



PILOT PODRUČJE BOKANJAC-POLIČNIK

opis sliva, monitoring podzemnih voda, analiza korištenja zemljišta i procjena ranjivosti

KK.05.1.1.02.0022 - Projekt sufinancira Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj

Nositelj projekta: Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Trajanje projekta: 2020. - 2022.

VARAŽDIN – ZAVRŠNA KONFERENCIJA PROJEKTA
23. siječnja 2023.



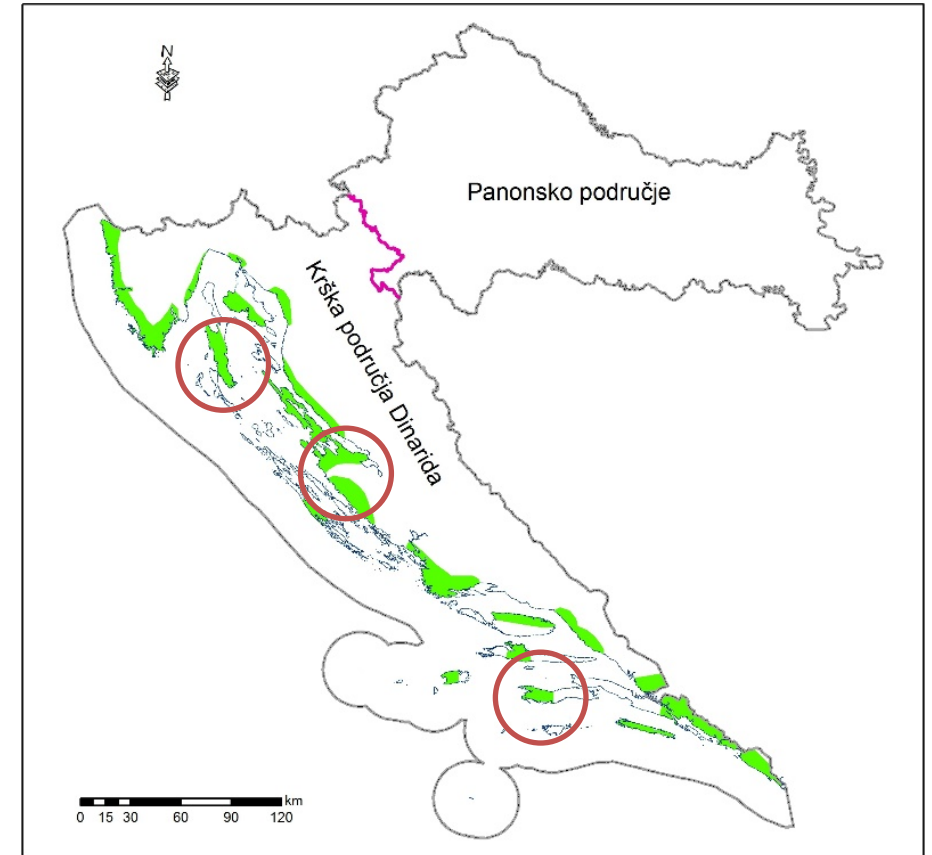
REPUBLIKA HRVATSKA
Ministarstvo regionalnoga razvoja
i fondova Europske unije



Operativni program
KONKURENTNOST
I KOHEZIJA

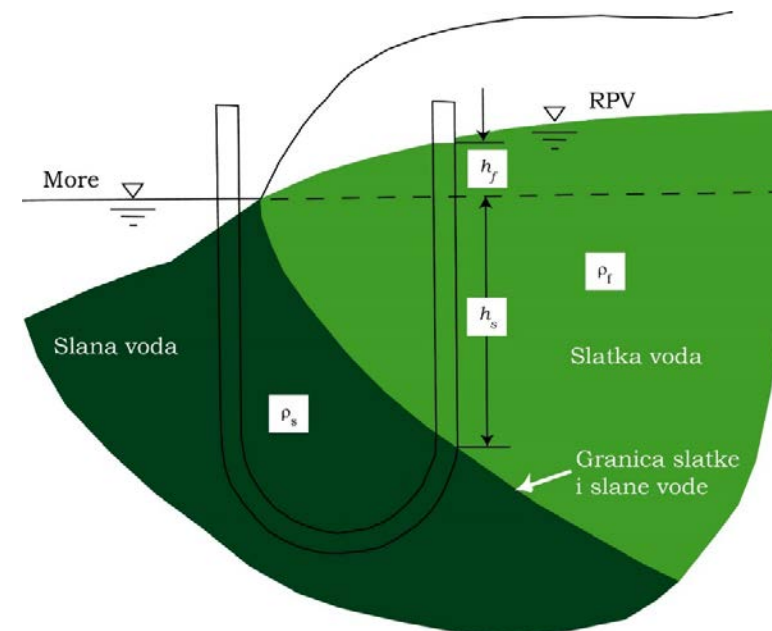
ZASLANJENJA PRIOBALNIH VODONOSNIKA

- Problemi povremenog zaslanjivanja priobalnih vodonosnika prisutni gotovo duž cijelog obalnog područja
 - Istraživanja vezana uz izvore i objekte uključene u javnu vodoopskrbu
 - Na nekim izvorima i u potpuno prirodnim uvjetima istječe bočata voda (Blaz, Pantan,...)
 - U projektu UKV – istraživanja na tri pilot područja



GHYBEN-HERZBERGOV ZAKON

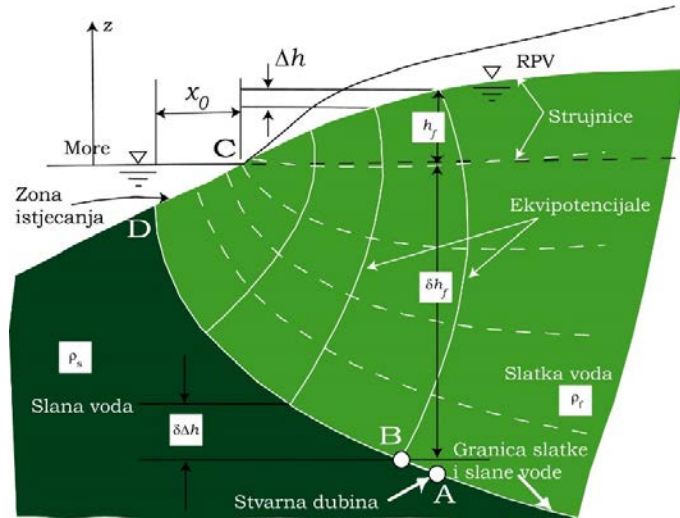
- G-H zakon vrijedi za stacionarne uvjete za pješčane otoke
 - Za 1 m nadsloja slatke vode iznad srednje razine mora – možemo očekivati oko 40 m slatke vode ispod srednje razine mora
- U priobalnim krškim vodonosnicima Dinarida ne vladaju takvi uvjeti, ali se G-H zakon koristi kao gruba aproksimacija



$$h_s = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \equiv \delta h_f$$

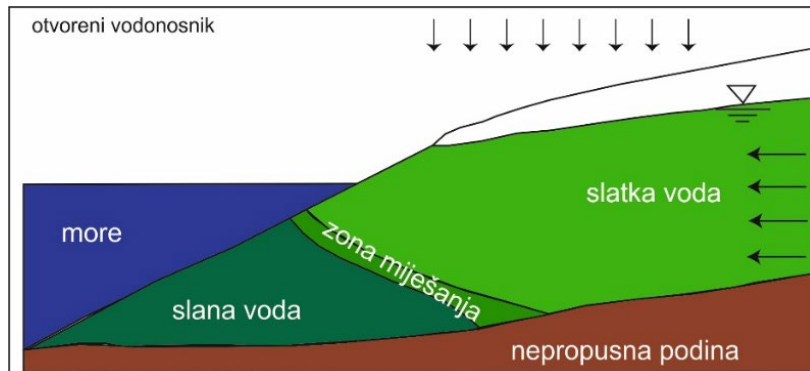
- h_s debljina sloja slatke vode ispod srednje razine mora (m)
- h_f debljina sloja slatke vode iznad srednje razine mora (m)
- ρ_s gustoća slane vode (kg/m^3)
- ρ_f gustoća slatke vode (kg/m^3)
- δ odnos gustoća slatke i slane vode (≈ 40)

- U stvarnosti – situacija u vodonosniku znatno kompliciranija – nisu stacionarni uvjeti



- Granica slane i slatke vode nije oštra granica (koristi se u matematičkim aproksimacijama) → formira se zona miješanja

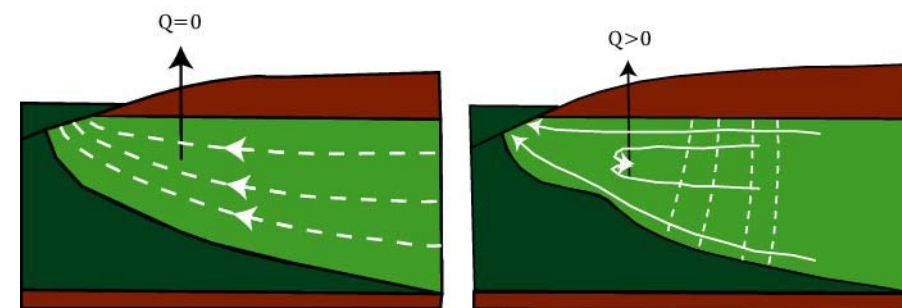
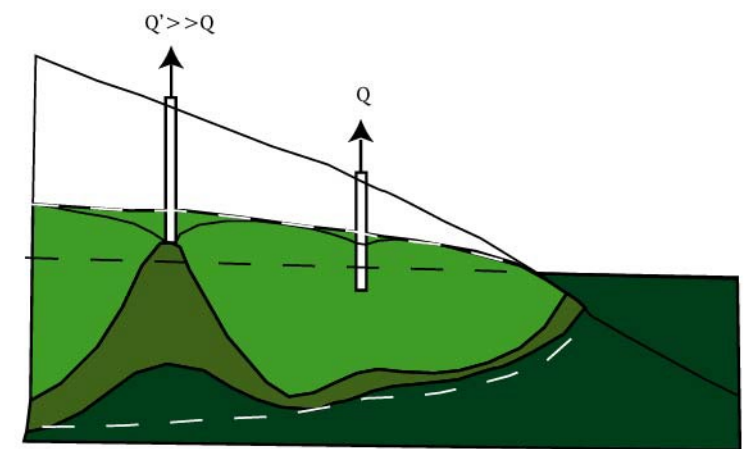
- Za efikasno korištenje i zaštitu vrlo bitno poznavanje dinamike zone miješanja -> **istraživanja na projektu UKV usmjerena na poznavanje dinamike zone miješanja**



- Vanjski utjecaji koji znatno mogu utjecati na položaj i ponašanje zone miješanja:

