

Digitalizacija procesa održavanja vodoopskrbnog sustava

Orešić, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:235:551891>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Martina Orešić

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Dragutin Lisjak

Studentica:

Martina Orešić

Zagreb, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu te uz podršku zaposlenika Ekonerg konzalting d.o.o. poduzeća.

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Dragutinu Lisjaku i Davoru Kolaru, dr.sc., na ukazanom povjerenju i prilici te stručnoj podršci i usmjeravanju tijekom školovanja i pri pisanju diplomskog rada.

Zahvaljujem se zaposlenicima Ekonerg konzaltinga d.o.o. na nesebičnoj pomoći i prenošenju potrebnih znanja.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji koja mi je omogućila da postanem ono što jesam, što su uvijek vjerovali u mene i bezuvjetno me podržavali. Zahvaljujem i svojim prijateljima koji su bili uz mene na ovom putu.

Na kraju, zahvaljujem svom dečku Damiru na svakoj riječi ohrabrenja, razumijevanju, vjerovanju, podršci i ljubavi.

Martina Orešić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 24 - 06 / 1	
Ur.broj: 15 - 24 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Martina Orešić** JMBAG: 0035205475

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Digitalizacija procesa održavanja vodoopskrbnog sustava**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Digitization of the maintenance processes in the water supply system**

Opis zadatka:

Digitalizacija vodoopskrbnih sustava ključna je za modernizaciju i unapređenje učinkovitosti u upravljanju vodom, a posebno u kontekstu održavanja. Digitalna transformacija donosi niz prednosti koje poboljšavaju kvalitetu usluge, održivost vodoopskrbnih sustava te optimizaciju procesa održavanja. Neke od prednosti transformacije su npr.: praćenje procesa održavanja u stvarnom vremenu, brza reakcija na potencijalne probleme unutar vodoopskrbne mreže, automatizirano praćenje procesa održavanja temeljeno na podacima, smanjenje troškova održavanja itd. U skladu s navedenim, u radu je potrebno:

1. Proučiti trenutno stanje procesa održavanja vodoopskrbnih sustava s naglaskom na izazove i potrebu za poboljšanjem.
2. Istražiti kako digitalni sustavi omogućuju praćenje stanja opreme u stvarnom vremenu te brzu reakciju na potencijalne probleme.
3. Prikazati primjer uspješne implementacije digitalizacije procesa održavanja stvarnog vodoopskrbnog sustava.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

18. siječnja 2024.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Dragutin Lisjak

Datum predaje rada:

21. ožujka 2024.

Predvideni datumi obrane:

25. – 29. ožujka 2024.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	I
POPIS SLIKA.....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS KRATICA.....	VI
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY.....	IX
1. UVOD.....	1
2. OPĆENITO O ODRŽAVANJU TEHNIČKIH SUSTAVA.....	2
2.1 Značaj održavanja u industriji.....	2
2.2 Strategije održavanja.....	3
3. ODRŽAVANJE VODOOPSKRBNIH SUSTAVA.....	6
3.1 Općenito o vodoopskrbnim sustavima.....	6
3.2 Održavanje vodoopskrbnih sustava.....	8
3.3 Digitalizacija vodoopskrbnih sustava.....	11
3.3.1 Primjena Industrije 4.0.....	12
3.3.2 Uvođenje CMMS informacijskih sustava.....	15
3.3.3 Uvođenje Interneta stvari (IoT).....	18
4. PRIMJER PROJEKTA DIGITALIZACIJE VODOOPSKRBNOG SUSTAVA.....	23
4.1 Opis i ciljevi projekta.....	23
4.2 I. Faza digitalizacije.....	27
4.2.1 Prikupljanje dokumentacije.....	28
4.2.2 Sustav označavanja jedinica održavanja.....	31
4.2.3 Digitalizacija tehničke dokumentacije.....	35
4.2.4 Razvoj baza podataka.....	38
4.3 II. Faza digitalizacije.....	42
4.3.1 Implementacija baze u informacijski sustav.....	43
4.3.2 Izrada planova preventivnog održavanja.....	43
4.3.3 Završne aktivnosti.....	45
4.4 Podešavanje informacijskog sustava.....	45
4.4.1 Opće značajke CMMS sustava HxGN EAM.....	45
4.4.2 Standardne funkcionalnosti.....	48
4.4.3 Funkcionalnosti unutar modula.....	49
4.4.4 Opis modula „Objekt održavanja“.....	51
4.4.5 Pozicije.....	51

4.4.6	Modul „Posao“	53
4.4.7	Preglednik shema	54
4.4.8	Integracija IoT-a	60
4.4.9	Zahtjevi za radnim nalogom	63
4.4.10	Radni nalozi	65
4.4.11	Ostale funkcionalnosti	70
5.	ZAKLJUČAK	71
	LITERATURA	73
	PRILOZI	77

POPIS SLIKA

Slika 1.	Razvoj strategija održavanja kroz razvoj industrije i vrijeme [2].....	3
Slika 2.	Shema jednostavnog vodoopskrbnog sustava [9].....	7
Slika 3.	Učinak strategija održavanja na očekivani vijek trajanja [13].....	10
Slika 4.	Revolucijske faze vodoopskrbnih sustava [21]	14
Slika 5.	Tehnologije Industrije 4.0 u vodoopskrbnim sustavima [21]	15
Slika 6.	Dijagram tijeka automatiziranog otvaranja radnog naloga održavanja [23]	17
Slika 7.	Troslojna IIoT arhitektura [26]	19
Slika 8.	Pregledna situacija vodovoda Kraljevac-Udbina.....	26
Slika 9.	Hidraulička shema vodovoda Krbavica-Udbina.....	27
Slika 10.	Magistralni cjevovod Pećane.....	30
Slika 11.	Cjevovod za Jagodnje i Podlapaču.....	31
Slika 12.	Blok editor aliasa objekta u AutoCAD-u.....	32
Slika 13.	Blok editor aliasa objekta u oknu u AutoCAD-u	33
Slika 14.	Blok editor aliasa signala objekata u AutoCAD-u	35
Slika 15.	Struktura baze podataka [33].....	39
Slika 16.	Struktura tablice objekata održavanja	40
Slika 17.	Hijerarhija objekata.....	41
Slika 18.	Struktura tablice koordinata objekata.....	42
Slika 19.	Podaci o koordinatama objekata	42
Slika 20.	Priprema planova održavanja za bazu podataka	44
Slika 21.	Pristup aplikaciji HxGN EAM.....	46
Slika 22.	Glavna forma korisničkog sučelja aplikacije HxGN EAM.....	47
Slika 23.	Baza podataka u informacijskom sustavu	52
Slika 24.	Prikaz modula pozicije crpnog agregata u CS Krbavica.....	52
Slika 25.	Prikaz strukture crpnog agregata u CS Krbavica.....	53
Slika 26.	Modul „Preglednik shema“	54
Slika 27.	Modul „Preglednik shema“-dvodimenzionalne sheme	55
Slika 28.	Modul „Preglednik shema“-trodimenzionalne sheme.....	55
Slika 29.	Isječak dvodimenzionalne sheme.....	56
Slika 30.	Prikaz prozora interaktivne pribadače crpnog agregata	56
Slika 31.	Prikaz funkcionalnosti virtualne 3D šetnje na CS Kraljevac.....	57
Slika 32.	Prikaz dijela interaktivnih točki unutar strojarnice na CS Kraljevac.....	58

Slika 33.	Prikaz sadržaja prozora interaktivne točke crpnog agregata	58
Slika 34.	Prikaz tehničkih specifikacija putem interaktivnog prozora	59
Slika 35.	Geolokacija CS Krbavica na Google Mapsu	59
Slika 36.	Prikaz signala u modulu pozicija	60
Slika 37.	Prikaz pozicije signala crpnog agregata u CS Krbavica.....	61
Slika 38.	Grafički prikaz podataka sa senzora vibracija crpnog agregata	61
Slika 39.	Integracija vizualizacije mjerenih signala unutar informacijskog sustava.....	62
Slika 40.	Izvešće stanja rotacijske opreme temeljeno na modelu strojnog učenja.....	63
Slika 41.	Forma za kreiranje zahtjeva za rad.....	64
Slika 42.	Forma za odobravanje zahtjeva za rad	65
Slika 43.	Prikaz preventivnih i korektivnih radnih naloga.....	65
Slika 44.	Prikaz popunjene forme korektivnog radnog naloga	66
Slika 45.	Prikaz forme za plan preventivnog održavanja.....	67
Slika 46.	Prikaz aktivnosti i uputa za održavanje mjerno-regulacijske opreme.....	67
Slika 47.	Primjer popunjene forma preventivnog radnog naloga.....	68
Slika 48.	Generirani radni nalog iz informacijskog sustava.....	69
Slika 49.	Izveštaj o radnim nalogima kroz određeni period.....	70

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tehnologije Industrije 4.0 u vodoopskrbnim sustavima [19]	13
Tablica 2. Vrste linija u ACAD shemama.....	37
Tablica 3. Vrste simbola u ACAD shemama	37
Tablica 4. Standardne funkcionalnosti unutar modula	49
Tablica 5. Funkcionalnosti za pretraživanje	50

POPIS KRATICA

Kratika	Opis
2D	<i>Two-dimensional</i> -Dvodimenzionalan
3D	<i>Three-dimensional</i> -Trodimenzionalan
4G	<i>Fourth-generation wireless</i> -Četvrta generacija mobilne mreže
ACAD	<i>AutoCAD</i> -Autodesk softverska aplikacija
CAD	<i>Computer-aided design</i> -Oblikovanje s pomoću računala
CBM	<i>Condition-Based Maintenance</i> -Održavanje prema stanju
DBMS	<i>Database Management System</i> -Sustav za upravljanje bazom podataka
EAM	<i>Enterprise asset management</i> -Upravljanje imovinom poduzeća
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i> - Opće paketne radijske usluge
GPS	<i>Global Positioning System</i> -Globalni položajni sustav
GSM	<i>Global System for Mobile communication</i> -Globalni sustav za mobilnu komunikaciju
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i> -Industrijski internet stvari
IoT	<i>Internet of Things</i> -Internet stvari
KPI	<i>Key performance indicator</i> -Ključni pokazatelj uspješnosti
LDM	<i>Leak detection method</i> -Metode otkrivanja curenja
LTE	<i>Long Term Evolution</i> -Dugoročni razvoj
MCDM	<i>Multiple-criteria decision-making</i> - Višekriterijalno odlučivanje
ML	<i>Machine learning</i> - Strojno učenje
MRU	Mjerenje, regulacija i upravljanje
P&I	<i>Piping & Instrumentation</i> -Cjevovod i instrumentacija
P&ID	<i>Piping and instrumentation diagram</i> - Dijagram cjevovoda i instrumentacije
PCM	<i>Pressure Control and Monitoring</i> - Kontrola i nadzor tlaka
PdM	<i>Predictive maintenance</i> -Prediktivno održavanje
PHM	<i>Pipe health monitoring</i> - Praćenje zdravlja cijevi
PvM	<i>Preventive maintenance</i> -Preventivno održavanje

PxM	<i>Prescriptive Maintenance</i> -Preskriptivno održavanje
R2F	<i>Run 2 Failure</i> -Korektivno održavanje
S3	Strategija pametne specijalizacije
SaaS	<i>Software as a service</i> - Softver kao usluga
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> -Računalni sustav za nadzor, mjerenje i upravljanje
SMAC	<i>Social, Mobility, Analytics and Cloud</i> -Društvene mreže, mobilnost, analitika i oblak
SQL	<i>Structured Query Language</i> -Strukturirani jezik upita
WQM	<i>Water Quality Monitor</i> -Praćenje kvalitete vode

SAŽETAK

Okolišna i energetska pitanja u posljednje vrijeme jedna su od glavnih svjetskih briga, a u budućnosti će biti još i važnija. Voda predstavlja ključni resurs potreban za život svakog bića, a stopa rasta svjetske populacije glavni je čimbenik koji doprinosi povećanju globalnog onečišćenja i potrošnje energije. Shvaćajući problematiku, postoji tendencija ka održivijem i učinkovitijem upravljanju vodoopskrbnim sustavima kojim će se postići racionalna upotreba resursa i opreme. U ovom diplomskom radu opisuje se problematika današnjih vodoopskrbnih sustava i stavlja se naglasak na važnost uloge održavanja i upravljanja imovinom, ali i na važnost modernizacije takvih procesa. U prvom dijelu rada fokus je na održavanju kao poslovnoj aktivnosti, a zatim se opisuje njegova primjena i uloga u sustavu vodoopskrbe. Nadalje, opisani su glavni i učestali problemi s kojima se taj sektor susreće te potencijalno primjenjive napredne tehnologije za rješavanje istih problema. Važan koncept u vodoopskrbnim sustavima je praćenje stanja u realnom vremenu koji je objašnjen kroz tehnologiju interneta stvari. U drugom dijelu rada prikazan je realan primjer digitalizacije vodoopskrbnog sustava Krbavica-Udbina kroz opisane korake, od početka do kraja implementacije informacijskog sustava za upravljanje imovinom. Digitalizacijom ovog sustava postiglo se kvalitetnije upravljanje imovinom i ljudskim resursima te se primjenom inovativnih tehnologija pridonijelo učinkovitijem poslovanju.

Ključne riječi: održavanje, vodoopskrbni sustavi, Internet stvari, digitalizacija, upravljanje imovinom, Hexagon EAM

SUMMARY

Environmental and energy issues have recently become one of the main global concerns and they will be even more important in the future. Water represents a crucial resource necessary for the life of every being and the rate of global population growth is the main factor contributing to increased global pollution and energy consumption. Recognizing the problem, there is a tendency towards more sustainable and efficient management of water supply systems to achieve rational use of resources and equipment. This thesis describes the issues of today's water supply systems and emphasizes the importance of asset management and maintenance, as well as the importance of modernizing such processes. The first part of the work focuses on maintenance as a business activity, and then its application and role in the water supply system are described. Furthermore, the main and common problems faced by this sector are described, as well as potentially applicable advanced technologies to solve these problems. An important concept in water supply systems is real-time monitoring, explained through the Internet of Things technology. The second part of the work is based on a practical example of the digitalization of the Krbavica-Udbina water supply system through the described steps, from the beginning to the end of the implementation of the asset management information system. By digitizing this system, better management of assets and human resources has been achieved, and the application of innovative technologies has contributed to more efficient business operations.

Keywords: maintenance, water supply systems, Internet of Things, digitalization, asset management, Hexagon EAM

1. UVOD

Trendovi današnjice u poslovanju podrazumijevaju tendenciju ka održivosti zbog sve većih globalnih problema s rasipanjem prirodnih resursa. Na upravljanje vodom, kao esencijom života svakog živog bića, stavlja se jedan od većih naglasaka. Crpljenje i distribucija vode za potrebe potrošača odvija se kroz vodoopskrbne sustave i njihove mreže. Glavni cilj ovakvih sustava je osigurati u svakom trenutku dovoljnu količinu vode svakom potrošaču. U današnje vrijeme, taj se cilj nadopunjuje s nastojanjem da se takva radnja izvršava što učinkovitije moguće kako s energetskeg stajališta, tako i s ekonomičnog. Naime, teži se smanjenju troškova i gubitku resursa i novaca, a da potražnja pri tome bude zadovoljena što nije jednostavan zadatak. Jedan od prvih problema s kojima se ti sustavi susreću je neučinkovito i neredovito održavanje koje se često oslanja na korektivno. Loše upravljanje aktivnostima održavanja dovodi do propadanja sustava zbog čega se veći fokus stavlja na sanaciju izvanrednih problema umjesto na sprječavanje istih u budućnosti. Takvim dugogodišnjim praksama, vodoopskrbni sustavi dovode se u stanje loše i stare infrastrukture koja ne može pratiti potrebno povećanje kapaciteta i podliježe raznim problemima od kojih su najčešći curenje vode i pucanje cijevi. Poslovanje s vremenom postaje neprofitabilno što nadalje uzrokuje manjak resursa za održavanje i obnovu tvoreći tako začarani krug lošeg načina rada. Vodoopskrbni sustavi trebali bi prihvatiti tehnologije modernog doba koje će imati značajan utjecaj na razumijevanje, upravljanje i kontrolu takvih sustava. Digitalizacijom vodovodnog sustava omogućuje se praćenje svih procesa, prikupljanje podataka o istima, analizi i na koncu donošenje odluka temeljenih na realnom stanju. Bitnu ulogu u tome imaju Internet stvari. Koncept ove tehnologije podrazumijeva skup međusobno povezanih uređaja putem bežične mreže koji prikupljaju relevantne podatke o procesima na terenu. Informacije koje pristižu u stvarnom vremenu omogućuju pravovremenu reakciju s minimiziranjem moguće štete.

Uspješan projekt unaprjeđenja vodoopskrbnog sustava digitalizacijom i primjenom pametnih rješenja izveden je na vodovodnom sustavu Kravica-Udbina. Detaljno će se opisati postupak implementacije informacijskog sustava za upravljanje imovinom. Implementacijom predloženog rješenja, stvorene su nove funkcionalnosti, standardizirani su procesi, omogućeno je praćenje podataka u realnom vremenu, ali i skladištenje korisnih informacija koje opisuju poslovanje. Fokus je stavljen na praćenje životnog ciklusa opreme uz detaljno razrađene planove održavanja i implementaciju inovativnih rješenja poput interaktivnih 2D i 3D P&I shema, kao i praćenje signala sa senzora opreme u realnom vremenu.

2. OPĆENITO O ODRŽAVANJU TEHNIČKIH SUSTAVA

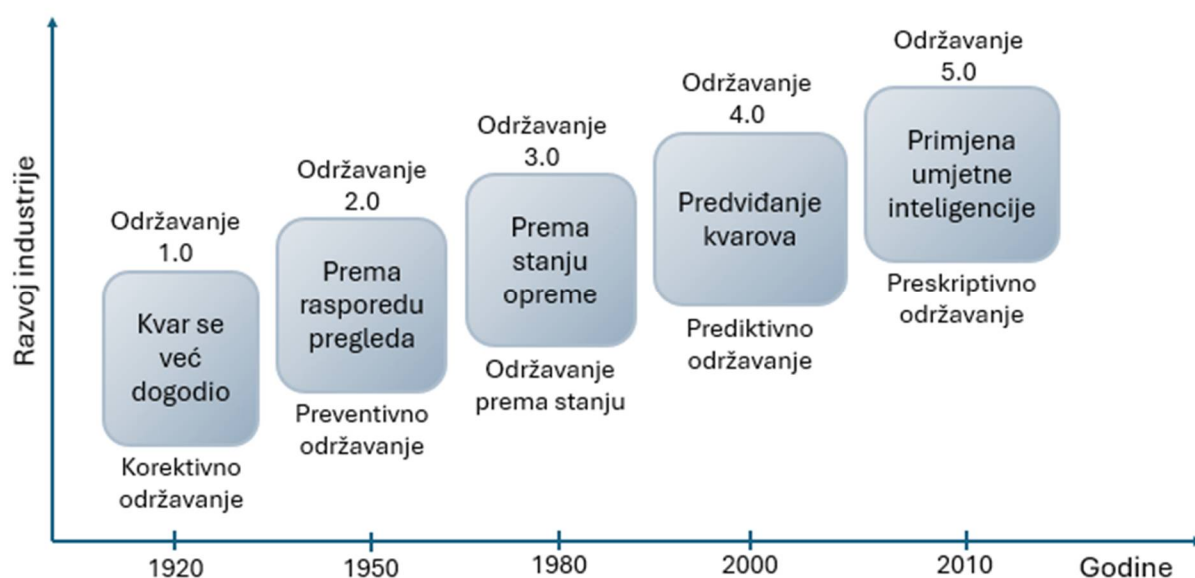
2.1 Značaj održavanja u industriji

Održavanje se kroz dugi niz godina postojanja kao poslovna funkcija pokazalo kao jedna od ključnih aktivnosti koja vodi ka uspješnom poslovanju. Proizvodnim tvrtkama današnjice nameću se sve viši zahtjevi za optimalnu pouzdanost proizvodne infrastrukture koja je lišena neplaniranih zastoja posebice sa stajališta konkurentnosti i ekonomskog aspekta s obzirom na to da veliki dio cijene samog proizvoda otpada na troškove održavanja. Često nije jednostavno spriječiti ili predvidjeti neočekivani nepoželjni događaj tijekom eksploatacije radne opreme. Takve poteškoće stvaraju određenu razinu neizvjesnosti i rizika u planiranju proizvodnje jer poremećaji u ispravnom funkcioniranju postrojenja dovode do smanjenja produktivnosti, opadanja kvalitete, sigurnosnih problema i novčanih gubitaka. Učestalost takvih pojava može se negativno odraziti na sam imidž kompanije uzrokujući odljev klijenata i lošu reklamu. Također, porastom ekološke svijesti, kontinuirano se naglašava važnosti održive proizvodnje u čijem je cilju, između ostaloga, energetska učinkovitost te očuvanje sirovina gdje nastupa pitanje životnog ciklusa imovine. [1]

Implementiranim ispravnim i redovnim poslovima održavanja postižu se razni benefiti za cjelokupno poslovanje. Održavanje je važan čimbenik u osiguranju kvalitete isporučenih proizvoda ili usluga te može određivati dugoročni uspjeh tvrtke. Ono čemu pravilno održavanje uvelike doprinosi je smanjeno vrijeme zastoja, održavanje troškova pod kontrolom, eliminacija katastrofalnih kvarova opreme, povećanje sigurnosti, učinkovitost, usklađenost s propisima, smanjenje troškova kroz redukciju skupih popravaka te produljenje vijeka trajanja opreme. Ovi pozitivni učinci prepoznati su kao velik doprinos stabilnosti poslovanja pa se javlja svijest o ulozi učinkovitog planiranja intervencija održavanja koje su usklađene s drugim aktivnostima kao što su planiranje proizvodnje i kontrola rezervnih dijelova. Redovitim kratkim pregledima, čišćenjem, podmazivanjem i manjim podešavanjima mogu se otkloniti manji problemi i time se ostvaruje rad s visokim postotkom učinkovitosti bez iznenadnih zastoja što je u konačnici glavni cilj održavanja. Tradicionalne metode održavanja koriste se i dalje, ali napretkom tehnologija i automatizacijom proizvodnih procesa, održavanje također prati trendove i podiže se na višu razinu s pomoću raznih digitalnih i inovativnih alata. Može se reći kako se održavanje odnosi na sve aktivnosti i postupke, planirane ili neplanirane, koji osiguravaju stalnu dostupnost operativne opreme, a zahtijeva određene tehničke vještine i metode.[1]

2.2 Strategije održavanja

Od osnovnih metoda održavanja, koje su se temeljile prvenstveno na reaktivnim metodama, pojavljivala se potreba za novim metodologijama i filozofijama koja se kretala u smjeru proaktivnog djelovanja gdje su strategije osmišljene za sprječavanje kvarova prije nego što se dogode. Utjecaj na takav pomak imali su novi trendovi digitalizirane proizvodnje i popratne opreme odnosno, drugim riječima, industrijske revolucije. Etape razvoja održavanja mogu se poistovjetiti s razvojem industrije pa su tako i podijeljene na pet razdoblja koja se pojedinačno mogu zaokružiti u cjelinu uzimajući u obzir njihovu filozofiju. Tako se može prepoznati Održavanje 1.0, 2.0, 3.0 te 4.0 koje je trenutno prisutno, a budućnost predstavlja Održavanje 5.0. Kronološki razvoj prikazan je na slici 1. s naznačenom glavnom karakteristikom svakog razdoblja. [2]



Slika 1. Razvoj strategija održavanja kroz razvoj industrije i vrijeme [2]

Postoji nekoliko vrsta strategija održavanja. One se razlikuju prema svojim metodama i stupnju naprednosti s obzirom na tehnologije koje im služe kao potpora. Jedna od učestalijih podjela vrsta održavanja je sljedeća:

- Korektivno održavanje (eng. *R2F- Run to Failure*)

Korektivno održavanje spada u kategoriju neplaniranog održavanja. Predstavlja najjednostavniju strategiju održavanja koja se provodi isključivo nakon kvara opreme. Takva politika može dovesti do velikog zastoja opreme i visokog rizika od sekundarnih grešaka stvarajući tako velik broj neispravnih proizvoda u proizvodnji. Temelj korektivnog održavanja leži u vođenju nadzora nad pogonom ili njegovim segmentima te dok je sve ispravno i operacije se uredno obavljaju ništa se ne poduzima. Tek kada se

uoči već nastali problem, tada slijedi akcija popravka. Cilj ove strategije je uspostaviti normalan i funkcionalan način rada što prije moguće. [3]

- Preventivno održavanje (eng. *PvM- Preventive maintenance*)

Preventivno održavanje spada u kategoriju planiranog održavanja ili održavanja temeljenog na vremenu. Odnosi se na periodičko obavljanje aktivnosti na temelju planiranog rasporeda koji može biti konstruiran prema iskustvu, uputama proizvođača ili zakonskim regulativama. Cilj ove strategije je smanjenje zastoja i produljenje životnog vijeka strojeva. Prednost ovog načina, naspram korektivnog, leži u tome što se kvarovi izbjegavaju intervencijama prije destrukcije pa nema neželjenih posljedica. S druge strane, preventivno održavanje nekada se obnaša i kada nije potrebno što dovodi do povećanja operativnih troškova. Za mnoge organizacije PvM idealan je način za očuvanje imovine niskog do srednjeg prioriteta čiji je potencijalni popravak dosta skuplji. [4]

- Održavanje temeljeno na stanju (eng. *CBM Condition-Based Maintenance*)

Održavanje koje se temelji na trenutnom stanju određene opreme/stroja provodi se stalnim nadzorom opreme ili ispravnosti njihovog procesa. Ono se provodi po potrebi i može se čak uključiti u opseg prediktivnog održavanja prema kriteriju praćenja objekta i njegove reakcije prema procijeni stanja. Propisane radnje poduzimaju se kada neki od promatranih pokazatelja dosegne kritičnu vrijednost, što ukazuje na mogućnost kvara ili značajnog pogoršanja stanja objekta. Podrazumijeva upravljanje životnim ciklusom objekta te prikuplja informacije o degradaciji koje se kasnije koriste za poboljšanje svakog aspekta životnog ciklusa opreme. CBM odvija se u okvirima poduzimanja strogo nužnih mjera i time nastoji minimalizirati troškove općenito kao i troškove rezervnih dijelova, vremena održavanja i zastoja postrojenja. [5]

- Prediktivno održavanje (eng. *PdM-Predictive maintenance*)

Prediktivno održavanje može se definirati kao skup procjena koje ukazuju na potencijalni kvar ili ga identificiraju. Razlikuje se od preventivnog održavanja jer otkriva zahtjeve održavanja na temelju trenutnog statusa stroja u usporedbi s unaprijed definiranim rasporedom pregleda/zamjena. [8] Ova metoda predstavlja moderno održavanje kojim se nastoji utvrditi postoje li obrasci ili anomalije u ponašanju opreme tijekom eksploatacije na temelju kojih bi se predvidjeli problemi prije nego oni zaista nastupe. Ključ za to je napredna tehnologija velikih podataka (eng. *Big Data*) koja informacije prikuplja s pomoću senzora, iste skladišti, a potom i analizira. Ono što je

karakteristično za prikupljanje podataka je pristizanje informacija u stvarnom vremenu kombinirajući ih s vanjskim podacima npr. podacima o okolišu. Program prediktivnog održavanja, koji je optimalno osmišljen, osim što poboljšava cjelokupno poslovanje i podiže pouzdanost na višu razinu, donosi i velike uštede na troškovima. [9] Odgovarajućom tehnologijom snimaju se i prikupljaju podaci s objekta održavanja koji su nadalje procesuirani odgovarajućim prediktivnim metodama, a one u konačnici korisniku isporučuju određene obrasce ponašanja na temelju kojih se donose odluke. [6]

- Preskriptivno održavanje (eng. *PxM-Prescriptive Maintenance*)

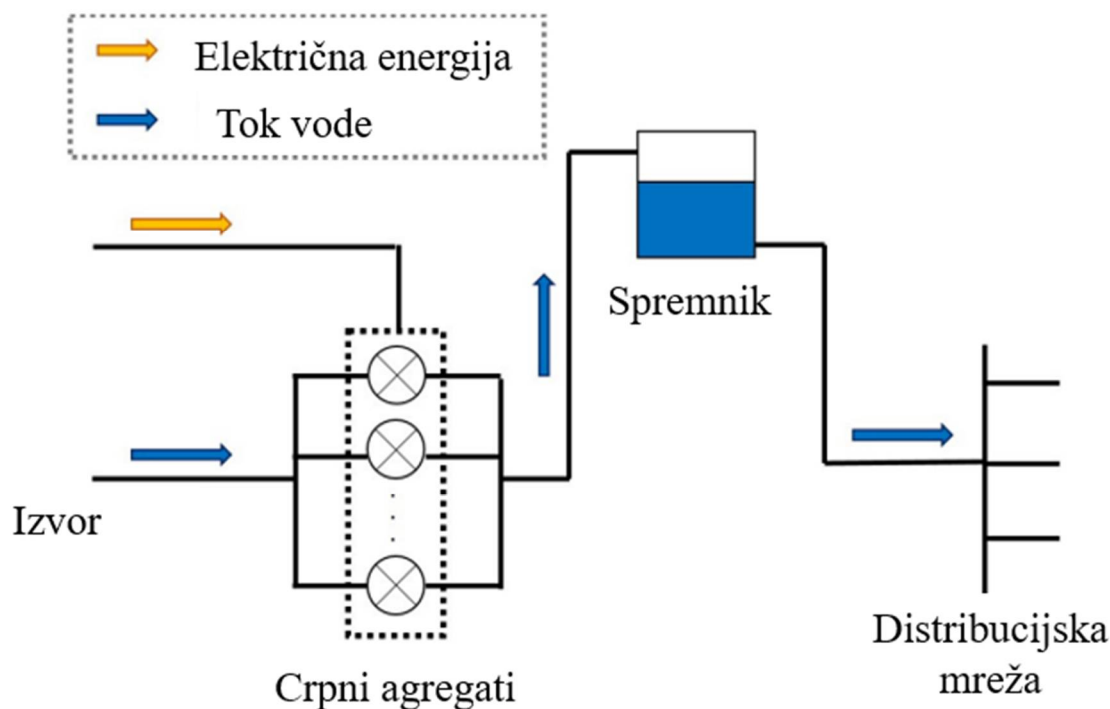
Preskriptivno održavanje sve je popularnije u posljednje vrijeme. Predstavlja širi koncept predviđanja kvarova temeljenim na povijesnim i informacijama u stvarnom vremenu. Ono što ovu metodu čini najsuvremenijom jest primjena strojnog učenja i umjetne inteligencije kako bi se postigao holistički pristup operacijama u poduzeću. Na osnovu podataka isporučuje se niz opcija i rješenja primjenjivih na problemu, dakle donošenje odluke nije primarno na ljudskom faktoru, već sama tehnologija pruža gotove modele održavanja za koje se treba opredijeliti. Važno je napomenuti da ovaj pristup nalazi probleme i rješenja koji sežu daleko šire i/ili brže od klasične ljudske procijene. Vremenski čimbenik u održavanju jako je bitan pa tako ova strategija dobiva puno na značaju. [7]

3. ODRŽAVANJE VODOOPSKRBNIH SUSTAVA

3.1 Općenito o vodoopskrbnim sustavima

Opskrba vodom bitna je za sva živa bića, a pouzdanost sustava koji to omogućava treba biti na visokoj razini. Istovremeno, opskrba vodom povezana je s ekonomskim, ekološkim i društvenim aspektima održivog razvoja što naglašava pitanje napretka u očuvanju, izvedbi i kontroli ovakvih sustava. Drugim riječima, vodoopskrbni sustavi ključni su za osiguravanje dovoljne količine vode za zadovoljavanje redovnih potreba stanovništva. Globalna potražnja za vodom kontinuirano raste kako raste i broj populacije, industrijski razvoj, ekonomski uvjeti, a dostupni izvori pitke vode smanjuju se u broju i kapacitetu. Vodoopskrbni sustavi imaju značajan utjecaj na okoliš i energiju zbog velike količine utrošene energije za crpljenje vode te zbog velikih gubitaka koji se pritom dešavaju. Siguran i učinkovit rad ovakvih sustava je ključan gdje digitalni alati, poput sustava za nadzor, imaju važnu ulogu u donošenju odluka. Iz tih razloga, kako ekoloških tako i financijskih, potrebna je kontrola vodoopskrbnih sustava koja će osigurati kontinuiran i stabilan rad ispunjavajući određene zahtjeve. Potrebno je pažljivo upravljati prijenosom vode, ali i promišljeno dizajnirati nove sustave koji će se potom prikladno održavati kako bi sigurnost, dugotrajnost i učinkovitost bili na zadovoljavajućoj razini. Poboljšanje u upravljanjima ovakvim sustavima, u smislu energije i učinkovitosti resursa, ključan je korak prema održivijem korištenju vode i općenito potrošnje i strategije razvoja. [8]

Vodoopskrbni sustavi su veliki sustavi koji služe za transport vode preko ogromnih geografskih područja do stanovništva. Vodoopskrbni sustavi općenito se sastoje od velikog broja međusobno povezanih cijevi, spremnika, pumpa, ventila i drugih hidrauličkih elemenata koji su zaslužni za tok vode od retencijskih do potražnih područja. Hidraulički elementi mogu se klasificirati u dvije kategorije, a to su aktivni i pasivni elementi. Aktivni elementi predstavljaju one objekte koji se koriste za promjenu brzine protoka vode u specifičnim dijelovima sustava kao što su pumpe i ventili. S druge strane, cijevi i rezervoari predstavljaju pasivne elemente koji primaju učinke onih aktivnih, a igraju važnu ulogu u dinamičkom ponašanju samog sustava. [8] Shema vrlo jednostavnog vodoopskrbnog sustava prikazana je na slici 2., a služi za vizualizaciju principa rada istog, iako su oni u stvarnosti kompliciraniji tj. sastoje se od više ovakvih objekata. Ovaj jednostavan prikaz vodoopskrbe sastoji se od izvora vode iz kojega se resurs crpi s pomoću tri paralelna crpna agregata koja pune vodospremu. Nadalje iz spremnika voda odlazi u distribucijsku mrežu koja se grana prema kućanstvima.



