

Primljen / Received: 23.7.2019.

Ispravljen / Corrected: 10.9.2019.

Prihvaćen / Accepted: 20.9.2019.

Dostupno online / Available online: 10.10.2019.

Primjeri trendova u sustavima gospodarenja vodama pod utjecajem naprednih tehnologija

Autori:



¹Doc.dr.sc. **Damir Bekić**
damir.bekic@grad.hr



¹Doc.dr.sc. **Ivan Halkijević**
halkijevic@grad.hr



¹Doc.dr.sc. **Gordon Gilja**
ggilja@grad.hr



¹Prof.dr.sc. **Goran Lončar**
gloncar@grad.hr



¹Doc.dr.sc. **Kristina Potočki**
kpotocki@grad.hr



¹Izv.prof.dr.sc. **Dalibor Carević**
car@grad.hr

¹Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Zavod za hidrotehniku

Pregledni rad

Damir Bekić, Ivan Halkijević, Gordon Gilja, Goran Lončar, Kristina Potočki, Dalibor Carević

Primjeri trendova u sustavima gospodarenja vodama pod utjecajem naprednih tehnologija

Dobivanje pouzdanih i pravovremenih informacija o trenutačnom i o budućem stanju voda omogućava učinkovito upravljanje vodnogospodarskim sustavima. U ovom se radu prikazuju prednosti i izazovi primjene naprednih tehnologija pri prikupljanju, obradi i integraciji podataka unutar nekoliko primjera sustava gospodarenja vodama. Pokazuje se kako napredne tehnologije imaju izraženu učinkovitost u preciznom praćenju različitih fenomena okoliša, u povećanju sigurnosti vodnih resursa i objekata te omogućavaju smanjenje potrošnje vode i energije uz povećanje kvalitete vode.

Ključne riječi:

gospodarenje vodama, napredne tehnologije, Industrija 4.0, informacijski sustav

Subject review

Damir Bekić, Ivan Halkijević, Gordon Gilja, Goran Lončar, Kristina Potočki, Dalibor Carević

Examples of trends in water management systems under influence of modern technologies

Reliable and timely information about the current and future condition of water enables an efficient management of water management systems. Advantages and challenges of the use of modern technologies in the collection, analysis, and integration of data, are presented in this paper by means of several examples of water management systems. It is shown how advanced technologies demonstrate a pronounced efficiency in accurate monitoring of various environmental phenomena and in increasing safety of water resources and facilities, while also enabling low water and energy consumption, with simultaneous increase in water quality.

Key words:

water management, advanced technologies, Industry 4.0, information system

Übersichtsarbeit

Damir Bekić, Ivan Halkijević, Gordon Gilja, Goran Lončar, Kristina Potočki, Dalibor Carević

Beispiele für Trends in Wasserwirtschaftssystemen, die von fortschrittlichen Technologien beeinflusst werden

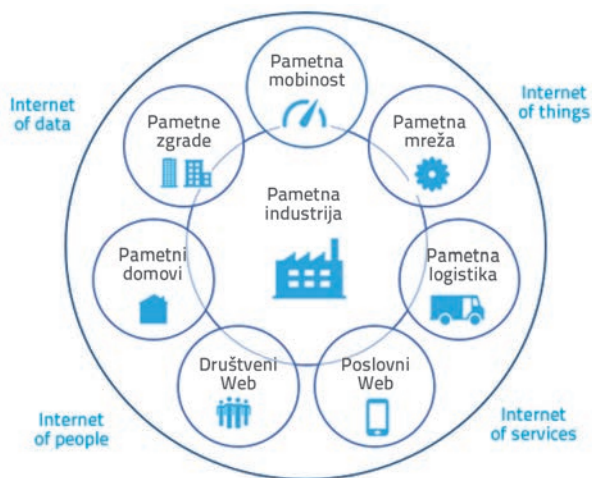
Das Erfassen zuverlässiger und zeitnaher Informationen über den aktuellen und zukünftigen Zustand von Gewässern ermöglicht ein effizientes Management von Wasserwirtschaftssystemen. In dieser Arbeit werden die Vorteile und Herausforderungen der Anwendung fortschrittlicher Technologien für die Erfassung, Verarbeitung und Integration von Daten in mehreren Beispielen von Wassermanagementsystemen beschrieben. Es hat sich gezeigt, dass fortschrittliche Technologien bei der genauen Überwachung verschiedener Umweltphänomene, der Erhöhung der Sicherheit von Wasserressourcen und -objekten sowie der Senkung des Wasser- und Energieverbrauchs und der Erhöhung der Wasserqualität äußerst effektiv sind.

Schlüsselwörter:

Wasserwirtschaft, fortschrittliche Technologien, Industrie 4.0, Informationssystem

1. Uvod

Trenutačni svjetski inženjerski i tehnološki napredak u četvrtoj industrijskoj revoluciji (industrijska 4.0) pokreću inteligentni sustavi i automatizacija procesa. Koncept industrije 4.0 temelji se na integraciji naprednih informacijsko-komunikacijskih tehnologija s mehaničkim sustavima uz određeni oblik automatizacije procesa (slika 1.). Srodni pojmovi konceptu industrije 4.0 su internet stvari (eng. *Internet of Things* - IoT), veliki podatci (eng. *Big Data*), internet usluga (eng. *Internet of Services*), pametna tvornica (eng. *Smart Factory*), itd.



Slika 1. Okruženje koncepta industrije 4.0 s pametnom tvornicom integriranom i umreženom u sustav, prema Smitu i dr. [1]

Razvoj različitih tehnologija u zadnjih 30-ak godina (beskontaktna mjerenja, globalni položajni sustavi - GPS, informacijsko-komunikacijske tehnologije - ICT) omogućili su prikupljanje velikih količina podataka iz različitih senzora u realnom vremenu. IoT tehnologija se tako već primjenjuje u vodnom gospodarstvu (u vodoopskrbi i navodnjavanju, u sustavima obrane od poplava, itd.) i objavljeni su pregledi primjene tehnologija unutar raznih elemenata vodnog gospodarstva (pregled mjerenja [2], monitoringa [3] ili aplikacija [4]). Novi smjerovi razvoja tehnologija, koji utječu na modele gospodarenja vodama, mogu se, prema izvještaju [5], grupirati u sljedeće:

- umanjivanje tehnologija (manji i jeftiniji IoT uređaji i senzori)
- profiliranje novih mobilnih geoprostornih senzorskih platformi (mali sateliti, bespilotne letjelice)
- proširenje komunikacijskih tehnologija i mreža
- napredak u proračunskoj snazi i brzini.

Različiti su pritisci na vodnogospodarske sustave. S jedne strane, sve jači pritisak iz brzorastuće znanosti, tehnologije i globalnih komunikacija donosi nove standarde za poduzeća i organizacije na nacionalnoj i internacionalnoj razini [6], gdje je digitalizacija prepoznata kao glavni pokretač tehnoloških promjena na svim nivoima (od pojedinih poduzeća, do organizacija na državnoj

razini) [1]. S druge strane, sve veće onečišćenje okoliša, klimatske promjene i gubitak bioraznolikosti također uvjetuje uvođenje novih pristupa upravljanju vodnim resursima i infrastrukturnom [7]. Tvrtke su prepoznale ove izazove i očekivanja su da će implementacija naprednih tehnologija biti dobro i održivo rješenje za njih [9].