- Klimatske promjene

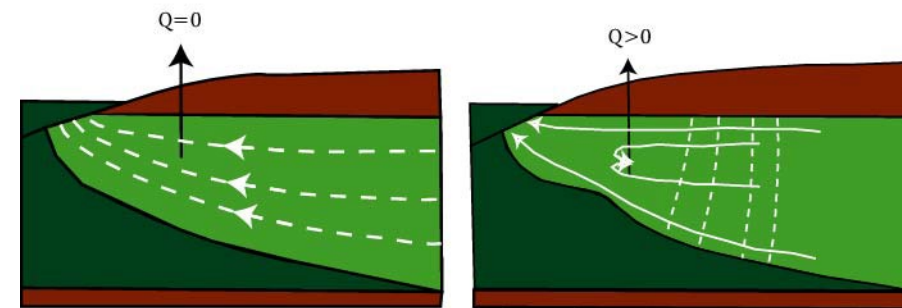
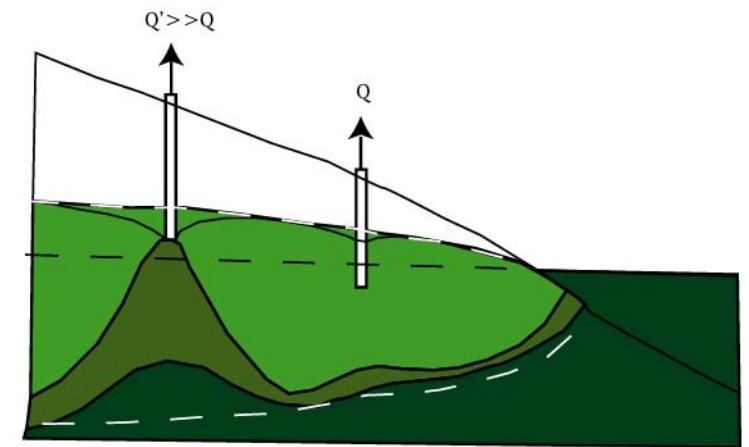
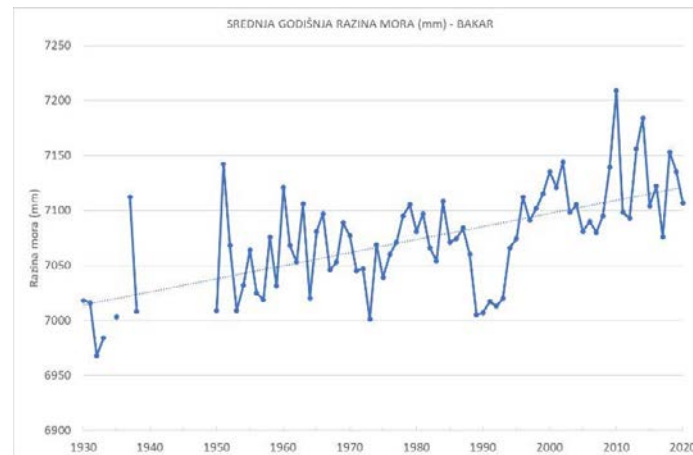
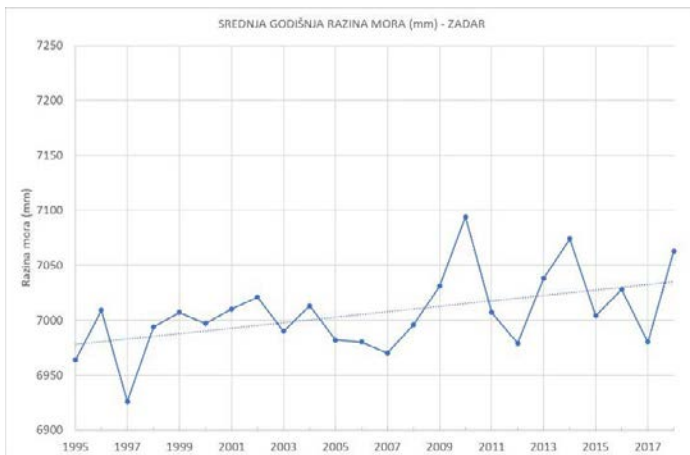
- Smanjeni dotoci u slivu, infiltracija
- Promjena razine mora (podizanje razine mora)
- Prekomjerno crpljenje



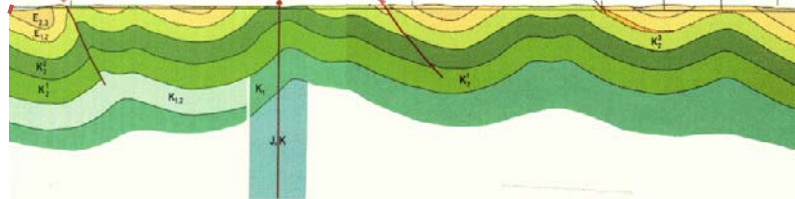
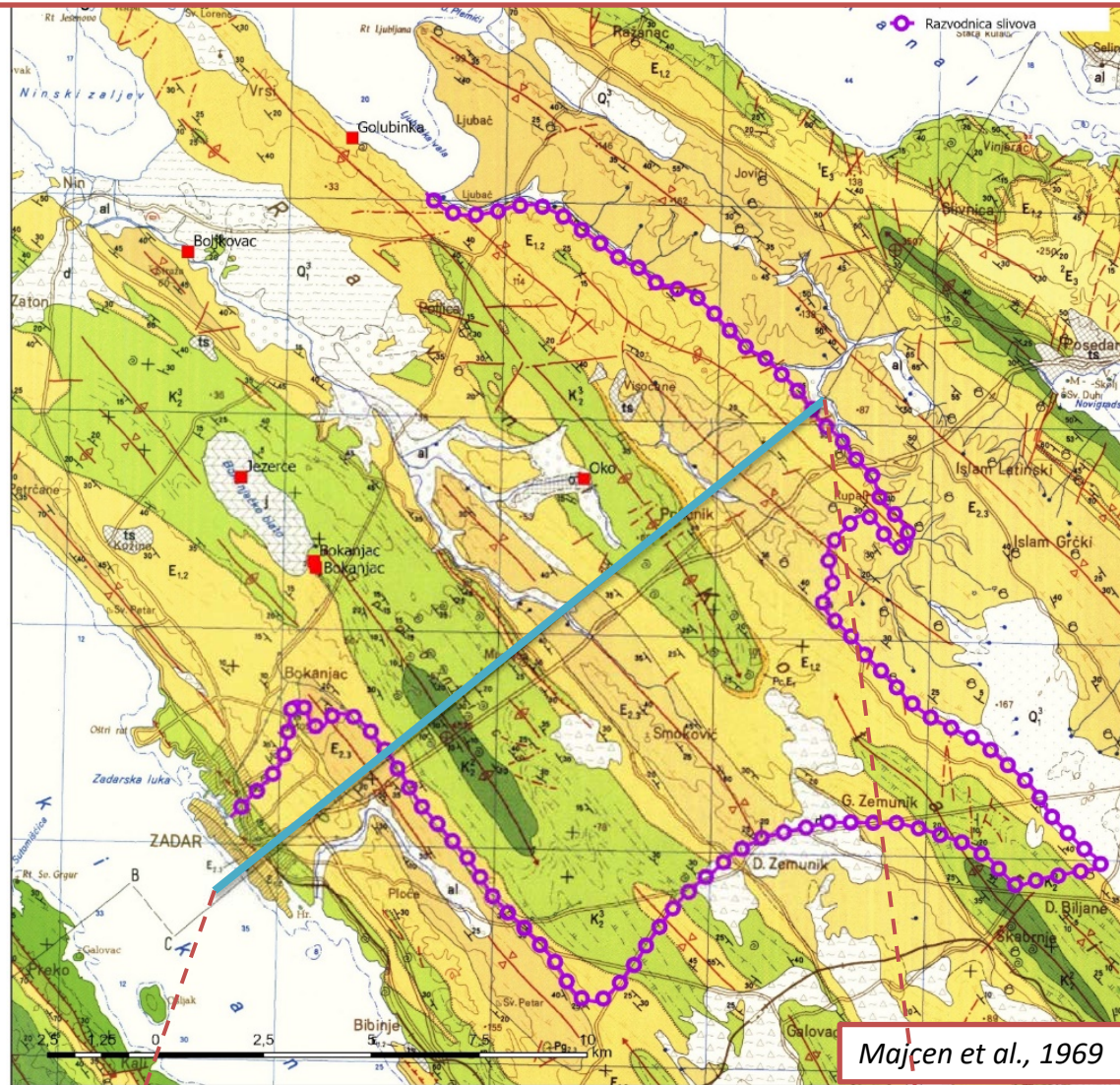
- Vanjski utjecaji koji znatno mogu utjecati na položaj i ponašanje zone miješanja:

- Klimatske promjene

- Smanjeni dotoci u slivu, infiltracija
- **Promjena razine mora (podizanje razine mora)**
- Prekomjerno crpljenje