Slika 2. Shema jednostavnog vodoopskrbnog sustava [9]

Kako bi upravljanje vodom bilo optimalno, potrebno je u početku dobro razraditi studiju same izvedbe koja uključuje modeliranje i simulaciju vodoopskrbnih sustava kao prvi korak. Činjenica je da su digitalne tehnike važan aspekt u optimizaciji vodnih sustava. Time se ponašanje sustava može slikovitije dočarati i bolje razumjeti, a samim time i cjelokupni proces optimizirati. U ovom slučaju, kritično je razumijevanje tehničke strane vodoopskrbnih sustava kao što je znanje o tome kako se sustav ponaša ako dođe do poremećaja u bilo kojoj točki sustava. Potrebno je znati na koji način je moguće osigurati kontinuitet rada na što optimalniji način što podrazumijeva izazove za različite tehničke discipline. Simulacije vodoopskrbnih sustava nezamjenjive su u razumijevanju njihovog ponašanja za osmišljanje izvedivog upravljačkog rješenja i modeliranja. Simulacije se koriste za generiranje ideja koje će dovesti do fleksibilnih rješenja i shema dizajna vode koje će biti razumljive svim potrebnim strukama s obzirom na to da hidraulički sustavi općenito zahtijevaju složene modele. Također, kombinira se i tehničko i financijsko gledište. Dakle, simulacija modela koji predstavlja vodoopskrbni sustav može se pokazati učinkovitom mjerom za doprinos pravilne izvedbe prijenosa vode i smanjenju operativnih troškova uz poboljšanje same operative. Fizička ograničenja sustava i zahtjevi za vodom moraju biti ispunjeni za svako rješenje, a istraživanja su pokazala da se iz dobivenih rješenja može poboljšati energijska učinkovitost. [8]

3.2 Održavanje vodoopskrbnih sustava

Rad vodoopskrbnog sustava znači pravovremeni i svakodnevni rad njegovih komponenti, učinkovito i ekonomično, kako bi se postigao cilj opskrbe sigurnom i čistom vodom prema kućanstvima. S obzirom na to da važnost sustava zbog već spomenutih razloga, za njegov ispravan rad bitno je svu opremu kvalitetno održavati. Održavanje podrazumijeva brigu o ispravnom stanju objekata, postrojenja i opreme te njihovom ispravnom funkcioniranju bez ikakvih prekida. Preventivno održavanje predstavlja rutinske radove i mjere opreza koje s vremena na vrijeme treba poduzimati kako bi se spriječila mogućnost neispravnog rada sustava. Korektivno održavanje podrazumijeva izvođenje radova vezanih uz nastali kvar na nekom mjestu mreže sustava. Preventivno održavanje ekonomičnije je od korektivnog i omogućuje nesmetanu uslugu kao i smanjenje potrebe za korektivnim održavanjem. Cilj preventivnog održavanja jest ispravan rad opreme tijekom njegovog očekivanog životnog vijeka ili izbjegavanje većih kvarova koji rezultiraju višestruko skupljim korektivnim održavanjem. Loš način održavanja može doprinijeti smanjenoj korisnosti ili čak ranom kvaru novoizgrađenih vodoopskrbnih objekata stoga postoji opasnost od djelomično izgubljenih kapitalnih ulaganja te trošenja resursa na preuranjenu zamjenu opreme. Pravilno planiranje i održavanje neophodno je za održavanje pozitivne bilance. Bitni segmenti održavanja odnose se na prikladnu tehničku dokumentaciju koja mora biti ažurirana pri nastalim izmjenama, razumijevanje samog postrojenja, njegovih procesa i funkcija, postojanje planova rada i preventivnog održavanja i detaljnu obuku osoblja. [10]

Operativni procesi i procesi održavanja jedni su od najizazovnijih stavki u procesu osiguravanja održive vodoopskrbe. Održivi vodoopskrbni sustav je onaj koji će zadovoljiti sadašnje zahtjeve za odgovarajućom količinom vode željene kvalitete bez ugrožavanja budućih kapaciteta i njenih kvaliteta. Opskrba vodom održiva je samo ako promiče učinkovitost na obje strane ponude i potražnje. Drugim riječima, na strani potražnje poželjno je koristiti nove tehnologije i pokazati spremnost na štednju, dok je na strani ponude ključno poboljšati operativne aktivnosti i održavanje sustava kako bi se smanjila količina nenaplative vode, curenja vode, potrošnje energije, ali i poboljšala sposobnost radne snage za kvalitetno upravljanje sustavom. Ključne su konstantne operativne aktivnosti i aktivnosti održavanja infrastrukture za održavanje sustava u dobrom radnom stanju i sprječavanju isprekidanosti opskrbe uzrokovane nepredvidivim zastojima i kvarovima. Operativne aktivnosti uključuju praćenje stanja sustava, njegovo pokretanje i provođenje politika i procedura, a održavanje se temelji na procjeni stanja, servisne popravke i zamjenu komponenti sustava. Lošim planiranjem

i izvođenjem aktivnosti održavanja, događaju se brojni gubitci koji nisu naplativi, oni pak uzrokuju manjak prihoda koji u konačnici može ponovno utjecati na loš način održavanja čineći tako zatvoren krug lošeg poslovanja. [11]

Sustave kao što je vodoopskrbni karakteriziraju razne značajke koje uključuju:

- teritorijalnu disperziju komponenti sustava
- specifičnu lokaciju komponenata, često nepristupačnu (pod zemljom/na visini)
- visoku konstrukcijsku složenost, velik broj i raznolikost tipova objekata i njihove snažne veze
- visoku dinamiku sustava koja zahtijeva kontinuiranu kontrolu i praćenje procesa
- kontinuirani rad za većinu instalacija.

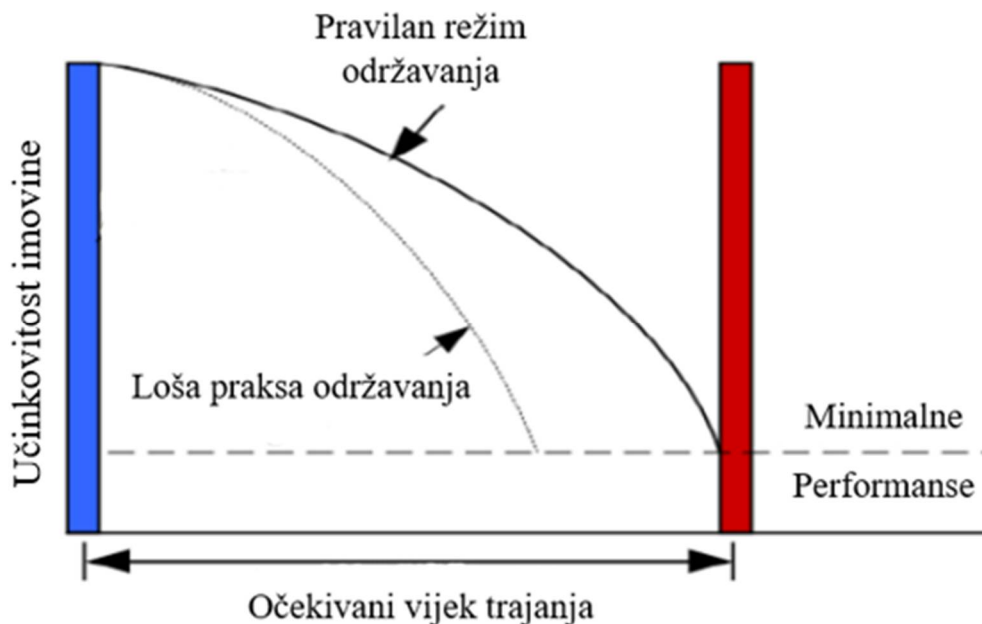
Zbog ovakvih karakteristika, koje mogu biti otežavajuće i ograničavajuće, operacije održavanja u disperzivnim sustavima bitno se razlikuju od istih u tipičnim proizvodnim industrijskim poduzećima. Uobičajene radnje održavanja vodoopskrbnih sustava strukturirane su i raspoređene u četiri skupine:

- održavanje tehničkog stanja vodovodnih cijevi i njihovo osiguravanje od oštih vremenskih uvjeta, armature i povezane opreme kroz sustavno praćenje mrežnih uređaja i objekata, pregled i kontrola tehničke infrastrukture
- stalno praćenje parametara rada i tlaka protoka u cjevovodima i distribucijskoj mreži, regulacija tlaka putem manipulacije kompenzacijskih ventila
- izvođenje planskih i korektivnih radova održavanja u koje spadaju zakazani pregledi, popravci, zamjena pojedinih elemenata
- uklanjanje oštećenja i kvarova (pukotine, korozija, oštećenje varova..).

Ove četiri skupine aktivnosti mogu se svrstati u tipičnu klasifikaciju poslova, a to su:

- Pregled
Planirane operacije i aktivnosti prema odgovarajućim rasporedima koji su namijenjeni provjeri stupnja istrošenosti ili oštećenja komponenti. Uklanjanje manjih nedostataka i određivanje okvirnog raspona nadolazećih planiranih aktivnosti održavanja.
- Prevencija
Skup radnji koje se odnose na čišćenje, podmazivanje, formalne provjere, sigurnost eksploatacije, održavanje ventila za redukciju tlaka, ispiranje i ostalo.
- Remont
Zadatak popravka ili zamjene nekog elementa koji je rezultat prethodno obavljenog pregleda. [12]

Aktivnosti održavanja znatno utječu na trajanje životnog vijeka opreme tj. imovine, a krivulje životnog vijeka s ili bez primjene kvalitetnog održavanja prikazane su na slici 3. Iz slike se može zaključiti da je kvalitetno i redovno održavanje zbilja bitno i da znatno utječe na trajanje opreme što uzročno posljedično utječe na pouzdanost sustava.



Slika 3. Učinak strategija održavanja na očekivani vijek trajanja [13]

Određene aktivnosti održavanja koriste se između ostaloga i zbog zakonskih obveza koje su imperativ, ali i ispunjenja razine usluge unaprijed određenim kriterijima. Glavni kriteriji, neki minimum kvalitete u isporuci, je postići isporuku vode pri minimalnom tlaku i protoku, ograničeno vrijeme zastoja godišnje te standard kvalitete vode. Kako bi se isti kriteriji ispunili, očito je da se treba znatno utjecati na stupanj propadanja sustava što se čini upravo redovitim i kvalitetnim održavanjem. Kao što je već spomenuto, svrha održavanja je sprječavanje nastajanja kvarova, ali i vraćanje sustava u funkciju dogodi li se on ipak. Samo održavanje sastoji se od rehabilitacije, popravka i obnove gdje bitnu ulogu imaju odluke o zamjenama dijelova infrastrukture nakon nekoliko kvarova ili prema planiranim zamjenama temeljenim prethodnim iskustvom i savjetima struke. [14] Općenito, sustavi vodoopskrbe, a posebice njihove podzemne komponente prepoznati su kao osjetljiva oprema podložna raznim vanjskim poremećajima zbog čega je potreban kontinuiran rad i napredak prema inovativnim rješenjima kako bi se kontinuirano razvijale i primjenjivale suvremene strategije upravljanja i održavanja. [15]

Ako se zanemaruje pravilno održavanje vodoopskrbnih sustava, kao što je čest slučaj u praksi diljem svijeta, vodovodna infrastruktura jednostavno propada i funkcionalni stres sustava sve više raste. Kao najproblematičniji i najrašireniji nedostaci vodoopskrbnih sustava kao

posljedica skromnog održavanja spominju se starenje infrastrukture, gubici vode i puknuće cijevi koji su međusobno povezani. Starenjem infrastrukture svojstva cjevovoda degradiraju te uslijed raznolikih eksploatacijskih uvjeta smanjuje se kvaliteta njihova učinkovitost. Cijevi položene ispod zemlje izložene su korozivnom okolišu, a uz manjak ispiranja cijevi stvaraju se razni biofilmovi koji uzrokuju smanjenje promjera, a time i poremećaj tlaka i naprezanja. [16] Uslijed ovakvih uvjeta, s obzirom na to da cijevi ne mogu biti podvrgnute vizualnom pregledu, dolazi do nenadanih puknuća cijevi, a time i do prekida opskrbe kućanstva te nenadanih troškova. Nerijetko prođe izvjesno vrijeme dok se puknuće cijevi ne otkrije, a tijekom tog perioda stvaraju se znatni gubitci vode koji utječu na tehničku stabilnost. Takvi gubitci najčešće su prisutni na spojevima i priključcima, a osim problema s isporukom i disbalansom sustava predstavljaju i ekološki i finansijski problem. Većina navedenih problema su izazovni i teško rješivi tradicionalnim metodama stoga se pribjegava naprednim rješenjima u vidu implementacije novih tehnologija. [17]

3.3 Digitalizacija vodoopskrbnih sustava

Kako bi se ublažili razni problemi prisutni u ovim sustavima, bitno je okrenuti se novim i inovativnim tehnologijama te modernom upravljanju. Postoje razni softveri i analize potpomognute računalom za bolje projektiranje i upravljanje samim sustavima. Takve tehnologije mogu omogućiti i poboljšati operativno upravljanje u smislu zadovoljavanja hidrauličkih performansi, ekonomske učinkovitosti, kvalitete vode, kontrole vode u spremnicima i druge ciljeve uz minimalne troškove. Takvo poslovanje postiže se uz kontrolu sustava i prikupljanja podataka koji pružaju ažurirane informacije o trenutnom stanju i trenutnom radu mreže. [16]

Osim standardnih optimizacija rada i održavanja sustava kroz zamjene, popravke i preglede, poslovanje se može podići na višu razinu učinkovitosti i održivosti primjenom pametnih tehnologija modernoga doba. Činjenica je da su digitalne tehnologije važan aspekt u sveopćem poboljšanju vodnih sustava. Nove tehnologije i nova saznanja uvelike doprinose optimizaciji sustava, njegovom ispravnom i ekonomičnom radu, kao i postizanju bolje izdržljivosti i dužem trajanju njegove infrastrukture. [16] U današnje vrijeme, digitalizacija poslovanja daleko je od apstraktnog pothvata, već je preduvjet za suvremeno i održivo poslovanje u svim sektorima pa tako i u vodoopskrbi. Kako bi se postiglo značajnije napredovanje u upravljanju poslovnim aktivnostima, primijenjeno rješenje treba biti rezultat učinkovitog inženjeringa softverskih sustava. Postoje brojne primjenjive platforme koje integriraju nekoliko digitalnih alata. Ono što je bitno jest da ako se uloži u određenu opremu,

da se nastoji iskoristiti njezin puni potencijal kombinirajući razne tehnologije koje će se međusobno nadopunjavati. [18] Naglasak kod uvođenja digitalizacije treba biti na resursima koji zahtijevaju koordinirane aktivnosti, na situacije gdje može doći do gubitka vremena, neučinkovito korištenje resursa ili aktivnostima koje mogu naštetiti kvaliteti usluge ili proizvoda, ali i prepoznavanju budućih potencijala i razvijanja dugoročnih strategija. Digitalna transformacija može se definirati kao proces poboljšanja poslovanja pokretanjem značajnih promjena kroz kombinaciju informacija, računalstva, komunikacije i tehnologije povezivanja. Uz svu problematiku vezanu za vodoopskrbne sustave, cilj digitalizacije je minimiziranje takvih situacija uz pametno održavanje i upravljanje s naglaskom na inovativne tehnologije u otkrivanju curenja, upravljanja vodenom mrežom i svom njenom opremom. [19]

3.3.1 Primjena Industrije 4.0

Digitalizacijom sustava u današnje vrijeme podrazumijeva se primjena načela Industrije 4.0 pri čemu se stvara virtualni svijet postojeće imovine i procesa poduzeća. Virtualni ili digitalni procesi i imovina međusobno su povezani globalnom komunikacijskom mrežom što omogućava široki spektar mogućnosti upravljanja u softverskom obliku. Kao odgovor na stalni razvoj inovacija, digitalna transformacija ne podrazumijeva samo digitalnu imovinu nego i razvoj i stjecanje novih znanja vezanih za digitalnu agilnost, digitalno umrežavanje i analitiku velikih podataka. Promjenom signala iz analognog u digitalni, svaka informacija o opremi ili događaju ima svoju digitalnu inačicu kojom se može upravljati softverom uz mogućnost automatizacije. Tehnologije Industrije 4.0 moraju biti integrirane i umrežene tako da međusobno komuniciraju i razmjenjuju podatke i informacije. Skladištenjem prikupljenih informacija i zapisa o raznim aktivnostima, stvara se skup podataka iz kojega je moguće donositi neke zaključke primjenjive u budućem poslovanju. Prikupljanjem informacija, pojavio se izazov metoda izvlačenja, ali i obrade tih velikih podataka kako bi se postigla bolja učinkovitosti digitalizacije. Takvi podaci služe za bolje razumijevanje procesa propadanja, evaluacije i kvarova vodovoda, a samim time moguće je razviti odgovarajuće prediktivne modele koji bi služili za izradu optimalnog plana održavanja i vođenja sustava. Za prikupljanje podataka koriste se razni senzori, pametni uređaji, umrežena računala te u konačnici i informacijski sustavi i razne aplikacije koje služe korisniku za manipulaciju tih podataka. Naglasak se stavlja na interakciju računala međusobno, ali i čovjeka i računala. Zaključno, veliki digitalni sustavi pružaju ključan resurs za upravljanje i donošenje odluka s obzirom na to da predstavljaju virtualni pogled na organizaciju i njezinu strukturu. Trenutni vrhunac napretka bila bi primjena strojnog učenja i umjetne inteligencije koji otvaraju nove mogućnosti za

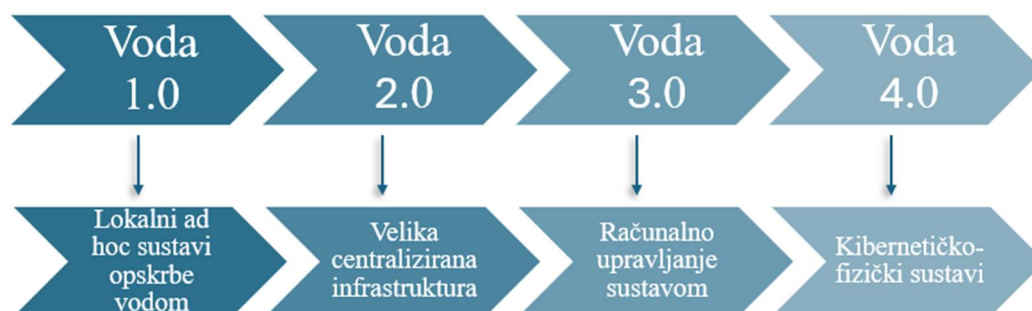
pametno upravljanje vodnim poduzećima. Mogu se koristiti u raznim primjenama od otkrivanja anomalija, razvijanja sustava predviđanja i procjene stanja do rada sustava. [20] U tablici 1. prikazane su neke od tehnologija Industrije 4.0, koje se koriste u modernim sustavima upravljanja vodoopskrbnim sustavima.

Tablica 1. Tehnologije Industrije 4.0 u vodoopskrbnim sustavima [19]

TEHNOLOGIJA	OPIS
Informacijske i komunikacijske tehnologije	Razne aplikacije za pametne telefone ili tablete, dronovi, umrežena računala, prijenosna računala temeljena na GSM-GPRS tehnologijama i 4G LTE bežične mreže
Geografski informacijski sustav	Upravljački sustav za upravljanje podacima i osobinama nekog prostora
Sustav upravljanja sadržajem	Računalni softverski sustav koji se koristi za izradu i modifikaciju digitalnog sadržaja
Sustav za podršku pri odlučivanju	Digitalni sustav za podršku pri upravljačkim odlukama i aktivnostima u poslovanju
Računalni modeli i simulacije	Softverski apstraktni prikaz koji se koristi za simulaciju nekog pravog fizičkog sustava
Računalni sustav za daljinski nadzor, mjerenje i upravljanje	Sustav za prikupljanje podataka s opreme bez ljudske intervencije koja se koristi u automatiziranim sustavima
Internet stvari	Tehnologije za daljinski nadzor i kontrolu u stvarnom vremenu bez potrebe za ljudskom intervencijom
Digitalni bliznac	Softverska apstrakcija fizičkog sustava kao digitalni pandan u stvarnom vremenu

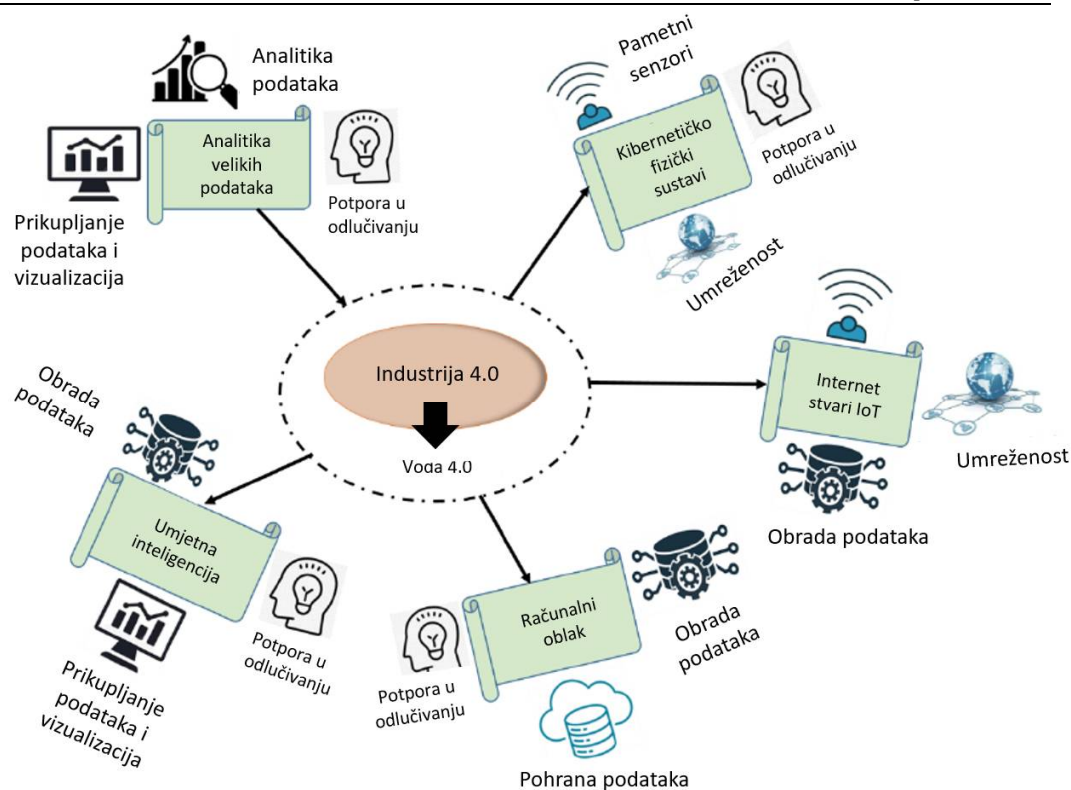
Upravljanje i nadzor velikih vodoopskrbnih mreža ozbiljan je izazov u kojem je jedno od čestih rješenja, koje se i danas koristi, nadzorno upravljanje i prikupljanje podataka tj. SCADA (eng. *Supervisory Control and Data Acquisition*). SCADA sustavi koriste se u mrežama za distribuciju vode gdje je potrebno nadzirati podatke vezane za mjerenje tlakova i protoka vode u cijevima i upravljanje mrežnim objektima poput crpnih stanica ili spremnika na temelju tih prikupljenih podataka. Oni predstavljaju softversku aplikaciju koja je prikladna za gotovo sve vrste industrija i temelji se na komunikaciji između čovjeka i opreme. SCADA sustavi prenose

prikupljene podatke s terena i vraćaju naredbe na terene ovisno o tome je li stanje prihvatljivo ili ne. Zbog dinamičnosti, neizvjesnosti i složenosti operacija, postoji potreba za promjenom paradigme u tehnologiji i okretanjem boljim mogućnostima za praćenje i kontrolu. Iako je SCADA sustav izrazito koristan, postoji njegovo ograničenje u vidu nedostatka potpuno povezanog sustava svih komponenti putem bežične mreže pri čemu se postiže holističko razumijevanje cjelokupnog procesa. Iz tog razloga, njegov rad obogaćuje se integracijom s internet stvarima koji podrazumijevaju komunikaciju među opremom. Dakle nove tehnologije, a to su tehnologije Industrije 4.0, treba iskoristiti kao nadopunu postojećih rješenja s kojima će se postizati bolji rezultati u poslovanju. To se odnosi i na vodoopskrbne sustave za čije je optimalno djelovanje potrebna implementacija pametnih tehnologija. Takav napredak u literaturi naziva se pojmom Voda 4.0 (eng. *Water 4.0*), parafraziranim izrazom za primjenu Industrije 4.0 u sustavima opskrbe vode, a četiri faze revolucije vodoopskrbnih sustava s pomoću tehnologija prikazan je na slici 4. [21]



Slika 4. Revolucijske faze vodoopskrbnih sustava [21]

Svrha implementacije koncepta Industrije 4.0 je ispunjenje njezinog punog potencijala u vidu poboljšanja kvalitete vode i rada sustava, ali i napretka u istraživanju i stvaranju novih trendova. Može se stvoriti okruženje koje će služiti za razumijevanje vodoprivrednih problema u smislu njihove složenosti, ranog upozoravanja i procesa donošenja odluka kroz digitalizaciju i automatizaciju, odnosno putem raznih senzora i hidrauličkih modela. Digitalne tehnologije korištene u konceptu Vode 4.0 prikazani su na slici 5.



Slika 5. Tehnologije Industrije 4.0 u vodoopskrbnim sustavima [21]

Implementacija Industrije 4.0 u vodoopskrbne sustave uključuje IoT i Internet usluge, analizu velikih podataka, kibernetičko-fizičke sustave i automatizaciju. U konceptu Vode 4.0 kibernetičko-fizički sustav mogao bi biti cijeli vodoopskrbni sustav ili dio njegovog sustava kojem će se pratiti kvaliteta vode i protoka duž distribucijske mreže ili potrošnja energije zbog crpljenja na crpnim stanicama kao i druge bitne stvari. Podaci se učinkovito pohranjuju u bazi podataka, a u aplikativnom djelu generira se njihova vizualizacija. Obrada podataka vrši se naprednom analitikom uz pomoć umjetne inteligencije. Svaka stavka vrlo je bitna, ali za praćenje stanja u stvarnom vremenu ključnu ulogu imaju Internet stvari. S pomoću takvih tehnologija poželjno je istraživati kako koncept Vode 4.0 može biti koristan u ispunjavanju zahtjeva složenih vodoopskrbnih sustava. [21]

3.3.2 Uvođenje CMMS informacijskih sustava

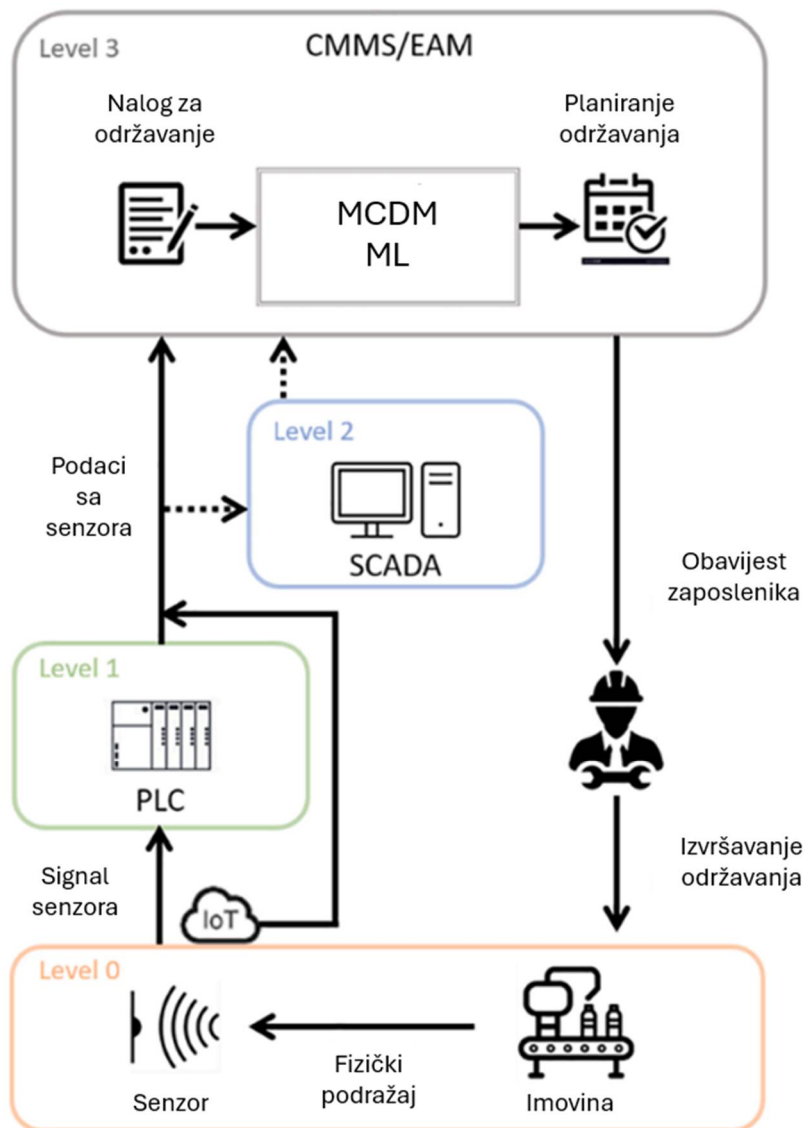
Važan dio digitalizacije poslovnih sustava, pa tako i vodovodnih, jest implementacija informacijskog sustava. Informacijski sustav naziv je za više različitih komponenti koje zajedno obavljaju zadaće prikupljanja, pohrane, obrade i prijenosa podataka, za određenu svrhu ili granu poslovanja, tako da su dobivene informacije prezentirane upravo onim korisnicima kojima će biti od koristi. [22] U ovom slučaju, razmatrat će se informacijski sustav namijenjen održavanju.

Upravo to predstavlja CMMS (eng. *Computerized Maintenance Management System*) informacijski sustav, odnosno održavanje s pomoću računalnih sustava.