Primjena novih tehnologija nailazi i na određene izazove. Naime, nemaju sve organizacije mogućnost brze i lake prilagodbe. Nadalje, iskustva unutar Europske unije [1] pokazala su da su za uspjeh koncepta ključni standardizacija sustava, platformi i procesa; promjena organizacije rada i uvođenje novih poslovnih modela; digitalna sigurnost te istraživanje i ulaganje u inovacije. Nove smjernice Svjetske meteorološke organizacije (WMO) [10] također pokazuju da su distribucija i otvorena razmjena informacija te implementacija integriranih informacijskih sustava ključni za učinkovitost sustava globalnog monitoringa i zaštite od prirodnih katastrofa.

S obzirom na složenost sustava gospodarenja vodama i utjecaj različitih pritisaka i izazova, postavlja se pitanje u kojoj su mjeri napredne tehnologije (prikupljanje i prijenos različitih vrsta podataka, informatizacija) našle primjenu unutar pojedinih područja vodnoga gospodarstva te kolika je razina automatizacije procesa (kao glavna prednost koncepta Industrije 4.0) unutar njihovih sustava. Cilj ovog rada nije dati detaljan pregled i sveobuhvatan prikaz svih naprednih tehnologija i njihove primjene u gospodarenju vodama, već kroz holistički pristup pokušati dobiti uvid u način na koji koncept Industrije 4.0 oblikuje i usmjerava tehnološke i društvene promjene u sustavima gospodarenja vodama. To je izrađeno kroz prikaz novih trendova u tehnologiji prikupljanja podataka, metodama obrade i analize podataka, komunikacijskoj infrastrukturi kao i trendovima u potrebnim znanjima i vještinama unutar četiri odabrana područja: vodoopskrba, poljoprivreda, obrana od poplava i oceanografija. Komparativnom usporedbom trendova u odabranim područjima uočene su prednosti i izazovi u široj primjeni naprednih tehnologija u sustavima gospodarenja vodama te su prikazani mogući smjerovi daljnjeg razvoja.

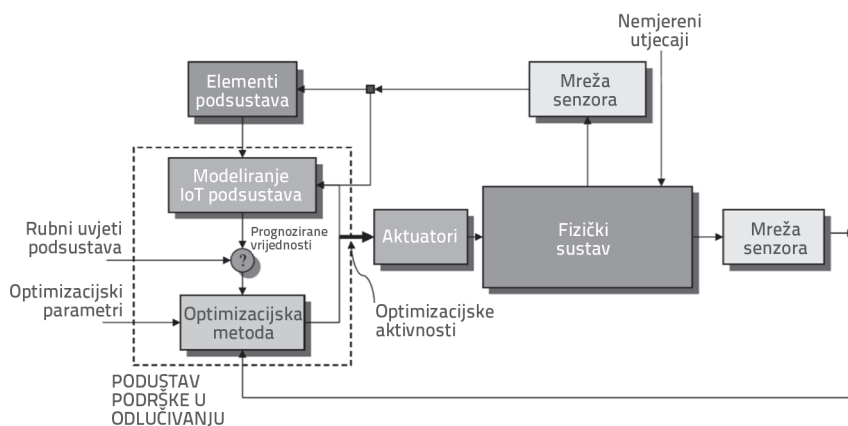
2. Integrirani informacijski sustav gospodarenja vodama

Integrirani informacijski sustav središnje je mjesto koje objedinjuje i povezuje sve elemente i procese unutar sustava. Dosadašnji informacijski sustavi vodama imali su odvojene podsustave (prikupljanje podataka, baza podataka, nadzorno-upravljačka rješenja, GIS aplikacije i aplikacije za potpore odlučivanju) [11]. Integralni informacijski sustav gospodarenja vodama (slika 2.) nadograđuje postojeće sustave te uz izvršne i upravljačke podsustave uključuje i podsustav politika u kojem se definiraju pravila, odgovornosti i specifikacije u svim horizontalnim i vertikalnim procesima i aktivnostima (od prikupljanja i obrade podataka do njihove razmjene) [10]. Sva kompleksnost jednog integriranog sustava gospodarenja

vodama može se uočiti pregledom WMO integriranog globalnog sustava za praćenje (*Integrated Global Observing System - WIGOS*) [12].



Slika 2. Funkcionalne komponente integriranog informacijskog sustava gospodarenja vodama



Slika 3. Arhitektura automatiziranog podsustava potpore odlučivanju [8]

Big Data i IoT su nazivi za prikupljanje i obradu izrazito velikih količina digitalnih podataka u realnom vremenu. U naprednim sustavima podatci se spremaju lokalno i/ili u oblaku uz najčešće bežični prijenos podataka (mobilni internet 2G/3G/LTE ili IEEE 802.X protokol WiFi/Bluetooth/RFID). Aplikacijski sloj se sastoji od platformi za podršku podsustavima i platformi za računalstvo u oblaku (*Online analytical processing - OLAP* i sl.), a služi za pohranu, obradu i dijeljenje podataka i drugih informacija dobivenih iz senzora, uređaja i web-usluga. Aplikacijski sloj je gornja razina i predstavlja konačni izvršni zadatak integriranog informacijskog sustava.

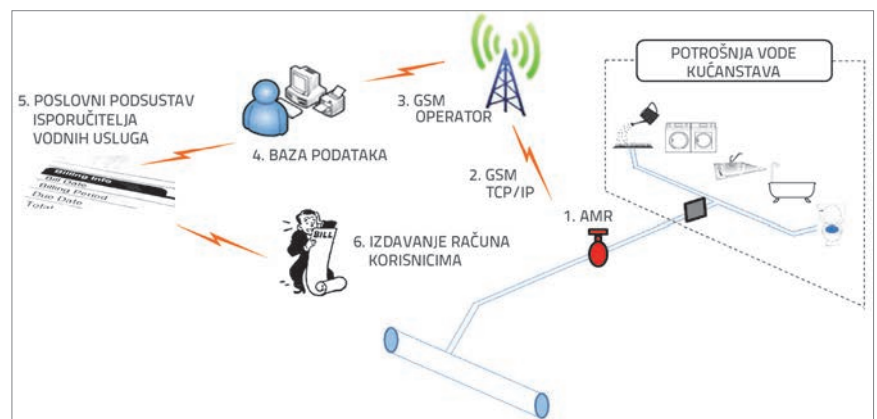
Jedna od prednosti integriranih sustava je provođenje numeričkih proračuna fizičkog

sustava u sadašnjem (simulacije sustava) ili budućem (prognoze sustava) vremenu kao potpora donošenju odluka o upravljanju fizičkim sustavom. Djelomična ili potpuno automatizirana potpora odlučivanju (slika 3.) omogućava provođenje optimizacijskih proračuna s obzirnom na predefinirane upravljačke ciljeve i scenarije. Automatizacija procesa kod manjih sustava i kod jedne organizacije nije toliko složena. No u međunarodnom okruženju drugačiji su izazovi gdje fleksibilnost i proširenost u upravljanju i razmjeni podataka postaju osnove funkcije za održivost informacijskih platformi [10].

