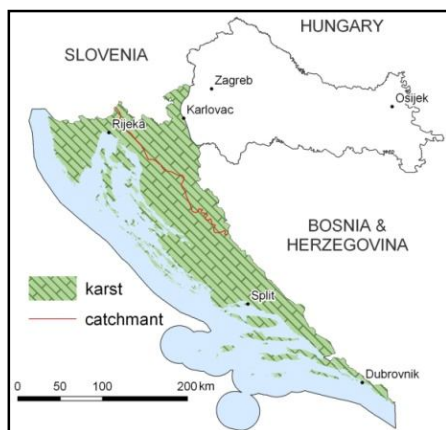


HIDROLOŠKE PRIMJENE KLIMATSKIH MODELA U SKLOPU ZAVRŠENOG MEĐUNARODNOG PROJEKTA **CC-WaterS**

Josip RUBINIĆ*, Josip TERZIĆ**, Jasmina LUKAČ REBERSKI**

*– GF Rijeka

**– HGI Zagreb



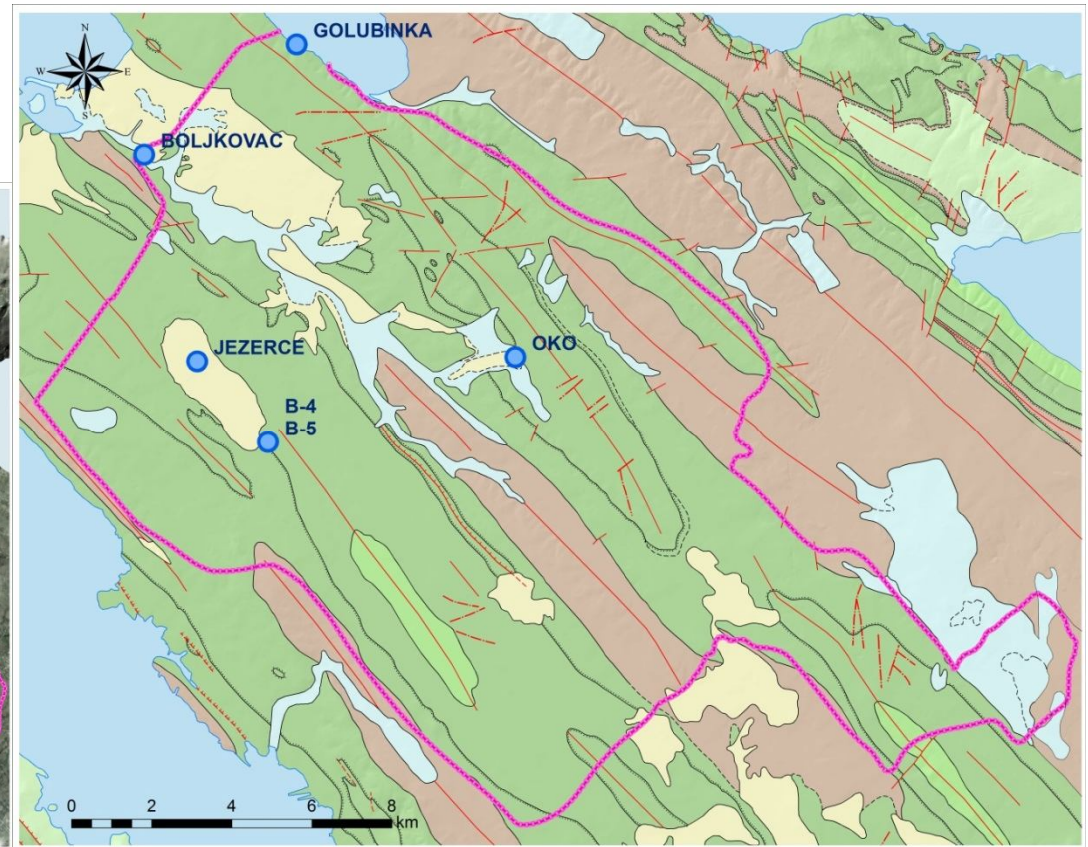
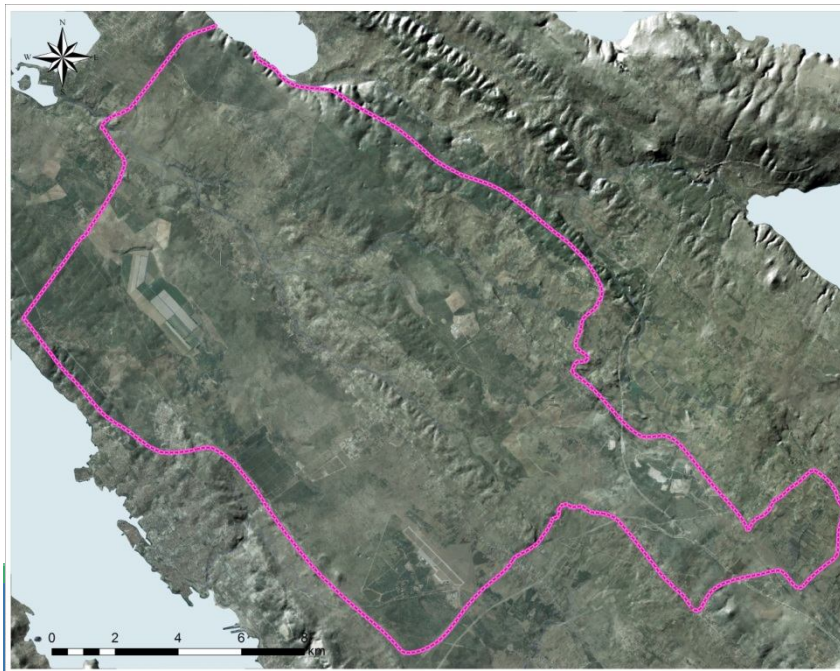
Specifičnosti odabranih pilot područja u Hrvatskoj:

