

# **Spremembe fizikalnih in kemijskih parametrov podzemne vode v Krški kotlini pred in po pričetku obratovanja HE Brežice**

**Junij 2022**

## **Spremembe fizikalnih in kemijskih parametrov v Krški kotlini pred in po pričetku obratovanja HE Brežice**

Ljubljana, junij 2022

**Izdajatelj:** Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Ljubljana, Vojkova 1b

**Odgovarja:** mag. Joško Knez, generalni direktor

**Avtorji:** mag. Marina Gacin

Deskriptorji: Krška kotlina, podzemna voda, vodonosnik, hidroelektrarna, fizikalni in kemijski parametri podzemne vode

Descriptors: Krška kotlina, groundwater, aquifer, hydroelectric power plant, physical and chemical parameters of groundwater

Podatki monitoringa so objavljeni na spletni strani Agencije RS za okolje:

[Arhivski podatki - kakovost voda](#)

[Karte - kakovost podzemne vode](#)

[Podzemna voda - kemijsko stanje](#)

©2022, Agencije Republike Slovenije za okolje

Razmnoževanje publikacije ali njenih delov ni dovoljeno. Objava besedila in podatkov v celoti ali deloma je dovoljena le z navedbo vira.

**Spremembe fizikalnih in kemijskih parametrov podzemne vode v  
Krški kotlini pred in po pričetku obratovanja HE Brežice**

**KAZALO**

1	UVOD.....	3
2	OBRAVNAVANO OBMOČJE .....	4
3	HE BREŽICE.....	7
4	METODE DELA.....	10
5	REZULTATI ANALIZ .....	13
6	ZAKLJUČKI.....	19
7	PREDLOGI ZA BODOČE DELO .....	20
8	VIRI.....	21
9	PRILOGE .....	22

## POVZETEK

V začetku oktobra leta 2017 je v Krški kotlini na Spodnji Savi začela obratovati hidroelektrarna Brežice (v nadaljevanju HE Brežice), katere izgradnja je trajala več let, od leta 2014 dalje. Izgradnja hidroelektrarne je zajela območje reke Save in oba njena bregova, od Krškega preko Brežic, do Čateža. Izvedene so bile tudi ureditve njenih pritokov.

V prvem, medzrnskem vodonosniku Krške kotline, kvartarne starosti, predstavlja reka Sava pomembno hidrodinamsko mejo, ki napaja in prazni vodonosnik. Tudi reka Krka drenira vodonosnik na širšem območju Krške vasi, vse do sotočja s Savo.

S človekovim posegom v režim reke Save in njenih pritokov, se je poseglo v dinamiko izmenjave med reko in vodonosnikom ter prav tako v režim podzemne vode vodnega telesa Krška kotlina. To je vplivalo tudi na spremembo vrednosti fizikalnih in kemijskih parametrov ter na njihovo porazdelitev v prostoru.

V poročilu so predstavljeni rezultati analiz podatkov državnega monitoringa s katerimi smo ugotavljali spremembe fizikalnih in kemijskih parametrov podzemne vode v Krški kotlini, pred pričetkom obratovanja HE Brežice v letu 2017 in v letih po tem. Analizirali smo parametre podzemne vode: gladina podzemne vode, temperatura, nasičenost s kisikom, redoks potencial, nitrat, električna prevodnost (20°C), sulfat.

Rezultati analiz so podani primerjalno za obdobje let pred pričetkom obratovanja HE Brežice in po njem. Za izbrane parametre so primerjana povprečja za obdobje let 2013-2016, to je v času, ko HE Brežice še ni obratovala in povprečja za obdobje let 2017-2020, ko je HE že obratovala. Preverili smo tudi letna povprečja za leto 2021.

Analizirali smo odnose med parametri. Z geostatistično analizo smo ocenili njihovo prostorsko porazdelitev v vodonosniku.

Po pričetku obratovanja HE Brežice so se gladine podzemne vode, ki so v severnem in severozahodnem delu Krške kotline višje, v njenem južnem in jugovzhodnem delu pa nižje, na vseh merilnih z izjemo Čateža, zvišale. Tudi temperature podzemne vode so se na večini merilnih mest zvišale. V nasprotju s temperaturo, se je nasičenost podzemne vode s kisikom, prav tako na večini merilnih mest, znižala. Tudi vsebnosti nitrata so se znižale na večini merilnih mestih, med drugim tudi v črpališču pitne vode Brege. V neaktivnem črpališču pitne vode Drnovo je vsebnost nitrata še vedno nad okoljskim standardom.