Tradicionalne strategije održavanja u grubo se mogu obuhvatiti kao planirani nadzor, pregled, popravak i obnova sustava, podsustava i komponenti s ciljem očuvanja zdravlja i sigurnosti imovine. Kroz takve aktivnosti zaduženi zaposlenik mogao je prikupiti različite informacije o utjecajima na životni ciklus opreme te iz takvih povijesnih podataka kroz vrijeme moglo se donositi neke eventualne zaključke. Takav proces je zamoran, ali i nedosljedan zbog potencijalnog previđanja ili gubljenja ključnih zapisa. Suvremeno doba obilježava porast količine digitalnih podataka stoga se podliježe usvajanju alata za pomoć pri upravljanju aktivnostima održavanja. Upravo toj svrsi služe računalni sustavi za upravljanje održavanjem koji imaju vitalnu ulogu u procesima održavanja. Služe za potporu pri planiranju, upravljanju i administrativnim funkcijama koje su potrebne za sveobuhvatno i učinkovito održavanje. To podrazumijeva upravljanje inventurnim timovima i opremom s jednog mjesta nudeći kombinaciju upravljanja radnim nalogima, zalihama i planiranjem održavanja koje pokriva sve dijelove organizacije s objektima, strojevima ili drugom imovinom. Informacijski sustavi služe za digitalnu pohranu velike količine podataka pa tako CMMS služi za pohranu raznih podataka o strojevima, sensorima, događajima i popratne dokumentacije. Proširena verzija CMMS sustava predstavljaju sustavi za upravljanje imovinom tj. EAM sustavi. Razlika između njih je to što se CMMS isključivo temelji na održavanju, dok upravljanje imovinom obuhvaća i šire aktivnosti čija je svrha produljenje životnog ciklusa imovine povećavajući njegovu učinkovitost i pouzdanost smanjujući troškove održavanja i rizike za organizaciju. Oba sustava za cilj imaju bolju iskoristivost podataka i pretvaranje istih u značajne informacije za donošenje odluka. [23]

Unaprjeđenje ovakvih sustava moguće je integracijom tehnologija Industrije 4.0 koje metodu preventivnog održavanja putem informacijskog sustava mogu transformirati u smjeru prediktivnog održavanja. Strategija prediktivnog održavanja pruža mogućnost predviđanja kvarova na osnovu podataka iz stvarnog vremena. Shodno tome, može se djelovati proaktivno kako bi se osigurala dostupnost dijelova i osoblja te time minimiziralo vrijeme zastoja zbog popravka. Kada bi se ovaj sustav još nadgradio s tehnikama za donošenje odluka i umjetnom inteligencijom, tijekom rada transformirao bi se s tradicionalnog radnog procesa u pametni proces. Primjenom strojnog učenja, informacije sa senzora mogle bi se iskoristiti za predviđanje ponašanja sustava i mogućih abnormalnih događaja. Na osnovu takvih zaključaka sustav bi mogao generirati upozorenja i zadatke održavanja. To znači da bi se automatizirale aktivnosti npr. od prikupljanja podataka sa senzora sve do automatskog generiranja radnog naloga i

ispunjavanja njegovog obrasca. Rad CMMS ili EAM informacijskih sustava s integriranim tehnologijama Industrije 4.0 prikazan je na slici 6. Kao što je prikazano, na nultoj razini nalazi se imovina i pripadajući senzor koji je spojen na upravljačku jedinicu na prvoj razini. Informacije putuju preko SCADA sustava ili IoT-a do treće razine tj. informacijskog sustava gdje se otvara nalog za održavanje te se održavanje planira putem višekriterijalnog odlučivanja ili strojnog učenja. Kada je napravljen plan održavanja o istome se obavijesti zaposlenik koji zatim fizički otklanja problem. [23]



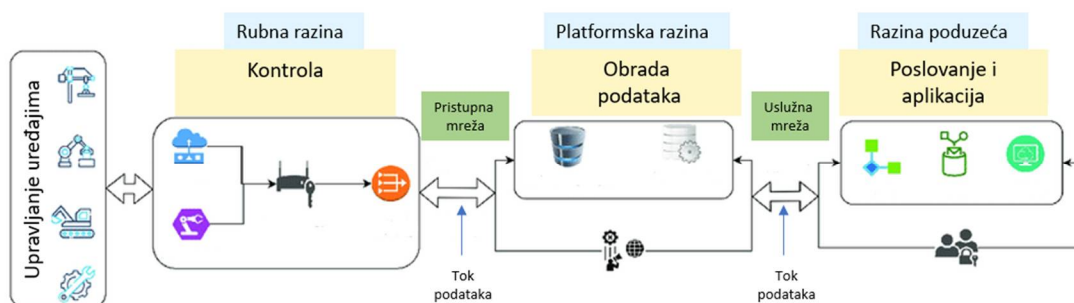
Slika 6. Dijagram tijeka automatiziranog otvaranja radnog naloga održavanja [23]

3.3.3 Uvođenje Interneta stvari (IoT)

Internet stvari (IoT, eng. *Internet of Things*) koncept je općenite povezanosti uređaja i ljudi na visokoj razini koji je primjenjiv kako u poslovnom, tako i u privatnom životu ljudi. Industrijski Internet stvari odnosi se na proširenje i korištenje Interneta stvari u industrijskim sektorima i aplikacijama. Ono podrazumijeva svu hardversku, softversku i mrežnu opremu koja služi za poboljšanje poslovnih procesa. Industrijski Internet stvari skup je senzora, instrumenata i autonomnih uređaja povezanih putem interneta s industrijskim aplikacijama koji prikupljaju podatke u realnom vremenu. IIoT (eng. *Industrial Internet of Things*) uređaji uključuju bluetooth tehnologije, tehnologije baterija niske potrošnje, laserske tehnologije, tehnologije pametnih kamera, pametna brojila i senzore. Osnovne discipline koje su ukorijenjene u ovaj holistički pristup tehnologiji su računarstvo, komunikacijska i informacijska tehnologija i elektronika. Ovakva mreža heterogenog skupa različitih uređaja omogućuje prikupljanje i analizu podataka, optimizaciju proizvodnje, povećanje učinkovitosti i smanjuje troškove proizvodnog procesa. Industrijske aplikacije su cjeloviti tehnološki sustavi koji povezuju uređaje i ljude koji upravljaju procesima. Ovakvo okruženje susreće se s tehničkim izazovima. Razmjena podataka između heterogenih mrežnih elemenata velikih razmjera, integracija, sigurnost informacija i prilagodba dinamičkom okruženja neki su od izazova IIoT-a. [24]

Cilj ovakvog sustava je da se za objekt promatranja prate, snimaju i daljinski kontroliraju nametnuti relevantni parametri putem postojeće mrežne infrastrukture koja prikupljene podatke automatski i izravno ih integrira u softversko okruženje. On povezuje fizički svijet senzora, uređaja i strojeva s internetom i primjenjujući duboku analitiku putem softvera pretvara goleme podatke u nove poglede. S jakim fokusom na stroj-stroj komunikaciji, velikim podacima i strojnom učenju, IIoT omogućuje industrijama i poduzećima da imaju veću učinkovitost i pouzdanost u radu. [25]

Ne postoji jedinstveni standard za uspostavljanje IIoT infrastrukture već se ona mijenja na temelju percepcije i potreba korisnika. Primarna troslojna arhitektura podrazumijeva fizičke, mrežne i aplikacijske slojeve koji uspostavljaju osnovnu vezu interakcije među uređajima. Na slici 7. prikazana je arhitektura koju čini pet glavnih domena, a to su kontrola, informacija, operacija, aplikacija i poslovanje. [26]



Slika 7. Troslojna IIoT arhitektura [26]

Arhitektura je podijeljena u tri razine. Prva razina predstavlja rubni sloj koji je odgovoran za fizičke i upravljačke uređaje. Drugi sloj koristi se za upravljanje informacijama i operacijama dok je treći sloj, poduzetnički, glavni za kontrolu sučelja aplikacije. Kontrolna domena odgovorna je za koordinaciju između fizičkog sustava i ulaznih uređaja (senzora i aktuatora) za prikupljanje podataka. Njezin zadatak je proslijediti podatke i informacije u drugu, informacijsku domenu. Informacijska domena pruža platformi podatkovne usluge za transformaciju i distribuciju podataka, a operativna domena upravlja metapodacima. Razina poduzeća podrazumijeva aplikacijsku domenu koja pruža logiku i pravila za pristup informacijama i kontrolu protoka podataka. Svaka razina predviđena je za izvođenje odabranih operacija. [26]

IoT je doživio ogroman razvoj u svim industrijskim sektorima pa tako i u vodoopskrbnim sustavima. Sastoji se od višeslojne arhitekture gdje prvi sloj čine senzorska osjetila, drugi mrežni sloj povezuje takve uređaje i omogućava njihovu komunikaciju te aplikativni dio s raznim alatima služi za vizualizaciju, modeliranje i predviđanje. Objedinjuje više funkcija kao što su senzori, komunikacija, pohrana podataka, alati za ekstrakciju znanja. Kao što je već spomenuto, trenutno se vodoopskrbnim sustavima upravlja industrijskom tehnologijom kao što je SCADA. IoT pruža brojne alternative u načinu rada koje služe za pozitivnu transformaciju postojećih sustava kao što je SCADA. IoT u vodoopskrbnim sustavima povezuje Internet i senzore pametne distribucijske mreže i prikuplja korisne podatke vezane za stanje vode koji će pomoći u kontroli i donošenju odluka. Njegovi pametni senzori i uređaji služe za praćenje stanja

mreže u realnom vremenu, a često praćeni parametri su curenje vode, protok vode, razina vode u spremniku, kvaliteta vode i tlak uzduž distribucijske mreže. Senzori su implementirani preko distribucijske mreže, a izmjereni podaci predstavljaju kontinuirani tok informacija koje pristižu s raznovrsnih mjernih mjesta. Kritični podatak predstavlja „*outlier*“ u izmjerenim podacima tj. podatak koji je otkriven putem novih tehnologija rudarenja podataka i neuronskih mreža ili napredne analitike za otkrivanje problema i rješenja za optimizaciju. Iz tog razloga potrebna je implementacija praćenja u stvarnom vremenu i prikupljanja analitičkih podataka kojima se postiže pametno određivanje prioriteta u aktivnostima održavanja i upravljanja. Korištenjem takve pametne mreže, postižu se pozitivni trendovi u rješavanju ili smanjivanju postojećih problema. [21]

Upravljanje vodom ključno je kako bi svatko mogao imati pristup dovoljnoj količini vode odgovarajuće kvalitete i pritiska. Pristup temeljen na IoT-u koristi se u urbanim vodoopskrbnim sustavima stvaranjem primjerene arhitekture. Podaci o opskrbi i korištenju vode prikupljaju se i analiziraju s pomoću senzora i drugih uređaja koji su dio sustava. Predloženi pristup može optimizirati korištenje vode, smanjiti otpad i jamčiti da svatko ima pristup dovoljno vode između ostalih prednosti. Rješenje je također prilagodljivo i skalabilno kako bi odgovaralo zahtjevima raznih pametnih gradova. IoT će igrati sve veću ulogu u upravljanju vodnim resursima u pametnim gradovima kako tehnologija napreduje, što će rezultirati održivijim i učinkovitijim korištenjem vode. [27]

Kako se sve više hardvera IoT-a postavlja, tako vodoopskrbni sustavi počinju rukovati s ogromnom količinom podataka o njihovim procesima i operacijama. Takvi podaci nazivaju se veliki podaci koji predstavljaju zbirku masivnih podataka s velikom raznolikošću koje je teško analizirati tradicionalnim alatima. Prikupljeni podaci mogu opisivati promjene tlakova i protoka duž svake cijevi u mreži, a podaci sa senzora akustike i vibracija mogu se interpretirati za analizu curenja. Zbog toga, važno je pravilno rukovati takvim podacima, a to je moguće uz napredna analitička rješenja, rudarenje podataka, strojno učenje i algoritama umjetne inteligencije. S pomoću umjetne inteligencije mogu se optimizirati postojeći vodni resursi i planirati infrastrukturna rješenja. Na osnovu razumijevanja vodnih gubitaka i potrošnje u stvarnom vremenu gradi se rješenje za sveobuhvatnu, prilagodljivu i financijski isplativu mrežu. Također, mogu se analizirati podaci s geodetskog radara za lokalizaciju curenja i procijeniti rizici od nastanka kvarova odnosno donositi odluke koje će imati pozitivan ishod. [21]

Primjene IoT tehnologija u vodoopskrbnim sustavu:

- Praćenje strukturnog (zdravlja) cijevi (eng. *PHM-Pipe health monitoring*)

Cijevi su važan dio vodoopskrbnog sustava jer se protežu čitavom distribucijskom mrežom i tako čine najzastupljeniji element u ovim sustavima. S obzirom na to da su ukopane ispod zemlje i tako stoje određeni period u određenim uvjetima, dolazi do starenja i oštećenja na tim strukturama. Posljedično, uz utjecaj vibracija i korozije, dolazi do loma na površini cijevi i značajnog gubitka vode. Iz tog razloga, bitno je praćenje zdravstvenog stanja cijevi i intervencija prije nego dođe do deformacija. Praćenje podrazumijeva kontrolu korozije, deformacija, vibracija, puknuća i curenja.

- Praćenje kvalitete vode (eng. *WQM-Water Quality Monitor*)

Što se tiče kvalitete vode potrebno je implementirati integrirane senzorske uređaje koji će osigurati kontinuirano mjerenje pH vrijednosti vode, temperaturu, zamućenost, koncentraciju otopljenog kisika i rezidualnu razinu klora duž mreže. Ako se detektira zagađenje vode u nekom dijelu mreže i kvaliteta vode je ugrožena, potrebno je što prije intervenirati kako bi se zagađenje lokalizirano i spriječilo širenje na cijeli sustav.

- Otkrivanje curenja vode (eng. *LDM-Leak detection method*)

Za otkrivanje curenja postavlja se određen broj integriranih senzora tlaka, vibracija, akustike i protoka te aktuatora za aktivnosti mjerenja i upravljanja. Također postoje i tehnologije za otkrivanje curenja koje se nalaze u samim cijevima. Uz IoT, kod ove vrste problema, učestala je primjena i umjetne inteligencije i strojnog učenja.

- Praćenje tlaka vode (eng. *PCM-Pressure Control and Monitoring*)

U mrežama za distribuciju vode senzori tlaka montirani su na čvorovima mreže i tako mjere tlakove duž cijevi i na svakom čvoru. Tlak bitno ovisi o razini potrošnje te kada ona raste javlja se potreba za većim pritiskom. Na tlak bitno utječu i postojeća curenja u sustavu koja otežavaju održavanje tlaka na adekvatnoj razini. S obzirom na to da postoje dva ključna utjecaja na tlak, koriste se senzori koji integriraju tlak i protok tako da se pritisak i potražnja mogu kontrolirati u stvarnom vremenu i tako postići potrebne performanse. [21]

- Kontrola razine u spremniku

Upravljanje vodoopskrbnim sustavom i njegovim podstanicama, podrazumijeva upravljanje i spremnicima za vodu kako bi svako kućanstvo koje ovisi o određenom spremniku dobilo dovoljnu količinu vode. Senzorski čip ugrađen u spremnike prati

razinu vode u njemu pri čemu su definirani maksimalni i minimalni potrebni iznosi. Time se smanjuje mogućnost od nestašice, ali i prelijevanja vode. Osim minimalnih i maksimalnih iznosa, moguće je regulirati razinu vode u spremniku i putem promatranja i prikupljanja podataka o prosječnoj potrošnji vode. [27]

- Automatizirano očitavanje brojila

Primjena pametnog mjerenja uvođenjem tehnologija automatskih očitavanja brojila i napredne infrastrukture brojila koristi za učinkovitije mjerenje i naplatu prema potrošačima, a takvi uređaji imaju kapacitet poboljšanja točnosti podataka i smanjenja troškova zbog curenja. To je tehnologija automatskog prikupljanja podataka o potrošnji, statusu vodomjera ili uređaja za mjerenje energije te prijenos podataka u središnju bazu za naplatu, rješavanje problema i analizu. Automatsko očitavanje brojila eliminira terenske operatere koji ručno čitaju podatke, a potrošačima osigurava pravedan sustav naplate. [28]

Tehnički koncept prikupljanja golemih količina relevantnih podataka putem bežične senzorske mreže omogućen je primjenom interneta stvari kroz infrastrukturu vodoopskrbe i korisničku stranu potrošača. Takav koncept omogućuje komunalnim poduzećima i potrošačima da proaktivno upravljaju potrošnjom vode i naprave korak ka višoj razini održivosti. Iako postojeći vodni sustavi trebaju velika kapitalna ulaganja kako bi se uhvatili u koštac sa starenjem, upravo to može biti razlog za razvijanje i primjenu alata za učinkovito upravljanje imovinom koji će kontrolirati daljnje propadanje i smanjiti volumen vode koja se trenutno gubi u propusnim distribucijskim sustavima. Osim gubitaka vode, gubi se i energija koja se troši na ekstrakciju, obradu i distribuciju. Zbog toga je bitno okrenuti se novim tehnologijama navedenim u radu koje će suštinski nastojati upravljati postojećom imovinom koja je održivija u smislu zaštite okoliša te društvenih i ekonomskih aspekata. [28]

4. PRIMJER PROJEKTA DIGITALIZACIJE VODOOPSKRBNOG SUSTAVA

4.1 Opis i ciljevi projekta

Projekt koji je tema ovoga rada nosi naziv „Prognoziranje održavanje industrijske rotacijske opreme temeljno na strojnom učenju i IoT tehnologiji u interakciji s informacijskim sustavima“, a zasniva se na suradnji Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu i društva s ograničenom odgovornošću EKONERG-institut za energetiku i zaštitu okoliša tj. Ekonerg konzalting-a. Projekt je sufinanciran iz Europskog fonda za regionalni razvoj kroz program Konkurentnosti i kohezije 2014.-2020. godine, a provodi se na vodovodnoj infrastrukturi u mjestu Udbina u Ličko-senjskoj županiji. Fakultet strojarstva i brodogradnje prepoznat je kao institucija koja posjeduje izvrsnu stručnost i rezultate u istraživačko-razvojnim suradnjama s privatnim sektorom, dok je poduzeće Ekonerg konzalting vodeće hrvatsko društvo u pružanju usluga savjetovanja na području tehničkog održavanja i upravljanja fizičkom imovinom. Ekonerg svojim uslugama pokriva ukupni životni vijek energetske i industrijske postrojenja, komunalnih infrastruktura te drugih različitih tehničkih sustava kroz implementaciju poslovnog informacijskog sustava za upravljanje imovinom u industrijama gdje je upravljanje imovinom i njeno održavanje ključan poslovni proces za proizvodnju, pružanje usluga te sigurnost ljudi, imovine i okoliša. Uloga Ekonerga kao partnerske firme je doprinos kroz aktivnosti prikupljanja informacija o tehnologiji i metodama održavanja rotacijske opreme, savjetovanja pri nabavi opreme, pripreme tehničkih specifikacija vezanih uz javnu nabavu, pripreme novog sustava prognoziranog održavanja, sudjelovanja u razvoju softverskog algoritma, pripreme nacrti i izrade tehničke dokumentacije, praćenja i optimiranja sustava te plasiranja proizvoda na tržište. Zbog navedenog, ova suradnja pokazala se dobitnom kombinacijom u razvoju i implementaciji inovativnih rješenja u prognoziranju održavanja rotacijske opreme u vodoopskrbnom sustavu Ličko-senjske županije. [29]

Projekt je direktno povezan sa Strategijom pametne specijalizacije (S3) koju je donijela Vlada Republike Hrvatske, a jedan je od preduvjeta za subvencioniranje iz Europskih fondova. Fokus ovakvih aktivnosti je na istraživanju, razvoju i komercijalizaciji inovacija kao glavnom pokretaču gospodarskog razvoja i napretka. Neki od glavnih ciljeva ove strategije su prepoznavanje i ispunjavanje potreba gospodarstva, kohezija istraživačkog i poslovnog sektora, modernizacija i internacionalizacija hrvatskog gospodarstva te stvaranje novih i inovativnih pametnih vještina (eng. *Smart skills*). Strategija stavlja naglasak na pet različitih područja, a područje čijim ciljevima projekt doprinosi je Energija i održiv okoliš. [30]

Kako je navedeno u samoj strategiji, jedna od najvažnijih tema jest upravljanje imovinom i životnim ciklusom opreme. Naglasak je na naprednom praćenju eksploatacije tehničkih sustava što podrazumijeva rano otkrivanje kvarova, izvođenje aktivnosti održavanja prema stvarnom stanju u realnom vremenu kao i prognozu preostalog životnog vijeka opreme te implementaciju naprednih rješenja za detekciju anomalija i uzoraka u ponašanju same opreme.

Održavanje i upravljanje imovinom (eng. *Asset Management*) kao poslovne funkcije iziskuju sve veću pozornost. Prepoznate su kao ključne aktivnosti koje vode ka uspješnom poslovanju. Vrlo bitna stavka je pouzdanost sustava koja proizlazi iz kvalitetnog planiranja održavanja. Za takvo sigurno poslovanje bitno je izbjeći rizike od nepredviđenih nepoželjnih događaja ili ih svesti na minimum. Time se smanjuje količina korektivnih aktivnosti, a naglasak se stavlja na preventivno djelovanje potaknuto povratnim informacijama iz samog sustava. Dakle, cilj je težiti djelovanju po potrebi iz opravdanih razloga kako bi se izbjegli veći kvarovi i produljio životni vijek opreme. Osim stabilnog poslovanja, ovakve aktivnosti bitne su i s ekonomskog aspekta s obzirom na to da nepredviđeni zastoji znače novčani gubitak, a samo optimiranje održavanja donosi uštede na ionako visokim troškovima. Još jedna bitna stavka ovakvog pristupa je pojam održive proizvodnje koja obuhvaća poboljšanu energetske učinkovitost kao i očuvanje sirovina na što se pozitivno utječe produljenjem životnog vijeka tehnološke opreme.

Korak naprijed u digitalizaciji, s aspekta održavanja i upravljanja imovinom, i podizanje sustava na višu razinu donose inovativne tehnologije temeljene na razvoju široke mreže integriranih senzora u internetskom okruženju interneta stvari. Takvi senzori implementirani u sustavu služe za prikupljanje velikih količina podataka kojima se nadalje upravlja i nad njima vrši detaljna analiza primjenom strojnog učenja bez potrebe za ljudskim faktorom. Takve tehnologije automatiziraju procese i smanjenjem utjecaja čovjeka svode mogućnost pojave pogrešaka na minimalan iznos. Dugoročno ovakav princip znači efikasnije, isplativije i optimalnije poslovanje tehničkih sustava.

Odabir lokacije primjene ovakvih tehnologija, tj. vodoopskrbni sustav Ličko-senjske županije, donesen je strateškom odlukom. Sam sustav izrazito je kompleksan jer je mreža raspršena na velikom području pa je samim time teren vrlo zahtjevan. Iz tog razloga, ovakve primijenjene tehnologije znatno olakšavaju upravljanje sustavom. Također, s obzirom na to da se radi o gospodarsko nerazvijenom području s nižim mogućnostima zaposlenja, ovaj projekt otvara mogućnosti za budućnost koje će pomoći u razvoju tog područja. Postojeći industrijski kapaciteti vrlo su visoke tehnološke zaostalosti stoga će ovakve inovacije uvelike pridonijeti

modernizaciji. Osim toga, oprema vodoopskrbnog sustava dugog je vijeka što je vrlo bitno sa stajališta prikupljanja podataka jer omogućuje duži period prikupljanja, a samim time će i analize biti vršene na većim skupovima podataka što u konačnici rezultira pouzdanim i relevantnim podacima. Na kraju, ovakav inovativni sustav može se plasirati kao gotov i uspješan proizvod primjenjiv i u drugim sektorima i industrijama, kako u Hrvatskoj tako i u inozemstvu, čime se jača gospodarski razvoj, ali i konkurentnost na tržištu.

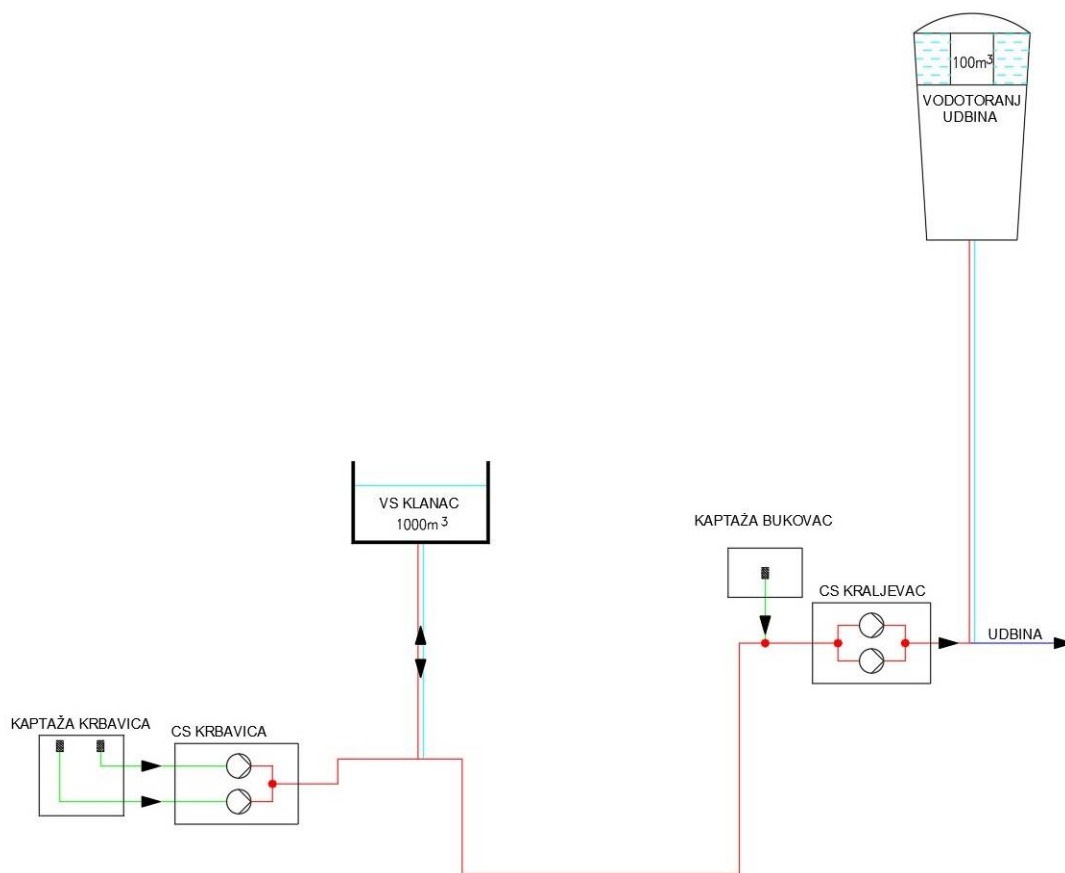
Vodoopskrbni sustav Ličko-senjske županije, Krbavica-Udbina, je tehničko-tehnološki vodoopskrbni sustav koji je u nadležnosti poduzeća Kraljevac d.o.o. iz Udbine. Poduzeće se bavi djelatnošću opskrbe pitkom vodom i odvodnje otpadnih voda na prostoru općine Udbina. Vodovodna mreža proteže se velikom terenskom površinom duž Krbavskog polja. Teren je vrlo zahtjevan i nepristupačan zbog svoje disperzivnosti, a ključan je za ispostavu pitke vode građanstvu. Upravo iz tih razloga, od velike je koristi da se takav sustav unaprijedi i da ga se učini pouzdanim kako bi ljudi uvijek imali dostupnu pitku vodu u svojim domovima.

Vodoopskrbna mreža sastoji se od magistralnog tlačnog cjevovoda, distributivne vodovodne mreže, ukupno 131 okna, dvije crpne stanice, vodospreme i vodotornja. Magistralni cjevovod proteže se južno od crpne stanice Krbavica granajući se prema Podlpači i Udbini. Distributivna vodovodna mreža grana se iz magistralnog cjevovoda prema Debelom Brdu te duž cijelog magistralnog cjevovoda prema kućanstvima. Pregledna situacija rasporeda vodoopskrbne mreže prikazana je na slici 8. pri čemu je plavom bojom označen glavni magistralni cjevovod, a crvenom bojom distribucijski cjevovodi. Također, naznačeni su i glavni objekti samog sustava.



Slika 8. Pregledna situacija vodovoda Kraljevac-Udbina

Magistralni cjevovod započinje u crpnoj stanici Krbavica u kojoj se nalaze dva crpna agregata zaslužna za distribuciju vode iz kaptaže, a završava u crpnoj stanici Kraljevac koja također sadrži dva crpna agregata za distribuciju pitke vode iz tlačnog cjevovoda i kaptaže Bukovac. Nakon crpne stanice Krbavica, nalazi se vodosprema Klanac zapremnine 1000 metara kubnih, dok se u Udbini nalazi vodotoranj zapremnine 100 metara kubnih. Pojednostavljena hidraulička shema vodoopskrbnog sustava Krbavica-Udbina prikazana je na slici 9. u nastavku.



Slika 9. Hidraulička shema vodovoda Krbavica-Udbina

4.2 I. Faza digitalizacije

Proces digitalizacije može se opisati kao višestruki socijalno-tehnički proces usvajanja i korištenja tehnologija u širem individualnom, organizacijskom i društvenom smislu. Napretkom digitalnih tehnologija, posao i društvo transformirali su se u nekoliko valova. Početci digitalizacije podrazumijevali su zamjenu papira računalima, zatim je velika novost bila pojava interneta dok se u današnje vrijeme spajaju SMAC (eng. *Social, Mobility, Analytics i Cloud*) tehnologije s većom procesorskom snagom, kapacitetom pohrane i komunikacijskom propusnošću čineći viziju računalstva sveprisutnom. Kao posljedica, digitalne tehnologije nadopunjuju i/ili obogaćuju postojeće proizvode i usluge te omogućuju izgradnju potpuno novih poslovnih modela. U naprednoj digitalizaciji sve veću budućnost vide i državne vlasti koje na nacionalnoj i regionalnoj razini definiraju digitalizaciju kao strateški prioritet provodeći inicijative za poticanje digitalne transformacije znanosti, industrije i društva. Digitalizacija također otvara mogućnosti za sudjelovanjem u istraživačkim aktivnostima u suradnji s industrijom. Sa sveprisutnim visokim stupnjem digitalizacije poduzeća na tržištu, poduzeća zaostala u takvom aspektu napretka osjećaju se zarobljenima u tradicionalnom načinu

poslovanja i često se obraćaju sveučilištima za pomoć i sudjelovanje u istraživačkim projektima kako bi unaprijedili svoje poslovne modele, proizvode i usluge. [31]

U slučaju vodovoda Krbavica-Udbina dogodio se sličan scenarij. Iako Kraljevac d.o.o. nije bio glavni pokretač projekta, bio je savršen kandidat za suradnju tj. pružanje svoje infrastrukture na kojoj će projekt biti proveden. Na samom vodovodu i u poduzeću Kraljevac d.o.o. infrastruktura, poslovna dokumentacija te poslovanje općenito zaostali su za današnjim trendovima. Tako je po pitanju digitalizacije u tom poduzeću bilo potrebno krenuti praktički od nule. Aktivnosti koje su se izvršavale započele su prikupljanjem i izradom nove poslovne dokumentacije koja se u daljnjim koracima digitalizirala te integrirala s bazom podataka u informacijski sustav upravljanja imovinom.

4.2.1 Prikupljanje dokumentacije

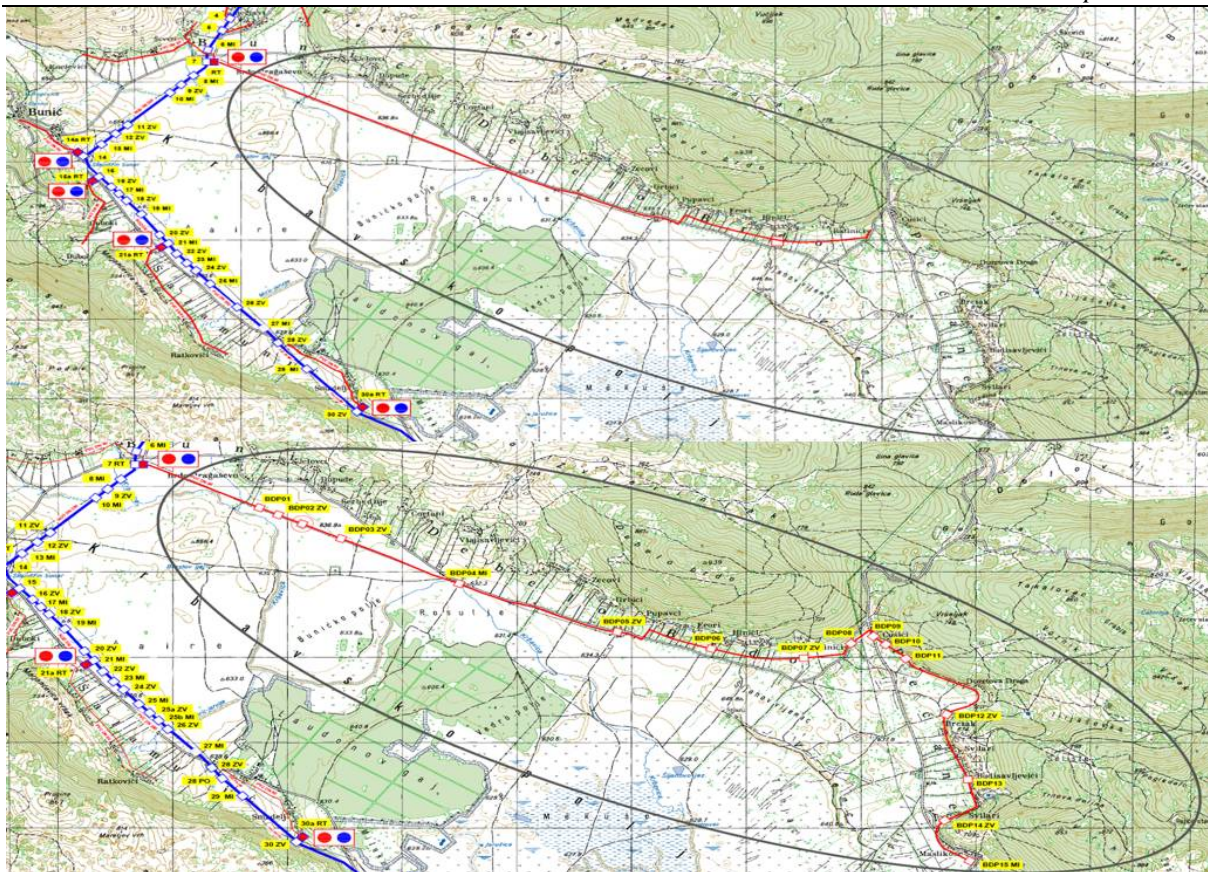
Prvi korak u realizaciji projekta je upoznavanje sa sustavom rada terenskog partnera Kraljevac d.o.o.. Kako bi se osigurali dobri temelji za izvođenje potrebnih aktivnosti, bitno je objediniti informacije s kojima se raspolaže te nadoknaditi ono što nedostaje. Kako bi se napravila dobra priprema, za u konačnici implementaciju i uspostavu informacijskog sustava za održavanje i upravljanje imovinom, za početak je potrebno definirati i prikupiti temeljne matične podatke i dokumentaciju za identificiranje objekata održavanja i upoznati se s njihovim procesom održavanja u cijelom životnom vijeku. Iz toga razloga, jedna od početnih aktivnosti bila je snimanje postojećeg stanja u objektima poduzeća Kraljevac d.o.o. sa svrhom upoznavanja s organizacijskom i tehnološkom problematikom održavanja i mogućnostima implementacije modernih rješenja.