- Bokanjačko blato kod Zadra
- Vransko jezero na otoku Cresu
- Blatsko polje na otoku Korčuli

- Nalaze se u priobalnom području i njihovi krški vodonosnici se dinamički uravnotežuju s morem,
- Koriste se za javnu vodoopskrbu,
- Postoji rizik od njihova zaslanjenja u slučaju prekomjernog korištenja, nastupa nepovoljnih hidroloških prilika i povećanja saliniteta podzemne vode uslijed povećanja razine mora,
- I u postojećem stanju postoje izraženi problemi oko osiguranja količine i kakvoće vode osim kod Vranskog jezera na otoku Cresu,
- Na analiziranim lokalitetima nema hidroloških praćenja razina podzemnih voda, kao ni praćenja dotoka podzemnih voda, već se jedino prate razine vode u Vranskom jezeru.

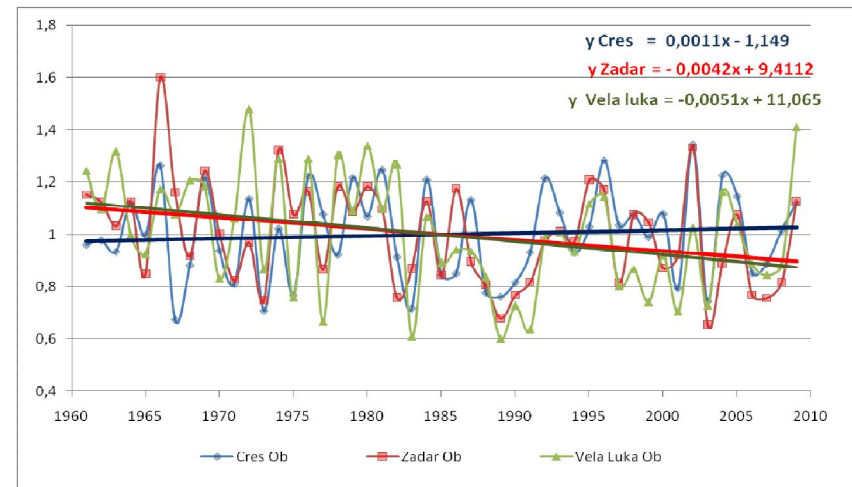
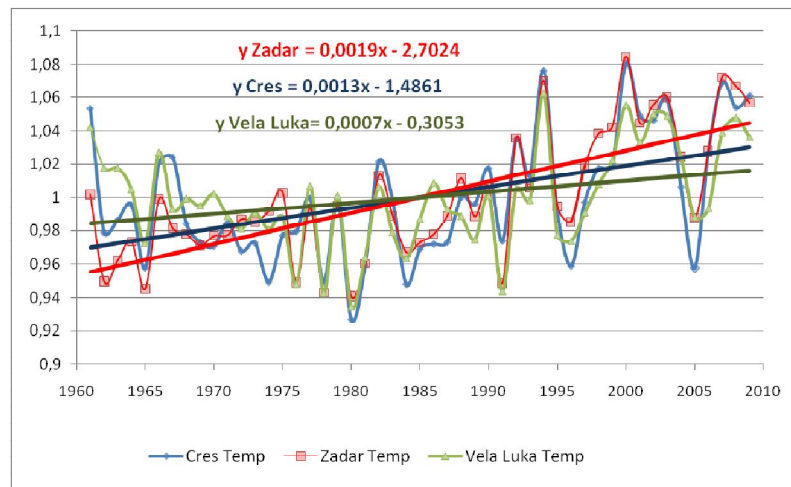
Hidrogeološka istraživanja

