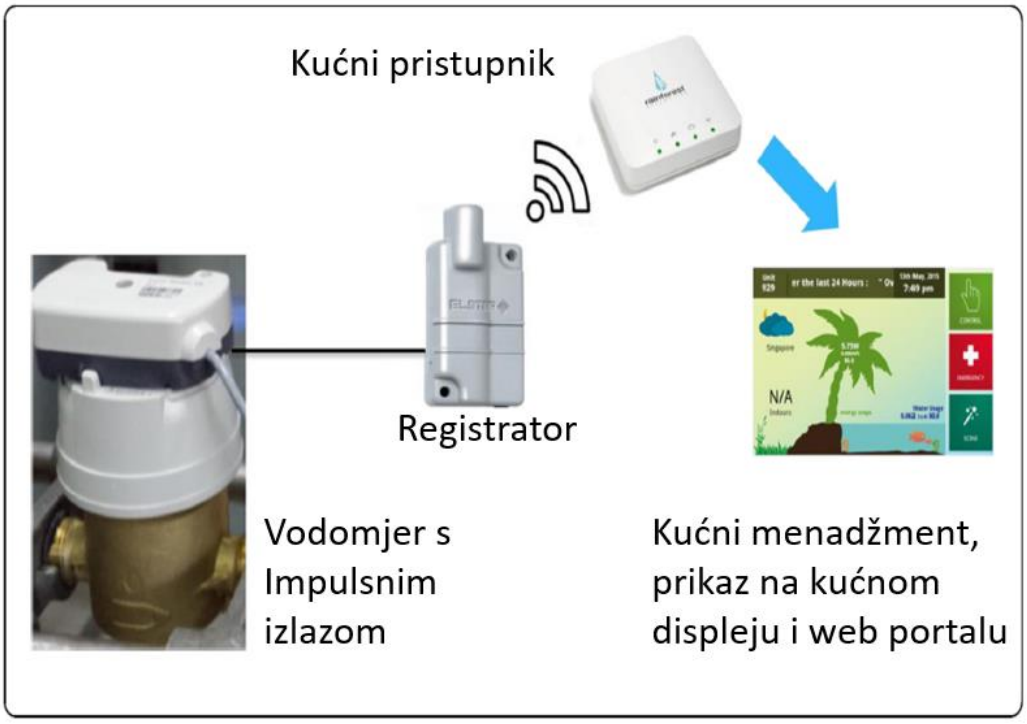
Slika 4.12: Primjena IoT i BIG DATA u vodoopskrbi [39];

Autori nadalje navode da su Big Data novi tehnički koncept za prikupljanje velikih količina relevantnih podataka sa senzora instaliranih za praćenje strukturnih parametara, parametara korištenja i performansi sustava. Ovaj koncept velikih skupova podataka može se ostvariti primjenom tehnologije interneta stvari IoT kroz infrastrukturu vodoopskrbe i korištenje vodne usluge od strane potrošača. U radu je prikazan shematski razvoj IoT aplikacije za prikupljanje velike količine podataka kroz mnoštvo korisnika pitke vode. Shema se sastoji od nizvodnog i uzvodnog prikupljanja podataka korištenjem tehnologija bežične senzorske mreže WSN *(engl. Wireless Sensor Network)* koje su povezane pomoću IoT platforme. Nizvodno prikupljeni podaci pružit će podatke o potrošnji vode i provedbi vodoopskrbe krajnjim potrošačima, dok će uzvodno prikupljeni podaci koristiti vodoopskrbnim organizacijama jer su vrlo slični tradicionalnim SCADA i drugim automatiziranim sustavima upravljanja. Autori opisuju konceptualni razvoj interneta stvari i velikih količina podataka u kontekstu vodoopskrbnih sustava s naglaskom na njegove prednosti i ograničenja. Također ukazuju da se većina održavanja javnog vodoopskrbnog sustava uglavnom provodi reaktivno, a za napredak je potreban pro-aktivan pristup. Autori zaključuju da dvije tehnologije, IoT i BIG DATA, trebaju biti učinkovito i djelotvorno integrirane kao moguće rješenje za pro-aktivan vodoopskrbni sustav. Navode da takva tehnologija trenutno nije dostupna za vodoopskrbni sustav ali ona će biti ključna tehnička komponenta za izgradnju pametne i održive urbane infrastrukture.

Upravno komunalno vijeće Singapura objavilo je svoju viziju pametnog sustava javne vodoopskrbe [168]. Implementacija pametne vodoopskrbne mreže *(engl. Smart Water Grid)* podržava misiju komunalnog vijeća da opskrbljuje svoje kupce kvalitetnom vodom. Kako bi se osigurao nadzor i upravljanje sustavom vodoopskrbe u realnom vremenu, pametna vodoopskrbna mreža opremljena je senzorima i analitičkim alatima raspoređenim na cijelom uslužnom području. Pametna vodoopskrbna mreža omogućuje komunalnom vijeću učinkovito i održivo upravljanje vodoopskrbnim sustavom koji osigurava građanima Singapura da koriste pouzdanu i održivu opskrbu vodom za sebe i za generacije koje dolaze.

U svom je radu komunalno vijeće Singapura istaknulo viziju za pet ključnih aspekata pametnog vodoopskrbnog sustava SWG *(engl. Smart Water Grid).* To su upravljanje sustavom, upravljanje gubicima vode, praćenje kvalitete vode, a na strani krajnjih potrošača to su automatsko očitavanje brojila i očuvanje vode. Za svaki aspekt ukazali su na izazove, trenutno dostupnu tehnologiju, na iskustva Upravnog komunalnog vijeća Singapura, te su identificirali nedostatke i utvrdili tehnološki plan unapređenja. Nastoje da uz poboljšano upravljanje

sustavom vodoopskrbe i djelotvornim preventivnim održavanjem visokorizičnih cjevovoda, dodatno smanje broj puknuća i incidenata uzrokovanih nedovoljnom kvalitetom vode. Unaprjeđenjem mreže sa senzorima za praćenje tlaka i senzorima za praćenje kvalitete vode u realnom vremenu, vodoopskrbni sustav WSN *(engl. Water Supply Network)* će biti podignut na razinu pametnog vodoopskrbnog sustava koji koristi potrebne podatke i alate za pravovremeno upravljanje incidentima. Krajnji će potrošači biti informirani o potrošnji vode u realnom vremenu temeljem automatiziranih očitanja vodomjera, a što će pomoći klijentima da donesu kvalitetne odluke o očuvanju vode u svojim domovima ili poslovnim prostorima. Koncept SMART kućnog vodoopskrbnog priključka Singapura prikazan je na slici 4.13.

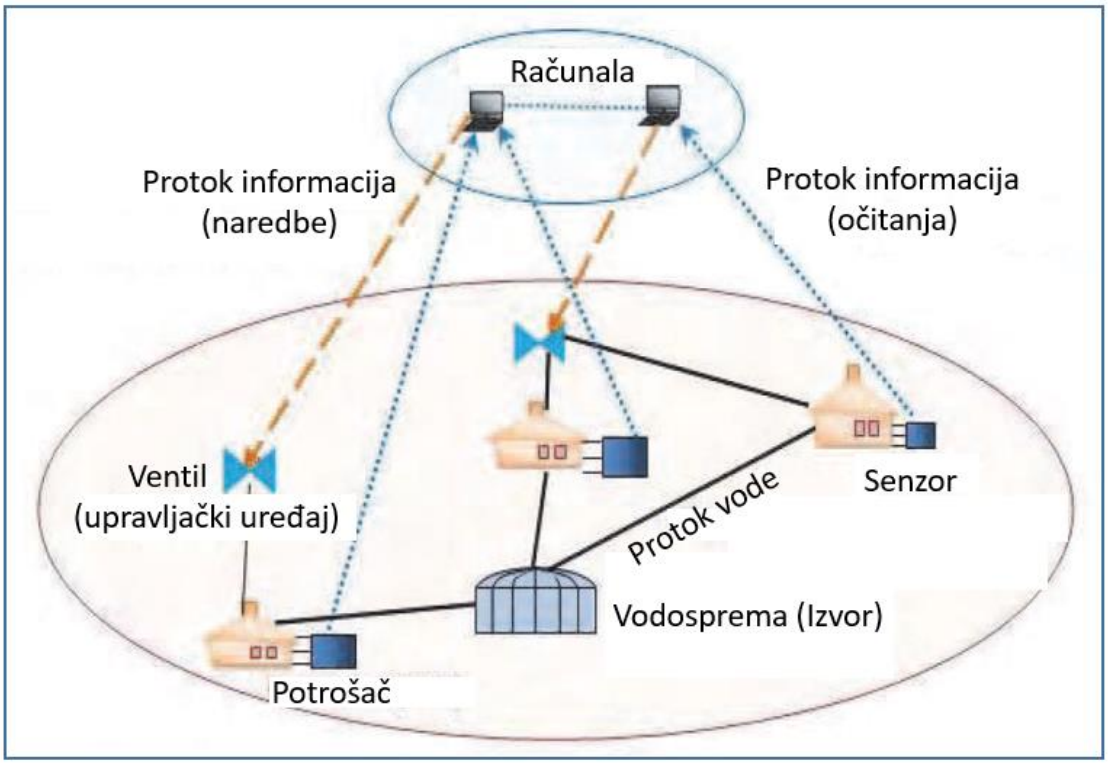


Slika 4.13 Koncept SMART vodoopskrbnog priključka - Singapur [168];

Priya i Rameshkumar, u svom radu [169], opisuju nadolazeće doba pametnih gradova *(engl. Smart Cities)* i povećane potrošnje u skladu s potrebama i mogućnostima gađana. Predlažu uvođenje modela upravljanja vodoopskrbnim sustavom pomoću senzorskih uređaja i računala radi zadovoljenja potražnje, kvalitete i kontrole gubitaka vode. Predlažu nadzor vodoopskrbnog sustava pomoću sustava sačinjenog od senzora, a čija se obrađuju računalima, a komunikacija se ostvaruje putem računala ili bežičnih mreža.

Lin, Sedigh i Miller, u radu [170], rade integralnu CPS simulaciju inteligentne vodoopskrbne mreže. Simulacijom složenih i kompliciranih vodoopskrbnih sustava čine preliminarni korak

prema procijeni utjecaja koji digitalno upravljanje i kontrola donosi stvarnoj infrastrukturnoj mreži. Simulaciju provode od jednostavnih modela prema sve složenijim. Autori u svom radu ukazuju na veliki broj povezanih izazova s fokusom na integriranu simulaciju CPS sustava. Cilj simulacije je što točnije odražavati rad i interakciju kibernetičkih i stvarnih fizičkih mreža koje čine sustav, te utvrditi međuovisnosti između kibernetičke i digitalne infrastrukture. Vodoopskrbne distribucijske mreže WDNs *(engl. Water Distribution Networks)* su nova kibernetičko - fizikalna domena. Fizičke komponente, npr. Ventili, cijevi i spremnici, povezani su s računalima koja upravljaju inteligentnom raspodjelom vode kako je prikazano u primjeru na slici 4.14.



Slika 4.14: Pametna vodoopskrbna mreža [170];

Primarni cilj vodne distribucijske mreže je osigurati javnosti pouzdan izvor pitke vode. Informacije kao što su obrasci potražnje, količina vode (protok vode i tlakovi u mreži), te kvaliteta vode (kontaminacija i minerali), ključni su za postizanje tog cilja i korisni u usmjeravanju napora za održavanje i identifikaciju osjetljivih područja koja zahtijevaju detekciju i/ili praćenje. Senzori koji su raspoređeni u fizičkoj infrastrukturi prikupljaju podatke, unose ih u algoritme koji se izvode na digitalnoj infrastrukturi sustava. Ovi algoritmi pružaju podršku odlučivanju fizičkim regulatorima koji se koriste za upravljanje, raspodjelom (količina) i kvalitetom (maksimalno dozvoljene količine tvari) vode. Modeliranje i simulacija

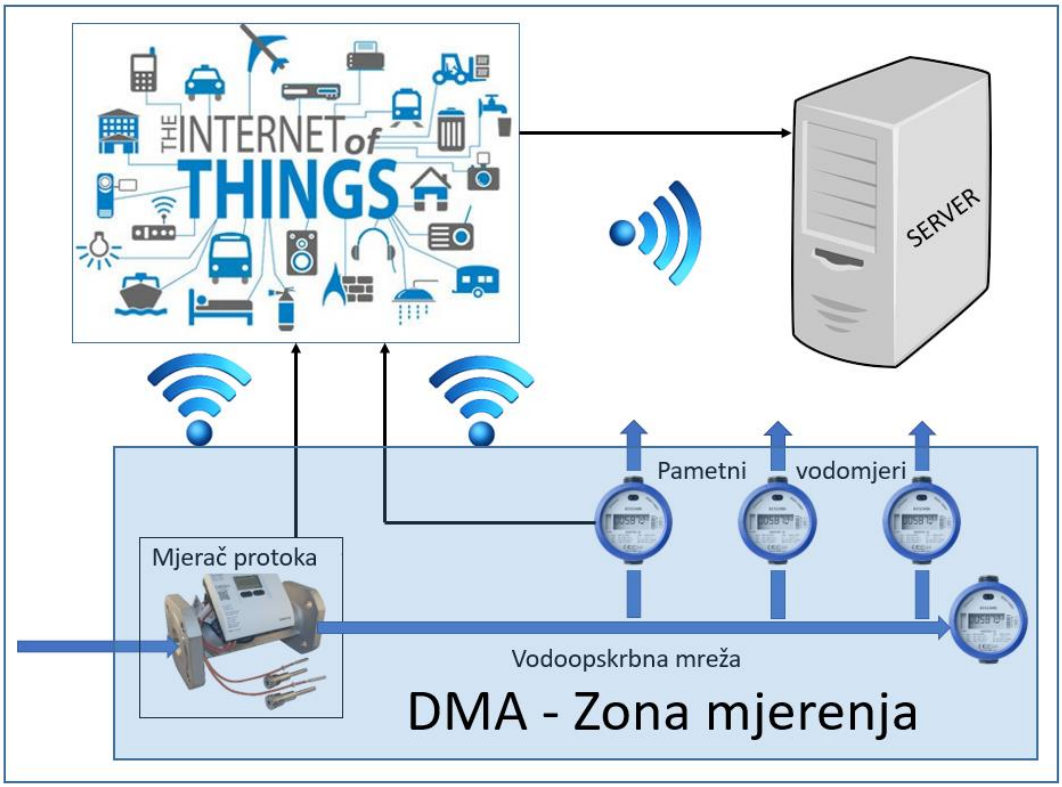
moraju se koristiti za analizu izvodljivosti CPS sustava jer je izravno promatranje kritične infrastrukture često nemoguće. Vodoopskrbni sustavi postaju sve veći i složeniji, a njihova pouzdanost i učinkovitost je dovedena u pitanje. Autori ukazuju na prednosti modeliranja takvih sustava ali i ukazuju na probleme koji se pojavljuju u simulacijama kada modeli postaju sve veći i veći pa tako postaju i sve složeniji.

Stoffels i Ziemer, u radu [171], predstavljaju studiju o stanju digitalizacije u vodnom sektoru. Raspravljaju o primjenjivosti slojevite modularne arhitekture proizvoda u procesnim industrijama i procjenjuju važnost postojanja digitalne poslovne strategije. Rezultati njihove ankete pokazuju da se uporaba digitalnih tehnologija smatra važnom mogućnošću za razvoj poslovanja u budućnosti, dok se implementacija u stvarnom svijetu još uvijek suočava sa značajnim izazovima. Njihovi rezultati istraživanja dodatno podupiru tvrdnju da tvrtke koje su formulirale digitalnu poslovnu strategiju sklonije razvijati nove poslovne modele tijekom digitalne transformacije. Naglašavaju da iako su procesne industrije uspješno koristile napredak u tehnologijama za optimizaciju procesa u prošlosti, digitalizacija predstavlja neviđeni pomak koji premašuje dosadašnju konvencionalnu tehnološku evoluciju.

Wehn i Montalvo, u radu [172], istražuju dinamiku inovacija u vodnom sektoru promatrajući i vodoopskrbne i vodoprivredne organizacije s ciljem stvaranja osnove za daljnja istraživanja. Autori ukazuju na Hitnu potrebu za inovacijama u vodnom sektoru radi rješavanje višestrukih i isprepletenih izazova. Navode da je sektor voda manje inovativan od ostalih sektora. Njihov je rad namijenjen postavljanju temelja za područje istraživanja inovacija i nastojanju da se nove spoznaje integriraju u vodni sektor. Zaključuju da su za promjene u vodnom sektoru potrebna mjerenja i pokazatelji, alati i metode, te inovacije. Navode da je potrebno analizirati izvore strukturnih promjena i njihov utjecaj na konkurentnost, zaposlenost, produktivnost, ekonomski učinak u nastojanjima da se osigura pravedno, kratkoročno i dugoročno korištenje vode na siguran način.

U radu [173], autor ukazuje na upravljanje gubicima vode u sustavu javne vodoopskrbe kao jednim od temeljnih zadataka javnih opskrbljivača. Gubici vode temelj su analize kvalitete i ocjene učinkovitosti vodoopskrbnog sustava. Navodi da se gubici vode uobičajeno određuju analizom protoka i potrošnje vode kroz dulje razdoblje, odnosno analizom s velikom vremenskom dimenzijom. Rezultatima ovakve analize dobiju se smjernice ali ne i vjerodostojni rezultati dostatni za aktivno upravljanje sustavom. Prikupljanjem i obradom podataka u realnom vremenu, dobije se objektivna slika kvalitete i učinkovitosti vodoopskrbnog sustava

ali i mogućnost primjene metode rane indikacije promjena unutar vodoopskrbnog sustava. Na slici 4.15 prikazan je koncept povezanih mjerila u jedinstveni IoT vodoopskrbni sustav. Uvođenjem u sustav javne vodoopskrbe mjerila protoka i potrošnje vode s mogućnošću pristupa rezultatima mjerenja u realnom vremenu, moguće je ostvariti željenu novu dimenziju upravljanja gubicima vode u sustavima javne vodoopskrbe.

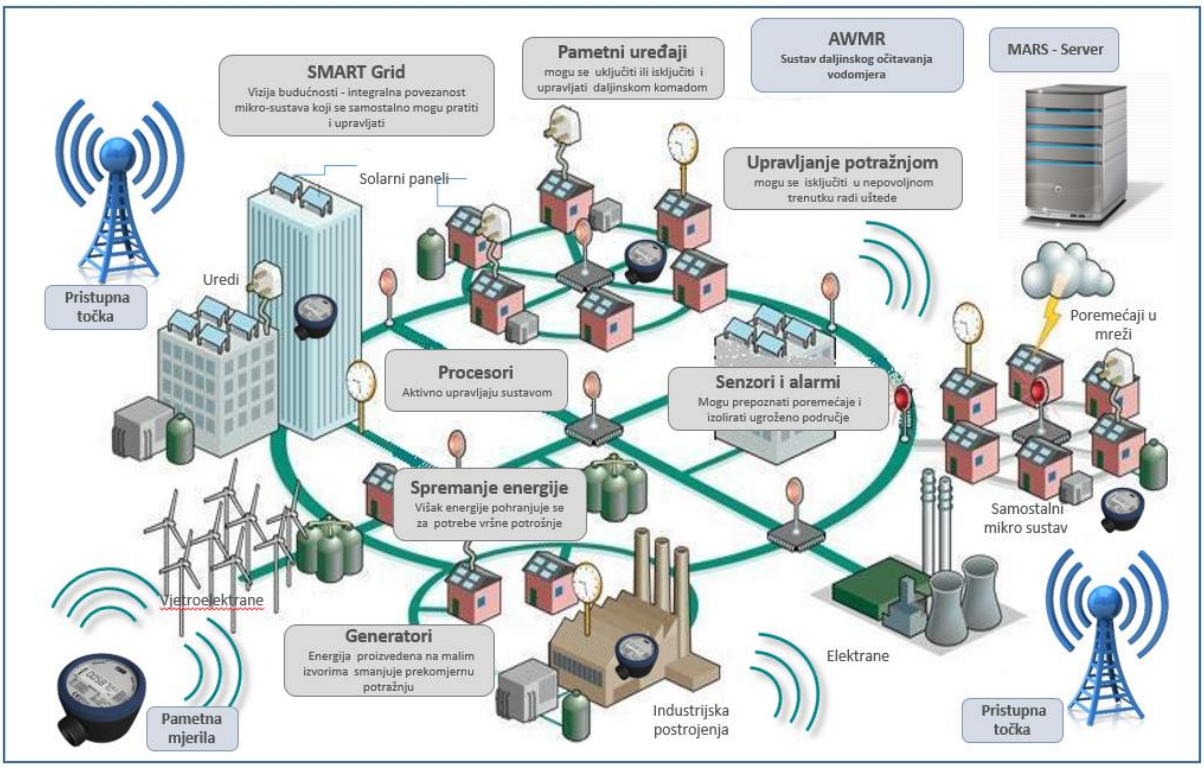


Slika 4.15: Koncept povezanih mjerila u jedinstveni IoT vodoopskrbni sustav [173];

Kober i Gangl, u radu [44], navode značaj smanjenja gubitaka vode gledano s tehničkog, ekonomskog i ekološkog aspekta. S dostupnim tehnologijama kao što su mjerenje buke i metoda korelacije, lociranje i određivanje propuštanja nije problematično. Stvarni problem je uspostaviti sustav praćenja koji omogućuje rano prepoznavanje novih ili curenja u razvoju, te lokaliziranje tih curenja. Ukazuju da podjela vodoopskrbnog sustava na DMA zone, po preporuci IWA-e, nije dostatna, a prisutni su i prateći nedostaci poput stagnacije ili smanjenja hidrauličkih svojstava. U tom kontekstu, predlažu izgradnju sustava za praćenje gubitaka ugradnjom senzora u vodoopskrbnu mrežu i prijenosom podataka putem telekomunikacijske mreže korištenjem GPRS ili GSM tehnologije. Senzori curenja vode instalirani su u hidraulički relevantnim pozicijama (cijevima) i raspoređeni preko cijele vodoopskrbne mreže. Zadatak im je da mjere razlike u minimalnoj noćnoj brzini protoka u usporedbi s referentnim vrijednostima.

Analiza izmjerenih podataka na senzorima i mjerilima omogućuje relativno laganu lokalizaciju mjesta propuštanja vode.

U radu [137], autor istražuje SMART rješenja za komunalnu infrastrukturu, pa tako i za sustave vodoopskrbe. Predlaže unapređenje postojećih sustava primjenom novih znanja i tehnologija proizašlih iz koncepta Industrije 4.0. Koncept pametne CPS vodoopskrbne mreže prikazan je na slici 4.16.

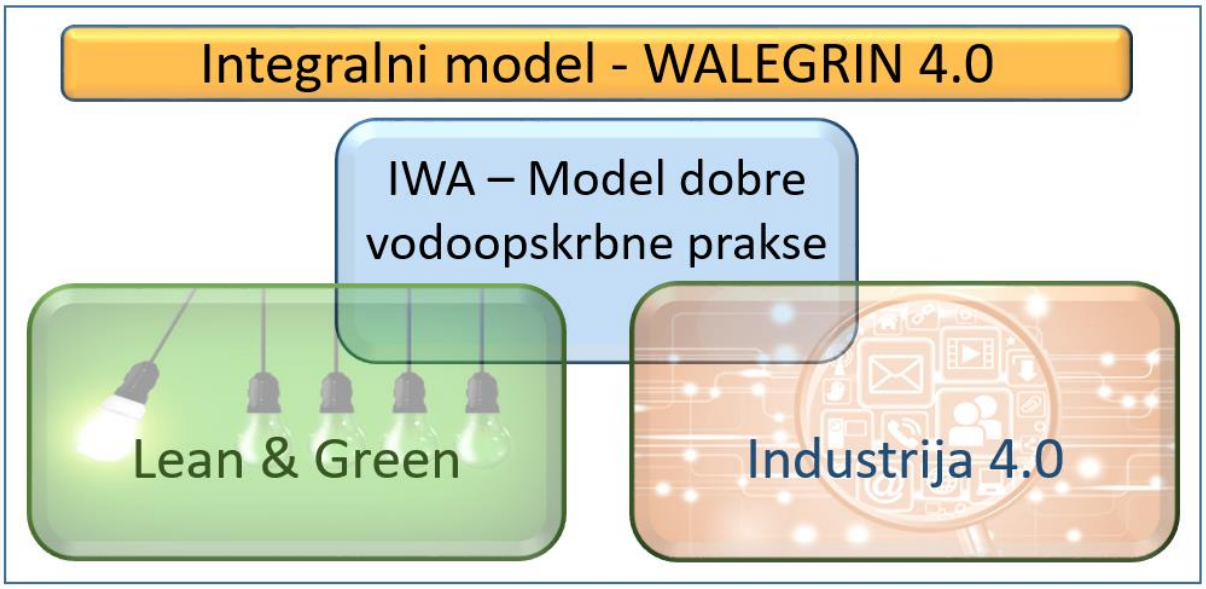


Slika 4.16: Koncept pametne CPS vodoopskrbne mreže [137];

Autor zaključuje da je primjena „SMART“ tehnologija u energetskom i komunalnom sektoru prigoda za skokoviti razvoj, kvalitetnije i učinkovitije upravljanje sektorom, zadovoljnije kupce i korisnike usluga, te niže troškove poslovanja.

5. OBLIKOVANJE WALEGRIN 4.0 MODELA

Na temelju spoznaja navedenih u drugom, trećem i četvrtom poglavlju, te ranije iskazanoj motivaciji u ovom se poglavlju oblikuje model upravljanja javnom vodoopskrbom WALEGRIN 4.0. na bazi tri temeljna koncepta prikazana na slici 5.1.



Slika 5.1: Koncept WALEGRIN 4.0 Integralnog modela;

Naziv modela je odabran kao složenica prvih dvaju slova svakog od navedenih koncepata temeljem kojih je model oblikovan:

WAter, LEan & GReen, INdustry 4.0 = WALEGRIN 4.0

Prvu uporišnu točku modela WALEGRIN 4.0 čine primjeri dobre vodoopskrbne prakse stečeni znanjem i iskustvom uspješnih vodoopskrbnih organizacija u nastojanjima da se smanje gubici vode iz vodoopskrbnih sustava. Nakon višegodišnje primjene načela dobre vodoopskrbne prakse radna skupina WLTF ukazuje na „kariku koja nedostaje“ zbog koje očekivani rezultati izostaju u većini vodoopskrbnih organizacija. Predlažu promjene u načinu upravljanja vodoopskrbnim organizacijama jer je očito da smanjenje ne prihodovane vode NRW nije samo inženjerski problem, već je riječ i o društvenim znanostima i umijeću upravljanja. Drugim riječima, oni ukazuju na značaj i potrebu za uvođenjem novih disciplina u vodoopskrbne organizacije. Promjena obrasca ponašanja i primjena najnovijih znanja i tehnoloških dostignuća

nameće se kao imperativ u daljnjoj borbi s gubicima vode i ostvarenju željenog oporavka vodoopskrbnih sustava.

U isto vrijeme, kada radna skupina WLTF nastoji pronaći rješenja za povećanje učinkovitosti javne vodoopskrbe, na globalnom su se gospodarskom polju pojavila dva nova, međusobno neovisna koncepta, koja unose značajna unaprjeđenja u poslovanje gospodarskih subjekata. Koncepti Lean i Green menadžmenta i Industrije 4.0 postaju imperativi uspješnosti poslovanja.

Zbog toga je koncept Industrije 4.0 s kojim se želi uvesti nova znanja i tehnologije u vodoopskrbne procese, odabran kao druga uporišna točka za oblikovanje modela WALEGRIN 4.0, a posebno u procese koji se bave otklanjanjem gubitaka vode. Primjenom koncepta Industrije 4.0 žele se unaprijediti mogućnosti koje pruža model temeljen samo na primjerima dobe vodoopskrbne prakse.

Treća uporišna točka za oblikovanje WALEGRIN 4.0 modela je koncept Lean i Green menadžmenta. Primjenom Lean principa, te adekvatnih Lean alata želi se ostvariti okruženje u kojem sve tri uporišne točke modela WALEGRIN 4.0 mogu optimalno funkcionirati, a posebno se želi olakšati uvođenje novih znanja i tehnologija u vodoopskrbne procese. Također se želi identificirati, kontrolirati i minimizirati sve vrste gubitaka prema Lean i Green menadžmentu u vodoopskrbnim procesima.

Povezujući ova tri koncepta u jedinstveni integralni model WALEGRIN 4.0, želi se napraviti model, koji će otkloniti nedostatke modela temeljenog samo na primjerima dobre vodoopskrbne prakse, te koji će unaprijediti poslovanje i povećati učinkovitost vodoopskrbnih organizacija.

Važno je napomenuti da postoji međusobna interakcija i da se koncepti Lean i Green menadžmenta i Industrije 4.0 međusobno podržavaju. Primjenom koncepta Industrije 4.0 lakše se i učinkovitije primjenjuju Lean načela i otklanjaju gubici iz procesa. I obrnuto, primjenom koncepta Lean i Green menadžmenta lakše se uvode u procese nova znanja i tehnologije temeljene na konceptu Industrije 4.0 [129], [130], [131], [174].

5.1. Prva uporišna točka modela – Primjeri dobre vodoopskrbne prakse

Prvu uporišnu točku modela čini WLTF koncept temeljen na primjerima dobre prakse stečene znanjem i iskustvom uspješnih vodoopskrbnih organizacija, primjeri koji su opisani i poduprti od strane međunarodnih udruga i organizacija koje se bave problematikom vodoopskrbe (IWA, WB, GWP, i dr.).

Za oblikovanje modela WALEGRIN 4.0 su korišteni primjeri dobre vodoopskrbne prakse koji su detaljno opisani u drugom poglavlju, a to su:

- **IWA bilanca vode (tablica 2.1)** – Osnova je razumijevanja problema gubitaka vode iz vodoopskrbnih sustav, pruža nam standardizirani pristup potpunoj reviziji zahvaćene vode pomoću standardizirane međunarodne terminologije utemeljene na najboljoj praksi iz mnogih zemalja. IWA bilanca vode koristan je alat za analizu i utvrđivanje veličine problema, te utvrđivanje ključnih pokazatelja uspješnosti vodoopskrbnih organizacija, a detaljno je opisana u poglavlju 2.4.
- **Aktivna kontrola gubitaka vode** - Radna skupina WLTF upućuje vodoopskrbne organizacije da strateški pristupaju problemu gubitaka vode s 4 različita aspekata djelovanja kao što je navedeno u poglavlju 2.6 i prikazano na slici 2.7. Za oblikovanje modela WALEGRIN 4.0 odabran je strateški pravac djelovanja „Aktivna kontrola gubitaka vode“, dok ostali pravci nisu korišteni.
- **DMA zone** – Radna skupina WLTF je predložila i upotrebu metode zoniranja sustava uvođenjem DMA zona kako je i navedeno u poglavlju 2.7.
- **BABE metoda** – Metoda analiza stvarnih gubitaka vode, uvedena je još 1990.godine, a njezin značaj i principi su opisani u poglavlju 2.8.
- **LLP metoda** – Metoda za otkrivanje točnog mjesta kvara vodoopskrbnog sustava u tri koraka (Lokalizacijom, Lociranjem i točnim Određenjem). Ova je metoda detaljnije opisana u poglavlju 2.9.

5.2. Druga uporišna točka modela – Koncept Industrije 4.0

Druga uporišna točka modela je digitalizacija poslovanja primjenom koncepta Industrije 4.0, s ciljem stvaranja pametne vodoopskrbne mreže koju je moguće nadzirati i kojom je moguće upravljati u realnom vremenu uz pomoć novih ICT *(engl. Information and communications Technology)* znanja i tehnologija. Za ostvarenje ovog cilja treba savladati nekoliko izazova:

- Prvi je izazov pretvorba vodoopskrbnog sustava u jedinstveni CPS sustav.
- Drugi je izazov prilagodba organizacije za rad u okruženju velikih količina podataka.
- Treći je izazov spremnost organizacije na primjenu pametnih i prediktivnih informatičkih alata.

Za oblikovanje modela WALEGRIN 4.0 korištena su znanja i tehnologije koncepta Industrije 4.0 koje su detaljno opisane u četvrtom poglavlju kako bi se ostvarilo sljedeće:

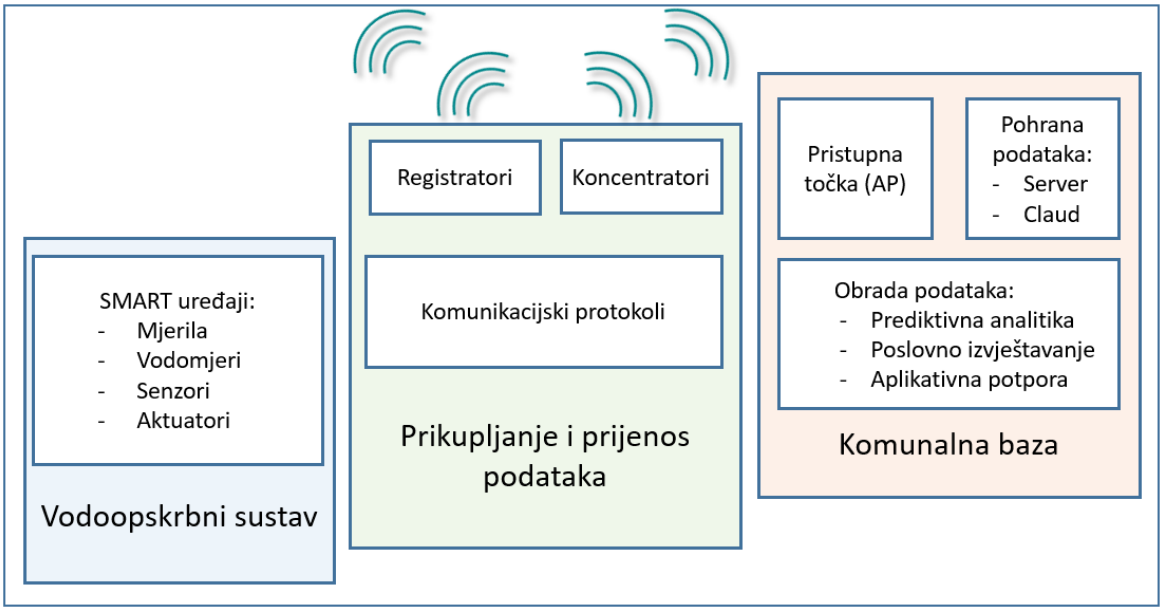
- Pametna CPS vodoopskrbna mreža
- Prikupljanje, prijenos i pohrana podataka (3P)
- Aplikativna potpora
- Učestalo mjerenje gubitaka vode u DMA zonama
- Rana indikacija gubitaka vode
- Geo informacijski sustav
- Fleet menadžment

5.2.1. Pametna CPS vodoopskrbna mreža

Osnova za izgradnju pametne CPS vodoopskrbne mreže je postojeća vodoopskrbna mreža koja se unapređuje:

- Ugradnjom SMART uređaja (senzori, mjerila, vodomjeri, aktuatori i slično).
- Izgradnjom robusne, pouzdane i pristupačne širokopojasne telekomunikacijske infrastrukture za prijenos podataka u realnom vremenu.
- Izgradnjom infrastrukture za pohranu podataka (podatkovni centar).

Pametne vodoopskrbne mreže imaju mogućnost prikupljanja podataka u realnom vremenu, te njihov prijenos i pohranu za dalju upotrebu. Primjenom aktuatora, pametnom CPS mrežom može se aktivno upravljati (konfiguriranje sustava, promjena parametara sustava, uključivanje ili isključivanje dijelova vodoopskrbnog sustava). Koncept pametne CPS vodoopskrbne mreže prikazan je na slici 5.2.



Slika 5.2: Koncept pametnog CPS vodoopskrbnog sustava;

Ugradnja SMART uređaja (senzori, mjerila, vodomjeri, aktuatori i slično) može se provesti na dva načina. Prvi način je da se ugradnja provodi prema prioritetima ugradnje na cijelom vodoopskrbnom sustavu. S obzirom na to da je izgradnja pametnog CPS vodoopskrbnog sustava višegodišnji projekt s vremenom će gustoća ugrađenih pametnih uređaja rasti, a s time i njegova uporabljivost. Ovakav je način primjeren za manje vodoopskrbne sustave. Veći vodoopskrbni sustavi provode isti princip ali po DMA zonama. Prioritetne DMA zone određuju se na temelju kriterija kao što su, gustoća priključaka, potrošnja vode, gubici vode, gospodarski značaj, kvaliteta vode i drugi kriteriji bitni za konkretnu vodoopskrbnu organizaciju. Samom ugradnjom pametnih uređaja nije riješen sustav prijenosa podataka u realnom vremenu. Za to nam je potrebna robusna, pouzdana i pristupačna telekomunikacijska infrastruktura.

Vodoopskrbne organizacije za izgradnju telekomunikacijske infrastrukture mogu koristiti vlastite građevine (vodne građevine i ostale poslovne građevine), te iznimno, u slučaju nepremostivih poteškoća, koristit će se građevine koje su u vlasništvu lokalne samouprave. Vodoopskrbne organizacije djeluju na uslužnom području koje je definirano veličinom i potrebama lokalne zajednice[22], a u slučaju 100%-tne pokrivenosti uslužno područje i vodoopskrbna mreža imaju identičan oblik i veličinu. Osim vodoopskrbnih cjevovoda vodoopskrbnu mrežu čine i druge vodne građevine kao što su primjerice vodospreme i pumpne stanice, a koje su ravnomjerno raspoređene po vodoopskrbnom sustavu. Ovo je za vodoopskrbne organizacije velika prednost jer nema potrebe za izgradnjom novih objekata, već se svaka od postojećih građevina lako može opremiti uređajima i opremom potrebnom za izgradnju robusne, pouzdane i pristupačne telekomunikacijske infrastrukture. Vodoopskrbne će organizacije izgraditi infrastrukturu za pohranu podataka (podatkovni centar) na temelju pozitivne tehno-ekonomske studije izvodljivosti. U slučaju negativnih zaključaka studije izvodljivosti podatkovni centar se može uzeti u najam odabirom vanjskog suradnika *(engl. Outsourcing).*

5.2.2. Prikupljanje, prijenos i pohrana podataka (3P)

Prikupljanje podataka: Funkcionalnost pametne vodoopskrbne mreže ostvaruje se i primjenom pametnih uređaja. SMART uređajima smatramo sve uređaje koji osim primarne funkcije imaju i mogućnost aktivnog komuniciranja (IoT, M2M i sl.) u realnom vremenu putem žičanih i bežičnih telekomunikacijskih tehnologija. Ovakvi uređaji osim primarnih funkcija u

[22] Zakon o vodnim uslugama;

pravilu posjeduju i sekundarne funkcije definirane perifernim uređajima i vlastitim procesorima. S obzirom na namjenu, pametne uređaje u vodoopskrbnim sustavima možemo podijeliti u nekoliko kategorija:

1. Uređaji kojima mjerimo fizikalne veličine sustava (mjerila i indikatori protoka, tlaka, temperature i slično);
2. Uređaji kojima mjerimo potrošnju vode (vodomjeri);
3. Uređaji kojima mjerimo kemijske veličine bitne za kvalitetu vode (mjerila i indikatori parametara kao što su primjerice Ph vrijednost, rezidualni klor i slično), te
4. Uređaji za konfiguraciju i upravljanje vodoopskrbnom mrežom (elektromotorni ili hidraulički ventili i zasuni, pumpe, regulatori tlaka i slično).