U okviru ove aktivnosti organiziran je terenski rad stručnjaka u svrhu detaljnog snimanja tadašnjeg stanja raspoloživosti podataka i dokumenata. Također, obuhvatilo se i upoznavanje s organizacijom, procedurama, pitanjem nadležnosti i odgovornosti za sam tehničko tehnološki sustav. U fazu prikupljanja dokumentacije spada i istraživanje postojećeg sustava identifikacije opreme te potencijalne baze podataka koja bi bila podloga za formiranje digitalne baze matičnih podataka. Osim evidencije za identifikaciju objekata, prikupljala se i proučavala postojeća projektna dokumentacija vodovodne mreže u obliku primjerenom za grafičku identifikaciju objekata kako bi se izradila vjerodostojna digitalna dokumentacija u obliku P&ID (eng. *Piping and instrumentation diagram*) dijagrama, MRU (Mjerenje, regulacija i upravljanje) shema, elektro shema i dispozicije građevinskih objekata i vodovodne mreže.

Terenskim obilaskom utvrđen je nedostatak dokumentacije realnog stanja sustava. Papirnata dokumentacija bila je nepotpuna, zagubljena i dijelom izgubljena kroz godine

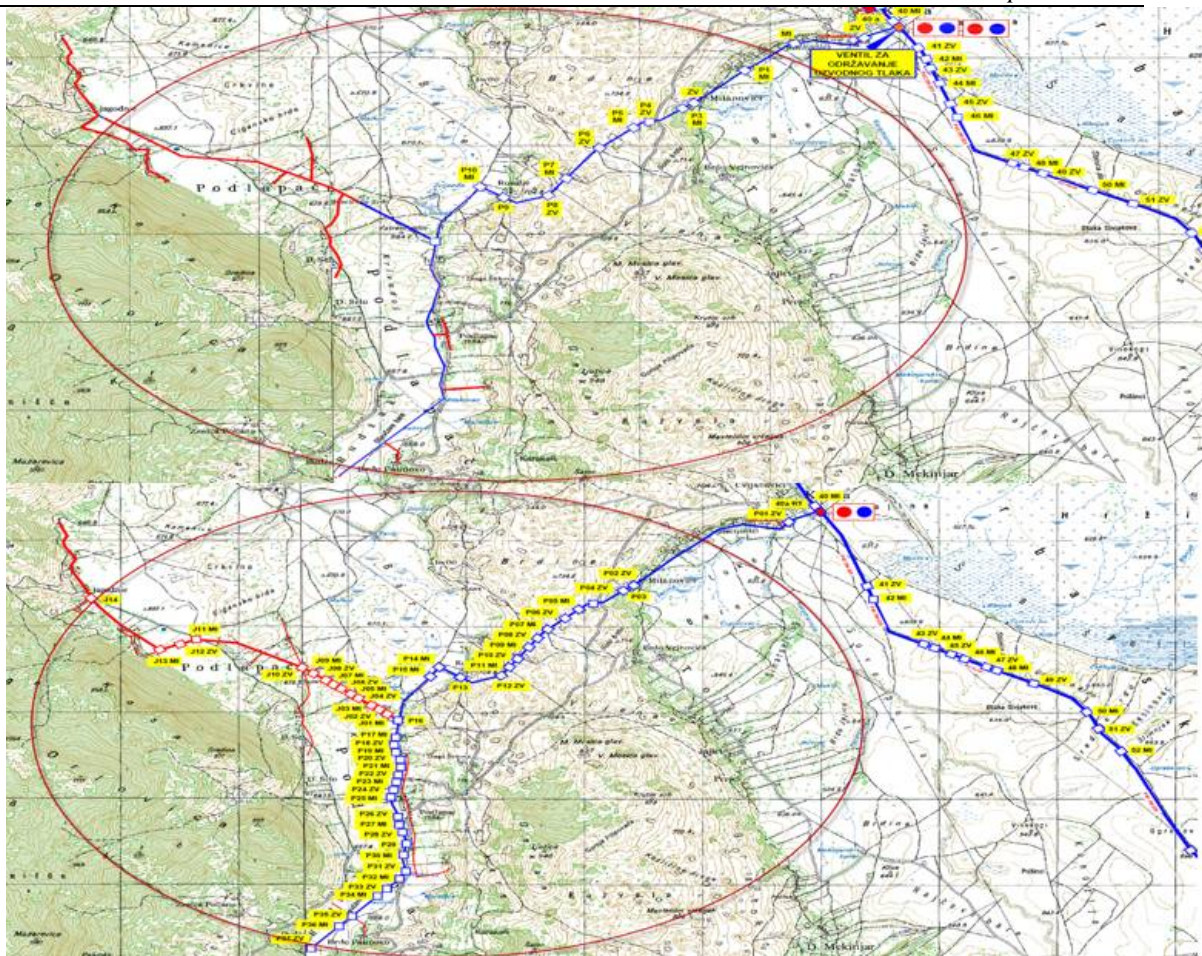
skladištenja te u okolnostima ratnog razdoblja. Takva pojava ne čudi te je dodatan pokazatelj prednosti digitalne dokumentacije koja se s vremenom, za razliku od tradicionalno papirne, ne troši te se lako skladišti i prenosi. Ipak, uspjelo se prikupiti određeni broj izvedbenih, rekonstrukcijskih i sanacijskih projekata vezanih za vodovod koji su bili od koristi za upoznavanje sa sustavom. Podaci koji su se nalazili u više dokumenata i na više mjesta trebali su se ujediniti, sistematizirati i pročistiti kako bi se usvojili i zadržali oni relevantni. Prikupljena dokumentacija nažalost nije bila dovoljna za potpunu rekonstrukciju te je bio potreban fizički obilazak svih objekata i okana duž vodovodne mreže koja se pruža Krbavskim poljem. Obilaskom svih vodoopskrbnih objekata i okana identificirali su se prethodno poznati objekti i okna, ali su se locirala i nedostajuća okna koja nisu prethodno dokumentirana, a terenskim je obilaskom utvrđeno da postoje. U konačnici je utvrđeno da se vodoopskrbni sustav sastoji od sto trideset i jednog okna, dvije crpne stanice s izvorištima, vodospreme i vodotornja. Svi dijelovi objekata i okana su fotografski dokumentirani tijekom obilaska te su po potrebi izrađene prostoručne skice za lakše snalaženje i izradu shema u kasnijoj fazi. Osim dvodimenzionalnih fotografija, sva okna i objekti fotografirani su i kamerom za snimanje 360 stupnjeva. Te fotografije iskoristile su se za izradu virtualne šetnje od crpne stanice Krbavica sve do vodotornja Udbina tj. virtualnu šetnju po cijelom vodoopskrbnom sustavu.

Uzimajući u obzir poznate i novoutvrđene objekte i okna, na kraju se dobila kompletna slika stvarnog stanja mreže. Vodoopskrbni sustav započinje izvorištem u crpnoj stanici Krbavica te se proteže preko Klanca prema mjestu Bunić, gdje se magistralni cjevovod grana u dva smjera, a to su prema Debelom Brdu i Pećanama te prema Buniću. Dio magistralnog cjevovoda prema Pećanama, tj. okna na njemu, nisu postojala u inicijalnoj dokumentaciji te su obilaskom naknadno utvrđeni i ucrtani kako bi se ažurirala položajna karta. Na slici 10. prikaza je situacija magistralnog cjevovoda prema Pećanama prije i poslije obilaska sa naznačenim novootkrivenim i novo ucrtanim oknima.



Slika 10. Magistralni cjevovod Pećane

Od mjesta Bunić, krećući se južno prema Udbini, dolazi do još jednog grananja magistralnog cjevovoda, ovoga puta prema mjestu Jagodnje i Podlapača. Ovaj dio cjevovoda i okna također nisu detaljno zabilježeni u inicijalnoj dokumentaciji te su isto tako naknadno dodani na položajnu kartu kao što je prikazano na slici 11. Uzevši sve u obzir, u konačnici se dobila završna slika ažurirane položajne karte cijelog vodovodnog sustava pri čemu su ucrtani magistralni cjevovod označen plavom bojom te distributivna vodovodna mreža crvenom bojom. Označeni su i položaji svih objekata te okana s naznakama na kojim mjestima postoji mjerenje protoka, tlaka i nivoa vode. Okna su označena dodijeljenim aliasima koja će se detaljnije objasniti u nastavku rada. Cijeli prikaz trenutnog stanja nalazi se u Prilogu I.



Slika 11. Cjevovod za Jagodnje i Podlapaču

4.2.2 Sustav označavanja jedinica održavanja

Jedna od ključnih aktivnosti u procesu digitalizacije, u sklopu uvođenja informacijskog sustava za upravljanje održavanjem, je jednoznačna i univerzalna identifikacija tehničkih objekata koji se podvrgavaju odnosno predmet su održavanja u objektima poduzeća. Drugim riječima, potrebno je odrediti smislenu nomenklaturnu šifru opreme koja će služiti za vezanje matičnih podataka, planova održavanja, provođenja radnih naloga i drugih aktivnosti potrebnih za poslovanje kao i dokumentiranje istih, a omogućuje i praćenje životnog ciklusa te slaganje različitih izvještaja sa statističkim podacima kroz vrijeme koji mogu služiti kao potpora u poslovnim odlukama.

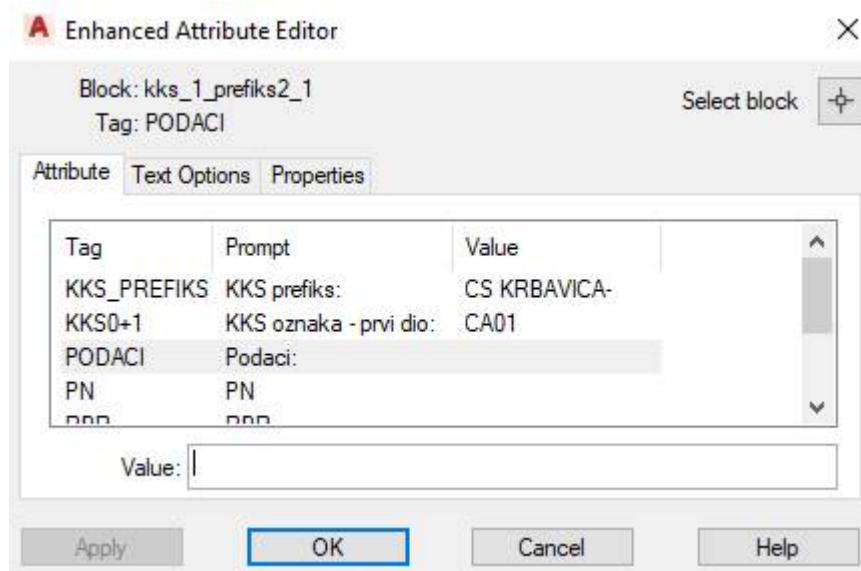
Nomenklaturni sustav prilagodio se vodoopskrbnom sustavu te jednostavnom logikom i lako shvatljivim oznakama svakom objektu jednoznačno dodijelio njegov alias. Jedan od zadataka bio je izraditi/osmisлити logiku kojom će se definirati način tvorbe standardnih naziva tehničkih objekata. Potrebno je bilo dodijeliti standardizirani naziv koji će se cjelovito moći uklopiti u bazu podataka s ciljem lakšeg pretraživanja iste. Alias je naziv za unificiranu oznaku

kojom se raspoznaju i razlikuju objekti i jedinice održavanja, a sastoji se od klasifikacijskog dijela kojeg čine slova te numeričkog dijela. Alias se također sastoji od dvije razine. U prvoj razini, prefiksu, može se nalaziti oznaka ili slovima ili brojevima, a označava lokaciju jedinice održavanja odnosno objekt u kojem se ta jedinica nalazi, dok se druga razina sastoji od slova i brojeva te označava vrstu jedinice tj. komponente održavanja uz njen redni broj ponavljanja u istom objektu. Alias može imati i treću razinu ako se radi o većoj opremi koja u samoj sebi sadrži najmanju jedinicu održavanja. Treća razina se također označava prema već navedenom pravilu za jedinicu održavanja, a to znači da se označava slovima koji naznačuju o kojoj vrsti opreme je riječ te rednim brojem ponavljanja iste te jedinice održavanja u većoj cjelini. Treba napomenuti da su razine u aliasu odvojene crticom radi lakšeg pregleda i uočavanja hijerarhije.

Što se tiče označavanja jedinica održavanja u objektima, kao što su oprema u crpnim stanicama Krbavica i Kraljevac, vodospremi Klanac i vodotoranju Udbina, alias opreme počinje upravo tim nazivima samih objekata pri čemu se koriste kratice:

- CS = crpna stanica
- VS = vodosprema

dok vodotoranj ostaje cijela riječ. Druga i treća razina označavanja univerzalna su neovisno o tome radi li se o objektima ili oknima. Tako i ovdje vrijedi da druga i treća razina označavaju vrstu jedinice održavanja i njen redni broj ponavljanja u većem sustavu, a primjer označavanja crpnog agregata u CS Krbavica prikazan je na slici 12.



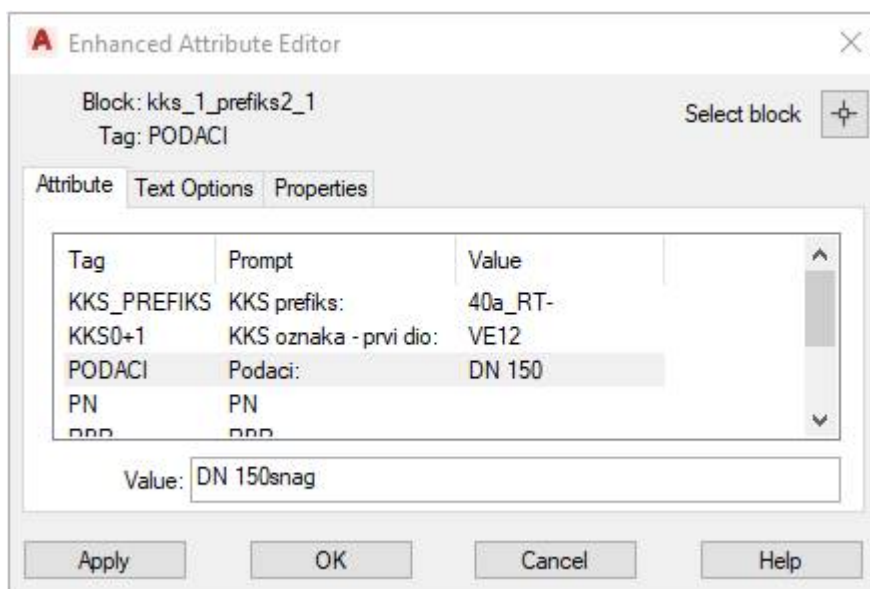
Slika 12. Blok editor aliasa objekta u AutoCAD-u

Što se tiče označavanja jedinica održavanja u oknima, prva razina u aliasu označava o kojem se oknu radi. Ta oznaka sastoji se od rednog broja okna koji se odbrojavaju od početka

vodovodne mreže nizvodno do krajnje točke pri čemu svako grananje magistralnog cjevovoda kreće iz nule uz početno slovo koje naznačuje kroz koje mjesto geografski taj dio cjevovoda prolazi. Uz naznaku o kojem oknu se radi, prva razina aliasa sadrži i oznaku o kojoj vrsti okna se radi tj. njegovu primarnu funkciju. Za funkciju postoje tri moguće oznake, a one su:

- MI = muljni ispust
- ZV = zračni ventil
- RT = stanica za regulaciju tlaka.

Druga i eventualna treća razina aliasa označavaju se po istoj logici kao i za jedinice u objektima. Primjer označavanja ventila pod rednim brojem ponavljanja dvanaest u oknu regulacije tlaka pod rednim brojem četrdeset prikazan je na slici 13. Na slici se može uočiti još jedan detalj, a to je polje podaci unutar aliasa u kojima se upisuje nazivni promjer pripadajućeg cjevovoda.



Slika 13. Blok editor aliasa objekta u oknu u AutoCAD-u

Osim objekata i njihove pripadajuće opreme, posebna klasa su oznake cjevovoda. Oni se također sastoje u prvoj razini od naznake lokacije u kojem objektu se nalaze, otkuda dolaze ili kamo idu. U drugoj razini označena je vrsta cjevovoda, a on može biti prema kraticama:

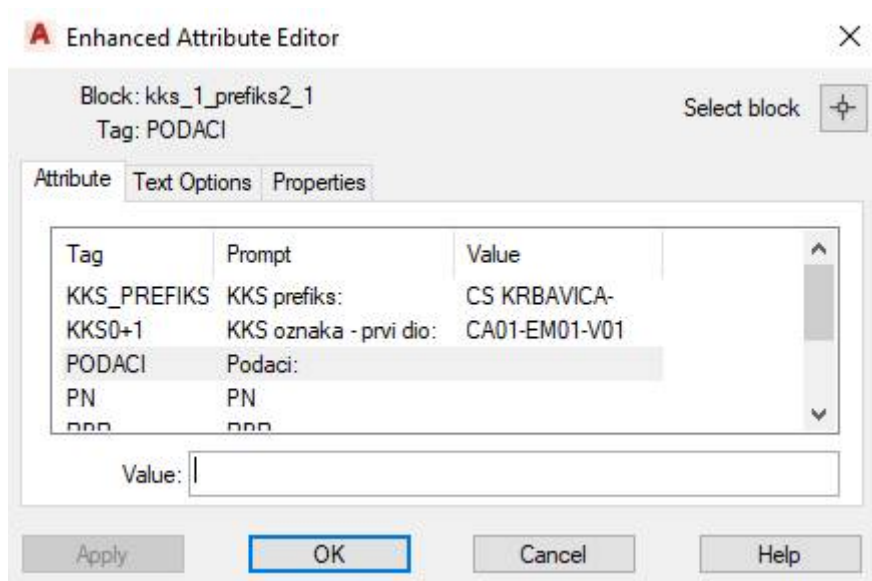
- MC = magistralni cjevovod
- DC = distributivni cjevovod
- CJ = opskrbni/ tlačno gravitacijski/ usisni/ muljnog ispusta.

Osim oznake vrste cjevovoda, druga razina sastoji se od, po istoj logici kao i kod prethodnih aliasa, rednog broja pojavljivanja u smjeru toka vode.

Posljednja veća skupina opreme su novo ugrađeni različiti senzori na cjevovodima i u crpnim stanicama odnosno definiranje njihovih signala. Vrsta opreme tj. senzora označava se u drugoj razini po navedenom pristupu te se u treću razinu navodi oznaka prirode signala koji se prati. Alias signala je vrlo bitan zbog toga što je i sam cilj projekta upravo održavanje prema trenutnim podacima stoga su jedinstvene oznake signala potrebne kako bi se ti podaci mogli prikupljati i povezivati na smislen način. Drugim riječima, putem aliasa povezuju se izlazni podaci sa senzora s podacima u informacijskom sustavu. Postoji nekoliko vrsta signala koji se prate, a oznake najčešćih od njih i značenje navedeni su u nastavku.

- G = greška
- R = rad
- S = struja/status
- V = vibracije
- PR = provala
- F = frekvencija
- PV = prodor vode

Na slici 14. vidimo primjer označavanja signala vibracija crpnog agregata, jednog od ključnih podataka koji se prikuplja za ostvarenje ovoga projekta i praćenje vibro dijagnostike rotirajuće opreme. Alias tog signala sastoji se od oznake lokacije u prvoj razini tj. prefiksa CS KRBAVICA što znači da se oprema tamo nalazi. U drugoj razini navedena je vrsta opreme, a to je crpni agregat. Zatim slijedi treća razina jedinice održavanja unutar crpnog agregata, a to je njezin elektromotor te u konačnici signal mjerenja vibracija istog tog motora. Dakle ovaj alias označava mjerenje vibracija elektromotora crpnog agregata broj jedan u crpnoj stanici Krbavica.



Slika 14. Blok editor aliasa signala objekata u AutoCAD-u

Od iznimne je važnosti vrlo dobro razraditi sustav nomenklature za identifikaciju jedinica održavanja jer je upravo ovaj segment ključni temelj i preduvjet za dobro konstruiranu bazu podataka, a samim time i kvalitetan i „*user friendly*“ informacijski sustav.

4.2.3 Digitalizacija tehničke dokumentacije

Jedna od ključnih aktivnosti svakog poduzeća koja kreće digitalizirati svoje procese je upravljanje dokumentima. Dokumenti mogu biti raznih vrsta, ovisno čime se poduzeće bavi, no svima je zajedničko da dokumenti postoje, moraju se skladištiti i ažurirati. Klasično upravljanje dokumentacijom ne ide rame uz rame s modernim trendovima i težnjom za agilnošću poduzeća. Iz tog razloga, tvrtke trebaju posegnuti za rješenjima koja im omogućuju moderno pohranjivanje i arhiviranje dokumentacije. Samim time otvaraju se mogućnosti digitalizacije poslovnih procesa, automatizacije rada, donošenje odluka temeljenih na podacima, povećane fleksibilnosti i osiguravanja dostupnosti podataka. Također, s ekološkog stajališta pozitivan utjecaj digitalizacije dokumentacije je smanjena potrošnja papira, pogotovo u današnje vrijeme kada količina dostupnih i potrebnih informacija raste te postoji puno potrebnih dokumenata. Digitalna dokumentacija omogućuje i pristup potrebnim informacijama putem mreže u bilo koje vrijeme i na bilo kojem mjestu. Dakle, bili zaposlenici unutar poduzeća, na poslovnom putu ili je potrebno reagirati van radnog vremena zbog hitne situacije, pravovremena reakcija uvijek je moguća dok to nije slučaj s papirnatom dokumentacijom. Tehnička dokumentacija podrazumijeva podršku korisnicima u radu s određenim proizvodom ili sustavom koji čini proizvodni pogon. Ona može biti u različitim oblicima, a služi za shvaćanje funkcionalnih, izvedbenih ili uporabnih svojstava. Može sadržavati skice i sheme objekata za vizualizaciju i






tehničke specifikacije bitne za rukovanje određenim proizvodom odnosno opremom. Sama dokumentacija sadrži vrijednost u informacijama koje pruža korisniku. [32]

Tehnička dokumentacija u ovom slučaju sastoji se od CAD (eng. *Computer-aided design*) dvodimenzionalnih crteža objekata vodovodne mreže s ucrtanom opremom te signalima koji se s određene opreme emitiraju. CAD crteži odnose se na izradu shema objekata s pomoću računalnog softvera koji omogućuje veću kvalitetu i bolju vizualizaciju od tradicionalnog crtanja. Osim što su se sheme ažurirale prema realnom stanju, prebacile su se u digitalni oblik koji pruža jednostavan i brz pregled potrebnih dijelova poduzeća. Dvodimenzionalne sheme izrađene su u CAD programu AutoCAD koji se često koristi u različitim industrijama. Crteži su napravljeni prema pravilima tehničkog crtanja sa sustavom označavanja prilagođenom vodoopskrbnom sustavu. U pravilu su napravljeni P&ID dijagrami (eng. *Piping and instrumentation diagram*) i blok sheme tehničko-tehnološkog sustava s ucrtanim MRU (Mjerenje, regulacija i upravljanje) sustavom, hidraulička shema mreže i jednopolne sheme s područja elektrotehnike. Sveukupno je napravljeno sto trideset i osam ACAD (eng. *AutoCAD*) shema.

Izrada ove dokumentacije pratila je fotografije objekata i opreme načinjene u terenskim obilascima grupiranih u zasebne foldere. Slike su napravljene tako da je vidljiva sva oprema, njen raspored i položaj u prostoru. Formati crteža koji se koriste standardizirani su prema ISO 5457 s potrebom eventualnog produživanja. Standardni simboli odnosno blokovi izrađeni su prema strukovnim normama te se ubacuju po potrebi. Njihove oznake koje su opisane u prošlom poglavlju, na crtež se ubacuju kao atribut bloka što kasnije daje mogućnost automatskog prebacivanja oznaka u tekstualnu datoteku te u konačnici u bazu podataka. Osim samih linija u funkciji cjevovoda i simbola opreme, na sheme su priložene i obične 2D fotografije okna radi bolje vizualizacije i osjećaja za prostor. Sve sheme sadrže i legende simbola i cjevovoda gdje je pojašnjeno o kakvoj se opremi radi.











S obzirom na to da se radi o sustavima cjevovoda, potrebno ih je na shemama razlikovati po namjeni, dakle ne samo prema nazivu već i vizualnim efektom u vidu različitih boja tj. „*layera*“ u AutoCAD-u. Cjevovodi su većinom označeni običnim linijama dok je tlačno-gravitacijski cjevovod crtan multinijom. U tablici 2. prikazan je princip crtanja linija koji je primijenjen.

Tablica 2. Vrste linija u ACAD shemama

LINJA	NAMJENA
	Usisni cjevovod
	Tlačni cjevovod
	Muljni ispust
	Opskrbni cjevovod
	Tlačno/gravitacijski cjevovod
	Gravitacijski cjevovod

Uz linije različitih boja kojima razlikujemo vrste cjevovoda, na shemama su korišteni i različiti simboli za prepoznavanje opreme. Njihov izgled je također određen prema postojećim standardiziranim predlošcima, a njihovi aliasi određeni su prema već prethodno spomenutim pravilima nomenklature. U tablici 3. prikazana je većina strojarskih simbola koji su najzastupljeniji na shemama s pripadajućim oznakama.

Tablica 3. Vrste simbola u ACAD shemama

Redni broj Naziv simbola	Simbol	Oznaka	Redni broj Naziv simbola	Simbol	Oznaka
1.		VE	2.		VE
Ventil			Zasun		
3.		CA	4.		MP
Crpni agregat			Mjerač protoka		
5.		MT	6.		CL
Mjerač tlaka			Mjerač razine		
7.		FT	8.		MT
Hvatač nečistoća			Manometar		
9.		UK	10.		VS
Usisna košara			Ventil sigurnosni		

11.		VE	12.		KP
Ventil leptirasti s EM pogonom			Kompenzacijska posuda		
13.		KM	14.		MN
Kompresor			Mjerač nivoa		
15.		VE	16.		VE
Nepovratna zaklopka			Odzračni ventil		
17.		VE	18.		VE
Ventil regulacijski			Slavina		

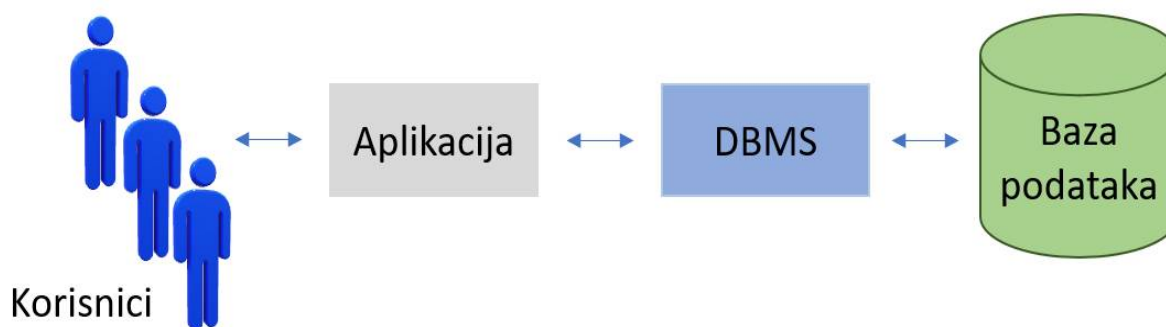
Osim ACAD shema, koje su dvodimenzionalne, izrađene su i trodimenzionalne sheme tzv. 3D virtualne šetnje. One su načinjene od spajanja nekoliko 360 fotografija koje se nadopunjavaju tako da se nadovezuju jedna na drugu vodeći računa o tome da se kroz prostor prolazi tako da se jasno vidi svaka jedinica održavanja. Virtualne šetnje prikazuju prostore crpnih stanica, vodotornja i vodospreme kao i njihove opreme, ali i svako okno kako izvana tako i iznutra. Cilj je vizualizirati prostor, dobiti bolji dojam o razmještaju, veličini opreme i gabaritima prostorija. S obzirom na to da su okna može se reći teško dostupna i prolazak kroz cijelu vodoopskrbnu mrežu logistički izazovan, ovim virtualnim prikazom prostora može se izbjeći nepotreban obilazak bilo zbog pripreme nekih intervencija ili zbog sličnih aktivnosti. Virtualne šetnje implementirane su u sam informacijski sustav te s ACAD shemama čine odličnu kombinaciju digitalne tehničke dokumentacije koja služi svrsi.

4.2.4 Razvoj baza podataka

Važnost baze podataka (eng. *Database*) i benefiti koje tako skladišteni podaci donose u poslovanju rastu iz dana u dan, kao i prihvaćanje i primjena takvog koncepta od strane raznih poduzeća u svim vrstama djelatnosti. Baze podataka predstavljaju srce operativnih aplikacija i aplikacija za podršku pri odlučivanju na razini cijele organizacije. Baza podataka koristi se za pomoć pri praćenju raznih stvari, procesa, uspjeha i aktivnosti. Nestrukturirano praćenje podataka zastarjelim tehnologijama, podataka koji su potencijalno od iznimne vrijednosti, može

dovesti do nedosljednosti istih te u konačnici razmišljanja u krivom smjeru i problema u poslovanju. Ovim principom se problem nestrukturiranih lista velikih količina podataka razbija u skup od više posebnih tablica koje su ključne komponente baze podataka tvoreći relacijsku bazu podataka (eng. *Relation Database*). Metodologija relacijskih baza podataka leži u razdvajanju liste podataka s različitim vrstama podataka u zasebne tablice, od kojih svaka od njih sadržava jednu skupinu podataka, kako se bi se pri operacijama unosa, ažuriranja ili brisanja osigurala sigurnost postojećih podataka od neželjenih gubitaka ili promjena. [33]

Sustav baze podataka sastoji se od četiri osnovne komponente. Zaokruženu cjelinu čine krajnji korisnici, aplikacija nad bazom podataka (eng. *Data Application*), sustav za upravljanje bazom podataka (eng. *DBMS-Database Management System*) te sama baza podataka (eng. *Database*). Vizualni prikaz istoga nalazi se na slici 15.



Slika 15. Struktura baze podataka [33]

Baza podataka predstavlja skup povezanih tablica i drugih struktura. Sustav za upravljanje bazom podataka predstavlja računalni program koji se koristi za stvaranje, obradu i administriranje baze podataka, dok aplikacija predstavlja računalni program koji je spona odnosno posrednik između aplikacije i DBMS-a. Kako se baza podataka sastoji od više tablica, postavlja se pitanje potrebe pregleda objedinjenih podataka. Naravno, takve opcije su moguće i to uz pomoć SQL (eng. *Structured Query Language*) jezika. SQL predstavlja međunarodni standard i vodeću tehniku za definiranje i manipulaciju podataka. Koristeći taj jezik moguće je rekonstruirati razne popise s potrebnim podacima iz temeljnih tablica uz mogućnost primjene specifičnih uvjeta. Sustav za upravljanje bazom podataka prima zahtjeve kodirane u SQL-u i transformira iste u akcije u bazi podataka. S druge strane, aplikacijski programi čitaju ili modificiraju podatke šaljući SQL naredbe DBMS-u. U konačnici, krajnji korisnici putem aplikacije pokreću razne obrasce za čitanje, unos, brisanje i upite vezane za podatke. [33]

Baza matičnih podataka objekata vodoopskrbnog sustava izrađena je u programu MC Accessu. Microsoft Access je program čija je svrha stvaranje i upravljanje relacijskim bazama

kada kompleksnost sustava podataka preraste klasične Excelove liste. Baza je napravljena od nekoliko tablica te SQL upita kojima su se vršile promjene ili popunjavali određeni globalni podaci. Za početak potrebno je bilo odrediti metapodatke o objektima koje baza mora sadržavati. Metapodaci su sadržani u nazivima i svojstvima stupaca te općenito čine strukturu baze podataka. U ovom slučaju napravljena je baza podataka s matični podacima o objektima održavanja, od sustava do najmanje jedinice. Neki od podataka povlačili su se s 2D ACAD shema, dok su se ostali popunjavali ručno ili s pomoću SQL upita. Struktura tablice objekata izrađene u MC Accessu prikazana je na slici 16.