- Određivanje slijevnih površina
- Geološki zemljovidi, hidrokemijska istraživanja, trasiranja podzemnih tokova, morfologija...
- Primjer HG sustava Bokanjac-Poličnik kod Zadra



METODOLOGIJA (klima, hidrologija)

- Početne analize na razini karakterističnih godišnjih pokazatelja vodne bilance sljevova– sr.god.protoka i najmanjih srednjih mjesečnih dotoka
- Korišteni su podatci o mjerenim godišnjim količinama oborina i sr.god. temperaturama zraka (1961.-2009.), kao i digitalna karta prostorne raspodjele sr.god.temp. zraka i god. količina oborina (1961.-90.).
- Za prognozu mogućih hidroloških promjena korišteni su podaci o generiranim serijama sr.god.temp. zraka i god. količina oborina (DHMZ, 2010.: Gajić-Čapka, Guettler & Branković):
 - za modele RegCM3 i Aladin (2010.-2100.)
 - za model Promes (2010.-2050.)



Modularne vrijednosti i trendovi hoda godišnjih temp. zraka i količina oborina 1961.-2009.)

Analiza godišnje vodne bilance dotoka u vodonosnik

- Provođena na različitim pilot područjima različito – u ovisnosti o raspoloživim podlogama i ranijim saznanjima.
- Temelj je procjena vodne bilance za referentno razdoblje 1961.-90.
- Za sva su pilot područja provedene procjene vodne bilance na temelju regionalno najviše korištenih modela Turca i Langbeina, kao i usporedba dobivenih rezultata s rezultatima ranijih detaljnijih modeliranja (Vransko jezero na Cresu), kao i sa sličnim rezultatima sa šireg regionalnog prostora. Provjera i putem procjene realnosti dobivenih vrijednosti koeficijenata god. otjecanja – po empirijskim obrascima razvijenim za hrvatski krš (Srebrenović, 1986; Bonacci, 1987; Žugaj, 1995), kao i helenski krš (Souliolis, 1984).
- Na temelju tako provedene usporedbe izvršen je odabir i proveden je izbor mjerodavne prostorne raspodjele specifičnih godišnjih protoka, kao i elementi vodne bilance za 1961.-90.
- Procjena hidrološkog stanja za pojedine generirane godine (2010.-2100.) provedena je na osnovu redukcije generiranih vrijednosti oborina i temperatura s lokaliteta mjerne postaje na cijeli slijev, kao i regresijskih međuodnosa dobivenih unutar analiziranog razdoblja (1961.-90.)

- Turc-ova formula (1954) izražava deficit otjecanja (D) kao funkciju oborine (P) i temperaturnog faktora (L) tako da je povećanje evapotranspiracije ograničeno povećanjem količine oborina:

$$D = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

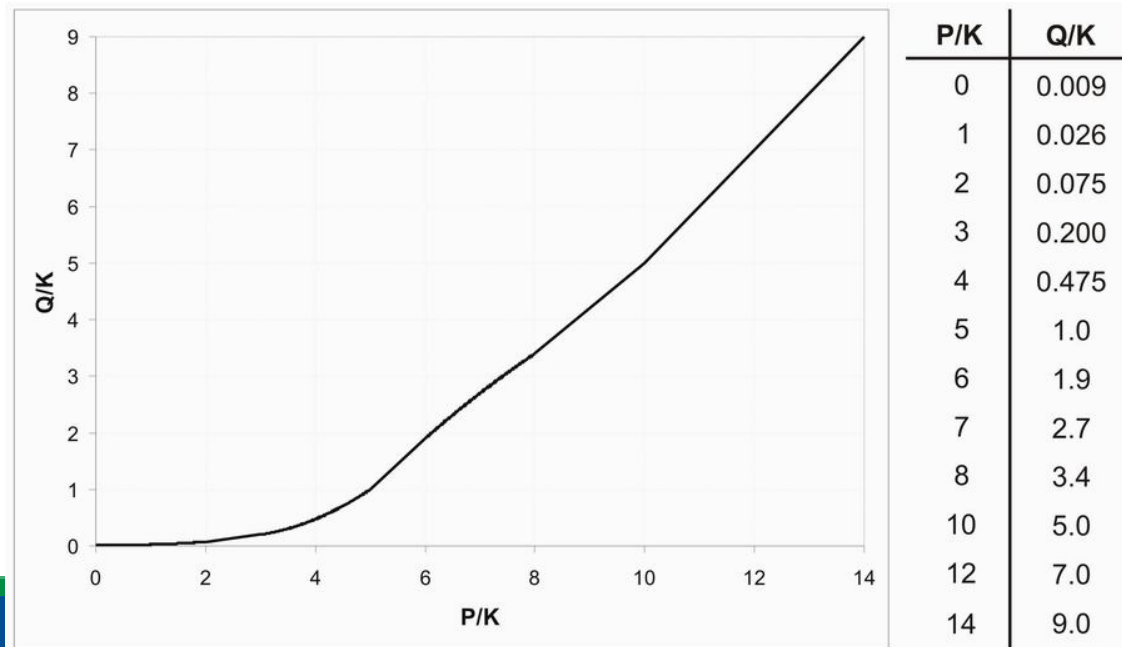
- Temperaturni faktor (L) se izračunava:

$$L = 300 + 25 \times T + 0,05 \times T^3$$

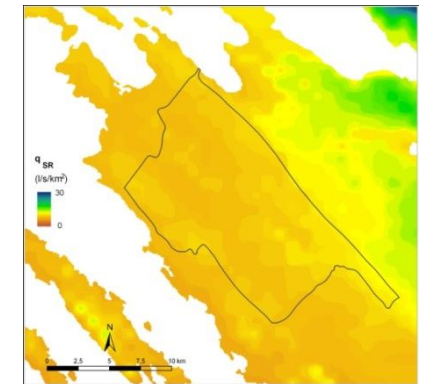
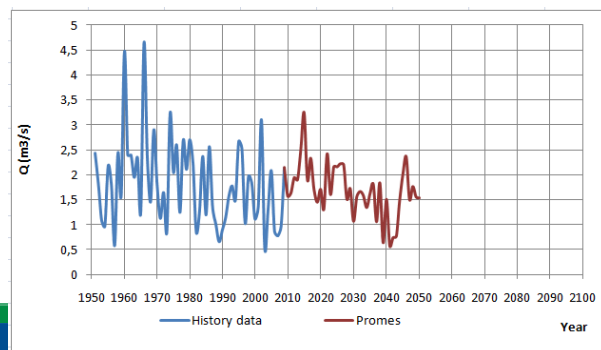
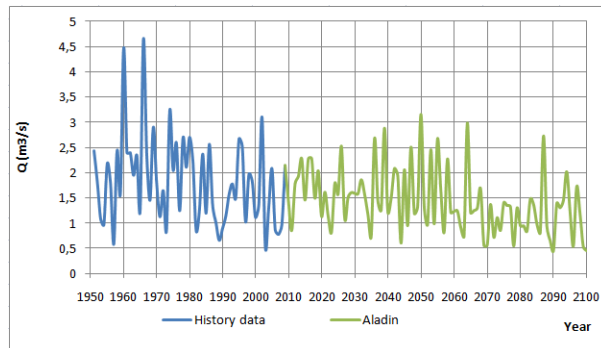
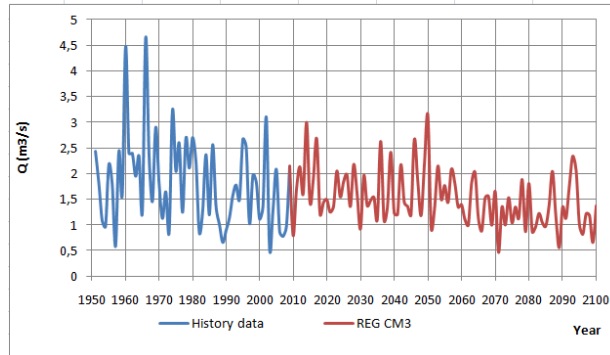
gdje T predstavlja temperaturu zraka.