V vrtini Pb-20, v jugovzhodnem delu Brežiškega polja, beležimo po pričetku obratovanja HE Brežice, za obravnavana obdobja let, največji dvig temperature podzemne vode, največje znižanje vsebnosti kisika, vsebnosti nitrata pa so se v zadnjih letih na tem merilnem mestu znižale tudi pod mejo detekcije. Tudi vrednosti redoks potenciala in električne prevodnosti so po pričetku obratovanja HE Brežice v vrtini Pb-20 med nižjimi, znižale pa so se tudi v ostalih delih vodonosnika, oziroma na večini merilnih mest Brežiškega polja.

V nasprotju z Brežiškim poljem so se na Krškem polju, v njegovem centralnem in južnem delu vrednosti nitrata povišale, najbolj v Cerkljah, kjer presegajo 75% okoljskega standarda, oziroma nihajo tik pod njim. Na Krškem polju so se zvišale tudi vrednosti redoks potenciala in električne prevodnosti.

Izgradnja HE Brežice na vsebnosti sulfata ni bistveno vplivala, saj vrednosti parametra, pred pričetkom obratovanja hidroelektrarne in po njem, nihajo v razponu vrednosti naravnega ozadja, značilnega za molasne sedimente.

Bivariatne statistične analize kažejo, da so bili odnosi med parametri pred pričetkom obratovanja HE Brežice bolj spremenljivi, kot po njem. Dokaz za to so nekateri enakomerni odnosi med parametri, ki se po pričetku obratovanja kažejo v korelacijah, oziroma v medsebojni statistično značilni odvisnosti.

Vsebnost parametrov je bila v prostoru vodonosnikov Krške kotline drugače porazdeljena pred pričetkom obratovanja HE Brežice, kot po njem.

## 1 UVOD

V vodnem telesu podzemne vode Krška kotlina že vrsto let poteka državni monitoring kakovosti podzemne vode. Od leta 2006 pa do leta 2021 je bilo vodno telo v skladu z Uredbo o stanju podzemnih voda (Ur. l. RS št. 25/09, 68/12, 66/16) največkrat ocenjeno kot dobro, število neustreznih merilnih mest največkrat ni presegalo 30%. Praktično vsa leta je problematično neaktivno črpališče pitne vode Drnovo, kjer ugotavljamo onesnaženje z nitratom in desetil-atrazinom.

V območju Krške kotline človek načrtuje in izvaja v prostoru različne dejavnosti: intenzivno kmetijstvo, industrija, odlagališča odpadkov, komunalne čistilne naprave, iztoki odpadnih vod iz industrijskih naprav, idr., ki majo znaten vpliv na parametre v vodonosnikih.

V Krški kotlini je bil izveden eden večjih posegov že v 70 - tih letih prejšnjega stoletja (v nadaljevanju 70 - tih letih) in od takrat vodonosniki tega območja niso več v popolnoma naravnem stanju. Takrat je bila na levem bregu Save, na Brežiškem polju, zgrajena nuklearna elektrarna (v nadaljevanju nuklearka) Krško. Za potrebe gradnje nuklearke so se v preteklosti izvedle raziskave in študije Krškega in Brežiškega polja, da bi ugotovili kako bodo aktivnosti, kot so postavitve elektrarne, njen tehnološki postopek (hladilna voda, radioaktivnost) ter takratna zajezitev Save, vplivale na podzemno vodo. V zaključnem poročilu o študijah podzemne vode Krškega in Brežiškega polja za potrebe jedrske elektrarne Krško je bilo navedeno, da bi zajezitev Save za gradnjo nuklearke lahko dvignila gladino podzemne vode in tako vplivala na njeno kakovost (IBE, 1972, 1979). Ker nuklearka uporablja za hlajenje vodo reke Save in jo po procesu hlajenja izpušča nazaj v Savo, to predstavlja emisijo toplote v vodo (Geateh, 2014). V poročilu preteklih raziskav je bilo tudi opozorjeno, da se zaradi ogrete hladilne vode iz nuklearke lahko nizvodno od nje, zviša tudi temperatura podzemne vode (toplotno onesnaževanje), (Vodnogradbeni laboratorij, 1977, IBE, 1979).