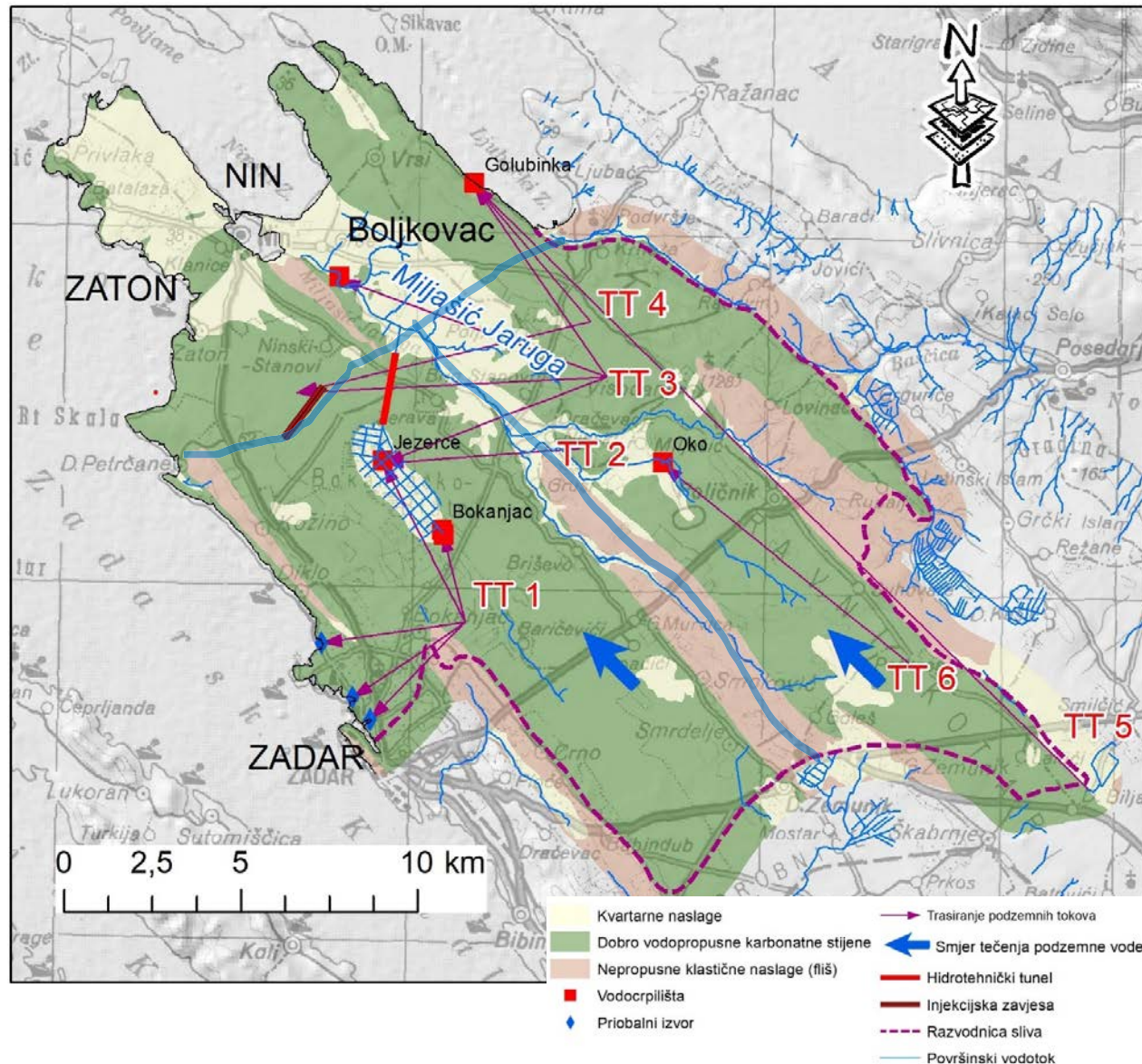


SLIV BOKANJAC-POLIČNIK – geološki opis



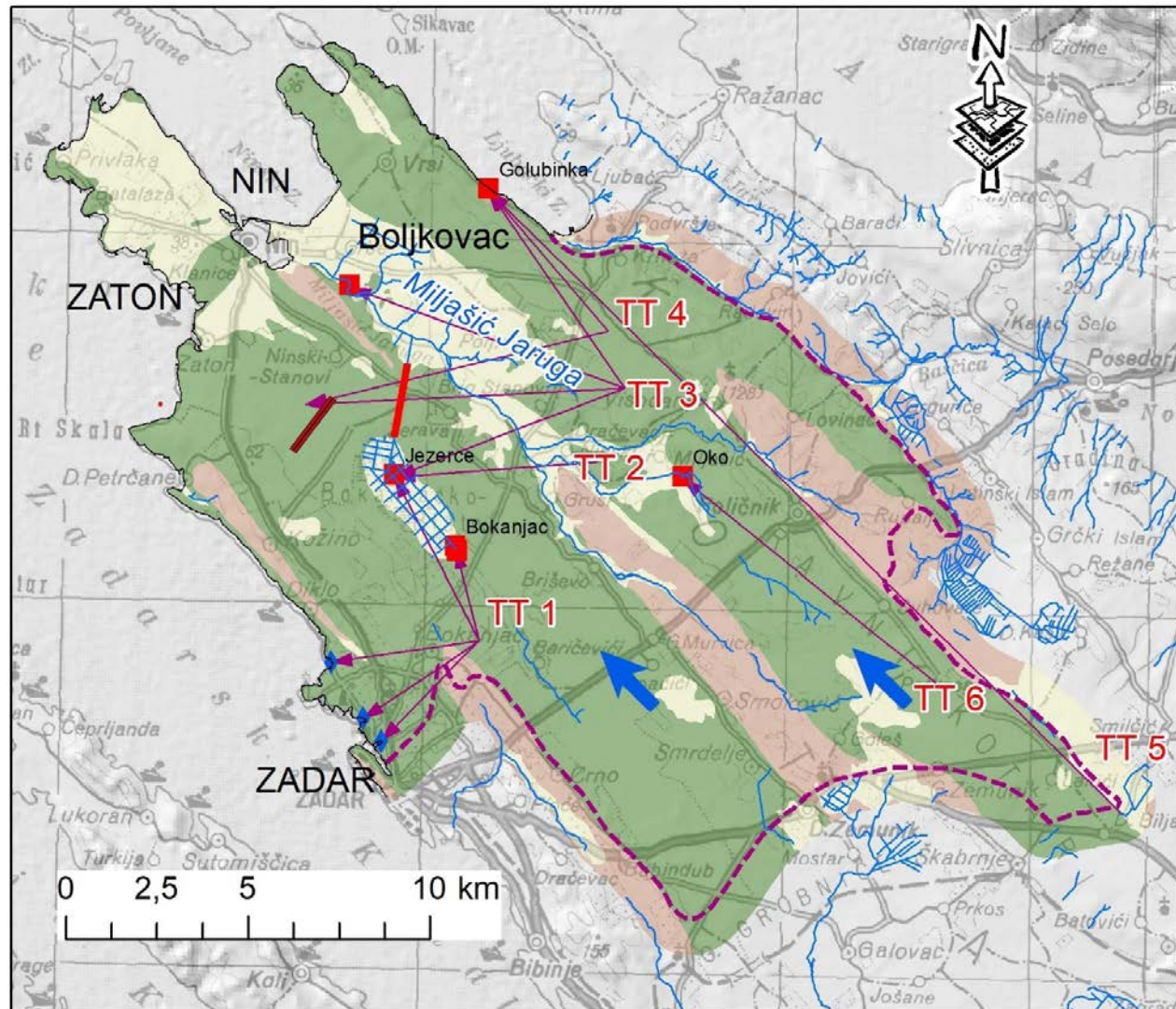
- Najstarije stijene – **rudistni vapnenci** (K_2^2 , K_2^3) – nalaze se u jezgrama antiklinalnih struktura
- Transgresivno na njima – tanko uslojeni vapnenci tzv. **Liburnijske naslage** (P_c , E_1) koje kontinuirano prelaze u **foraminiferske vapnence** ($E_{1,2}$)
- Na njima kontinuirano taložene **fliške naslage** ($E_{2,3}$)
- **Kvartarne naslage** – pijesci, crvenica, jezerski i barski sedimenti (Bokanjačko blato), deluvijalne i aluvijalne naslage

SLIV BOKANJAC-POLIČNIK – određivanje granice sliva



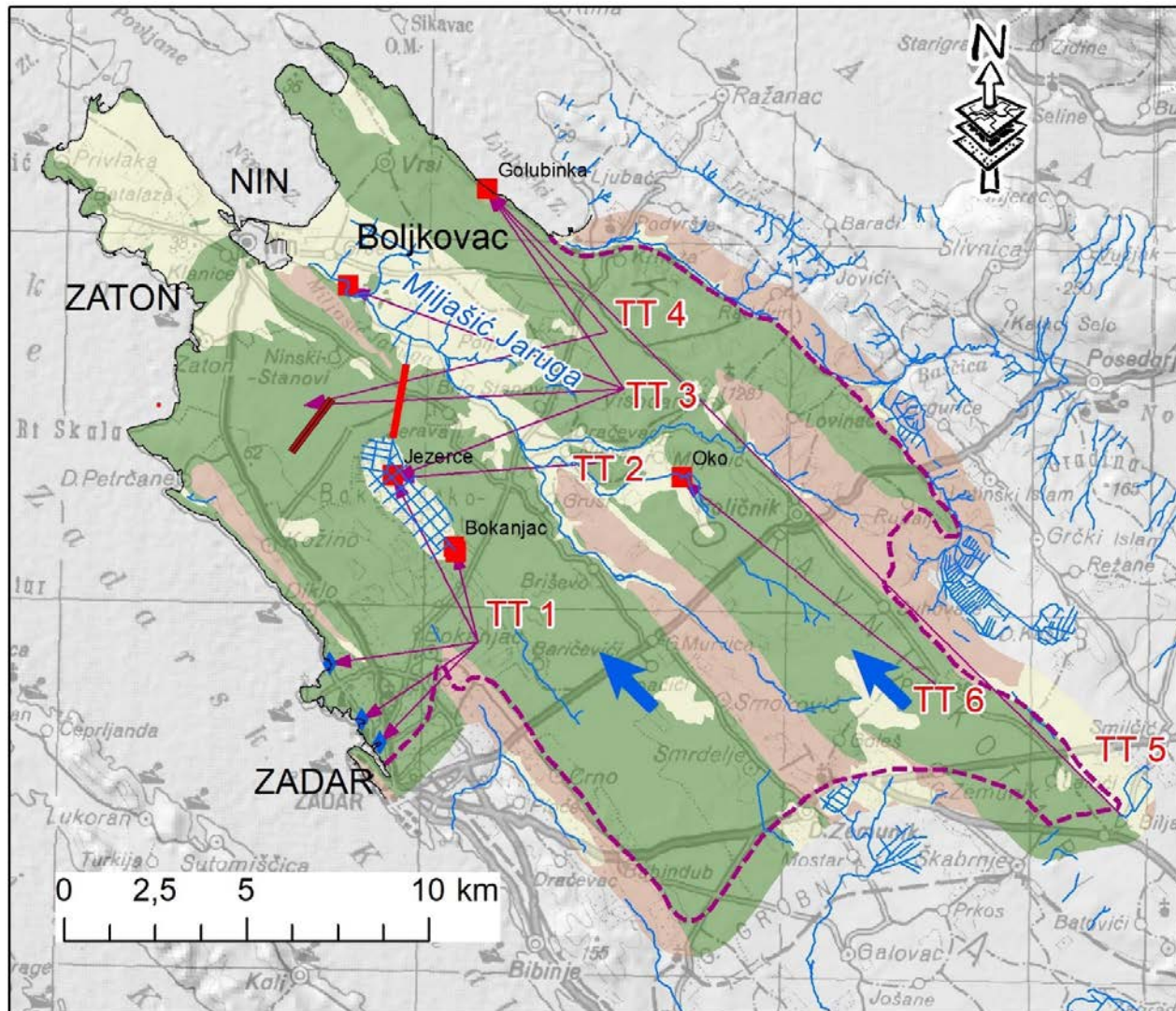
- Sliv određen kroz rezultate velikog broja istraživanja u zadnjih pedesetak godina
- Površina 302 km², a nadmorske visine su do oko 120 m n.m.
- Izdvajanje TPV za potrebe PUVP
 - 2004. Jadranski sliv (HGI) – područje sliva dijeli se na dva podsliva: Bokanjac-Poličnik, Golubinka
 - 2009. (GFV) – dio velikog TPV Ravni kotari
 - 2016. (GFV) – izdvojen sliv Bokanjac-Poličnik
 - 2019. (GFV) – operativni monitoring – prijedlog podjele sliva u tri dijela: Bokanjac, Poličnik i Boljkovac-Golubinka
 - 2022. (HV) – Boljkovac-Golubinka kao zasebno TPV, ostatak sliva dio TPV Ravni kotari