Uređaji koji su predviđeni za interaktivnu komunikaciju (elektromotorni ventili, zasuni, pumpe, aktuatori i sl.) u realnom vremenu javljaju svoj status s kojim je definirana konfiguracija i parametri vodoopskrbne mreže. Prema potrebi ovi uređaji primaju i provode naredbe za promjenu svog statusa, a s promjenom statusa mijenjaju se konfiguracija, parametri i ostali uvjeti u mreži. Ovi uređaji komuniciraju putem SCADA sustava *(engl. Supervisory Control and Data Acquisition)* ili Interneta. Radi ostvarenja interaktivne komunikacije putem interneta svakoj SMART poziciji se dodjeljuje jedinstvena IP adresa *(engl. Internet Protocol address).*

Karakteristika mjerila i indikatora (fizikalnih i kemijskih veličina) je da pomoću odgovarajućih senzora mjere veličine u sustavu, a rezultate mjerenja pretvaraju u signal pogodan za daljnju obradu, prijenos i pohranu.

Iako su vodomjeri mjerila, njih ističemo kao posebnu kategoriju SMART uređaja (slika 5.3).

Slika 5.3: SMART vodomjer [Izvor: KAMSTRUP];

SMART vodomjeri su vrlo zastupljeni u vodoopskrbnom sustavu jer su dio CRM procesa *(engl. Customer Relationship Management)* koji je temelj naplatnog sustava. Temeljem zakona o vodnim uslugama (NN 66/2019) naplata isporučene vode vrši se za razdoblje od mjesec dana. SMART vodomjeri osim primarne funkcije mjerenja potrošnje imaju i druge mogućnosti korisne za nadzor i upravljanje potrošnjom krajnjeg korisnika.

Prijenos podataka: Izgradnjom robusne, pouzdane i pristupačne telekomunikacijske infrastrukture ostvaruje se potrebna interaktivna komunikacija unutar pametnog CPS vodoopskrbnog sustava. Moderne širokopojasne infrastrukturne komponente uključuju svjetlovodne kabele, bežične mreže, mrežne pristupne točke koje podržavaju brzinu prijenosa podataka od 1 Gbps i više. Komunikacija se ostvaruje putem žičane i bežične veze u ovisnosti o telekomunikacijskoj dostupnosti uređaja. Vodoopskrbne organizacije pristupaju izgradnji vlastite širokopojasne LAN mreže, vodeći brigu da širokopojasna infrastruktura bude adekvatna radi zadovoljenja sadašnjih i posebno budućih potreba u skladu s EU i nacionalnim preporukama, zahtjevima i uvjetima nacionalnih regulatornih tijela za mreže s brzim i ultra-brzim pristupom NGA *(engl. Next Generation).*

Veliki dio vodoopskrbne mreže čine podzemne instalacije, pa je posljedično i veliki dio pametnih uređaja smješten ili ugrađen podzemno. Zbog toga je i bežična komunikacija otežana. Kod uređaja koji ne mogu bežično komunicirati s pristupnom točkom u komunikacijski se lanac uključuju dodatni uređaji kao što su pojačala signala, registratori, repetitori i koncentratori).

Pohrana podataka: Prikupljeni digitalni podaci pohranjuju se u podatkovnim centrima na elektroničkim medijima u različitim formatima. Računalna pohrana podataka jedna je od temeljnih funkcija računala opće namjene. Elektronički se dokumenti mogu pohraniti na mnogo manjem prostoru od papirnih dokumenata. Vodoopskrbne organizacije biraju između vlastitih podatkovnih centara ili zakupljenog podatkovnog prostora. Obje opcije su dobre, a odabir ovisi o nizu faktora kao što su: veličina vodoopskrbne organizacije, raspoloživost ljudskih potencijala, troškovi poslovanja, veličina investicije i drugo.

5.2.3. Aplikativna potpora

Vodoopskrbne organizacije će se izgradnjom pametne CPS vodoopskrbne mreže naći u okruženju velikih količina podataka. Veliki je izazov za te organizacije da prikupljene podatke strukturiraju, filtriraju, obrade i pretvore u korisne informacije za učinkovito upravljanje i donošenja odluka. Uz pomoć adekvatnih primjenjivih kompjuterskih programa ovi će se podaci

prikupiti i obraditi, objediniti i analizirati, formirat će se evidencije i izvještaji. U konačnici, podaci sa svih operativnih procesa će se integrirati u jedan validan dokumentirani sustav.

Prikupljeni podaci će biti od koristi samo ako ih se obradi, pomoću odgovarajućih primjenjivih računalnih programa i pretvori u informacije koje će se koristiti u daljnjim vodoopskrbnim procesima:

1. Prodaja i naplata vodnih usluga;
2. Nadzor, kontrola i upravljanje distribucijom vode;
3. Nadzor, kontrola i upravljanje kvalitetom vode;
4. Održavanje vodoopskrbnog sustava (TPM);
5. Ugovaranje vodnih usluga;
6. Planiranje investicija;

Primjenjivi program, također poznat kao aplikacija ili app (*engl. Application software*), računalni je program dizajniran za pomoć korisnicima u izvršavanju jednog ili više određenih zadataka. Aplikacije će se koristiti za upravljanje pametnim CPS vodoopskrbnim sustavom i sustavom poslovnog izvještavanja (*engl. Business Intelligence*) su:

- **Aplikacije za mjerenje i automatsko čitanje podataka** *(engl. Measurement and Automated Reading Software);* Zadatak ovih aplikacija je upravljanje mjerenjima i podacima mjerenja. U pravilnim intervalima ili u zadanom trenutku podatke mjerenja preuzimaju i pohranjuju u bazu podataka. Osim pohranjivanja ovakve aplikacije mogu omogućiti i logičko grupiranje i pregled mjerenih podataka, optimiranje potrošnje, izradu izvještaja, upravljanje korisnicima, upravljanje razinama pristupa, te integraciju s drugim sustavima kao što je sustav naplate ili sustav za aktivno upravljanje vodoopskrbnim sustavom. Moderne aplikacije strukturirane su modularno na način koji dozvoljava prilagodbu funkcionalnosti potrebama korisnika.
- **TPM aplikacije;**
- **Aplikacije za prediktivnu analitiku;** Ove aplikacije detektiraju rizike i prijetnje u poslovanju, a čine to konstantnim nadzorom sustava, uočavanjem neuobičajenih ponašanja, a mogu i korektivno djelovati na procese u kojima su detektirani rizici. Takve aplikacije predviđaju vjerojatnost budućih događaja pomoću raznih statističkih i matematičkih metoda. Ukratko, omogućavaju predvidjeti što će se u poslovanju sljedeće dogoditi i sukladno tome riješiti određene probleme, predložiti konkretnije i bolje definirane odluke, te samim time poboljšati rezultate poslovanja. Tržište nudi aplikacije

koje imaju mogućnost prilagodbe odnosno definiranja postavki prema stvarnim i specifičnim potrebama korisnika. Iznimno, samo u vrlo specifičnim organizacijama postoje potrebe za aplikacijama izrađenim prema isključivim zahtjevima korisnika.

- **ERP (*engl. Enterprise Resources Planning*) aplikacije;** Pružaju integrirani i kontinuirano ažurirani prikaz osnovnih poslovnih procesa koristeći zajedničke baze podataka. ERP olakšava protok informacija između svih poslovnih funkcija i upravlja vezama s vanjskim dionicima.
- **CRP (*engl. Customer relationship process*) aplikacije;** Pružaju integrirani i kontinuirano ažurirani prikaz odnosa s trenutnim i budućim kupcima.
- **GIS aplikacije;**
- **Fleet menadžment aplikacije.**

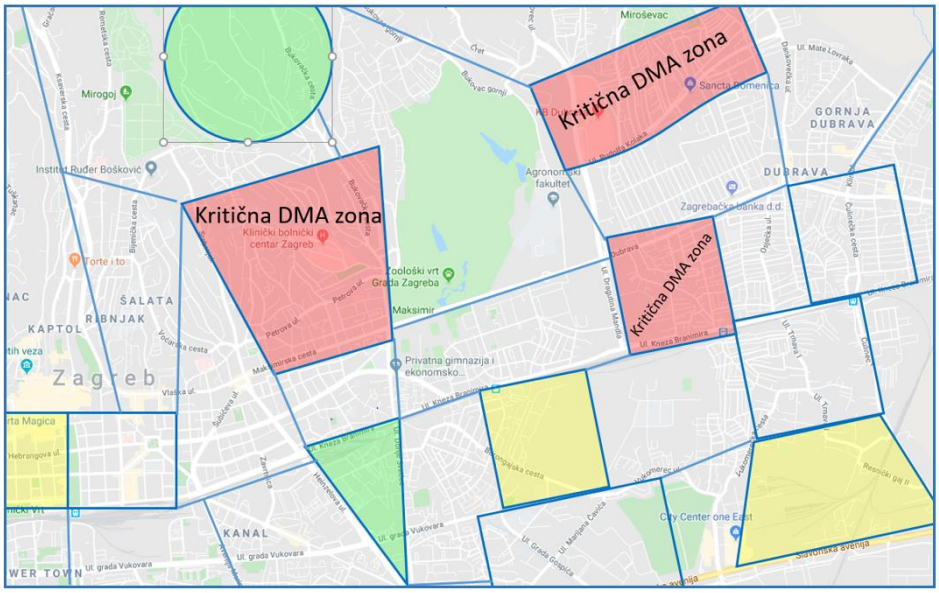
5.2.4. Rana indikacija gubitaka vode u sustavu javne vodoopskrbe

Stvarni i relativni gubici vode iz vodoopskrbnih sustava globalno su identificirani kao ključni pokazatelj uspješnosti poslovanja KPI vodoopskrbnih organizacija zbog kojih vodoopskrbne organizacije prvenstveno moraju analizirati svoju tehničku učinkovitost, a posljedično i održivost.

Gubici vode prisutni su u svim vodoopskrbnim sustavima i svakodnevna su pojava, a uzrokovani su procesnim razlozima ili gubitkom potrebnih funkcionalnih svojstava dijelova vodnih građevina zbog starosti, loše izvedbe, lošeg održavanja, seizmičkih aktivnosti tla, direktnog i indirektnog utjecaja građevinskih aktivnosti, neovlaštenog korištenja kao i niza drugih faktora koji više ili manje utječu na pojavu gubitaka. Distribucijsku mrežu javne vodoopskrbe većim djelom čine podzemne instalacije. Zbog nedostupnosti vodoopskrbne mreže detekcije kvarova su složeni zadatak za operatere vodoopskrbnih sustava. Kvarovi kod kojih nema vidljive indirektne štete ne mogu se detektirati očevidom, već je za njihovu detekciju potreban metodološki pristup uz primjenu adekvatnih tehnologija. Pozadinsko cunje BL i postojani kvarovi, mogu ostati neotkriveni mjesecima i godinama, te uzrokovati ogromne gubitke vode. Učestalim mjerenjima gubitaka vode u DMA zonama moguće je DMA zone rangirati prema veličini relativnih i apsolutnih gubitaka vode radi utvrđivanja prioriteta prediktivnog održavanja[23] (engl. Condition Based Maintenance).

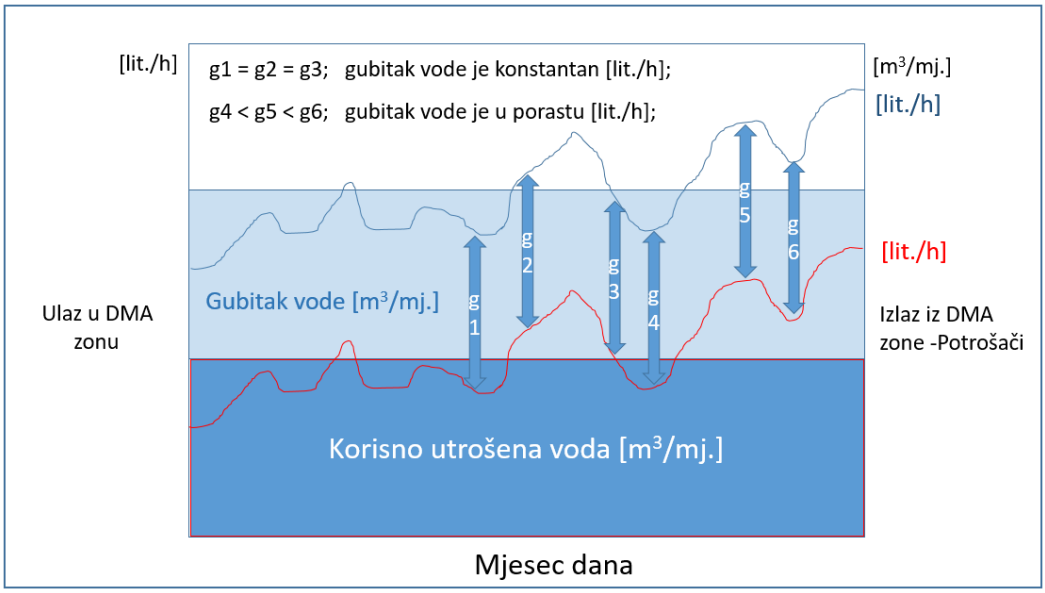
[23] Prediktivno održavanje ili održavanje prema stanju odnosno u trenutku kada se za to ukaže potreba. Ovo održavanje se izvodi kada pojedini pokazatelji daju naznaku da će doći do kvara sustava, stroja ili uređaja ili kada pokazatelji pokažu pad performansi.

DMA zone s najvećim gubicima vode označene su crvenom bojom i imaju najveći prioritet prediktivnog održavanja. Zone nižeg prioriteta (umjereni gubici vode) označene su žutom bojom, a zone s najmanjim gubicima vode označene su zelenom bojom kako je i prikazano na slici 5.4.



Slika 5.4: Primjer rangiranja DMA zona po prioritetima;

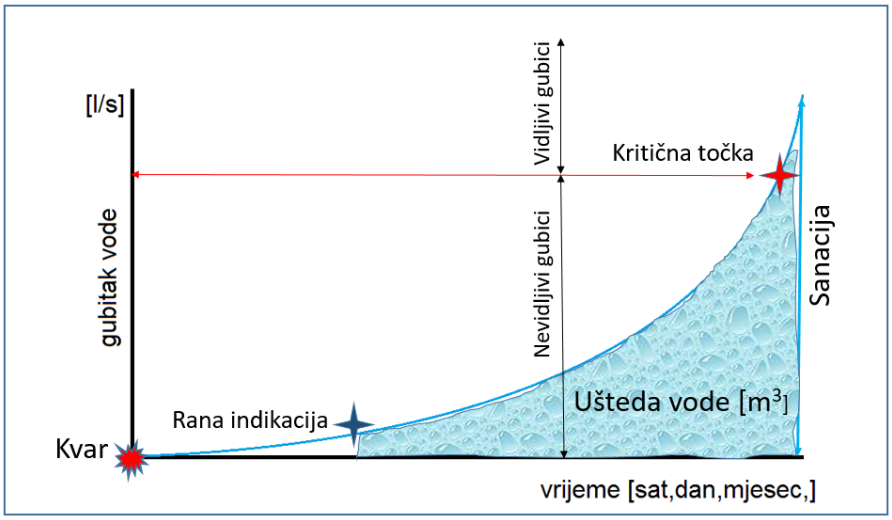
Aktivnom kontrolom gubitaka vode u DMA zoni moguće je upravljati sustavom prediktivnog održavanja prema stvarnim prioritetima, a moguće je uočiti pojavu novih kvarova u vodoopskrbnoj mreži. Koncept rane indikacije gubitaka vode (RIGV) prikazan je na slici 5.5.



Slika 5.5: Koncept RIGV metode u DMA zoni;

Prema dobroj vodoopskrbnoj praksi i preporukama WLTF grupe aktivno praćenje gubitaka vode je najučinkovitije u DMA zonama. SMART vodomjerima, kojima je primarna funkcija mjerenje potrošnje vode jednom mjesečno radi naplate, može se dodijeliti i sekundarna funkcija mjerenja potrošnje kraćeg razdoblja (dnevna ili satna potrošnja) radi aktivnog praćenja gubitaka vode u DMA zoni. Primjenom S*MART* vodomjera i njihovim povezivanjem u jedinstveni pametni CPS vodoopskrbni sustav ostvarili smo mogućnost pristupa rezultatima mjerenja u realnom vremenu.

Koncept rane indikacije gubitaka vode temelji se na učestalim mjerenjima (jednom dnevno ili češće) količine vode koja je ušla u DMA zonu tijekom mjerenog razdoblja, te količine korisno utrošene vode (SMART vodomjeri) u istom razdoblju (izlaz iz DMA zone). Mjerenja se provode svakog dana u isto vrijeme. Razliku između količina vode koja je ušla u DMA zonu i količina vode koja je korisno izašla iz DMA zone, čine gubici vode. Na ovaj će se način, indirektno ali dovoljno precizno izmjeriti iznos stvarnih gubitaka vode u DMA zoni za mjereno razdoblje. Analizom utvrđenih stvarnih gubitaka vode uz primjenu prediktivne analitike uočit će se ili stacionarnost stanja u DMA zoni ili odstupanja (prirast gubitaka) koja u tom slučaju indiciraju pojavu kvara. Ako su stvarni gubici veći od ekonomski prihvatljivih gubitaka ELL ili ako je prisutan značajan trend prirasta gubitaka vode, pokrenut će se proces prediktivnog održavanja. Primjenom metode rane indikacije, kvar u DMA zoni će biti Lokaliziran[24] (otkriven) i saniran prije puknuća vodoopskrbnog cjevovoda, što može značajno utjecati na smanjenje gubitaka vode kako je i prikazano na slici 5.6.



Slika 5.6: Shematski prikaz uštede vode primjenom RIGV metode;

[24] LLP Metoda (poglavlje 2.9)

Prema preporuci WLTF grupe mjerenjem noćne potrošnje vode u razdoblju od 23:00 sata do 5:00 sati ujutro (slika 2.12) moguće je indikaciju lokaliziranog kvara potvrditi s daleko većom vjerojatnošću jer je noćna potrošnja vode bitno manja od dnevne. Posljedično, gubici vode relativno su veći tijekom noći, pa je mjerenjima u noćnom režimu detekcija kvara učinkovitija. Lociranje[25] kvara unutar DMA zone također se provodi mjerenjima u noćnom režimu postupnim metodološkim isključivanjima dijelova DMA zone (*engl. Step Testing*). Nakon što je kvar dovoljno precizno lociran, točno mjesta kvara pronalazi se jednom od tri[26] metode opisane u poglavlju 2.9. Koncept rane indikacije gubitaka vode zahtjeva sljedeće aktivnosti:

- Ugraditi potrebnu mjernu opremu u DMA zonu (SMART vodomjeri);
- Uspostaviti sustav daljinskog očitanja mjerenja potrošnje vode;
- Mjeriti potrošnju vode u zadanom razdoblju (dnevna, satna);
- Analizirati rezultate mjerenja primjenom prediktivne analitike;
- Nakon indikacije (Lokalizacije) kvara unutar DMA zone, potrebno je locirati i odrediti točno mjesto kvara, te donijeti odluke o potrebnoj sanaciji.

5.2.5. Geo informacijski sustav vodoopskrbe

S obzirom na to da su vodoopskrbni sustavi prostorni sustavi, primjena GIS-a je gotovo obavezna. Vodoopskrbne organizacije u GIS unose sve potrebne podatke i atribute kojima se jednoznačno definiraju i opisuju vodoopskrbne građevine, cjevovodi i ostali elementi vodoopskrbne mreže. Prilikom formiranja konkretnog pametnog CPS vodoopskrbnog sustava važno je organizacijskim alatima uspostaviti mehanizme kontinuiranog ažuriranja baze podataka kod svake intervencije na vodoopskrbnom sustavu koja za posljedicu ima i promjenu podataka odnosno atributa kojima se sustav opisuje. Točnost podataka kojima se definira i opisuje CPS vodoopskrbna mreža nužan je uvjet za aktivno upravljanje sustavom u realnom vremenu. U protivnom, temeljem netočnih podataka u sustav se mogu unijeti dodatne poteškoće zbog krivog praćenja, upravljanja ili održavanja s nepredvidivim posljedicama. GIS se može povezati i s drugim bazama podataka radi brzog pristupa informacijama kao što su specifikacije rezervnih dijelova, dobavljivost rezervnih dijelova, stanje zaliha i slično.

[25] LLP metoda
[26] 1. Praćenju protoka; 2. Praćenju tlaka; 3. Praćenju buke (šum istjecanja vode);

5.2.6. Fleet menadžment

Upravljanje voznim parkom *(engl. Fleet Management)* koristan je sustav koji će uz pomoć globalnog položajnog sustava GPS *(engl. Global Positioning System)* i GSM/GPRS tehnologije na indirektan način pomoći kod integriranja ljudi u proces aktivnog upravljanja vodoopskrbnim sustavom. Vodoopskrbne organizacije, ovisno o veličini sustava, raspolažu sa značajnim brojem timova koji svakodnevno svojim vozilima (osobni automobili, kamioni, radni strojevi) obilaze vodoopskrbni sustav s ciljem izvršavanja operativnih zadataka (uzorkovanje vode, održavanje, intervencije). Upravljanje voznim parkom je funkcija koja omogućuje tvrtkama koje se oslanjaju na prijevoz u poslovanju da uklone ili minimiziraju rizike povezane s ulaganjem u vozilo, poboljšavajući učinkovitost, produktivnost i smanjujući ukupne troškove prijevoza i osoblja. Upravljanje voznim parkom može uključivati niz funkcija vezanih uz vozilo kao što su održavanje vozila, praćenje i dijagnostika vozila, upravljanje vozačem, upravljanje brzinom, upravljanje gorivom, upravljanje zdravljem i sigurnošću ali i drugim funkcijama vezanim uz vodoopskrbni proces kao što je na primjer proces nadzora i upravljanja radnim nalozima.

5.2.7. CRM sustav

Primjenom integralnog modela WALEGRIN 4.0 uvest će se aktivan CRM *(engl. Customer Relationship Management)* sustav pomoću kojeg aktivno upravljamo odnosima s kupcima u procesima ugovaranja, prodaje i naplate, te reklamacijama. Izgradnja jedinstvenog CPS vodoopskrbnog sustava, te uvođenje sustava daljinskog očitavanja vodomjera AWMR , logičan je korak ovog procesa kako je i opisano u poglavlju 5.2.1. Primjena SMART vodomjera proširuje, a time i podiže komunikaciju s korisnicima na najvišu razinu. U većini vodoopskrbnih organizacija ustaljena je praksa očitavanja vodomjera 2 puta godišnje, a 10 puta godišnje računi se ispostavljaju na temelju procjene potrošnje. Iako je statistički vrlo lako procijeniti potrošnju svakog pojedinog korisnika, prema podacima Vodoopskrbe i odvodnje d.o.o.[27] najveći boj reklamacija (više od 60%) odnosi se na reklamacije računa zbog krive procjene potrošnje.

Primjenom WALEGRIN 4.0 integralnog modela uspostavljen je sustav očitavanja potrošnje u realnom vremenu, te se svih 12 računa godišnje za svakog korisnika ispostavlja isključivo na temelju stvarne potrošnje. Stanje stvarne potrošnje i ostale korisne informacije dostupne su korisnicima na korisničkom portalu u realnom vremenu. Dodatne beneficije primjene

[27] Vodoopskrba i odvodnja d.o.o. - Izvještaj sustava kvalitete za 2012. godinu

WALEGRIN 4.0 integralnog modela su napredne funkcije koje nam pružaju pametni vodomjeri. Primjerice to su indikacija prekomjerne potrošnje što indicira moguće puknuće cjevovoda, krivi tok (protok vode u krivom smjeru) ili pak suhi vod što implicira pojavu zraka u cjevovodu ili potpuni nestanak vode. Sve ove veličine pametni vodomjeri pokazuju na zaslonu, a putem komunikacijskih modula ovi se podaci mogu u realnom vremenu dostaviti krajnjem korisniku ili operateru vodoopskrbne mreže. Pametni vodomjeri nas upozoravaju na povećanu potrošnju. Ako povećana potrošnja nije posljedica aktivnosti, tada se radi o kvaru na vodoopskrbnim instalacijama korisnika. Ovime se već u ranoj fazi sprečavaju gubici vode na strani potrošača, a koji bi s vremenom jako narasli i koje je vodomjer registrirao, te će biti naplaćeni ili djelomično komisijski otpisani. U svakom slučaju ove gubitke treba minimizirati jer će naplaćeni dio ovih gubitka preopteretiti korisnika troškovima za nekorisno utrošenu vodu, a koji mogu biti vrlo visoki, vrlo često veći od primanja korisnika. Otpisana nekorisno utrošena voda postaje dio gubitaka vodoopskrbnog sustava.

5.3. Treća uporišna točka modela - Koncept Lean i Green menadžmenta

Treća uporišna točka za oblikovanje WALEGRIN 4.0 modela je primjena principa i alata Lean i Green menadžmenta kojim se želi unijeti potrebne promjene u ustaljenim obrascima ponašanja vodoopskrbnih organizacija radi smanjenja financijskih i organizacijskih gubitaka. Primjenom Lean principa, identifikacijom i eliminacijom gubitaka iz procesa, te primjenom adekvatnih Lean alata, ostvarit će se okruženje u kojem sve tri uporišne točke modela WALEGRIN 4.0 mogu optimalno funkcionirati. Identificirat će se ključni pokazatelji uspješnosti poslovanja KPI vodoopskrbnih organizacija radi postavljanja realnih i ostvarivih ciljeva u procesima povećanja učinkovitosti vodoopskrbnih organizacija.

Općenito, u današnjem konkurentnom okruženju, bez obzira na to radi li se o proizvodnji robe ili pružanju usluga, rukovodstvo poduzeća mora osigurati postizanje i poštivanje konačnog cilja, a to je: proizvoditi kvalitetan proizvod odnosno pružiti uslugu u pravo vrijeme u traženoj količini uz najmanje troškove. Suvremene metode i modeli upravljanja poduzećem temeljeni na smanjenju rasipanja resursa i nastanka otpada dovode do smanjenja nepotrebnih aktivnosti, dok je kontinuirani rast poduzeća moguć samo kroz usvajanje novih znanja i tehnologija, a to uključuje i suvremene metode i modele upravljanja proizvodnim sustavima (poduzećima). U suvremene metode i modele upravljanja proizvodnim sustavima spadaju i Lean menadžment i Green menadžment [175].

Prema mjerilima modernog upravljanja primjena koncepta kao što je Lean i Green menadžment smatra se neizostavnim jer je znanstvenim istraživanjima dokazano [175] da se primjenom Lean alata i načela utječe na smanjenje organizacijskih i financijskih gubitaka u poslovanju poduzeća, dok se primjenom načela Green menadžmenta utječe na smanjenje prekomjerne primjene energije i ostalih štetnih utjecaja na okoliš.

Korisnost implementacije principa i alata Lean & Green menadžmenta višestruko je znanstveno dokazana brojnim znanstvenim radovima [49], [50], [51], [54], [55], [56], [58], [60], [76], [78], [79], [84], [87], [89], [115], [174], [175], [176]. Primjena ove suvremene metode upravljanja posebno se preporučuje organizacijama koje su se odredile za kontinuirani rast i unapređenje poslovanja uvođenjem novih znanja i tehnologija [129], [130], [131]. Iz tog je razloga koncept Lean i Green menadžmenta i odabran kao uporišna točka WALEGRIN 4.0 integralnog modela.

5.3.1. Identifikacija Lean i Green gubitaka u vodoopskrbnim organizacijama

Suvremene metode i modeli upravljanja poduzećem temeljeni su na smanjenju rasipanja resursa i nastanka otpada koji ne dodaje vrijednost proizvodu ili usluzi. Radi eliminacije otpada iz vodoopskrbnih organizacija i vodoopskrbnih procesa, potrebno je provesti identifikaciju gubitaka. Definicije i opis svih osam gubitaka Lean menadžmenta prikazane su u poglavlju 3.2. Green menadžment prepoznaje sedam vrsta gubitaka, a njihove definicije i opis prikazane su u poglavlju 3.5. Pretraživanjem znanstvenih baza nisu pronađen radovi koji direktno istražuju ili identificiraju Lean i Green gubitke u djelatnosti javne vodoopskrbe. Autor ovog rada proveo je ranije istraživanje Lean i Green gubitaka u vodoopskrbnim organizacijama, te je o tome objavio i znanstveni rad [177]. Rezultati istraživanja Lean i Green gubitaka u vodoopskrbnim organizacijama su navedeni u nastavku, a prikazani su u tablicama 19 i 20, koje su dane u prilozima 3 i 4.

Prekomjerna proizvodnja;

Vodoopskrbne organizacije proizvode više vode nego što je stvarna potreba krajnjih potrošača. Zbog ranije navedenih razloga veliki problem vodoopskrbnih organizacija su gubici vode iz vodoopskrbnih sustava, a upravo gubici vode čine prekomjernu proizvodnju. U tablici 2.1 prikazana je IWA standardna bilanca potrošnje distribuirane vode, prema kojoj ovlaštena potrošnja (fakturirana i nefakturirana) je korisno utrošena voda, dok svu ostalu potrošnju smatramo gubicima. Gubitke vode dijelimo na stvarne CARL, ekonomski prihvatljive ELL i neizbježne gubitke vode UARL kako je i prikazano na slici 2.4. Održivost sustava vodoopskrbe

temelji se na ovlaštenoj potrošnji uvećanoj za ekonomski opravdanu razinu gubitaka. Ekonomski opravdana razina gubitaka nije jednoznačno definirana, već ovisi o puno faktora. Vodoopskrbne organizacije su u poziciji redovitog definiranja ekonomski opravdane razine gubitaka ELL za naredno plansko razdoblje. Dugoročno gledano, ekonomski opravdani gubici ELL trebaju imati trend kontinuiranog smanjenja sve do razine neizbježnih gubitaka.

Zalihe;

Problem prekomjernih zaliha učestali je i vrlo izražen gubitak kod vodoopskrbnih organizacija kojemu možemo pristupiti s nekoliko različitih aspekata:

- Neophodne zalihe potrebne za funkcionalno održavanje osnovne djelatnosti. Održavanje vodoopskrbne mreže koja je najvećim dijelom podzemna, posebno je zahtjevan zadatak koji zahtjeva temeljito planiranje aktivnosti, te potrebnih ljudskih i materijalnih resursa. Zbog želje da u svakom trenutku održe visoku raspoloživost vodoopskrbnog sustava, vodoopskrbne organizacije djeluju tradicionalno, gomilanjem prekomjernih zaliha po principu „za svaki slučaj“. Drugi razlog gomilanja zaliha je neučinkovitost provođenja Zakona o javnoj nabavi. Zbog složene procedure (natječaji, okvirni sporazumi, narudžbenice, rokovi isporuke) i straha od poništenja natječaja i nedostupnosti potrebnih dijelova i materijala, nabavke se maksimiziraju, a skladišta se pune nepotrebnim zalihama. Posljedično, prekomjerne zalihe angažiraju prekomjerni kapital u prekomjernom skladišnom prostoru i s prevelikim brojem skladišnih djelatnika, što kumulativno stvara velike gubitke. Česti su i otpisi neupotrebljivih zaliha zbog starosti ili neadekvatnog skladištenja. Problem prekomjernih zaliha moguće je umanjiti boljim planiranjem neizbježnih zaliha (teško dostupni rezervni dijelovi i materijali),

- Nepotrebne zalihe čine svi lako dostupni dijelovi i materijali (nalaze se na skladištima dobavljača i trgovaca) koji se koriste u indirektnim aktivnostima osnovne djelatnosti (akumulatori, gume, kancelarijski materijal i slično). Uvođenjem JIT principa (boljim ugovaranjem s dobavljačima) treba osigurati dostupnost materijala potrebnih za svakodnevne operativne aktivnosti osnovne djelatnosti.

- Nepotrebne zalihe čine i materijali i rezervni dijelovi za aktivnosti koje nisu osnovna djelatnost vodoopskrbnih organizacija (održavanje vozila i radnih strojeva, restoran društvene prehrane i slično). Ugovaranjem s vanjskim suradnicima *(engl. Outsourcing)* svih aktivnosti koje ne čine osnovnu djelatnost učinkoviti je način eliminiranja nepotrebnih i prekomjernih zaliha.

Transport;

Transportne gubitke u vodoopskrbi promatramo s dva međusobno neovisna aspekta:

- Transportni gubici u vodoopskrbnim sustavima su gubici nastali transportom i distribucijom vode od izvora (vodocrpilišta) do krajnjeg potrošača. Problem optimiranja vodoopskrbne mreže započinje već u fazi projektiranja, a provodi se matematičkim modeliranjem. Gubici se manifestiraju kao gubici vode, energije, dinamički padovi tlaka, nedovoljan protok (ustajala voda) i slično. Nakon što su cjevovodi izgrađeni, transportni se gubici kontroliraju i eliminiraju optimalnim upravljanjem vodoopskrbnim sustavom. Optimalno upravljanje se postiže mjerenjima fizikalnih i kemijskih parametara vodoopskrbnog sustava u realnom vremenu uz pomoć matematičkog modeliranja radi donošenja upravljačkih odluka.
- Transportni gubici u vodoopskrbnim organizacijama su gubici nastali prekomjernim kretanjima ljudi, vozila i radnih strojeva. Uslužna područja vodoopskrbnih organizacija u korelaciji su s veličinom urbanog teritorija čija veličina se kreče od nekoliko kvadratnih kilometara do nekoliko tisuća kvadratnih kilometara u velikim gradovima ili zajednici gradova. Za upravljanje i održavanje vodoopskrbnog sustava koriste se osobna vozila, teretna vozila i radni strojevi. Optimiranje njihovih aktivnosti provodi se kvalitetnim planiranjem i uz potporu aplikacijom za upravljanje voznim parkom (engl. Fleet management) kako je i opisano u poglavlju 5.3.7.

Čekanje;

Vodoopskrbna djelatnost se odvija 24 sata dnevno, 7 dana u tjednu, 365 dana godišnje. Prekid isporuke vodne usluge dešava se u slučajevima:

- isključenja dijelova vodoopskrbne mreže zbog sanacije kvara.
- nedovoljne kvalitete vode.

Zbog loše organizacije, izostanka standardizacije rada i nedostupnosti potrebnih dijelova i materijala, nepotrebna čekanja se javljaju kod aktivnosti:

- izgradnje priključaka;
- sanacije kvarova;
- rekonstrukcije vodoopskrbnog sustava

Nepotrebna kretanja;

Zbog loše organizacije i izostanka standardizacije rada nepotrebna kretanja se javljaju kod:

- izgradnje priključaka;

- sanacije kvarova;
- rekonstrukcija vodoopskrbnog sustava
- nepotrebnih sastanaka i drugih poslovnih događaja koji zahtijevaju sudjelovanje djelatnika s udaljenih lokacija.

Škart;

Škart u vodoopskrbom sustavu čini ukupna ne prihodovana voda Q_{NRW} (Tablica 2.1).

- Ne fakturirana ovlaštena potrošnja Q_{UAC} čini prihvatljivi dio potrošnje (voda utrošena u protupožarne svrhe i tehnološka voda). Protupožarne aktivnosti su interventne i njih nije moguće kontrolirati, pa tako niti utrošenu vodu. Tehnološka voda je voda ispuštena iz sustava vodoopskrbe radi ispiranja cjevovoda. Ispiranje cjevovoda se provodi uglavnom u perifernim dijelovima vodoopskrbne mreže gdje je potrošnja mala i gdje zbog toga voda gubi na kvaliteti (ustajala voda). Potrošnju tehnološke vode je moguće optimizirati. Sklapanjem ugovora s organizacijama koje koriste veće količine vode s hidrantske mreže (Vatrogasci, Čistoća i druge organizacije) kojim se regulira način korištenja hidrantske mreže. Uzimanjem vode na točno određenim hidrantima korisnici će zadovoljiti svoje potrebe za vodom, a istovremeno će se izvršiti funkcija ispiranja cjevovoda.
- Sva ostala potrošnja vode čini direktne gubitke vode Q_{WL} ili škart (Tabela 2.1.). Prema strukturi gubitke vode dijelimo na prividne i stvarne. Prividni gubici nastaju zbog netočnosti mjerenja potrošnje vode (vodomjeri) ili zbog neovlaštene potrošnje (krađa vode). Stvarni gubici vode nastaju zbog kvarova (lomovi i puknuća) na vodoopskrbnom sustavu. Gubici vode jedan su od temeljnih pokazatelja učinkovitosti vodoopskrbnih organizacija.

Prekomjerna obrada;

Gubici uslijed prekomjernih aktivnosti vodoopskrbnih organizacija također se mogu promatrati s nekoliko različitih aspekata:

- Crpljenje vode na bunarima vodocrpilišta mora se optimizirati. Bunari imaju svoj kapacitet koji je u korelaciji s vremenskim, hidrološkim i okolišnim prilikama. Prekomjerno crpljenje vode na bunarima može dovesti do iscrpljivanja bunara i snižavanja razine vode. Snižavanje razine vode dovodi pumpe u nepovoljan režim rada (prema QH karakteristici rada pumpi).
- Stabilizacija vodoopskrbnih sustava ostvaruje se vodospremama. Vodospreme su vodne građevine čija je temeljna funkcija reguliranje tlaka u vodoopskrbnim zonama i čija je

vremenska konstanta proporcionalna veličini vodospreme. Prekomjernim punjenjem vodosprema gubi se višak vode na preljevima.