Med leti 2014 in 2017 je bila v Krški kotlini zgrajena HE Brežice, kot peta hidroelektrarna v verigi šestih hidroelektrarn na spodnji Savi, ki je prav tako vplivala na gladino podzemne vode in tudi na vrednosti fizikalnih in kemijskih parametrov v podzemni vodi. Na Savi se načrtuje še hidroelektrarna Mokrice, na Brežiškem polju v Vrbini pa tudi odlagališče jedrskih odpadkov.

Po letu 2017 smo z rezultati državnega monitoringa za vodno telo Krška kotlina začeli opažati spremembe v vrednostih nekaterih fizikalnih in kemijskih parametrov, predvsem v znatnem znižanju vsebnosti kisika v vodonosniku Brežiškega polja (tabela 6, priloga 3).

Zaradi navedenega smo izvedli statistične in geostatistične analize fizikalnih in kemijskih parametrov podzemne vode tega območja.

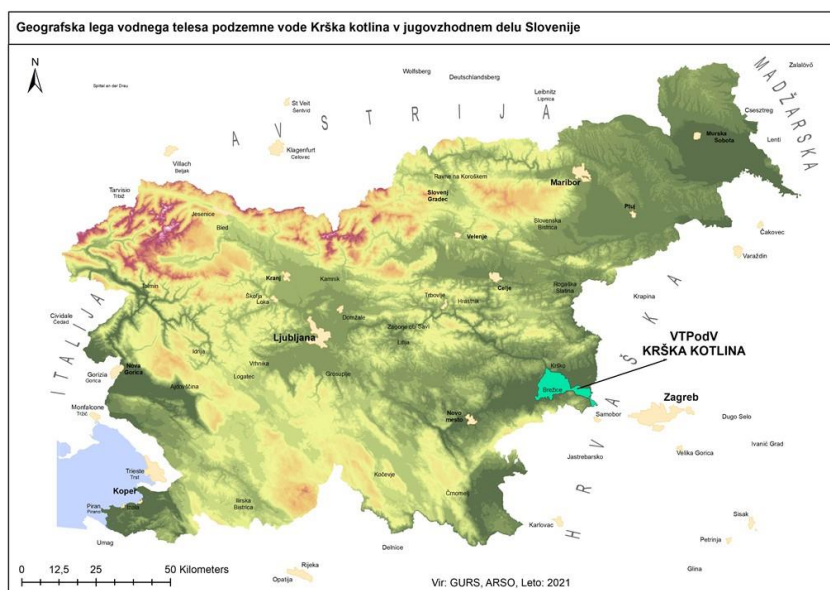
Rezultati statističnih analiz kažejo odnose med parametri v podzemni vodi in razliko v njihovih vrednostih pred ter po pričetku obratovanja HE Brežice (tabela 3-10, priloga 1-7).

Na podlagi geostatistične analize smo podali oceno prostorske porazdelitve vrednosti parametrov in njihovo spremenljivost v vodonosnikih Krške kotline, pred in po pričetku obratovanja HE Brežice (priloga 1-7).

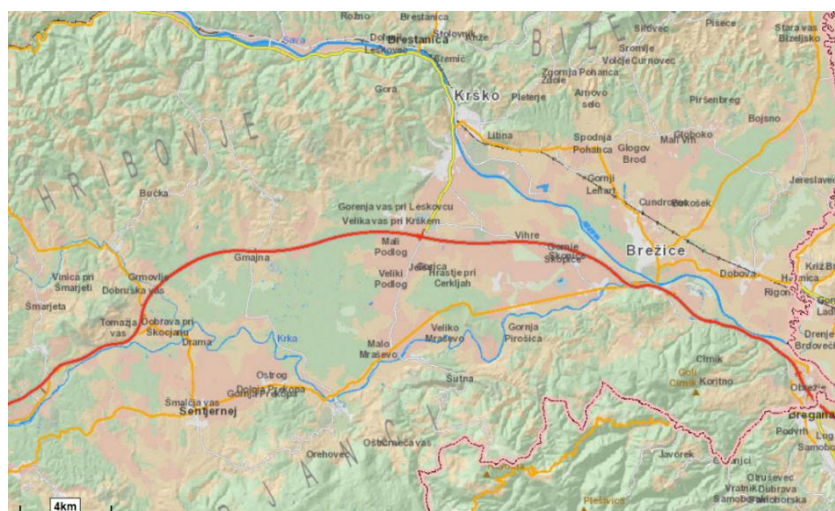
## 2 OBRAVNAVANO OBMOČJE

### Geografska lega

Vodno telo podzemne vode Krška kotlina se nahaja v jugovzhodnem delu Slovenije, kjer sta glavna večja površinska tokova reka Sava in Krka. Brežiško polje se razteza na levem bregu reke Save, med Krškim in Brežicami. Krško polje se razteza na desnem bregu reke Save in od tod proti jugu ter jugovzhodu, do reke Krke. Na zahodu se kotlina zaključi pod gričevjem Krakovskega gozda in pod obronki Krškega hribovja, na severovzhodu pod Bizeljskim gričevjem, na jugovzhodu pod Gorjanci, pri Bregani pa pod Samoborskim gorovjem na Hrvaškem (Slika 1-2).