SLIV BOKANJAC-POLIČNIK – trasiranja podzemnih tokova

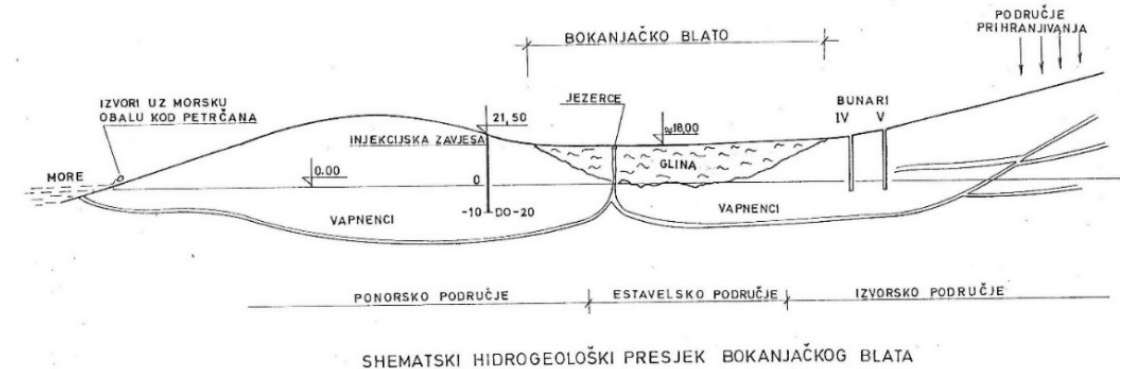


- TT1 (1966)
 - Bokanjac (1 cm/s)
 - Jezerce (3,2 cm/s)
- TT2 (1967)
 - Jezerce (2,9 cm/s)
- TT3 (1968)
 - Jezerce (1,1 cm/s)
 - inj.zavjesa (2,9 cm/s)
 - Boljkovac (1,1)
 - Golubinka (1,4 cm/s)
- TT4 (1968)
 - inj.zavjesa (1,4 cm/s)
 - Golubinka (1,4 cm/s)
- TT5 (1975)
 - Golubinka 8,1 cm/s)
- TT6 (2007)
 - Oko (2,5 cm/s)

SLIV BOKANJAC-POLIČNIK – objekti u slivu



• INJEKCIJSKA ZAVJESA

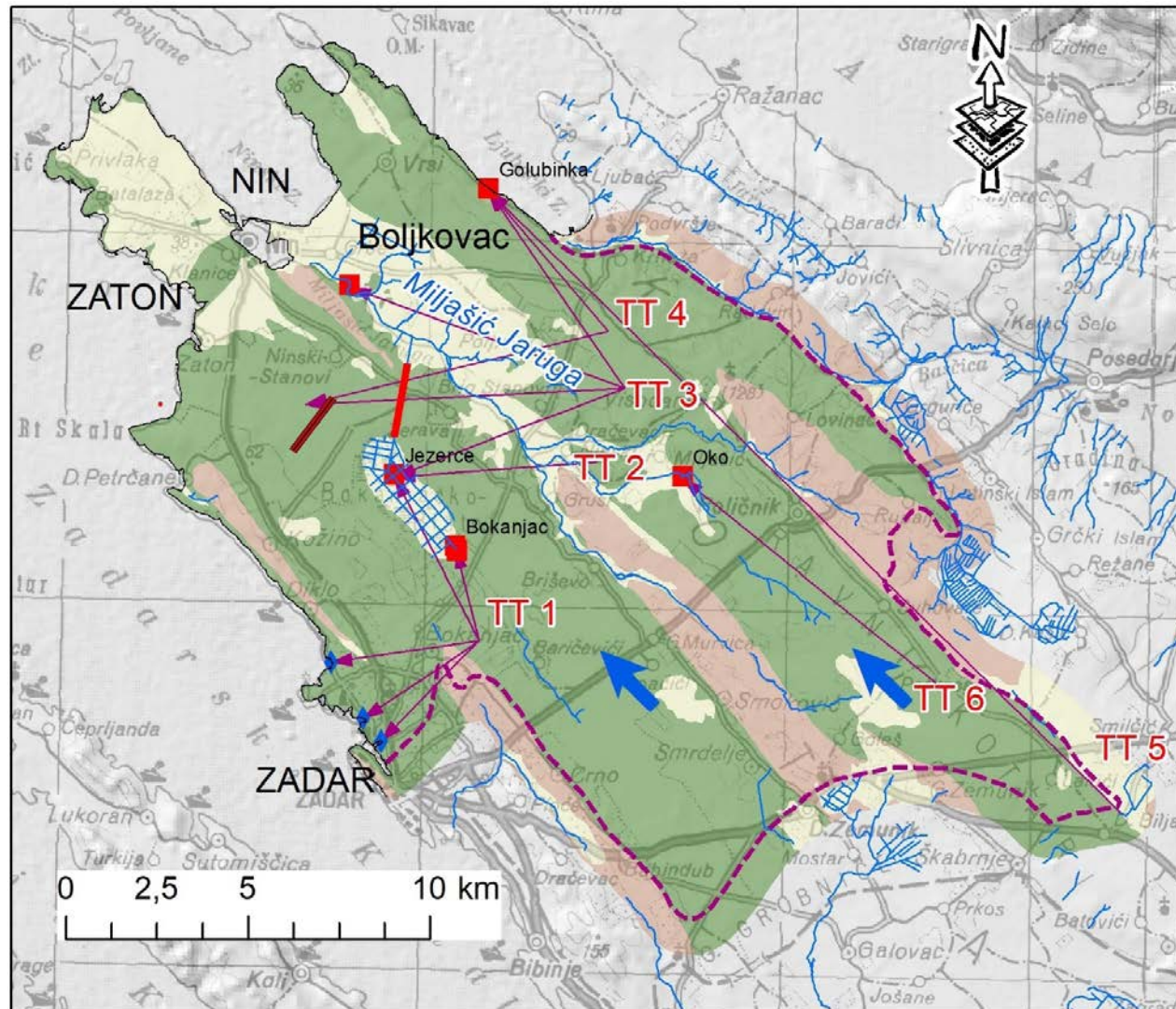


– Izgrađena 1974-1975. godine; dužine 1.580 m, dubine 25-45 m (-10 do -25 m n.m.)

• HIDROTEHNIČKI TUNEL

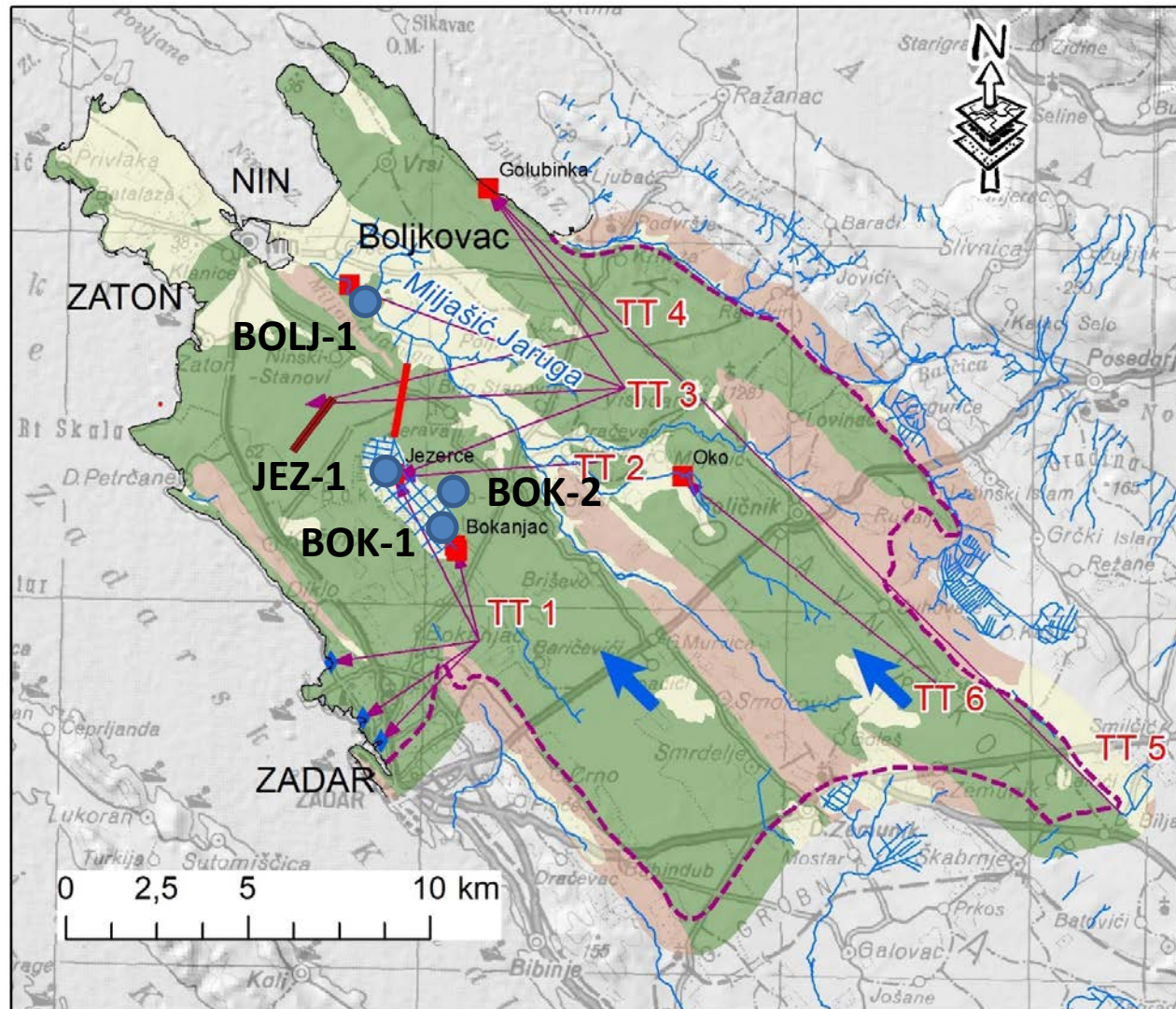
– Izgrađen 1962. godine; drenira površinske vode Bokanjačkog blata prema Miljušić jaruzi; sprečava plavljenje u Bokanjačkom blatu

SLIV BOKANJAC-POLIČNIK – vodoopskrbni objekti u slivu



- BOKANJAC - zdenci
 - B-4 – izgrađen 1949., $Q_{max}=250$ L/s, dubina 18,5 m
 - B-5 – izgrađen 1961., $Q_{max}=250$ L/s, dubina 17,6 m
- JEZERCE - zdenac
 - Izgrađen 1969., $Q_{max}=400$ L/s, dubina 14,5 m
- BOLJKOVAC - zdenac
 - Izgrađen 1972., $Q_{max}=100$ L/s, dubina 5,75 m
- GOLUBINKA – prirodni izvor
 - Zahvaćen 1993. kao zamjena za zahvate na Zrmanji, $Q_{min}=50$ L/s
- OKO - zdenac
 - Izgrađen 1995., dubina 12 m na izvoru Miljaško vrelo, $Q_{max}=60$ L/s
- Kapaciteti manji tijekom ljetnih sušnih razdoblja!!