- Vodoopskrbni sustav može funkcionirati i bez vodosprema (primjerice, Berlinski vodovod). U tom se slučaju s vodoopskrbnom mrežom upravlja visoko sofisticiranom opremom (kontinuirano regulirane pumpe, daljinski upravljani ventili i zasuni. Takve vodoopskrbne organizacije optimalno koriste raspoložive resurse, te kod njih nema prekomjerne obrade. Nažalost većina vodoopskrbnih organizacija nije na tom stupnju razvitka već se koristi vodospremama za kontrolu i stabilizaciju parametara potrošnje.

Nedovoljno korištenje potencijala zaposlenika;

Vodoopskrbne organizacije u pravilu nisu sklone promjenama. Nova znanja i dostignuća u menadžmentu i upravljanju ljudskim potencijalima nisu prepoznata kao prioriteti, te stoga nema većih pomaka na području upravljanja ljudskim potencijalima tijekom dužih razdoblja. Na nedovoljno korištenje potencijala zaposlenika dodatno može utjecati:

- neodgovarajuća organizacija i sistematizacija radnih mjesta;
- previše rukovodećih kadrova s nejasnim ulogama i odgovornostima;
- nedostatak kvalitetnog opisa poslova radnih mjesta;
- izostanak primjene ili nedostatak pravilnika o ocjenjivanju zaposlenika;
- nemogućnost pravičnog nagrađivanja zaposlenika;
- niska iskoristivost dodatnih znanja i vještina zaposlenika;
- nedostatak profesionalnog razvoja zaposlenika;
- nedostatna interna i eksterna edukacija zaposlenika;
- napredovanja koja nisu utemeljena na rezultatima rada.

Energija;

- Prekomjerna potrošnja električne energije u direktnoj je korelaciji s prekomjernom proizvodnjom vode i čini najveći financijski gubitak u vodoopskrbnim organizacijama. Smanjenje gubitaka vode znači i direktnu uštedu energije.
- Neracionalno korištenje energije. Uštede koje je moguće ostvariti optimiranjem rada pumpnih postrojenja u režimima jeftinije električne energije (punjenje vodosprema noću).
- Uštede koje je moguće ostvariti optimiranjem rada pumpnih postrojenja u režimima nestabilnosti distribucijske električne mreže. Ušteda se postiže kvalitetnim ugovaranjem s dobavljačima električne energije uvođenjem najpovoljnijeg režima. Isključivanjem ili

uključivanjem pumpnih postrojenja (veliki potrošači) prema nalogu distributera u trenucima prevelike ili nedovoljne potražnje električne energije radi stabilizacije opskrbe. Vodoopskrbni sustav će ostati stabilan sukladno vremenskim konstantama vodosprema.

- Uštede koje je moguće ostvariti korištenjem energije iz obnovljivih izvora. Zaštita vodocrpilišta od zagađenja provodi se zonama zaštite (Zakonska obaveza). Prva zona zaštite je zona vodocrpilišta čija veličina je definirana veličinom vodonosnika, te okolišnim parametrima i potencijalnim izvorima zagađenja. Vodocrpilišta su u pravilu velike površine na kojima nije dozvoljena nikakva djelatnost osim vodoopskrbne. Međutim, dozvoljena je proizvodnja električne energije u sunčanim elektranama do visine vlastite potrošnje. Vodoopskrbne organizacije ne smiju se baviti komercijalnom djelatnošću osim djelatnosti javne vodoopskrbe (Zakon o vodnim uslugama). Zbog navedenog, vodoopskrbne organizacije imaju mogućnost proizvesti i koristiti vlastitu električnu energiju iz obnovljivih izvora (sunčane foto naponske elektrane) do razine vlastite potrošnje, te tako postati zelene organizacije [117]. Pozitivni primjeri već postoje primjerice u Berlinu koji ima FNE elektranu na vodocrpilištu, a grad Zagreb je izradio idejni projekt i ishodio lokacijsku dozvolu broj 30/2014 za izgradnju sunčanu elektranu „FNE Mala mlaka“ priključne snage 9,9 MW.
- Gubici energije zbog niske energetske učinkovitosti poslovnih objekata. Vodoopskrbne organizacije koriste više vrsta poslovnih objekata u kojima se nalaze uredske prostorije, informatička oprema, laboratoriji, garaže, radionice, skladišta i slično. Zbog starosti, lošeg tekućeg i investicijskog održavanja (obnova i adaptacija), ovi poslovni objekti su u pravilu vrlo nisko energetski učinkoviti.
- Prekomjerno korištenje vozila pokretanih motorima s unutrašnjim sagorijevanjem. Vodoopskrbne su organizacije idealne za primjenu električnih vozila jer djeluju lokalno. Iako danas dostupna električna vozila imaju određenih uporabnih ograničenja za široku upotrebu, ona nemaju negativan utjecaj na rad vodoopskrbnih organizacija. Autonomija električnih vozila od približno 150 kilometara s jednim punjenjem baterije je više nego dovoljna. Vodoopskrbna vozila rijetko prijelaze više od 100 kilometara dnevno, a cijelu noć (više od 8 sati) su raspoloživa za punjenje baterije vlastitom energijom iz obnovljivih izvora.

Voda;

- Gubici vode iz vodoopskrbnog sustava detaljno su opisani u gubicima zbog prekomjerne proizvodnje;

- Gubici vode zbog niske energetske učinkovitosti poslovnih objekata vodoopskrbnih organizacija. Zbog starosti, lošeg tekućeg i investicijskog održavanja (obnova i adaptacija) ovi poslovni objekti u pravilu imaju velike gubitke vode.
- Tehnološka voda je ovlaštena ali ne i fakturirana voda ispuštena iz sustava vodoopskrbe radi ispiranja cjevovoda. Ispiranje cjevovoda se provodi uglavnom u perifernim dijelovima vodoopskrbne mreže gdje je potrošnja mala i gdje zbog toga voda gubi na kvaliteti (ustajala voda). Utrošak tehnološke vode je moguće optimizirati i većim djelom eliminirati ako tehnološku vodu dva puta iskoristimo. To ćemo postići kvalitetnijim ugovaranjem i koordiniranjem lokacija na kojima se pune vatrogasna vozila i vozila za pranje prometnica.

Materijali;

- Primjena kemijskih sredstava (klor) u procesima kondicioniranja vode na ulazu u vodoopskrbni sustav. Klor je izrazito otrovan materijal čija nabavka i korištenje zahtijeva strogu zakonom propisanu proceduru. Kondicioniranje vode fizikalnim metodama prihvatljivije je za ljude i okoliš i naravno za troškove poslovanja (jeftinije i jednostavnije).
- Upotreba cijevi za vodoopskrbne sustave od prihvatljivih materijala. Prihvatljive su cijevi izgrađene od inertnih (neškodljivih) i reciklabilnih materijala sa životnim vijekom dužim od 100 godina (primjerice, cijevi izrađene od sivog ili nodularnog lijeva). Najlošijima u dosadašnjoj praksi su se pokazale (sada već zabranjene) azbestno-cementne cijevi. Vrlo su štetne u procesu proizvodnje (azbest), životni vijek im je kraći od 40 godina i vrlo su osjetljive na poremećaje uzrokovane građevinskim i seizmičkim aktivnostima (lom), te poremećaje uzrokovane statičkim i dinamičkim tlakom (puknuće). Kod sanacije vodoopskrbnih mreža zamjenom cijevi posebno treba voditi brigu kod odabira jer je trošak cijevi manji od 10% ukupnih troškova sanacije cjevovoda.

Otpad;

- Sav otpad koji nastane pri obavljanju vodoopskrbne djelatnosti (izvođenje radova na zamjenama, rekonstrukcijama i održavanju vodoopskrbne mreže) treba uskladištiti i zbrinuti u skladu s propisanim pravilima o zbrinjavanju posebnih vrsta otpada i o tome treba voditi potrebnu dokumentaciju (očevidnici, listove o zbrinjavanju, izvješća).

Emisije;

- Voda koja se gubi iz sustava prethodno je kondicionirana. U slučaju kemijskog procesa kondicioniranja moguć je ostatak rezidualnog klora iznad dozvoljenih količina.
- Primjena radnih strojeva pokretanih motorima s unutrašnjim sagorijevanjem pri izvođenju radova na zamjenama, rekonstrukcijama i održavanju vodoopskrbne mreže druga je štetna emisija u vodoopskrbnoj djelatnosti.

Bio-raznolikost;

- Gubitak nastao prekomjernim korištenjem površinskih voda (potoci, rijeke, jezera)

Analizom identificiranih Lean i Green gubitaka kao najutjecajnije i najveće gubitke izdvajamo:
- gubitke zbog nedovoljnog korištenja potencijala zaposlenika;
- gubitke energije;
- gubitke vode iz vodoopskrbnog sustava;
- gubitke zbog prekomjernih, neadekvatnih i nekorisnih zaliha.

5.3.2. Primjena Lean i Green menadžmenta u vodoopskrbnim organizacijama

Nakon što smo identificirali Lean i Green gubitke u vodoopskrbnim organizacijama, primjenom koncepta Lean i Green menadžmenta (principi i alati) želimo identificirane financijske i organizacijske gubitke smanjiti, te stvoriti okruženje u kojem WALEGRIN 4.0 model može optimalno funkcionirati. Kroz dugi niz godina uspješna su poduzeća samoinicijativno razvijala razne vlastite, više ili manje uspješne, alate za unaprjeđenje poslovanja. Najuspješniji alati s vremenom su prepoznati, znanstveno su obrađeni i kao takvi su postali dio koncepta Lean menadžmenta. 15 vrlo korisnih alata Lean menadžmenta, koji se učestalo primjenjuju i čija korisnost je potvrđena u praksi, detaljno je opisano u poglavlju 3.5.

Istraživanjima provedenim na poduzećima u Republici Hrvatskoj autor [176] je izradio rang liste popularnosti Lean alata prema pokazateljima poduzeća. Rang liste popularnosti alata prikazane su u tablici 5.1.

Tablica 5.1: Rang liste Lean alata prema pokazateljima poduzeća [176]:

	proizvodna		uslužna	
	mikropoduzeća	**ostala** (mala, srednje velika i velika poduzeća)	**mikropoduzeća**	**ostala** (mala, srednje velika i velika poduzeća)
1	JIT	JIT	JIT	Kaizen
2	Kaizen	Kaizen	Kaizen	JIT
3	Kontinuirani tok	Standardizirani rad	Standardizirani rad	Standardizirani rad
4	Mapiranje toka vrijednosti	Kontinuirani tok	Kontinuirani tok	Mapiranje toka vrijednosti
5	TPM	Mapiranje toka vrijednosti	Mapiranje toka vrijednosti	Kontinuirani tok
6	Standardizirani rad	TPM	TPM	TPM
7	Kanban	5 S	Kanban	Kanban
8	5 S	Kanban	5 S	5 S
9	Jidoka	Jidoka	Jidoka	Jidoka
10	Poka Yoke	Poka Yoke	Poka Yoke	Poka Yoke
11	Taktno vrijeme	Taktno vrijeme	Taktno vrijeme	Taktno vrijeme
12	SMED	SMED	SMED	SMED

Za potrebe oblikovanja WALEGRIN 4.0 integralnog model iz skupa učestalo primjenjivanih i dokazanih alata odabire se sljedećih 7 alata Lean i Green menadžmenta:

- **Kaizen, koncept kontinuiranog poboljšanja;**

Kaizen odabiremo jer je dokazani i neizostavan temeljni alat Lean menadžment za poboljšanje performansi. Primjena Kaizena ubrzano generira nova poboljšanja, bez velikih kapitalnih ulaganja i bez složenih i opsežnih obveza zaposlenika. Pogodan je za sve proizvodne i uslužne procese. Prikladan je za rješavanje relativno jednostavnih problema koji ne uključuju brojne funkcije. Prikladan je i za dobro definirane procese koje je potrebno fino ugoditi.

Među najvećima i najutjecajnijim gubicima Lean menadžmenta u vodoopskrbnim organizacijama identificirali smo gubitke uzrokovane nedovoljnim korištenjem potencijala zaposlenika. Posebna vrijednost Kaizena je poticanje i motiviranje zaposlenika da aktivnim pristupom postanu integralni dio procesa koji želimo kontinuirano unaprjeđivati. Zaposlenici daju prijedloge o tome kako ispravno raditi i kako koristiti Kaizen za neophodne promjene. Kontinuirano unaprjeđenje temeljem Kaizena odvija se po principu „korak po korak“ s namjerom da se svaki problem, bez obzira na njegovu veličinu ili utjecajnost, riješi. Ovakav je pristup prema Kaizenu učinkovitiji od velikih generalnih poboljšanja. Takvim pristupom rezultati su lako i brzo uočljivi što dodatno motivira i potiče zaposlenika da predlažu nova poboljšanja. Veliki kapitalni projekti i velike promjene i dalje su potrebni, ali stvarna moć

Kaizena je u neprekidnom poboljšanju procesa i smanjenju gubitaka (otpada) iz procesa. Kaizen je moćan alat za poboljšanje koji izolira zaposlenike od svakodnevnih zadataka na nekoliko dana kako bi se mogli usredotočiti na specifične aktivnosti, kao što su isključivo rješavanje problema i provođenje poboljšanje. Primjenom Kaizena ostvaruje se sljedeće:

- Smanjenje gubitaka/otpada*;*
- Trenutno vidljivi rezultati;
- Povećanje produktivnosti;
- Smanjenje troškova;
- Povećanje motivacije zaposlenika;

- **5S, metoda;**

Kao i Kaizen, metoda 5S temeljni je i neizostavni alat Lean menadžmenta. Cilj metode 5S je ugraditi vrijednosti organizacije, urednosti, čišćenja, standardizacije i discipline na radnome mjestu. Iako se 5S metodologija na prvi pogled može poistovjetiti s aktivnostima za održavanjem reda i čistoće u proizvodnom pogonu ili uredu ona je ipak više od toga. Njezin je učinak daleko veći jer se u praksi pokazala vrlo djelotvornom i kao takva je postala jedan od temeljnih alata Lean proizvodnje koji je općenito važan za uspjeh uvođenja koncepta Lean menadžmenta u organizaciju. Primjena ove metode globalno je prihvaćena i gotovo da je obavezna prije implementacije složenijih alata kao što su TPM ili JIT. Primjenom 5S metode ostvaruje se povećanje sigurnosti, kvalitete, produktivnosti i pouzdanosti procesa.

- **TPM, potpuno produktivno održavanje;**

Temeljni cilj djelovanja vodoopskrbnih organizacija je održanje visoke raspoloživosti vodoopskrbnog sustava radi kontinuiteta isporuke vodnih usluga u traženoj količini i kvaliteti. Održavanje vodoopskrbne mreže, koja je najvećim dijelom podzemna i u pravilu starija od 40 godina, posebno je zahtjevan zadatak koji zahtjeva temeljito planiranje aktivnosti, te potrebnih ljudskih i materijalnih resursa. TPM je idealan Lean alat za primjenu u vodoopskrbnim organizacijama prvenstveno radi održavanja vodoopskrbne mreže ali i drugih vodnih građevina TPM je način upravljanja održavanjem opreme, strojeva i uređaja, a fokusiran je na povećanje efektivne kvalitete opreme i produženje životnog vijeka kroz cjelovit sustav preventivnog i prediktivnog održavanja. Posebno ističemo mjerno upravljačke komore jer su to dostupni dijelovi vodoopskrbne mreže pogodni za preventivno održavanje. Armature i regulaciona

oprema nalaze u oknima kojima se relativno jednostavno pristupa kroz otvor s poklopcem (šaht). Primjeri mjerno upravljačkih komora prikazani su na slici 5.7.

Slika 5.7: Mjerno upravljačke komore [33];

TPM također uključuje univerzalni pristup Lean menadžmenta prema kojem svi zaposlenici moraju biti uključeni u proces kako bi se ostvario održivi rezultat.

- **JIT;**

Među najvećima i najutjecajnijim gubicima Lean menadžmenta u vodoopskrbnim organizacijama identificirali smo gubitke uzrokovane prekomjernim zalihama. Radi eliminiranja gubitaka uzrokovanih prekomjernim i nepotrebnim zalihama, odabiremo JIT alat koji je razvijen prvenstveno s ciljem ostvarenja proizvodnje bez zaliha (skladišta). To je moguće postići tako da dobavljači dostavljaju sirovine, materijal i dijelove u količini i kvaliteti sinkronizirano s potrebama proizvodnje ili u ovom slučaju vodoopskrbnog procesa. Prilikom identifikacije Lean gubitaka u vodoopskrbnim organizacijama identificirali smo tri vrste zaliha:

- Neophodne zalihe, potrebne za funkcionalno održavanje osnovne djelatnosti.
- Nepotrebne zalihe koje čine svi lako dostupni dijelovi i materijali, a koji se nalaze na skladištima dobavljača i trgovaca i koji se koriste u indirektnim aktivnostima osnovne djelatnosti (akumulatori, gume, kancelarijski materijal i slično).

- Nepotrebne zalihe, koje čine materijali i rezervni dijelovi za aktivnosti koje nisu osnovna djelatnost vodoopskrbnih organizacija (održavanje vozila i radnih strojeva, restoran društvene prehrane i slično).

Uvođenjem JIT principa smanjit će se, do razine neophodnih, sve prekomjerne i nepotrebne zalihe radi povećanja učinkovitosti koje se manifestira kao smanjenje troškova, smanjenje škarta, bolja kvaliteta, fleksibilnost procesa i veća produktivnost.

- **Standardni rad;**

Standardizirani rad se temelji na trenutno najboljoj praksi za obavljanje pojedinih procesa. Dosljedno primjenjujući najbolju (standardiziranu) praksu uklanjaju se gubici iz procesa, stabilizira se kvaliteta i stvara temelj za buduća poboljšanja. Vodoopskrbna djelatnost po svojoj komunalnoj prirodi je vrlo stabilna i nije podložna promjenama potaknutim vanjskim utjecajima kao što je to slučaj kod drugih komercijalnih proizvoda. Naprotiv, većina je parametara poslovanja propisana zakonima ili pod zakonskim aktima, a procesi se odvijaju rutinski. Prema navedenome, gotovo svi procesi u vodoopskrbnim organizacijama su idealni za primjenu standardnog rada (laboratorij, hitne intervencije, odnosi s korisnicima, upravljanje ljudskim potencijalima, održavanje i slično).

Primjenom standardnog rada stabilizira se kvaliteta procesa, pronalaze se rješenja za poboljšanja. Dokumentiranjem poboljšanja postavljaju se novi unaprijeđeni standardi za obavljanje tih procesa.

- **Postavljanje ciljeva;**

Izradom planova poslovanja vodoopskrbne organizacije postavljaju ciljeve i unapređenja koje treba ostvariti u narednom planskom razdoblju. Kako bi mogli pratiti realizaciju, upravljati procesima i dokazati izvršenje postavljenih ciljeva, potrebno je identificirati ključne pokazatelje uspješnosti poslovanja. Mjerenjem i komparativnom analizom KPI-a, vodoopskrbne organizacije će moći usporediti ostvarenja tekućeg razdoblja s ostvarenjima prethodnog razdoblja. Mjerenjem ključnih pokazatelja poslovanja KPI vodoopskrbne organizacije dolaze do korisnih informacija i podataka potrebnih u procesu donošenja odluka.

- **5 Puta Zašto;**

Iako ovaj alat nije neophodan za funkcioniranje WALEGRIN 4.0 modela, odabran je iz razloga praktičnosti. Vodoopskrbni sustavi nemaju homogenost problematike, pa se rješenja problema

ne mogu univerzalno primjenjivati. Svaka je lokacija specifična po svojim karakteristikama (starost, primijenjeni materijali, utjecaj prometa, utjecaj druge komunalne infrastruktura, raspoloživost prostora i slično), pa su i rješenja često unikatna. Metoda 5 puta zašto vrlo je učinkovita u rješavanju pojedinačnih problema, a uspješno koristi i potencijal zaposlenika.

5.3.3. KPI-Ključni pokazatelji uspješnosti poslovanja vodoopskrbnih organizacija

Propisani ključni pokazatelji uspješnosti poslovanja KPI *(engl. Key Performance Indicators)* vodoopskrbnih organizacija i njihovo praćenje definirani su Uredbom o mjerilima ekonomičnog poslovanja isporučitelja vodnih usluga[28]. Svaka je vodoopskrbna organizacija dužna do 1. lipnja tekuće godine, dostaviti Vijeću za vodne usluge podatke o ekonomičnosti u djelatnostima javne vodoopskrbe i javne odvodnje za prethodnu godinu. Analizom propisanih podataka možemo uočiti da uglavnom ovi podaci nemaju obilježja pokazatelja poslovanja KPI, već se radi o atributnim pokazateljima (AP) koji opisuju karakteristike vodoopskrbnog sustava odnosno vodoopskrbne organizacije. Atributni pokazatelji su korisni kod izvještavanja jer opisuju veličinu i karakteristike vodoopskrbne organizacije ili vodoopskrbnog sustava ali se ne mogu korisno upotrijebiti u upravljanju postavljanjem ciljeva, kao što to mogu KPI. Primjerice, pokazatelj 1.1. „Broj nekretnina priključenih na sustav javne vodoopskrbe“ atributni je pokazatelj koji ovisi o veličini uslužnog područja, a ne govori o ostvarenjima razdoblja. Upravljanje ciljevima zahtijeva uspostavu adekvatne metrika koja nam omogućuje usporedbu ostvarenja tekućeg razdoblja s ostvarenjima prethodnih ili planovima budućih.

Propisana mjerila ekonomičnog poslovanja podijeljena su u 6 kategorija. Vodoopskrbne se organizacije razlikuju zbog karakteristika uslužnog područja (gusto ili rijetko naseljeno područje, brdovito ili ravničarsko područje, kamenito ili pjeskovito područje i slično). Razlikuju se po veličini, odnosno po broju priključaka, te se razlikuju po primijenjenoj tehnologiji i starosti sustava. S tim u vezi možemo zaključiti da ne postoje dvije jednake vodoopskrbne organizacije. Zato su predloženi novi ključni pokazatelji poslovanja koji mogu biti vrlo korisni vodoopskrbnim organizacijama za internu i eksternu komparativnu analizu i postavljanje ciljeva. Upravljanje ciljevima zahtijeva primjenu adekvatne metrika koja će nam omogućiti usporedbu ostvarenja tekućeg razdoblja s ostvarenjima prethodnih ili planovima budućih razdoblja. Razdoblja praćenja mogu biti dnevna, mjesečna, godišnja, petogodišnja ili

[28] Uredba o mjerilima ekonomičnog poslovanja isporučitelja vodnih usluga (Narodne novine, broj 112/10)

neko drugo dugo-ročno razdoblje. Predloženi novi ključni pokazatelji poslovanja dodani su kao 7. kategorija, a prikazani su u tablici 9.2 u prilogu broj 2.

Propisana mjerila ekonomičnog poslovanja isporučitelja vodnih usluga:

1. **Stupanj pokrivenosti vodnim uslugama:**
   1.1. Javna vodoopskrba (%), broj nekretnina priključenih na sustav javne vodoopskrbe / ukupan broj objekata (nekretnina).
   1.2. Javna odvodnja (%),broj nekretnina priključenih na sustav javne odvodnje / ukupan broj objekata (nekretnina).
2. **Količina isporučenih vodnih usluga:**
   2.1. Količina proizvedene (crpljene) vode u m^3 (u danima, mjesecima, godini) na vodoopskrbnom / uslužnom području u odnosu na ukupan broj stanovnika.
   2.2. Količina isporučene vode u m^3 u odnosu na ukupan broj stanovnika i broj priključaka (po kategorijama potrošača).
   2.3. Količina zbrinute otpadne vode (ispuštene pročišćene i ispuštene ne pročišćene) u m^3 u (danima, mjesecima, godini) na uslužnom području u odnosu na ukupan broj stanovnika i broj priključaka.
3. **Količina fakturirane usluge javne vodoopskrbe:**
   3.1. Nefakturirana usluga javne vodoopskrbe (%) = (isporučena ukupna količina vode – količina fakturirane usluge javne vodoopskrbe (vode)) / isporučena ukupna količina vode
   3.2. Gubici vode (m^3 nefakturirane vode / km mreže / danu i/ili broju priključaka)
4. **Kvaliteta vodnih usluga:**
   4.1. Lomovi/puknuća / km mreže (odvojeno za lomove i puknuća)
   4.2. Broj sati prekida isporuke usluge javne vodoopskrbe / ukupan broj sati isporuke usluge javne vodoopskrbe tijekom godine (ili u 1 danu)
   4.3. Broj nesukladnih uzoraka vode / otpadne vode u odnosu na broj ukupnih uzoraka
   4.4. Isti pokazatelj od ovlaštenog laboratorija neovisnog o isporučitelju vodne usluge
   4.5. Broj riješenih prigovora na kvalitetu vodnih usluga u roku 15 dana (ili broj prigovora u odnosu na broj priključaka / broj zaprimljenih prigovora
5. **Troškovi:**
   5.1. Troškovi usluga javne vodoopskrbe i javne odvodnje / ukupni troškovi poslovanja i to:
   a) Troškovi usluga javne vodoopskrbe / ukupni troškovi poslovanja / ukupno

isporučena količina vode; b) Troškovi usluga javne vodoopskrbe / ukupni troškovi poslovanja / ukupno zahvaćena količina vode; c) Troškovi usluge javne odvodnje / ukupni troškovi poslovanja / ukupna količina zbrinute otpadne vode (ispuštene pročišćene i ispuštene nepročišćene)

5.2. Troškovi usluge javne odvodnje / broj stanovnika koji imaju priključak na javnu odvodnju

5.3. Ukupni broj radnika u odnosu na broj priključaka (javna vodoopskrba + javna odvodnja) i odvojeno

5.4. Ukupni troškovi radnika / broj priključaka (javna vodoopskrba + javna odvodnja) i odvojeno

5.5. Broj radnika javne vodoopskrbe / ukupni broj radnika

5.6. Broj radnika javne odvodnje / ukupni broj radnika

5.7. a) Ukupni troškovi radne snage / ukupni troškovi poslovanja; b) troškovi električne energije / ukupni troškovi poslovanja; c) troškovi tekućeg održavanja / ukupni troškovi poslovanja; d) troškovi amortizacije / ukupni troškovi poslovanja; e) ostali materijalni troškovi / ukupni troškovi poslovanja

5.8. Stupanj pokrivenosti troškova vodnih usluga (prihod redovne djelatnosti / ukupni troškovi redovne djelatnosti)

6. Zaduženost i kapital:

6.1. Stupanj zaduženosti

6.2. Kapital društva /broju stanovnika na uslužnom području

7. Prijedlog novi ključnih pokazatelja uspješnosti poslovanja KPI:

Radi boljeg upravljanja gubicima vode, te radi učinkovitijeg otklanjanja gubitaka prema Lean i Green menadžmentu predloženo je 20 novih ključnih pokazatelja poslovanja KPI za vodoopskrbne organizacije. Predloženi KPI-ovi su objedinjeno prikazani u tablici 9.2 u prilogu.

5.3.4. Unapređenja temeljena na konceptu Lean i Green menadžmenta

U nastavku su dane smjernice za smanjenje identificiranih organizacijskih i tehničkih nedostataka u vodoopskrbnim organizacijama:

1. Smjernice za smanjenje gubitaka energije

Iako su gubici energije najveći financijski gubitak vodoopskrbnih organizacija, oni su direktna posljedica gubitaka vode i energetskog potencijala svakog izgubljenog m^3 vode. Zbog toga vodoopskrbne organizacije poduzimaju niz mjera za podizanje energetske učinkovitosti pumpnih postrojenja vodoopskrbnog sustava (uređaji za meki start pumpi, kontinuirana regulacija pumpi, optimiranje rada pumpi). Na pumpnim se postrojenjima vodoopskrbnih organizacija troši više od 80%[29] ukupne potrošnje električne energije vodoopskrbne organizacije. Neke od spomenutih mjera opisane su u poglavlju (5.4.1). Međutim, ovaj rad se ne bavi optimizacijom rada pumpnih postrojenja, pa se taj aspekt neće dalje analizirati. Predmet ovog rada su gubici procesa koje je moguće smanjiti ili eliminirati primjenom WALEGRIN 4.0 modela.

Ranije smo naveli da gubici energije koreliraju s gubicima vode zbog potencijalne energije koju unosimo u vodu na pumpnim postrojenjima. Svaki prostorni metar vode koji ulazi u vodoopskrbni sustav nosi točno određenu količinu energije definiranu parametrima tog sustava. Temeljem navedenog možemo zaključiti da ćemo smanjenjem gubitaka vode u vodoopskrbnom sustavu direktno smanjiti i potrošnju električne energije mjerno predloženim ključnim pokazateljem uspješnosti KPI – Potrošnja električne energije prema zahvaćenoj vodi Q [Kwh/m^3].

Daljnje smanjenje energije ili bolje rečeno troškova energije moguće je ostvariti vlastitom proizvodnjom električne energije iz obnovljivih izvora. Primjenom potpune energetske učinkovitosti troškove električne energije vodoopskrbnog sustava moguće je eliminirati.

Učinkovitost sustava javne vodoopskrbe na području gubitaka energije pratimo pomoću propisanih ključnih pokazatelja poslovanja KPI navedenih u poglavlju 5.3.3. Radi kvalitetnijeg otklanjanja gubitaka energije, dodatno se predlaže upotreba sljedećih ključnih pokazatelja poslovanja KPI:

- Utrošak električne energije prema prihodovanoj vodi Q_{RW} [Kwh/m^3]
- Utrošak električne energije prema zahvaćenoj vodi Q [Kwh/m^3]
- Utrošak električne energije na 1000 priključaka [Kwh/1000_{WSC}]
- Utrošak električne energije po kilometru vodoopskrbne mreže [Kwh/km_{WSN})

[29] Prema podacima VIO d.o.o. Zagreb za 2018. godinu, potrošnja električne energije na vodocrpilištima je iznosila 80,6% od ukupne potrošnje električne energije.

- Udio električne energije iz vlastitih obnovljivih izvora u ukupno utrošenoj električnoj energiji [%]

2. Smjernice za bolje korištenje potencijala zaposlenika

Nedovoljno korištenje potencijala zaposlenika u vodoopskrbnim organizacijama detaljno je opisano u poglavlju 5.3.1. Bolje korištenje potencijala zaposlenika važan je i neizostavan proces za oblikovanje integralnog modela WALEGRIN 4.0. Primjenom principa i alata Lean i Green menadžmenta, bitno utječemo na bolje korištenje potencijala zaposlenika jer predloženi Lean i Green alati već se u svojoj biti oslanjaju na potencijal zaposlenika. Primjerice, temeljni alat Lean menadžmenta Kaizen, koji je metodologija kontinuiranog unapređenja u koju su uključeni svi zaposlenici, od radnika na liniji do menadžera. Uključenost zaposlenika u procese digitalizacije poslovanja i primjenu metode rane indikacije gubitaka vode, te ostale procese kontinuiranog poboljšanja mjerit će se brojem predloženih i brojem realiziranih prijedloga. Isto vrijedi i za ostale predložene alate, 5S, TPM, JIT, Standardni rad, Postavljanje ciljeva KPI i metoda 5 puta Zašto (poglavlje 5.3.2) koje koristimo u integralnom modelu WALEGRIN 4.0. Učinkovitost sustava javne vodoopskrbe na području boljeg korištenja potencijala zaposlenika pratimo pomoću propisanih ključnih pokazatelja poslovanja KPI navedenih u poglavlju 5.3.3. Radi boljeg korištenja potencijala zaposlenika, dodatno se predlaže upotreba sljedećih ključnih pokazatelja poslovanja KPI:

- Broj djelatnika vodoopskrbe na 1000 priključaka [$1/1000_{WSC}$]
- Broj djelatnika vodoopskrbe po kilometru vodoopskrbne mreže [$1/\ km_{WSN}$]
- Broj direktnih djelatnika prema ukupnom broju djelatnika vodoopskrbe [%]

3. Smjernice za smanjenje gubitaka vode

Značaj gubitaka vode iz vodoopskrbnih sustava opisan je detaljno u poglavlju Testiranje modela na smanjenju gubitaka vode iz vodoopskrbnih sustava izvršeno je testiranjem mogućnosti i učinkovitosti metode rane indikacije gubitaka vode na stvarnom modelu pametne DMA zone opisanom u poglavljima 6.1 i 6.2. Temeljem provedenog testiranja realnog modela pametne DMA zone je dokazano da se primjenom modela WALEGRIN 4.0 mogu pratiti stvarni gubici vode u realnom vremenu, te da se značajno mogu smanjiti gubici vode iz vodoopskrbnog sustava.

Učinkovitost sustava javne vodoopskrbe na području gubitaka vode Q_{NRW} pratimo pomoću propisanih ključnih pokazatelja poslovanja KPI navedenih u poglavlju 5.3.3. Radi kvalitetnijeg

upravljanja gubicima vode, dodatno se predlaže upotreba sljedećih ključnih pokazatelja poslovanja KPI:

- $Q_{NRW\ /\ KMWSN}$ Stvarni gubitak vode po kilometru mreže [m^3 /km_{WSN}];
- $Q_{NRW\ /\ 1000WSC}$ Stvarni gubitak vode na 1000 priključaka [m^3/1000_{WSC}];

4. Smjernice za bolje upravljanje zalihama

Problem prekomjernih zaliha učestali je i vrlo izražen gubitak kod vodoopskrbnih organizacija kojemu možemo pristupiti s nekoliko različitih aspekata. Primjenom principa i alata Lean menadžmenta smanjit ćemo (količinski i vrijednosno) količinu zaliha potrebnih za funkcionalno održavanje osnovne djelatnosti javne vodoopskrbe (prijedlozi poboljšanja opisani su u poglavlju 5.3.1.). Nepotrebne zalihe ćemo eliminirati primjenom JIT principa poslovanja, te planiranjem aktivnosti primjenom TPM–a i standardnog rada. Učinkovitost sustava javne vodoopskrbe na području boljeg upravljanja zalihama pratimo pomoću propisanih ključnih pokazatelja poslovanja KPI navedenih u poglavlju 5.3.3. Radi boljeg upravljanja zalihama, dodatno se predlaže upotreba sljedećih ključnih pokazatelja poslovanja KPI:

- Vrijednost zaliha na 1000 priključaka [kn/1000_{WSC}]
- Vrijednost zaliha po kilometru vodoopskrbne mreže [kn/ km_{WSN}]
- Vrijednost zaliha prema ukupnom prihodu vodoopskrbe [%]
- Vrijednost zaliha tekućeg razdoblja prema vrijednosti zaliha prethodnog razdoblja [%]

5. Smjernice za unaprjeđenje CRM procesa;

Primjenom integralnog modela WALEGRIN 4.0 uvest će se CRM *(engl. Customer Relationship Management)* sustav pomoću kojeg aktivno upravljamo odnosima s kupcima u procesima ugovaranja, prodaje i naplate, te reklamacijama kako je i opisano u poglavlju 5.2.7.

Primjenom SMART vodomjera u procesu obračuna i naplate korisno utrošene vode Q_{RW} potrošačima će se ispostavljati računi isključivo temeljem stvarnog i točnog očitanja vodomjera. Radi toga će se radikalno smanjiti broj reklamacija zbog loše procjene potrošnje. Upravo reklamacije računa uzrokovane krivom procjenom potrošnje imaju najveći dio u ukupnom broju reklamacija. Posljedično smanjit će se i broj indirektnih djelatnika koji rade u odjelu za odnose s korisnicima, te će se smanjiti i broj djelatnika u računovodstvu koji rade pojedinačne ispravke računa po prihvaćenim reklamacijama. Smanjit će se i svi pripadajući indirektni troškovi. SMART vodomjeri su potpora CRM sustavu u djelu informiranja korisnika

i mogućnosti upravljanja osobnom potrošnjom. Prednosti i dodatne napredne funkcije SMART vodomjera opisane su u poglavlju 5.2.7. Jedna od dodatnih naprednih funkcija SMART vodomjera je i detekcija gubitaka vode na strani potrošača. Smanjenjem gubitaka vode na strani potrošača smanjit će se i otpis nekorisno utrošene vode, a koji je u konačnici dio gubitaka vode vodoopskrbnog sustava. Učinkovitost sustava javne vodoopskrbe na području boljih odnosa s korisnicima primjenom CRM-a pratimo pomoću propisanih i predloženih ključnih pokazatelja poslovanja KPI:

- Broj prigovora (reklamacija) na 1000 priključaka [1/1000 $_{WSC}$]
- Broj prigovora (reklamacija) po kilometru vodoopskrbne mreže [1/km$_{WSN}$]
- Broj prigovora (reklamacija) tekućeg razdoblja prema broju prigovora (reklamacija) prethodnog razdoblja [%]

5.4. Integralni model povećanja učinkovitosti javne vodoopskrbe WALEGRIN 4.0

Integralni model temelji s na tri osnovna koncepta. Temeljni koncept dobre vodoopskrbne prakse podupiru, koncept Lean i Green menadžmenta i koncept Industrije 4.0, a svaki se koncept sastoji od odabranih sastavnica kako je i opisano u poglavljima 5.1., 5.2. i 5.3.. Integralni model WALEGRIN 4.0 ima sljedeću strukturu:

I WLTF - Primjeri dobe vodoopskrbne prakse:

1. IWA bilanca vode;
2. Aktivno upravljanje gubicima vode;
3. DMA zoniranje sustava;
4. BABE, metoda;
5. LLP, metoda.

II Lean i Green menadžment:

1. Kaizen;
2. 5S, metoda;
3. TPM, potpuno produktivno održavanje;
4. JIT, upravo na vrijeme;
5. Standardni rad;
6. KPI, postavljanje ciljeva
7. 5 puta zašto, metoda.

III Industrija 4.0:

1. CPS vodoopskrbni sustav;
2. 3P, podaci u realnom vremenu;
3. Aplikativna potpora;
4. Rana indikacija gubitaka vode;
5. GIS, Geo informacijski sustav;
6. Fleet menadžment;
7. CRM sustav.

konačni oblik integralnog model za povećanje učinkovitosti javne vodoopskrbe WALEGRIN 4.0 prikazan je na slici 5.8.