3. Odabrana područja

3.1. Napredne tehnologije u vodoopskrbnim sustavima

Dosadašnji razvoj vodoopskrbnih sustava rezultirao je razvojem dvaju odvojenih podsustava, a to su: nadzorno-upravljački podsustav (eng. *Supervisory Control And Data Acquisition - SCADA*) i podsustav praćenja poslovanja s naglaskom na evidenciju računa krajnjih korisnika. SCADA rješenja imaju različiti stupanj automatizacije (ručno ili daljinsko-automatsko upravljanje), a komunikacija SCADA-e i objekata vodoopskrbnog sustava je obično bežična (GSM ili lokalna Wi-Fi mreža), slika 4. Primjena koncepta četvrte industrijske revolucije (industrija 4.0) u okviru urbanih vodnih sustava (vodoopskrba i odvodnja) omogućila je horizontalnu integraciju fizičkih (građevine) i nefizičkih (računalne) dijelova sustava te višekriterijsku optimizaciju rada sustava.

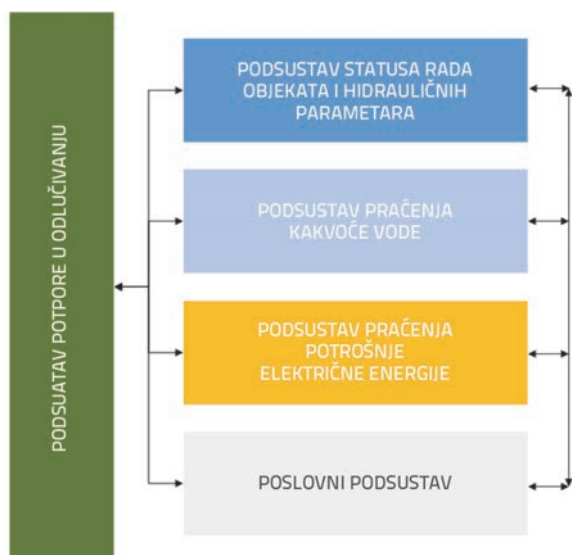


Slika 4. Suvremeni podsustav evidencije računa primjenom automatskog daljinskog očitavanja vodomjera (AMR) uz bežični prijenos podataka [9]

U pametnim kućama (eng. *Smart Home*) podatci iz širokog raspona senzora se intranetom prenose do mrežne aplikacije koja daljinskim upravljanjem na izljevnim mjestima (tuš, vrtna prskalica, sudoper, perilica, WC i dr.) omogućava kontrolu potrošnje vode i električne energije kao i sigurnosni nadzor u kućanstvu (u slučaju nastanka kvara i puknuća) te praćenje parametara kakvoće vode. U pametnim javnim vodoopskrbnim sustavima podatci se prikupljaju raznim sensorima na fizičkim elementima (objekti i oprema) vodoopskrbnog sustava, a iako se infrastruktura uglavnom nalazi ispod razine tla, integriraju se i podatci iz daljinskih istraživanja, pa tako postoje:

- podsustav objekata (SCADA) koji mjeri tlak i protok u mreži, razinu vode u vodospremama, količinu vode (zahvaćena, preuzeta, na priključcima), status i nepravilnosti rada objekata i opreme (odstupanja od redovitih pogonskih parametara ili u slučaju prestanka rada)
- podsustav praćenja kakvoće vode koji mjeri temperaturu vode, koncentraciju slobodnog rezidualnog klora, pH vrijednost vode
- podsustav praćenja potrošnje električne energije koji prikuplja potrošnju po tarifnom modelu na objektu i opremi, vršnu snagu, jalovu energiju, produkciju CO_{2eq}
- monitoring daljinskim istraživanjima (termografija, višestruki satelitski snimak, mikrogravitacijski poremećaji) koji prikuplja podatke o pojavi i lokaciji puknuća cijevi [13].

Svi prikupljeni podatci se bežičnom ili svjetlovodnom mrežom dostatnog kapaciteta, npr. DWDM (eng. *Dense Wavelength Division Multiplexing*) prenose do informacijskog centra s aplikacijama (slika 5.). Aplikacijom se obavlja kontrola podataka i njihovo geopozicioniranje s objektima sustava u GIS-u te tako formira integrirana baza podataka. Uz izvršne podsustave, integrirani sustav javne vodoopskrbe uključuje podsustav potpore odlučivanju, poslovni informacijski podsustav kao i druge podsustave (slika 5.).



Slika 5. Shematski prikaz integriranog sustava javne vodoopskrbe

U podsustavu potpore odlučivanju se radi kontrole i optimizacije analizira postojeće stanje i različita prognostička stanja sustava u budućnosti (utjecaj planiranih aktivnosti na sustav) (slika 3.). Optimalno rješenje može se dobiti iz prognostičkih simulacija na hidrauličkom numeričkom modelu vodoopskrbne mreže za niz scenarija uz zadovoljenje pogonskih ograničenja. Potporu odlučivanju mogu dati i ekspertni sustavi s prethodnom bazom pogonskih pravila rada sustava u određenim uvjetima kao formalizirani oblik znanja stručnjaka vještaka.

Neki primjeri implementacije IoT rješenja u vodoopskrbi uključuju automatizirani nadzor punjenja vodospreme putem integracije SCADA sustava s programskim logičkim kontrolerima (PLC) temeljenim na neizravnoj logici [14], nadzor ilegalnog priključivanja na vodoopskrbnu mrežu i krađe vode [15], kontrola potrošnje električne energije [16], nadzor kakvoće vode i optimizacija količine raspoložive vode vodozahvata [17] te optimizacije sustava po pojedinim parametrima.

3.2. Precizna poljoprivreda

Precizna poljoprivreda odnosi se na poljoprivredne sustave koji koriste napredne tehnologije za prikupljanje i analizu različitih setova podataka uz automatizaciju rada i donošenja odluka. Budući da su sustavi navodnjavanja najveći potrošači vode, za održivo gospodarenje vodama važno je učinkovito upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom.

U preciznoj poljoprivredi podatci dolaze iz niza izvora (senzori na tlu, GPS, daljinska istraživanja), a poljoprivredni strojevi pod utjecajem industrije 4.0 u radu koriste podatke s nekog senzora. Nove tehnologije prikupljanja podataka uključuju nanobiotehnologije i modularne senzorske platforme. Nanobiomaterijalima se kemijski signal iz biljaka transformira u digitalni podatak koji se onda dalje konvencionalnim putem prenosi čime se nadilaze fizička ograničenja senzora [18]. Mikrokontroleri temeljeni na Arduino platformi pokazali su se jeftinim i prilagodljivim rješenjem [19] jer mogu koristiti različita napajanja, upariti više različitih senzora te lokalno spremati podatke uz istovremeni bežični prijenos [20]. Za monitoring usjeva na širem području učinkovita su rješenja s jeftinim i energetski učinkovitim IoT sensorima u kombinaciji s bežičnim senzorskim mrežama (eng. *wireless sensor networks* - WSN) te primjena daljinskih istraživanja. Multispektralne satelitske snimke pokazale su se pouzdane za monitoring evapotranspiracije, sušnih dijelova poljoprivrednih površina, pH vrijednosti tla, manjka hranjivih tvari i razvoja bolesti [21-23], a LiDAR snimke za karakterizaciju volumena i gustoće biljnog sklopa [24]. Društvene mreže su novi masovni izvor podataka gdje se informacije o bolestima (fotografija biljaka, kratki opis bolesti, GPS lokacija) u realnom vremenu prikupljaju neposredno od korisnika [25], a što uz geopozicioniranje podataka omogućava praćenje širenja bolesti.