SLIV BOKANJAC-POLIČNIK – izvedene piezometarske bušotine



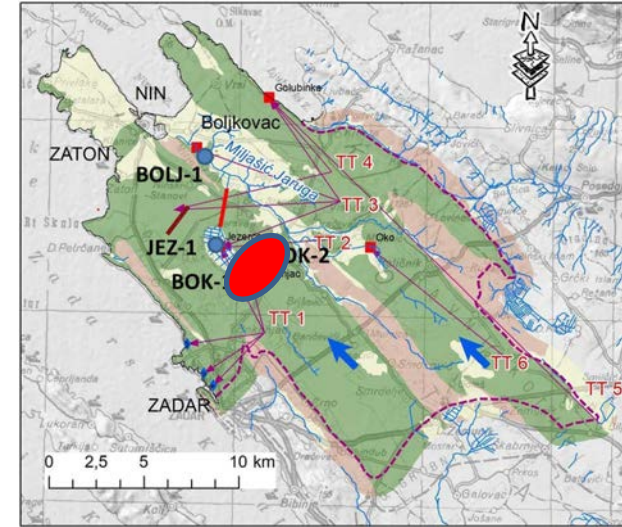
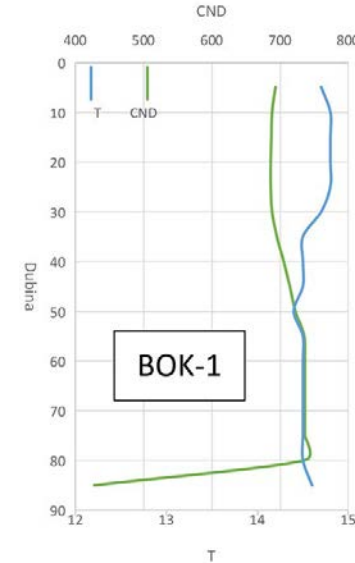
- **BOKANJAC**
 - BOK-1 dubina 85 m, ušće na 20 m n.m. (cca 65 m ispod srednje razine mora)
 - BOK-2 dubina 85 m, ušće na 20 m n.m. (cca 65 m ispod srednje razine mora)
- **JEZERCE**
 - JEZ-1 dubina 86,6 m, ušće na 22 m n.m. (cca 64,6 m ispod srednje razine mora)
- **BOLJKOVAC**
 - BOLJ-1 dubina 65,6 m, ušće na 7 m n.m. (cca 58,6 m ispod srednje razine mora)

MONITORING 2016.-2019.

- 2. PUVP 2016.-2021. → TPV Bokanjac-Poličnik ocijenjeno „U LOŠEM STANJU” i „U RIZIKU” → potreban operativni monitoring
- Monitoring uspostavljen na zdencima B-4 i B-5 (Bokanjac), Jezerce, Boljkovac, Oko i Golubinka
 - Dodatni monitoring na piezometarskim bušotinama BOK-1, BOK-2, BOLJ-1 i JEZ-1 po dubini vodonosnika (svakih deset metara dubine)
- Postavljeni automatski logeri – mjerenje električne vodljivosti, temperature i razine podzemne vode svakih 10 minuta

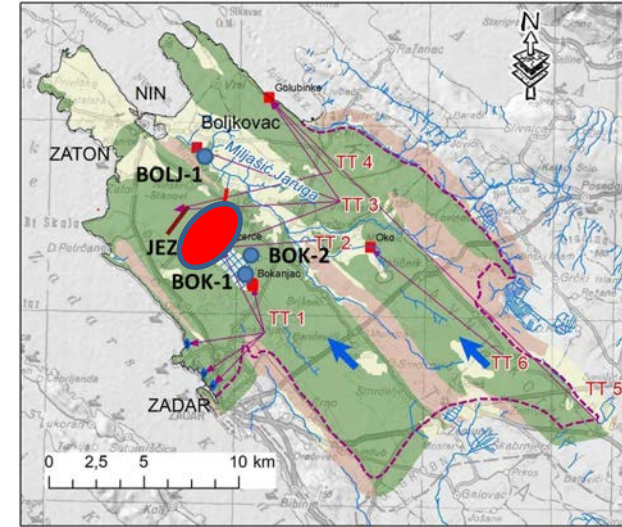
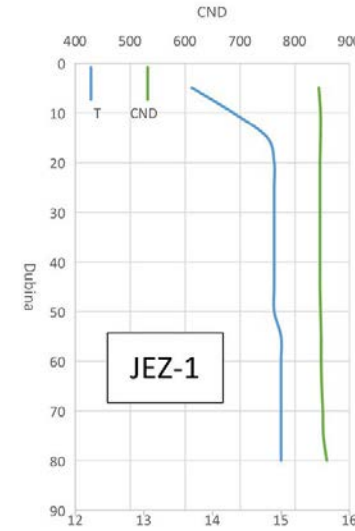
MONITORING - projekt UKV (1.5.2020.-31.12.2022.) - BOKANJAC

- Inicijalno mjerenje CND po dubini vodonosnika oko 0,7 mS/cm
- Automatski senzori postavljeni u BOK-1 na -20 m n.m. i -60 m n.m. → automatsko mjerenje CND, T i RPV svakih 10 minuta, telemetrija
- Logeri postavljeni u vodoopskrbne zdence B-4 i B-5 – kontinuirano mjerenje CND, T, RPV



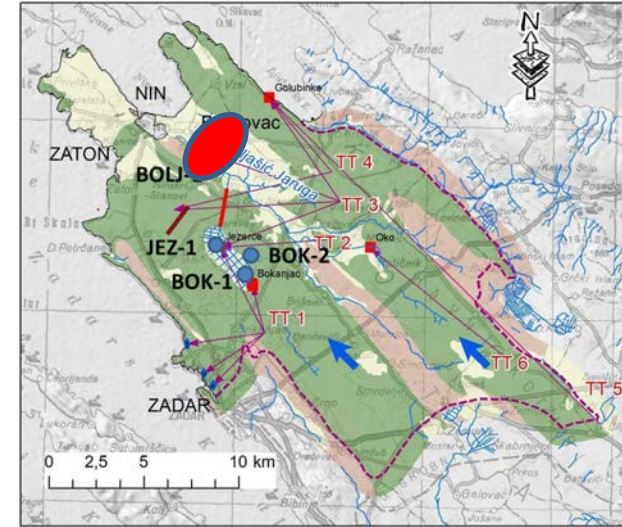
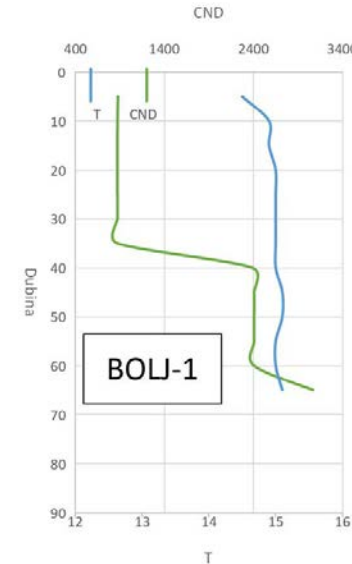
MONITORING - projekt UKV (1.5.2020.-31.12.2022.) - JEZERCE

- Inicijalno mjerenje CND po dubini vodonosnika oko 0,85 mS/cm
- Automatski senzori postavljeni u BOK-1 na -20 m n.m. i -60 m n.m. → automatsko mjerenje CND, T i RPV svakih 10 minuta, telemetrija
- Logeri postavljeni u vodoopskrbni zdenac – kontinuirano mjerenje CND, T, RPV

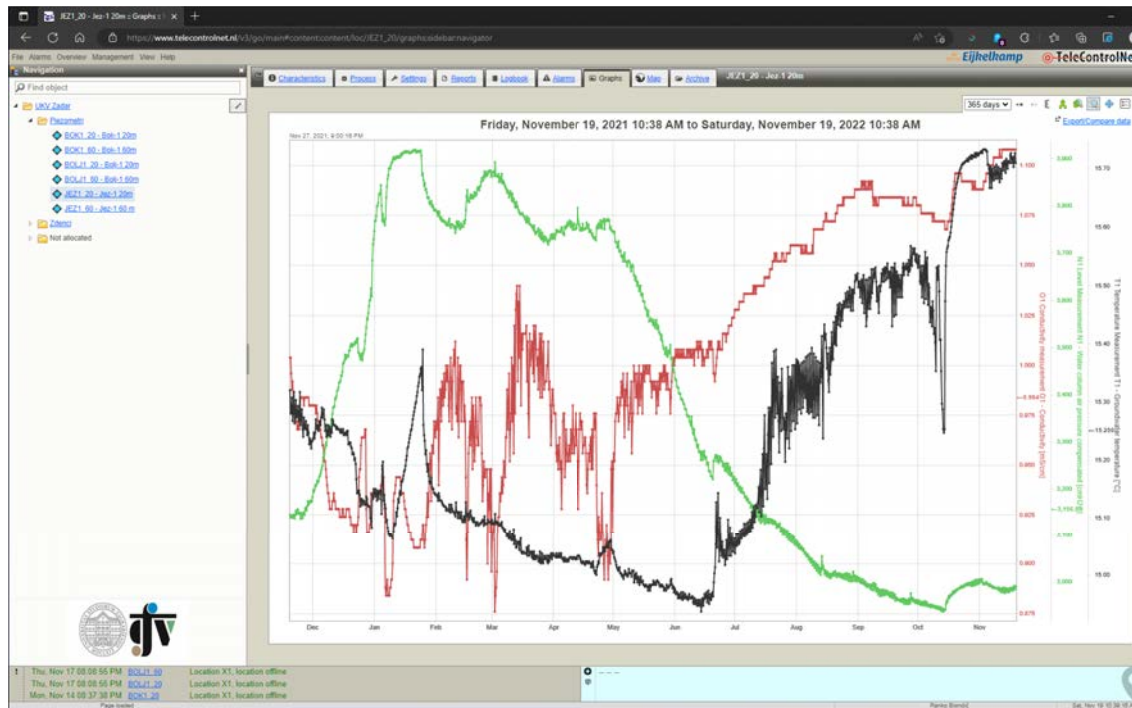


MONITORING - projekt UKV (1.5.2020.-31.12.2022.) - BOLJKOVAC

- Inicijalno mjerenje CND po dubini vodonosnika oko 0,85 mS/cm
- Automatski senzori postavljeni u BOK-1 na -20 m n.m. i -55 m n.m. → automatsko mjerenje CND, T i RPV svakih 10 minuta, telemetrija
- Logeri postavljeni u vodoopskrbni zdenac – kontinuirano mjerenje CND, T, RPV



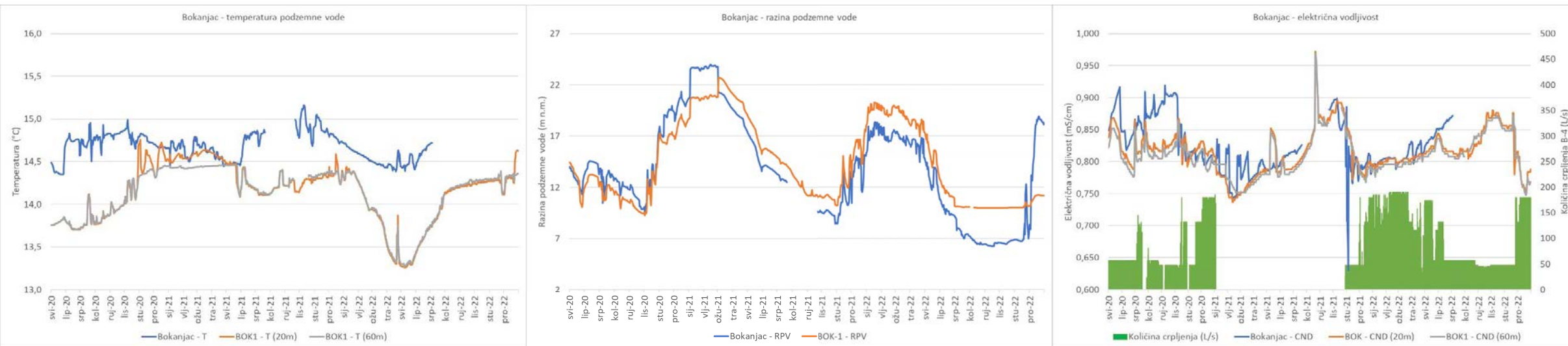
MONITORING - projekt UKV (1.5.2020.-31.12.2022.)