Slika 5.8: Integralni model WALEGRIN 4.0;

6. VALIDACIJA WALEGRIN 4.0 MODELA

Validacijom će se provjeriti praktična valjanost i učinak primjenjivosti integralnog modela WALEGRIN 4.0. Validacija će se provesti:

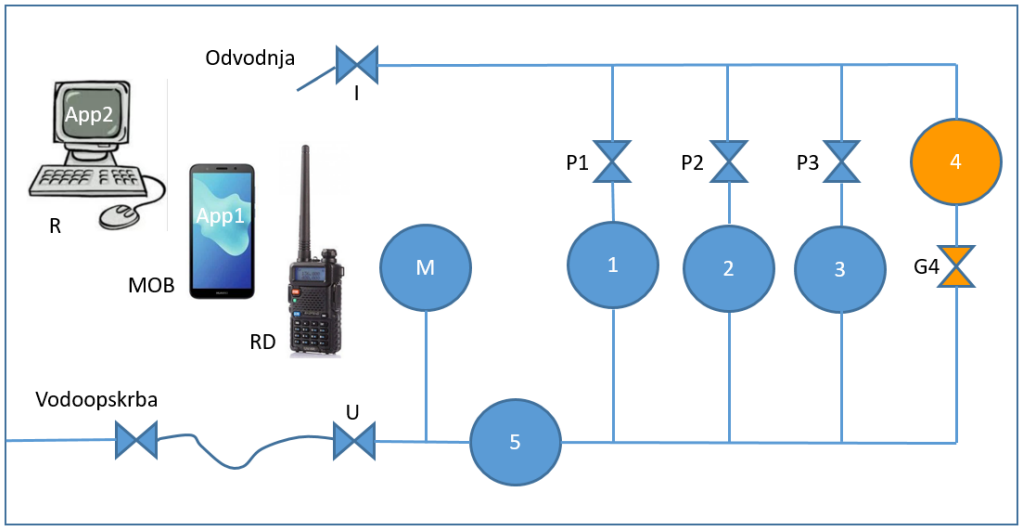
- Testiranjem valjanosti metode rane indikacije gubitaka vode RIGV, mjerenjima na stvarnom modelu pametne DMA zone.
- Testiranjem mogućnosti metode rane indikacije gubitaka vode RIGV, analizom informacija dobivenih obradom podataka mjerenja na stvarnom modelu pametne DMA zone.
- Testiranjem učinkovitosti metode rane indikacije gubitaka vode izračunom mogućih ušteda vode na primjerima simuliranih kvarova.

Validacija se neće provoditi za dobru vodoopskrbnu praksu, kao niti za koncept Lean i Green menadžmenta čija je valjanost primjene dokazana u značajnom broju znanstvenih radova.

6.1. Testiranje modela pametne DMA zone

Metoda rane indikacije gubitaka vode opisana je u poglavlju 5.2.4, a temelji se na određivanju stvarne veličine gubitaka vode u DMA zoni mjerenjima potrošnje vode u zadanom razdoblju. Mjerenja se vrše istovremeno na ulazu u DMA zonu, te pomoću SMART vodomjera na izlazu iz DMA zone. Stvarni i relativni gubici vode (KPI) u DMA zoni određuju se računski za zadano razdoblje. Testiranje metode rane indikacije gubitaka vode RIGV provest će se mjerenjima na stvarnom modelu pametne DMA zone.

6.2. Opis stvarnog modela pametne DMA zone



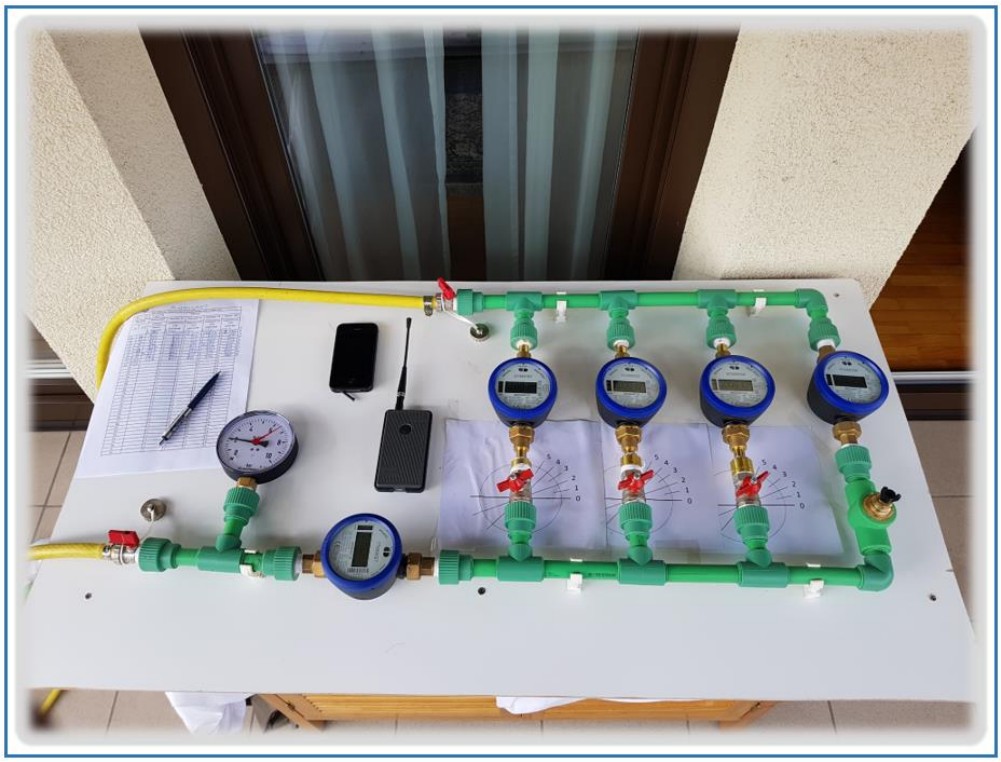
Slika 6.1: Shema modela pametne DMA zone;

Model pametne DMA zone sastoji se od elemenata navedenih u tablici 6.1, a njegova je shema prikazana na slici 6.1.

Tablica 6.1: Elementi modela pametne DMA zone;

Naziv	Oznaka	Funkcija
Ulazna slavina	U	Priključak na sustav javne vodoopskrbe
Manometar	M	Mjeri radni tlak u modelu
Glavni vodomjer	5	Mjeri količinu vode na ulazu u DMA zonu
Vodomjeri potrošača	1,2,3	Mjeri potrošnju na strani potrošača
Vodomjer gubitaka	4	Kontrolna funkcija
Slavine potrošača	P1, P2, P3,	Simulacija korisne potrošnje vode
Ventil gubitaka	G4	Simulacija gubitaka vode
Izlazna slavina	I	Priključak na sustav odvodnje
Čitač (*engl. Reader Device*)	RD	Očitavanje vodomjera
Mobitel	MOB	Upravlja / očitavanjem / spremanjem podataka
Računalo	R	Spremanje podataka / analiza podataka

Prema skici modela prikazanoj na slici 6.1, izrađen je stvarni model pametne DMA zone.



Slika 6.2: Stvarni model pametne DMA zone;

Pri izradi modela korišteni su SMART vodomjeri, aplikacije i ostala oprema navedena u tablici 6.2. Ispitivanja modela trajala su nekoliko dana, a provedena su u laboratoriju Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.

Tablica 6.2: Oprema korištena u modelu pametne DMA zone;

Naziv	Oznaka	Identifikacija
Manometar	M	Afriso – EN 837-1
Glavni vodomjer	5	Kamstrup; Multical 21; 77869627
Vodomjer potrošača 1	1	Kamstrup; Multical 21; 57349165
Vodomjer potrošača 2	2	Kamstrup; Multical 21; 57349163
Vodomjer potrošača 3	3	Kamstrup; Multical 21; 57349164
Vodomjer gubitaka	4	Kamstrup; Multical 21; 57349166
Čitač (*engl. Reader device*)	RD	Kamstrup; READy Converter; 66504260
Mobitel*	MOB	Samsung S8
*Aplikacija	App1	Kamstrup; READy App
Računalo**	R	HP – Elite note
**Aplikacija	App2	Kamstrup; READy Manager /trial version

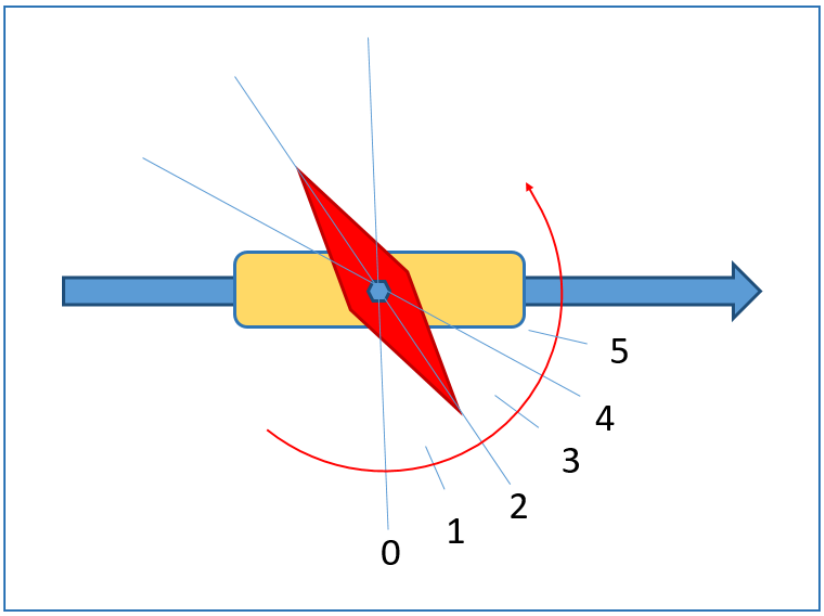
6.3. Opis mjerenja na modelu pametne DMA zone

Mjerenja se provode tako da se mobitelom, na kojem je instalirana aplikacija READy App i koji je uparen sa READy Čitačem RD, daje nalog čitaču RD da izvrši očitanja SMART vodomjera. Za očitanje Svih 5 vodomjera unutar jednog ciklusa mjerenja potrebno je od 5 do 10 sekundi (ovisno o uvjetima u bežičnoj komunikaciji čitač RD - Vodomjer). Mobitelom se također daje nalog READy App aplikaciji da podatke mjerenja, proslijedi putem interneta na računalo gdje se zapisuju u bazu podataka READy Manager aplikacije (slika 9.1 u prilogu 6).

Planom ispitivanja modela pametne DMA zone predviđeno je ispitivanje 4 različita slučaja simulacije gubitaka vode i to:

1. Ispitivanje modela kod stacionarnih gubitka vode u DMA zoni;
2. Ispitivanje modela kod sporo rastućih gubitka vode u DMA zoni;
3. Ispitivanje modela kod umjereno rastućih gubitka vode u DMA zoni;
4. Ispitivanje modela kod brzo rastućih gubitka vode u DMA zoni;

Model pametne DMA zone je stavljen u funkciju priključivanjem na vodovodnu mrežu i sustav odvodnje. Prije početka mjerenja izvršeno je postavljanje modela u početni položaj koji je najsličniji uvjetima u vodoopskrbnoj mreži. Postavljanje modela je izvršeno tako da su slavine potrošača P1, P2, P3 i ventil gubitaka G4 otvoreni, a nakon nekoliko sekundi slobodnog protoka vode, pomoću izlazne slavine I podešen je radni tlak vode u modelu na 2,0 bara. Nakon toga je ventil gubitaka G4 zatvoren. Slavine potrošača P1, P2 i P3, kojima se simuliraju navike potrošača vode, stavljene su u položaj 2 (položaj s najvećom frekvencijom - MOD) prikazan na slici 6.3. Relativni gubici vode su približno podešeni na istu razinu potrošnje postupnim odvrtanjem ventila gubitaka G4 za kut α (slika 6.4). Kada su gubici vode ujednačeni s potrošnjom svakog potrošača, a što čini približno 25% ukupne potrošnje u DMA zoni, postavljanje modela u početni položaj je završeno. Navike potrošača se raspodjeljuju po pozitivno asimetričnoj raspodjeli, te slavine potrošača P1, P2 i P3 zauzimaju jedan od 6 mogućih položaja kojima se definira njihov status (slika 6.3).



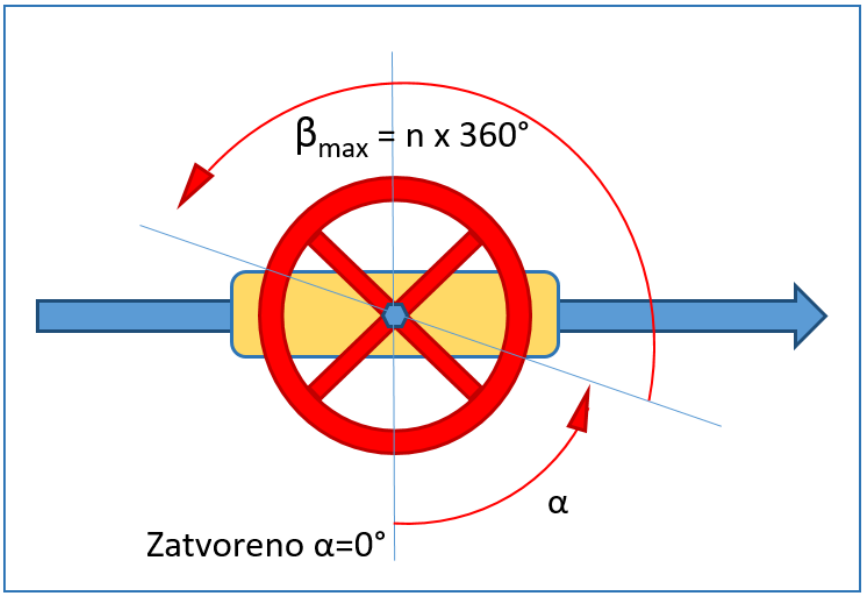
Slika 6.3: Položaj slavine potrošača (P1,P2 i P3) – simulacija korisne potrošnje vode;

Nakon početnog postavljanje modela, izvršeno je 36 mjerenja u intervalima od 5 minuta. Sukladno planu, prvim i drugim mjerenjem potvrđuje se početno podešenje modela jer nije bilo promjena statusa (položaja otvorenosti) slavina. Nakon svakog sljedećeg mjerenja, slavinama potrošača P1, P2 i P3 mijenja se status. Slučajnim odabirom[30], simulira se promjena korisne potrošnje postavljanjem slavina potrošača u jedan od 6 mogućih položaja označenih brojevima

[30] Slučajni odabir statusa slavina potrošača (jedan od 6 mogućih položaja) izvršen je pomoću računala.

0, 1, 2, 3, 4 ili 5 (slika 6.3). Planovi promjene statusa slavina potrošača P1, P2 i P3, te ventila gubitaka G4 za svako mjerenje prikazani su u tablicama 9.5, 9.6, 9.7 i 9.8 u prilogu 5. Prilikom ispitivanja modela DMA zone u slučaju simulacije stacionarnih gubitaka vode u DMA zoni, status ventila gubitaka G4 je nepromijenjen (α = konstantno ≈ 30°). Kod ispitivanja modela pametne DMA zone za slučajeve s rastućim gubicima vode, ventil gubitaka G4 ostaje nepromijenjen tijekom prvih 15 mjerenja, a od 16. mjerenja mijenja status postupnim otvaranjem (slika 6.4), kojim se simuliraju rastući gubici vode. Status ventila gubitaka G4 mijenja se, nakon svakog provedenog ciklusa mjerenja, ravnomjernim odvrtanjem ventila u koracima od 1/n β_{max}, i to za:

1. n =20 koraka do maksimalne otvorenosti ventila (položaj β_{max}), za sporo rastuće gubitke;
2. n =12 koraka do maksimalne otvorenosti ventila (položaj β_{max}), za umjereno rastuće gubitke;
3. n =5 koraka do maksimalne otvorenosti ventila (položaj β_{max}), za brzo rastuće gubitke.



Slika 6.4: Položaj ventila gubitaka G4 – simulacija gubitaka vode;

Nakon što su izvršeni svi ciklusi mjerenja za sva 4 slučaja, podaci su konvertirani iz READy Manager aplikacije u Excel aplikaciju radi daljnje analize i obrade. U excel tablicama 9.9, 9.10, 9.11, i 9.12, koje su dane u prilogu 6 prikazana su očitanja, za sva 4 testirana slučaja tijekom ispitivanja modela pametne DMA zone.

6.4. Analiza i obrada izmjerenih podataka

Izmjereni podaci na modelu pametne DMA zone (stanje vodomjera) prikazuju kumulativnu potrošnju vode za svaki vodomjer. Iz tog je razloga potrebno daljnjom obradom podataka izračunati korisne informacije.

Potrošnja vode za svako razdoblje (n) i za svaki vodomjer (i) izračunava se tako da se od iznosa očitanja oduzme iznos prethodnog očitanja prema izrazu:

$$\text{Potrošnja razdoblja } i_n = \text{Očitanje } i_n - \text{Očitanje } i_{n-1}; \quad \text{za } (i = 1 \text{ do } 5), (n = 1 \text{ do } 36) \qquad (6.1)$$

Potrošnja utvrđena za glavni vodomjer 5 predstavlja količinu vode Q na ulazu u DMA zonu, a potrošnja za vodomjere 1, 2 i 3 predstavlja količinu korisno utrošene vode Q_{RW} na izlazu iz DMA zone (korisnička potrošnja).

Stvarni gubici vode Q_{WL} svakog razdoblja izračunavaju se prema sljedećem izrazu:

$$(Q_{WL})_n = Q5_n - [(Q_{RW}1)_n + (Q_{RW}2)_n + (Q_{RW}3)_n] \quad [m^3/\text{razdoblju}]; \quad \text{za } (n = 1 \text{ do } 36) \qquad (6.2)$$

Stvarni gubici razdoblja utvrđeni temeljem očitanja vodomjera gubitaka 4 imaju isključivo funkciju kontrole izračuna stvarnih gubitaka razdoblja i ne koriste se u izračunima.

Relativni gubici svakog razdoblja WL izračunava se dijeljenjem stvarnog gubitka tog razdoblja s ukupnom količinom vode koja je ušla u DMA zonu u istom razdoblju i to prema sljedećem izrazu:

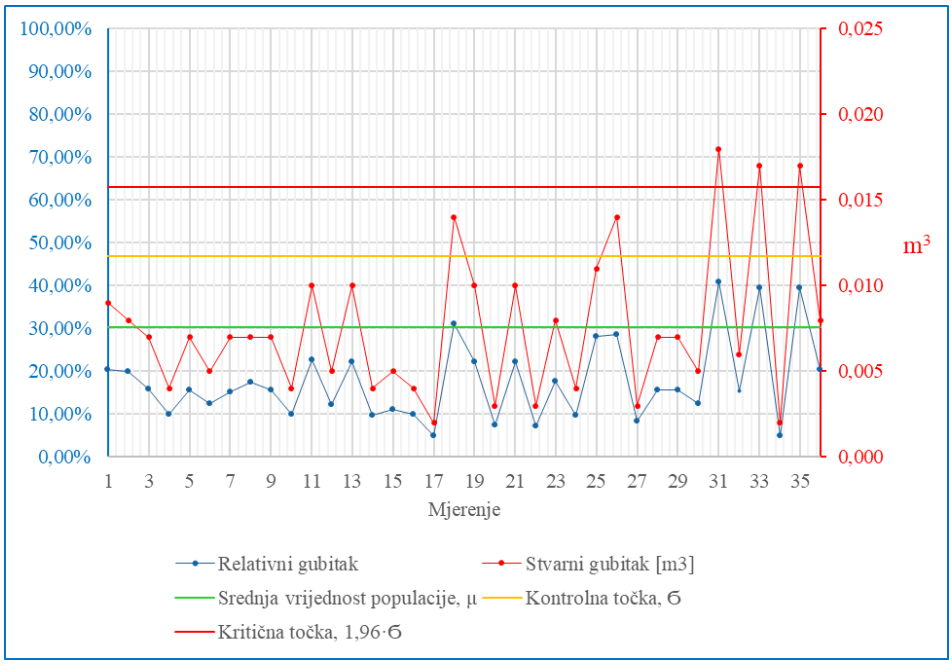
$$WL_n = (Q_{WL})_n / Q_n; \qquad [\%] \quad \text{za } (n = 1 \text{ do } 36) \qquad (6.3)$$

Stvarni i relativni gubici vode iz vodoopskrbnih sustava globalno su identificirani kao ključni pokazatelji uspješnosti poslovanja KPI vodoopskrbnih organizacija. Mjerenjima i izračunom prema gore navedenim izrazima odredit će se, upravo ti gore spomenuti, stvarni i relativni gubici vode u modelu pametne DMA zone. Analiza i obrada izmjerenih podataka provest će se za svaki testirani slučaj.

6.4.1. Analiza rezultata za simulirani slučaj stacionarnih gubitaka vode

Rezultati mjerenja potrošnje vode na modelu pametne DMA zone za slučaj stacionarnih gubitaka prikazani su u tablici 9.9, koja je dana u prilogu 6. Temeljem očitanja izvršeni su izračuni potrošnje, te stvarnih i relativnih gubitaka za slučaj stacionarnog stanja gubitaka vode

na modelu DMA zone. Rezultati izračuna stvarnih i relativnih gubitaka vode prikazani su u tablici 9.13, koja je dana u prilogu 7. Podaci o izmjerenoj potrošnji i stvarnim gubicima vode iskazani su u [m^3/razdoblja], a relativni gubitak u [%]. Grafički prikaz izračunatih stvarnih i relativnih gubitaka vode za slučaj stacionarnih gubitaka u DMA zoni, prikazani su u dijagramu na slici 6.5.



Slika 6.5: Stvarni i relativni gubici vode - slučaj stacionarnih gubitaka vode;

Iako su podaci o stvarnim i relativnim gubicima zorno prikazani, oni ipak nisu dovoljno očiti za donošenje kvalitetnih zaključaka o stvarnom trendu gubitaka.

Daljnjom analizom izmjerenih i izračunatih podataka želi se utvrditi, postoji li odstupanje izmjerenih gubitaka vode u danom razdoblju u odnosu na prethodna razdoblja, kolika su ta odstupanja i jesu li ona veća od očekivanih. U tu svrhu će se koristiti kontrolne karte, alat koji se koristi u sustavima kontrole kvalitete[31] za ocjenu stabilnosti nekog procesa. Kontrolne karte ponašanja procesa, statistički su alat kojim se utvrđuje je li proizvodni ili poslovni proces u kontroliranom stanju. Kontrolna karta s utvrđenim granicama stabilnosti procesa se izrađuju za DMA zone sa stacionarnim gubicima vode. U kontrolnu se kartu naznačuje granica stabilnosti procesa μ (aritmetička sredina gubitaka vode), te kontrolna (б) i kritična granica (1,96 б).

[31] Waltera A. Shewhart je razvio kontrolne karte1920-tih radeći u Belovim laboratorijama da bi mogao proučiti varijaciju greške u procesu proizvodnje.

U konkretnom slučaju, navedene veličine izračunate su i prikazane (slika 6.5) temeljem podataka dobivenih od svih 36 mjerenja na modelu pametne DMA zone i to prema sljedećim izrazima:

$$\mu = \frac{1}{36}\sum_{i=1}^{36} x_i = 0{,}0076 \quad [\mathrm{m}^3/\text{razdoblja}]; \qquad \text{za } (i=1 \text{ do } 36) \qquad (6.4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{36}\sum_{i=1}^{36}(x_i - \mu)^2} = 0{,}0041 \quad [\mathrm{m}^3/\text{razdoblja}]; \qquad \text{za } (i=1 \text{ do } 36) \qquad (6.5)$$

$$\text{Kontrolna granica} = \mu + 1{,}00\,\sigma = 0{,}0117 \qquad \text{za } (i=1 \text{ do } 36) \qquad (6.6)$$

$$\text{Kritična granica} = \mu + 1{,}96\,\sigma = 0{,}0157 \qquad \text{za } (i=1 \text{ do } 36) \qquad (6.7)$$

Primjenom kontrolnih karata će se utvrditi je li proces trenutno stabilan (stacionarni gubici), a varijacije dolaze samo iz izvora koji su uobičajeni za potrošnju vode ili će dijagrami pokazati da proces nije stabilan jer su gubici vode veći od uobičajenih i jer imaju izražen pozitivan trend rasta što indicira na pojavu kvara u vodoopskrbnom sustavu. U tom slučaju možemo zaključiti da nadzirana DMA zona nije stabilna i da je potrebno pokrenuti aktivnosti prediktivnog održavanja radi otkrivanja i otklanjanja indiciranog kvara.

Da bi se trendovi stvarnih gubitaka vode u DMA zoni zorno prikazali, potrebno je umiriti podatke mjerenja (prikazane u dijagramu na slici 6.5) eliminacijom odstupanja uzrokovanih ponašanjem potrošača (dnevna ili tjedna raspodjela potrošnje vode). To se čini izračunom aritmetičke sredine stvarnih gubitaka vode za 10 prethodnih razdoblja[32] prema izrazu:

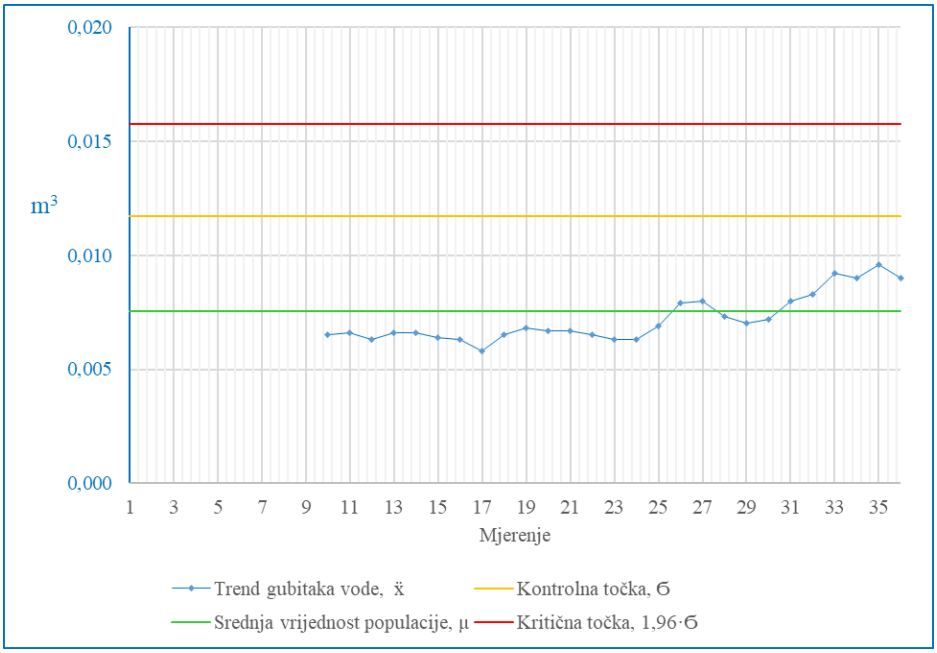
$$\bar{x}_j = \frac{1}{10}\sum_{i=j-9}^{j} x_i\,; \qquad [\mathrm{m}^3/\text{razdoblja}] \qquad \text{za } (j=10 \text{ do } 36) \qquad (6.8)$$

Rezultati izračuna trenda gubitaka vode $\bar{x}$ prikazani su u tablici 9.17 koja je dana u prilogu 8, a grafički su prikazani u kontrolnoj karti trenda gubitaka vode $\bar{x}$ prikazanoj na slici 6.6.

Analizom grafičkog prikaza trenda stvarnih gubitaka vode $\bar{x}$ u DMA zoni (slika 6.6) možemo uočiti da trend gubitaka vode $\bar{x}$ očekivano oscilira oko granice stabilnosti procesa μ. DMA zona je stabilna jer su gubici vode stacionarni. S obzirom na to da nisu indicirani rastući gubici

[32] Prilikom testiranja modela pametne DMA zone razdoblje iznosi 5 minuta. U realnom vodoopskrbnom procesu razdoblje primarno iznosi 1 dan.

vode, DMA zona se rangira prema veličini izmjerenih stvarnih gubitaka vode kako je i opisano u točki 5.2.4.



Slika 6.6: Kontrolna karta -Trend WL $\bar{x}$ - slučaj stacionarnih gubitaka vode;

Daljnjom obradom podataka izmjerenih na stvarnom modelu pametne DMA zone (tablica 9.9), moguće je izračunati i sljedeće ključne pokazatelje poslovanja KPI prema izrazima:

- Zahvaćena voda, $Q = 5_{36} - 5_1$ [m^3] (6.9)

  $Q = 9{,}275 - 7{,}749 = \mathbf{1{,}526}$ [m^3]

- Korisno utrošena voda, $Q_{RW} = (1_{36} + 2_{36} + 3_{36}) - (1_1 + 2_1 + 3_1)$ [m^3] (6.10)

  $Q_{RW} = 6{,}364 - 5{,}110 = \mathbf{1{,}254}$ [m^3]

- Stvarni gubitak, $Q_{NRW} = Q - Q_{RW}$ [m^3] (6.11)

  $Q_{NRW} = 1{,}526 - 1{,}254 = \mathbf{0{,}272}$ [m^3]

- Relativni gubitak, $WL = (Q_{NRW} / Q) \times 100$ [%] (6.12)

  $WL = 0{,}272 / 1{,}526 \times 100 = \mathbf{17{,}82}$ [%]

Prema identičnoj metodologiji izradit će se i kontrolne karte trenda $\bar{x}$ stvarnog modela DMA zone, temeljem podataka dobivenih mjerenjima i izračunom i u ostala 3 slučaja u kojima su simulirani sporo, umjereno i brzo rastući gubici vode.

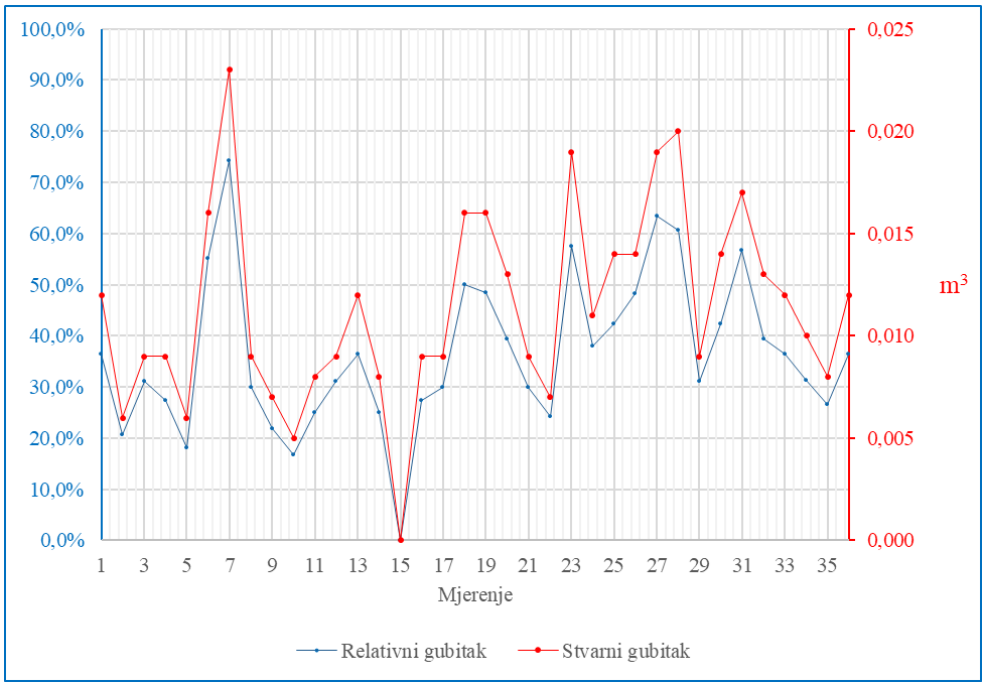
Primjenom metode RIGV na stvarnom vodoopskrbnom sustavu izračunati će se i ostali predloženi ključni pokazatelji uspješnosti KPI, koji su izvedeni iz izmjerenih stvarnih i

relativnih gubitaka vode (tablica 9.2 u prilogu), a za čiji izračun su potrebni atributni podaci stvarnog vodoopskrbnog sustava, kao što su, dužina cjevovoda DMA zone i broj priključaka u DMA zoni.

6.4.2. Analiza rezultata za simulirani slučaj sporo rastućih gubitaka vode

Rezultati mjerenja potrošnje vode na modelu pametne DMA zone za slučaj sporo rastućih gubitaka prikazani su u tablici 9.10, koja je dana u prilogu 6. Temeljem očitanja izvršeni su izračuni potrošnje, te stvarnih i relativnih gubitaka prema izrazima (6.1), (6.2) i (6.3). Rezultati izračuna prikazani su u tablici 9.14, koja je dana u prilogu 7. Podaci o potrošnji i stvarnim gubicima vode iskazani su u [m^3/razdoblja], a relativni gubitak u [%].

Grafički prikaz izračunatih stvarnih i relativnih gubitaka za sporo rastuće gubitke u DMA zoni, prikazani su u dijagramu na slici 6.7.

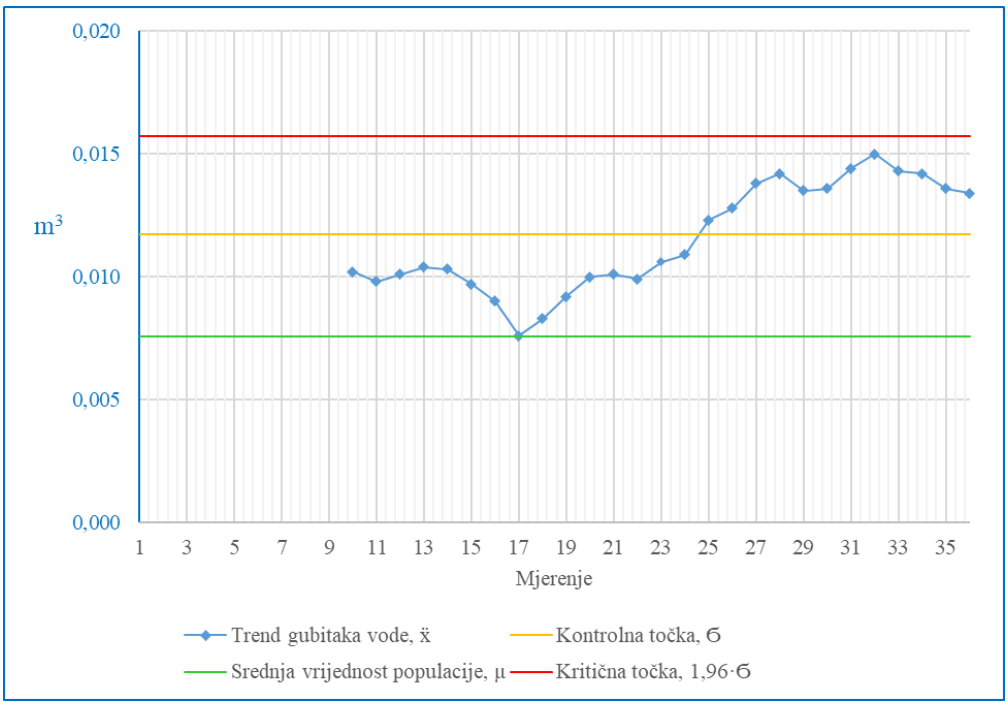


Slika 6.7: Stvarni i relativni gubici vode – slučaj sporo rastućih gubitaka vode;

Analizom grafičkog prikaza stvarnih i relativnih gubitaka vode u DMA zoni (slika 6.7) možemo uočiti dva ekstrema. Ekstrem maksimalnog gubitka vode se pojavljuje u 7. mjerenju, a posljedica je simuliranog ponašanja potrošača definiranih postavom slavina P1, P2, i P3 u položaj 0, 1, 1 (tablica 9.6, mjerenje 6.). Sljedeći ekstrem je minimalni gubitak vode koji se pojavljuje u 15. mjerenju, a posljedica je simuliranog ponašanja potrošača definiranih postavom slavina P1, P2, i P3 u položaj 2, 2, 4 (tablica 9.6, mjerenje 14.). Kao i u slučaju stacionarnih

gubitaka vode i u ovom slučaju podaci o stvarnim i relativnim gubicima vode nisu dovoljno očiti za donošenje kvalitetnih zaključaka o stvarnom trendu gubitaka vode $\bar{x}$.

Da bi se utvrdio očit trend stvarnih gubitaka vode $\bar{x}$ u DMA zoni potrebno je umiriti podatke mjerenja (prikazane u dijagramu na slici 6.7) izračunom trenda gubitaka vode $\bar{x}$ prema izrazu (6.8). Rezultati izračuna trenda promjene gubitaka vode $\bar{x}$ prikazani su u tablici 9.18 koja je dana u prilogu 8. Trend gubitaka vode $\bar{x}$ grafički je prikazan u kontrolnoj karti na slici 6.8.



Slika 6.8: Kontrolna karta -Trend WL $\bar{x}$ - slučaj sporo rastućih gubitaka vode;

Analizom grafičkog prikaza trenda stvarnih gubitaka vode $\bar{x}$ u DMA zoni (slika 6.8) možemo uočiti da trend gubitaka vode $\bar{x}$ kontinuirano raste nakon 17. mjerenja što ukazuje na potencijalnu pojavu kvara (rastući gubici vode). Ovakva pojava je očekivana jer je kvar simuliran nakon izvršenog 16. mjerenja. Trend gubitaka vode $\bar{x}$ kontinuirano raste i prelazi kontrolnu granicu već u 25. mjerenju i više se ne spušta ispod nje što sada već jasno indicira pojavu novih kvarova. Trend gubitaka vode $\bar{x}$ nakon 28. mjerenja stacionira i započinje oscilirati oko nove granice koja je na razini bitno višoj od dosadašnje razine kontrolne granice μ. S obzirom na to da trend gubitaka vode $\bar{x}$ kod stacionarnog stanja, prikazan u kontrolnoj karti na slici 6.6, nikada nije prešao iznad kontrolne granice, sa sigurnošću možemo zaključiti da je u DMA zoni došlo do pojave novog kvara koji je značajno povećao gubitke vode u DMA

zoni. DMA zona više nije stabilna, kvar je indiciran i potrebno je pokrenuti aktivnosti prediktivnog održavanja kako je i opisano u poglavlju 5.2.4.

Nadalje, a s obzirom na to da nam je cilj što ranije otkriti promjene u vodoopskrbnom sustavu (rastuče gubitke) radi pokretanja aktivnosti prediktivnog održavanja, nameće se pitanje, u kom mjerenju (razdoblju) možemo sa sigurnošću ustvrditi da je rastući trend gubitaka vode posljedica novog kvara, a ne posljedica navika potrošača? Drugim riječima, u kom trenutku donosimo sigurnu odluku? S obzirom na to da trend gubitaka vode $\bar{x}$ kod stacionarnog stanja, prikazan u kontrolnoj karti na slici 6.6, nikada nije imao uzastopni trend rasta gubitaka vode duže od 5 razdoblja, s velikom vjerojatnošću možemo zaključiti, da je kvar nastao nakon rasta gubitaka vode od 6 uzastopnih razdoblja. Nesigurnost u donošenju odluke otklanja se pojačanim mjerenjem prema smjernicama danim u točci 6.4.5.