- Langbein-ova metoda (1962); prilagođena za GIS (Horvat & Rubinić, 2006) utemeljena je na jedinstvenom odnosu između oborine-temperaturnog omjera (P/K); te otjecanje-temperaturnog odnosa (Q/K); tj. ona koristi oborine i temperaturu zraka kao ključne attribute pri procjeni površinskog otjecanja. Temperatura zraka (T) je uključena kroz temperaturni faktor (K), koji se eksponencijalno povećava pri povećanju temperature zraka:

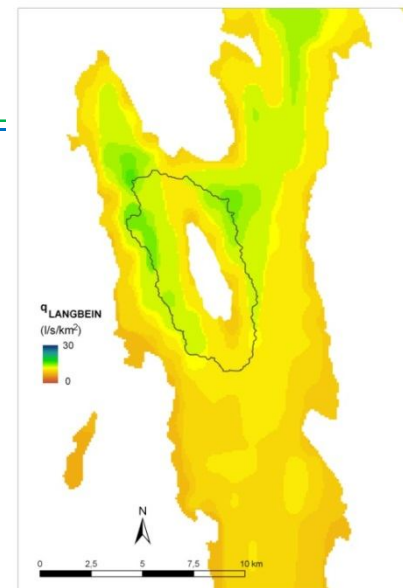
$$K = 10^{0,0278 \times T + 0,886}$$



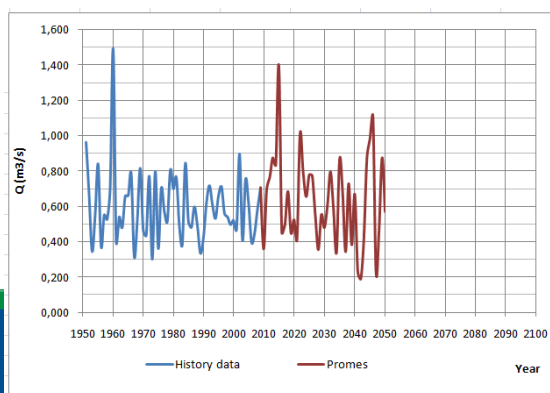
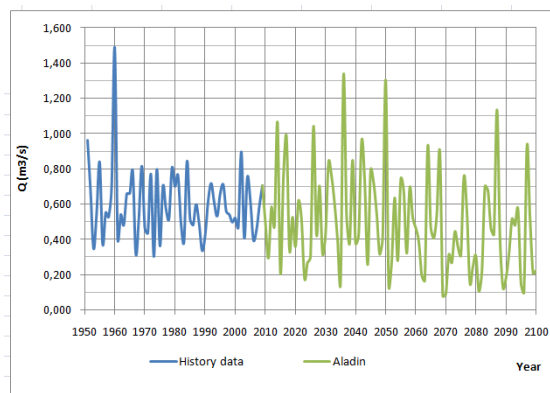
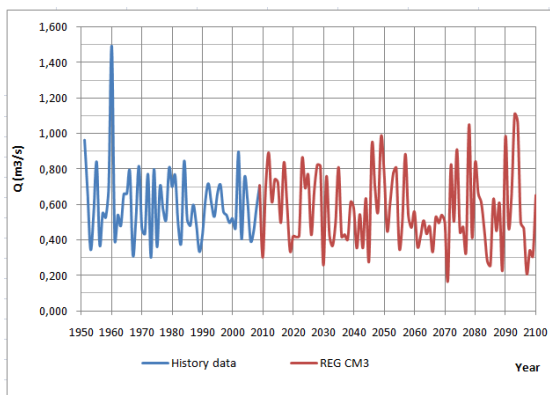
Bokanjačko blato kod Zadra – srednji godišnji protoci



- Vidljivo je da generirani sr.god. dotoci po modelu Aladin daju kritičnije hidrološke prilike, posebno za 2070.-2100. – prosječni dotoci 2021-50 smanjeni za oko 15%, a na kraju stoljeća i preko 40%