Ugrađeni sustav monitoringa i prikaz rezultata monitoringa u stvarnom vremenu putem telemetrije

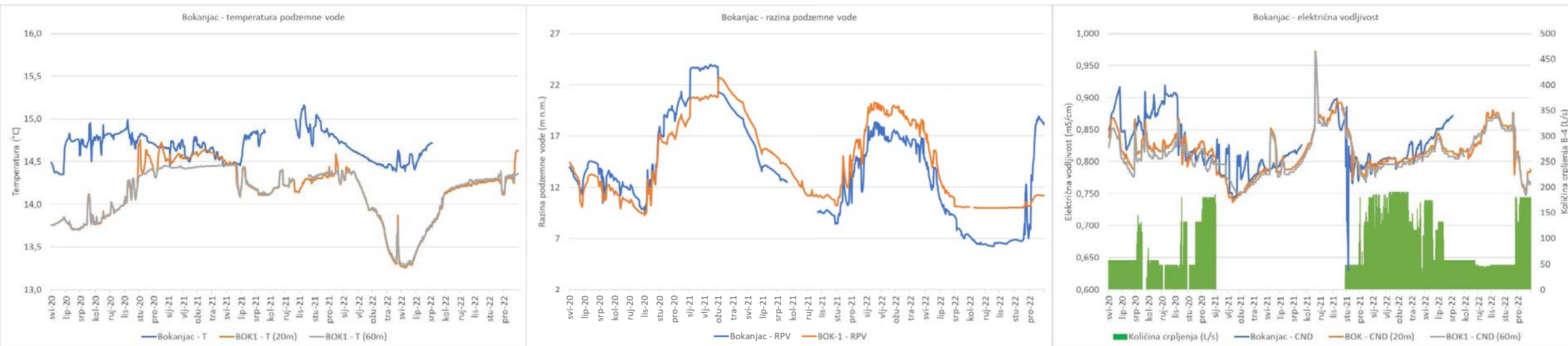


REZULTATI MONITORINGA - BOKANJAC



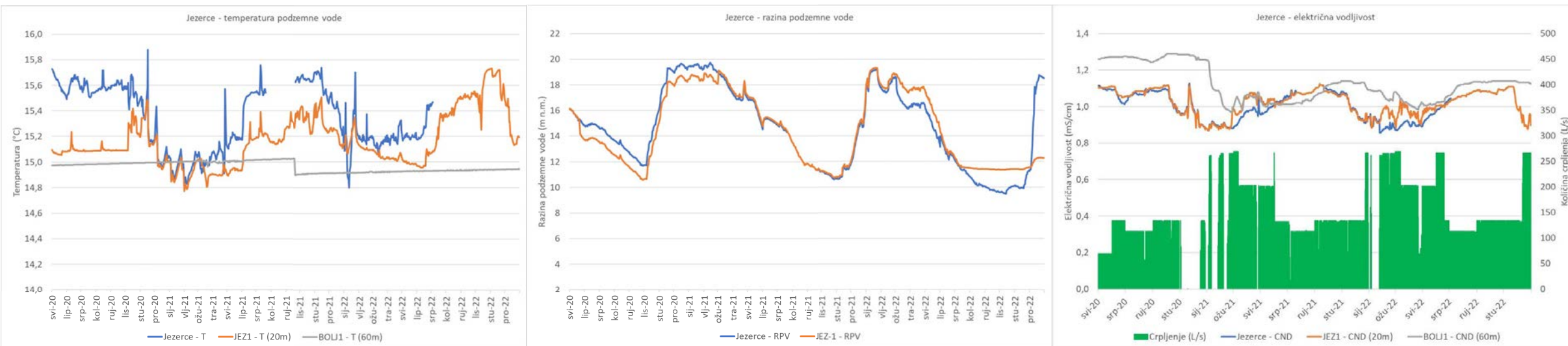
- Zdenac – temperatura PV u rasponu 14,4-15,2 °C
- BOK-1 – temperatura gotovo ujednačena po dubini bušotine (13,3-14,7 °C)
- RPV – ujednačene u zdencu i bušotini BOK-1
 - Povišenje tijekom kišnih razdoblja, sniženje tijekom sušnih razdoblja
- Zdenac i BOK-1 – CND u rasponu 0,74-0,97 mS/cm – ujednačene vrijednosti
 - Porast tijekom sušnih razdoblja
- Crpljenje B-4 – maksimalno do 200 L/s, obustavljeno crpljenje od siječnja do studenoga 2021. godine (crpljenje na zdencu B-5 – nešto više udaljenom od bušotine BOK-1 u odnosu na B-4)

REZULTATI MONITORINGA - BOKANJAC



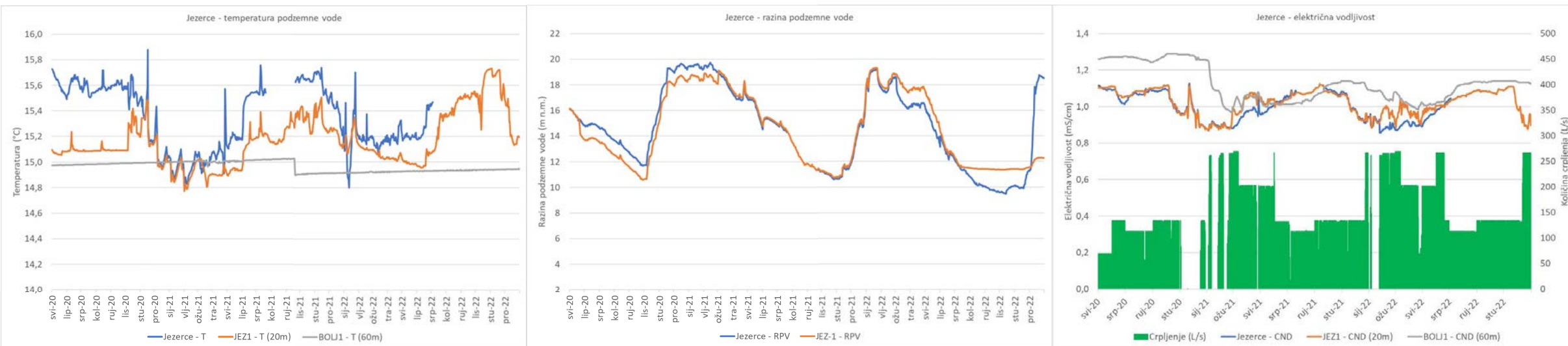
- Na vodocrpilištu Bokanjac, tijekom cijelog razdoblja trajanja projekta nije zabilježeno povišenje vrijednosti električne vodljivosti koja bi upućivala na utjecaj zaslanjenja
- Vrijednosti električne vodljivosti na dubini od -20 m i na dubini od -60 m bile su gotovo izjednačene što upućuje da u dubljim dijelovima vodonosnika nije ustanovljeno postojanje zone miješanje slane i slatke vode

REZULTATI MONITORINGA - JEZERCE



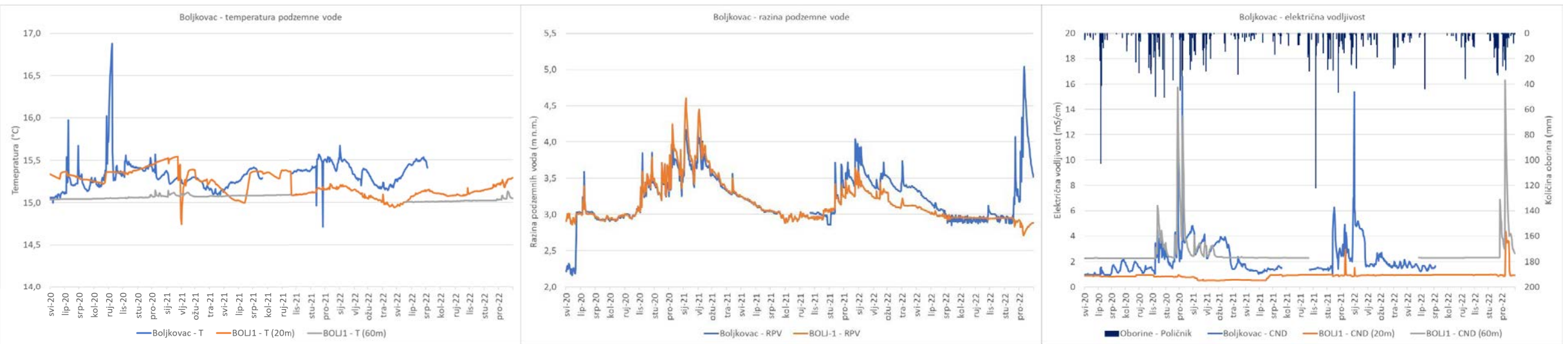
- Zdenac – temperatura PV u rasponu 14,8-15,8 °C
- JEZ-1 – temperatura u plićoj zoni vodonosnika slično kao i zdenac, u dubljoj zoni ujednačena (oko 15 °C)
- RPV – ujednačene u zdencu i bušotini BOLJ-1
 - Povišenje tijekom kišnih razdoblja, sniženje tijekom sušnih razdoblja
- Zdenac i plića zona JEZ-1 – CND u rasponu 0,86-1,1 mS/cm – ujednačene vrijednosti
- Dublja zona JEZ-1 – CND 0,97-1,29 mS/cm – blago zaslanjena zona – zona miješanja slane i slatke vode
 - Porast tijekom sušnih razdoblja
- Crpljenje – maksimalno do 236 L/s – nije bitno utjecalo na povišenje saliniteta

REZULTATI MONITORINGA - JEZERCE



- Uočeno postojanje zone miješanja slane i slatke vode – tijekom projekta nije zabilježeno zaslanjenje
- Za dobivanje potpune slike ponašanja zone miješanja potrebno je izvođenje dublje piezometarske bušotine
 - Postojeća „ulazi” u vršni dio te zone