Slika 1: Območje vodnega telesa podzemne vode Krška kotlina



Slika 2: Območje med Krškim in Brežicami



### **Geološke in hidrogeološke značilnosti**

Vodno telo podzemne vode Krška kotlina se nahaja v treh tipičnih vodonosnikih. Prvi, aluvialni, medzrnski vodonosnik je kvartarne starosti. Sestavljajo ga peščeno prodni zasipi rek Save in Krke ter njunih pritokov. Drugi, medzrnski vodonosnik kvartarne in terciarne starosti, se nahaja pod aluvialnimi nanosi rek Save in Krke ter njunih pritokov. Tretji, termalni kraški in razpoklinski, karbonatni vodonosnik, v večjem deležu sestavljajo mezozojski, triasni dolomiti. Reka Sava prvi, medzrnski vodonosnik večinoma drenira, delno pa tudi napaja. Tudi reka Krka drenira vodonosnik na širšem območju Krške vasi, vse do sotočja s Savo. Podzemna voda na levem bregu Save, na Brežiškem polju teče od severozahoda in severa proti jugovzhodu in jugu. Na Krškem polju se podzemna voda pretaka približno v smeri s tokom reke Save (Geozs, 2005/2006), (Slika 3).

### **Vodonosnik Brežiškega polja**

Kvartarni zasip Brežiškega polja je nekoliko tanjši in bolj heterogen kot kvartarni zasip Krškega polja, prav tako je manjša infiltracija Save v vodonosnik (Geozs, 1971/1972, 1976, 1978, IBE, 1979).

Raziskave za izgradnjo nuklearke Krško v 70-tih letih so pokazale, da debelina peščeno prodnega zasipa na tem območju znaša med 7,3 m do 9,2 m. Ob nizkem hidrološkem stanju je bil takrat omočen le spodnji del zasipa, v debelini 1,5 m. Gladina podzemne vode je bila v sušnem obdobju v globini med 6,1 m do 6,8 m pod površino, na koti 148,1 m n.m. Ob nizkih visokih vodah v spomladanskem času, so meritve takrat pokazala dvig podzemne vode na koto 149 m.n.m. Takrat je bil na tem območju s črpalnim poskusom ocenjen koeficient prepustnosti  $1,32 \times 10^{-2}$  m/sek. Zasip je prekrit je s pokrovom meljne glin ali glinastega melja, debelim nekaj več kot 1 m. Zaradi zaježitve Save ob izgradnji nuklearke v 70-tih letih je bilo v hidrogeoloških raziskavah ugotovljeno, da se bo gladina podzemne vode na tem območju Brežiškega polja dvignila vsaj za en meter. Podlaga vodonosnega zasipa so nepropustne plasti gosto zbitega melja terciarne starosti. Med plastmi melja so tanjši vložki ali leče zelo drobnega peska. Takrat je bilo mogoče na levem bregu Save opazovati neposredno odvisnost gladine podzemne vode od vodnega stanja Save, posebej ob počasnem spreminjanju vodostaja Save. Pri večjih dvigih gladine reke se je tok podzemne vode usmeril proti obrobju kvartarnega zasipa, v času upadanja pa proti bregovom Save (Geozs, 1971/1972, IBE, 1979).

Dalje, nizvodno po levem bregu Save do Brežic, je debelina kvartarnega prodnega zasipa med 6 in 15 m. Povprečna prepustnost kvartarnih prodnih naplavin je bila v 70-tih letih na tem območju ocenjena na  $2,4 \times 10^0$  cm/sek, hitrost pretakanja pa na 1,3 m/dan.

Vodonosni zasip na levem bregu Save med Brežicami in Dobovo je debel med 4 m in 11,5 m. Debelina omočenega vodonosnega sloja se je v 70-tih letih med letom spreminjala, odvisno od vodostaja Save in množine padavin. Prodni zasip na območju med Brežicami, Dobovo in Sotlo je bil takrat identificiran kot pomemben rezervoar podzemne vode.