Analizom i daljnjom obradom podataka izmjerenih na stvarnom modelu pametne DMA zone (tablica 9.10), moguće je izračunati i sljedeće ključne pokazatelje poslovanja KPI prema izrazima (6.9), (6.10), (6.11) i (6.12):

- Zahvaćena voda, Q = 6,350 - 5,229 = **1,121** [m^3]
- Korisno utrošena voda, Q_{RW} = 4,167 - 3,456 = **0,711** [m^3]
- Stvarni gubitak, Q_{NRW} = 1,121 - 0,711 = **0,410** [m^3]
- Relativni gubitak, WL = 0,410 / 1,121 x 100 = **36,57** [%]

Donošenjem odluke o pokretanju aktivnosti prediktivnog održavanja, otklanjanjem kvara i vračanjem gubitaka vode na prvobitnu razinu granice stabilnosti procesa μ u razdoblju u kojem je trend gubitaka vode $\bar{x}$ dosegnuo kontrolnu granicu (n = 24), ostvarit će se trajna ušteda vode. Uštedu vode do kraja mjernih razdoblja (36) možemo izračunati prema sljedećem izrazu:

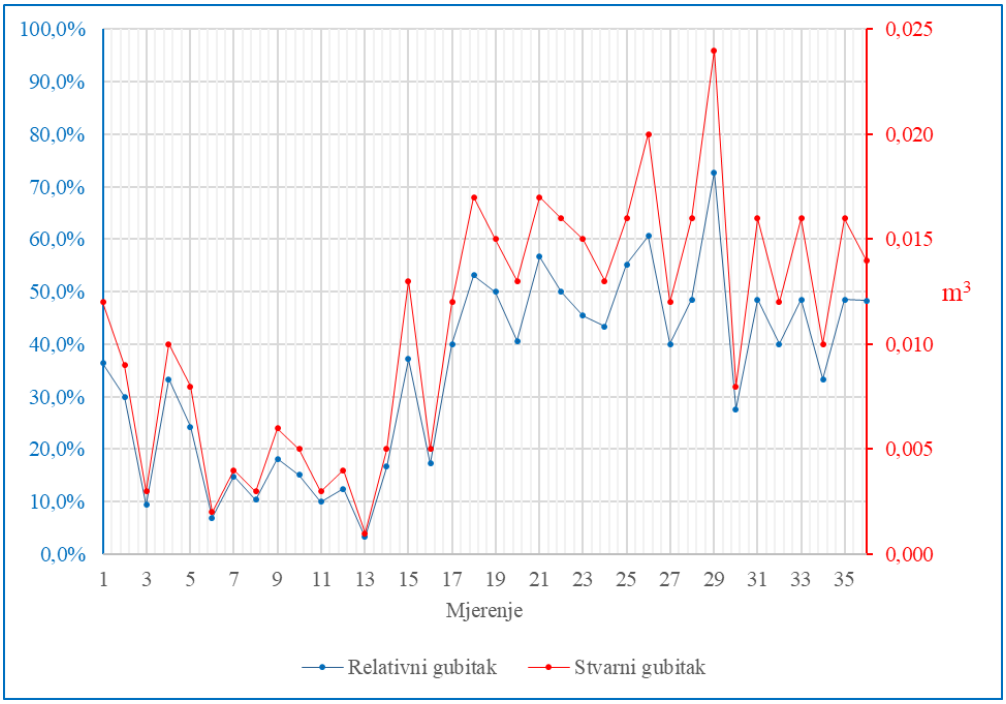
$$(Q_S)_n = Q5_{36} - Q5_{24} - \{[(Q_{RW}1)+(Q_{RW}2)+(Q_{RW}3)]_{36} - [(Q_{RW}1)+(Q_{RW}2)+(Q_{RW}3)]_{24}\} - [\mu \times (36-24)]; \quad [m^3] \quad (6.13)$$

$$(\boldsymbol{Q_S})_{24} = 6{,}350 - 5{,}972 - \{4{,}167 - 3{,}951\} - [0{,}0076 \times 12] = \mathbf{0{,}071}; \quad [m^3]$$

6.4.3. Analiza rezultata za simulirani slučaj umjereno rastućih gubitaka vode

Rezultati mjerenja potrošnje vode na modelu pametne DMA zone za slučaj umjereno rastućih gubitaka prikazani su u tablici 9.11, koja je dana u prilogu 6. Rezultati izračuna potrošnje, te stvarnih i relativnih gubitaka vode prikazani su u tablici 9.15, koja je dana u prilogu 7.

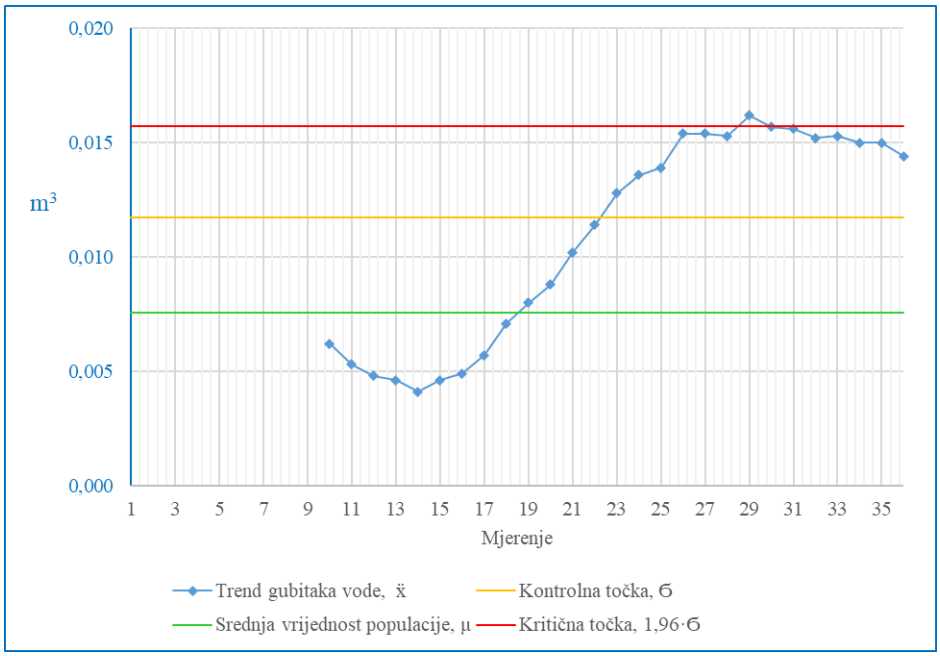
Grafički prikaz izračunatih stvarnih i relativnih gubitaka za umjereno rastuće gubitke u DMA zoni, prikazani su u dijagramu na slici 6.9.



Slika 6.9: Stvarni i relativni gubici vode - slučaj umjereno rastućih gubitaka vode;

I u ovom slučaju analizom grafičkog prikaza stvarnih i relativnih gubitaka vode u DMA zoni (slika 6.9) možemo uočiti nekoliko ekstrema. Ekstrem maksimalnog gubitka vode se pojavljuje u 29. mjerenju, a posljedica je simuliranog ponašanja potrošača definiranih postavom slavina P1, P2, i P3 u položaj 1, 0, 2 (tablica 9.7, mjerenje 28.) i položaja ventila gubitaka G4. koji je u 28. mjerenju maksimalno otvoren (kut $\alpha + \beta_{max}$). Odmah nakon ovog maksimalnog ekstrema gubici vode padaju u 30. mjerenju na lokalni minimum koji je posljedica simuliranog ponašanja potrošača definiranih postavom slavina P1, P2, i P3 u položaj 4, 4, 4 (tablica 9.7, mjerenje 29.) Sljedeći ekstrem je minimalni gubitak vode koji se pojavljuje u 13. mjerenju, a posljedica je simuliranog ponašanja potrošača definiranih postavom slavina P1, P2, i P3 u položaj 3, 4, 4 (tablica 9.7, mjerenje 12.)

Iako je već i na dijagramu stvarnih i relativnih gubitaka vode (slika 6.9) uočljiv trend rasta gubitaka vode $\bar{x}$ i u ovom će se slučaju podaci o trendu $\bar{x}$ unijeti u kontrolnu kartu. Rezultati izračuna trenda gubitaka vode $\bar{x}$ prikazani su u tablici 9.19 koja je dana u prilogu 8. Trend gubitaka vode $\bar{x}$ grafički je prikazan u kontrolnoj karti na slici 6.10.



Slika 6.10: Kontrolna karta -Trend WL $\bar{x}$ - slučaj umjereno rastućih gubitaka vode;

Kao i u prethodnom slučaju sa simuliranim sporo rastućim gubicima, analizom grafičkog prikaza trenda stvarnih gubitaka vode $\bar{x}$ u DMA zoni (slika 6.10) možemo uočiti da je do 14 mjerenja trend gubitaka vode $\bar{x}$ u padu, a po iznosu je ispod granice stabilnosti procesa (očekivana vrijednost gubitaka vode kod normalnog ili stacionarnog stanja). Kod 14. mjerenja imamo točku infleksije nakon koje trend gubitaka vode $\bar{x}$ kontinuirano raste. To još ne upućuje na nove nestabilnosti u DMA zoni iako znademo da je simulacija kvara započela nakon 16. mjerenja. Trend gubitaka vode $\bar{x}$ prolazi granicu stabilnosti procesa već kod 18. mjerenja i dalje kontinuirano raste. Do 22. mjerenja trend gubitaka vode $\bar{x}$ prelazi iznad kontrolne granice. Sada više nema dvojbe, DMA zona više nije stabilna, kvar je indiciran i potrebno je pokrenuti aktivnosti prediktivnog održavanja kako je i opisano u poglavlju 5.2.4.

Trend gubitaka vode $\bar{x}$ i dalje raste, a nakon 26. mjerenja započinje oscilirati oko kritične granice. Takva je pojava očekivana jer je ventil za simulaciju gubitaka G4 u statusu maksimalno otvoren (maksimalni ali stacionarni gubici).

Analizom i obradom podataka izmjerenih na stvarnom modelu pametne DMA zone (tablica 9.11), moguće je izračunati i sljedeće ključne pokazatelje poslovanja KPI prema izrazima (6.9), (6.10), (6.11) i (6.12):

- Zahvaćena voda, Q = 7,498 - 6,379 = **1,119** [m^3]
- Korisno utrošena voda, Q_{RW} = 4,908 - 4,180 = **0,728** [m^3]

- Stvarni gubitak, Q_{NRW} = 1,119 - 0,728 = **0,391** [m^3]
- Relativni gubitak, WL = 0,391 / 1119 x 100 = **34,94** [%]

Donošenjem odluke o pokretanju aktivnosti prediktivnog održavanja, otklanjanjem kvara i vračanjem gubitaka vode na prvobitnu razinu granice stabilnosti procesa μ u razdoblju u kojem je trend gubitaka vode $\bar{x}$ dosegnuo kontrolnu granicu (n = 22), ostvarit će se trajna ušteda vode. Uštedu vode do kraja mjernih razdoblja (36) možemo izračunati prema sljedećem izrazu:

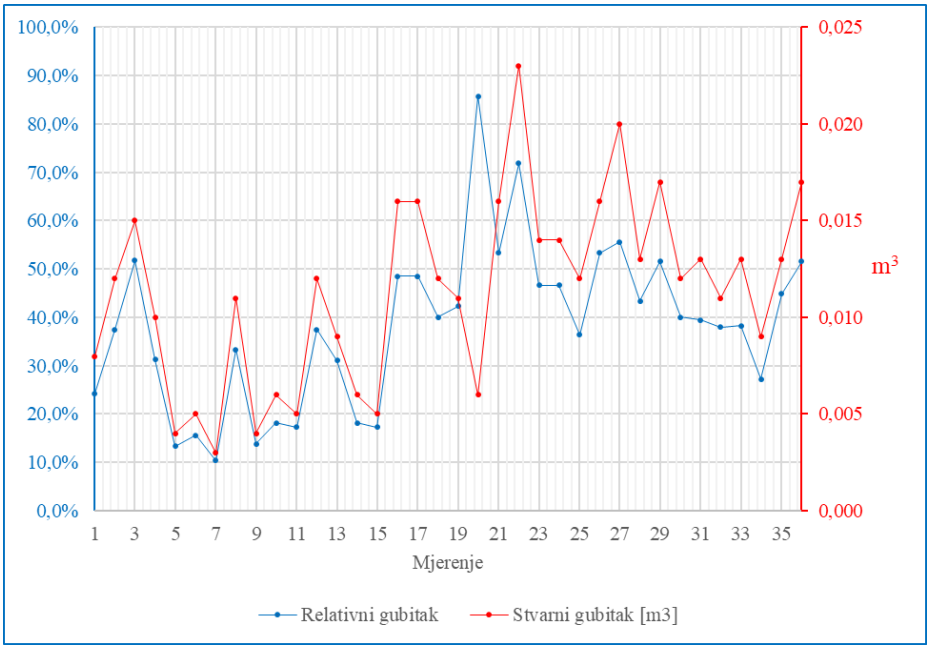
$$(Q_S)_n = Q5_{36} - Q5_{22} - \{[(Q_{RW}1)+(Q_{RW}2)+(Q_{RW}3)]_{36} - [(Q_{RW}1)+(Q_{RW}2)+(Q_{RW}3)]_{22}\} - [\mu \times (36-22)]; \quad [m^3] \quad (6.14)$$

$$(\boldsymbol{Q_S})_{22} = 7{,}498 - 7{,}060 - \{4{,}908 - 4{,}678\} - [0{,}0076 \times 14] = \mathbf{0{,}102}; \quad [m^3]$$

6.4.4. Analiza rezultata za simulirani slučaj brzo rastućih gubitaka vode

Rezultati mjerenja potrošnje vode na modelu pametne DMA zone za slučaj brzo rastućih gubitaka prikazani su u tablici 9.12, koja je dana u prilogu 6. Rezultati izračuna potrošnje, te stvarnih i relativnih gubitaka za slučaj brzo rastućih gubitaka vode na modelu DMA zone prikazani su u tablici 9.16 koja je dana u prilogu 7.

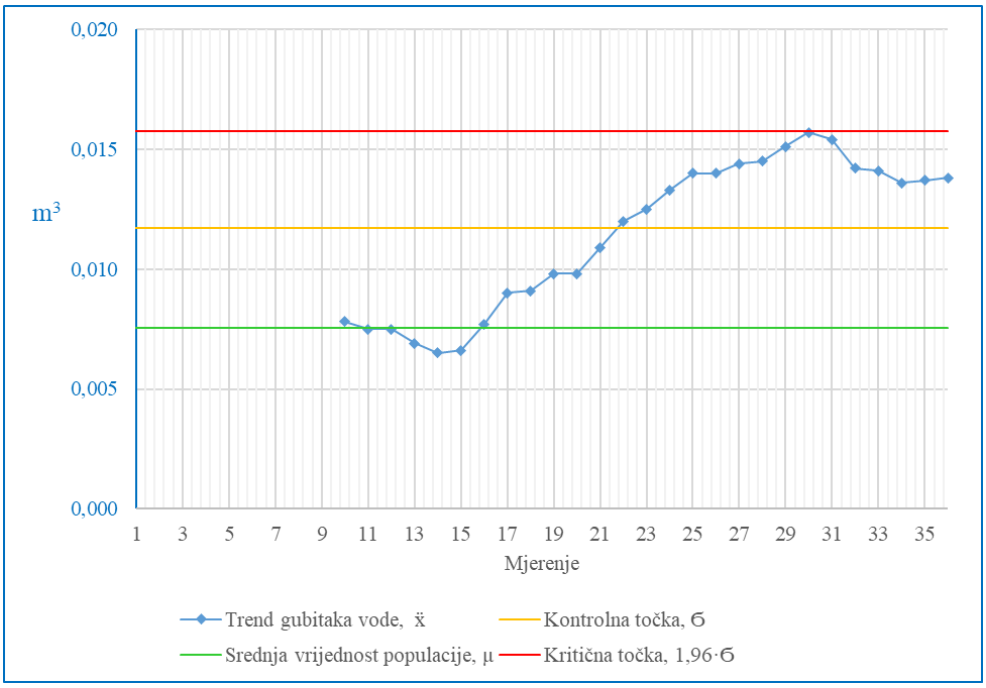
Stvarni i relativni gubici vode u slučaju brzo rastućih gubitaka vode grafički su prikazani u dijagramu na slici 6.11.



Slika 6.11: Stvarni i relativni gubici vode – slučaj brzo rastućih gubitaka vode;

Rezultati izračuna trenda gubitaka vode $\bar{x}$ prikazani su u tablici 9.20 koja je dana u prilogu 8. Trend gubitaka vode $\bar{x}$ grafički je prikazan u kontrolnoj karti na slici 6.12.

Kao i u prethodnim slučajevima sa simuliranim rastućim gubicima, analizom grafičkog prikaza trenda stvarnih gubitaka vode $\bar{x}$ u DMA zoni (slika 6.12) možemo uočiti da je do 14 mjerenja trend gubitaka vode $\bar{x}$ u padu, a po iznosu je ispod granice stabilnosti procesa (očekivana vrijednost gubitaka vode kod normalnog ili stacionarnog stanja). Kod 14. mjerenja imamo točku infleksije nakon koje trend gubitaka vode $\bar{x}$ kontinuirano raste. To još ne upućuje na nove nestabilnosti u DMA zoni iako znademo da je simulacija kvara započela nakon 16. mjerenja. Trend gubitaka vode $\bar{x}$ prolazi granicu stabilnosti procesa već kod 16. mjerenja i dalje kontinuirano raste. Do 22. mjerenja trend gubitaka vode $\bar{x}$ prelazi iznad kontrolne granice. Sada više nema dvojbe, DMA zona više nije stabilna, kvar je indiciran i potrebno je pokrenuti aktivnosti prediktivnog održavanja kako je i opisano u poglavlju 5.2.4.



Slika 6.12: Kontrolna karta -Trend WL $\bar{x}$ - slučaj brzo rastućih gubitaka vode;

Analizom i obradom podataka izmjerenih na stvarnom modelu pametne DMA zone (tablica 9.12), moguće je izračunati i sljedeće ključne pokazatelje poslovanja KPI prema izrazima (6.9), (6.10), (6.11) i (6.12):

- Zahvaćena voda, Q = 5,155 - 4,057 = **1,098** [m^3]
- Korisno utrošena voda, Q_{RW} = 3,406 - 2,717 = **0,689** [m^3]

- Stvarni gubitak, Q_{NRW} = 1,098 - 0,689 = **0,409** [m^3]
- Relativni gubitak, WL = 0,409 / 1,098 x 100 = **37,24** [%]

Donošenjem odluke o pokretanju aktivnosti prediktivnog održavanja, otklanjanjem kvara i vračanjem gubitaka vode na prvobitnu razinu granice stabilnosti procesa μ u razdoblju u kojem je trend gubitaka vode $\bar{x}$ dosegnuo kontrolnu granicu (n = 21), ostvarit će se trajna ušteda vode. Uštedu vode do kraja mjernih razdoblja (36) možemo izračunati prema sljedećem izrazu:

$$(Q_S)_n = Q5_{36} - Q5_{21} - \{[(Q_{RW}1)+(Q_{RW}2)+(Q_{RW}3)]_{36} - [(Q_{RW}1)+(Q_{RW}2)+(Q_{RW}3)]_{21}\} - [\mu \times (36-21)]; \quad [m^3] \quad (6.15)$$

$$(\boldsymbol{Q_S})_{21} = 7{,}498 - 7{,}060 - \{4{,}908 - 4{,}678\} - [0{,}0076 \times 14] = \mathbf{0{,}103}; \quad [m^3]$$

6.4.5. Smjernice za postupanje temeljem analiziranih rezultata mjerenja

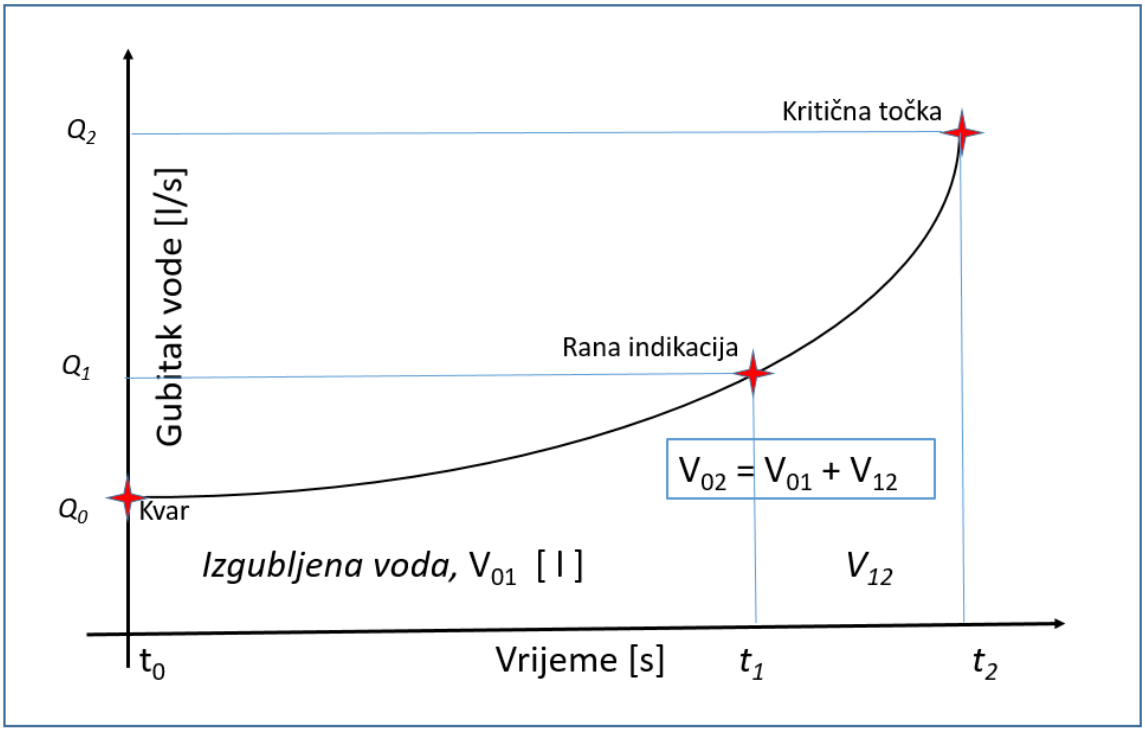
Ako trend gubitaka vode $\bar{x}$ ima kontinuirani rast nekoliko mjernih razdoblja za redom ili trend gubitaka prijeđe kontrolnu granicu, s velikom sigurnošću možemo zaključiti da je indiciran kvar u sustavu vodoopskrbe, te se pokreće postupak prediktivnog održavanja. Eventualnu nesigurnost, uzrokovanu nedovoljno očitim trendom rasta gubitaka vode $\bar{x}$, možemo otkloniti mjerenjima u noćnom režimu. Mjerenja se provode učestalo[33], svakog sata tijekom noći od 23.00 sata do 5:00 sati ujutro. Prvi dan se mjeri noćni režim cjelovite DMA zone. Drugi dan se mjerenje ponavlja ali se primjenjuje taktika selektivnog mjerenja isključivanjem dijelova (sekcija) DMA zone[34] dok se pobliže ne utvrdi u kojem dijelu DMA zone su gubici najveći. Prema preporuci dobre vodoopskrbne prakse, postupak se ponavlja dok se indicirani kvar ne locira u radijusu od 150 metara. Za određivanje točne lokacije kvara, (pozicija za kopanje) koristi se tehnologija opisana u poglavljima 2.9 i 5.2.4.

6.5. Testiranje učinkovitosti metode RIGV izračunom ušteda vode

Metoda rane indikacije temelji se na aktivnom praćenju gubitaka vode u DMA zoni, te informacija dobivenih obradom podataka uz pomoć prediktivne analitike (poglavlje 5.2.4). Metodom rane indikacije gubitaka vode želimo otkriti kvar bitno ranije, prije nego što gubici vode dosegnu kritičnu točku u kojoj su već toliko veliki da su vidljivi jednostavnim opažanjem zbog plavljenja okoliša oko mjesta kvara i zbog nastale indirektne štete (slika 2.5 i 2.6).

[33] Mjerno razdoblje više nije 1 dan, već je 1 sat
[34] Metoda - step testing

Dijagram dinamike kvara temeljem kojeg se određuje gubitak vode za točno određeni kvar, prikazan je na slici 6.13.



Slika 6.13: Kvar vodoopskrbnog sustava - Dijagram izgubljene vode;

Na navedenom dijagramu t_0 je vrijeme u trenutku nastanka kvara, t_2 je vrijeme u trenutku kada kvar postaje vidljiv (plavljenje, vidljiva indirektna šteta). Vrijeme t_1 je vrijeme u trenutku rane indikacije kvara. Q_0, Q_1 i Q_2 su protoci vode u vremenima t_0, t_1 i t_2. Izgubljena voda V_2 je količina izgubljene vode mjereno u litrama ili m^3. V_1 je količina izgubljene vode do trenutka rane indikacije, a V_{12} je količina smanjenja gubitaka vode metodom rane indikacije. Ranom indikacijom kvara možemo djelovati preventivno, te tako smanjiti direktnu štetu uslijed gubitaka vode i izbjeći indirektnu štetu učinjenu na građevinama i stvarima koja bi nastala u zoni puknuća vodoopskrbnog cjevovoda u trenutku t_2 (slika 2.6).

Relativno smanjenje gubitaka vode primjenom metode rane indikacije definirano je izrazom:

$$WL_{12} = \frac{V_{12}}{V_{02}} [\%] \tag{6.16}$$

Dinamika kvara od trenutka nastanka kvara t_0, pa do kritičnog trenutka kada je potrebno prekinuti isporuku vodne usluge, odvija se po određenoj krivulji koja je u funkciji vremena. Svaki kvar je specifičan i ponaša se po svojoj vlastitoj zakonitosti. S obzirom na to da će se promatrati prosječan kvar na općenitom vodoopskrbnom sustavu, radi daljnje analize u ovom

su radu analizirana dva simulirana prosječna slučaja. Prvi slučaj, kod kojeg se dinamika gubitka vode ponaša linearno prema pravcu $Q = at + Q_0$ i drugi slučaj kod kojeg se dinamika gubitka vode ponaša nelinearno po kvadratnoj paraboli $Q = at^2 + Q_0$. U danim izrazima Q je protok vode u [l/s], t je vrijeme u [s], parametar „a“ je karakteristika krivulje (nagib), a Q_0 je početni protok u trenutku nastanka kvara t_0. Izračun relativnog smanjenja gubitaka vode za linearno rastuće gubitke vode provodi se prema sljedećem izrazu:

$$WL_{12} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} (at + Q_0)\mathrm{d}t}{\int_{t_0}^{t_2} (at + Q_0)\mathrm{d}t} \tag{6.17}$$

$$WL_{12} = \frac{\left(a\frac{t_2^2}{2} + Q_0 t_2\right) - \left(a\frac{t_1^2}{2} + Q_0 t_1\right)}{\left(a\frac{t_2^2}{2} + Q_0 t_2\right) - \left(a\frac{t_0^2}{2} + Q_0 t_0\right)} \tag{6.18}$$

U tablici 6.3 prikazana su moguća smanjenje gubitaka vode WL_{12} izračunata temeljem izraza (6.16), (6.17) i (6.18) za linearno rastuće gubitke vode i uz primjenu parametara Q_0=1; 2 i 3; a=0; 0,1; 0,2 i 0,3 i za slučajeve ranije indikacije kvara za 10%, 20%, 30%, 40% i 50% vremena trajanja kvara ili drugim riječima za t_1 = 0,9t_2; 0,8t_2; 0,7t_2; 0,6t_2 i 0,5t_2. Navedeni rezultati prikazuju kolika je relativna ušteda vode kada se otklanjanju kvara pristupi prediktivno na temelju detektiranog kvara primjenom metode rane indikacije u odnosu na slučaj kada se kvar ne detektira, već se otklanjanju kvara pristupa interventno nakon što je došlo do plavljenja i druge vidljive indirektne štete.

Dosljednom primjenom metode rane indikacije gubitaka vode može se smanjiti gubitke vode. Na primjer, iz podataka navedenih u tablici 6.3 vidi se da, s 30% ranijom indikacijom kvara (t_1 = 0,7t_2) i kod kontinuiranog prirasta gubitaka vode od 10% (a=0,1), se mogu smanjiti gubici vode od 30,5% (kod Q_0=2) do 51% (kod Q_0=0).

Tablica 6.3: Relativno smanjenje gubitaka za linearno rastuće gubitke vode;

$Q = a \cdot t + Q_0$	Rana indikacija: smanjenje gubitka WL_{12} [%]				
	$t_1 = 0{,}9\ t_2$	$t_1 = 0{,}8\ t_2$	$t_1 = 0{,}7 t_2$	$t_1 = 0{,}6\ t_2$	$t_1 = 0{,}5\ t_2$
$Q_0 = 0$; a = 0	0%	0%	0%	0%	0%
$Q_0 = 1$; a = 0	10%	20%	30%	40%	50%
$Q_0 = 2$; a = 0	10%	20%	30%	40%	50%
$Q_0 = 0$; a = 0,1	19%	36%	**51%**	64%	75%
$Q_0 = 1$; a = 0,1	10,42857%	20,7619%	31%	41,1428%	51,1904%
$Q_0 = 2$; a = 0,1	10,2195	20,3902%	**30,5121%**	40,5853%	50,6097%
$Q_0 = 0$; a = 0,2	19%	36%	51%	64%	75%
$Q_0 = 1$; a = 0,2	10,8181%	21,4545%	31,9090	42,1818	52,2727%
$Q_0 = 2$; a = 0,2	10,4285%	20,7619%	31%	41,1428%	51,1904%
$Q_0 = 0$; a = 0,3	19%	36%	51%	64%	75%
$Q_0 = 1$; a = 0,3	11,1739%	22,0869%	32,7391%	43,1304%	53,2608%
$Q_0 = 2$; a = 0,3	10,6279%	21,1162%	31,4651%	41,6744%	51,7441%

Identičan postupak izračuna relativnog smanjenja gubitaka vode provest će se i za slučaj nelinearno rastućih gubitaka vode prema funkciji kvadratne parabole $Q = at^2 + Q_0$.

Relativno smanjenje gubitaka vode primjenom metode RIGV definirano je izrazom (6.16), pa slijedi:

$$WL_{12} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \left(at^2 + Q_0\right) dt}{\int_{t_0}^{t_2} \left(at^2 + Q_0\right) dt} \tag{6.19}$$

$$WL_{12} = \frac{\left(a\frac{t_2^3}{3} + Q_0 t_2\right) - \left(a\frac{t_1^3}{3} + Q_0 t_1\right)}{\left(a\frac{t_2^3}{3} + Q_0 t_2\right) - \left(a\frac{t_0^3}{3} + Q_0 t_0\right)} \qquad (6.20$$

U tablici 6.4 su prikazana moguća smanjenje gubitaka vode WL_{12} kod nelinearno rastućih gubitaka vode izračunat će se temeljem izraza (6.16), (6.19), (6.20) i uz primjenu jednakih parametara izračuna kao i za linearno rastuće gubitke vode navedene u tablici 6.4.

Tablica 6.4: Relativno smanjenje gubitaka za nelinearno rastuće gubitke vode;

$Q = a \cdot t^2 + Q_0$	Rana indikacija: smanjenje gubitka G_{12} [%]				
	$t_1 = 0{,}9\ t_2$	$t_1 = 0{,}8\ t_2$	$t_1 = 0{,}7 t_2$	$t_1 = 0{,}6\ t_2$	$t_1 = 0{,}5\ t_2$
$Q_0 = 0$; a = 0	0%	0%	0%	0%	0%
$Q_0 = 1$; a = 0	10%	20%	30%	40%	50%
$Q_0 = 2$; a = 0	10%	20%	30%	40%	50%
$Q_0 = 0$; a = 0,1	27,1%	48,8%	**65,7%**	78,4%	87,5%
$Q_0 = 1$; a = 0,1	10,5516%	20,9290%	31,1516%	41,2387%	51,2096%
$Q_0 = 2$; a = 0,1	10,2803%	20,4721%	**30,5852%**	40,6295%	50,6147%
$Q_0 = 0$; a = 0,2	27,1%	48,8%	65,7%%	78,4%	87,5%
$Q_0 = 1$; a = 0,2	11,0687%	21,8 %	32,2312%	42,4%	52,3437%
$Q_0 = 2$; a = 0,2	10,5516%	20,9290%	31,1516%	41,2387%	51,2096%
$Q_0 = 0$; a = 0,3	27,1%	48,8%	65,7%%	78,4%	87,5%
$Q_0 = 1$; a = 0,3	11,5545%	22,6181%	33,2454%	43,4909%	53,4090%
$Q_0 = 2$; a = 0,3	10,8142%	21,3714%	31,7 %	41,8285 %	51,7857 %

Dosljednom primjenom metode rane indikacije gubitaka vode moguće je smanjiti gubitke vode. Na primjer, iz podataka navedenih u tablici 6.4 proizlazi da s 30% ranijom indikacijom kvara ($t_1 = 0{,}7t_2$) i za nelinearno rastuće gubitke (a = 0,1), mogu se smanjiti gubici vode od 30,6% (kod Q_0=2) do 65,7% (kod Q_0=0).

Metodom rane indikacije lakše će se detektirati kvarove koji su prouzročili velike gubitke vode (veliki kvarovi) nego male kvarove koji za posljedicu imaju manje gubitke vode koji u kontrolnim kartama neće dovoljno očito prikazati stvarni trend rasta gubitaka vode, te neće jasno ukazivati na mogući kvar (uklopit će se u statističku pogrešku). Uvede li se u analizu

Pareto[35] princip prema kojem će 20% kvarova činiti 80% gubitaka vode u vodoopskrbnim sustavima, može se dodatno zaključiti:

Ako se primjenom metode rane indikacije otkrije samo 20% najvećih kvarova u vodoopskrbnom sustavu, a koji čine 80% svih gubitaka, gubici vode $\mathbf{G_{12}}$ smanjit će se od 24,4% do 40,8% ($\mathbf{G_{12}} = 0{,}8 \cdot G_{12}$) kod 30% ranije indikacije kvara u slučaju linearno rastućih gubitaka, te će se smanjiti od 24,4% do 52,5% ($\mathbf{G_{12}} = 0{,}8\ G_{12}$) kod 30% ranije indikacije i za nelinearno rastuće gubitke.

Testiranjem metode rane indikacije gubitaka vode korištenjem simuliranih podataka karakteristike kvara i vremena rane indikacije, dokazano je da dosljedna primjena integralnog modela WALEGRIN 4.0 može značajno smanjiti gubitke u vodoopskrbnim sustavima.

Primjena integralnog modela WALEGRIN 4.0 na procese upravljanja tlakom, upravljanja infrastrukturom, te brzinom i kvalitetom sanacije infrastrukture nije predmet ovog rada.

Učinkovitost sustava javne vodoopskrbe na području gubitaka vode Q_{NRW} pratimo pomoću ključnih pokazatelja poslovanja KPI navedenih u poglavlju 5.3.3. Prilikom ispitivanja modela pametne DMA zone koristili smo se sljedeće KPI pokazatelje:

- WL Relativni gubitak vode [%],
- WL_r Relativni gubitak vode razdoblja [%],
- Q_{NRW} Stvarni gubitak vode [m^3],
- Q_{NRWr} Stvarni gubitak vode razdoblja [m^3],

U realnim sustavima vodoopskrbe koristit će se i predloženi KPI pokazatelji:

- $Q_{NRW\ /\ KMN}$ Stvarni gubitak vode po kilometru mreže [m^3 / kilometru mreže];
- $Q_{NRW\ /\ D}$ Stvarni gubitak vode po danu [m^3 / danu];
- $Q_{NRW\ /\ WSC}$ Stvarni gubitak vode na 1000 priključaka [m^3 / priključku];

Važno je napomenuti da se navedeni ključni pokazatelji poslovanja KPI mogu primijeniti na vodoopskrbni sustav u cijelosti ali i na pojedinačne DMA zone. Komparacijom predloženih KPI ova po DMA zonama dodatno je moguće kvalitetnije utvrditi prioritete prediktivnog održavanja.

[35] Vilfredo Federico Damaso Pareto – Talijanski ekonomist i inženjer (Pareto princip 80/20)

7. ZAKLJUČAK

Stvarni i relativni gubici vode iz vodoopskrbnih sustava globalno su identificirani kao ključni pokazatelji uspješnosti poslovanja KPI vodoopskrbnih organizacija, zbog kojih vodoopskrbne organizacije prvenstveno moraju analizirati svoju tehničku učinkovitost, a posljedično i održivost.

U ovom je radu sustavno postavljen model WALEGRIN 4.0 koji se temelji na konceptima, dobre vodoopskrbne prakse, Lean i Green menadžmentu, te konceptu Industrije 4.0. Model je postavljen s ciljem povećanja učinkovitosti vodoopskrbnih organizacija radi tehničkog i ekonomskog oporavka.

Temeljem koncepta dobre vodoopskrbne prakse aktivnosti su usmjerene na strateški pravac aktivnog upravljanja gubicima vode zoniranjem sustava i uvođenjem DMA zona.

Temeljem koncepta Lean i Green menadžmenta, predložena je primjena načela i alata za koje je znanstveno dokazano, da su korisni u otklanjanju organizacijskih i tehničkih gubitaka, te da su korisni kod prilagodba organizacija za primjenu novih znanja i tehnologija.

Temeljem koncepta Industrije 4.0 predložena je primjena novih znanja i tehnologija za izgradnju pametnog CPS vodoopskrbnog sustava. Predložena je RIGV metoda rane indikacije gubitaka vode koja se temelji na primjeni SMART vodomjera, kojima je ovom metodom, osim primarne funkcije naplate potrošnje vode, dodijeljena i sekundarna funkcija. SMART vodomjeri će se koristiti i za mjerenje potrošnje vode tijekom kraćih razdoblja, a u funkciji aktivnog upravljanja gubicima vode. Napravljen je i testiran model pametne DMA zone radi testiranja mogućnosti primjene i učinkovitosti RIGV metode.

Testiranjem modela pametne DMA zone dokazana je mogućnost mjerenja potrošnje vode u realnom vremenu. U roku od nekoliko sekundi od naloženog očitanja, svi vodomjeri su očitani, a podaci očitanja su proslijeđeni i pohranjeni u bazu podataka. Obradom izmjerenih podataka o potrošnji vode u zadanim razdobljima, dokazana je mogućnost izračuna stvarnih i relativnih gubitaka vode (ključnih pokazatelja poslovanja KPI) u DMA zoni za mjerena razdoblja. Analizom izračuna i grafičkog prikaza stvarnih i relativnih gubitaka, dokazana je mogućnost razlučivanja gubitaka vode koji su posljedica ponašanja potrošača od prepoznavanja gubitaka vode koji su posljedica stvarnog stanja vodoopskrbnog sustava.