Nekoliko je primjera uspješne integracije koncepta industrije 4.0 i informacijskih poljoprivrednih sustava. *SmartFarmNet* [26] je globalno najširi informacijski poljoprivredni sustav

koji aplikacijom u oblaku omogućava ocjenu stanja usjeva i daje preporuke za gospodarenje usjevima na temelju IoT platforme automatiziranog prikupljanja i obrade podataka na mjestu nastanka te prognoze potreba za svaku pojedinu kulturu i parcelu zasebno. *mySense* [22] je informacijski sustav otvorenog koda koji integrira različite senzore na tlu bazirane na Arduino i RaspberryPi platformi te IoT uređaju SPWAS'18 (eng. *Solar Powered Wireless Acquisition Station*), a aplikacijom u oblaku omogućava prikaz, obradu i dijeljenje podataka u realnom vremenu te rano upozorenje pomoću Python skripte. *AgriPrediction* [27] omogućava rano upozorenje o potencijalnim nepovoljnim prilikama temeljem analize podataka s mreže bežičnih senzora prikupljene s LoRa WSN tehnologijom i procjene stanja ARIMA (eng. *autoregressive integrated moving average*) modelom kliznih srednjaka. *SWAMP* [28] aplikacija omogućava precizno navodnjavanje kontrolom zalih i potrošnje vode u realnom vremenu korištenjem niz IoT senzora. Debauche i dr. [29] predstavili su poluautomatizirano upravljanje pivot sustavima navodnjavanja koji potrebe za vodom računa na temelju mjerenja vlažnosti tla, GIS mapiranja i koeficijenta kulture, a serije fotografija i zvuk s kamere u središtu pivota omogućavaju monitoring stanja usjeva i detekciju kvarova na mehaničkoj opremi. Naknadna obrada različitih setova podataka zahtijevaju napredne algoritme i sustav odlučivanja, poput strojnog učenja ili neuralnih mreža, koji su pokazali pogodnost u analizi složenih veza u vodnom gospodarstvu [30]. *SMART-Farm Tool* [31] procjenjuje održivost poljoprivrednih sustava višekriterijskom analizom iz FAO-Safa smjernica gdje se ulazni podatci grupiraju u niz potpodručja s pripadnim ciljevima i indikatorima te težinskim udjelima indikatora.

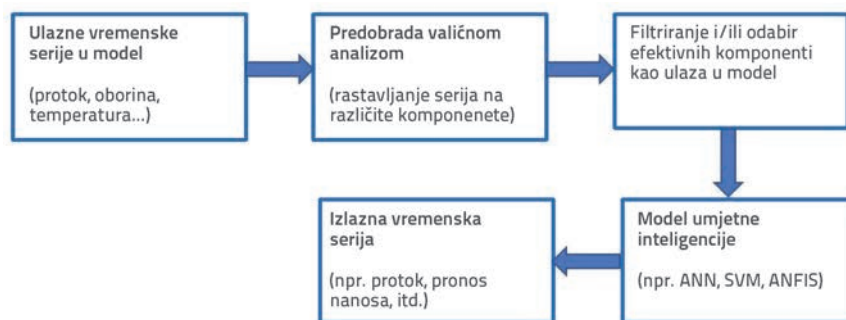
3.3. Napredne tehnologije u obrani od poplava

Rizik od poplava definira se kao kombinacija vjerojatnosti pojave poplavnog događaja i potencijalnih štetnih posljedica, a poplave s najvećim utjecajem imaju riječne poplave i poplave u urbanim sredinama koje karakterizira mala učestalost (stohastička priroda) i velike štete. Mjerenja na mreži meteoroloških i hidroloških postaja predstavljaju pouzdan, gotovo kontinuirani i dugovremeni set podataka različitih varijabli na poziciji mjerenja (protok, vlažnost tla, oborine, itd.). Hidrometeorološki podatci s mreže postaja predstavljaju osnovu za kalibraciju daljinskih istraživanja i testiranje novih algoritama i tehnika [21], a dojava podataka u realnom vremenu, zajedno s prognozama numeričkih atmosferskih modela, uvelike povećava pouzdanost operativnih prognoza velikih voda. Uz nacionalne mreže, mnogo je udruga i inicijativa kojima se prikupljaju i šalju automatizirana hidrometeorološka mjerenja u realnom vremenu s često otvorenim pristupom (npr. <http://pljusak.com>, radioamateri).

Za potrebe obrane od poplava u novije vrijeme koriste se različiti izvori, kao što su fotografije i filmovi iz zraka (sateliti, dronovi), LiDAR snimke, IoT senzori, GPS podatci, fotografije na tlu (mobitel, nadzorne kamere) i numeričke simulacije [3]. Pojedinci direktno objavljuju mnoštvo podataka (fotografije s mobilnih telefona i web-kamera, lokacije, opisi) o različitim fenomenima, uključivo prirodne katastrofe i poplave, na društvenim mrežama i blogovima. Pokazuje se da novije tehnologije imaju veliku primjenu u različitim fazama upravljanja prirodnim katastrofama: od monitoringa, detekcije katastrofa i prevencije njihovih šteta, preko pripremnih aktivnosti za vrijeme događaja, sve do aktivnosti oporavka nakon štetnih događaja [5].

Izraziti je trend povećanja količine geoprostornih podataka u realnom vremenu iz daljinskih istraživanja. U Zemljinoj orbiti sve je veći broj malih satelita, koji su male mase, lako se lansiraju i postavljaju u orbitu, i zahvaljujući novoj tehnologiji mogu izvršavati zadatke za koje su do sada bili potrebni veliki sateliti. U samo zadnje dvije godine 2017.-2018. lansirano je novih 835 satelita, a do 2030. godine očekuje se ukupno oko 2000 malih satelita u Zemljinoj orbiti. Smanjenje cijene nabave drona značajno je povećao njihov broj te količinu različitih podataka za poslovne i privatne svrhe.

Integracija niza podataka o fizičkim varijablama okoliša (iz zraka, s tla, s društvenih mreža) s njihovim lokacijama omogućila je operativni monitoring i precizno mapiranje različitih fenomena (meteorološki poremećaji, poplavljene površine, ugroženi objekti, klizišta, uragani, tsunamiji, akcidentna zagađenja) u gotovo realnom vremenu, te uz često javno dostupne rezultate monitoringa i analiza (primjerice *European Flood Awareness System - EFAS*, *Global Flood Awareness System - GloFAS*). No eksponencijalno povećanje broja geoprostornih podataka s vremenskim oznakama zahtijeva i nove načine obrade i prikaze masovnih podataka u realnom vremenu [32]. U hidrološkim analizama potrebno je izraditi i asimilaciju podataka te ocijeniti interakciju između različitih hidroloških procesa. U operativnim hidrološkim prognostičkim sustavima tradicionalno se koriste fizikalno utemeljeni hidrološko-hidraulički numerički modeli (primjerice model LISFLOOD), a potreba za sve većom procesorskom snagom rješavana je uparivanjem CPU jedinica u računalne klastere.