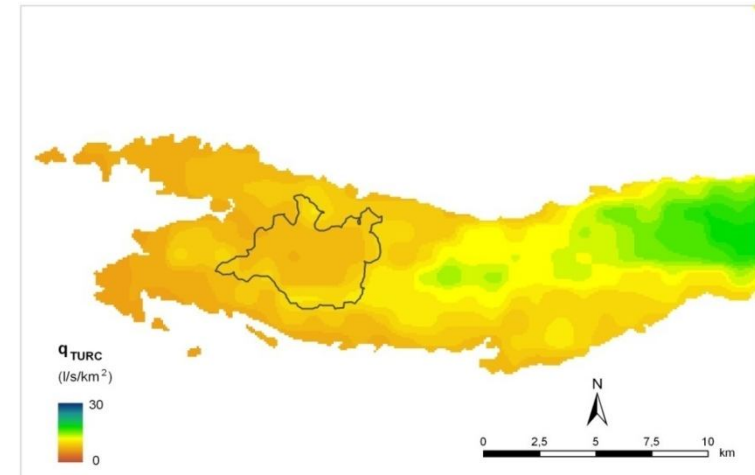
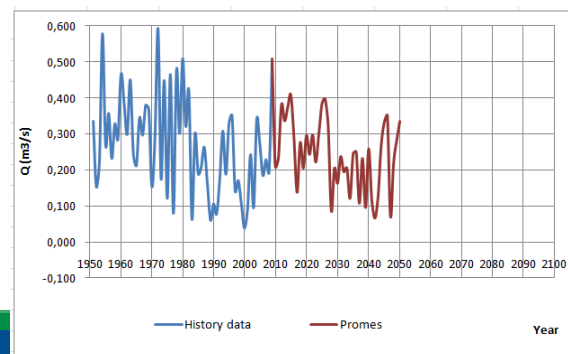
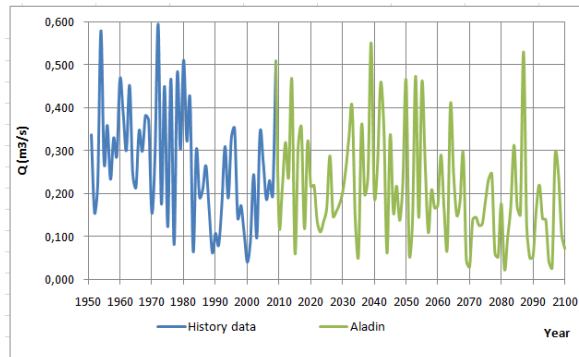
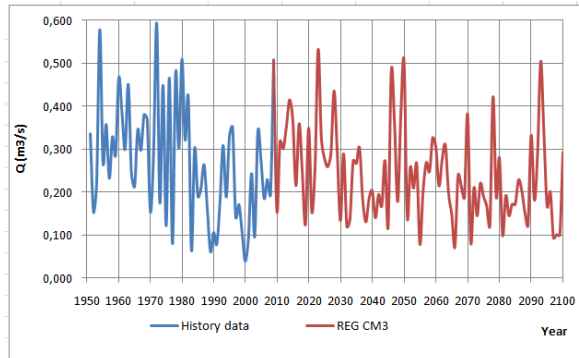


Vransko jezero na Cresu – srednji godišnji protoci

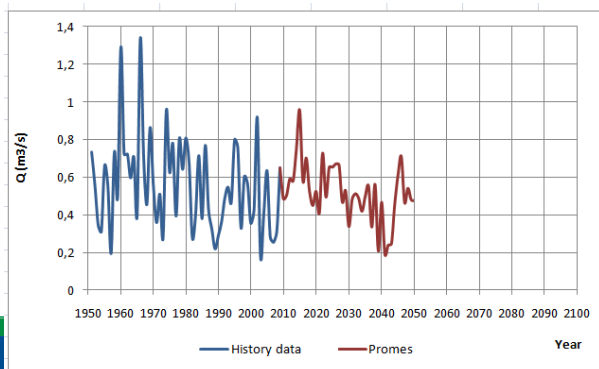
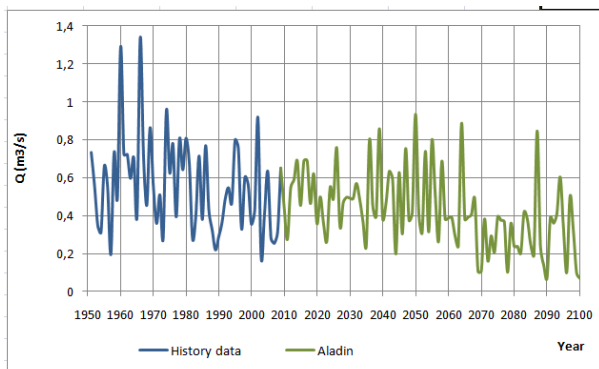
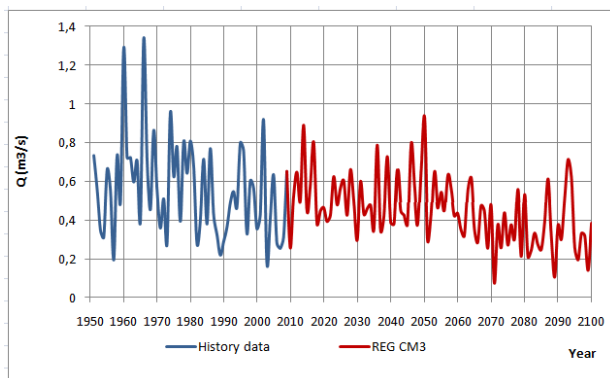