Napravljene su kontrolne karte vodoopskrbnog procesa radi kontrole gubitaka vode u DMA zoni s izračunatom granicom stabilnosti procesa, te kontrolnom i kritičnom granicom. Izmjerenim i izračunatim podacima o stvarnim i relativnim gubicima vode omogućeno je Rangiranje DMA zona. Rangiranjem zona, omogućeno je učinkovito utvrđivanje prioriteta prediktivnog održavanja vodoopskrbnog sustava. Daljnjom obradom podataka filtrirani su gubici vode uzrokovani navikama potrošača, te je zorno prikazan trend promjena stvarnih gubitaka vode u DMA zoni. Trend koji oscilira oko granice stabilnosti procesa u kontrolnoj karti zorno ukazuje na stabilnost vodoopskrbnog procesa. Rastući trend pak ukazuje na gubitke vode koji su posljedica pojave novih kvarova. U sva tri testirana slučaja rastućih gubitaka vode, već poslije nekoliko razdoblja od simulacije kvara, uočen je trend rasta gubitaka vode koji vrlo brzo prelazi i kontrolnu granicu procesa. Na ovaj je način dokazana učinkovitost metode rane indikacije RIGV u procesu otkrivanja novih kvarova, odnosno rastućih gubitaka vode. Pravovremeno utvrđivanje stvarnog stanja vodoopskrbnog sustava, te rana indikcija novih kvarova i rastućih gubitaka vode, temelj su učinkovitog prediktivnog održavanja. Učinkovitim prediktivnim održavanjem moguće su znatne uštede izgubljene vode što je i dokazano izračunom u dva simulirana slučaja.

Povezujući tri temeljna koncepta u jedinstveni integralni model WALEGRIN 4.0, napravljen je model koji će unaprijediti procese upravljanja vodoopskrbnim sustavom i vodoopskrbnom organizacijom. Primjenom Lean i Green principa i alata, te digitalizacijom vodoopskrbnih procesa temeljenih na konceptu Industrije 4.0, poboljšana je dosadašnja vodoopskrbna praksa.

Rezultati i zaključci ovog rada poslužit će vodoopskrbnim organizacijama da lakše, brže i učinkovitije provedu potrebne promjene, a primjenom integralnog modela WALEGRIN 4.0 će povećati svoju učinkovitost i to će potkrijepiti mjerenjima propisanih i predloženih ključnih pokazatelja poslovanja KPI. Integralni model WALEGRIN 4.0 može se primijeniti na svaku organizaciju javne vodoopskrbe.

7.1. Ostvareni ciljevi doktorskog rada

Na samom početku rada postavljeni su ciljevi koje se htjelo ostvariti izradom ovog doktorskog rada. U daljnjem tekstu je objašnjeno, jesu li i kako su ti ciljevi ostvareni.

Prvi je cilj ovog rada bio istražiti mogućnosti primjene Vitkog i Zelenog menadžmenta (engl. Lean & Green management) i novih „digitalnih“ tehnologija na sustav javne vodoopskrbe radi unaprjeđenja i uspostave održivosti poslovanja, te povećanja učinkovitosti.

Cilj je ostvaren opširnom analizom dostupne literature. U prvom je koraku istraženo područje javne vodoopskrbe (Poglavlje 2.) radi identifikacije dobre vodoopskrbne prakse. U drugom je koraku istraženo područje Lean i Green menadžmenta, te njegova primjena u vodoopskrbnim organizacijama. U trećem je koraku istraženo područje primjene koncepta Industrije 4.0, te njegova primjena u vodoopskrbnim organizacijama.

Drugi je cilj ovog rada bio izraditi integralni model upravljanja vodoopskrbnom organizacijom, radi unaprjeđenja i uspostave održivosti poslovanja, te povećanja učinkovitosti sustava javne vodoopskrbe s obzirom na ključne pokazatelje uspješnosti poslovanja *(engl. Key Performance Indicators).*

Cilj je ostvaren oblikovanjem i validacijom integralnog modela WALEGRIN 4.0. Dosljednom primjenom modela WALEGRIN 4.0 unaprjeđuje se dosadašnja vodoopskrbna praksa, te će se tako unaprijediti poslovanje i povećati učinkovitost sustava javne vodoopskrbe i sve to potkrijepiti propisanim i predloženim ključnim pokazateljima uspješnosti poslovanja KPI.

7.2. Potvrda hipoteze doktorskog rada

Doktorski rad temeljen je na postavljenoj hipotezi:

Primjenom integralnog modela za upravljanje sustavom javne vodoopskrbe, temeljenog na načelima vitkog i zelenog menadžmenta i digitalizaciji poslovanja, moguće je povećati učinkovitost javne vodoopskrbe mjereno ključnim pokazateljima uspješnosti poslovanja.

Hipoteza je potvrđena verifikacijom integralnog modela WALEGRIN 4.0.

Zaključak o potvrdi hipoteze možemo donijeti i kroz odgovore na postavljena istraživačka pitanja u poglavlju 1.2. S obzirom na to da je kroz doktorski rad opširno odgovoreno na sva tri postavljena istraživačka pitanja, možemo dodatno zaključiti da je postavljena Hipoteza potvrđena.

7.3. Ostvareni znanstveni doprinos doktorskog rada

Doktorski rad je rezultirao ostvarenjem nekoliko znanstvenih doprinosa, koji se navode po redoslijedu značaja:

1. Predložena je, testirana i potvrđena mogućnost aktivnog praćenje gubitaka vode u DMA zonama primjenom S*MART* vodomjera koji se primarno koriste u funkciji mjerenja potrošnje vode radi naplate. SMART vodomjerima dodijeljena je sekundarna zadaća

mjerenja potrošnje vode radi utvrđivanja stvarnih i relativnih gubitaka u DMA zoni što je detaljno opisano u poglavlju 5.2.4, a testirano i potvrđeno u poglavlju 6.4.

2. Predložena je, testirana i potvrđena metoda rane indikacije gubitaka vode RIGV. Ova metoda je detaljno opisana u poglavlju 5.2.4, a testirana je i potvrđena u poglavlju 6.4.
3. Predložene su i izrađene kontrolne karte za praćenje kvalitete vodoopskrbnog procesa;
4. Na temeljima dobre vodoopskrbne prakse, primjeni principa i alata Lean i Green menadžmenta, te digitalnih tehnologija u okviru koncepta Industrije 4.0, razvijen je integralni model za povećanje učinkovitosti vodoopskrbe, prepoznatljiv pod imenom WALEGRIN 4.0.
5. Predloženo je 20 novih ključnih pokazatelja poslovanja KPI za vodoopskrbne organizacije.
6. Identificirana su 4 aspekta održivosti javnih vodoopskrbnih organizacija.
7. Identificirani su vodoopskrbni procesi pogodni za primjenu digitalnih tehnologija radi praćenja poslovanja u realnom vremenu.
8. Identificirani su u vodoopskrbnoj organizaciji i vodoopskrbnim procesima gubici *(engl. Waste)* prema Lean i Green menadžmentu.
9. Dane su smjernice za smanjenje organizacijskih i tehničkih nedostataka u vodoopskrbnim procesima:
   - Uštede koje će se ostvariti korištenjem energije iz vlastitih obnovljivih izvora;
   - Smanjenje i optimizacija zaliha;
   - Smanjenje troškova optimalnim upravljanjem voznim parkom;
   - Uštede koje je moguće ostvariti korištenjem vozila na električni pogon;
   - Uštede koje će se ostvariti optimiranjem rada pumpnih postrojenja u režimima jeftinije električne energije;
   - Uštede koje će se ostvariti optimiranjem rada pumpnih postrojenja u režimima nestabilnosti distribucijske električne mreže.

7.4 Buduća Istraživanja

Predmet budućih istraživanja bit će daljnja unapređenja prediktivne analitike izmjerenih veličina potrošnje vode radi još bolje uočljivosti i što ranije sigurne indikacije promjena u vodoopskrbnom sustavu koje naznačuju nestabilnost vodoopskrbnog procesa zbog rastućih gubitaka vode i pojave novih kvarova.

Prema preporuci međunarodnog udruženja za vode IWA strateški se može pristupiti upravljanju gubicima vode s četiri različita pravca djelovanja. U ovom se radu istraživala mogućnost

povećanja učinkovitosti javne vodoopskrbe primjenom modela WALEGRIN 4.0 na pravcu aktivnog upravljanja gubicima vode. Predmet budućih istraživanja bit će i analiza primjenjivosti i učinka primjene integralnog modela WALEGRIN 4.0 i na ostala tri strateška pravca djelovanja.

8. LITERATURA

[1] Mayer D. Voda od nastanka do upotrebe: Prosvjeta d.o.o., Urednik, Branka F. Zagreb: 2004., ISBN:953-7130-09-6.

[2] Gasson C, i Brown HA. New Model For Water Access: World Economic Forum. s.l.: The Global Water Leaders Group; 2017.

[3] European Commission. EU Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM. European Union; 2015. ISBN 978-92-79-45069-3.

[4] Lambert A, i Hirner W. Losses from Water Supply Systems. Standard Terminology and Recomended Performance Measures. IWA - Publishing Ltd., Water 21; 2000.

[5] Brothers KJ. Practical Approach Initiatives to Water Loss Reduction. Halifax: IWA Publishing Ltd., Water 21; 2001.

[6] Lambert A. Assessing Non-Revenue Water and its Components. A Practical Approach. IWA Publishing Ltd., Water 21; 2003.

[7] Fanner Paul. Assessing Real Losses, including Component Analysis and Economic Considerations: A Practical Approach. IWA Publishing Ltd. Water 21; 2006.

[8] Rizzo A, Vermersch M, Galea St. J, Micallef G. Apparent Water Loss Control. IWA Publishing Ltd., Water 21; 2007.

[9] McKenzie R, Lambert A. Best Practice Performance Indicators for Non-Revenue Water and Water Loss Components: IWA Publishing Ltd., Water 21; Article No.8; 2008.

[10] Rizzo A, Vermersch M, Galea st. J, Micallef G, Riolo S, Pace, R. Apparent Water Loss Control: The Way Forward. Ferrara, Italy: IWA - International Water Association Conference; 2006.

[11] Domljan I. Mogućnosti Povećanja Efikasnosti Usluga Lokalne Vodoopskrbe [Doktorski rad]. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayaera u Osijeku; 2013.

[12] Zakon o vodama (ZOV, NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14).

[13] Iličić K. Parametri za Detekciju i Lociranje Puknuća Cijevi [Doktorski rad]. Sveučilište u Zagrebu: Fakultet Strojarstva i Brodogradnje; 2012; UDK: 628.147.25.

[14] Sidani A, Youssef M. Potential of Fresh Water Supply in Developing Countries. IJAAEE - Journal of Advances in Agricultural & Environmental Engg., No. 3; 2016., p. 20-27; ISSN: 2349-1523 EISSN 2349-1531.

[15] Farley M. Leakage Management and Control - Best Practice Training Manual. Geneva: World Health Organization; 2001.

[16] Alegre H, Baptista J, Cabrera Jr. E, Cubillo F, Duarte P, Hirner W, Merkel W. Parena R. Performance Indicators for Water Supply Services. London: IWA Publishing Ltd.; 2006; ISBN: 1843390515.

[17] Hamilton S, McKenzie R, Seago C. A Rewiew of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems. IWA publishing Ltd.; 2006.

[18] Vermersch M, Rizzo A. Designing an Action Plan to Control Non-Revenue Water. IWA Publishing Ltd., The IWA Water Loss Conference; 2008.

[19] Vermerch M, Rizzo A. Change Managements as an Indispensable Components When Planing for NRW Control. IWA Publishing Ltd., The IWA Water Loss Conference, Cape Town; 2009.

[20] Berg S, i Padowski JC. Overview of Water Utility Benchmarking Methodologies: From Indicators to Incentives. University of Florida; 2010.

[21] Winarni W. Infrastructure Leakage indeks (ILI) as water losses indicator. CED - Civil Engineering Dimension No. 11; September 2009., p. 126-134; ISSN: 1410-9530.

[22] Taylor R. What is the Infrastructure Leakage Index (ILI) and how did Waitakere City Council manage to Achieve an ILI of 1.0?. Waitakere City Council; 2010.

[23] Lambert A, Brown TG, Takizawa M, Weimer D. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. IWA Publihing Ltd.; Aqua No. 6(48); 1999. ISSN: 0003-7214.

[24] Staff of American Water Works Assocition. Water Audits and Leak Detection - M36 Manual. Portland: Book, News Inc.; 2003.

[25] Giustolishi O. Berardi L, Laucelli D, Savić D, Walski T, Brunone B. Battle of Backgraund Leakage Assessment for Water Networks. Elsevier Ltd., ScienceDirect - Procedia Engineering, No. 89; 2014., p. 4-12.

[26] Alegre H. i Covas D. Integrated planning of urban water services: a global approach. Manual of Best Practice, Volume 1, editors, Nottarp-Heim D, Salgado BR. Almeida; 2015.

[27] Vilanova MRN, Filho PM, Balestieri JAP. Performance measurement and indicators for water supply management: Review and international cases. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 43; 2015., p. 1-12. http://dx.doi.org/ 10.1016/j.rser.2014.11.043.

[28] Vilanova MRN, Balestieri JAP. Modeling of hidraulic and energy efficiency indicators for water supply systems. : Elsevier Ltd., Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 48; 2015., p. 540-557.

[29] Mutikanga HE, Sharma SK, Vairavamoorthy K. Assesment of apparent losses in urban water systems. CIWEM, Water and Environment Journal No. 25; 2011., p. 327-335. doi:10.1111/j. 1747-6593.2010.00225.x.

[30] Gonzalez-Gomez F, Garcia-Rubio MA, Guardiola J. Why Is Non-revenue Water So High in So Many Cities?. Routledge, Taylor & Francis Group,No. 27(2); 2011., p. 345-360. https:// doi.org/10.1080/07900627.2010.548317.

[31] Coelho B, i Andrade-Campos A. Efficiency achievement in water supply systems-A review. Elsewier Ltd., ScienceDirect, Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 30; 2014., p. 59-84. ISSN: 1364-0321.

[32] Mamadea, A, Loureiro D, Covas D, Alegrea H. Energy Auditing As a Tool for Improving Service Efficiency of Water Supply Systems. WDSA 2014, 16th Conference on Water Distribution System Analysis. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procedia Engineering, No. 89; 2014., p. 557 – 564. doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.478.

[33] Iličić K. Uspostava i pračenje parametara procesa kontrole i smanjenja gubitaka vode. Znanstveno-stručni skup "Strategija razvoja vodoopskrbe i odvodnje grada Zagreba", Zagreb; 2016.

[34] Thornton J, Lambert A. Progres in practical prediction of pressure, leakage, burst frequency, consumption relationship. http://www.leakssuite.com/Documents/Papers/Thornton% 26LambertFinal15Aug.pdf. [Cited 2010 Sept 1].

[35] Morison J, Tooms S. Sustainable DMA Management to Monitor and Reduce Leakage. IWA Publishing Ltd., Water 21; 2008.

[36] Iličić K. Kontrolirane zone vodoopskrbe u teoriji i praktičnoj primjeni. Znanstveno-stručni skup "Strategija razvoja vodoopskrbe i odvodnje grada Zagreba", Zagreb; 2016.

[37] Morrison J, Tooms S, Rogers D. District Metered Areas - Guidance Notes. IWA Publishing Ltd.; 2007.

[38] Westphal KS, Vogel RM, i Kirshen P. Decision Support System for Adaptive Water Supply Management. ASCE, Journal of water resources planning and management; 2003., p. 165-177.

[39] Koo D, Piratla K, Matthews J. Towards Sustainable Water Supply: Schematic Development of Big Data Collection Using Internet of Things (IoT). Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procedia Engineering, No. 118; 2015., p. 489-497.

[40] Pilcher R, Hamilton S, Chapman H, Field D, Ristovski B, Stapely S. Leak Location & Repair - Guidance Notes. IWA - Publishing Ltd.; 2007.

[41] Fallis P. Hübschen K, Oertlé E, Ziegler D. Guidelines for water loss reduction - A focus on pressure management. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH; 2011.

[42] Farley M, Trow S. Losses in Water Distribution Networks - A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control. IWA – Publishing Ltd.; 2003.

[43] Farley M, Hamilton S. Technology and Equipment for Water Loss Management. IWA - Publishing Ltd.; 2008.

[44] Kober E, Gangl G. New Monitoring Methodology for Water Distribution Systems. IWA - Publishing Ltd.; 2009.

[45] Anvari A, Ismail Y, Hojjati, SMH. A Study on Total Quality Management and Lean Manufacturing: Through Lean Thinking Approach. IDOSI Publications, World Applied Sciences Journal, No. 12(9); 2011., p. 1585-1596; ISSN: 1818-4952.

[46] Hines P, Holweg M, Rich N. Learning to evolve - A review of contemporary lean thinking. Emerald Group Publishing Ltd., International Journal of Operations & Production Management No. 10(24); 2004., p. 994-1011; DOI: 10.1108/01443570410558049.

[47] Shah R, Ward PT. Defining and developing measures of lean production. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Journal of Operations Management, No. 25; 2007., p. 785-805.

[48] Petersen J. Defining Lean Production: Some conceptual and practical issues. Helsingborg; Sweden: 11th QMOD Quality Management and Organizational Development Conference; 2008., p. 285-300.

[49] Andres-Lopez E, Gonzales-Requena I, Sanz-Lobera A. Lean Service: Reassessment of Lean Manufacturing for Service Activities. Elsevier Ltd., ScienceDirect - Procedia Engineering, No. 132; 2015., p. 23-30.

[50] Asnan R, Nordin N, i Othman SN. Managing Change on Lean Implementation in Service Sector. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procedia - Social and Behavioral Sciences, No. 211; 2015., p. 313-319.

[51] Monteiro MFJR, Pacheco CCL, Dinish-Carvalho J, Paiva FC. Implementing Lean Office: A Successful Case in Public Sector. University of Minho, Engineering School, FME Transactions, No. 43(4); 2015., p. 303-310. doi:10.5937/fmet1504303M .

[52] Dombrowski U, Mielke T. Lean Leadership fundamental principles and their application. Elsevier Ltd., SciVerse, ScienceDirect: Procedia CIRP, No. 7; 2013., p. 569-574; doi: 10.1016/j.procir.2013.06.034.

[53] Kadarovaa J, i Demeckoa M. New approaches in Lean Management. Elsevier Ltd. – ScienceDirect: Procedia Economics and Finance, No. 39; 2016., p. 11-16; doi:10.1016/ S2212-5671(16)30234-9.

[54] Alves AC, Dinis-Carvalho J, Sousa RM. Lean production as promoter of thinkers to achieve companies agility. Emerald Ltd., The Learning Organization, Vol. 19 (3); 2012., p. 219-237; http://dx.doi.org/10.1108/09696471211219930.

[55] Modi DB, Thakkar H. Lean Thinking: Reduction of Waste, Lead Time, Cost through Lean Manufacturing Tools and Technique. IJETAE, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, No. 4; 2014. ISSN: 2250-2459.

[56] Hegedić M. Model upravljanja proizvodnjom integriranjem vitkog i zelenog menadžmenta [Doktorski rad]. Sveučilište u Zagrebu: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2017; UDK: 658.5.

[57] Dhingra R, Kress R, Upreti G. Does Lean Mean Green?. Elsevier Ltd., ScienceDirect - Journal of Cleaner Production, No. 85; 2014., p. 1-7.

[58] Aquado S, Alvarez R, Domingo R. Model of efficient and sustainable improvements in a Lean production system through processes of environmental innovation. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Journal of Cleaner Production, No. 47; 2013., p. 141-148.

[59] Fercoq A, Lamouri S, Carb V. Lean/Green integration focused on waste reduction techniques. Elsevier Ltd., Journal of Cleaner Production, No. 137; 2016., p. 567-578; http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.107.

[60] Kurdve M, Zackrisson, M, Wiktorsson M, Harlin U. Lean and green integration into production system models experiences from Swedish industry. Elsevier Ltd.; 2014., p. 180-190; DOI:10.1016/j.jclepro.2014.04.013.

[61] Fujimoto T. The Evolution of a Manufacturing System at Toyota. Oxford University Press; 1999.

[62] Ohno T. The Toyota production system, Beyond large - scale production. Portland: Productivity Press; 1988. ISBN-10: 0-915299-14-3.

[63] Holweg M. The genealogy of lean production. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Journal of Operations Management, No. 25; 2007., p. 420-437. doi:10.1016/j.jom.2006.04.001.

[64] Humphreys KK. Toyota Production System - An Integrated Approach to Just-In-Time. 4th Edition, New York: Productivity Press; 2011. ISBN: 9781466504516.

[65] Krafcik JF. Triumph of the lean production system. Sloan management Review, No. 30; 1988., p. 41 - 52.

[66] Womack JP, Jones DT, Roos D. The Machine that Changed the world. Rawson Associates, New York; 1990.

[67] Womack JP, Jones DT, Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Revised and Updated: FREE PR; Rawson Associates, New York; 2014.

[68] Womack J. Walking Through Lean History. Lean Enterprise Institute Inc.; 2004. https://www.lean.org/womack/DisplayObject.cfm?o=727.

[69] Imai M. Gemba Kaizen: A Commonsense approach to a Continuous Improvement Strategy. New York: McGrow-Hill Education Ltd.; 2012.

[70] Hampson I. Lean Production and the Toyota Production System; The Case of the Forgoten Production Concepts. Economic and Industrial Democracy, No. 20; 1999. https.//doi.org/10.117/0143831X99203003.

[71] Wahab ANA, Mukhtar M, Sulaiman SA. Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions. Elsevier Ltd., ScienceDirect-Procedia Technology, No. 11; 2013., p. 1292-1298; doi: 10.1016/j.protcy.2013.12.327.

[72] Štefanić N, Veža I, Gjeldum N, Tošanović N, Hegedić M. Lean Menadžment priručnik - proizvodnja i usluge; urednici Štefanić N, Veža I., 3. izdanje. Zagreb: Lean Menadžment Inicijativa; 2014.

[73] Womack J. Gemba Walks. New York: Lean Enterprise Institute Ltd.; 2011., p. 348; ISBN: 978-1-934109-15-1..

[74] Tošanović N. Unapređenje proizvodnih procesa primjenom principa povlačenja [Doktorski rad]. Sveučilište u Zagrebu: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2018.

[75] Mourtzis D, Papathanasiou P, Fotia S. Lean Rules Identification and Classification for Manufacturing Industry. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procedia CIRP, No. 50; 2016., p. 198 – 203.

[76] Norani N, Wahab DZA. A framework for organisational change management in lean manufacturing implementation. ResearchGate: International Journal of Services and Operations Management, No. 12(1); 2012., p. 101-117. DOI: 10.1504/IJSOM.2012.046676.

[77] Abouezzi M, Ben-Zekry B, Butler S. Achieving Process Excellence Through Water Efficiency. Ross & Associates Environmental Consulting Ltd.: United States Environmental Protection Agency; 2011. EPA-100-K-11-003.

[78] Rajesh K, Sridhar CNV, Gopi Krishna M. Best Utilities of Impruving Water Efficiency Through Lean Methodologies in Industrial Sector. IJATES, International Journal of

Advanced Technology in Engineering and Science, No. 4; 2016., p. 525-537. ISSN: 2348-7550.

[79] Jasiulewicz-Kaczmarek M. Integrating Lean and Green Paradigms in Maintenance Management. Cape Town, South Africa: IFAC - Proceedings of the 19th World Congress, The International Federation of Automatic Control; 2014. ISBN: 978-3-902823-62-5/2014.

[80] Deming WE. New Economics for Industry, Government, Education. MIT University Press Group Ltd.; 2000.

[81] Štefanić N. Osnove Kaizen pristupa. Culmena d.o.o.; 2019.

[82] Singh J, Singh H. Kaizen Philosophy: A Review of Literature. Icfai University Prerss, Icfai University Journal of Operations Management, No. 2, Volume VIII; 2009., p. 51-72. 07J-2009-05-04-01.

[83] Brunet AP, New S. Kaizen in Japan: an empirical study. : Emerald Ltd., International Journal of Operations & Production Management No. 12(23); 2003; p. 1426-1446; DOI: 10.1108/01443570310506704.

[84] Štefanić N, Tošanović, N, i Hegedić M. Kizen workshop as an important element of continuous improvement process. IJIEM -International Journal of Industrial Engineering and Management, No. 2(3); 2012., p. 93-98. ISSN: 2217-2661.

[85] Farris JA, Aken EMV, Doolen TL, Worley J. Critical success factors for human resource outcomes in Kaizen events: An empirical study. Elsevier Ltd., International Journal of Production Economics, No. 117; 2009., p. 42-65. doi:10.1016/j.ijpe.2008.08.051.

[86] Glover V, Farris JA, Van Aken EM, Doolen TL. Critical success factors for the sustainability of Kaizen event human resource outcomes: An empirical study. Elsevier Ltd., Production Economics, No. 132; 2011., p. 197-213.

[87] Modarress B, Ansari A. Lockwood DL. Kaizen costing for lean manufacturing: a case study. Taylor & Francis Group Ltd., International Journal of Production Research, No. 9(43); 2005., p. 1751-1760; ISSN 0020–7543; print/ISSN 1366–588X online.

[88] Visco D. 5S Made Easy. Taylor & Francis Inc.; 2015; ISBN: 9781498719834 .

[89] Gapp R, Fisher R, Kobayashi K. Implementing 5S within a Japanese context: an integrated management system. Emerald Group Publishing Ltd.: Management Decision, Vol. 46, No. 4; 2008., p. 565-579. DOI: 10.1108/00251740810865067.

[90] Gorše A. Implementacija metode 5S v proces proizvodnje. Revija za univerzalno odličnost, No. 5; 2016., str. 89-102.

[91] Juhari NHB, Abidin N, Omar MW. Factors influencing employees' motivation in implementing 5s system. Elixir: Human Resource Management, No. 39; 2011., p. 4836-4847. ISSN: 2229-712X.

[92] McCarty D, Rich N. Lean TPM: A Blueprint for Changes. Elseier Ltd.; 2004. ISBN: 0 7506 5857 6.

[93] Leachman RC. Closed-Loop Measurement of Equipment Efficiency and Equipment Capacity. Berkeley: University of California; 2002. CA 94720-1777.

[94] Azizi A. Evaluation Improvement of Production Productivity Performance using Statistical Process Control, Overall Equipment Efficiency and Autonomous Maintenance. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procedia Manufacturing, No 2; 2015., p. 186 – 190. doi:10.1016/j. promfg.2015.07.032.

[95] Puvanasvaran AP, Mei CZ, Alagendran VA. Overall Equipment Efficiency Improvement Using Time Study in an Aerospace Industry. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procedia Engineering, No. 68; 2013., p. 271 – 277. doi: 10.1016/j.proeng.2013.12.179.

[96] Pintelon L, Muchiri P. Performance Measurement Using Overall Equipment Effectiveness (OEE): Literature Review and practical application discussion. Taylor & Francis Ltd., International Journal of Production Research, Vol. 46, No. 13; 2008., p. 3517-3535. 10.1080/00207540601142645.

[97] Rajput HS, Jayaswal P. A Total Productive Maintenance (TPM) Approach To Improve Overall Equipment Efficiency. IJMER, International Journal of Modern Engineering Research, No. 2; 2012., p. 4383-4386. ISSN: 2249-6645.

[98] Lasa IS, Laburu CO, Castro Vila R. An evaluation of the value stream mapping tool. Emerald Group Publishing Ltd., Business Process Management Journal, No. 1(14); 2008., p. 39-52; DOI: 10.1108/14637150810849391.

[99] Rahani AR, Al-Ashraf M. Production Flow Analysis through Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process Case Study. Elsevier Ltd., SciVerse: ScienceDirect-Procedia Engineering, No. 41; 2012., p. 1727 – 1734. doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.375.

[100] Rother M, Shock J. Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda. The Lean Enterprise Institute; 1999.

[101] Takahashi K, Hirotani MD. Comparing CONWIP, synchronized CONWIP and Kanban in complex supply chains. Elsevier Ltd., ScienceDirect: International Journal Production Economics, No. 93–94; 2005., p. 25-40. doi:10.1016/j.ijpe.2004.06.003.

[102] Mackelprang AW, Nair A. Relationship between Just-in-Time Manufacturing Practices and Performance: A Meta-Analytic Investigation. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Journal of Operational Managements, No. 27; 2009. doi:10.1016/j.jom.2009.10.002.

[103] Dillon AP, Shingo S. A Revolution in Manufacturing: The SMED System. Taylor & Francis Group Ltd.; 1985. ISBN 9780915299034.

[104] Moreira AC, Pais GCS. Single Minute Exchange of Die: A Case Study Implementation. Santiago: ScIELO Analytics, Journal of Technology Management & Innovation; 2011., p. 129-146. ISSN 0718-2724.

[105] Saurin TA, Marodin GA, Ribeiro JLD. A framework for assessing the use of lean production practices in manufacturing cells. ResearchGate: International Journal of Production Research, No. 49; 2011., p. 3211-3230. DOI: 10.1080/00207543.2010.482567.

[106] Misiurek B. Standardized Work with TWI - Eliminating Human Errors in Production and Service Processes. New York: Taylor & Francis Group Ltd.; 2016. eBook ISBN: 9781498737562.

[107] Fantin I. Applied Problem Solving. Method, Applications, Root Causes, Countermeasures, Poka-Yoke and A3. How to make things happen to solve problems. Createspace, an Amazon company; 2018. ISBN 978-1499122282.

[108] Marr B. Key Performance Indicators (KPI): The 75 measures every manager needs to know. Pearson Education Ltd.; 2012. ISBN-13: 978-0273750116.

[109] Rahman NAA, Sharif SM, Esa MM. Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procedia Economics and Finance, No. 7; 2013., p. 174-180. doi: 10.1016/S2212-5671(13)00232-3.

[110] Lage MJ, Filho MG. Variations of the kanban system: Literature review and classification. Elsevier Ltd., International Journal of Production Economics, No. 125; 2010., p. 13-21. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.01.009.

[111] Naufal A, Jaffar A, Yusoff N, Hayati N. Development of Kanban System at Local Manufacturing Company in Malaysia – Case Study. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procedia Engineering, No. 41; 2012., p. 1721-1726. doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.374.

[112] Liker JK. The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. New York: McGraw-Hill; 2004. ISBN:0071392319 .

[113] Shook JY. Managing to Learn: Using the A3 management process. Lean Enterprise Institute, Inc.; 2008. ISBN-13: 978-1-934109-20-5.

[114] Bassuk JA, Whington IM. The A3 Problem Solving Report: A 10-Step Scientific Method to Execute Performance Improvements in an Academic Research Vivarium. University of Central Florida, United States of America, editor Deborah A. PLOS ONE, open-access article, No. 8; 2013., p. 1-9.

[115] Hegedić M, Gudlin M, Štefanić N. Relationship Between Lean and Green Management in Croatian Manufacturing Companies. INDECS; 2018. str. 21-39; DOI: 10.7906/indecs. 16.1.2.

[116] Štefanić N. Zelena i Vitka proizvodnja i usluge – prilike za hrvatska poduzeća. Zagreb: Culmena d.o.o., 1. Konferencija o zelenoj i vitkoj proizvodnji i uslugama GALP 2011.

[117] Poljak D. Vooopskrba i odvodnja Ltd. - By Constructing Solar Power Plants Till the Socially Responsible and Green Organization. Šibenik: Culmena d.o.o., Lean Spring Summit; 2016., p. 15-21. ISBN 978-953-58558-2-8.

[118] Rudra Narsimha RG, Nand Gopal E. Sharma KV. Cost Effective Solution for Energy Efficiency in Urban Water Supplies: Developing Countries. Research India Publications, International Journal of Applied Engineering Research, Vol. 9, No. 18; 2014., p. 4667-4682. ISSN: 0973-4562.

[119] Kilpatrick AM. Lean manufacturing principles: a comprehensive framework for improwing production efficiency [Masters degree]. MIT - Department of Mechanical Engineering: Massachusetts Institute of Technology; 1997. http://hdl.handle.net/1721.1/10286.

[120] Smith R, Hawkins B. Lean Meintenance - Reduce Costs, Improve Quality, and Increase Market Share. Elsevier Ltd.: ScienceDirect, 1st ed.; 2004. ISBN: 9780080478906.

[121] Tafra Vlahović M. Održivo poslovanje. Zaprešić: VŠPU Baltazar Adam Krčelić; 2011. str. 19. ISBN 978-953-7670-08-5.

[122] Tkalac Verčić A. Odnosi s javnošću. HOUJ; 2015., str. 404. ISBN 978-7713-02-7.

[123] Reiner A. Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production. Piracicaba, Brasil: 19th International Seminar on High Technology; October, 2014.

[124] Federal Ministry of Education and Research (BMBF). The new High-Tech Industrial Strategy. Berlin: German Federal Government; 2015.

[125] Freitag M, Zelm M. Standardisation connecting the initiative ‘Industry 4.0’ and Service Life Cycle. Proceedings of the 6th Workshop on Enterprise Interoperability. Nimes, France; 2015. http://ceur-ws.org.

[126] Qin J, Liu Y, Grosvenor R. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procedia CIRP 52; 2016., p. 173 – 178. doi: 10.1016/j. procir.2016.08.005.

[127] Farris I, Iera A, Molinaro A, Pizzi S. A novel IPv6-based approach to exploit the potential of UHF RFID for Smart Factory. IEEE-Communications Society, E-LETTER, No. 10; 2015., p. 24-27. http://www.comsoc.org/~mmc.

[128] Maxim V, Seminski J, i Slanina V. Trends in Industrial Wireless Communication and Applications. SCIEP-Science and Education Publishing, American Journal of Mechanical Engineering No. 3; 2015., p. 235-239.

[129] Kolberg D, Zühlke D. Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. Elsevier Ltd., ScienceDirect: FAC-PapersOnLine, 48(3); 2015. p. 1870-1875. 10.1016/j.i facol.2015.06. 359.

[130] Mrugalska B, Wyrwicka MK. Towards Lean Production in Industry 4.0. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procedia Engineering, No. 182; 2017., p. 466 – 473. doi: 10.1016/j. proeng.2017.03.135.

[131] Wagner T, Hermann C, i Thiede S. Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procidia CIRP, No. 63; 2017., p. 125-130. doi: 10.1016/j. procir.2017.02.041.

[132] Štefanić N. Nacionalna platforma za digitalizaciju RH. Zagreb: Culmena d.o.o., Konferencija o zelenoj i vitkoj proizvodnji i uslugama GALP 2016.

[133] Kagerman H, Wahister W, Helbig J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0,. ACATECH - National Academy of Science and Engineering, Germany: Heilmeyer und Sernau; 2013.

[134] Meier H. The human role in Cyber Physical Systems. European Academy for Industrial Management (AIM); Bochum: Ruhr Universitat; 2014.

[135] Petrić J. Industrija 4.0. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2015.

[136] Štefanić N, Veža I, Štefanić A, Brnadić T. Industry 4.0: From SMART Factory to SMART Hospital. Šibenik: CULMENA d.o.o., LEAN Spring Summit 2016., p. 1-6. ISBN 978-953-58558-2-8.

[137] Poljak D. Zagreb "SMART City". Šibenik: CULMENA d.o.o., urednici Štefanić N, Veža I, Lean Spring Summit 2015., str. 9-15. ISBN 978-953-58558-0-4.

[138] Zezulka F, Marcon P, Vesely I, Sajdl O. Industry 4.0: An Introduction in the Phenomenon. Elsevier Ltd., ScienceDirect: IFAC-PapersOnLine; 2016., p. 008-012., Volume 49-25. 10.1016/ j.ifacol.2016.12.002.

[139] Leitao P, Karnouskos S, Ribeiro L, Lee J, Strasser T, Colombo AW. Smart Agents in Industrial Cyber-Physical Systems. Linköping University Post Print: Proceedings of the IEEE 5(104); 2016., p. 1086-1101. http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2016.2521931.

[140] Herterich MM, Uebernickel F, Brenner W. The Impact of Cyber - Physical Systems on Industrial Services In Manufacturing. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procedia CIRP, No. 30; 2015., p. 323-328. doi: 10.1016/j.procir.2015.02.110.

[141] Khaitan SK, McCalley JD. Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey. IEEE Systems Journal; 2014.

[142] Lee J, Bagheri B. Kao HA. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Manufacturing Letters, No. 3; 2015., p. 18-23. DOI: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001.

[143] Lee EA. Cyber Physical Systems: Design Challenges. EECS Department, University of California, Berkeley; 2008. Technical Report No. UCB/EECS-2008-8. Retrieved 2008-06-07.

[144] Schumacher A, Erol S, Sihn W. A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. Elsavier Ltd., ScienceDirect: Procedia CIRP, No. 52; 2016., p. 161-166. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.040.

[145] Alippi C. Intelligence for Embedded Systems: Springer Verlag; 2014. ISBN 978-3-319-05278-6..

[146] Cohin O, Sondi P. Internet of things for smart factory. IEEE-Communications Society: E-LETTER, No. 10; 2015., p. 21-23. http://www.comsoc.org/~mmc.

[147] Wang K, Intelligent Predictive Maintenance (IPdM) system – Industry 4.0 scenario. WIT Press: WIT Transactions on Engineering Sciences, No. 113; 2016. ISSN 1743-3533.

[148] Botta A, De Donato W, Persico V, Pescape A.. Integration of Cloud computing and Internet of Things: A survey. Elsevier Ltd., Future Generation Computer Systems, No. 56; 2016., p. 684-700. https://doi.org/10.1016/j.future.2015.09.021.

[149] Mourtzis D, Vlachou E, Milas N. Industrial Big Data as a result of IoT adoption in Manufacturing. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procedia CIRP, No. 55; 2016., p. 290-295. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.038.

[150] Russom P. BIG DATA ANALYTICS. : TDWI (The Data Warehousing InstituteTM); 2011. Best Practices Report.

[151] Lee J, Lapira E, Bagheri B, Kao H-A. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Manufacturing Letters, No. 1; 2013., str. 38-41. http://dx.doi.org/10.1016/j.mfglet.2013.09.005.

[152] Lee J, Kao, H-A. Yang S. Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. Elsevier Ltd., ScienceDirect: Procedia CIRP, No. 16; 2014., p. 3-8. doi: 10.1016/j.procir.2014.02.001.