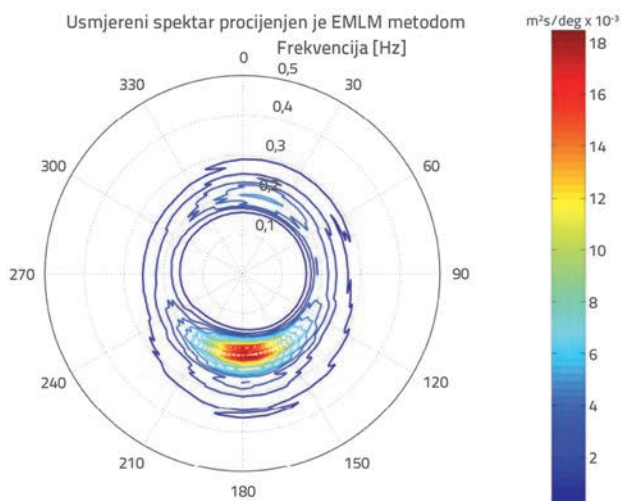


Slika 6. Dijagram tijeka izrade modela umjetne inteligencije (AI) s predobradom ulaznih podataka primjenom valične transformacije [36]

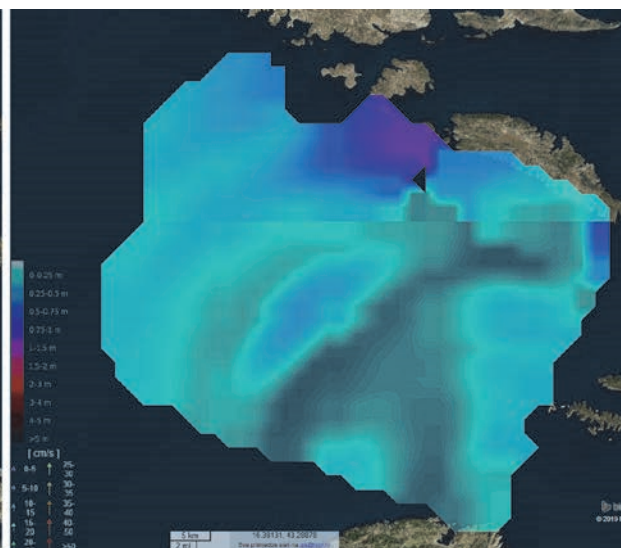
Novije tehnike numeričkih modela uključuju modele u oblaku (komercijalni ili otvorenog koda) i modele bazirane na višestrukim GPU jezgrama. Alternativni pristupi u hidrološkim prognozama odnose se na modele temeljene na masovnim podacima, a uključuju korištenje naprednih analitičkih tehnika (duboko učenje, analizu putem računala u oblaku, integriranu geostatistiku [33]) i modela temeljenih na umjetnoj inteligenciji (AI modeli). AI modeli pokazali su se uspješnim u modeliranju kompleksnih međudnosa hidroloških varijabli (oborine-otjecanje, pronos nanosa, podzemne vode, itd.) [34]. Metoda valične transformacije tako se koristila u predobradi podataka kod AI prognostičkih modela protoka i pronosa suspendiranog nanosa u vodotocima [35, 36] te u predobradi podataka iz satelita i radara [37]. Slika 6 prikazuje shemu izrade hibridnog AI modela s predobrdom signala ulaznih serija primjenom valične transformacije.

3.4. Napredne tehnologije u oceanografiji

Oceanografske varijable (morski valovi, brzine morskih struja, temperatura, salinitet mora itd.) te meteorološke varijable (brzina vjetrova, temperatura, oborine) važne su okolišne varijable koje utječu na različite aspekte gospodarenja morem: sigurnost ljudi i infrastrukture, morski i lučni promet, ekološki aspekti (izlijevanje nafte, balastne vode, nutrijenti iz rijeka i površinskih dotoka). Monitoring na morima se tradicionalno provodi točkastim mjerenjima (CTD sonde, ADCP uređaji) uz naknadnu obradu podataka, pa beskontaktno dobivanje oceanografskih podataka u realnom vremenu s prostornom komponentom ima posebnu važnost. Autonomna mjerna plutača Waverider DATAWELL DWR MKIII šalje mjerenja valova na računalo na obali antenskim prijenosom podataka (HF antena - RX-C prijamnik) i omogućava prikaz i analizu mjerenja u realnom vremenu

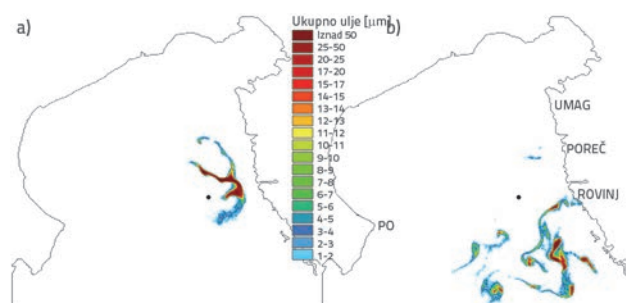


Slika 7. Mjerna plutača Waverider DATAWELL DWR MKIII ispred grada Rijeke u periodu 2009.-2010., postavljanje plutače i izmjereni usmjereni spektar valne energije (u realnom vremenu)



Slika 8. Rezultati monitoringa VF radarom na otoku Šolti: polje površinskih morskih struja (lijevo) i polje vjetrovnih valova (desno)

s bilo koje lokacije na moru (slika 7.). Hrvatski hidrografski institut (HHI) ima u planu postavljanje sedam ovakvih plutača u priobalnom području, a u budućnosti bi pokrivenost bila i veća. Noviji beskontaktni načini mjerenja morskih struja i valova odnose se na primjenu radara na kopnu i satelitskih mjerenja. Novi obalni VF radari omogućavaju prostorni monitoring površinskih brzina morskih struja i parametara vjetrovnih valova u realnom vremenu (slika 8.) na području od 40 x 40 km s prostornom rezolucijom od 1,5 km te vremenskom od jednog sata [38]. Na Jadranskom moru se provode inicijalna postavljanja ovakve tehnologije u okviru projekata HAZADR i NASCUM.



Slika 9. Polje naftnog onečišćenja nakon incidentnog izlivanja nafte (6.2.2008. 6:00 h): a) 240 h; b) 480 h [39]

Zbog kompleksnosti gospodarenja na moru razvijena je međunarodna platforma Maritime Situation Awareness (MSA) [40] za uspostavu integracije mjerenja i obrade oceanografskih podataka te diseminacije podataka različitim sustavima potpore odlučivanju. U slučaju da ne postoji stalna mreža oceanografskog monitoringa, za dobivanje dinamike morskih struja i valova [41], dinamike pronosa onečišćenja [39] ili dinamike pronosa klorofila-a [42], primjenjuju se numerički modeli, ali samo za specifične lokacije i za potrebe pojedinih projekata (slika 9.). Primjena numeričkih modela na povijesne podatke o vjetru može dati dugovremenu bazu podataka (10 do 15 godina) o morskim strujama i valovima s vremenskom rezolucijom od jedan do tri sata. Učinkovitost primjene strojnog učenja pokazala se visokom kod kratkoročnih prognoza valnih visina iz izmjerenih i/ili numerički modeliranih podataka o vjetru [43, 44], a time se smanjuje proračunsko vrijeme u usporedbi s numeričkim modelima (ovakve prognoze korisne su u okviru MSA koncepta).