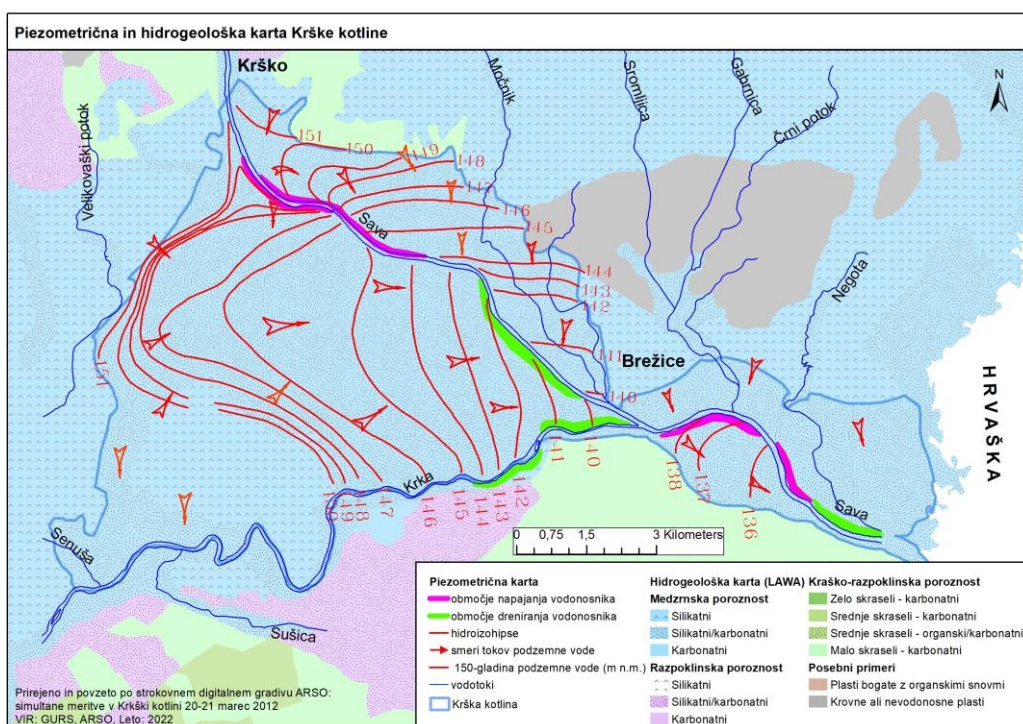
### **Vodonosnik Krškega polja**

Savski prodni zasip na območju Krškega polja (med Savo in Krko) je debel približno med 7 m in 20 m. Razčlenjen je na dve terasi, na nižjo holocensko in višjo pleistocensko. Pliocenske plasti, ki sestavljajo podlago peščeno prodnemu pokrovu sestoje iz glinastega proda in meljastega peska ter so zelo slabo propustne. Pliocenska podlaga izdanja na pobočjih na zahodnem obrobju, pri vasi Leskovec in v Krakovske gozdu. Kvartarni nanos prodnato peščenih sedimentov je na Krškem polju debel preko 15 m. Vodonosnik se napaja iz padavin in iz Save, s katero je v hidravličnem stiku. Po ocenah iz 70-tih let je infiltracija Save v tistem

času predstavljala 46% do 62% dinamičnih rezerv vodonosnika. Glede na takratne raziskave, je glavno infiltracijsko območje ležalo od vstopa Save v Krško kotlino do območja severno od Mrtvic. Na območju od Skopic do sotočja s Krko se je vodonosnik dreniral v Savo, v Krko pa od Krške vasi do sotočja s Savo. Občasno, ob visokih vodah se je kvartarni vodonosnik dreniral še v izvire v dolini reke Krke skozi konglomeratni greben med Cerkljami in Krško vasjo (Geozs, 1971/1972, 1976, IBE, 1979).