- Vidljivo je kako i ovdje generirani sr.god. dotoci po modelu Aladin daju kritičnije hidrološke prilike. Zbog uočenog blagog trenda porasta oborina, tijekom razdoblja 2021.-50. srednjaci protoka po sva 3 modela ostaju na razini referentnog niza 1961-90. (s nepovoljnijim pojavama pojedinih sušnijih godina, a tek tijekom razdoblja 2071-2100 očekuju se smanjenje dotoka – po modelu Aladin oko 30%, dok prema modelu REG CM3 srednjaci ostaju isti, ali s učestalijim pojavama kritičnih sušnih godina.

Blato na Korčuli – Srednji godišnji protoci



- Ovdje generirani sr.god. dotoci po modelu Aladin daju najkritičnije prognoze hidroloških prilika- smanjenje prosječnih dotoka tijekom 2010.-50. za 18 %, a 2070.-2100. čak 47% - REG CM3 daje smanjenje 30%, ali i znatno blaže ekstremne sušne godine, čak i u odnosu na postojeće prilike, pa se čini kako nije previše uvjerljiv.



Bokanjačko blato kod Zadra – Najmanje srednje mjesečne protoke

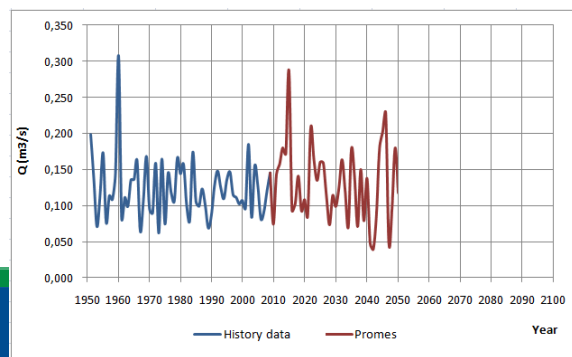
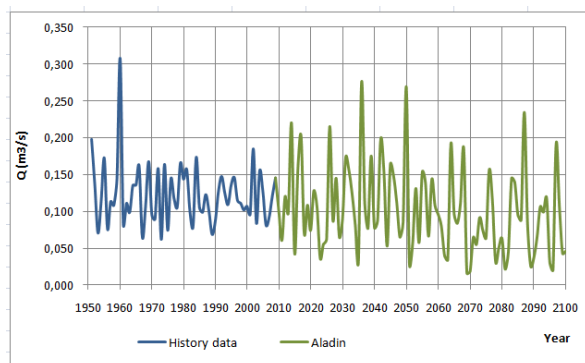
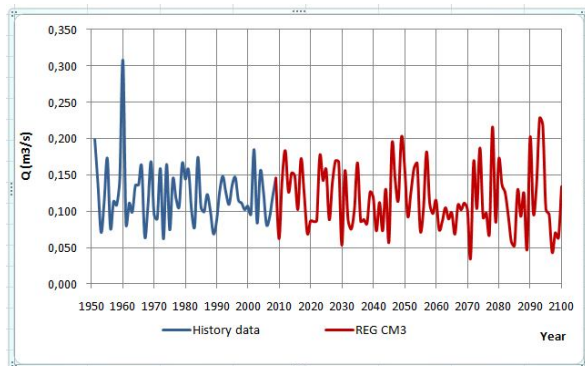


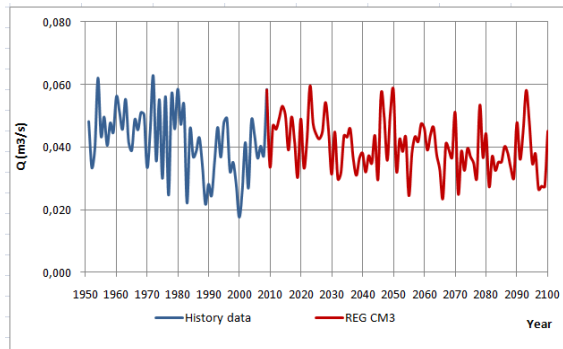
- Vidljivo je da generirani najmanji sr.mj. dotoci po modelu Aladin vrlo često padaju i ispod 200-300 l/s, na kraju stoljeća čak i ispod 100 l/s, što je daleko ispod postojeće razine njihova korištenja – između ostalog, očekuju se učestaliji i intenzivniji prodori mora u vodonosnik.