4. Rasprava

Pregledom novih trendova unutar odabranih područja lako se uočava niz prednosti njihove implementacije. Napredne tehnologije omogućile su detaljniji i precizniji prostorno-vremenski monitoring svih vodnih sustava i pratećih objekata, kao i njihov sigurnosni nadzor (npr. kvarovi infrastrukture, preventivne mjere, akcidentna zagađenja, pomorski promet, itd.). Vizualizacija geoprostornih podataka omogućila je jasno uočavanje promjena i migracije regionalnih okolišnih fenomena

uz često otvorene platforme (EFAS, GloFas). Prilagodljive integrirane informacijske platforme u oblaku (komercijalne, otvorenog koda) s gotovo automatiziranim upravljačkim aplikacijama (potpora odlučivanju, optimizacija rada sustava) u realnom vremenu i podrškom krajnjem korisniku omogućile su kako povećanje učinkovitosti sustava (smanjenje potrošnje vode i energije u vodoopskrbi i navodnjavanju, povećanje prinosa) tako i povećanje kvalitete vode.

U Republici Hrvatskoj, nakon pristupanja Europskoj uniji, došlo je do šire primjene različitih zasebnih i integriranih naprednih informacijskih rješenja u nizu vodnogospodarskih sustava. Primjena ICT tehnologije rezultirala je razvojem nadzorno-upravljačkih (SCADA) podsustava unutar sustava vodoopskrbe [45] i upravljanja hidroelektranama [46]. Precizna poljoprivreda pronalazi se u sustavu navodnjavanja nove loze [47], automatiziranoj gnojdbi s integracijom navigacije i izračunu vegetacijskog indeksa u realnom vremenu [48]. Informacijski sustavi (kao npr. "Field Watcher") pružaju podršku poljoprivrednicima za prikupljanje georeferenciranih snimaka s integriranom "DroneDeploy" platformom za mapiranje dronovima ili sustav "SmartRain" za praćenje i planiranje navodnjavanja kroz analizu podataka i optimizaciju. Unutar sustava obrane od poplava uspješno se provodi postavljanje operativnih sustava hidroloških prognoza (kao npr. FRISCO1 Geoportal [49], modernizacija hidroloških postaja (projekt VEPAR), kao i modernizacija sustava meteorološkog monitoringa (projekt METMONIC).

Organizacije iz prikazanih odabranih vodnih područja imaju različite potrebe, ciljeve i dionike. Ipak, razvidno je da implementacija naprednih informacijskih sustava, iako korisna za organizacije, nije moguća bez unapređenja ICT infrastrukture i znanja [50]. Nadalje, primjeri pokazuju da veće organizacije (poljoprivrednici) u značajnijoj mjeri implementiraju napredne tehnologije i u proizvodnji uglavnom već primjenjuju digitalnu tehnologiju (a nadogradnja u IoT povezan sustav je logičan slijed razvoja), naspram manjih organizacija (poljoprivrednika) koji češće ne ostvaruju potreban povrat početnih ulaganja (IoT senzori, softverske aplikacije, tehnička podrška). Zlonamjerno preuzimanje i manipuliranje podacima uzrokuje velike negativne financijske i funkcionalne posljedice tako da sigurnost podataka predstavlja važan aspekt za različite procese unutar informacijskog sustava i organizacija. Vodni inženjeri se svakodnevno susreću s potrebom sve većih ulaganja u održavanje postojećih infrastrukturnih objekata i ulaganja u povećanje svojih tehničkih i stručnih kapaciteta, a što često nije dovoljno prepoznato u nacionalnim strategijama i politikama. Nekoliko je izazova koji ograničavaju širu primjenu novih tehnologija u vodnom gospodarstvu. U mnogim državama prisutno je kontinuirano smanjenje broja meteoroloških i hidroloških postaja u mreži [51]. Potrebe su za dodatnim usklađivanjem u monitoringu kakvoće vode između globalne i lokalne razine [52]. Kod satelitskih tehnika izazovi predstavljaju pokrivenost oblacima i noćni preleti (za senzore u vidljivom spektru) te nedovoljno razvijeni algoritmi za pretvorbu nekih

signala u varijable, a za monitoring brzoformirajućih fenomena ograničenja predstavljaju periodi preleta satelita (između 1 i 15 dana) [52]. Nedovoljan kapacitet (bandwidth) i gustoća telekomunikacijskih mreža predstavljaju ograničenje u razvoju naprednih sustava u zemljama u razvoju. Standardizacija je aktualni izazov za automatizaciju procesa u međunarodnom okruženju [1, 52], a u sustavima koji pokrivaju nekoliko država (hidrološki i oceanografski modeli) usklađena razmjena podataka je ključan segment (*Manual on the Global Data-processing and Forecasting System* od WMO-a [53], *INSPIRE inicijativa* Europske unije, *Open Geospatial Consortium* OGC platforma). Neispravan razvoj informacijskih sustava je uobičajeni problem u zemljama u razvoju, gdje se prikupljanje i obrada podataka obično projektira necentralizirano (u više agencija i ministarstava), a što je sasvim neprikladno za donošenje operativnih upravljačkih odluka (primjerice za potrebe obrane od poplava) [6].

U svim područjima vodnog gospodarstva izraziti je trend povećanja različitih senzora na tlu i iz zraka, kao i broja podataka s društvenih mreža, a trend smanjivanja senzora (jeftiniji IoT uređaji, mini sateliti) i dalje će se nastaviti. Očekuje se ubrzani razvoj algoritama i AI modela za učinkovitu obradu i prikaz sve većeg broja podataka iz satelitskih snimaka. Velik napredak siguran je u monitoringu teže pristupačnih i do sada neistraženih područja integracijom podataka s novih senzora iz zraka i pristupačnim IoT sensorima na tlu. U poljoprivrednoj proizvodnji očekuje se povezivanje različitih elemenata naprednih sustava [4] (integracija točkastih i prostornih podataka i velikih podataka), ali se šira primjena naprednih tehnologija predviđa uglavnom od strane većih poljoprivrednika. Unutar sustava obrane od poplava očekuje se integracija podataka s društvenih mreža i izmjerenih podataka (na tlu, iz zraka) u realnom vremenu, pri čemu će modeli temeljeni na statistici (duboko učenje, AI modeli) i modeli u oblaku zauzimati sve više prostora u odnosu na modele temeljene na fizici procesa. Na hrvatskoj obali nedovoljan je broj senzora, pa se može očekivati povećanje broja mjernih stanica i povezivanje različitih izvora podataka s numeričkim oceanografskim modelima. Sadašnji napredak iniciran je i potpomognut izrazitim razvojem komunikacijskih tehnologija, a prijenos velikih količina podataka u vrlo kratkom vremenu sigurno će ići u korak s razvojem bežične ICT infrastrukture i računarstva u oblaku. U rješavanju informacijske

sigurnosti i integriteta podataka predviđa se šira upotreba "Blockchain" rješenja kao naprednije računalne tehnologije. Za učinkovito iskorištenje svih potencijala naprednih tehnologija u budućnosti potrebno je pažljivo definirati strategiju razvoja informacijskog sustava i specifikacije svih pojedinih podsustava (aplikacije otvorenog koda, modeli, lokacije podataka, itd.). S obzirom na nepredvidivost budućeg razvoja tehnologija a uz zahtjev održivosti sustava, modularne i prilagodljive informacijske platforme mogu imati svojih prednosti spram zatvorenih sustava.