Naziv polja	Vrsta podataka
KOORDINATE	Dugi tekst
OBJ00090	Kratki tekst
OBJ00080	Kratki tekst
ALIAS	Kratki tekst
POSITION	Kratki tekst
NADREDJENI_KKS	Kratki tekst
CLASS	Kratki tekst
CLS_DESC	Kratki tekst
Description	Kratki tekst
OBJ_PARENT	Kratki tekst
Assigned To	Kratki tekst
ODG_OSOBA	Kratki tekst
Commision Date	Datum/vrijeme
User Defined Field 01	Kratki tekst
User Defined Field 02	Kratki tekst
User Defined Field 03	Kratki tekst
User Defined Field 04	Kratki tekst
Status	Kratki tekst
Type	Kratki tekst
Organization	Kratki tekst
Department	Kratki tekst
Position Cost Rollup	Kratki tekst
Class Org	Kratki tekst

Slika 16. Struktura tablice objekata održavanja

Iz slike se mogu iščitati podaci koji su korišteni za detaljno definiranje svakog objekta, a to su nazivi polja odnosno imena stupaca u samoj tablici. Također, u koloni vrsta podataka definiran je tip samog polja odnosno vrsta zapisa pri čemu su korišteni dugi tekst i kratki tekst koji su ograničeni na potreban broj znakova te postoji jedno datumsko polje koje označava datum ulaska zapisa u sustav. Svi uneseni podaci potrebni su za ispunjavanje potreba klijenata koji u konačnici koriste sustav. Od bitnijih polja valja izdvojiti alias, polje koje je već objašnjeno kod nomenklature i jedinstveno je za svaki objekt, a uz njega je i pozicija koja predstavlja jedinstvenu šifru u kombinaciji od šest brojeva. Zbog hijerarhije unutar sustava, svakoj jedinici

nadređeni je objekt višeg stupnja. Objekti su opisani i putem različitih klasa u koje se grupiraju više srodnih te svaki od njih ima nadređenu osobu koja o tom objektu brine i preko koje se povezuju radni nalozi, planovi održavanja i druge potrebne aktivnosti kroz aplikativni dio sustava. Pojedinačni opisi svakog objekta uneseni su ručno tako da opis započinje karakterističnom riječi vrste objekta te se nadalje kroz tekst pokušava što detaljnije karakterizirati jedinku.

Detaljan prikaz načina opisivanja objekata i njihova hijerarhija prikazani su na slici 17. Najviši stupanj u hijerarhiji ima sami vodovod koji je klasificiran kao sustav te su njemu podređeni svi ostali objekti, okna i manje jedinice održavanja. Okno je pak nadređeno armaturi koja se u njemu nalazi te pripadajućem solarnom panelu koji je nadalje nadređen opremi koju on sadrži. Ista logika primijenjena je na cijeli sustav. Opisi objekata kao što je navedeno započinju karakterističnom riječju za lakše pretraživanje te određenom specifikacijom u nastavku. Ovi podaci samo su dio baze matičnih podataka i uzeti su kao izvadak iz Priloga II. u kojemu je prikaza cijela struktura baze s pokaznim primjerima.

Objekt (hijerarhija)	Opis objekta
VODOVOD KRBAVICA-UDBINA	VODOVOD Krbavica-Udbina
40_MI	OKNO 40 muljnog ispusta u oknu odvojka za Podlapaču-Jagodnje
40_MI-VE01	ZASUN na magistralnom cjevovodu u oknu 40_MI
40_MI-VE02	ZASUN muljnog ispusta u oknu 40_MI
40a_RT	OKNO 40a_RT-okno regulacije tlaka i odvojak za Podlapaču-Jagodnje
40a_RT-AB01	BATERIJA akumulatorska u oknu 40a_RT
40a_RT-FN01	PANELI solarni okna 40a_RT
40a_RT-FN01-KR01	TAMPER - otuđenje fotonaponskih panela

Slika 17. Hijerarhija objekata

Izuzev klasičnih matičnih podataka, u ovoj bazi postoji još jedna bitna tablica koja služi za točno pozicioniranje svih objekata u prostoru. Na slici 18. prikazana je struktura tablice za koordinate objekata.

Naziv polja	Vrsta podataka
ID	Kratki tekst
PATH	Kratki tekst
LEN	Broj
AZIMUTH	Broj
LON	Broj
LAT	Broj
ALT	Broj
OBJEKT	Kratki tekst
OBJEKT_NOVO	Kratki tekst

Slika 18. Struktura tablice koordinata objekata

Ova tablica sadržava podatke o kojem oknu se radi, podatke o geografskoj dužini, širini i nadmorskoj visini lokacije objekta koja se veže na putanju spremljenih fotografija koje su ubiti izvor GPS (eng. *Global Positioning System*) koordinata s terena. Tablica je bitna zbog inovativne opcije prikazivanja geolokacije unutar informacijskog sustava koje će detaljnije biti prikazano u nastavku rada. Detaljniji prikaz samih podataka bitnih za bazu koordinata prikazan je na slici 19. gdje vidimo da uz pripadajući objekt i njegov opis stoje upisane koordinate trodimenzionalnog Kartezijevog koordinatnog sustava u prostoru koje odgovaraju geografskoj širini, dužini i visini objekta u realnom prostoru. Slika predstavlja dio podataka koji su izvadak iz Priloga III u kojem je prikazan veći broj podataka iz kojih je vidljivo da je na isti način evidentiran svaki element.

Objekt	Opis objekta	X koordini	Y koordi	Z koc
VODOVOD KRBAVICA-UDBINA	VODOVOD Krbavica-Udbina	44.53141	15.76794	865.15
VODOTORANJ	VODOTORANJ Udbina	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ_O1	OKNO 1-ulaz u vodotoranj	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ_O1-MP01	MJERAČ protoka-ulaz u vodotoranj u ulaznom oknu	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ_O1-MP01-G01	GREŠKA mjerila protoka na dovodu	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ_O1-MT01	MJERAČ tlaka na dovodu	44.530869	15.771539	849.7

Slika 19. Podaci o koordinatama objekata

4.3 II. Faza digitalizacije

Druga faza digitalizacije nastupa nakon odrađene pripreme i kada se raspoložuje sa svim dobro strukturiranim podacima koji omogućuju ispunjavanje korisnikovih želja i potreba. Nakon obavljenih koraka prve faze, sve izrađeno, prikupljeno i dostupno potrebno je

implementirati informacijski sustav, educirati korisnike i u konačnici pružati korisničku podršku i usluge održavanja sustava.

4.3.1 Implementacija baze u informacijski sustav

Spomenuta baza matičnih podataka i koordinata objekata izrađena je u MC Accessu kako bi se izbjegao ručni unos inicijalnih podataka kroz informacijski sustav. Hexagon EAM informacijski sustav u svom paketu već sadrži bazu podataka. Ta baza podataka sadrži predefinirane tablice pripremljene i osmišljene za upravljanje podacima s obzirom na funkcionalnosti koje sustav nudi. Za razliku od vlastite kreirane baze, baza podataka koju koristi Hexagon EAM, napravljena je u softverskom programu Oracle. Putem posebnog programa za učitavanje podataka u paketu informacijskog sustava, izrađena baza podiže se u sustav. Baza se podiže tako da se povezuju kolone izrađene baze s kolonama predefiniranih tablica čija svojstva polja međusobno moraju odgovarati. Kada je taj postupak odrađen, u informacijskom sustavu učitani su svi prethodno upisani podaci te su dostupni korisnicima. Tablicama informacijskog sustava upravlja se s pomoću SQL jezika i odgovarajućih upita ovisno o tome kakva radnja se želi učiniti. Također, podaci iz različitih tablica mogu se s pomoću ključeva međusobno spajati prikazujući točno one podatke koji su potrebni, tvoreći tako razne izvještaje ili dodatne personalizirane mogućnosti za korisnike.

4.3.2 Izrada planova preventivnog održavanja

Kako je glavni cilj informacijskog sustava upravljanje imovinom, time se u velikoj mjeri podrazumijevaju aktivnosti održavanja same opreme i objekata. Ideja je kroz informacijski sustav pratiti potrebne nenadane ili planirane aktivnosti čije povratne informacije služe za optimalno vođenje poslovnih procesa. Inovativnost ovoga projekta leži u prediktivnom održavanju koje se temelji na povratnim signalima opreme s terena koje zbirno i kroz određeno vrijeme daju relevantne informacije o procesnim aktivnostima, no o tome detaljnije u nastavku rada. Za početak, i postavljanje sustava na noge, potrebno je unaprijed napraviti plan održavanja. Drugim riječima, potrebno je izraditi plan preventivnog održavanja koje spada upravo u planirano održavanje ili održavanje temeljeno na vremenu. Ono se odnosi na periodičko obavljanje aktivnosti prateći planirani raspored koji može biti konstruiran prema iskustvu, uputama proizvođača ili zakonskim regulativama. Time se kvarovi izbjegavaju intervencijama prije destrukcije pa nema neželjenih posljedica iako se provođenje ovakvih mjera nekada obnaša i kada nije nužno što dovodi do povećanja operativnih troškova. [32]

Strukturirano planiranje potrebno je kako bi se pronašao balans između potrebnog održavanja i što manjeg operativnog troška. Naravno, ono neizbježno obuhvaća održavanje prema zakonskim regulativama, no optimizacije su moguće po pitanju preventivnog održavanja koje se određuje prema naputcima, iskustvima ili prediktivnim metodama. Tijekom snimanja postojećih poslovnih procesa, kritički je razmotren način izvođenja aktivnosti koji je potom redefiniran i prilagođen novom sustavu upravljanja. Temeljni kriteriji za definiranje opsega, frekvencija i prioriteta održavanja proizašli su iz ispunjenja zakonskih i ekoloških obveza, strukovnih normi te utjecaja i kritičnosti pojedinog objekta. One aktivnosti koje nisu zakonom propisane moraju imati ekonomsku opravdanost imajući u vidu trošak resursa za provedbu aktivnosti u usporedbi s troškovima koje bi izazvao kvar ili slična neželjena situacija. Dakle, planovi održavanja dijele se na zakonske i preventivne s točno definiranim periodikama izvođenja. Aktivnosti se mogu izvoditi svakih nekoliko mjeseci ili godina te dolaze uz točne upute. Svaki plan održavanja ima svoje radne upute koje se vežu na objekte održavanja. Za vodoopskrbni sustav Krbavica-Udbina izradilo se ukupno 24 zadataka održavanja s pripadajućim uputama. Oni su se u informacijski sustav implementirali ručnim unosom putem namijenjenih formi u kojima se, osim navedenog, upisuju i drugi podaci bitni za povezivanje planova s ostalim funkcijama koje sustav nudi. Na slici 20. prikazan je primjer plana održavanja i način pripreme podataka za bazu preventivnog održavanja. Radi se o preventivnom redovnom održavanju mjerno regulacijske opreme koje se mora izvršavati svaka tri mjeseca na označenom objektu, u ovom slučaju na oknu regulacije tlaka kod odvojka za Podlapaču i Jagodnje. Plan sadrži dvije globalne upute za općeniti vizualni pregled i točnost mjerenja te pregled senzora i ostalih elemenata u strujnoj petlji.

Plan PO	Opis plana PO	Izvršiti svakit	Periodika	Objekt	Opis objekta	Uputa
10001	Redovno održavanje mjerno-regulacijske opreme	3	M	40a_RT	OKNO 40a_RT-okno regulacije tlaka i odvojak za Podlapaču-Jagodnje	1.) Općenito - Kontrola točnosti mjerenih podataka i signalizacija - Vizualni pregled cjelokupne opreme(objekti odvodnje uz asistenciju djelatnika održavanja objekata) 2.) Senzori i ostali elementi u strujnoj petlji - Mjerni strujni pretvarač: mjerenje napajanja, primarnog i sekundarnog djela strujne petlje - Linijska zaštita: mjerenje strujne petlje na ulazu i izlazu - Upravljački instrumenti: testiranje relejnih/strujnih izlaza - Provjera usklađenosti mjernih opsega(senzor-pokazni/upravljački instrument-aplikacija SCADA) (objekti odvodnje uz asistenciju djelatnika održavanja objekata)

Slika 20. Priprema planova održavanja za bazu podataka

4.3.3 Završne aktivnosti

Nakon što su ključne informacije implementirane u informacijski sustav, potrebno je odraditi još neke važnije završne zadatke. Zaposlenici koji će se koristiti sustav u svom poslovanju moraju biti upućeni u značajke koje on nudi, a posebno one koje će pojedini koristiti u svojoj svakodnevici. Iz toga razloga, vrši se organizirana edukacija osoblja pri kojoj su zaposlenici detaljno upoznati s web aplikacijom i njezinom logikom. Osim edukacije, za klijente se izradio i korisnički priručnik koji služi kao potpora u poslovnim aktivnostima, a ako dođe do većih poteškoća, nekih pogrešnih radnji koje trebaju ispravak, općenito potrebe za pomoći ili unaprjeđenje sustava izradom novih formi koje nude personalizirane mogućnosti, pruža se usluga korisničke podrške. Dakle, implementacija informacijskog sustava ne završava uspostavom sustava u radno stanje već iziskuje kontinuiranu podršku i praćenje potreba i trendova radi implementacije unaprjeđenja.

4.4 Podešavanje informacijskog sustava

Svi postojeći i novonastali podaci moraju se implementirati u informacijski sustav čije se značajke podešavaju prema dogovoru s klijentom uzimajući u obzir personalizirane potrebe i želje za određenim funkcionalnostima. Te funkcionalnosti i značajke prikazane su u nastavku.

4.4.1 Opće značajke CMMS sustava HxGN EAM

Kratice u nazivu Hexagon informacijskog sustava EAM (eng. *Enterprise Asset Management*) predstavlja upravljanje imovinom poduzeća. Ono uključuje i objedinjuje upravljanje i održavanje sve fizičke imovine koju neko poduzeće posjeduje tijekom cijelog njezinog životnog ciklusa. Životni ciklus obuhvaća sve stadije od planiranja, nabave, instalacije, izvedbe i održavanja do raspolaganja imovinom. Cilj ovakvog pristupa je maksimizirati vrijednost imovine uz minimiziranje troškova i rizika. Upravljanje imovinom kategoriziralo se kao zasebna djelatnost zbog sve veće složenosti tehničke prirode i širokog raspona industrija i organizacija, što je natjeralo poduzeća da se poslovanje mijenja tako da teži konstantnom strateškom, holističkom i sustavnom poboljšanju. [32]

Šira tema ovoga projekta, samim time i rada, je održavanje koje je važan dio upravljanja imovinom. S obzirom na to da se radi o digitalizaciji poslovnih aktivnosti vezanih za održavanje, bilo je potrebno odabrati određene digitalne alate kojima će se zahtjevi ispuniti. Budući da Ekonerg konzalting ima iskustva s Hexagon EAM sustavom, tj. bivšim Infor EAM sustavom te sam softver ima sve potrebne značajke, to rješenje se prihvatilo i implementiralo u obliku web aplikacije. HxGN EAM spada u najbolju klasu rješenja za praćenje imovine,

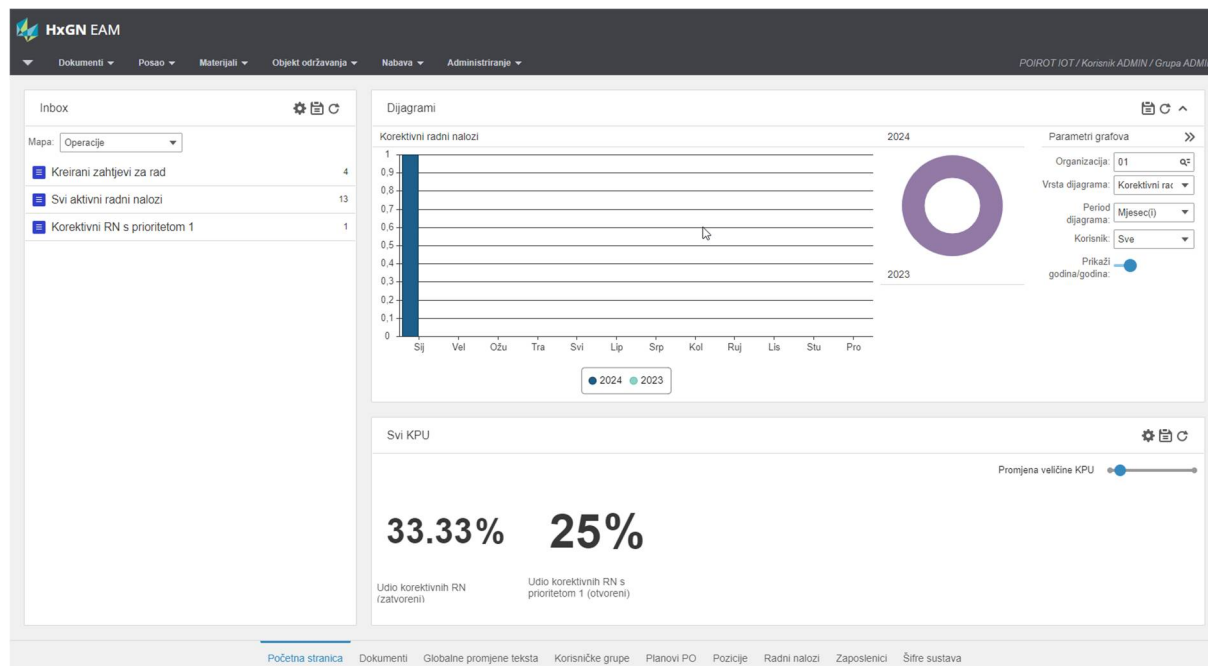
digitalizacije operacija održavanja i omogućava korisnicima u gotovo svakoj industriji da postignu optimalnu operativnu učinkovitost. Sadrži sve potrebne alate za rješavanje kritičnih izazova vezanih za performanse imovine. Predstavlja strateško rješenje za upravljanje imovinom koje pruža informacije koje su i kada potrebne za donošenje boljih odluka čime se povećava sigurnost, trajanje imovine i profitabilnost, a održavanje napreduje s reaktivnog prema prediktivnom. [35]

Sustav spada u rješenja za upravljanje imovinom temeljena na SaaS (eng. *Software as a service*) principu rada. SaaS je naziv za softver kao usluga, a podrazumijeva aplikacije temeljene na oblaku kojima se pristupa internetom koristeći licence od dobavljača. Drugim riječima, to je model distribucije softvera, u kategoriji računalstva u oblaku, u kojem pružatelj usluga u oblaku čini aplikaciju dostupnom krajnjim korisnicima putem Interneta. Organizacije sve više naginju ovakvom pristupu pri nabavi informacijske tehnologije. [36] Za pristup aplikaciji potrebno je učitati web stranicu aplikacije i prijaviti se šifrom i zaporkom korisnika (Slika 21.).



Slika 21. Pristup aplikaciji HxGN EAM

Nakon uspješno obavljene prijave, otvara se početna stranica tj. početno sučelje aplikaciji (Slika 22.). HxGN EAM korisnicima pruža intuitivno i svestrano sučelje za jednostavan pristup informacijama i funkcionalnostima koje ciljano ispunjavaju zahtjeve specifične za korisnika. Prvi je u industriji koji je razvio potpuno web arhitekturni sustav upravljanja imovinom kroz hijerarhijski pristup i preventivno održavanje uz mogućnost implementacije specifičnih zahtjeva svake organizacije. [37]



Slika 22. Glavna forma korisničkog sučelja aplikacije HxGN EAM



Na početnom zaslonu, ono što se prvo primjećuje jest tri zasebna okvira koja sadrže informacijski i vizualni prikaz relevantnih informacija tj. izvještaje o aktivnostima po izboru poduzeća s obzirom na to što je njima najbitnije. Okvir „Inbox“ u kojemu se vodi evidencija o statusima nekih aktivnosti, ukazuje na potrebu za djelovanjem. Oni prikazuju apsolutnu vrijednost i na neki način određenu „TO-DO“ listu tj. raspored aktivnosti za taj dan. Kao što je prikazano na slici trenutno postoji nekoliko aktivnih radnih naloga te nekoliko zahtjeva za radni nalog koji čekaju odobrenje. Vrlo korisna značajka koja skraćuje vrijeme izrade izvještaja pojedinačno ili pretragu kroz module, već je popis odmah dostupan te se kontinuirano ažurira kako bi informacije bile točne i na vrijeme. S desne strane nalaze se dijagrami koji prema izboru vizualno prikazuju željene podatke kroz odabranu periodiku. U konačnici, zadnji okvir prikazuje ključne pokazatelje uspješnosti (eng. KPI- *Key performance indicator*) koji pomažu u definiranju i mjerenju organizacijskih ciljeva tvrtki koje implementiraju sustav upravljanja učinkovitošću putem mjerljivih varijabli. Njihovi rezultati mogu utjecati na ishode poslovnih odluka, rezultata i operativnih performansi kroz uspostavu dugoročnih ciljeva, pravila i ponašanja za postizanje planiranih rezultata. Mjerenje takvih učinaka može se karakterizirati kao sustav s pomoću kojega tvrtka prati svoju rutinu operacija i ocjenjuje postiže li svoje ciljeve. [38]

Osim toga, ovdje se, u zaglavlju, nalaze razni izbornici te oznaka strelice za glavni padajući izbornik. U glavnom padajućem izborniku nude se opcije odjave, podataka o korisničkom računu te opće informacije, dok izbornici dokumenti, posao, materijali, objekt



održavanja, nabava i administriranje u svojim padajućim izbornicima imaju nekoliko modula. Svaki od tih modula sadržava svoju formu koja je ubiti objekt informacijskog sustava koji služi za pregled ili unos podataka u bazu za skladištenje istih. U donjem dijelu grafičkog sučelja nalaze se prečaci za neke od modula, najčešće onih najbitnijih ili najkorištenijih kako bi korisnici imali brzi pristup. Isto tako, pri otvaranju nekog modula, isti se pojavi u donjoj traci kao zadnje otvarani modul koji ostaje zapamćen pri otvaranju nekog drugog kako bi se omogućio povrat kod kojega je i dalje otvoreno zadnje pretraživanje. Traka s modulima osmišljena je kako bi se olakšalo kretanje kroz sustav te uštedjelo vrijeme na traženju, otvaranju i pregledavanju više modula.

4.4.2 Standardne funkcionalnosti

Postoje dva klasična simbola u desnom kutu forme:

-  Spremi u tablicu Excel. Podaci se mogu spremiti kao radna tablica Excela.
-  Spremi razmještaj. Mogućnost promjene redoslijeda stupaca-aplikacija sprema novi razmještaj.














Neke forme sadrže razna polja za unos podataka, a razlikuje se nekoliko tipova polja za unos vrijednosti navedena u nastavku.




- **Polje s crvenom zvjezdicom *** – Ključno polje koje se obavezno mora ispuniti, u protivnom se ne mogu unijeti neki ostali podaci i u konačnici se ne može se spremiti zapis.
- **Polje s plavom točkicom ●** – Polje u funkciji hiperlinka za unesenu vrijednost daje mogućnost uvida u detalje unesene vrijednosti u novom prozoru dvostrukim klikom na nju.
- **Polje s trokutićem ▼** – Padajući izbornik s ponuđenim prethodno definiranim vrijednostima od kojih se odabire potrebna.
- **Polje s povećalom ** – Polje za pretraživanje koje nudi pogled na određene vrijednosti za odabir. Klikom na povećalo sustav otvara novi prozor unutar kojega se odabire željena vrijednost koju je moguće pretražiti i filtriranjem.
- **Sivo polje  180** – Pregledno polje koje se popunjava automatski kao reakcija na popunjavanje nekog vezanog polja i ne može se mijenjati.

4.4.3 Funkcionalnosti unutar modula

Unutar svakoga modula otvara se njegova forma, a na pripadajućem zaslonu u zaglavlju nalaze se alatna traka i kartice. U alatnoj traci nude se standardne funkcionalnosti koje su navedene i objašnjene u tablici 4, a svaka od kartica sadrži tablični prikaz podataka vezanih za objekte u modulima.









Tablica 4. Standardne funkcionalnosti unutar modula

Ikona	Funkcija	Kratice
	Prethodni zaslon – Vraća se na prethodni zaslon.	CTRL+LIJEVA STRELICA ILI F11
	Spremi zapis – Sprema aktualni zapis.	CTRL+S ILI F10
	Novi zapis – Unosi novi zapis.	CTRL+N ILI F6
	Izbriši zapis – Briše zapis.	CTRL+D ILI CTRL+F6
	Prethodni zapis – Prikazuje prethodni zapis.	CTRL+GORNJA STRELICA
	Sljedeći zapis – Prikazuje sljedeći zapis.	CTRL+DONJA STRELICA
	Kopiraj zapis – Kopira aktualni zapis. Pogledajte „Kopiranje zapisa“ kasnije u ovom poglavlju.	CTRL+F ILI F4
	Resetiraj formu – Briše promjene na aktualnom zapisu.	CTRL+R
	Ispiši zapis – Ispisuje aktualni zapis.	ALT+P
	Pregled prije ispisa – Prikazuje pregled aktualnog izvješća.	
	Pomoć – Prikazuje online pomoć za aktualnu stranicu.	ALT+H
	EPAK – Otvara link na HxGN alat Education Performance Accelerator Kit (EPAK), aplikaciju koja krajnjem korisniku pomaže u brzom provođenju aktivnosti.	ALT+K
	Dizajner stranice – Prikazuje stranicu u dizajnerskoj formi, samo za sistemske administratore.	ALT+E

Ikona	Funkcija	Kratice
	Proširi lijevo – Otvara detaljan prikaz odabranog zapisa.	
	Podijeli pregled – Otvara kombinirani prikaz, sažetu listu na lijevoj strani sučelja i sažeti prikaz odabranog zapisa na desnoj strani sučelja.	
	Proširi desno – Otvara kompletnu listu svih zapisa.	

Dok neke forme služe za unos podataka, neke postoje u tabličnom obliku spremljenih podataka koji reagiraju na dvostruki klik tako što se u novom prozoru otvaraju detalji o pojedinom zapisu. Takav se tablični prikaz podataka može pretraživati po različitim poljima tj. vrijednostima te postoji opcija filtriranja zapisa. Tipovi filtriranja u tabličnom prikazu navedeni su i objašnjeni u tablici 5.

Tablica 5. Funkcionalnosti za pretraživanje

Ikona	Funkcija
	Sadrži – Prikazuje zapise koji u nekom svojem dijelu sadrže upisano u polje za filtriranje.
	Jednako – Prikazuje zapise koji su potpuno identični upisanom u polje za filtriranje.
	Nije jednako – Prikazuje zapise koji potpuno nisu identični upisanom u polje za filtriranje.
	Ne sadrži – Prikazuje zapise koji u nekom svojem dijelu ne sadrže upisano u polje za filtriranje.
	Je prazno – Prikazuje sve zapise koji su prazni.
	Nije prazno – Prikazuje sve zapise koji nisu prazni.
	Počinja sa – Prikazuje sve zapise koji počinju sa upisanim u polje za filtriranje.
	Završava sa – Prikazuje sve zapise koji završavaju sa upisanim u polje za filtriranje.

4.4.4 Opis modula „Objekt održavanja“

Modul „Objekt održavanja“ predstavlja jedan od glavnih padajućih izbornika koji se nalazi u zaglavlju početne stranice informacijskog sustava. Otvaranjem modula objekta održavanja, aktivira se padajući izbornik s postavkama, izvještajima te pozicijama. U postavkama su dostupni moduli: Odjel, Mjerila i Postava matrice rizika. U modulu odjel moguće je razgraničiti različite organizacije ili odjele kojima pripadaju određeni sektori tj. objekti održavanja. Mjerila se odnose na definiranje graničnih prihvatljivih vrijednosti podataka očitanih putem senzora te njihove pripadajuće jedinice mjere. Postave matrice rizika odnose se na procjenu rizika pojave neželjenog događaja gdje se na temelju dobivenih podataka odvija održavanje temeljeno na pouzdanosti. Dostupna je izrada raznih izvješća prema određenim kriterijima. Moguće je izvući ukupan trošak prema radnim nalogima generiranim za željeni objekt održavanja. Postoji mogućnost ispisa hijerarhijske strukture objekta u smislu odnosa nadređene i podređene pozicije, povijesti objekta koja obuhvaća sve bitne događaje za taj objekt te ispisa objekata prema njihovoj kategorizaciji. Također, moguće je ispisati sažetak troškova radnog naloga prema željenim parametrima te iste ispisati u grafičkom obliku. Ključni modul su pozicije koje ubiti predstavljaju elektroničku bazu podataka o objektima.

4.4.5 Pozicije

Modul pozicije predstavlja elektroničku bazu podataka formiranu prema pravilima i smjernicama opisanim u poglavlju „Sustav za označavanje jedinica održavanja“. Baza podataka ključan je element informacijskog sustava jer iz nje proizlaze ostale funkcionalnosti koje u konačnici služe za praćenje događaja vezanih za jedinice održavanje, od najmanje do najviše u izvedenoj hijerarhijskoj strukturi. Na slici 23. prikazan je izgled baze podataka za pretraživanje u informacijskom sustavu.

Polozija	Alias	Opis	Razred (oznaka)	Lokacija	Podlokacija	X koordinata	Y koordinata	Z koordinata	Odgovorna
100001	VODOVOD KRBAVICA-UDBINA	VODOVOD Krbavica-Udbina	Sustav	Krajevica d.o.o.	-				Dane Poz
100002	CS KRBAVICA	CRPNA stanica Krbavica	Objekt (Unutar ograde)	CS Krbavica	-	44,718878	15,628536	685,5	Dane Poz
100003	CS KRBAVICA_O1	OKNO izlazno iz CS Krbavica	Okno	CS Krbavica	-	44,539508	15,7765	685,5	Dane Poz
100004	CS KRBAVICA_O1-VE01	VENTIL muljnog ispusta u izlaznom oknu CS Krbavica	Armatura (općenito)	CS Krbavica	Izlazno okno iz CS Krbavica	44,539506	15,7765	685,5	Dane Poz
100005	CS KRBAVICA_O1-VE02	POKLOPAC žablj mljnog ispusta CS Krbavica	Armatura nepovratna	CS Krbavica	Izlazno okno iz CS Krbavica	44,539508	15,7765	685,5	Dane Poz
100006	CS KRBAVICA-AB01	BATERIJA akumulatorska u CS Krbavica	Baterija akumulatorska	CS Krbavica	-	44,718878	15,628536	685,5	Dane Poz
100007	CS KRBAVICA-AN01	ANALIZATOR za mjerenje reziduala C12 CS Krbavica	Analizator za mjerenje reziduala C12	CS Krbavica	-	44,718878	15,628536	685,5	Dane Poz
100008	KAPTAŽA KRBAVICA-AN01	ANALIZATOR (zajednički) za mjerenje mutnoće vode CS Krbavica	Analizator za mjerenje mutnoće vode	CS Krbavica	-	44,718878	15,628536	685,5	Dane Poz
100009	CS KRBAVICA-AN02-G01	GREŠKA turbidimetra	Signalizacija	CS Krbavica	-	44,718878	15,628536	685,5	Dane Poz
100010	CS KRBAVICA-CA01	AGREGAT crpni br.1 u CS Krbavica	Crpka	CS Krbavica	-	44,718878	15,628536	685,5	Dane Poz
100011	CS KRBAVICA-CA01-EM01	ELEKTROMOTOR crpnog agregata br.1 u CS Krbavica	Elektromotor	CS Krbavica	-	44,718878	15,628536	685,5	Dane Poz
100012	CS KRBAVICA-CA01-EM01-F01	FREKVENCIJA radna CA-1	Signalizacija	CS Krbavica	-	44,718878	15,628536	685,5	Dane Poz
100013	CS KRBAVICA-CA01-EM01-G01	GREŠKA CA-1	Signalizacija	CS Krbavica	-	44,718878	15,628536	685,5	Dane Poz
100014	CS KRBAVICA-CA01-EM01-H01	BROJ radnih sati CA-1	Radni sati	CS Krbavica	-	44,718878	15,628536	685,5	Dane Poz
100015	CS KRBAVICA-CA01-EM01-R01	RAD CA-1	Signalizacija	CS Krbavica	-	44,718878	15,628536	685,5	Dane Poz

Slika 23. Baza podataka u informacijskom sustavu

Iz priloženog se može primijetiti da je baza hijerarhijski ustrojena pri čemu je na vrhu cijeli sustav, a prema dnu se objekti raščlanjuju sve do fizički najmanje jedinice. Baza podataka može se pretraživati prema svim poljima, a vidljivo je da svaka jedinica ima dodijeljenu jedinstvenu poziciju i jedinstveni alias. Uz to, pozicije imaju dodijeljen opis koji pobliže opisuje svaki objekt te su svrstane u određene razrede prema klasi, odnosno vrsti same jedinice, koju je također moguće filtrirati ako se žele vidjeti npr. svi crpni agregati. Odabirom konkretnog zapisa otvara se modul pojedinog objekta održavanja, u podijeljenom prozoru, s pripadajućim formama (Slika 24.)