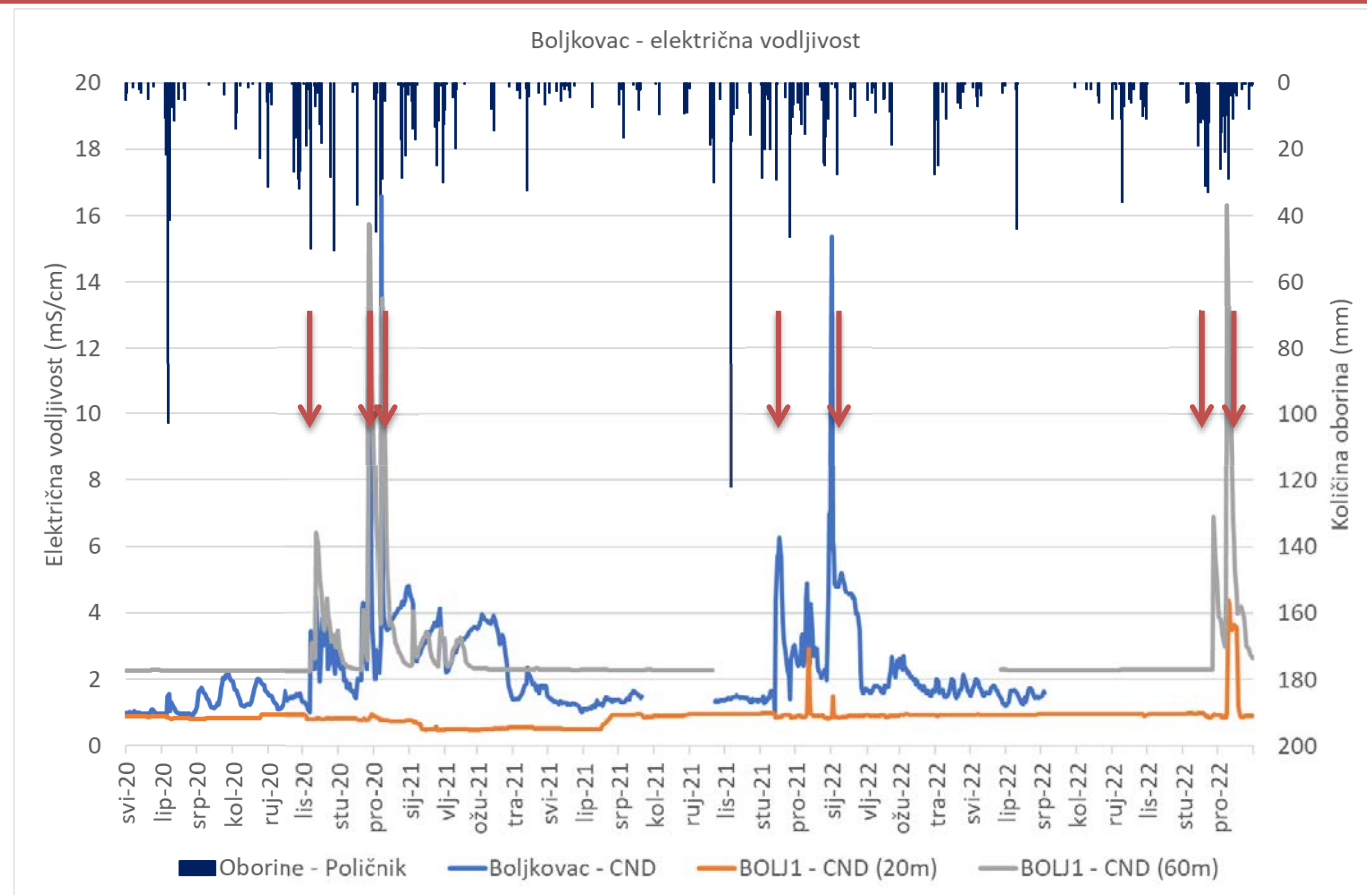
REZULTATI MONITORINGA - BOLJKOVAC



- Zdenac – temperatura PV u rasponu 14,7-16,9 °C
- BOLJ-1 – temperatura u plićoj zoni vodonosnika slično kao i zdenac, u dubljoj zoni ujednačena (oko 15 °C)
- RPV – ujednačene u zdencu i bušotini BOLJ-1
 - Povišenje tijekom kišnih razdoblja, sniženje tijekom sušnih razdoblja
- Crpljenje – tijekom cjelokupnog trajanja projekta nije bilo crpljenja
- CND – tijekom projekta UKV zabilježeno nekoliko zaslanjenja

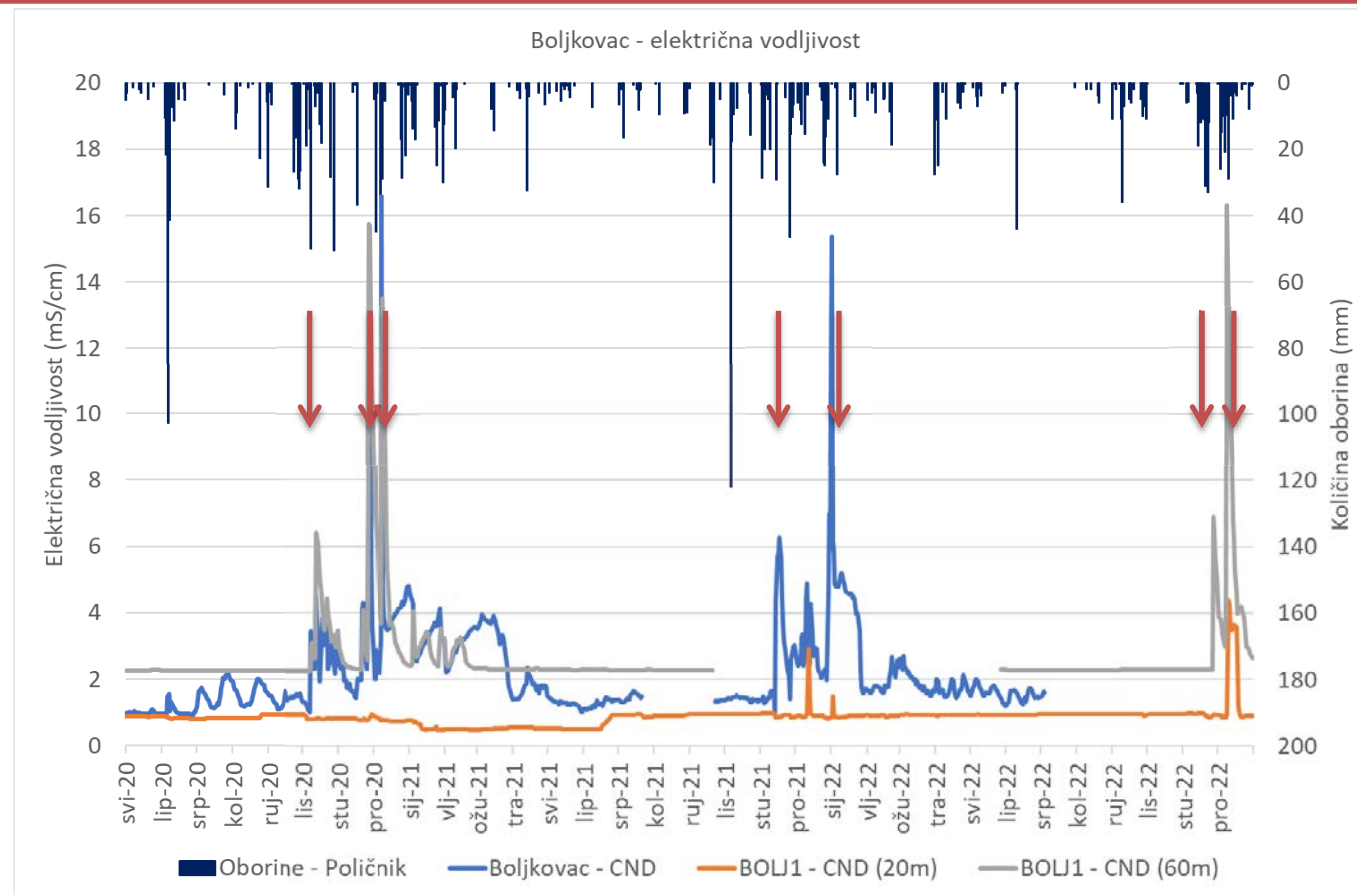
REZULTATI MONITORINGA - BOLJKOVAC

- **13.10.2020.** – zdenac: 4,49 mS/cm, BOLJ-1 (60m): 6,41 mS/cm, BOLJ-1 (20m): CND u razini prosjeka (0,82 mS/cm);
- **27.11.2020.** – zdenac: 11,57 mS/cm, BOLJ-1 (60m): 15,75 mS/cm, BOLJ-1 (20m): 0,94 mS/cm (neznatan porast vrijednosti CND);
- **8.12.2020.** – zdenac: 16,57 mS/cm, BOLJ-1 (60m): 13,50 mS/cm, BOLJ-1 (20m): 0,79 mS/cm (nije izmjereno zaslanjenje);
- **17.11.2021.** – zdenac: 6,28 mS/cm, BOLJ-1 (60m): prekid u mjerenjima, BOLJ-1 (20m): 0,88 mS/cm (neznatan porast vrijednosti CND),
- **1.1.2022.** – zdenac: 15,36 mS/cm, BOLJ-1 (60m): prekid u mjerenjima, BOLJ-1 (20m): 0,87 mS/cm (neznatan porast vrijednosti CND),
- **27.11.2022.** – zdenac: prekid u mjerenjima, BOLJ-1 (60m): 6,89 mS/cm, BOLJ-1 (20m): 0,95 mS/cm (neznatan porast vrijednosti CND),
- **9.-10.12.2022.** – zdenac: prekid u mjerenjima, BOLJ-1 (60m): 16,29 mS/cm, BOLJ-1 (20m): 4,38 mS/cm



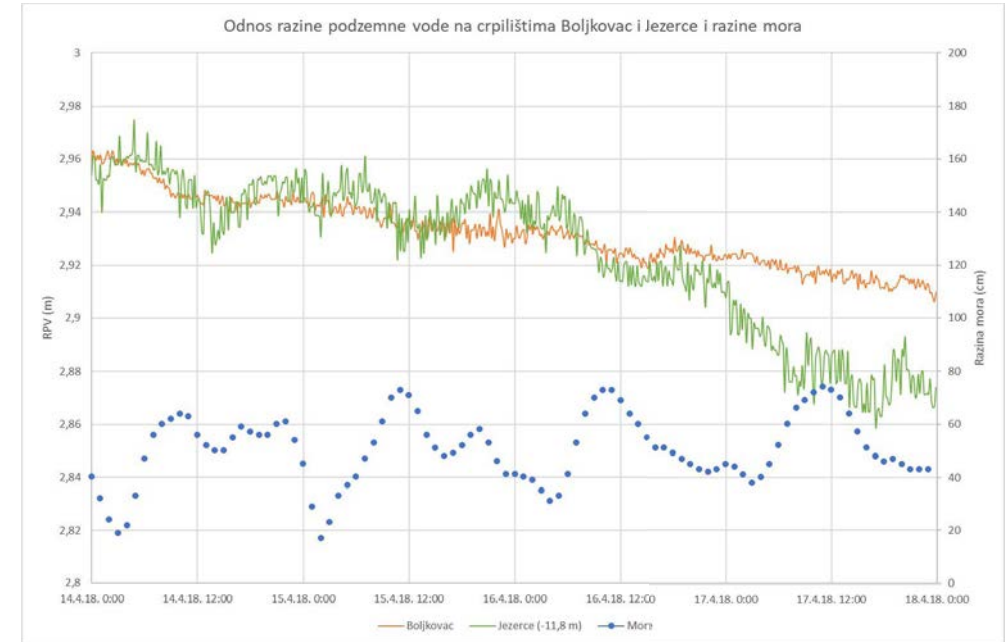
REZULTATI MONITORINGA - BOLJKOVAC

- U razdoblju provedbe projekta UKV na vodocrpilištu Boljkovac nije crpljeno za potrebe javne vodoopskrbe, sva zasljenja dogodila su se u potpuno prirodnim uvjetima kao rezultat potiskivanja zasljenjene vode iz krškog podzemlja uslijed jakih oborina
- U razdoblju od početka 2017. do kraja 2019. godine također je dolazilo do nekoliko povišenja vrijednosti električne vodljivosti (zasljenja) i to tijekom kišnih razdoblja
- U tim razdobljima nije bilo crpljenja dok je crpljenje provođeno tijekom ljetnih sušnih razdoblja do maksimalno crpljenih količina od 47 L/s, ali to crpljenje nije uzrokovalo povišenja vrijednosti električne vodljivosti na mjerenim točkama (zdenac, bušotina BOLJ-1 po dubini vodonosnika)