5. Zaključak

U ovom radu prikazane su prednosti i izazovi u prikupljanju, obradi, analizi i integraciji podataka naprednim tehnologijama u vodoopskrbnim i poljoprivrednim sustavima kao i u upravljanju poplavnim rizicima i oceanografiji. Eksponencijalan je rast broja mjerenja s malih senzora na tlu, na objektima i iz zraka te se zajedno s podatcima s društvenih mreža u kratkom vremenu geoprostorno integriraju, analiziraju i vizualiziraju. Izuzetno povećanje broja i izvora podataka usmjerava dosadašnje desktop i klaster modele bazirane na fizici procesa prema modelima u oblaku i modelima strojnog učenja. Informacijski sustavi omogućili su detaljniji i precizniji prostorno-vremenski monitoring svih vodnih sustava, sigurnosni nadzor sustava te učinkovito provođenje pripremi i zaštitnih mjera na kopnu i moru, a optimizacijski algoritmi i gotovo automatizirano upravljanje omogućili su smanjenje potrošnje vode i energije uz povećanje prihoda i kvalitete vode. Veliki napredak siguran je u monitoringu teže pristupačnih i do sada neistraženih područja integracijom podataka s novih senzora iz zraka i pristupačnim IoT sensorima na tlu. Paralelno s tehnološkim napretkom, dešava se starenje vodnogospodarskih i infrastrukturnih građevina i sve izraženiji utjecaj klimatskih promjena i ekstremnih meteoroloških prilika, a u čemu se lakše snalaze poduzeća koja se kontinuirano razvijaju i ulažu u povećanje svojih kapaciteta. Zaključuje se da napredne tehnologije i integrirani informacijski sustavi mogu dati učinkovite odgovore na klimatske promjene i koncept održivosti u području korištenja, zaštite i upravljanja vodama, ali samo uz pravilno koncipirane sustave i neprekidna ulaganja u razvojne kapacitete organizacija.

LITERATURA

- [1] Smit J., Kreutzer S., Moeller C., Carlberg M.: *Industry 4.0 - Study for the ITRE Committee*, Policy Department A: Economic and Scientific Policy, 2016.
- [2] Cominola, A., Giuliani, M., Piga, D., Castelletti, A.: *Benefits and challenges of using smart meters for advancing residential water demand modeling and management: A review*, *Environmental Modelling and Software*, 72 (2015), pp. 198-214, 2015.
- [3] Yu, M., Yang, C., Li, Y.: *Big Data in Natural Disaster Management: A Review*, *Geosciences*, 8 (2018), 165.
- [4] Brezinščak, L., Mesić, M.: *Review of software applications for agricultural production in Croatia*, *Agronomski glasnik*, 80 (2018) 2, 129-142.
- [5] *Federal Geographic Data Committee. Emerging Technologies and the Geospatial Landscape. A Report of the National Geospatial Advisory Committee*: <https://www.fgdc.gov/ngac/meetings/dec-2016/ngac-paper-emerging-technologies-and-the.pdf>, pristup 20.7.2019.