HxGN EAM

Dokumenti Posao Materijali Objekt održavanja Nabava Administriranje POIROT IOT / Korisnik ADMIN / Grupa ADMIN

Polozija 100010 AGREGAT crpni br.1 u CS Krbavica

Pretraži u Sve pozicije*

Jedan zapis | Komentar | Događaji | Troškovi | Planovi PO | Struktura | Dokumenti | Detalji strukture | Graf | Mjerenja | Više

Polozija: 100010 | AGREGAT crpni br.1 u CS Krbavica | Organizacija: 01 | Status: Instalirano

Odjet: 10

Detalji objekta održavanja

Alias: CS KRBAVICA-CA01 | Datum unosa: 16-03-2023 | Prilagođena polja

Razred: 000100 | Odgovorna osoba: 78860847240 | Visina dizanja: 100(91)-42m

Lokacija: CS Krbavica | Odgovorna osoba: Dane Poznanović | Stupanj iskoristivosti:

Podlokacija: - | Datum prodaje/otpisa: | God proizvodnje/izgradnje:

Van upotrebe: | Snaga: 18,5KW

Detalji praćenja

Proizvođač: 100012 | Donja granica mjerila: | Broj okretaja: 2850min-1

Serijski broj: G3NGD1SF1/3360000304 | Gornja granica mjerila: | Tvornički broj:

Model: EVMG 64 4-3F5 | Protok: 500-1400/min

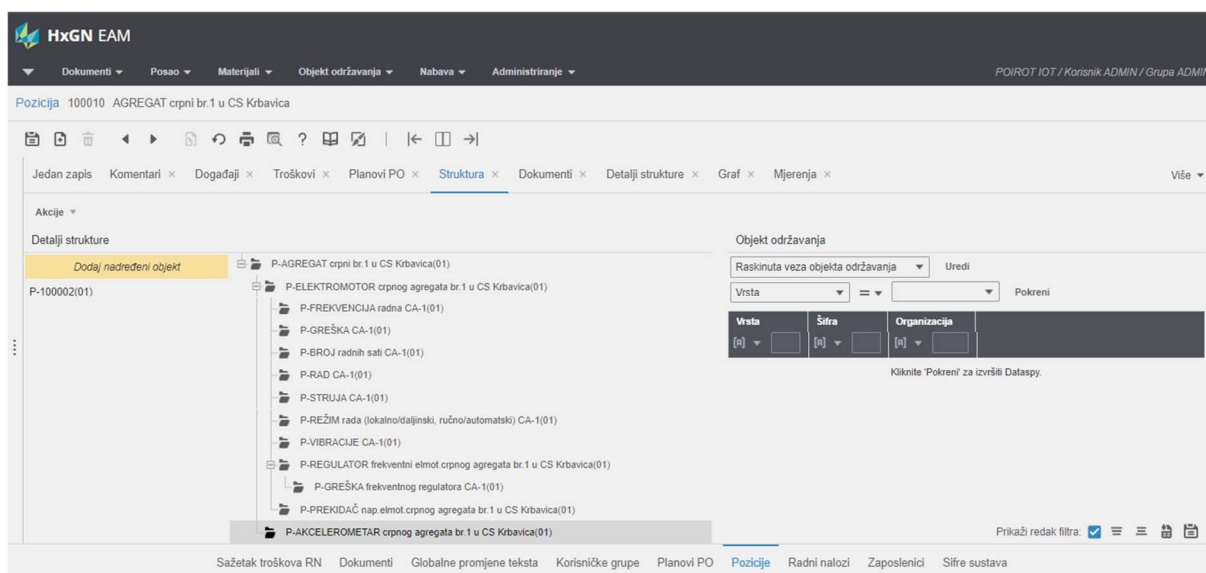
Nazivni tlak:

Sažetak troškova RN | Dokumenti | Globalne promjene teksta | Korisničke grupe | Planovi PO | Pozicije | Radni nalazi | Zaposlenici | Sifre sustava

Slika 24. Prikaz modula pozicije crpnog agregata u CS Krbavica

Odabirom pojedinog objekta otvara se forma jedan zapis koji pruža osnovne informacije o konkretnom objektu. Također, mogu se iščitati i tehničke specifikacije elementa te postoje

dva gumba koja direktno s pozicije otvaraju nove prozore, a to su linkovi na Google Maps te na sheme na kojima se taj objekt zbilja nalazi. Osim što ova forma pruža informacije, tekstualna polja služe i za izmjenu ili unos novih podataka te unos i potpuno novog objekta ako se odabere opcija dodavanja novog zapisa. Ostale forme služe za pregled svih događaja vezanih za objekt, svih troškova, popisa planova održavanja na kojima se on nalazi, vezane dokumente koji mogu biti u obliku priručnika, specifikacija, fotografija i slično. Svi ti podaci vrlo su bitni za kontinuirano praćenje aktivnosti vezane za objekt od trenutka instalacije do trenutka kvarova ili potpunog prestanka rada. Ovisno o izvještajima, planovi, način i troškovi održavanja mogu se regulirati težeći ka optimalnom vođenju procesa. Ono što je zanimljivo za istaknuti je forma strukture. U njoj je jasno vizualno prikazan hijerarhijski stil baze podataka gdje se točno vidi koji objekt je kojemu nadređen. Na slici 25. nalazi se hijerarhijska struktura crpnog agregata 1 u CS Krbavica koji je nadređeni objekt njegovom elektromotoru koji se nadalje raščlanjuje na manje jedinice poput signala koje šalju njegovi senzori ili njegov frekventni regulator.



Slika 25. Prikaz strukture crpnog agregata u CS Krbavica

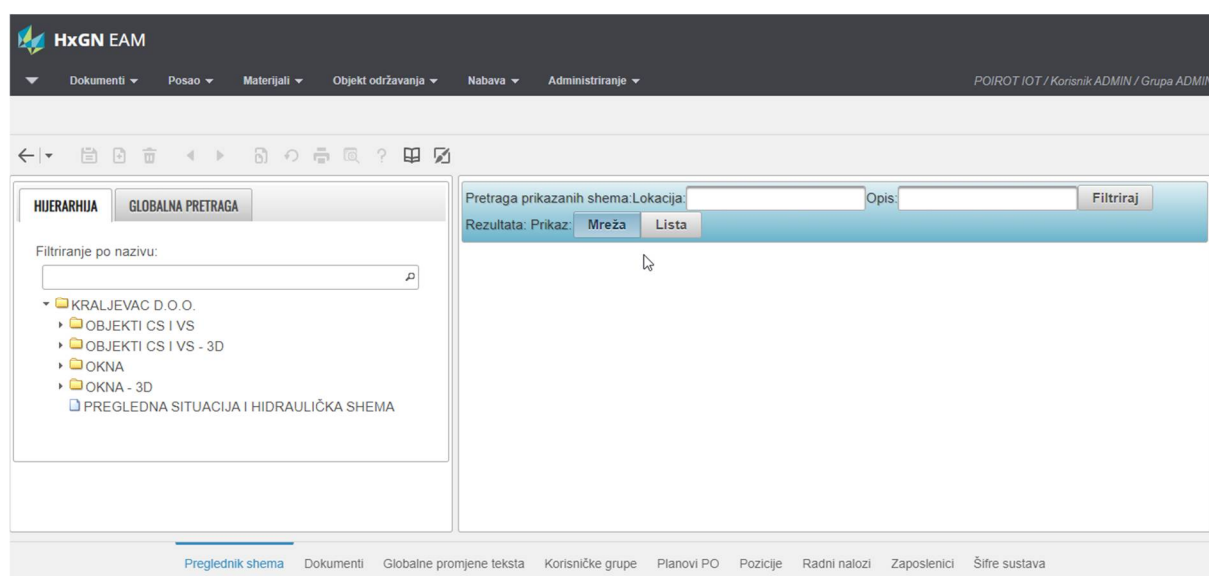
4.4.6 Modul „Posao“

Prilikom ulaska u modul posao u zaglavlju početne stranice, otvara se padajući izbornik koji se sastoji od popisa više formi vezanih za vodeće operacije potrebne za upravljanje i održavanje imovinom. Postoji mogućnost izrade raznih izvještaja vezanih za radne naloge poput pregleda svih postojećih radnih naloga, troškova koji su za njih vezani, utrošenih radnih sati zaposlenika na aktivnosti tih radnih naloga te sažetak troškova prema određenom vremenskom intervalu. Modul zaposlenici služi za unos ili brisanje podataka o zaposlenicima poduzeća. Planiranje radnih naloga odnosi se na planiranje preventivnog održavanja prema definiranim rutama obilaska objekata i zadacima koje je potrebno izvršiti. Kroz modul posao

moгуće je i generirati novi radni nalog ili zahtjev za rad ovisno o potrebi te iste odobriti. Preglednik shema odnosi se na pregled interaktivnih 2D i 3D shema koje prikazuju sve objekte i njihove komponente, a vizualizacija signala služi za grafički prikaz kretanja očitanih vrijednosti sa senzora i implementiranih u informacijski sustav putem IoT tehnologija.

4.4.7 Preglednik shema

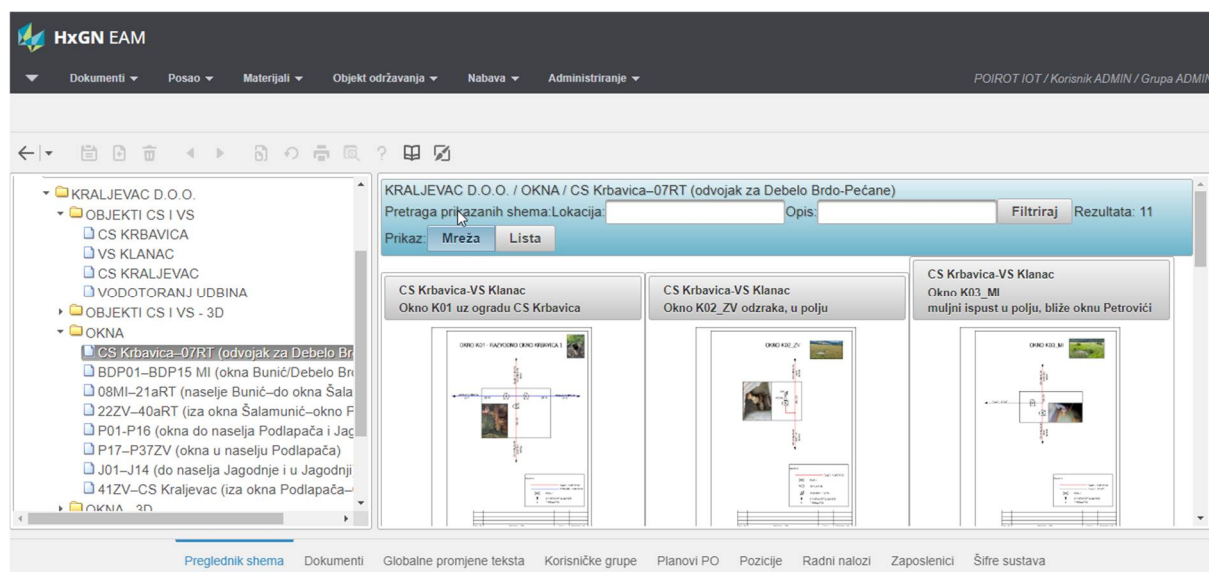
Odabirom preglednika shema otvara se modul za prikaz dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih digitalnih shema koje su interaktivne. Na slici 26. prikazano je sučelje pri ulasku u ovaj modul koje se sastoji od padajućeg izbornika shema prema hijerarhiji sustava s lijeve strane i mrežnog prikaza shema s desne strane.



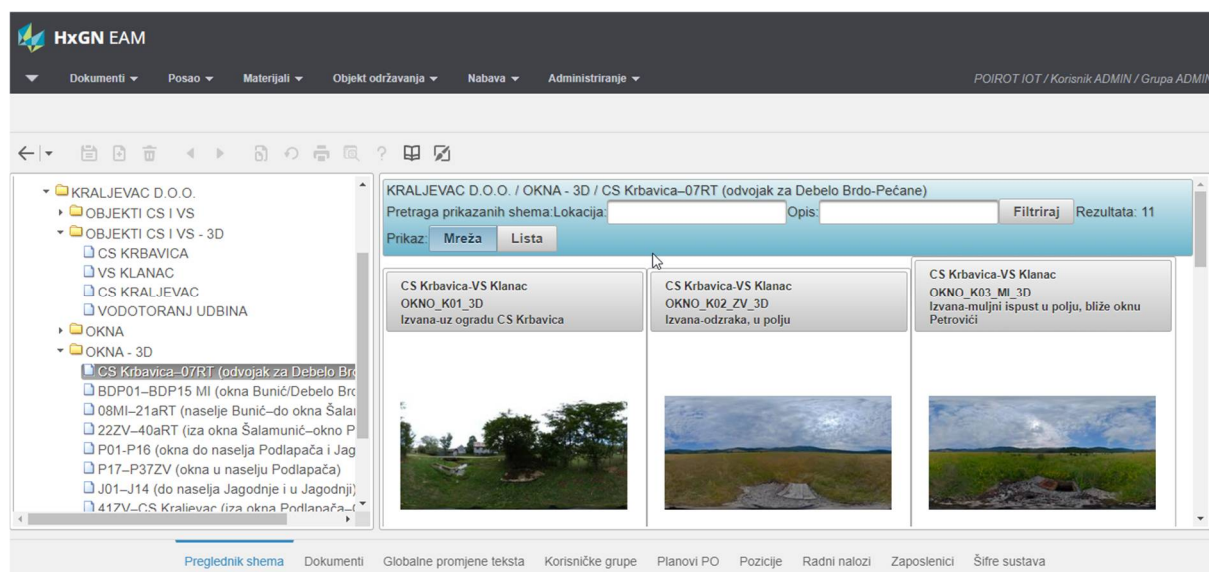
Slika 26. Modul „Preglednik shema“

U padajućem izborniku s lijeve strane hijerarhijski su poredani folderi objekata i okna. Folderi objekata i okana koji u nazivu imaju naznačeno da se radi o trodimenzionalnim shemama sadrže 3D virtualne šetnje o kojima je pisano i prethodno u radu, dok oni koji to nemaju sadrže dvodimenzionalne sheme crtane u AutoCad-u. Unutar foldera objekata nalaze se sheme crpnih stanica i vodosprema, dok se u drugom folderu nalaze sheme svih okana poredanih u nekoliko skupina. Skupine su podijeljene na logičke cjeline vodoopskrbne mreže s obzirom na opskrbeni dio sustava koji pokrivaju. Klikom na svaku od tih cjelina otvara se mreža shema okana koji pripadaju istom sustavu. U mrežnom prikazu s desne strane, sheme su vizualno prikazane no postoji mogućnost prebacivanja u listu kada se mrežni prikaz pretvara u popis shema prema njihovim nazivima. Sheme je moguće pretraživati prema njihovom opisu/nazivu ili lokaciji. Na slikama 27. i 28. vidi se izgled sučelja ako se odabere, u prvom slučaju, pretraga dvodimenzionalnih shema tj. u drugom slučaju trodimenzionalnih. U oba slučaja princip pretraživanja i ulaska u sheme je isti kao i mogućnosti vezane uz njih. Ono što

se može uočiti jest da u mrežnom prikazu 2D shema vidimo umanjen prikaz cijele sheme, dok su 3D sheme prikazane s obzirom na početnu točku koja je za svako okno njegova slika u prostoru. Ulazak u okno i njegove dijelove moguće je nakon ulaska u shemu prateći putokaz.



Slika 27. Modul „Preglednik shema“–dvodimenzionalne sheme



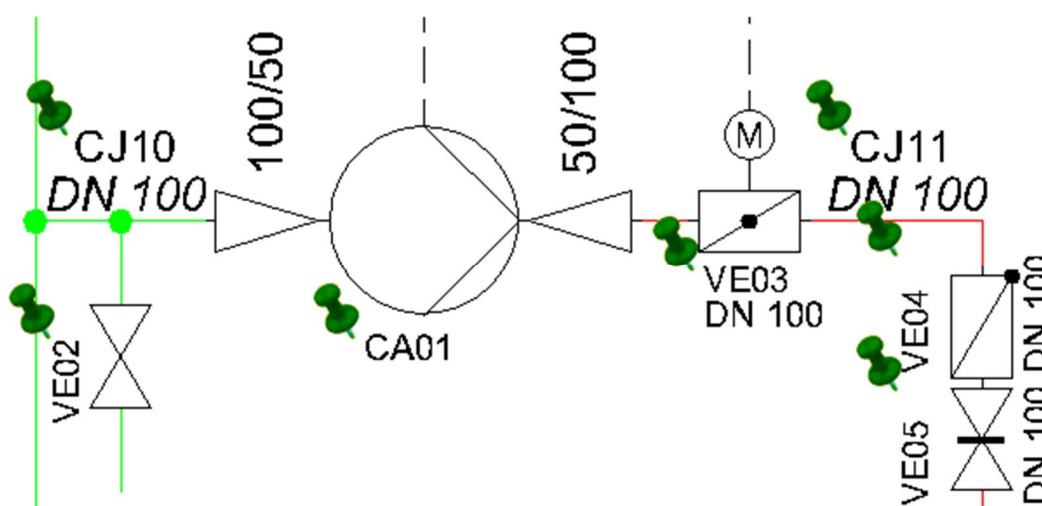
Slika 28. Modul „Preglednik shema“–trodimenzionalne sheme

Ulaskom u odabranu shemu, neovisno radi li se o 2D ili 3D shemi, otvara se njezin prikaz koji je moguće uvećavati/smanjivati te držeći lijevu tipku miša moguće je kretanje po njoj pomicanjem slike po podlozi. Ono što sheme čini aktivnim odnosno interaktivnim su virtualne pribadače koje stoje uz alias svakog objekta na shemi tj. plave oznake uz objekt održavanja. Ono što ih čini interaktivnim jest to što se klikom na njih otvara prozor s podacima o pripadajućem objektu kao i mogućnostima radnji nad tim objektom. Treba naglasiti da se kod

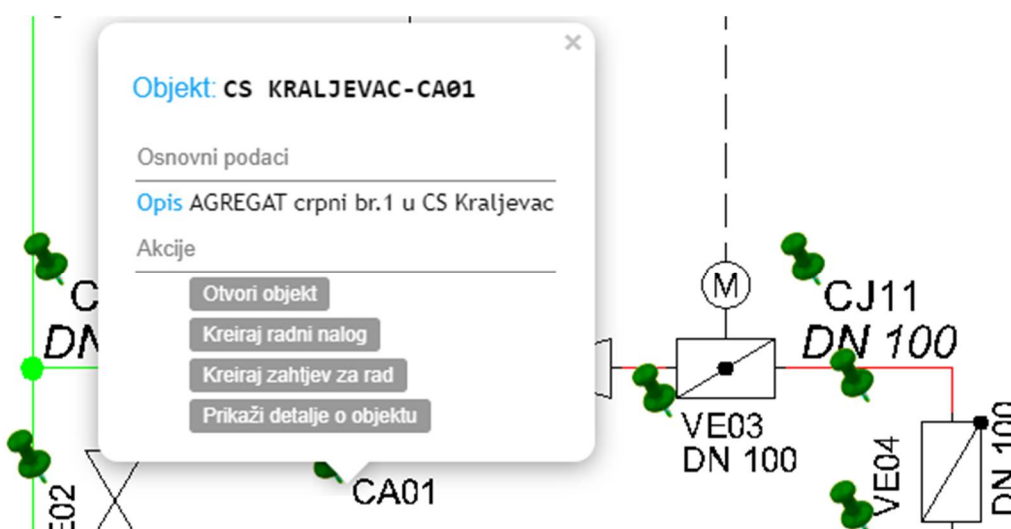
dvodimenzionalnih shema pribadače mogu razlikovati po boji pri čemu svaka boja označava određeni status objekta održavanja.

- Crvena – Objekti održavanja koji se nalaze na aktivnoj dozvoli za rad;
- Plava – Objekti održavanja koji se nalaze na aktivnom radnom nalogu;
- Zelena – Objekti održavanja za koje nije kreirana dozvola za rad niti radni nalog.
- Narančasta – Objekt održavanja koji je jednak oznaci po kojoj se pretraživalo;
- Žuta – Objekt održavanja koji sadrži dio oznake po kojoj se pretraživalo.

Time se već po otvaranju neke sheme može dobiti dojam o statusima objekata te staviti fokus na one koji nisu u zadovoljavajućem statusu. U nastavku će vizualno biti prikazani isječak iz 2D sheme crpne stanice Kraljevac te određeni objekt održavanja s interaktivnom pripadajućom pribadačom.



Slika 29. Isječak dvodimenzionalne sheme



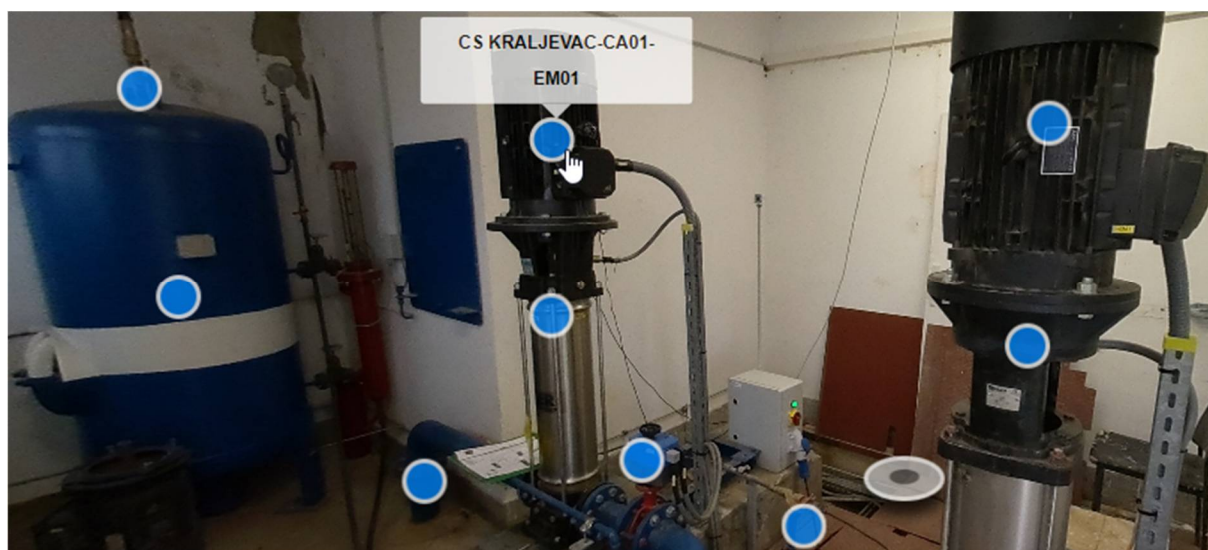
Slika 30. Prikaz prozora interaktivne pribadače crpnog agregata

Što se tiče 3D shema, bitno je naglasiti njihov značaj i kakvu olakotnu okolnost predstavljaju. Iako su 2D sheme vrlo detaljno izrađene, nekada čovjek jednostavno ne može do kraja pretočiti shematski prikaz u to kako to zbilja izgleda u stvarnosti. 3D virtualne sheme u kombinaciji s P&I shemama daju potpunu sliku o objektima čak i korisnicima koji na samom terenu nikada nisu bili. To je izrazito bitno za potencijalne vanjske izvođače nekih radova koji bez inspekcije terena mogu dobiti dojam o rasporedu i dimenzijama prostora putem jednostavnog web preglednika. Također, ova funkcija nekada eliminira zaposlenicima odlazak na nepristupačan teren jer potrebne informacije može dobiti ovim putem. Ove sheme prikazuju okolinu oko objekta, neku manju cjelinu objekta te svaku prostoriju sa svom opremom. Sukladno su prikazana i okna koja su iznutra snimana tako da prikažu svaki kut i svaku jedinicu održavanja. Kretanje po shemama omogućeno je putem sivih kružića koji predstavljaju poveznicu na iduću 3D sliku. Drugim riječima više 3D slika poveznicama se spaja u šetnju koja obilazi svaki prostor nekog objekta pritom prikazujući označene objekte održavanja. Dio virtualne šetnje ispred objekta CS Kraljevac te način kretanja po istoj prikazani su na slici 31.

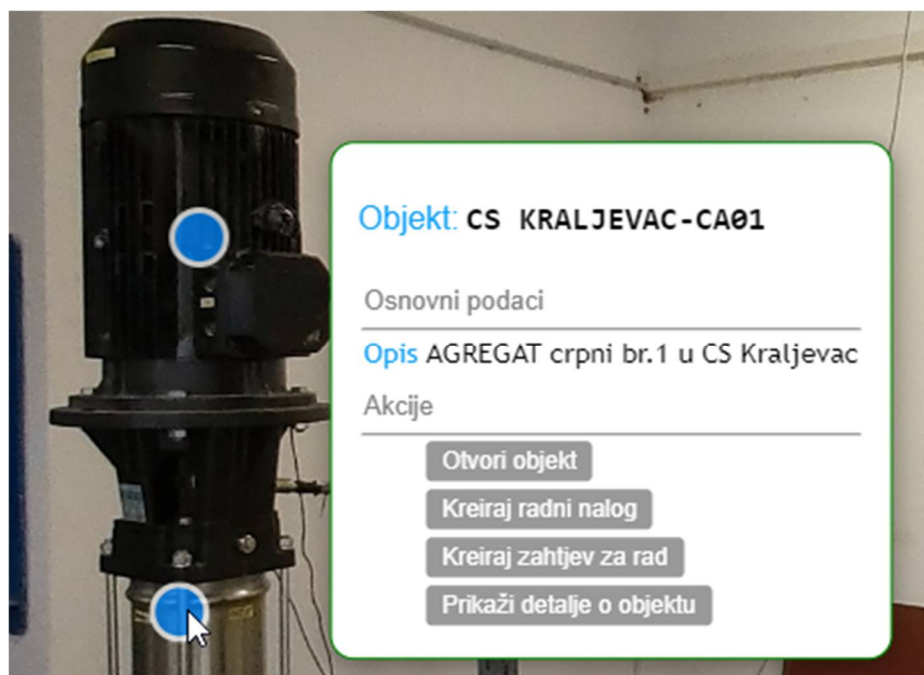


Slika 31. Prikaz funkcionalnosti virtualne 3D šetnje na CS Kraljevac

Na slici je prikazan objekt CS Kraljevac izvana te se vidi pet različitih sivih kružića od kojih svaki od njih vodi na iduću potrebnu poziciju. Također, dolaskom pokazivača na kružić, prikazuje se alias objekta na koji on vodi. Prema istoj logici kao i za 2D sheme, isječak ih 3D sheme, također CS Kraljevac, kao i crpni agregat prikazani su na idućim slikama kako bi se povukla paralela između P&I sheme i realnog prikaza te dobio ukupan dojam o tome koliko cjelovitu sliku daje kombinacija dvaju ovakvih prikaza međusobno se nadopunjujući.

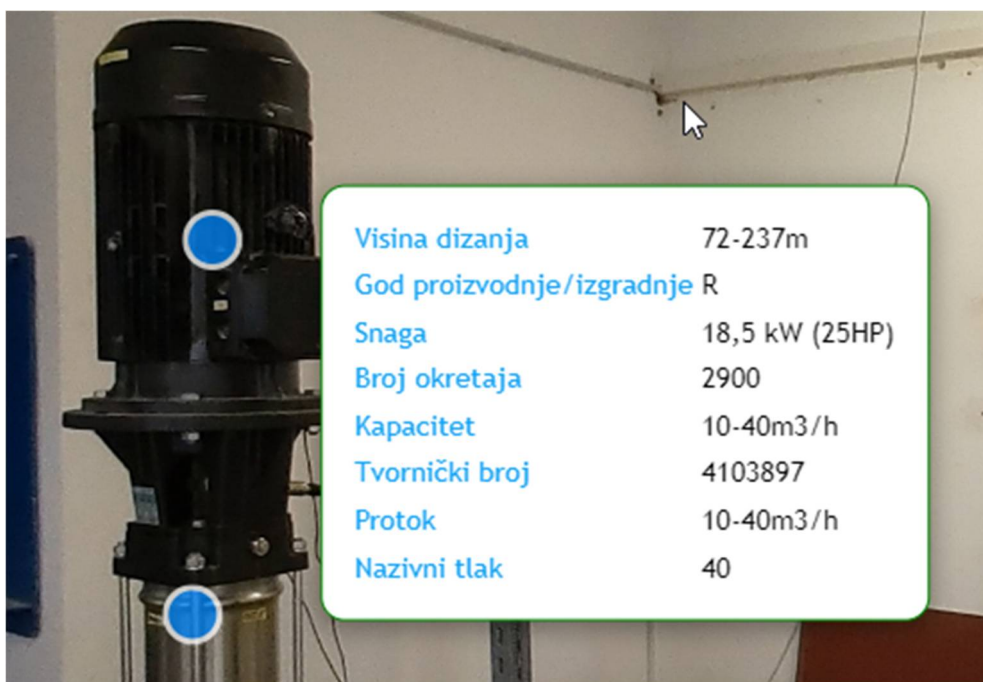


Slika 32. Prikaz dijela interaktivnih točki unutar strojarnice na CS Kraljevac



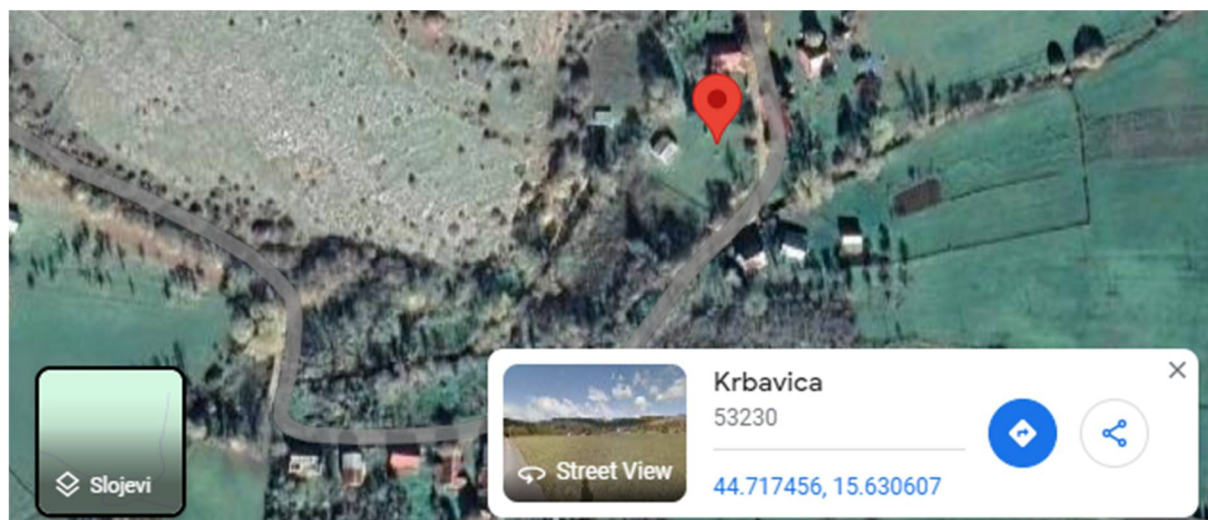
Slika 33. Prikaz sadržaja prozora interaktivne točke crpnog agregata

Ono što nude interaktivni prozori na shemama su uvid u alias objekta, njegov opis te pokretanje nekoliko mogućih akcija. Ako se shema otvori te se pronađe željeni objekt održavanja, bez vraćanja u padajuće izbornike i traženja odgovarajućeg modula, možemo otvoriti objekt i vidjeti njegove podatke, kreirati novi radni nalog nad tim objektom, zahtjev za rad i vidjeti neke tehničke specifikacije putem prikaza detalja o objektu (Slika 34.). Funkcionalnosti interaktivnog prozora jednake su na 2D i 3D shemama.



Slika 34. Prikaz tehničkih specifikacija putem interaktivnog prozora

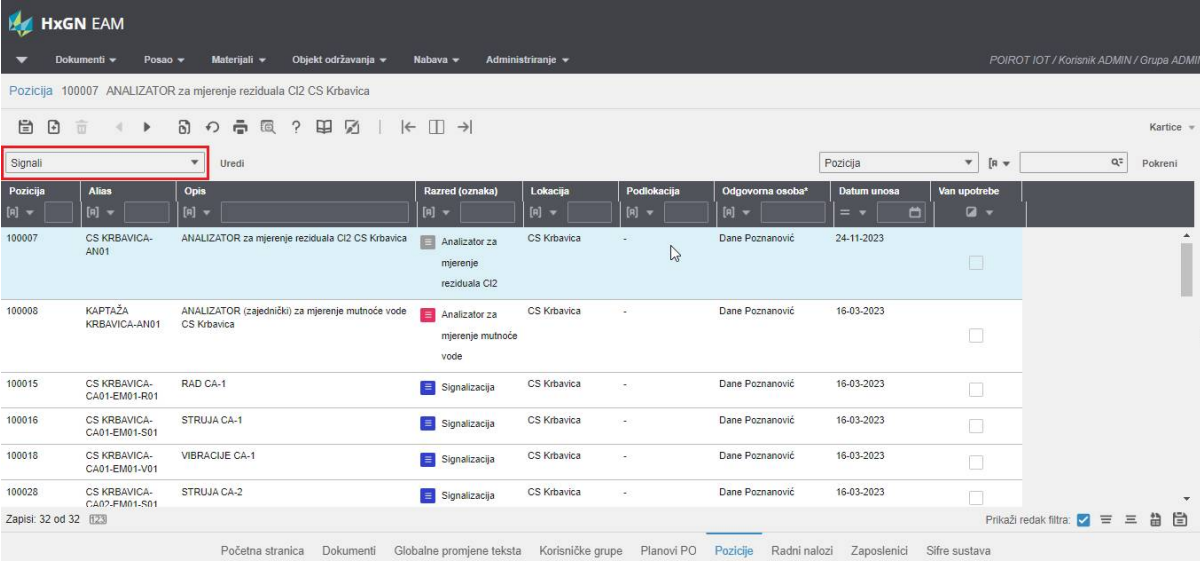
Ono što je još bitno za naglasiti, što se tiče modula preglednika shema, je mogućnost lociranja svakog objekta ili okna u prostoru. U desnom kutu 3D shema postoji gumb „Google Maps“ koji u sebi sadrži vezu prema Google kartama koji se aktivira klikom pri čemu se otvara novi prozor s označenom lokacijom u prostoru putem GPS koordinata koje su implementirane u koracima pripreme. Objekti vodovodne mreže Krbavica-Udbina raspoređeni su i iz toga razloga je ova značajka uvelike korisna, pogotovo za ona okna koja se ne nalaze u blizini prometnica već usred nenaseljenih prirodnih prostora u kojima se teško snalaziti. Kako to izgleda u praksi, na primjeru CS Krbavica, prikazano je na idućoj slici 35.