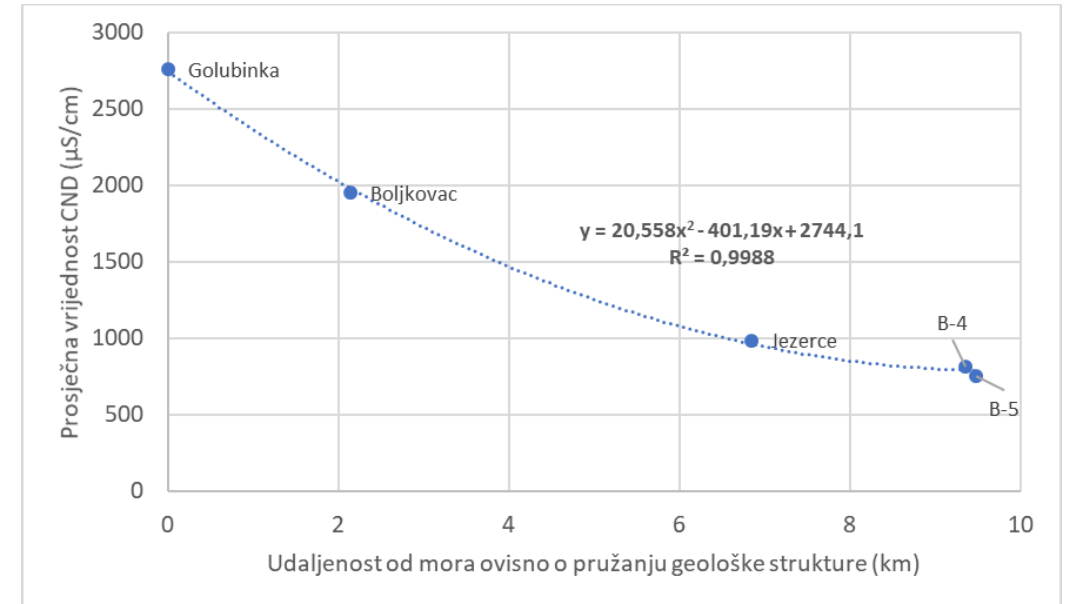
ANALIZA ODNOSA RPV I RAZINE MORA

- Analiza na crpilištima Jezerce i Boljkovac
 - Kašnjenje na Jezercu u odnosu na morske mijene oko 10 sati i 40 min
 - Kašnjenje na Boljkovcu oko 12 sati i 30 min
- Jače na morske mijene reagira Jezerce



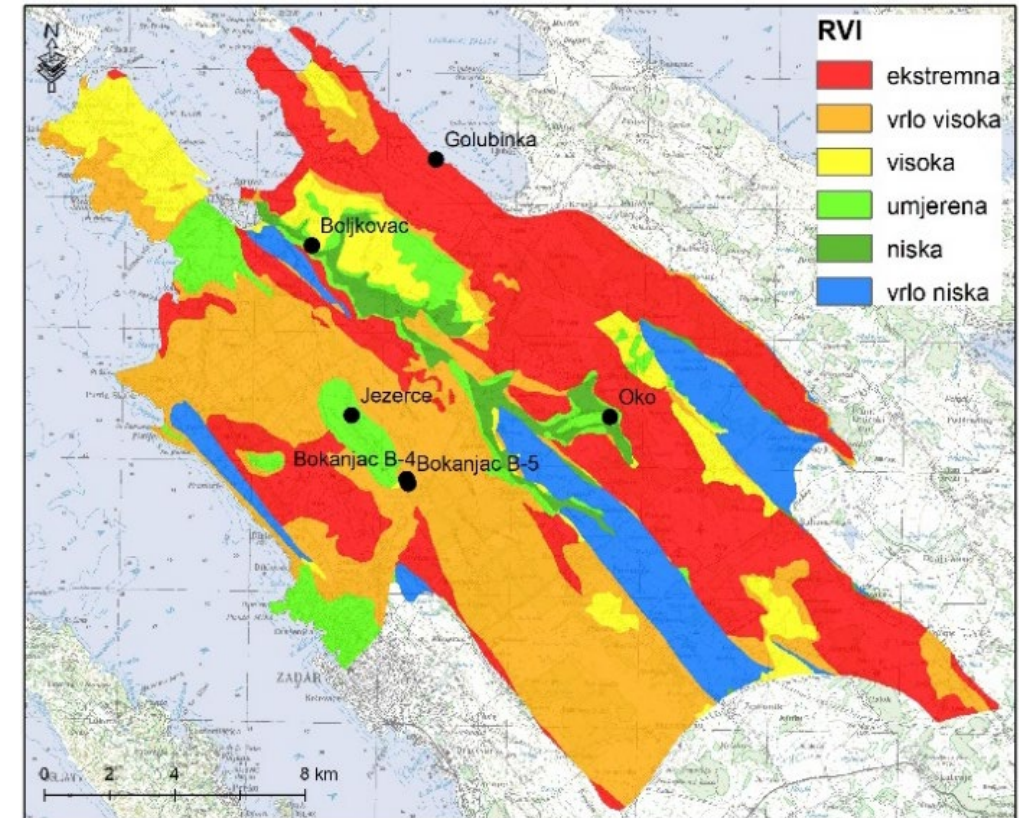
MEĐUODNOS VRIJEDNOSTI CND I UDALJENOSTI OD MORA

- Udaljavanjem od mora niže vrijednosti CND-a
- Čak i 10 km od mora može se primijetiti lagan utjecaj zaslanjenja u odnosu na pozadinske vrijednosti



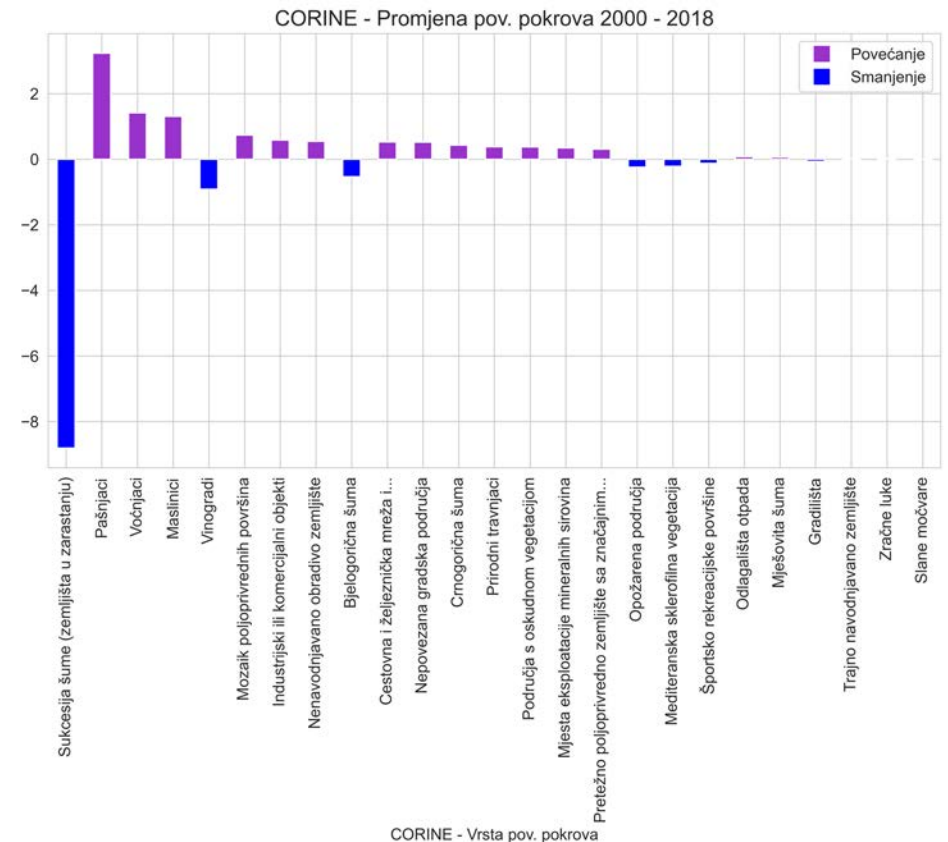
ANALIZA RANJIVOSTI METODOM KAVA

- Metoda KAVA (GFV, 2014) – korištenje četiri temeljna parametra:
 - Pokrovne naslage (O)
 - Utjecaj infiltracije (I)
 - Utjecaj hidrogeoloških karakteristika vodonosnika (A)
 - Utjecaj oborina (P)
- Veći dio vodonosnika Bokanjac – Poličnik visoko do ekstremno ranjiv i to upravo dijelovi vodonosnika građeni od vapnenaca visoke propusnosti
- Dijelovi vrlo niske ranjivosti su flišna područja
 - Budući da se flišne naslage smatraju gotovo nepropusnima, razumljivo je da je i ranjivost takvih dijelova minimalna
- Dijelovima dobro vodopropusnih vapnenaca koji su prekriveni naslagama tla veće debljine smanjila se ranjivost u klasu umjerene ranjivosti, što je potvrdilo pretpostavku da tlo može zadržati onečišćenje prije prodora do podzemne vode



ANALIZA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA

- Korišteni podaci o površinskom pokrovu za 2000. i 2018. godinu (CORINE Land Cover rasteri)
- Iz provedene analize uočava se da je značajan dio površina na početku promatranog perioda bio prekriven zemljištem u zarastanju, što se svakako može smatrati posljedicom Domovinskog rata i nedostatka kontinuiteta poljoprivredne proizvodnje na tom prostoru
- Gospodarskim razvojem nakon 2000. godine pa do danas uočava se napredak u poljoprivrednoj proizvodnji, posljedica čega je značajno smanjenje površina u zarastanju, preko 8 %
- Većina tog terena pretvorena je u voćnjake, pašnjake, maslinike i poljoprivredne površine
- Bilježi se i rast poljoprivredne proizvodnje na promatranom području, ali uz promjenu poljoprivrednih kultura.



ZAKLJUČNO

- **Bokanjac** – nije izmjereno zaslanjenje, ali malo povišene vrijednosti CND u odnosu na pozadinske vrijednosti
- **Jezerce** – u dubljoj zoni nešto više vrijednosti CND u odnosu na pliću; više vrijednosti CND-a u odnosu na Bokanjac
- **Boljkovac** – najjače reagira na utjecaj zaslanjenja
- **Injekcijska zavjesa** – samo lokalni utjecaj, preplitki objekt, učinak na crpilišta mali ili ga nema
- Analizom ranjivosti izdvojene izrazito ranjivi dijelovi sliva
- Analizom korištenja zemljišta uočena promjena u korištenju zemljišta, odnosno povećanja poljoprivredne proizvodnje na slivu



HVALA NA PAŽNJI