- [6] Skoulidakis, C., Filali-Meknassi, Y., Aureli, A., Amani A., Jiménez-Cisneros, B.E.: Information-Communication Technologies as an Integrated Water Resources Management (IWRM) Tool for Sustainable Development (Chapter), Achievements and Challenges of Integrated River Basin Management, editor Dejan Komatina, IntechOpen, pp. 180-200, 2018.
- [7] Norma HRN EN ISO 140001:2015 - Sustavi upravljanja okolišem, 2015.
- [8] Barnett, M.: Real-time automation of water supply and distribution for the city of Jacksonville, Florida, USA, EICA, 9 (2004), pp. 15-29.
- [9] Koo, D., Piratla, K., Matthews, C.J.: Towards Sustainable Water Supply: Schematic Development of Big Data Collection Using Internet of Things (IoT), *Procedia Engineering*, 118 (2015), pp. 489-497.
- [10] Technical Regulations - Basic Documents No. 2 - Volume I - General Meteorological Standards and Recommended Practices, World Meteorological Organization, 2018.
- [11] Fang, S., Xu, L.D., Zhu, Y., Ahati, J., Pei, H., Yan, J., Liu, Z.: An Integrated System for Regional Environmental Monitoring and Management Based on Internet of Things, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10 (2014) 2, pp. 1596-1605.
- [12] Manual on the WMO Information System (WMO-No. 1060), World Meteorological Organization, 2018.
- [13] NASA Explores Our Changing Freshwater World, <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/nasa-investigates-our-changing-water-world>, pristup 20.7. 2019.
- [14] Mancharkar, A., Kulthe, R., Shewale, I.: Automated Water Distribution System for Smart City Using PLC and SCADA, *International Journal of Emerging Technologies and Engineering*, 3 (2016) 3, pp. 11-16.
- [15] Tamilselvan, G.M., Ashishkumar, V., Prasath, S.J., Yusuff, S.M.: IoT Based Automated Water Distribution System with Water Theft Control and Water Purchasing System, *Journal of Recent Technology and Engineering*, 7 (2018) 45, pp. 151-156.
- [16] Kara, S., Karadirek, I.E., Muhammetoglu, A., Muhammetoglu, H.: Real time monitoring and control in water distribution systems for improving operational efficiency, *Desalination and water treatment*, 57 (2016) 25, pp. 11506-11519.
- [17] Westphal, K.S., Vogel, R.M., Kirshen, P., Steven, C.C.: A Decision Support System for Adaptive Water Supply Management, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129 (2003) 3, pp. 165-177.
- [18] Giraldo, J.P., Wu, H., Newkirk, G.M., Kruss, S.: Nanobiotechnology approaches for engineering smart plant sensors, *Nature Nanotechnology*, 14 (2019) 6, pp. 541-553.
- [19] Kasama, T., Koide, T., Bula, W.P., Yaji, Y., et al.: Low Cost and Robust Field-Deployable Environmental Sensor for Smart Agriculture, 2nd International Symposium on Devices, Circuits and Systems, Hiroshima, Japan, pp. 1-4, 2019.
- [20] Bekić, D., Kerin, I., Cahill, P., Michalis, P., Laphorne, J., Šolman, H., Gilja, G., Potočki, K., Pakrashi, V., McKeogh, E.: BRIDGE SMS - Innovative Solution for Management of Bridges Over Water, 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure - CETRA 2018, Zadar, Croatia, pp. 57-63, 2018.
- [21] Ivezić, V., Bekić, D., Horvat, B.: Modelling of Basin Wide Daily Evapotranspiration with a Partial Integration of Remote Sensing Data, *Atmosphere*, 9 (2018) 4, pp. 120.
- [22] Morais, R., Silva, N., Mendes, J., Adão, T., et al.: mySense: A comprehensive data management environment to improve precision agriculture practices, *Computers and Electronics in Agriculture*, 162 (2019), pp. 882-894.
- [23] Barković, Đ., Radočaj, D., Zrinjski, M., Gašparović, M.: Analiza mogućnosti primjene bespilotnih letjelica u preciznoj poljoprivredi, 11. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije, Opatija, Hrvatska, pp. 110-115, 2018.
- [24] Llop, J., Gil, E., Llorens, J., Miranda-Fuentes, A., et al.: Testing the Suitability of a Terrestrial 2D LiDAR Scanner for Canopy Characterization of Greenhouse Tomato Crops, *Sensors*, 16 (2016) 9.
- [25] Saravanan, M., Perepu, S.K.: Realizing Social-Media-Based Analytics for Smart Agriculture, *The Review of Socionetwork Strategies*, 13 (2019) 1, pp. 33-53.
- [26] Jayaraman, P.P., Yavari, A., Georgakopoulos, D., Morshed, A., et al.: Internet of Things Platform for Smart Farming: Experiences and Lessons Learnt, *Sensors*, 16 (2016) 11.
- [27] dos Santos, U.J.L., Pessin, G., da Costa, C.A., da Rosa Righi, R.: AgriPrediction: A proactive internet of things model to anticipate problems and improve production in agricultural crops, *Computers and Electronics in Agriculture*, 161 (2019), pp. 202-213.
- [28] Kamiński, C., Soininen, J.P., Taumberger, M., Dantas, R., et al.: Smart Water Management Platform: IoT-Based Precision Irrigation for Agriculture, *Sensors*, 19 (2019) 2.
- [29] Debauche, O., El Moulat, M., Mahmoudi, S., Manneback, P., et al.: Irrigation pivot-center connected at low cost for the reduction of crop water requirements, *International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet)*, Marrakech, Morocco, pp. 1-9, 2018.
- [30] Berbić, J., Ocvirk, E., Gilja, G.: Comparison of supervised learning methods for prediction of monthly average flow, *GRAĐEVINAR*, 70 (2018) 8, pp. 643-656, <https://doi.org/10.14256/JCE.2102.2017>
- [31] Schader, C., Baumgart, L., Landert, J., Muller, A., et al.: Using the Sustainability Monitoring and Assessment Routine (SMART) for the Systematic Analysis of Trade-Offs and Synergies between Sustainability Dimensions and Themes at Farm Level, *Sustainability*, 8 (2016) 3.
- [32] Bekić, D., Bašić, K., Kulić, T., Bunić, D., Sekovanić, L., Šlehta, T., Tošić, I.: Operativni sustav „MuraDrava-FFS“ kao pomoć pri upravljanju dravskim hidroelektranama za vrijeme velikih voda, 7. Hrvatska konferencija o vodama - Hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode, Opatija, Hrvatska, pp. 133-142, 2019.
- [33] Gilja, G., Ocvirk, E., Kuspilić, N.: Joint probability analysis of flood hazard on river confluences using bivariate copulas, *GRAĐEVINAR*, 70 (2018) 4, pp. 267-275, <https://doi.org/10.14256/JCE.2173.2017>
- [34] Kunštek, D., Petraš, J., Potočki, K.: Elaboration of CRRS models using GIS and GA technology calibrated at Botonega catchment, *Technical Gazette*, 17 (2010) 4, pp. 425-433.
- [35] Adamowski, J.F.: Development of a short-term river flood forecasting method for snowmelt driven floods based on wavelet and cross-wavelet analysis, *Journal of Hydrology*, 353 (2008) 3, pp. 247-266.
- [36] Potočki, K., Gilja, G., Kunštek, D.: An overview of the applications of wavelet transform for discharge and suspended sediment analysis, *Tehnicky vjesnik*, 24 (2017) 5, pp. 1561-1569.
- [37] Nanda, T., Sahoo, B., Beria, H., Chatterjee, C.: A wavelet-based non-linear autoregressive with exogenous inputs (WNARX) dynamic neural network model for real-time flood forecasting using satellite-based rainfall products, *Journal of Hydrology*, 539 (2016), pp. 57-73.
- [38] Corgnati, L. P. et al.: Implementation and Validation of the ISMAR High-Frequency Coastal Radar Network in the Gulf of Manfredonia (Mediterranean Sea), *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 44 (2019) 2.

- [39] Lončar, G., Leder, N., Paladin, M.: Numerical modelling of an oil spill in the northern Adriatic, *Oceanologia*, 54 (2012) 2, pp. 143-173.
- [40] Pleskachevsky, A., Jacobsen, S., Tings, B., Schwarz, E.: Estimation of sea state from Sentinel-1 Synthetic aperture radar imagery for maritime situation awareness, *International Journal of Remote Sensing*, pp. 4104-4142, 2019.
- [41] Loncar, G., Carevic, D., Ocvirk, E.: Numerical and physical modelling studies for the port of Split, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Maritime Engineering*, 164 (2011) 3, pp. 95-114.
- [42] Lončar, G., Andročec, V., Bekić, D.: Numerical analysis of sea quality in the northern Adriatic area, *Annual 2015 of the Croatian Academy of Engineering*, 22 (2015), pp. 41-53.
- [43] Berbić, J., Ocvirk, E., Carević, D., Lončar, G.: Application of neural networks and support vector machine for significant wave height prediction, *Oceanologia*, 59 (2017) 3, pp. 331-349.
- [44] Zhang, X., Dai, H.: Significant wave height prediction with the CRBM-DBN model, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 36 (2019) 3, pp. 333-351.
- [45] Vodovod i kanalizacija d.o.o. Karlovac: Nadzorno-upravljački centar, <https://www.vik-ka.hr/vodopskrba/nuc-nadzorno-upravljacki-centar.html>, pristup 20.7.2019.
- [46] Strnad, I., Štefan, Ž.: Centar vođenja hidroelektrana na rijeci Dravi u Hrvatskoj ukorak s vremenom i tehnologijama, 9. PIES Zbornik 2016, Ljubljana, pp. 28-36, 2016.
- [47] Zovko, M., Žibrat, U., Knapič, M., Bubalo Kovačić, M., Romić, D.: Hyperspectral remote sensing of grapevine drought stress, *Precision Agriculture*, 20 (2019) 2, pp 335-347.
- [48] Rapčan, I., Jurišić, M., Plaščak, I., Barač, Ž., Zimmer, D. Bognar, M.: Gnojidba pšenice u sustavu precizne poljoprivrede, *Agronomski glasnik*, 80 (2018) 3, 163-172.
- [49] FRISCO1 Geoportal, <https://geodhmz.dhz.hr>, pristup 20.7.2019.
- [50] United Nations, Data-Pop Alliance: Big Data for Resilience: Realising the Benefits for Developing Countries, Synthesis report, 2015.
- [51] Fekete, B.M., Robarts, R.D., Kumagai, M., Nachtnebel, H.P., Odada, E., Zhulidov, A.V.: Time for in situ renaissance, *Science*, 349 (2015), pp. 685-686.
- [52] Lawford, R.G.: A Design for a Data and Information Service to Address the Knowledge Needs of the Water-Energy-Food (W-E-F) Nexus and Strategies to Facilitate Its Implementation, *Frontiers in Environmental Science*, 2019.
- [53] Manual on the Global Data-processing and Forecasting System (WMO-No. 485), World Meteorological Organization, 2018.