Slika 35. Geolokacija CS Krbavica na Google Mapsu

4.4.8 Integracija IoT-a

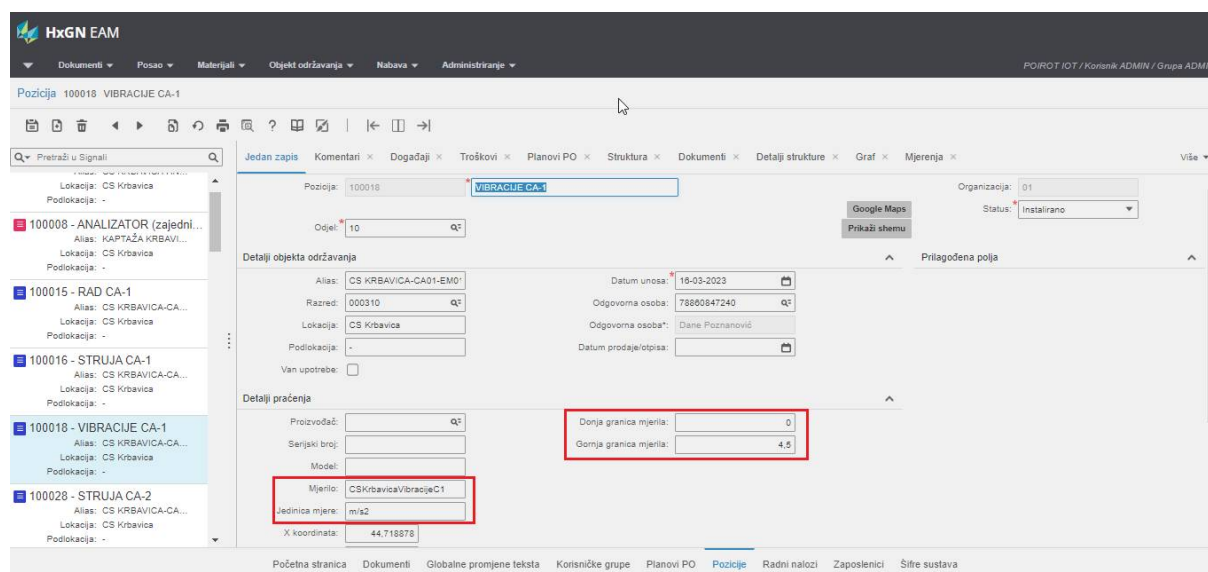
Digitalizacija poslovanja neizbježna je kako bi se pratili trendovi, no korak dalje u ovom projektu bila je integracija samog informacijskog sustava s tehnologijama Interneta stvari čime je ostvarena pretpostavka za implementaciju i primjenu prediktivnog održavanja rotacijske opreme. Ideja o praćenju stanja stvari ostvarena je instalacijom senzora na odabranu opremu koji daljinskim nadzorom prate određene parametre te šalju podatke u programsko sučelje web aplikacije. Podaci se prikupljaju u bazi Poirot IoT pri čemu informacijski sustav HxGN EAM ima pristup tim podacima. Baza podataka informacijskog sustava i baza podataka signala senzora međusobno su povezane po ključu objekta održavanja i njegovog pripadajućeg signala. Time je omogućen vizualni i podatkovni prikaz očitavanja u stvarnom vremenu na grafičkom sučelju. Prikupljeni signali vezani su za objekte tj. pozicije te se u tom modulu u zaglavlju može iz padajućeg izbornika odabrati prikaz signala kako bi se promatrali isključivo oni. Na ovaj način prati se stanje 32 objekta održavanja, a naglasak je stavljen na rotacijsku opremu. Slika 36. predstavlja tablični prikaz signala u informacijskom sustavu HxGN EAM.



Pozicija	Alias	Opis	Razred (oznaka)	Lokacija	Podlokacija	Odgovorna osoba*	Datum unosa	Van upotrebe
100007	CS KRBAVICA-AN01	ANALIZATOR za mjerenje reziduala CI2 CS Krbavica	Analizator za mjerenje reziduala CI2	CS Krbavica	-	Dane Poznanović	24-11-2023	<input type="checkbox"/>
100008	KAPTAŽA KRBAVICA-AN01	ANALIZATOR (zajednički) za mjerenje mulnoće vode CS Krbavica	Analizator za mjerenje mulnoće vode	CS Krbavica	-	Dane Poznanović	16-03-2023	<input type="checkbox"/>
100015	CS KRBAVICA-CA01-EM01-R01	RAD CA-1	Signalizacija	CS Krbavica	-	Dane Poznanović	16-03-2023	<input type="checkbox"/>
100016	CS KRBAVICA-CA01-EM01-S01	STRUJA CA-1	Signalizacija	CS Krbavica	-	Dane Poznanović	16-03-2023	<input type="checkbox"/>
100018	CS KRBAVICA-CA01-EM01-V01	VIBRACIJE CA-1	Signalizacija	CS Krbavica	-	Dane Poznanović	16-03-2023	<input type="checkbox"/>
100026	CS KRBAVICA-CA02-FM01-S01	STRUJA CA-2	Signalizacija	CS Krbavica	-	Dane Poznanović	16-03-2023	<input type="checkbox"/>

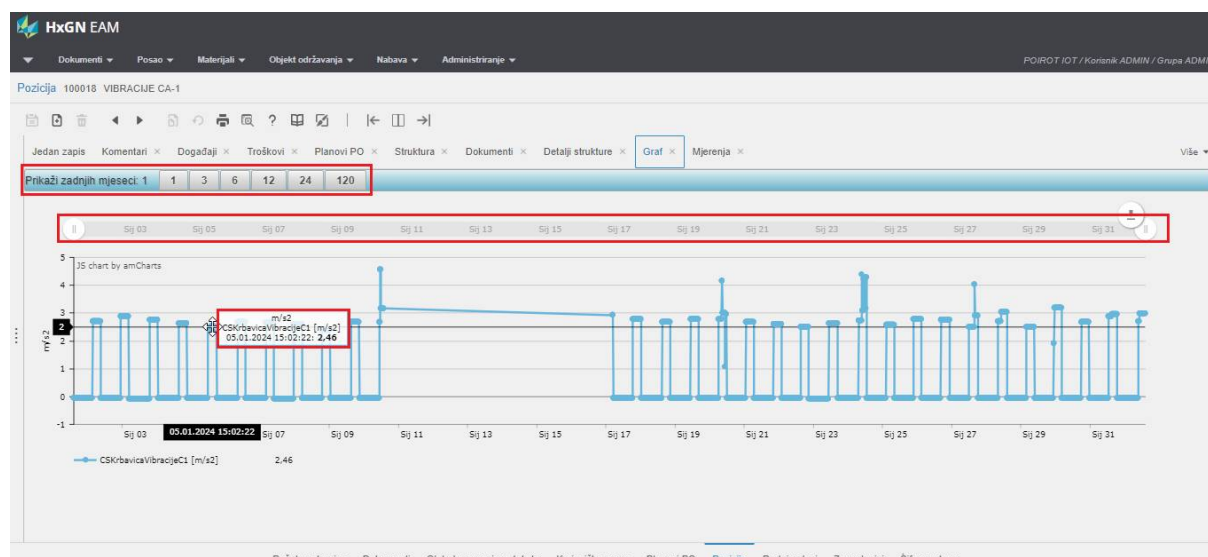
Slika 36. Prikaz signala u modulu pozicija

Tablični prikaz signala također je hijerarhijski ustrojen i podatke je moguće pretraživati preko više polja. Odabirom određenog signala otvara se slična forma kao i kod pozicija s istim dodatnim karticama. Slika 37. prikazuje jedan zapis signala mjerenja vibracija elektromotora crpnog agregata 1 u CS Krbavica koji će poslužiti kao pokazni primjer.



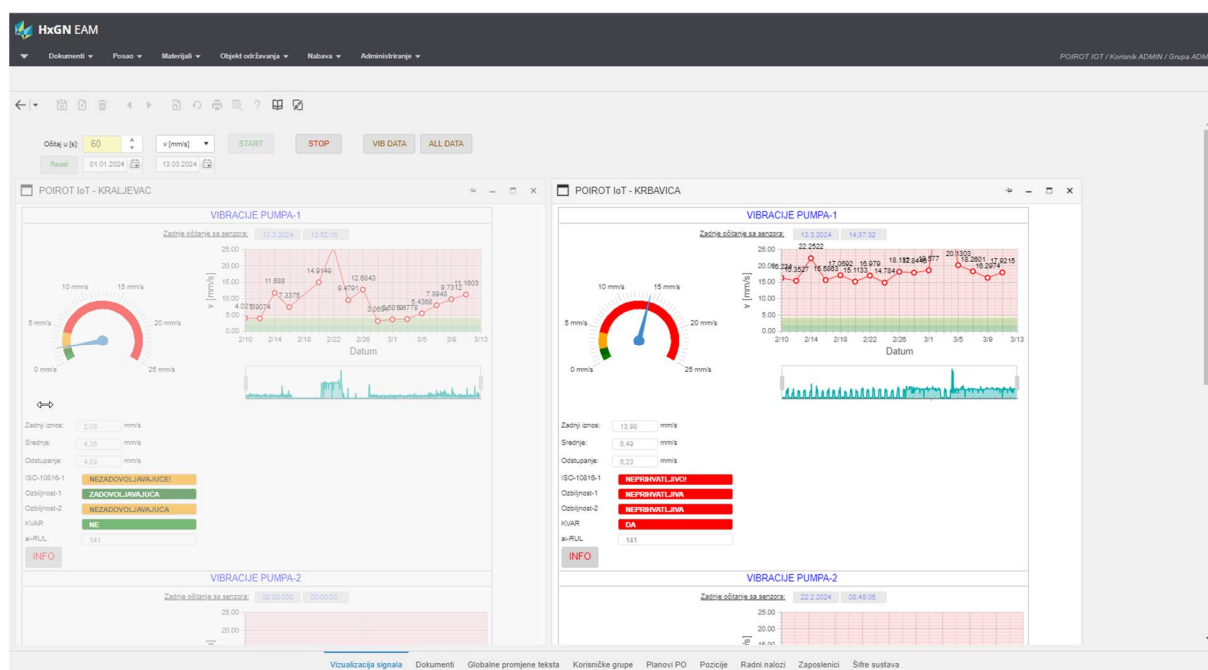
Slika 37. Prikaz pozicije signala crpnog agregata u CS Krbavica

Prikazana su polja sa standardnim osnovnim podacima o samoj poziciji, no ono što je bitno u ovoj formi jest definiranje mjerila, mjerne jedinice i dozvoljene granice za vrijednosti signala koje senzor prikuplja. Potrebni podaci prikazani su u crvenom okviru na slici. Ostale kartice pružaju neke navedene funkcionalnosti, no u slučaju pozicija signala, kartica graf je vrlo bitna. To je forma u kojoj su signali prikazani grafički kako bi se već na prvi pogled mogle uočiti anomalije u radu crpke. Te anomalije značile bi iskakanje očitanih vrijednosti iz definiranih dozvoljenih granica. Kako to izgleda u praksi prikazano je na idućoj slici 38.



Slika 38. Grafički prikaz podataka sa senzora vibracija crpnog agregata

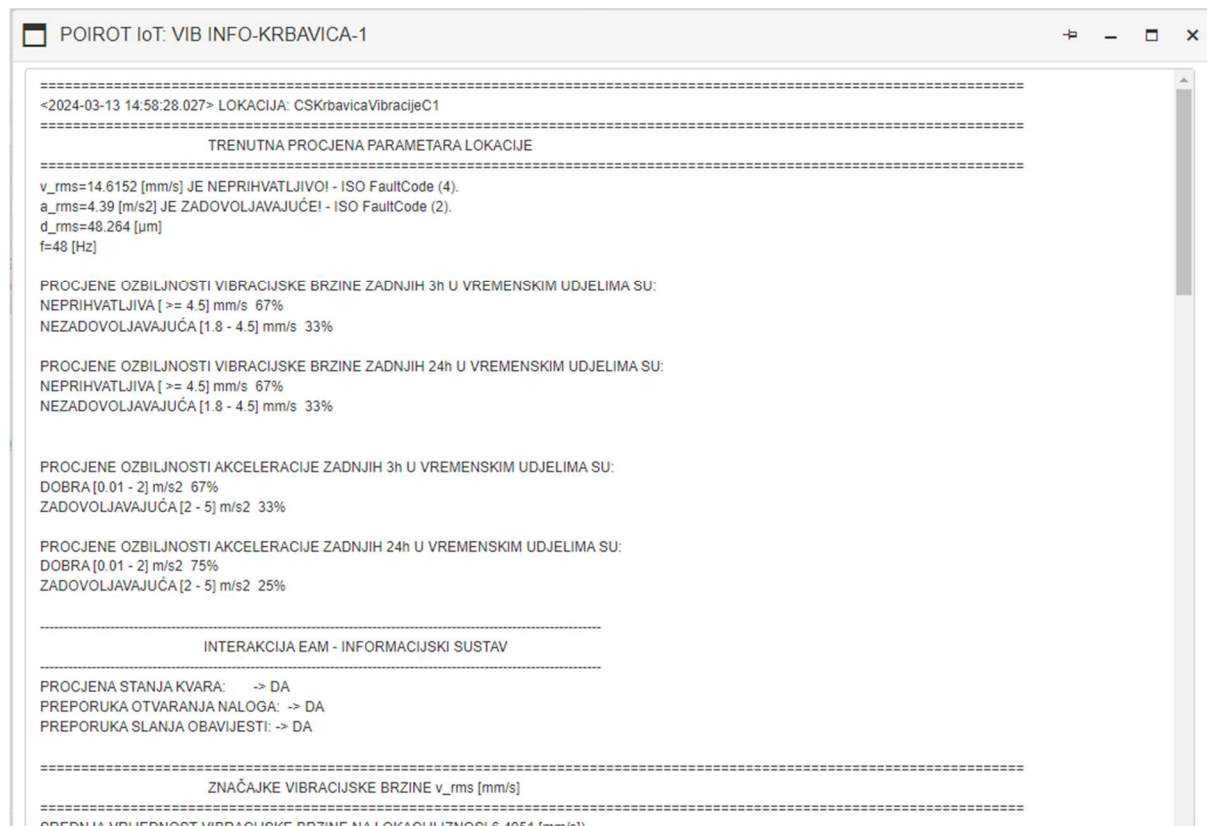
Graf prikazuje promjene u vrijednostima vibracija elektromotora kroz vrijeme. Moguće je podesiti razdoblje pregleda podataka po mjesecima unazad te unutar toga intervala namještati vremenske intervale za koje je potrebno analizirati podatke ili u kojima očitavanja pokazuju anomalije. Također, kretanjem pokazivačem po liniji vrijednosti na grafu, prikazuje se prozor koji sadrži podatke o mjerenju točno na tom mjestu krivulje. Tako se na slici može primijetiti da je dana 05.01.2024. u 15 h i 2 min rezultat mjerenja bio 2,46 [m/s²]. Dakle, u ovoj formi podaci sa senzora pojedine opreme prikazuju povijesne i aktualne podatke na osnovu kojih se mogu izrađivati razni izvještaji i donositi zaključci o stanju i trendovima ponašanja same opreme. Osim grafičkog prikaza unutar modula pozicija, integrirana je i vizualizacija mjerenih signala unutar informacijskog sustava u glavnom izborniku „Posao“. Vizualizacija je prikazana na slici 39.



Slika 39. Integracija vizualizacije mjerenih signala unutar informacijskog sustava

Vizualizacija je izvedena prema ISO klasifikaciji i logici tzv. „semafora“. To znači da su kvarovi klasificirani prema intervalima ozbiljnosti koji su opisani riječima i bojom pri čemu se crvenom bojom označava nepovoljno stanje značajke. Sama funkcionalnost je potpomognuta modelima strojnog učenja koje omogućava da značajke tijekom vremena poprimaju različitu boju. Klikom miša na tipku „INFO“ generira se izvješće stanja određene rotacijske opreme. Izvješće sadrži razne relevantne podatke koji mogu ukazivati na stupanj ispravnosti rada određene opreme. Neki od podataka koje izvješće sadrži su detaljna analiza ozbiljnosti vibracijske brzine i akceleracije na osnovu kojih se sugerira prijava kvara i generiranje radnog

naloga ako izmjerene vrijednosti ukazuju na potrebu za time. Također, u izvješću stoje i preporuke standardnih aktivnosti održavanja koje bi bilo dobro izvršiti. Primjer izvješća prikazan je na slici 40.



Slika 40. Izvješće stanja rotacijske opreme temeljeno na modelu strojnog učenja

Kako bi reakcija na određenu problematiku bila što brža i efikasnija, izvedena je funkcionalnost automatskog kreiranja zahtjeva za rad na osnovu detektiranja izlaza vrijednosti očitavanja izvan određenih granica normalnoga rada. Takav automatski generirani zahtjev za rad može i mora odobriti ili odbaciti odgovorna osoba. Odobrenjem se otvara korektivni radni nalog, a odbijanje anulira zahtjev rad uz obavezno navođenje razloga za to. Ovom funkcionalnošću postiže se smanjenje mogućnosti problematičnih situacija i smanjuje se potreba za konstantnim iščitavanjem podataka kontrolirajući očitane vrijednosti. Uz ovakav način rada, upozorenje dolazi bez reakcije korisnika. Korisnik nužno mora odgovoriti na taj zahtjev za rad bilo to pozitivno ako je zahtjev za rad opravdan ili negativno ako iskustveno smatra da određeno odstupanje nije alarmantno i ne zahtijeva posebne radnje.

4.4.9 Zahtjevi za radnim nalogom

Kako bi se pokrenula radnja vezana za korektivno održavanje za početak je potrebno kreirati zahtjev za rad. Prilikom kreiranja zahtjeva za rad potrebno je detaljno opisati vrstu kvara

koji se dogodio na određenom objektu, definirati odgovornu osobu i prioritet kvara. Kako bi odgovorna osoba prilikom odobravanja zahtjeva za rad, odnosno kreiranja radnog naloga, bila u mogućnosti adekvatno procijeniti ozbiljnost kvara zaposlenik uz prethodno spomenute informacije trebao bi priložiti fotografije mjesta kvara i u komentarima opširno opisati nastalu situaciju. Na slici 41. prikazan je početni ekran forme za prijavu kvara tj. kreiranja zahtjeva za rad.

Slika 41. Forma za kreiranje zahtjeva za rad

Nakon što je uspješno kreiran zahtjev za rad, odgovorna osoba koristeći formu „Pregledaj/Odobri“ odabire željeni zapisa i pregledava njegove detalje. Ako postoji opravdana osnova za kreiranje radnog naloga, odgovorna osoba odobrava zahtjev za rad čime se automatski kreira radni nalog za korektivno održavanje u skladu sa zahtjevom za rad. Ako odgovorna osoba procijeni da nije potrebno kreirati radni nalog, odbija zahtjev za rad uz obrazloženje. Na slici 42. prikazan je početni ekran forme odobravanja zahtjeva za rad.

Odobri	Zahtjev za rad	Opis	Status	Objekt održavanja	Zahtjeva	Datum prijave	Odgovorna osoba
<input type="checkbox"/>	12284	Poklopac mlynog lopata se ne otvara	Zahtjev za rad	100005		18-04-2023 15:33	78860847240
<input type="checkbox"/>	12330	Povećana vibracije agregata	Zahtjev za rad	100022	70545303043	14-11-2023 07:48	78860847240
<input type="checkbox"/>	12371	Automatski generisan ZZR - VIBRACIJE CA-1	Zahtjev za rad	100018		08-03-2024 10:57	78860847240
<input type="checkbox"/>	12372	Automatski generisan ZZR - VIBRACIJE CA-1	Zahtjev za rad	100140		08-03-2024 10:57	78860847240

Slika 42. Forma za odobravanje zahtjeva za rad

4.4.10 Radni nalozi

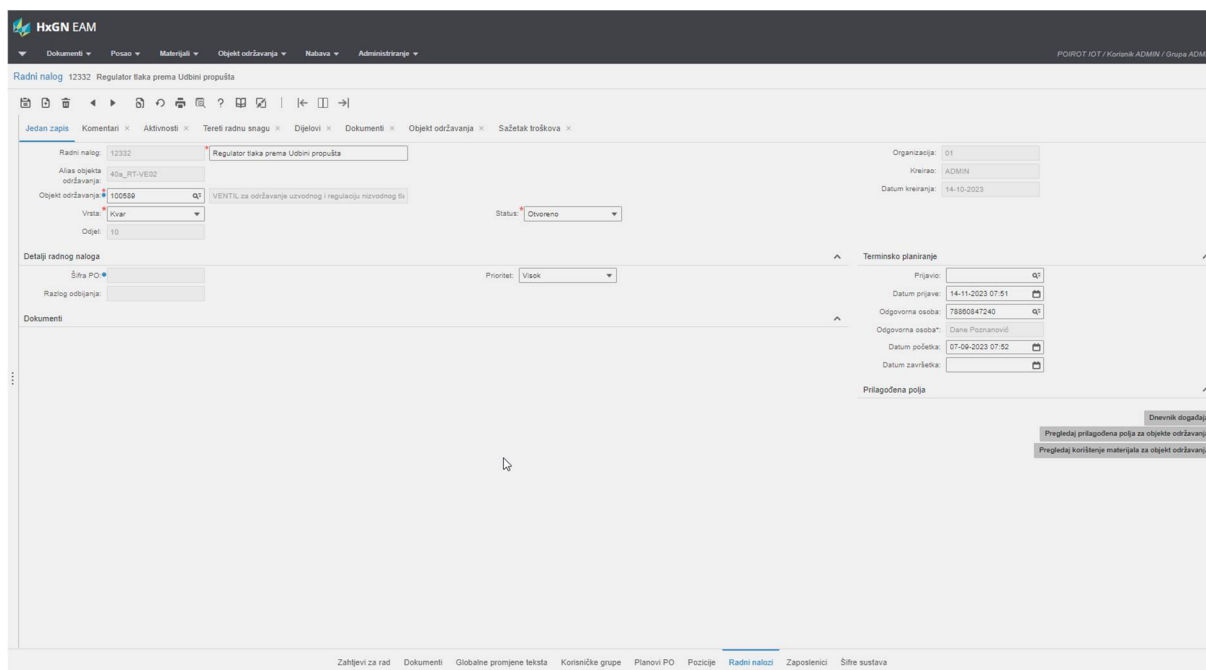
U tablično prikazu dostupni su osnovni podaci o pojedinom radnom nalogu po kojima je moguće iste pretraživati. Svaki radni nalog ima svoju jedinstvenu šifru, opis radnog naloga, naznačen objekt koji je njegov predmet, prioritet, odgovornu osobu te vrstu radnog naloga kako je prikazano na slici 43.

Radni nalog	Opis	Alias objekta održavanja	Opis objekta održavanja	Prioritet (oznaka)	Status (oznaka)	Odgovorna osoba*	Vrsta	Datum kreiranja	Datum početka	Datum završetka
12356	Mjerač razine ne pokazuje tačno	KAPTAŽA KRBAVICA-CL01	MJERAČ razine kaptaze Krbavica	Srednji	Otvoreno	Dane Poznanović	Kvar	02-01-2024		
12354	Redovni pregled rasvjetе	CS KRBAVICA	CRPNA stanica Krbavica	Nizak	Otvoreno	Dane Poznanović	Preventivno održavanje	02-01-2024		
12355	Redovni pregled rasvjetе	CS KRALJEVAC	CRPNA stanica Kraljevac	Nizak	Otvoreno	Dane Poznanović	Preventivno održavanje	02-01-2024		
12214	Redovno održavanje pogonskog i zaštitnog sustava uzemljenja	CS KRALJEVAC	CRPNA stanica Kraljevac	Visok	Otvoreno	Dane Poznanović	Zakonske obveze	28-03-2023		
12338	Redovno održavanje mjerno-regulacijske opreme	CS KRBAVICA	CRPNA stanica Krbavica	Nizak	Otvoreno	Dane Poznanović	Preventivno održavanje	14-11-2023		
12205	Redovno održavanje razvodnih omara elektro opreme	CS KRBAVICA	CRPNA stanica Krbavica	Nizak	Otvoreno	Dane Poznanović	Preventivno održavanje	28-03-2023		
12254	Redovni servis uređaja za dezinfekciju	CS KRBAVICA-0201	UREĐAJ za dezinfekciju u CS Krbavica	Nizak	Otvoreno	Dane Poznanović	Preventivno održavanje	01-12-2023		
12255	Redovni servis uređaja za dezinfekciju	CS KRALJEVAC-0201	UREĐAJ za dezinfekciju u CS Kraljevac	Nizak	Otvoreno	Dane Poznanović	Preventivno održavanje	01-12-2023		
12272	Redovna kontrola i pregled orpki	CS KRBAVICA	CRPNA stanica Krbavica	Nizak	Otvoreno	Dane Poznanović	Preventivno održavanje	31-03-2023		
17343	Zimovinski naponiran 770 - CRPNA stanica	CS KRBAVICA	CRPNA stanica Krbavica	Visok	Otvoreno	Dane Poznanović	Kvar	06.12.2023		

Slika 43. Prikaz preventivnih i korektivnih radnih naloga

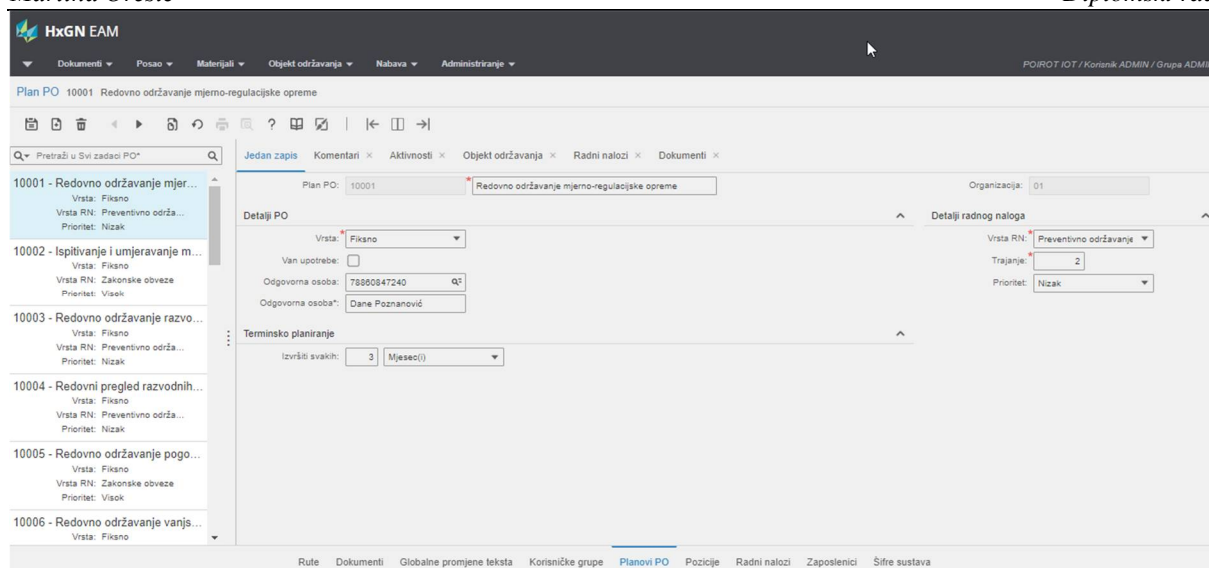
Korektivni radni nalog može se otvoriti i bez zahtjeva za rad putem modula radnog naloga. Kada se uđe u modul radni nalozi otvara se tablični prikaz sa svim dosad kreiranim radnim nalogima neovisno o njihovom stanju i vrsti.

Kreiranje novog korektivnog radnog naloga vrši se putem odabira novog zapisa kada se otvara forma s tekstualnim poljima za unos potrebnih podataka. Potrebno je unijeti opis radnog naloga, odgovornu osobu i objekt održavanja koji će biti predmet aktivnosti pri čemu se automatski popunjavaju određena polja vezana za taj objekt prema njegovoj poziciji (alias, odjel, odgovorna osoba itd.). Na slici 44. prikazan je primjer popunjenog korektivnog radnog naloga.



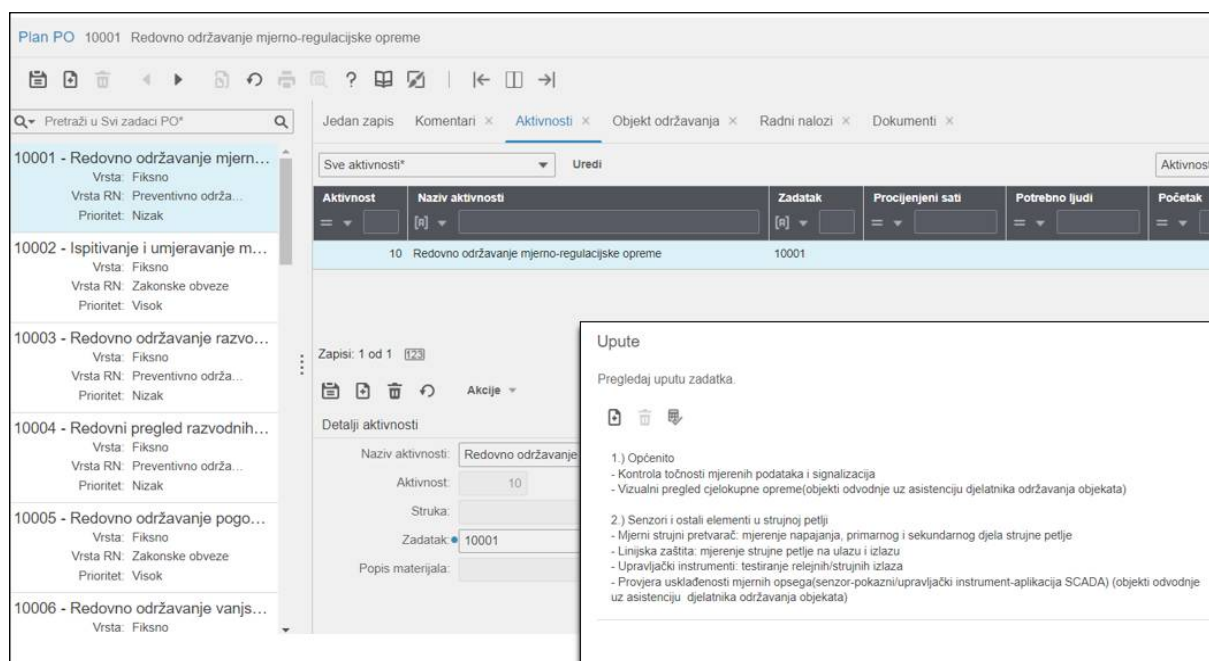
Slika 44. Prikaz popunjene forme korektivnog radnog naloga

Radni nalozi preventivnog održavanja temelje se na unaprijed definiranim planovima održavanja. Modul planiranja radnih naloga odnosi se na pripremu planova preventivnog održavanja, stvaranja ruta i zadataka. Plan preventivnog održavanja ubiti se sastoji od ruta i zadataka, a kreira se prema zakonskim regulativama te iskustvu i strukovnoj preporuci. Zadaci su formirani prema vrsti objekata i radnjama koje su potrebne u njihovom održavanju. Svaki od zadataka sadrži upute koje navode radnika što se sve treba učiniti. Rute objedinjuju sve objekte održavanja koji se moraju podvrgnuti aktivnostima s određenog zadatka. U konačnici plan preventivnog održavanja sadrži jedan ili više zadataka s pripadajućim uputama i objektima održavanja na koje se ti zadaci odnose. Na slici u nastavku (Slika 45.) prikazana je forma plana preventivnog održavanja. Svakom planu potrebno je odrediti ključne podatke. Planu preventivnog održavanja potrebno je dodijeliti naziv, vrstu, odgovornu osobu i periodiku. Vrsta plana određuje se na osnovu toga je li plan preventivnog održavanja uveden prema zakonu ili preporuci struke, iskustvu i slično. Kada je to određeno, bira se periodika obavljanja tog plana ovisno treba li se odrađivati na tjednoj, mjesečnoj ili godišnjoj bazi.