[153] Géczy P. Big Data Characteristics. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan; 2014., p. 94-104.

[154] Ge M, Bangui H. Buhnova B. Big Data for Internet of Things: A Survey. Elsevier Ltd., Volume 87; 2018., p. 601-614. https://doi.org/10.1016/j.future.2018.04.053.

[155] Torrecilla JL, Romo J. Data learning from big data. Elsevier Ltd, ScienceDirect: Statistics and Probability Letters, No. 136; 2018., p. 15-19. https://doi.org/10.1016/j.spl.2018.02.038.

[156] Liu X, Wang X, Wright G, Cheng JCP, Liu Rui. A State-of-the-Art Review on the Integraion of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS), Volume 6. Basel : MDPI, ISPRS International Journal of Geo-Information; 2017., p. 1-21.

[157] Shekar S, Xiong H. Encyclopedia of GIS. Springer; 2008. ISBN 978-0-387-30858-6 .

[158] Reger CM. Bringing GIS to a Small Community Water System [Master Thesis]. Faculty of the USC (University of Southern California); 2017.

[159] Dana PH. Global Positioning System (GPS) Time Dissemination for Real-Time Applications. Boston: Kluwer Acadmic Publishers, Real-Time systems, No. 12; 1997. p. 9-40.

[160] Poljak D. Industry 4.0 - New Challenges for Public Water Supply Organizations. Urednici Štefanić N i Cajner H. Opatija: Culmena d.o.o., Lean Spring Summit 2018. p. 51-58. ISBN: 978-953-58558-4-2.

[161] Bafler R, Clausnitzer V, Vestner R, Werner U, Ziemer C. WATER 4.0 – An important element for the German water industry. Berlin: German Water Partnership; 2017.

[162] Sirkia J, Laakso T, Ahopelto S, Ylijoki O, Porras J, Vahala R.. Data utilization at finnish water and wastewater utilities: Curent practices vs. state of the art. Elsevier Ltd., Utilities Policy, No. 45; 2017., p. 69-75. https://doi.org/10.1016/j..jup.2017.02.002.

[163] Teixeira de Azevedo M, Martins AB, Kofuji ST. Digital Transformation in the Utilities Industry: Industry 4.0 and the Smart Network Water. IIRMA - Information Resources Management Association; 2019. DOI: 10.4018/978-1-5225-4936-9.ch013.

[164] March H, Morote AF, Rico AM, Sauri D. Household Smart Water metering in Spain: Insights from the Experience of Remote Meter Riding in Alicante. MDPI – Sustainability, No. 9; 2017., p. 582-600. doi:10.3390/su9040582.

[165] Chopra M. Gogia S. Water ATM's-Is Digitalization of water the solution. PARIDNYA, The MIBM Research Journal, Vol-5, Issue-1; 2017., p. 22-26. PRINT ISSN No.2347.2405.

[166] Cepa K, Chen HH, Laakso T, Nelimarkka M, Kuo V. Disrupting the Water industry. Editors, Neuvo Y, Ormala E, Kuikka M. Aalto University School of Business, Bit Bang 8: Digitalization; 2016., p. 203-236. ISBN 978-952-60-1101-1.

[167] Mutchek M, Wiliams E. Moving Towards Sustainable and Resilient Smart Water Grids. MDPI - Chalenges, No. 5; 2014., p. 123-137. doi:10.3390/challe5010123.

[168] Public Utilities Board Singapore. Managing the water distribution network with a Smart Water Grid. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution: SpringerOpen; 2016. doi: 10.1186/s40713-016-0004-4.

[169] Priya R, i Rameshkumar GP. A Novel Method to Smart City's Water Management System With Sensor Devices and Arduino. Research India Publications, International Journal of Computational Intelligence Research, Volume 13, No. 10; 2017., p. 2391-2406. ISSN 0973-1873.

[170] Lin J, Sedigh S, Miller A. Integrated Cyber-Physical Simulation of Inteligent Water Distribution Netvorks. Editor, Leite EP. InTech, Scientific and Engineering Applications Using MATLAB; 2011. ISBN: 978-953-307-659-1.

[171] Stoffels M, Ziemer C. Digitalization in the process industries - Evidence from the German water industry. Journal of Business Chemistry, No. 14(3); 2017., p. 94-105. DOI: 10.17879/20249613743.

[172] Wehn U, Montalvo C. Exploring the dynamics of water innovation: Foundations for water innovation studies. Elsevier Ltd., Journal of Cleaner Production, No. 171; 2018. p. 1-19. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.118.

[173] Poljak D. Early Indication of Water Losses in Public Water Supply Systems by Applying the Concept "Industry 4.0". Editors, Štefanić N, Cajner H. Šibenik: Culmena d.o.o., Lean Spring Summit 2017., p. 27-34. ISBN 978-953-98558-3-5.

[174] Veža I, Mladineo M, Gjeldum N. Selection of the Basic Lean Tools for Development of Croatian Model of Innovative Smart Enterprise. ReserchGate: Tehnički vjesnik, No. 23(5); 2016., p. 1317-1324 . DOI: 10.17559/TV-20160202120909.

[175] Cajner H, Kovačec M, Štefanić N. Potencijal Korištenja Alata LEAN Menadžmenta u Hrvatskim Tvrtkama. Šibenik: Culmena d.o.o., urednici, Šteanić N, Veža I., Lean Spring Summit 2015., str. 16-24. ISBN: 978-953-58558-0-4.

[176] Kovačec M. Model Učinkovitog Upravljanja Proizvodnim Sustavima [Doktorski rad]. Sveučilište u Zagrebu: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2015. UDK: 658.5.

[177] Poljak D. Identification of Lean and Green Wastes in a Water Supply Organization and their Impact on Water Losses in Water Supply Systems. Editors, Štefanić N, Cajner H. Lovran: Culmena d.o.o., Lean Spring Summit 2019., p. 13-21. ISBN 978-953-58558-5-9.

9. PRILOZI

PRILOG 1: Glavni uzroci curenja cjevovoda i njihova učestalost;

PRILOG 2: Predloženi novi ključni pokazatelji uspješnosti poslovanja KPI;

PRILOG 3: Gubici prema Lean menadžmentu u vodoopskrbnim organizacijama;

PRILOG 4: Gubici prema Green menadžmentu u vodoopskrbnim organizacijama;

PRILOG 5: Planovi ispitivanja pametne DMA zone;

PRILOG 6: Mjerenja na modelu pametne DMA;

PRILOG 7: Stvarni i relativni gubici vode u DMA zoni;

PRILOG 8: Trend stvarnih gubitaka vode u DMA zoni;

PRILOG 1: Glavni uzroci curenja cjevovoda i njihova učestalost;

Tablica 9.1: Glavni uzroci curenja cjevovoda i njihova učestalost [13];

R. br.	Uzrok curenja cjevovoda	Učestalost [%]
1.	Pomicanja i poremećaji u tlu	27
2.	Korozija cijevi	19
3.	Prometna opterećenost	11
4.	Visoki tlak	8
5.	Radovi na prometnicama (kopanje)	8
6.	Starost cjevovoda	6
7.	Smrzavanje u zimskim uvjetima	6
8.	Greška na cijevi	5
9.	Greška na spoju cijevi	4
10.	Uvjeti u tlu	3
11.	Nekvalitetna izvedba cjevovoda	2
12.	Ostalo	1

PRILOG 2: Predloženi novi ključni pokazatelji uspješnosti poslovanja KPI;

Tablica 9.2: Predloženi novi ključni pokazatelji uspješnosti poslovanja KPI;

	Ključni pokazatelj uspješnosti - KPI	Mjerna jedinica
1.	Ukupni prihod vodoopskrbe na 1000 priključaka	[Kn/1000$_{WSC}$]
2.	UP vodoopskrbe po kilometru vodoopskrbne mreže	[kn/km$_{WSN}$]
3.	Broj djelatnika vodoopskrbe na 1000 priključaka	[1/1000$_{WSC}$]
4.	Broj djelatnika vodoopskrbe po kilometru mreže	[1/ km$_{WSN}$]
5.	Udio direktnih djelatnika WS u ukupnom broju djelatnika	[%]
6.	Utrošak električne energije prema prihodovanoj vodi Q_{RW}	[Kwh/m^3]
7.	Utrošak električne energije prema zahvaćenoj vodi Q	[Kwh/m^3]
8.	Utrošak električne energije na 1000 priključaka	[Kwh/1000$_{WSC}$]
9.	Utrošak električne energije po kilometru WSN	[Kwh/km$_{WSN}$)
10.	Udio električne energije iz vlastitih obnovljivih izvora u ukupno utrošenoj električnoj energiji	[%]
11.	Direktni troškovi tekućeg održavanja na 1000 priključaka	[Kn/1000$_{WSC}$]
12.	Direktni troškovi tekućeg održavanja po kilometru WSN	[kn/km$_{WSN}$]
13.	Količina nefakturirane vode Q_{NRW} na 1000 priključaka	[m^3/1000$_{WSC}$]
14.	Količina nefakturirane vode Q_{NRW} po kilometru WSN	[m^3/km$_{WSN}$]
15.	Vrijednost zaliha na 1000 priključaka	[Kn/1000$_{WSC}$]
16.	Vrijednost zaliha po kilometru WSN	[kn/km$_{WSN}$]
17.	Vrijednost zaliha prema ukupnom prihodu vodoopskrbe	[%]
18.	Broj prigovora (reklamacija) na 1000 priključaka	[1/1000$_{WSC}$]
19.	Broj prigovora (reklamacija) po kilometru WSN	[1/km$_{WSN}$]
20.	Broj prigovora (reklamacija) tekućeg razdoblja prema broju prigovora (reklamacija) prethodnog razdoblja	[%]

PRILOG 3: Gubici prema Lean menadžmentu u vodoopskrbnim organizacijama (177);

Tablica 9.3: Gubici prema Lean menadžmentu u vodoopskrbnim organizacijama;

	Vrsta gubitaka	**Opis**
1.	Prekomjerna proizvodnja	- Proizvodnja izgubljene vode
2.	Zalihe	- Neophodne zalihe - vrijednost; - Neophodne zalihe - otpis; - Nepotrebne zalihe osnovne djelatnosti - Nepotrebne zalihe indirektnih djelatnosti
3.	Transport	- Transportni gubici u vodoopskrbnim sustavima (gubici vode, energije, tlaka, kvalitete vode) - Transportni gubici u vodoopskrbnim organizacijama (prekomjerna kretanja ljudi, vozila, radnih strojeva).
4.	Čekanje	- Nepotrebno kretanje materijala (obradaka) između operacija. - Neučinkovito i nepotrebno slanje informacija. - Neuspješna komunikacija, gubitak podataka, nekompatibilnost, nepouzdanost informacija.
5.	Nepotrebna kretanja	- Loš raspored strojeva - nepotrebno kretanje radnika. - Ljudi se kreću kako bi došli do informacija. - Ručni rad kako bi se kompenzirali nedostaci u procesu.
6.	Škart	- Prekid rada zbog grešaka, nepotrebni utrošak vremena i prostora te troškovi za analizu i otklanjanje. - Nepotpune, netočne, nepravodobne informacije.
7.	Prekomjerna obrada	- Predimenzionirani strojevi. - Kriva ili nedostatna tehnološka oprema. - Previše procesa obrade. - Loš dizajn proizvoda, uz previše koraka obrade (presložen proizvod).
8.	Nedovoljno korištenje potencijala zaposlenika	- Zaposlenici nisu uključeni u aktivnosti poboljšanja procesa. - Nejasno definirane uloge, odgovornosti i slobode djelovanja. - Ograničavanje autoriteta i odgovornosti kod donošenja rutinskih odluka.

PRILOG 4: Gubici prema Green menadžmentu u vodoopskrbnim organizacijama (177);

Tablica 9.4: Gubici prema Green menadžmentu u vodoopskrbnim organizacijama;

	Vrsta gubitaka	**Opis**
1.	Energija	- Prekomjerno korištenje energije; - Ne korištenje energije iz obnovljivih izvora;
2.	Voda	- Prekomjerno korištenje čiste vode; - Ne korištenje sive vode; - Ne korištenje vode u zatvorenim procesima;
3.	Materijal	- Prekomjerno korištenje materijala; - Korištenje nereciklirajućih materijala; - Korištenje opasnih materijala;
4.	Otpad	- Prekomjerna produkcija otpada za odlaganje. Otpada koji se više neće koristiti u drugim procesima (sve vrste direktnog i indirektnog materijala);
5.	Transport	- Nepotrebna kretanja materijala, ljudi i informacija;
6.	Emisije	- Ispuštanje ili istjecanje tvari u plinovitom, tekućem ili čvrstom stanju; - Ispuštanje energije; - Ispuštanje organizama;
7.	Bio raznolikost	- Preveliki utjecaj na žive organizme (flora i fauna); - Preveliko korištenje prirodnih resursa;

PRILOG 5: Planovi ispitivanja pametne DMA zone;

Tablica 9.5: Plan ispitivanja pametne DMA zone – slučaj stacionarnih gubitaka;

	STATUS				
Mjerenje	Manometar	Potrošač P1	Potrošač P2	Potrošač P3	Gubici G4
0.	2,0 bara	Podešeno na 25% potrošnje 2	Podešeno na 25% potrošnje 2	Podešeno na 25% potrošnje 2	Podešeno na 25% Gubitaka α
1.	2,0 bara	2	2	2	α
2.	2,0 bara	2	3	3	α
3.	2,0 bara	1	3	2	α
4.	2,0 bara	2	3	4	α
5.	2,0 bara	2	3	1	α
6.	2,0 bara	4	3	2	α
7.	2,0 bara	0	3	1	α
8.	2,0 bara	3	2	4	α
9.	2,0 bara	2	2	3	α
10.	2,0 bara	2	1	2	α
11.	2,0 bara	4	0	3	α
12.	2,0 bara	1	2	2	α
13.	2,0 bara	3	2	2	α
14.	2,0 bara	2	3	3	α
15.	2,0 bara	3	3	2	α
16.	2,0 bara	3	4	1	α
17.	2,0 bara	1	1	2	α
18.	2,0 bara	2	2	3	α
19.	2,0 bara	2	2	2	α
20.	2,0 bara	2	2	2	α
21.	2,0 bara	3	3	1	α
22.	2,0 bara	1	4	2	α
23.	2,0 bara	3	4	1	α
24.	2,0 bara	2	1	1	α
25.	2,0 bara	1	3	0	α
26.	2,0 bara	0	3	2	α
27.	2,0 bara	2	2	4	α
28.	2,0 bara	2	2	3	α
29.	2,0 bara	1	3	1	α
30.	2,0 bara	1	1	2	α
31.	2,0 bara	1	2	2	α
32.	2,0 bara	1	2	1	α
33.	2,0 bara	3	2	4	α
34.	2,0 bara	1	1	1	α
35.	2,0 bara	2	1	2	α
36.	2,0 bara	2	2	4	α

Tablica 9.6: Plan ispitivanja pametne DMA zone, slučaj sporo rastućih gubitaka;

	STATUS				
Mjerenje	Manometar	Potrošač P1	Potrošač P2	Potrošač P3	Gubici G4
0.	2,0 bara	Podešeno na 25% potrošnje 2	Podešeno na 25% potrošnje 2	Podešeno na 25% potrošnje 2	Podešeno na 25% Gubitaka α
1.	2,0 bara	2	2	2	α
2.	2,0 bara	2	3	0	α
3.	2,0 bara	4	2	2	α
4.	2,0 bara	3	3	3	α
5.	2,0 bara	1	1	0	α
6.	2,0 bara	0	1	1	α
7.	2,0 bara	2	2	3	α
8.	2,0 bara	2	4	2	α
9.	2,0 bara	2	3	2	α
10.	2,0 bara	2	1	4	α
11.	2,0 bara	1	2	1	α
12.	2,0 bara	2	2	2	α
13.	2,0 bara	3	3	1	α
14.	2,0 bara	2	2	4	α
15.	2,0 bara	3	4	1	α
16.	2,0 bara	4	1	1	$\alpha + 1/20\ \beta_{max}$
17.	2,0 bara	2	2	2	$\alpha + 2/20\ \beta_{max}$
18.	2,0 bara	3	2	2	$\alpha + 3/20\ \beta_{max}$
19.	2,0 bara	2	3	3	$\alpha + 4/20\ \beta_{max}$
20.	2,0 bara	4	4	4	$\alpha + 5/20\ \beta_{max}$
21.	2,0 bara	3	4	4	$\alpha + 6/20\ \beta_{max}$
22.	2,0 bara	2	2	1	$\alpha + 7/20\ \beta_{max}$
23.	2,0 bara	2	4	3	$\alpha + 8/20\ \beta_{max}$
24.	2,0 bara	5	3	1	$\alpha + 9/20\ \beta_{max}$
25.	2,0 bara	2	3	1	$\alpha + 10/20\ \beta_{max}$
26.	2,0 bara	2	2	0	$\alpha + 11/20\ \beta_{max}$
27.	2,0 bara	2	2	1	$\alpha + 12/20\ \beta_{max}$
28.	2,0 bara	4	2	3	$\alpha + 13/20\ \beta_{max}$
29.	2,0 bara	3	4	2	$\alpha + 14/20\ \beta_{max}$
30.	2,0 bara	2	2	1	$\alpha + 15/20\ \beta_{max}$
31.	2,0 bara	3	3	4	$\alpha + 16/20\ \beta_{max}$
32.	2,0 bara	3	4	3	$\alpha + 17/20\ \beta_{max}$
33.	2,0 bara	5	3	4	$\alpha + 18/20\ \beta_{max}$
34.	2,0 bara	4	3	3	$\alpha + 19/20\ \beta_{max}$
35.	2,0 bara	4	3	3	$\alpha + 20/20\ \beta_{max}$
36.	2,0 bara	1	1	3	$\alpha + 20/20\ \beta_{max}$

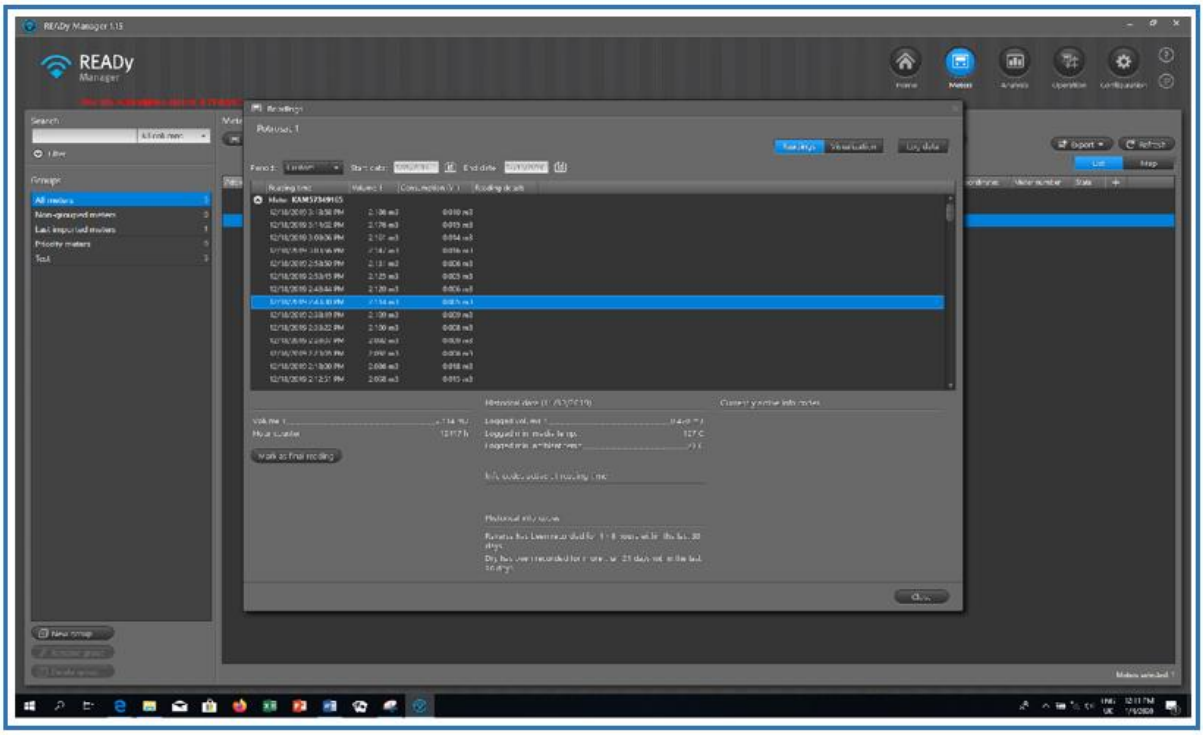
Tablica 9.7: Plan ispitivanja pametne DMA zone – slučaj umjereno rastućih gubitaka;

	STATUS				
Mjerenje	Manometar	Potrošač P1	Potrošač P2	Potrošač P3	Gubici G4
0.	2,0 bara	Podešeno na 25% potrošnje 2	Podešeno na 25% potrošnje 2	Podešeno na 25% potrošnje 2	Podešeno na 25% Gubitaka α
1.	2,0 bara	2	2	2	α
2.	2,0 bara	1	4	3	α
3.	2,0 bara	2	1	1	α
4.	2,0 bara	3	1	2	α
5.	2,0 bara	2	3	4	α
6.	2,0 bara	2	2	4	α
7.	2,0 bara	1	4	1	α
8.	2,0 bara	3	4	3	α
9.	2,0 bara	1	2	4	α
10.	2,0 bara	4	2	2	α
11.	2,0 bara	3	3	3	α
12.	2,0 bara	3	4	4	α
13.	2,0 bara	3	2	2	α
14.	2,0 bara	1	2	1	α
15.	2,0 bara	4	0	2	α
16.	2,0 bara	3	1	2	$\alpha + 1/12\ \beta_{max}$
17.	2,0 bara	2	2	2	$\alpha + 2/12\ \beta_{max}$
18.	2,0 bara	4	0	1	$\alpha + 3/12\ \beta_{max}$
19.	2,0 bara	4	3	3	$\alpha + 4/12\ \beta_{max}$
20.	2,0 bara	3	2	1	$\alpha + 5/12\ \beta_{max}$
21.	2,0 bara	3	1	2	$\alpha + 6/12\ \beta_{max}$
22.	2,0 bara	2	4	3	$\alpha + 7/12\ \beta_{max}$
23.	2,0 bara	1	4	2	$\alpha + 8/12\ \beta_{max}$
24.	2,0 bara	1	2	2	$\alpha + 9/12\ \beta_{max}$
25.	2,0 bara	2	3	1	$\alpha + 10/12\ \beta_{max}$
26.	2,0 bara	3	4	1	$\alpha + 11/12\ \beta_{max}$
27.	2,0 bara	1	2	4	$\alpha + 12/12\ \beta_{max}$
28.	2,0 bara	1	0	2	$\alpha + \beta_{max}$
29.	2,0 bara	4	4	4	$\alpha + \beta_{max}$
30.	2,0 bara	3	1	3	$\alpha + \beta_{max}$
31.	2,0 bara	3	2	2	$\alpha + \beta_{max}$
32.	2,0 bara	2	4	3	$\alpha + \beta_{max}$
33.	2,0 bara	4	3	2	$\alpha + \beta_{max}$
34.	2,0 bara	2	3	2	$\alpha + \beta_{max}$
35.	2,0 bara	2	2	2	$\alpha + \beta_{max}$
36.	2,0 bara	1	3	2	$\alpha + \beta_{max}$

Tablica 9.8: Plan ispitivanja pametne DMA zone – slučaj brzo rastućih gubitaka;

	STATUS				
Mjerenje	Manometar	Potrošač P1	Potrošač P2	Potrošač P3	Gubici G4
0.	2,0 bara	Podešeno na 25% potrošnje 2	Podešeno na 25% potrošnje 2	Podešeno na 25% potrošnje 2	Podešeno na 25% Gubitaka α
1.	2,0 bara	2	2	2	α
2.	2,0 bara	2	1	1	α
3.	2,0 bara	2	1	1	α
4.	2,0 bara	2	2	2	α
5.	2,0 bara	3	1	3	α
6.	2,0 bara	4	1	3	α
7.	2,0 bara	5	2	2	α
8.	2,0 bara	1	1	2	α
9.	2,0 bara	2	3	3	α
10.	2,0 bara	3	1	4	α
11.	2,0 bara	3	2	1	α
12.	2,0 bara	1	1	2	α
13.	2,0 bara	3	2	2	α
14.	2,0 bara	2	3	3	α
15.	2,0 bara	1	1	2	α
16.	2,0 bara	2	3	3	$\alpha + 1/5\beta_{max}$
17.	2,0 bara	4	1	2	$\alpha + 2/5\beta_{max}$
18.	2,0 bara	2	3	2	$\alpha + 3/5\beta_{max}$
19.	2,0 bara	3	3	2	$\alpha + 4/5\beta_{max}$
20.	2,0 bara	2	2	1	$\alpha + 5/5\beta_{max}$
21.	2,0 bara	2	2	2	$\alpha + \beta_{max}$
22.	2,0 bara	5	2	3	$\alpha + \beta_{max}$
23.	2,0 bara	2	3	4	$\alpha + \beta_{max}$
24.	2,0 bara	4	2	2	$\alpha + \beta_{max}$
25.	2,0 bara	1	1	2	$\alpha + \beta_{max}$
26.	2,0 bara	3	3	4	$\alpha + \beta_{max}$
27.	2,0 bara	2	2	4	$\alpha + \beta_{max}$
28.	2,0 bara	2	2	2	$\alpha + \beta_{max}$
29.	2,0 bara	1	3	2	$\alpha + \beta_{max}$
30.	2,0 bara	3	5	1	$\alpha + \beta_{max}$
31.	2,0 bara	3	4	3	$\alpha + \beta_{max}$
32.	2,0 bara	4	4	4	$\alpha + \beta_{max}$
33.	2,0 bara	4	4	1	$\alpha + \beta_{max}$
34.	2,0 bara	3	1	3	$\alpha + \beta_{max}$
35.	2,0 bara	3	1	2	$\alpha + \beta_{max}$
36.	2,0 bara	1	2	2	$\alpha + \beta_{max}$

PRILOG 6: Mjerenja na modelu pametne DMA zone;



Slika 9.1: Prikaz izmjerenih veličina u READy Manager aplikaciji;

Tablica 9.9: Mjerenja – slučaj stacionarnih gubitaka vode [m^3];

Očitanje	Vrijeme očitanja	Glavni vodomjer	Potrošač 1	Potrošač 2	Potrošač 3	Gubitak 4
0	18.12.2019 12:11	7,749	1,793	1,681	1,636	2,578
1	18.12.2019 12:16	7,793	1,803	1,695	1,647	2,586
2	18.12.2019 12:21	7,833	1,812	1,706	1,659	2,594
3	18.12.2019 12:26	7,877	1,819	1,72	1,675	2,599
4	18.12.2019 12:31	7,917	1,823	1,741	1,686	2,606
5	18.12.2019 12:36	7,962	1,83	1,753	1,705	2,61
6	18.12.2019 12:42	8,002	1,841	1,773	1,709	2,617
7	18.12.2019 12:47	8,048	1,861	1,785	1,716	2,621
8	18.12.2019 12:52	8,088	1,862	1,813	1,72	2,63
9	18.12.2019 12:57	8,133	1,875	1,821	1,737	2,635
10	18.12.2019 13:02	8,173	1,885	1,83	1,754	2,639
11	18.12.2019 13:07	8,217	1,9	1,832	1,771	2,649
12	18.12.2019 13:12	8,258	1,921	1,832	1,786	2,653
13	18.12.2019 13:17	8,303	1,93	1,842	1,802	2,661
14	18.12.2019 13:22	8,344	1,948	1,851	1,812	2,666
15	18.12.2019 13:27	8,389	1,958	1,865	1,828	2,67
16	18.12.2019 13:32	8,429	1,973	1,878	1,836	2,674
17	18.12.2019 13:37	8,47	1,989	1,9	1,837	2,678
18	18.122019 13:42	8,515	1,998	1,906	1,853	2,688
19	18.12.2019 13:47	8,56	2,007	1,914	1,871	2,695
20	18.12.2019 13:52	8,6	2,018	1,925	1,886	2,702
21	18.12.2019 13:57	8,645	2,03	1,934	1,9	2,709
22	18.12.2019 14:02	8,686	2,047	1,952	1,903	2,714
23	18.12.2019 14:08	8,731	2,053	1,976	1,91	2,719
24	18.12.2019 14:12	8,772	2,068	1,997	1,911	2,723
25	18.12.2019 14:18	8,811	2,086	2,003	1,915	2,736
26	18.12.2019 14:23	8,86	2,092	2,032	1,915	2,746
27	18.12.2019 14:28	8,896	2,092	2,056	1,924	2,754
28	18.12.2019 14:33	8,941	2,1	2,064	1,946	2,757
29	18.12.2019 14:38	8,986	2,109	2,073	1,966	2,762
30	18.12.2019 14:43	9,026	2,114	2,1	1,969	2,77
31	18.12.2019 14:48	9,07	2,12	2,1	1,989	2,784
32	18-12-2019 14:53	9,109	2,125	2,112	2,005	2,794
33	18.12.2019 14:58	9,152	2,131	2,126	2,011	2,808
34	18.12.2019 15:03	9,193	2,147	2,132	2,028	2,811
35	18.12.2019 15:09	9,236	2,161	2,134	2,038	2,826
36	18.12.2019 15:13	9,275	2,176	2,135	2,053	2,834

Tablica 9.10: Mjerenja – slučaj sporo rastućih gubitaka vode [m^3];

Očitanje	Vrijeme očitanja	Glavni vodomjer	Potrošač 1	Potrošač 2	Potrošač 3	Gubitak 4
0	12.12.2019 11:20	5,229	1,157	1,156	1,143	1,729
1	12.12.2019 11:25	5,262	1,164	1,162	1,151	1,739
2	12.12.2019 11:30	5,291	1,172	1,167	1,161	1,749
3	12.12.2019 11:35	5,32	1,179	1,18	1,161	1,758
4	12.12.2019 11:41	5,353	1,193	1,186	1,165	1,765
5	12.12.2019 11:45	5,386	1,204	1,194	1,173	1,769
6	12.12.2019 11:51	5,415	1,211	1,198	1,175	1,787
7	12.12.2019 11:56	5,446	1,212	1,201	1,179	1,807
8	12.12.2019 12:01	5,476	1,218	1,206	1,189	1,818
9	12.12.2019 12:06	5,508	1,223	1,219	1,196	1,824
10	12.12.2019 12:11	5,538	1,229	1,231	1,203	1,831
11	12.12.2019 12:16	5,57	1,236	1,233	1,218	1,837
12	12.12.2019 12:21	5,599	1,241	1,241	1,225	1,848
13	12.12.2019 12:26	5,632	1,249	1,248	1,231	1,858
14	12.12.2019 12:31	5,664	1,26	1,258	1,234	1,865
15	12.12.2019 12:36	5,69	1,267	1,264	1,247	1,87
16	12.12.2019 12:41	5,723	1,277	1,275	1,25	1,875
17	12.12.2019 12:46	5,753	1,292	1,279	1,252	1,886
18	12.12.2019 12:51	5,785	1,301	1,282	1,256	1,903
19	12.12.2019 12:56	5,818	1,311	1,285	1,26	1,915
20	12.12.2019 13:02	5,851	1,316	1,292	1,268	1,928
21	12.12.2019 13:07	5,881	1,323	1,3	1,274	1,936
22	12.12.2019 13:12	5,91	1,33	1,308	1,281	1,945
23	12.12.2019 13:17	5,943	1,336	1,313	1,284	1,964
24	12.12.2019 13:22	5,972	1,34	1,321	1,29	1,975
25	12.12.2019 13:27	6,005	1,35	1,328	1,292	1,986
26	12.12.2019 13:32	6,034	1,357	1,335	1,293	2,003
27	12.12.2019 13:37	6,064	1,363	1,34	1,293	2,021
28	12.12.2019 13:42	6,097	1,37	1,344	1,295	2,041
29	12.12.2019 13:47	6,126	1,38	1,348	1,301	2,052
30	12.12.2019 13:52	6,159	1,388	1,355	1,305	2,064
31	12.12.2019 13:57	6,189	1,394	1,361	1,306	2,083
32	12.12.2019 14:02	6,222	1,401	1,367	1,313	2,094
33	12.12.2019 14:07	6,255	1,409	1,375	1,318	2,103
34	12.12.2019 14:13	6,287	1,418	1,381	1,325	2,113
35	12.12.2019 14:18	6,317	1,427	1,388	1,331	2,124
36	12.12.2019 14:23	6,35	1,437	1,393	1,337	2,135

Tablica 9.11: Mjerenja – slučaj umjereno rastućih gubitaka vode [m^3];

Očitanje	Vrijeme očitanja	Glavni vodomjer	Potrošač 1	Potrošač 2	Potrošač 3	Gubitak 4
0	12.12.2019 14:28	6,379	1,447	1,395	1,338	2,152
1	12.12.2019 14:33	6,412	1,457	1,4	1,344	2,164
2	12.12.2019 14:38	6,442	1,466	1,406	1,35	2,172
3	12.12.2019 14:43	6,474	1,47	1,421	1,36	2,177
4	12.12.2019 14:48	6,504	1,482	1,424	1,365	2,185
5	12.12.2019 14:53	6,537	1,499	1,424	1,373	2,191
6	12.12.2019 14:58	6,566	1,506	1,432	1,385	2,195
7	12.12.2019 15:02	6,593	1,512	1,436	1,398	2,198
8	12.12.2019 15:08	6,622	1,516	1,454	1,402	2,204
9	12.12.2019 15:13	6,655	1,523	1,467	1,409	2,207
10	12.12.2019 15:18	6,688	1,527	1,473	1,427	2,211
11	12.12.2019 15:23	6,718	1,541	1,479	1,434	2,215
12	12.12.2019 15:28	6,75	1,552	1,487	1,443	2,218
13	12.12.2019 15:33	6,78	1,56	1,498	1,453	2,22
14	12.12.2019 15:38	6,81	1,571	1,504	1,461	2,225
15	12.12.2019 15:43	6,845	1,577	1,515	1,466	2,234
16	12.12.2019 15:48	6,874	1,595	1,516	1,471	2,241
17	12.12.2019 15:53	6,904	1,606	1,518	1,476	2,253
18	12.12.2019 15:58	6,936	1,614	1,521	1,48	2,271
19	12.12.2019 16:04	6,966	1,626	1,522	1,482	2,287
20	12.12.2019 16:09	6,998	1,636	1,526	1,487	2,298
21	12.12.2019 16:14	7,028	1,645	1,529	1,488	2,314
22	12.12.2019 16:19	7,06	1,655	1,531	1,492	2,332
23	12.12.2019 16:24	7,093	1,66	1,538	1,498	2,344
24	12.12.2019 16:29	7,123	1,662	1,548	1,503	2,359
25	12.12.2019 16:34	7,152	1,666	1,552	1,508	2,379
26	12.12.2019 16:39	7,185	1,67	1,559	1,51	2,395
27	12.12.2019 16:44	7,215	1,677	1,569	1,511	2,408
28	12.12.2019 16:49	7,248	1,68	1,573	1,521	2,422
29	12.12.2019 16:54	7,281	1,682	1,573	1,528	2,445
30	12.12.2019 16:59	7,31	1,69	1,579	1,535	2,455
31	12.12.2019 17:05	7,343	1,698	1,581	1,542	2,469
32	12.12.2019 17:09	7,373	1,707	1,584	1,548	2,483
33	12.12.2019 17:15	7,406	1,711	1,592	1,553	2,495
34	12.12.2019 17:20	7,436	1,721	1,598	1,557	2,507
35	12.12.2019 17:25	7,469	1,727	1,605	1,561	2,522
36	12.12.2019 17:30	7,498	1,732	1,609	1,567	2,538

Tablica 9.12: Mjerenja – slučaj brzo rastućih gubitaka vode [m^3];

Očitanje	Vrijeme očitanja	Glavni vodomjer	Potrošač 1	Potrošač 2	Potrošač 3	Gubitak 4
0	11.12.2019 14:19	4,057	0,872	0,975	0,87	1,306
1	11.12.2019 14:24	4,09	0,881	0,982	0,879	1,312
2	11.12.2019 14:29	4,122	0,89	0,985	0,887	1,323
3	11.12.2019 14:34	4,151	0,898	0,986	0,892	1,336
4	11.12.2019 14:39	4,183	0,906	0,992	0,9	1,346
5	11.12.2019 14:44	4,213	0,918	0,995	0,911	1,351
6	11.12.2019 14:49	4,245	0,933	0,996	0,922	1,355
7	11.12.2019 14:55	4,274	0,947	0,999	0,931	1,359
8	11.12.2019 15:00	4,307	0,953	1,001	0,945	1,369
9	11.12.2019 15:05	4,336	0,958	1,009	0,957	1,374
10	11.12.2019 15:10	4,369	0,968	1,012	0,971	1,378
11	11.12.2019 15:15	4,398	0,98	1,016	0,979	1,383
12	11.12.2019 15:20	4,43	0,987	1,019	0,989	1,395
13	11.12.2019 15:25	4,459	0,995	1,023	0,997	1,404
14	11.12.2019 15:30	4,492	1,003	1,032	1,007	1,409
15	11.12.2019 15:35	4,521	1,009	1,038	1,019	1,419
16	11.12.2019 15:40	4,554	1,012	1,043	1,028	1,431
17	11.12.2019 15:46	4,587	1,02	1,047	1,033	1,444
18	11.12.2019 15:50	4,617	1,028	1,052	1,038	1,458
19	11.12.2019 15:55	4,643	1,033	1,059	1,041	1,471
20	11.12.2019 15:56	4,65	1,033	1,06	1,041	1,473
21	11.12.2019 16:01	4,68	1,039	1,065	1,044	1,491
22	11.12.2019 16:06	4,712	1,045	1,068	1,044	1,51
23	11.12.2019 16:11	4,742	1,054	1,071	1,048	1,525
24	11.12.2019 16:16	4,772	1,06	1,076	1,053	1,536
25	11.12.2019 16:21	4,805	1,069	1,08	1,061	1,549
26	11.12.2019 16:26	4,835	1,074	1,083	1,067	1,566
27	11.12.2019 16:31	4,871	1,081	1,087	1,072	1,581
28	11.12.2019 16:36	4,901	1,086	1,091	1,08	1,594
29	11.12.2019 16:42	4,934	1,09	1,094	1,089	1,612
30	11.12.2019 16:47	4,964	1,093	1,101	1,097	1,628
31	11.12.2019 16:52	4,997	1,099	1,111	1,101	1,64
32	11.12.2019 16:57	5,026	1,106	1,12	1,103	1,652
33	11.12.2019 17:02	5,06	1,114	1,129	1,107	1,661
34	11.12.2019 17:07	5,093	1,122	1,138	1,114	1,672
35	11.12.2019 17:12	5,122	1,131	1,141	1,118	1,684
36	11.12.2019 17:17	5,155	1,14	1,143	1,123	1,699