Vransko jezero na Cresu – Najmanje srednje mjesečne protoke

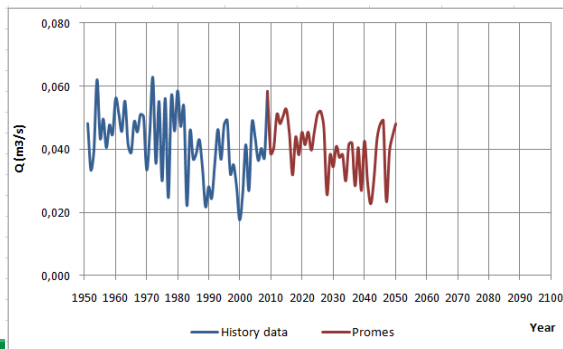
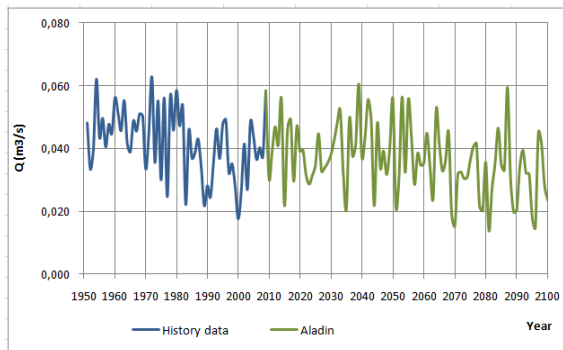
Generirani najmanji sr.mjes. dotoci prema modelu REG CM3 predviđaju iznimno niske i do sada nezabilježene minimalne sr. mjesečne protoke tek u zadnjem 30-godišnjem periodu, dok se prema modelu Aladin one mogu javljati i ranije – uz velike amplitude oscilacija, no u 30-godišnjem razdoblju na kraju 21 stoljeća za 30% smanjuju se i njihove prosječne vrijednosti. Vodoopskrba, odnosno crpljenje vode, pa i učestalije presušivanje dotoka posebice 2070.-2100. - crpljenja tijekom tih mjeseci na račun smanjenja volumena i razine vode u jezeru – jezero ima veliku tromost zbog svog volumena, ali i rizik da se sniženjem razine ne naruši dinamička ravnoteža s morem





Blato na Korčuli – Najmanji srednji mjesečni protoci

- I ovdje je vidljivo da generirani sr.mjesečni dotoci po modelu Aladin daju prognoze vrlo kritičnih i do sada nezabilježenih sušnih hidroloških prilika, posebno 2070.-2100., koje su daleko ispod potreba za vodoopskrbom koje se za sada namiruju iz izvora na tom vodonosniku – očekuju se učestaliji i intenzivniji prodori zaslanjene vode u krški vodonosnik.



- Provedene analize pokazale su kako različiti modeli scenarija klimatskih promjena daju različite intenzitete utjecaja mogućih promjena na analizirane vodne sustave;
- Model Aladin daje kritičnije vrijednosti (pojedine ekstreme) – kako za razdoblje 2021-30., a pogotovo za 2071.-2100. u odnosu na model REG CM3. Na žalost, također korišteni model Promes daje prognoze samo za razdoblje do 2050., pri čemu je po prognozama bliži modelu REG CM3;
- Rezultati pokazuju da bi se sredinom, a naročito krajem 21. stoljeća, ukoliko se nastave zapaženi trendovi promjena meteoroloških značajki, moglo pojaviti smanjenje srednjih godišnjih dotoka cca u rasponu 10-20%, a pri kraju stoljeća smanjenja čak i 30-50%, što generira i smanjenje najmanjih srednje mjesečnih dotoka, pa i rizike od zaslanjenja priobalnih vodonosnika;
- Najveće negativne promjene očekuju se na Korčuli i slijevu Bokanjačkog blata kod Zadra, a u nešto manjoj mjeri na području Vranskog jezera na Cresu. Razlog tome su, kako i različiti trendovi kolebanja godišnjih oborina, tako i same tromosti sustava u smislu sporijeg pražnjenja vodnih zaliha podzemnih voda tijekom kritičnih sušnih prilika.



Hvala na pažnji!