Slika 45. Prikaz forme za plan preventivnog održavanja

U modulu „Plan PO“ postoje i druge kartice s formama gdje se može upisati komentar, pregledati definirana aktivnost, vezati potrebni objekti održavanja i pridružiti dokumente. U kartici aktivnosti nalazi se popis jednog ili više zadataka koje obuhvaća određeni plan, a svaki od zadataka, kao što je već spomenuto, sadrži određene upute. Primjer zadatka i uputa za redovno održavanje mjerno-regulacijske opreme nalazi se na idućoj slici (Slika 46.).



Slika 46. Prikaz aktivnosti i uputa za održavanje mjerno-regulacijske opreme

Planiranjem održavanja uvodi se ono nužno održavanje koje je potrebno provoditi da sustav optimalno funkcionira tj. da postoji uravnotežen razmjer sigurnosti, ekonomičnosti i ulaganja sredstava u aktivnosti održavanja. Svaki sustav mora imati početnu točku od koje se, kroz vrijeme, kreće pratiti ponašanje elemenata, ali i sustava te se na temelju povratnih

informacija prilagođavaju aktivnosti težeći ka optimalnoj situaciji sa što manje poslovnih gubitaka i što većom sigurnosti u radu.

Kreiranje preventivnog radnog naloga nastaje generiranjem potrebnog plana preventivnog održavanja koristeći formu „Generiraj RN“. Na slici 47. nalazi se primjer popunjenog preventivnog radnog naloga.

The screenshot displays the HxGN EAM software interface for a work order. The main header shows 'Radni nalog 12272 Redovna kontrola i pregled crpki'. The form is filled with the following data:

- Radni nalog:** 12272, **Redovna kontrola i pregled crpki**
- Organizacija:** 01
- Alias objekta održavanja:** CS KRBAVICA
- Kreirao:** ADMIN
- Objekt održavanja:** 100002, **CRPNA stanica Krbavica**
- Datum kreiranja:** 31-03-2023
- Vrsta:** Preventivno održavanje
- Status:** Otvoreno
- Objekt:** 10
- Detalji radnog naloga:** Šifra PO: 10022, Prioritet: Nizak
- Terminsko planiranje:** Prijavo: [input], Datum prijave: 07-12-2023 11:41, Odgovorna osoba: 78880847240, Odgovorna osoba*: Dane Poznanović, Datum početka: [input], Datum završetka: [input]
- Prilagođena polja:** [input]

The interface includes a navigation menu at the top with options like 'Dokumenti', 'Posao', 'Materijali', 'Objekt održavanja', 'Nabava', and 'Administriranje'. A bottom navigation bar shows various views like 'Preglednik shema', 'Dokumenti', 'Globalne promjene teksta', 'Korisničke grupe', 'Planovi PO', 'Pozicije', 'Radni nalози', 'Zaposlenici', and 'Šifre sustava'.

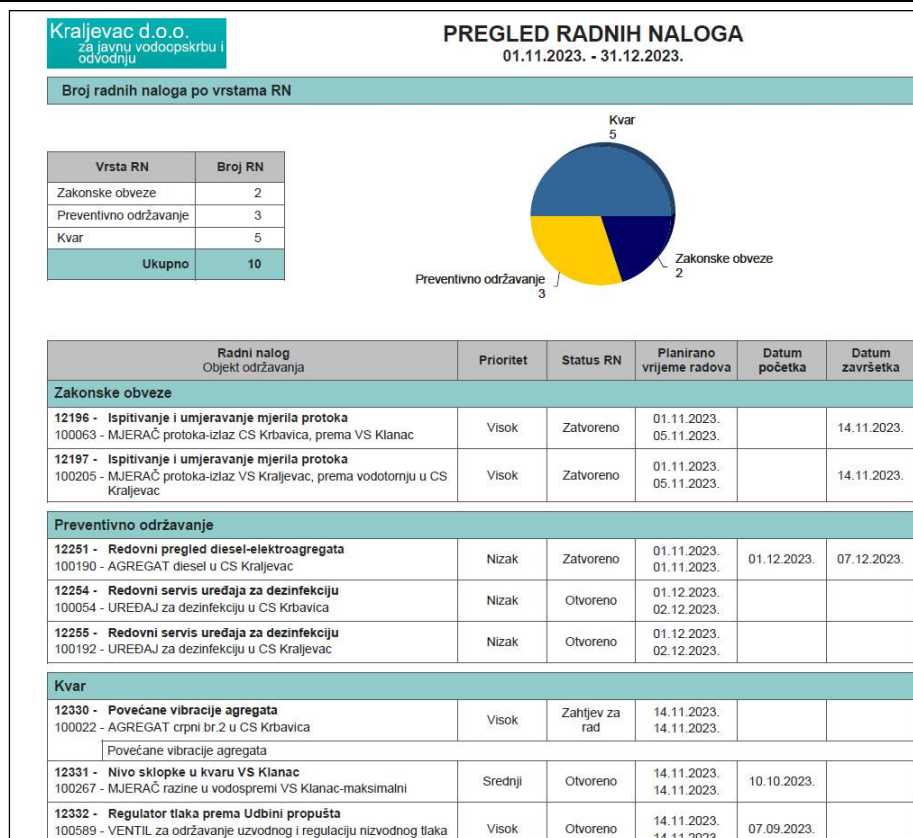
Slika 47. Primjer popunjene forma preventivnog radnog naloga

Ako radnje, neovisno o vrsti radnog naloga, izvršavaju vanjski izvođači, postoji polje u kojem se odabire upravo ta opcija. Kada je radnja izvršena, u kartici terećenja radne snage potrebno je ispuniti stvarno vrijeme izvođenja radova koje se veže na određenu aktivnost kako bi se u sažetku moglo pratiti koliko odgovaraju procjene i stvarne izvedbe. Moguće je povlačiti i dijelove sa skladišta ako su potrebni. U sažetku troškova dostupno je izvješće koje obuhvaća trošak radne snage, zalihe, troškove alata i cijelog radnog naloga koji se uspoređuju kroz bilancu procijenjenog i stvarnog stanja nakon što se radni nalog zatvori. Radni nalog se nakon otvaranja generira u obliku dokumenta koji sadrži sve prethodno spomenute ključne stavke, a izgleda kao na slici 48.

Kraljevac d.o.o. za javnu vodoopskrbu i odvodnju		RADNI NALOG 12255	
Datum kreiranja	01.12.2023.	Planirani datum početka	01.12.2023.
		Predvideni rok izvršenja	02.12.2023.
Odjel	10 - KRALJEVAC D.O.O.		
Objekt održavanja	100192 - UREĐAJ za dezinfekciju u CS Kraljevac		
Opis	Redovni servis uređaja za dezinfekciju		
Vrsta RN	Preventivno održavanje		
Status	Otvoreno	Prioritet	3
Aktivnosti			
Aktivnost	Bilješka / Zadatak		
10	Redovni servis uređaja za dezinfekciju		
Popis uputa			
Radni nalog / Aktivnost 12255 / 10			
Opis zadatka Redovni servis uređaja za dezinfekciju			
1.) Postupak organizacije pripremnih radova			
a) isključiti uređaj za proizvodnju ClO2 iz rada			
b) zatvoriti ventile na optočnom cjevovodu			
2.) Postupak servisa i podešavanja uređaja za dezinfekciju			
a) ispiranje uređaja			
b) rastavljanje uređaja			
c) čišćenje pojedinih elemenata			
d) zamjena svih brtvenih elemenata			
e) zamjena usisnih crijeva			
f) provjera stanja pojedinih dijelova uređaja			
g) umjeravanje uređaja			
h) provjera rada uređaja			
3.) Postupak servisa i podešavanja analizatora za kontrolu vrijednosti ClO2			
a) pregled, čišćenje, umjeravanje sonde i pripadajuće opreme za mjerenje rezidualnog ClO2			
b) čišćenje armature i mjeme sonde			
c) umjeravanje mjeme sonde (ukoliko je potrebno)			
d) kontrola točnosti mjerenih podataka i signalizacija s dispečerskim centrom			
e) vizualni pregled cjelokupne opreme			
f) izrada i dostava izvješća o pregledu			
4.) Postupak servisa i podešavanja analizatora za mjerenje mutnoće			
a) čišćenje sonde analizatora			
b) zamjena žarulje			
c) umjeravanje sonde			
d) provjera rada sonde			
5.) Postupak servisa i podešavanja uređaja za mjerenje nivoa spremnika kemikalija za dezinfekciju			
a) provjera stanja uređaja			
b) kalibracija sonde			

Slika 48. Generirani radni nalog iz informacijskog sustava

U uvodu u HxGN EAM informacijski sustav, spomenuti su ključni pokazatelji uspješnosti na početnom grafičkom sučelju. Oni se odnose na udio korektivnih i preventivnih radnih naloga u ukupnom zbroju svih radnih naloga. Dakle, sami radni nalozi sadrže i zajedno čine veliki skup podataka koji mogu davati naznake o problemima u poslovanju. Na primjer, ako postoji veliki broj korektivnih radnih naloga, možda je potrebno zapitati se treba li unaprijediti preventivu, promijeniti dobavljača ili slično. Iz tih razloga, veoma je bitno poštovati korake poslovanja kroz informacijski sustav kako bi se na pravilan način unosili i spremali svi podaci iz kojih je moguće donositi određene zaključke. Izvještaj pregleda radnih naloga kroz studeni i prosinac 2023. godine prikazan je na idućoj slici. Izvještaj sadrži sumu radnih naloga prema njihovoj vrsti, grafički prikaz njihovih udjela te popis generiranih radnih naloga s uvidom u njihov status izvršenosti.



Slika 49. Izvještaj o radnim nalogima kroz određeni period

4.4.11 Ostale funkcionalnosti

Od ostalih funkcionalnosti, ovaj informacijski sustav nudi ispis raznolikih izvješća poput onih vezanih za radne naloge, utrošene radne sate, popis troškova i slično. Služi za unos i evidenciju zaposlenika i skladištenje video i tekstualnog dokumenta u svrsi priručnika za korisnike. Postoji i zaseban modul materijala u kojem se spremaju podaci o eventualnim postojećim skladištima, proizvođačima i dobavljačima opreme te se prati tijek materijala kroz praćenje primitaka narudžba, međuskladišnica, inventure i izdavanja/povrata dijelova. U modulu nabave, spremaju se podaci o postojećim partnerskim ugovorima te se nude mogućnosti za slanje upita o ponudama ili generiranje narudžbe uz tablični prikaz povijesnih podataka. U konačnici, postoji modul administriranja gdje se nalaze brojne mogućnosti za upravljanje i prilagodbe izgleda i funkcionalnosti dijelova informacijskog sustava.

Uzevši sve navedeno u obzir, može se zaključiti da ovaj informacijski sustav pokriva sve potrebne stavke za kvalitetno praćenje i upravljanje imovinom od same nabave do kraja životnog vijeka objekta održavanja. Time ovaj informacijski sustav čini zaokruženu cjelinu koja unaprjeđuje poslovanje.

5. ZAKLJUČAK

Vodoopskrbni sustavi predstavljaju složen sustav distribucijske mreže i pripadajuće opreme koji služi za isporuku pitke vode do krajnjih potrošača. S obzirom na važnost tog sustava za stanovništvo, vrlo je bitno da je njegov rad siguran i pouzdan. Na žalost, u praksi je čest slučaj dugogodišnjeg zanemarivanja i nepravilnog održavanja i upravljanja vodoopskrbnim sustavima. Kao posljedica toga u vodovodnim mrežama, čija infrastruktura broji puno godina, dolazi do degradacije opreme, a zbog toga i problema zastoja u radu. Najveći problemi javljaju se u vidu gubitaka vode tj. velike količine vode koja se ne može naplatiti pa nastaju i financijski gubitci. Starenjem infrastrukture, utjecajem agresivne okoline i lošom brigom, oprema popušta te dolazi do curenja ili puknuća cijevi i ogromnih gubitaka s obzirom na to da se curenja i puknuća često otkrivaju sa zakašnjenjem. Određeni napredak u otkrivanju curenja, kao i u praćenju ponašanja opreme i mogućnostima predviđanja kvarova, moguć je implementacijom pametnih tehnologija i digitalizacijom poslovanja. Tehnologije Interneta stvari ključne su u praćenju stanja u realnom vremenu putem instaliranih senzora direktno na opremu. Oni omogućuju očitavanje relevantnih i trenutnih informacija s udaljenih lokacija na osnovu kojih je moguća pravovremena reakcija na potencijalne probleme i izazove. Uz Internet stvari, implementacijom informacijskog sustava za upravljanje imovinom, dobiva se aplikacijski sloj koji služi za vizualizaciju i skladištenje podataka kao i za standardizaciju i automatizaciju određenih poslovnih procesa.

Implementacijom informacijskog sustava Hexagon EAM za upravljanje imovinom, digitalizirano je poslovanje poduzeća Kraljevac d.o.o. te je omogućeno je praćenje i upravljanje životnim ciklusom opreme u eksploatacijskim uvjetima, što podrazumijeva rano otkrivanje kvarova, održavanje prema stvarnom stanju, kao i predviđanje ponašanja opreme u budućnosti na temelju podataka prikupljenih sa senzora i povijesnih podataka događaja vezanih za određeni element. Primjena naprednih tehnologija daje mogućnost i za automatizacijom aktivnosti održavanja. U konkretnom slučaju obrađenom u ovom radu, ostvarene su brojne inovativne funkcionalnosti poput interaktivnih shema koje omogućuju brzi uvid u tehničke značajke opreme, direktno otvaranja zahtjeva za rad ili radnih naloga te lociranje objekta u realnom prostoru otvaranjem hiperlinka Google karta. Time je skraćeno vrijeme i broj koraka potrebnih za navedene aktivnosti. Također, automatizirao se proces otvaranja radnih naloga implementacijom IoT-a baziranog na umjetnoj inteligenciji, uzimajući u obzir odstupanje očitanih vrijednosti sa senzora od definiranih minimalnih i maksimalnih dozvoljenih granica. Uz automatsko otvaranje radnih naloga implementirani napredni sustav, samostalno putem

generiranih izvješća temeljenih na modelu strojnog učenja, daje preporuke za provođenje aktivnosti održavanja s obzirom na očitane vrijednosti u tom trenutku. Takvom automatizacijom osigurana je pravovremena reakcija na stvarno stanje opreme u stvarnom vremenu uz mogućnost prihvaćanja ili odbijanja radnje od strane odgovorne osobe i smanjena je mogućnost previđanja određenih problema. Naravno, implementirano rješenje moguće je u budućnosti dodatno unaprijediti primjenom najnovijih preskriptivnih modela održavanja. Ne samo da bi sustav u tom slučaju u obzir uzimao podatke iz realnog vremena, već bi uz njihovu analizu i analizu povijesnih podataka tražio uzročno posljedične veze između aktivnosti održavanja i promjene stanja opreme u vremenu. Na temelju zaključaka donesenih primjenom umjetne inteligencije i rudarenja podataka, generirali bi se ciljani planovi održavanja za sprječavanje kvarova opreme u budućnosti i produljenje njezinog životnog vijeka u eksploataciji.

LITERATURA

- [1] Gackowiec, P. (2019) General overview of maintenance strategies – concepts and approaches. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, svezak 2, br. 1, str. 126-139.
- [2] Jasiulewicz-Kaczmarek M., Legutko S., Kluk P. (2020) Maintenance 4.0 technologies-New opportunities for sustainability driven maintenance. *Management and Production Engineering Review*, svezak 11, br. 2, str. 74–87.
- [3] Cinar, Z.M., et al. (2020) Machine Learning in Predictive Maintenance towards Sustainable Smart Manufacturing in Industry 4. *Sustainability*, svezak 12, br. 19, str. 1-42.
- [4] What is Reactive Maintenance? 3 practical examples (2023).
URL:<https://biblus.accasoftware.com/en/what-is-reactive-maintenance-3-practical-examples/>
(pristupljeno: 2024-02-01)
- [5] Dobrzanski, L.A. (2019) Role of materials design in maintenance engineering in the context of industry 4.0 idea. *Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering*, svezak 96, br. 1, str. 12-49.
- [6] Predictive Maintenance (2023).
URL:<https://www.aegasislabs.com/case-study/predictive-maintenance/>
(pristupljeno: 2024-02-01)
- [7] Sahli, A., Evans, R., Manohar, A. (2021) Predictive Maintenance in Industry 4.0: Current Themes. *Procedia CIRP*, svezak 104, str. 1948-1953.
- [8] Luna, T., et al. (2019). Improving energy efficiency in water supply systems with pump scheduling optimization. *Journal of Cleaner Production*, svezak 213, str. 342-356.
- [9] Negishi, S.; Ikegami, T. (2021) Robust Scheduling for Pumping in a Water Distribution System under the Uncertainty of Activating Regulation Reserves. *Energies* svezak 14, br. 2, 302.

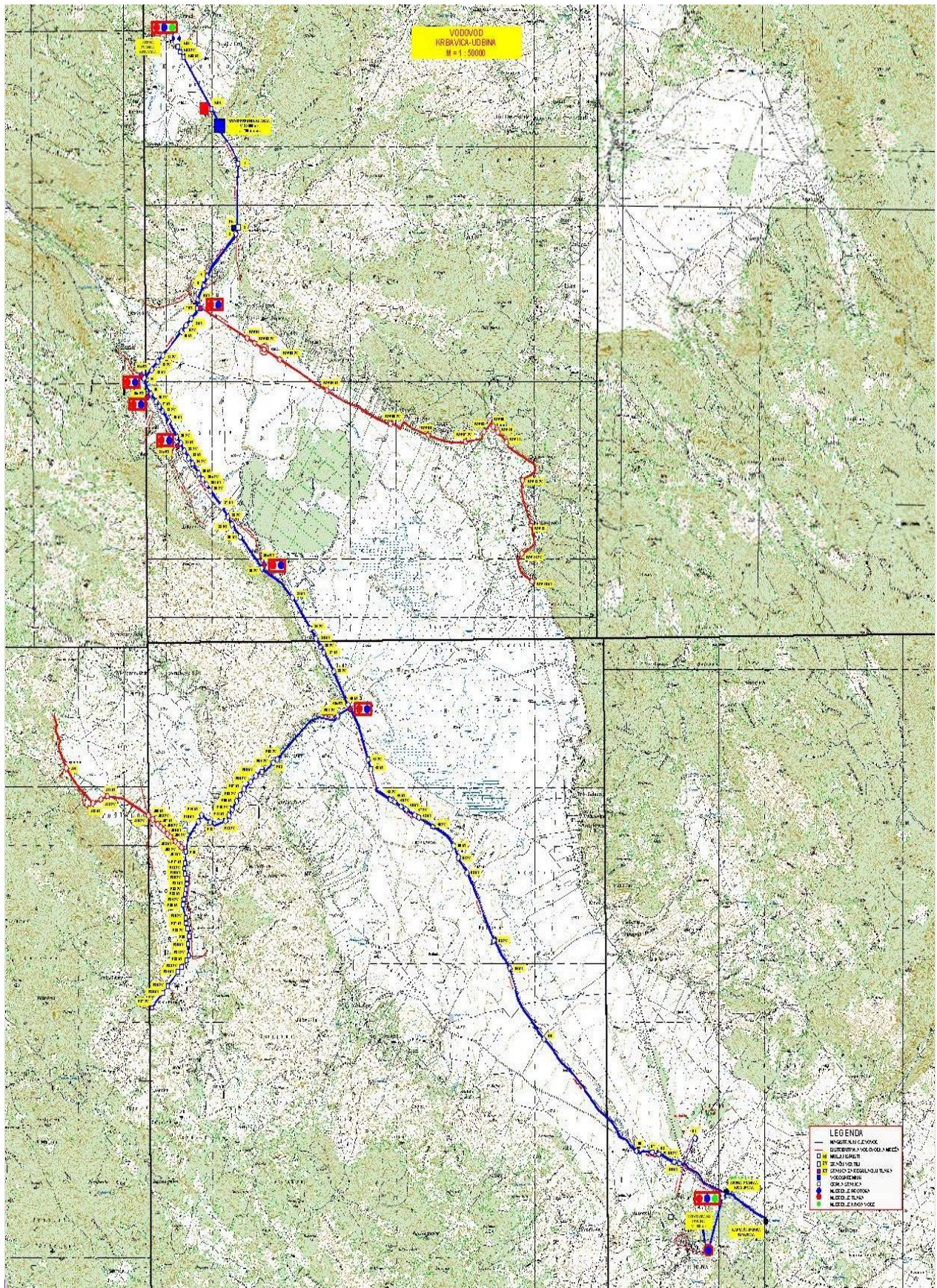
- [10] Operation and Maintenance for Water Supply Systems
URL:<https://www.thewatertreatments.com/water-treatment-filtration/operation-maintenance-water-supply-systems/>
(pristupljeno: 2024-02-04)
- [11] Mohanty, T., & Rout, H. S. (2020). Factors affecting operation and maintenance cost recovery of urban water supply: An evidence from an eastern Indian states. *Journal of Public Affair*, str. 1-13.
- [12] Loska, A. (2015). Modelling of decision-making process using scenario methods in maintenance management of selected technical systems. *International Journal of Strategic Engineering Asset Management*, svezak 2, br. 2, 190.
- [13] Mothetho, M. (2017) Assesment of local water distribution infrastructure management and maintenance challenges. *University of Cape Town*, str. 9-51.
- [14] Carravetta A., M. Ramos, H., Mc Nabola, A. (2020) New Challenges in Water System, *Water*, svezak 12, br. 9, 2340.
- [15] Blokus-Dziula, A. (2023) Operation and Maintenance Cost of Water Management Systems: Analysis and Optimization. *Water*, svezak 15, br.17, 3053.
- [16] Bello, O. (2019) "Solving Management Problems in Water Distribution Networks: A Survey of Approaches and Mathematical Models", *Water*, svezak 11, br. 3, 562.
- [17] Hu, S. (2023) Real-Time Scheduling of Pumps in Water Distribution Systems Based on Exploration-Enhanced Deep Reinforcement Learning. *Systems*, svezak 11, br. 2, 56.
- [18] Sharma, A., Singh. B.J. (2020) Evolution of Industrial Revolutions: A Review. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, svezak, br. 11, str. 66-73
- [19] Grbac, T. et al. (2022) Modeling Complex Software Systems: A Case Study on Sustainable Water Supply Maintenance. *Proceedings, 9th Workshop on Software Quality Analysis, Monitoring, Improvement, and Applications*, str. 1-10.
- [20] Okwori, E., et al. (2021) Data-driven asset management in urban water pipe networks: a proposed conceptual framework. *Journal of Hydroinformatics*, svezak 23, br.5, str. 1014-1029.

- [21] B. Adedeji, et al. (2022) Towards Digitalization of Water Supply Systems for Sustainable Smart City Development—Water 4.0, *Applied sciences*. Svezak 12, br.18, 9174.
- [22] Prince, B. et al. (2020) Introduction to Information Systems, Supporting and Transforming Business. *John Wiley & Sons Canada*, str. 1-20.
- [23] Gorski, E.G. et al. (2022) Towards a smart workflow in CMMS/EAM systems: An approach based on ML and MCDM. *Journal of Industrial Information Integration*, svezak 26, str. 1-12.
- [24] Ansari, F., Glawar, R., Sihm, W. (2020) Prescriptive Maintenance of CPPS by Integrating Multimodal Data with Dynamic Bayesian. *Technologien für die intelligente Automation*, svezak 1, str. 1-8.
- [25] Munirathinam, S. (2020) Industry 4.0: Industrial Internet of Things (IIOT). *Advances in Computers*, svezak 117, br. 1, str. 129-164.
- [26] Kulahri, V. et al. (2019) Analyzing the Tradeoff Between Planning and Execution of Robotics Process Automation Implementation in it Sector. *International Journal of Control and Automation*, svezak 12, br. 1, str. 1-10.
- [27] Gore, S. et al. (2023) Innovations in Smart City Water Supply Systems. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, svezak 11, br. 9, str. 277-281.
- [28] Koo, D.D., Piratla, K.R., Matthews, J.C. (2015) Towards Sustainable Water Supply: Schematic Development of Big Data Collection Using Internet of Things (IoT). *Procedia Engineering*, svezak 118, str. 489-497.
- [29] URL:<https://www.ekonerg.hr/ekonerg/novd.html?nid=1012>
(pristupljeno 2023-12-20)
- [30] URL:<https://www.hgk.hr/centar-inovacije-i-eu-projekte/nacionalne-strategije>
(pristupljeno 2023-12-20)
- [31] Legner, C. (2017) Digitalization: Opportunity and Challenge for the Business and Information Systems *Engineering Community*; svezak 59, str. 301-308.

- [32] Jordan, S., Sternad Zabukovšek, S., Šišovska Klančnik, I. (2022) Document Management System – A Way to Digital Transformation. *Naše Gospodarstvo/Our Economy*, svezak 68, br. 2, str. 43-54.
- [33] J. Auer, D., M.Kkoenke D. (2015) Database Concepts. Global Edition, str. 10-40.
- [34] Gavrikova, E.; Volkova, I.; Burda, Y. (2020) Strategic Aspects of Asset Management: An Overview of Current Research. *Sustainability* svezak 12, br. 15, 5955.
- [35] Enterprise Asset Mangement Solutions
URL: <https://hexagon.com/solutions/enterprise-asset-management>
(pristupljeno 2024-05-01)
- [36] Raghavan R.S., Jayasimha, K.R., Nargundkar, R.V. (2020) Impact of software as a service (SaaS) on software acquisition process. *Journal of Business & Industrial Marketing*, svezak 35, br. 4, str. 757-770.
- [37] HxGN EAM System Overview Guide (2022)
URL: <https://docs.hexagonppm.com/r/en-US/EAM-System-Overview/11.7.1/1261946>
(pristupljeno 2024-05-01)
- [38] Asih, I, Purba, H. P. and Sitorus, T. M. (2020) Key Performance Indicators: A Systematic Literature Review, *Journal of Strategy and Performance Management*, svezak 8, br. 4, str. 142-155.

PRILOZI

- I. Pregledna situacija položajne karte vodovodne mreže
- II. Priprema za bazu podataka objekata održavanja
- II. Priprema za bazu podataka koordinata objekata održavanja



PRILOG II.

Nadređeni	Objekt	Opis objekta	Klasa	Odgovornost	Lokacija
VODOVOD KREAVICA-UDBINA	VODOVOD KREAVICA-UDBINA	VODOVOD Krbavica-Udbina	Sustav	Dane Poznat	Kraljevac d.o.o
40_MI	40_MI-VE01	OKNO 40 mljnog ispusta u oknu odvojka za Podlažje	Okno	Dane Poznat	Okno 40_MI
40_MI	40_MI-VE02	ZASUN na magistralnom dječevodu u oknu 40_MI	Armatura (općenito)	Dane Poznat	Okno 40_MI
VODOVOD KREAVICA-UDBINA RT	40a_RT-AB01	ZASUN mljnog ispusta u oknu 40a_RT	Armatura (općenito)	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-FN01	OKNO 40a_RT-okno regulacije tlaka i odvojak za Podlažje	Okno	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-PL01	BATERIJA akumulatorska u oknu 40a_RT	Baterija akumulatorska	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-NN01	PANELI solarni okna 40a_RT	Solarni paneli	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-NN01-OP01	KONTROLER programibilni logički u razvodnom ormaru	PLC (programibilni logički)	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-NN01-RS01	RAZDIJELNIK glavni okna 40a_RT	Razvod niskonaponski	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-FN01-KR01	ODVODNIK prenapona dovoda nap. okna 40a_RT	Odvodnik prenapona	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-FI01	SKLOPKA rastavna dovoda napajanja sa solarnih panela	Sklopka	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-FI02	TAMPER - otuđenje fotonaponskih panela	Signalizacija	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-FI03	HVATAČ nečistoća na magistralnom dječevodu u oknu 40a_RT	Filter	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-FI04	HVATAČ nečistoća na dječevodu u oknu 40a_RT	Filter	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-MP01	HVATAČ nečistoća na tlačnom dječevodu prema Podlažju	Filter	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-MP01-G01	MJERAČ protoka smjer Udbina u oknu 40a_RT	Mjerač protoka	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-MP02	GREŠKA mjerenja protoka smjer Udbina	Signalizacija	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-MT01	MJERAČ protoka smjer Podlažja u oknu 40a_RT	Mjerač protoka	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-MT02	GREŠKA mjerenja protoka smjer Podlažja	Signalizacija	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-MT03	TLAK na dovodu iz VS Klanac	Mjerač tlaka	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-MT01-G01	GREŠKA mjerenja tlaka na dovodu iz VS Klanac	Signalizacija	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-MT02-G01	TLAK smjer Podlažja nakon redukcijskog ventila	Mjerač tlaka	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-MT02-G01	GREŠKA mjerenja tlaka smjer Podlažja nakon redukcijskog ventila	Signalizacija	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-MT03-G01	TLAK smjer Udbina nakon redukcijskog ventila	Mjerač tlaka	Dane Poznat	Okno 40a_RT
40a_RT	40a_RT-MT03-G01	GREŠKA mjerenja tlaka smjer Udbina nakon redukcijskog ventila	Signalizacija	Dane Poznat	Okno 40a_RT

PRILOG III.

Objekt	Opis objekta	X koordinata	Y koordinata	Z koordinata
VODOTORANJ-DC02	CJEVOVOD distributivni od vodotoranja prema groblju	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-MT01	MJERAČ tlaka na dovodu u vodotoranj	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-NN01	RAZDJELNIK glavni vodotoranja, +R.VS	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-NN01-OP01	ODVODNIK PRENAPONA dovoda napajanja s	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-NN01-OP01-G01	GREŠKA odvodnika prenapona crpilište	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-NN01-OP02	ODVODNIK PRENAPONA dovoda napajanja s	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-NN01-OP02-G01	GREŠKA odvodnika prenapona crpilište	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-NN01-PK01	PREKIDAČ dovoda napajanja s priključnog mjernog	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-NN01-PK01-S01	STATUS glavne sklopke GRO	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-NN01-PN01	PRISUSTVO napona crpilište	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-NN01-SK01	SKLOPKA dovoda napajanja s priključnog mjernog	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-NN01-SK02	SKLOPKA dovoda napajanja s priključnog mjernog	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-NN01-SK03	SKLOPKA dovoda napajanja s priključnog mjernog	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-NN02	RAZDJELNIK utičnica vodotoranja	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-OB01	OBJEKT vodotoranja Udbina	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-OB01-PR01	PROVALA u vodotoranj	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-OG01	OGRADA vodotoranja Udbina	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-PL01	KONTROLER programibilni logički vodotoranja	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-PL01-SP01	STATUS napajanja PLC uređaja i status ispravnosti	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-PV01	PRODOR vode u vodotoranj	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-SK01	STATUS komunikacije s objektom	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-TM01	STANICA telemetrijska vodotoranja	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-VE01	ZASUN na tlačno-gravitacijskom cjevovodu vodotoranja	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-VE02	SLAVINA muljnog ispusta vodotoranja	44.530869	15.771539	849.7
VODOTORANJ-ZM01	ZEMLIŠTE vodotoranja Udbina	44.530869	15.771539	849.7
40_MI	OKNO 40 muljnog ispusta u oknu odvojka za	44.614017	15.674736	631.1
40_MI-VE01	ZASUN na magistralnom cjevovodu u oknu 40_MI	44.614017	15.674736	631.1
40_MI-VE02	ZASUN muljnog ispusta u oknu 40_MI	44.614017	15.674736	631.1
40a_RT	OKNO 40a_RT-okno regulacije tlaka i odvojak za	44.614017	15.674736	631.1
40a_RT-AB01	BATERIJA akumulatorska u oknu 40a_RT	44.614017	15.674736	631.1
40a_RT-FN01	PANELI solarni okna 40a_RT	44.614017	15.674736	631.1
40a_RT-FN01-KR01	TAMPER - otuđenje fotonaponskih panela	44.614017	15.674736	631.1
40a_RT-PL01	KONTROLER programibilni logički u razvodnom	44.614017	15.674736	631.1
40a_RT-NN01	RAZDJELNIK glavni okna 40a_RT	44.614017	15.674736	631.1
40a_RT-NN01-OP01	ODVODNIK prenapona dovoda nap.okna 40a_RT	44.614017	15.674736	631.1
40a_RT-NN01-RS01	SKLOPKA rastavna dovoda napajanja sa solarnih	44.614017	15.674736	631.1
40a_RT-NN01-SR01	REGULATOR predane energije iz solarnih panela	44.704294	15.641586	754.2
40a_RT-FT01	HVATAČ nečistoća na magistralnom cjevovodu u oknu	44.614017	15.674736	631.1
40a_RT-FT02	HVATAČ nečistoća bypass u oknu 40a_RT	44.614017	15.674736	631.1
40a_RT-FT03	HVATAČ nečistoća na cjevovodu ispusta regulatora	44.614017	15.674736	631.1
40a_RT-FT04	HVATAČ nečistoća na tlačnom cjevovodu prema Podlapači u oknu 40a_RT	44.614017	15.674736	631.1