PRILOG 7: Stvarni i relativni gubici vode u DMA zoni;

Tablica 9.13: Stvarni i relativni gubici vode – slučaj stacionarnih gubitaka [m^3];

Očitanje	Vrijeme očitanja	Glavni vodomjer	Potrošač 1	Potrošač 2	Potrošač 3	Stvarni gubitak Q_{NRWr}	Relativni gubitak WL_r
0	18.12.2019 12:11						
1	18.12.2019 12:16	0,044	0,01	0,014	0,011	0,009	20,5%
2	18.12.2019 12:21	0,04	0,009	0,011	0,012	0,008	20,0%
3	18.12.2019 12:26	0,044	0,007	0,014	0,016	0,007	15,9%
4	18.12.2019 12:31	0,04	0,004	0,021	0,011	0,004	10,0%
5	18.12.2019 12:36	0,045	0,007	0,012	0,019	0,007	15,6%
6	18.12.2019 12:42	0,04	0,011	0,02	0,004	0,005	12,5%
7	18.12.2019 12:47	0,046	0,02	0,012	0,007	0,007	15,2%
8	18.12.2019 12:52	0,04	0,001	0,028	0,004	0,007	17,5%
9	18.12.2019 12:57	0,045	0,013	0,008	0,017	0,007	15,6%
10	18.12.2019 13:02	0,04	0,01	0,009	0,017	0,004	10,0%
11	18.12.2019 13:07	0,044	0,015	0,002	0,017	0,010	22,7%
12	18.12.2019 13:12	0,041	0,021	0	0,015	0,005	12,2%
13	18.12.2019 13:17	0,045	0,009	0,01	0,016	0,010	22,2%
14	18.12.2019 13:22	0,041	0,018	0,009	0,01	0,004	9,8%
15	18.12.2019 13:27	0,045	0,01	0,014	0,016	0,005	11,1%
16	18.12.2019 13:32	0,04	0,015	0,013	0,008	0,004	10,0%
17	18.12.2019 13:37	0,041	0,016	0,022	0,001	0,002	4,9%
18	18.12.2019 13:42	0,045	0,009	0,006	0,016	0,014	31,1%
19	18.12.2019 13:47	0,045	0,009	0,008	0,018	0,010	22,2%
20	18.12.2019 13:52	0,04	0,011	0,011	0,015	0,003	7,5%
21	18.12.2019 13:57	0,045	0,012	0,009	0,014	0,010	22,2%
22	18.12.2019 14:02	0,041	0,017	0,018	0,003	0,003	7,3%
23	18.12.2019 14:08	0,045	0,006	0,024	0,007	0,008	17,8%
24	18.12.2019 14:12	0,041	0,015	0,021	0,001	0,004	9,8%
25	18.12.2019 14:18	0,039	0,018	0,006	0,004	0,011	28,2%
26	18.12.2019 14:23	0,049	0,006	0,029	0	0,014	28,6%
27	18.12.2019 14:28	0,036	0	0,024	0,009	0,003	8,3%
28	18.12.2019 14:33	0,045	0,008	0,008	0,022	0,007	15,6%
29	18.12.2019 14:38	0,045	0,009	0,009	0,02	0,007	15,6%
30	18.12.2019 14:43	0,04	0,005	0,027	0,003	0,005	12,5%
31	18.12.2019 14:48	0,044	0,006	0	0,02	0,018	40,9%
32	18.12.2019 14:53	0,039	0,005	0,012	0,016	0,006	15,4%
33	18.12.2019 14:58	0,043	0,006	0,014	0,006	0,017	39,5%
34	18.12.2019 15:03	0,041	0,016	0,006	0,017	0,002	4,9%
35	18.12.2019 15:09	0,043	0,014	0,002	0,01	0,017	39,5%
36	18.12.2019 15:13	0,039	0,015	0,001	0,015	0,008	20,5%

Tablica 9.14: Stvarni i relativni gubici vode – slučaj sporo rastućih gubitaka [m^3];

Očitanje	Vrijeme očitanja	Glavni vodomjer	Potrošač 1	Potrošač 2	Potrošač 3	Stvarni gubitak Q_{NRWr}	Relativni gubitak WL_r
0	12.12.2019 11:20						
1	12.12.2019 11:25	0,033	0,007	0,006	0,008	0,012	36,4%
2	12.12.2019 11:30	0,029	0,008	0,005	0,01	0,006	20,7%
3	12.12.2019 11:35	0,029	0,007	0,013	0	0,009	31,0%
4	12.12.2019 11:41	0,033	0,014	0,006	0,004	0,009	27,3%
5	12.12.2019 11:45	0,033	0,011	0,008	0,008	0,006	18,2%
6	12.12.2019 11:51	0,029	0,007	0,004	0,002	0,016	55,2%
7	12.12.2019 11:56	0,031	0,001	0,003	0,004	0,023	74,2%
8	12.12.2019 12:01	0,03	0,006	0,005	0,01	0,009	30,0%
9	12.12.2019 12:06	0,032	0,005	0,013	0,007	0,007	21,9%
10	12.12.2019 12:11	0,03	0,006	0,012	0,007	0,005	16,7%
11	12.12.2019 12:16	0,032	0,007	0,002	0,015	0,008	25,0%
12	12.12.2019 12:21	0,029	0,005	0,008	0,007	0,009	31,0%
13	12.12.2019 12:26	0,033	0,008	0,007	0,006	0,012	36,4%
14	12.12.2019 12:31	0,032	0,011	0,01	0,003	0,008	25,0%
15	12.12.2019 12:36	0,026	0,007	0,006	0,013	0,000	0,0%
16	12.12.2019 12:41	0,033	0,01	0,011	0,003	0,009	27,3%
17	12.12.2019 12:46	0,03	0,015	0,004	0,002	0,009	30,0%
18	12.12.2019 12:51	0,032	0,009	0,003	0,004	0,016	50,0%
19	12.12.2019 12:56	0,033	0,01	0,003	0,004	0,016	48,5%
20	12.12.2019 13:02	0,033	0,005	0,007	0,008	0,013	39,4%
21	12.12.2019 13:07	0,03	0,007	0,008	0,006	0,009	30,0%
22	12.12.2019 13:12	0,029	0,007	0,008	0,007	0,007	24,1%
23	12.12.2019 13:17	0,033	0,006	0,005	0,003	0,019	57,6%
24	12.12.2019 13:22	0,029	0,004	0,008	0,006	0,011	37,9%
25	12.12.2019 13:27	0,033	0,01	0,007	0,002	0,014	42,4%
26	12.12.2019 13:32	0,029	0,007	0,007	0,001	0,014	48,3%
27	12.12.2019 13:37	0,03	0,006	0,005	0	0,019	63,3%
28	12.12.2019 13:42	0,033	0,007	0,004	0,002	0,020	60,6%
29	12.12.2019 13:47	0,029	0,01	0,004	0,006	0,009	31,0%
30	12.12.2019 13:52	0,033	0,008	0,007	0,004	0,014	42,4%
31	12.12.2019 13:57	0,03	0,006	0,006	0,001	0,017	56,7%
32	12.12.2019 14:02	0,033	0,007	0,006	0,007	0,013	39,4%
33	12.12.2019 14:07	0,033	0,008	0,008	0,005	0,012	36,4%
34	12.12.2019 14:13	0,032	0,009	0,006	0,007	0,010	31,3%
35	12.12.2019 14:18	0,03	0,009	0,007	0,006	0,008	26,7%
36	12.12.2019 14:23	0,033	0,01	0,005	0,006	0,012	36,4%

Tablica 9.15: Stvarni i relativni gubici vode – slučaj umjereno rastućih gubitaka [m^3];

Očitanje	Vrijeme očitanja	Glavni vodomjer	Potrošač 1	Potrošač 2	Potrošač 3	Stvarni gubitak Q_{NRWr}	Relativni gubitak WL_r
0	12.12.2019 14:28						
1	12.12.2019 14:33	0,033	0,01	0,005	0,006	0,012	36,4%
2	12.12.2019 14:38	0,03	0,009	0,006	0,006	0,009	30,0%
3	12.12.2019 14:43	0,032	0,004	0,015	0,01	0,003	9,4%
4	12.12.2019 14:48	0,03	0,012	0,003	0,005	0,010	33,3%
5	12.12.2019 14:53	0,033	0,017	0	0,008	0,008	24,2%
6	12.12.2019 14:58	0,029	0,007	0,008	0,012	0,002	6,9%
7	12.12.2019 15:02	0,027	0,006	0,004	0,013	0,004	14,8%
8	12.12.2019 15:08	0,029	0,004	0,018	0,004	0,003	10,3%
9	12.12.2019 15:13	0,033	0,007	0,013	0,007	0,006	18,2%
10	12.12.2019 15:18	0,033	0,004	0,006	0,018	0,005	15,2%
11	12.12.2019 15:23	0,03	0,014	0,006	0,007	0,003	10,0%
12	12.12.2019 15:28	0,032	0,011	0,008	0,009	0,004	12,5%
13	12.12.2019 15:33	0,03	0,008	0,011	0,01	0,001	3,3%
14	12.12.2019 15:38	0,03	0,011	0,006	0,008	0,005	16,7%
15	12.12.2019 15:43	0,035	0,006	0,011	0,005	0,013	37,1%
16	12.12.2019 15:48	0,029	0,018	0,001	0,005	0,005	17,2%
17	12.12.2019 15:53	0,03	0,011	0,002	0,005	0,012	40,0%
18	12.12.2019 15:58	0,032	0,008	0,003	0,004	0,017	53,1%
19	12.12.2019 16:04	0,03	0,012	0,001	0,002	0,015	50,0%
20	12.12.2019 16:09	0,032	0,01	0,004	0,005	0,013	40,6%
21	12.12.2019 16:14	0,03	0,009	0,003	0,001	0,017	56,7%
22	12.12.2019 16:19	0,032	0,01	0,002	0,004	0,016	50,0%
23	12.12.2019 16:24	0,033	0,005	0,007	0,006	0,015	45,5%
24	12.12.2019 16:29	0,03	0,002	0,01	0,005	0,013	43,3%
25	12.12.2019 16:34	0,029	0,004	0,004	0,005	0,016	55,2%
26	12.12.2019 16:39	0,033	0,004	0,007	0,002	0,020	60,6%
27	12.12.2019 16:44	0,03	0,007	0,01	0,001	0,012	40,0%
28	12.12.2019 16:49	0,033	0,003	0,004	0,01	0,016	48,5%
29	12.12.2019 16:54	0,033	0,002	0	0,007	0,024	72,7%
30	12.12.2019 16:59	0,029	0,008	0,006	0,007	0,008	27,6%
31	12.12.2019 17:05	0,033	0,008	0,002	0,007	0,016	48,5%
32	12.12.2019 17:09	0,03	0,009	0,003	0,006	0,012	40,0%
33	12.12.2019 17:15	0,033	0,004	0,008	0,005	0,016	48,5%
34	12.12.2019 17:20	0,03	0,01	0,006	0,004	0,010	33,3%
35	12.12.2019 17:25	0,033	0,006	0,007	0,004	0,016	48,5%
36	12.12.2019 17:30	0,029	0,005	0,004	0,006	0,014	48,3%

Tablica 9.16: Stvarni i relativni gubici vode – slučaj brzo rastućih gubitaka [m^3];

Očitanje	Vrijeme očitanja	Glavni vodomjer	Potrošač 1	Potrošač 2	Potrošač 3	Stvarni gubitak Q_{NRWr}	Relativni gubitak WL_r
0	11.12.2019 14:19						
1	11.12.2019 14:24	0,033	0,009	0,007	0,009	0,008	24,2%
2	11.12.2019 14:29	0,032	0,009	0,003	0,008	0,012	37,5%
3	11.12.2019 14:34	0,029	0,008	0,001	0,005	0,015	51,7%
4	11.12.2019 14:39	0,032	0,008	0,006	0,008	0,01	31,3%
5	11.12.2019 14:44	0,03	0,012	0,003	0,011	0,004	13,3%
6	11.12.2019 14:49	0,032	0,015	0,001	0,011	0,005	15,6%
7	11.12.2019 14:55	0,029	0,014	0,003	0,009	0,003	10,3%
8	11.12.2019 15:00	0,033	0,006	0,002	0,014	0,011	33,3%
9	11.12.2019 15:05	0,029	0,005	0,008	0,012	0,004	13,8%
10	11.12.2019 15:10	0,033	0,01	0,003	0,014	0,006	18,2%
11	11.12.2019 15:15	0,029	0,012	0,004	0,008	0,005	17,2%
12	11.12.2019 15:20	0,032	0,007	0,003	0,01	0,012	37,5%
13	11.12.2019 15:25	0,029	0,008	0,004	0,008	0,009	31,0%
14	11.12.2019 15:30	0,033	0,008	0,009	0,01	0,006	18,2%
15	11.12.2019 15:35	0,029	0,006	0,006	0,012	0,005	17,2%
16	11.12.2019 15:40	0,033	0,003	0,005	0,009	0,016	48,5%
17	11.12.2019 15:46	0,033	0,008	0,004	0,005	0,016	48,5%
18	11.12.2019 15:50	0,03	0,008	0,005	0,005	0,012	40,0%
19	11.12.2019 15:55	0,026	0,005	0,007	0,003	0,011	42,3%
20	11.12.2019 15:56	0,007	0	0,001	0	0,006	85,7%
21	11.12.2019 16:01	0,03	0,006	0,005	0,003	0,016	53,3%
22	11.12.2019 16:06	0,032	0,006	0,003	0	0,023	71,9%
23	11.12.2019 16:11	0,03	0,009	0,003	0,004	0,014	46,7%
24	11.12.2019 16:16	0,03	0,006	0,005	0,005	0,014	46,7%
25	11.12.2019 16:21	0,033	0,009	0,004	0,008	0,012	36,4%
26	11.12.2019 16:26	0,03	0,005	0,003	0,006	0,016	53,3%
27	11.12.2019 16:31	0,036	0,007	0,004	0,005	0,02	55,6%
28	11.12.2019 16:36	0,03	0,005	0,004	0,008	0,013	43,3%
29	11.12.2019 16:42	0,033	0,004	0,003	0,009	0,017	51,5%
30	11.12.2019 16:47	0,03	0,003	0,007	0,008	0,012	40,0%
31	11.12.2019 16:52	0,033	0,006	0,01	0,004	0,013	39,4%
32	11.12.2019 16:57	0,029	0,007	0,009	0,002	0,011	37,9%
33	11.12.2019 17:02	0,034	0,008	0,009	0,004	0,013	38,2%
34	11.12.2019 17:07	0,033	0,008	0,009	0,007	0,009	27,3%
35	11.12.2019 17:12	0,029	0,009	0,003	0,004	0,013	44,8%
36	11.12.2019 17:17	0,033	0,009	0,002	0,005	0,017	51,5%

PRILOG 8: Trend stvarnih gubitaka vode u DMA zoni;

Tablica 9.17: Trend stvarnih gubitaka vode – slučaj stacionarnih gubitaka [m^3];

Očitanje	Vrijeme očitanja	Glavni vodomjer	Potrošač 1	Potrošač 2	Potrošač 3	Stvarni gubitak Q_{NRWr}	Trend gubitaka vode, $\ddot{x}$
0	18.12.2019 12:11						
1	18.12.2019 12:16	0,044	0,01	0,014	0,011	0,009	
2	18.12.2019 12:21	0,04	0,009	0,011	0,012	0,008	
3	18.12.2019 12:26	0,044	0,007	0,014	0,016	0,007	
4	18.12.2019 12:31	0,04	0,004	0,021	0,011	0,004	
5	18.12.2019 12:36	0,045	0,007	0,012	0,019	0,007	
6	18.12.2019 12:42	0,04	0,011	0,02	0,004	0,005	
7	18.12.2019 12:47	0,046	0,02	0,012	0,007	0,007	
8	18.12.2019 12:52	0,04	0,001	0,028	0,004	0,007	
9	18.12.2019 12:57	0,045	0,013	0,008	0,017	0,007	
10	18.12.2019 13:02	0,04	0,01	0,009	0,017	0,004	0,007
11	18.12.2019 13:07	0,044	0,015	0,002	0,017	0,010	0,007
12	18.12.2019 13:12	0,041	0,021	0	0,015	0,005	0,006
13	18.12.2019 13:17	0,045	0,009	0,01	0,016	0,010	0,007
14	18.12.2019 13:22	0,041	0,018	0,009	0,01	0,004	0,007
15	18.12.2019 13:27	0,045	0,01	0,014	0,016	0,005	0,006
16	18.12.2019 13:32	0,04	0,015	0,013	0,008	0,004	0,006
17	18.12.2019 13:37	0,041	0,016	0,022	0,001	0,002	0,006
18	18.12.2019 13:42	0,045	0,009	0,006	0,016	0,014	0,007
19	18.12.2019 13:47	0,045	0,009	0,008	0,018	0,010	0,007
20	18.12.2019 13:52	0,04	0,011	0,011	0,015	0,003	0,007
21	18.12.2019 13:57	0,045	0,012	0,009	0,014	0,010	0,007
22	18.12.2019 14:02	0,041	0,017	0,018	0,003	0,003	0,007
23	18.12.2019 14:08	0,045	0,006	0,024	0,007	0,008	0,006
24	18.12.2019 14:12	0,041	0,015	0,021	0,001	0,004	0,006
25	18.12.2019 14:18	0,039	0,018	0,006	0,004	0,011	0,007
26	18.12.2019 14:23	0,049	0,006	0,029	0	0,014	0,008
27	18.12.2019 14:28	0,036	0	0,024	0,009	0,003	0,008
28	18.12.2019 14:33	0,045	0,008	0,008	0,022	0,007	0,007
29	18.12.2019 14:38	0,045	0,009	0,009	0,02	0,007	0,007
30	18.12.2019 14:43	0,04	0,005	0,027	0,003	0,005	0,007
31	18.12.2019 14:48	0,044	0,006	0	0,02	0,018	0,008
32	18.12.2019 14:53	0,039	0,005	0,012	0,016	0,006	0,008
33	18.12.2019 14:58	0,043	0,006	0,014	0,006	0,017	0,009
34	18.12.2019 15:03	0,041	0,016	0,006	0,017	0,002	0,009
35	18.12.2019 15:09	0,043	0,014	0,002	0,01	0,017	0,010
36	18.12.2019 15:13	0,039	0,015	0,001	0,015	0,008	0,009

Tablica 9.18: Trend stvarnih gubitaka vode – slučaj sporo rastućih gubitaka [m^3];

Očitanje	Vrijeme očitanja	Glavni vodomjer	Potrošač 1	Potrošač 2	Potrošač 3	Stvarni gubitak Q_{NRWr}	Trend gubitaka vode, $\ddot{x}$
0	12.12.2019 11:20						
1	12.12.2019 11:25	0,033	0,007	0,006	0,008	0,012	
2	12.12.2019 11:30	0,029	0,008	0,005	0,01	0,006	
3	12.12.2019 11:35	0,029	0,007	0,013	0	0,009	
4	12.12.2019 11:41	0,033	0,014	0,006	0,004	0,009	
5	12.12.2019 11:45	0,033	0,011	0,008	0,008	0,006	
6	12.12.2019 11:51	0,029	0,007	0,004	0,002	0,016	
7	12.12.2019 11:56	0,031	0,001	0,003	0,004	0,023	
8	12.12.2019 12:01	0,03	0,006	0,005	0,01	0,009	
9	12.12.2019 12:06	0,032	0,005	0,013	0,007	0,007	
10	12.12.2019 12:11	0,03	0,006	0,012	0,007	0,005	0,010
11	12.12.2019 12:16	0,032	0,007	0,002	0,015	0,008	0,010
12	12.12.2019 12:21	0,029	0,005	0,008	0,007	0,009	0,010
13	12.12.2019 12:26	0,033	0,008	0,007	0,006	0,012	0,010
14	12.12.2019 12:31	0,032	0,011	0,01	0,003	0,008	0,010
15	12.12.2019 12:36	0,026	0,007	0,006	0,013	0,000	0,010
16	12.12.2019 12:41	0,033	0,01	0,011	0,003	0,009	0,009
17	12.12.2019 12:46	0,03	0,015	0,004	0,002	0,009	0,008
18	12.12.2019 12:51	0,032	0,009	0,003	0,004	0,016	0,008
19	12.12.2019 12:56	0,033	0,01	0,003	0,004	0,016	0,009
20	12.12.2019 13:02	0,033	0,005	0,007	0,008	0,013	0,010
21	12.12.2019 13:07	0,03	0,007	0,008	0,006	0,009	0,010
22	12.12.2019 13:12	0,029	0,007	0,008	0,007	0,007	0,010
23	12.12.2019 13:17	0,033	0,006	0,005	0,003	0,019	0,011
24	12.12.2019 13:22	0,029	0,004	0,008	0,006	0,011	0,011
25	12.12.2019 13:27	0,033	0,01	0,007	0,002	0,014	0,012
26	12.12.2019 13:32	0,029	0,007	0,007	0,001	0,014	0,013
27	12.12.2019 13:37	0,03	0,006	0,005	0	0,019	0,014
28	12.12.2019 13:42	0,033	0,007	0,004	0,002	0,020	0,014
29	12.12.2019 13:47	0,029	0,01	0,004	0,006	0,009	0,014
30	12.12.2019 13:52	0,033	0,008	0,007	0,004	0,014	0,014
31	12.12.2019 13:57	0,03	0,006	0,006	0,001	0,017	0,014
32	12.12.2019 14:02	0,033	0,007	0,006	0,007	0,013	0,015
33	12.12.2019 14:07	0,033	0,008	0,008	0,005	0,012	0,014
34	12.12.2019 14:13	0,032	0,009	0,006	0,007	0,010	0,014
35	12.12.2019 14:18	0,03	0,009	0,007	0,006	0,008	0,014
36	12.12.2019 14:23	0,033	0,01	0,005	0,006	0,012	0,013

Tablica 9.19: Trend stvarnih gubitaka vode – slučaj umjereno rastućih gubitaka [m^3];

Očitanje	Vrijeme očitanja	Glavni vodomjer	Potrošač 1	Potrošač 2	Potrošač 3	Stvarni gubitak Q_{NRWr}	Trend gubitaka vode, $\ddot{x}$
0	12.12.2019 14:28						
1	12.12.2019 14:33	0,033	0,01	0,005	0,006	0,012	
2	12.12.2019 14:38	0,03	0,009	0,006	0,006	0,009	
3	12.12.2019 14:43	0,032	0,004	0,015	0,01	0,003	
4	12.12.2019 14:48	0,03	0,012	0,003	0,005	0,010	
5	12.12.2019 14:53	0,033	0,017	0	0,008	0,008	
6	12.12.2019 14:58	0,029	0,007	0,008	0,012	0,002	
7	12.12.2019 15:02	0,027	0,006	0,004	0,013	0,004	
8	12.12.2019 15:08	0,029	0,004	0,018	0,004	0,003	
9	12.12.2019 15:13	0,033	0,007	0,013	0,007	0,006	
10	12.12.2019 15:18	0,033	0,004	0,006	0,018	0,005	0,006
11	12.12.2019 15:23	0,03	0,014	0,006	0,007	0,003	0,005
12	12.12.2019 15:28	0,032	0,011	0,008	0,009	0,004	0,005
13	12.12.2019 15:33	0,03	0,008	0,011	0,01	0,001	0,005
14	12.12.2019 15:38	0,03	0,011	0,006	0,008	0,005	0,004
15	12.12.2019 15:43	0,035	0,006	0,011	0,005	0,013	0,005
16	12.12.2019 15:48	0,029	0,018	0,001	0,005	0,005	0,005
17	12.12.2019 15:53	0,03	0,011	0,002	0,005	0,012	0,006
18	12.12.2019 15:58	0,032	0,008	0,003	0,004	0,017	0,007
19	12.12.2019 16:04	0,03	0,012	0,001	0,002	0,015	0,008
20	12.12.2019 16:09	0,032	0,01	0,004	0,005	0,013	0,009
21	12.12.2019 16:14	0,03	0,009	0,003	0,001	0,017	0,010
22	12.12.2019 16:19	0,032	0,01	0,002	0,004	0,016	0,011
23	12.12.2019 16:24	0,033	0,005	0,007	0,006	0,015	0,013
24	12.12.2019 16:29	0,03	0,002	0,01	0,005	0,013	0,014
25	12.12.2019 16:34	0,029	0,004	0,004	0,005	0,016	0,014
26	12.12.2019 16:39	0,033	0,004	0,007	0,002	0,020	0,015
27	12.12.2019 16:44	0,03	0,007	0,01	0,001	0,012	0,015
28	12.12.2019 16:49	0,033	0,003	0,004	0,01	0,016	0,015
29	12.12.2019 16:54	0,033	0,002	0	0,007	0,024	0,016
30	12.12.2019 16:59	0,029	0,008	0,006	0,007	0,008	0,016
31	12.12.2019 17:05	0,033	0,008	0,002	0,007	0,016	0,016
32	12.12.2019 17:09	0,03	0,009	0,003	0,006	0,012	0,015
33	12.12.2019 17:15	0,033	0,004	0,008	0,005	0,016	0,015
34	12.12.2019 17:20	0,03	0,01	0,006	0,004	0,010	0,015
35	12.12.2019 17:25	0,033	0,006	0,007	0,004	0,016	0,015
36	12.12.2019 17:30	0,029	0,005	0,004	0,006	0,014	0,014

Tablica 9.20: Trend stvarnih gubitaka vode - slučaj brzo rastućih gubitaka [m^3];

Očitanje	Vrijeme očitanja	Glavni vodomjer	Potrošač 1	Potrošač 2	Potrošač 3	Stvarni gubitak Q_{NRWr}	Trend gubitaka vode, $\ddot{x}$
0	11.12.2019 14:19						
1	11.12.2019 14:24	0,033	0,009	0,007	0,009	0,008	
2	11.12.2019 14:29	0,032	0,009	0,003	0,008	0,012	
3	11.12.2019 14:34	0,029	0,008	0,001	0,005	0,015	
4	11.12.2019 14:39	0,032	0,008	0,006	0,008	0,010	
5	11.12.2019 14:44	0,03	0,012	0,003	0,011	0,004	
6	11.12.2019 14:49	0,032	0,015	0,001	0,011	0,005	
7	11.12.2019 14:55	0,029	0,014	0,003	0,009	0,003	
8	11.12.2019 15:00	0,033	0,006	0,002	0,014	0,011	
9	11.12.2019 15:05	0,029	0,005	0,008	0,012	0,004	
10	11.12.2019 15:10	0,033	0,01	0,003	0,014	0,006	0,008
11	11.12.2019 15:15	0,029	0,012	0,004	0,008	0,005	0,007
12	11.12.2019 15:20	0,032	0,007	0,003	0,01	0,012	0,008
13	11.12.2019 15:25	0,029	0,008	0,004	0,008	0,009	0,007
14	11.12.2019 15:30	0,033	0,008	0,009	0,01	0,006	0,007
15	11.12.2019 15:35	0,029	0,006	0,006	0,012	0,005	0,007
16	11.12.2019 15:40	0,033	0,003	0,005	0,009	0,016	0,008
17	11.12.2019 15:46	0,033	0,008	0,004	0,005	0,016	0,009
18	11.12.2019 15:50	0,03	0,008	0,005	0,005	0,012	0,009
19	11.12.2019 15:55	0,026	0,005	0,007	0,003	0,011	0,010
20	11.12.2019 15:56	0,007	0	0,001	0	0,006	0,010
21	11.12.2019 16:01	0,03	0,006	0,005	0,003	0,016	0,011
22	11.12.2019 16:06	0,032	0,006	0,003	0	0,023	0,012
23	11.12.2019 16:11	0,03	0,009	0,003	0,004	0,014	0,013
24	11.12.2019 16:16	0,03	0,006	0,005	0,005	0,014	0,013
25	11.12.2019 16:21	0,033	0,009	0,004	0,008	0,012	0,014
26	11.12.2019 16:26	0,03	0,005	0,003	0,006	0,016	0,014
27	11.12.2019 16:31	0,036	0,007	0,004	0,005	0,020	0,014
28	11.12.2019 16:36	0,03	0,005	0,004	0,008	0,013	0,015
29	11.12.2019 16:42	0,033	0,004	0,003	0,009	0,017	0,015
30	11.12.2019 16:47	0,03	0,003	0,007	0,008	0,012	0,016
31	11.12.2019 16:52	0,033	0,006	0,01	0,004	0,013	0,015
32	11.12.2019 16:57	0,029	0,007	0,009	0,002	0,011	0,014
33	11.12.2019 17:02	0,034	0,008	0,009	0,004	0,013	0,014
34	11.12.2019 17:07	0,033	0,008	0,009	0,007	0,009	0,014
35	11.12.2019 17:12	0,029	0,009	0,003	0,004	0,013	0,014
36	11.12.2019 17:17	0,033	0,009	0,002	0,005	0,017	0,014

10. POPIS JAVNO OBJAVLJENIH ZNANSTVENIH RADOVA

[1] Poljak, Davor. Identification of Lean and Green Wastes in a Water Supply Organization and their Impact on Water Losses in Water Supply Systems // Book of Proceedings of 4th International Scientific Conference LEAN Spring Summit 2019 / Štefanić, Nedeljko; Cajner, Hrvoje (ur.). Zagreb: Culmena d.o.o., 2019. p. 13-21: ISBN 978-953-58558-5-9

[2] Poljak, Davor. Industry 4.0 – New Challenges for Public Water Supply Organizations // Book of Proceedings of 3rd International Scientific Conference LEAN Spring Summit 2018 / Štefanić, Nedeljko; Cajner, Hrvoje (ur.). Zagreb: Culmena d.o.o., 2018. p 51-58: ISBN 978-953-58558-4-2

[3] Poljak, Davor. Coordination activities of public sector by applying the concept of "Industry 4.0" // Book of Proceedings of 2nd International Scientific Conference LEAN Spring Summit 2017 / Štefanić, Nedeljko; Cajner, Hrvoje (ur.). Zagreb: Culmena d.o.o., 2017. p. 87-95: ISBN 978-953-58558-3-5-3-5

[4] Poljak, Davor. Industry 4.0: Increasing Efficiency of Public Water Supply in City Zagreb // Book of Proceedings of 2nd International Scientific Conference LEAN Spring Summit 2017 / Štefanić, Nedeljko; Cajner, Hrvoje (ur.). Zagreb: Culmena d.o.o., 2017. p. 55-61: ISBN 978-953-58558-3-5-3-5

[5] Poljak, Davor. Early Indications of Water Losses in Public Water Supply Systems by Applying the Concept "Industry 4.0" // Book of Proceedings of 2nd International Scientific Conference LEAN Spring Summit 2017 / Štefanić, Nedeljko; Cajner, Hrvoje (ur.). Zagreb: Culmena d.o.o., 2017. p. 27-34, : ISBN 978-953-58558-3-5-3-5

[6] Poljak, Davor; Gudlin, Mihael. Solution to the Problem of Billing Municipal Solid Waste Collection in the City of Zagreb Using Smart Technology // Book of Proceedings of International Scientific Conference LEAN Spring Summit 2016 / Štefanić, Nedeljko (ur.). Zagreb: Culmena d.o.o., 2016. p. 22-32: ISBN 978-953-58558-2-8

[7] Poljak, Davor. Vodoopskrba i odvodnja Ltd. – By Constructing Solar Power Plants Till the Socially Responsible and Green Organization // Book of Proceedings of International Scientific Conference LEAN Spring Summit 2016 / Štefanić, Nedeljko (ur.). Zagreb: Culmena d.o.o., 2016. p. 15-21: ISBN 978-953-58558-2-8

[8] Poljak, Davor. Zagreb "SMART City" // LEAN Spring Summit 2015 Zbornik Radova / Štefanić, Nedeljko; Veža, Ivica; Sipos, George T. (ur.). Zagreb: Culmena d.o.o., 2015. p. 9-15: ISBN 978-953-58558-0-4

11. ŽIVOTOPIS

Davor Poljak rođen je 14. listopada 1962. godine u Koprivnici. Osnovnu i srednju školu elektrotehničkog usmjerenja završio je u Koprivnici. 1980. godine upisao je Fakultet strojarstva i brodogradnje na kojem je i diplomirao strojarstvo na procesno energetskom usmjerenju. Diplomski rad na temu „Dvostupanjski, dvocilindrični rashladni kompresor na freon R-22“ obranio je u srpnju 1986. godine.

Kao stipendista, odmah se zapošljava u poduzeću Končar – Električne lokomotive na poslovima kontrole kvalitete. Vrlo brzo napreduje do najsloženijih poslova mehaničke kontrole, a već 1988. godine preuzima poslove Upravitelja održavanja. 1990. godine preuzima poslove pomoćnika Direktora proizvodnje, a 1991. godine poslove Direktora proizvodnje.

1994. godine napreduje do predsjednika Uprave i preuzima upravljanje društvom KONČAR Električna vozila d.d. S obzirom na to da se je već u ranoj fazi svoje karijere počeo baviti menadžmentom, 1990. godine upisuje poslijediplomski MBA studij na Ekonomskom fakultetu u Zagrebu. Magistarski rad na temu „Metode ispitivanja resursa pri uvođenju novih proizvoda u poduzeću KONČAR- Električne lokomotive“ obranio je u srpnju 1994. godine. Tijekom rada u poduzeću KONČAR- Električne lokomotive radio je na razvoju, proizvodnji i prodaji željezničkih vozila kao što su lokomotive i Elektromotorni vlakovi za željeznice Rumunjske, Bugarske, Turske, Makedonije, Srbije i Bosne i Hercegovine, te tramvajskih vozila za grad Zagreb.

2002 godine kao Direktor preuzima upravljanje nad novoosnovanim poduzećem „Proizvodnja regeneracija d.o.o.“ u sastavu Hrvatskih željeznica, čija je djelatnost proizvodnja i regeneracija željezničke infrastrukture. Bavi se željezničkim skretnicama, dugim šinskim trakom, specijalnim tehnikama zavarivanja i prometnom signalizacijom. Radi daljnjeg profesionalnog usavršavanja 2008. godine završava edukaciju „korporativno upravljanje za članove nadzornih i upravnih odbora“ u organizaciji Ekonomskih fakulteta u Zagrebu i Splitu.

2009. godine vrača se u poduzeće Končar Električna vozila gdje kao pomoćnik Direktora razvoja radi na prototipu novog elektromotornog vlaka.

2010. godine prelazi u Zagrebački holding na poslove Direktora „Vodoopskrbe i odvodnje d.o.o.“ gdje radi i danas. Od 2014. godine radi na poslovima voditelja projekata. 2012. godine nastavlja svoje cjeloživotno obrazovanje i upisuje poslijediplomski doktorski studij iz područja menadžmenta na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. U srpnju 2018. godine Senat Sveučilišta

u Zagrebu odobrava mu temu doktorske disertacije pod nazivom „Integralni model za povećanje učinkovitosti javne vodoopskrbe“.

Osim profesionalnih obveza obnašao je i obnaša dužnosti člana nadzornog odbora i Predsjednika Upravnog vijeća. Završio je edukaciju i bavi se, sustavima kvalitete kao vodeći ocjenjivač, te energetskim pregledima i certificiranjem građevina s punim ovlaštenjem.

U slobodno vrijeme bavi se plesom, planinarenjem, jedrenjem i humanitarnim radom.

Član je Rotary kluba Zagreb Sesvete i Planinarskog društva Lipa.

Aktivno se služi engleskim jezikom u govoru i pismu.

Oženjen je i otac je dvoje odrasle djece.

12. BIOGRAPHY

Davor Poljak was born on October 14, 1962 in Koprivnica. He completed his primary school and the Secondary School education of Electromechanical Engineering in Koprivnica. Elementary and high school of electro-technical orientation ended in Koprivnica. In 1980 he enrolled the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, where he graduated mechanical engineering on process energetic orientation on July 1986, he graduated with a thesis on "Two-stage, two-cylinder, refrigerant compressor on Freon R-22".

As a scholar, he was immediately employed in Končar - Electrical Locomotive factory on Quality Control jobs. He is prospering very fast to the most complex mechanical control jobs, and in 1988 he has taken over the operations of the Maintenance Manager. In 1990 he took over as assistant of production manager, and as Production manager in 1991.

In 1994 he is advancing on the function to the President of the Management Board and takes over the management of the company “KONČAR Electric vehicles Inc.”. Since he was already being in the early stages of his career in management activities, in 1990 he enrolled in a postgraduate MBA study at the Faculty of Economics in Zagreb. In July 1994 he finished the Master's thesis on "Methods of testing of resources for the introduction of new products in the KONČAR Electric Locomotive factory". During his work in the company KONČAR - Electric Locomotives worked on the development, production and sale of railway vehicles such as locomotives and electric trains for railways of Romania, Bulgaria, Turkey, Macedonia, Serbia and Bosnia and Herzegovina and trams for the city of Zagreb.

In 2002, as Managing Director, he took over the management of the newly established company under the Croatian Railways holding "Proizvodnja Regeneracija ltd.", whose activity is the production and regeneration of the railway infrastructure. It deals with railway crossings, long rail line, special types of welding and traffic signaling. For the purpose of further professional training in 2008, he completed the education "corporate governance for members of supervisory and board committees" organized by the Faculty of Economics in Zagreb and Split.

In 2009 he returned to the company “Končar Electric vehicles Inc.” where as an Assistant Director of Development worked on the prototype of a new electric motor train.

In 2010, he moved to the Zagreb Holding for the Director of "Vodoopskrba i odvodnja ltd" (public water supply) where he still works today. Since 2014, he has been working as a project manager. In 2012 she continues her life-long education and enrolls in postgraduate doctoral

studies in the field of management at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture. In July 2018, the Senate of the University of Zagreb approved the topic of his doctoral dissertation titled "An Integral Model for Increasing Public Water Supply Efficiency".

In addition to the professional obligations, he has also performed the duties of a member of the Supervisory Board and the President of the Administrative Council. He has completed education and is engaged in quality systems as a leading assessor and also with energy auditing and certification for buildings with fully license.

In leisure time he deals with dancing, hiking, sailing and humanitarian work.

He is a member of Rotary club Zagreb Sesvete and Mountaineering Association “Lipa”.

He is active in English language in speaking and script.

He is married and he is father of two grown children.