Po poročilih iz 70-tih let naj bi takrat gladina podzemne vode zelo nihala glede na hidrološko stanje. Debelina vodonosnega horizonta se je spreminjala od 2,1 m do 6 m. Glede na takratne raziskave so vodonosnik pri višjih gladinah napajali izviri na območju Krakovskega gozda in reka Sava, vzporedno s katero je podzemna voda ob višjem hidrološkem stanju tudi tekla. Pri nizkem hidrološkem stanju se je vodonosnik napajal samo iz Save. Takrat je bila ocenjena tudi hitrost podzemne vode, ki pronica iz Save v smeri proti osrednjemu delu polja, na okoli 0,31 m/dan do 0,93 m/dan, mestoma pa naj bi bila lahko hitrost tudi večja. Po poročilih iz 70-tih let je podzemna voda napajala Krko iz številnih izvirov na odseku med Cerkljami in Krško vasjo, ob vznožju Gaja. Po takratnih podatkih je bila gladina podzemne vode v kvartarnem zasipu med 1,7 m in 15,3 m globoko. Nagnjena je bila v smeri od Leskovca in vzhodnega roba Krakovskega gozda proti jugovzhodu. Povprečen koeficient prepustnosti na Krškem polju je bil iz črpalnih poskusov takrat ocenjen na  $2,02 \times 10^{-3}$  m/sek. Na obrobju pleistocenske terase na zahodnem robu je bila v tem predelu ocena hitrosti podzemne vode na 4,6 m/dan. V osrednjem delu vodonosnika naj bi bila hitrost toka podzemne vode precej manjša, v vzhodnem pa zopet hitrejša. Po takratnih poročilih naj bi se gladina podzemne vode Krškega polja pri visokih vodah dvignila za okoli 2,50 m (Geozs, 1971/1972, IBE, 1979).

V letu 2012 je Agencija RS za okolje v vodonosnikih Krške kotline izvedla simultane meritve gladin podzemne vode. Porazdelitve gladin in območij izmenjave reke z vodonosnikom iz leta marca 2012 prikazuje piezometrična in hidrogeološka karta (ARSO, 2012), (slika 3).



Slika 3: Gladine podzemne vode, smer toka podzemne vode, izmenjava reke z vodonosnikom, ob simultanih meritvah 20-21 marec 2012 (Arso, 2012)

### 3 HE BREŽICE

#### Kratek opis

Hidroelektrarna Brežice je peta, v verigi od šestih hidroelektrarn na Spodnji Savi. Gradnja se je pričela v aprilu 2014, poskusno pa je začela obratovati v oktobru 2017 (splet HESS), (slika 4, 5, 6, 7).

Je pretočno akumulacijskega tipa z nazivno močjo 47,4 MW in nameščenimi tremi vertikalnimi agregati z nazivnim pretokom 500 m<sup>3</sup>/s, s petimi pretočnimi polji in povprečno letno proizvodnjo 161 GWh. Jezovna zgradba, ki se nahaja v rečnem km 738,492, ca 320 m od jeklenega mostu čez Savo, oziroma 1100 m od sotočja Save in Krke, istočasno predstavlja tudi pregradno konstrukcijo. Sestavljajo jo strojnica, prelivna polja, priključna nasipa na desnem in levem bregu Save ter priključni zidovi, ki predstavljajo navezavo strojnice in prelivnih polj na oba bregova. HE Brežice v slovenski elektroenergetski sistem prispeva dober odstotek trenutne letne proizvodnje električne energije v Sloveniji (splet HESS, Geateh, 2014).

#### Izgradnja objekta

Izgradnja z delovanjem objekta je zajela območja, ki se na reki Savi in na obeh njenih bregovih nahajajo od Krškega na severozahodu, do Brežic in Čateža na jugovzhodu. Površina akumulacije je približno 3 120 000 m<sup>2</sup>, dolžina pa 11 km, od mostu v mestu Krško, do jezovne zgradbe (UDPN za območje HE Brežice, Ur. l. 50/12, 69/13, Geateh, 2014), (Slika 7).

V sklopu izgradnje HE Brežice se je skladno s sprejetim Državnim prostorskim načrtom, poleg jezovne zgradbe, izvedla tudi gradnja in ureditev druge vodne državne ter lokalne infrastrukture (ureditev brežin in pritokov, sanacija kmetijskih površin, prestavitve energetskih ter komunalnih vodov, državnih in lokalni cest na območju akumulacijskega bazena, izvedba visoko napetostnega daljnovoda, izvedba mostu idr.), (Savaprojekt Krško & Acer Novo mesto, 2008, Geateh, 2014).



Slika 4: mikrolokacija HE Brežice (Atlas okolja, ARSO, 2022)

Ker območji Krškega in Brežiškega polja predstavljata obsežne retenzijske površine v primeru visokih voda, je bilo pomembno oblikovanje odtočnega režima Save. Poleg območij jezovnih



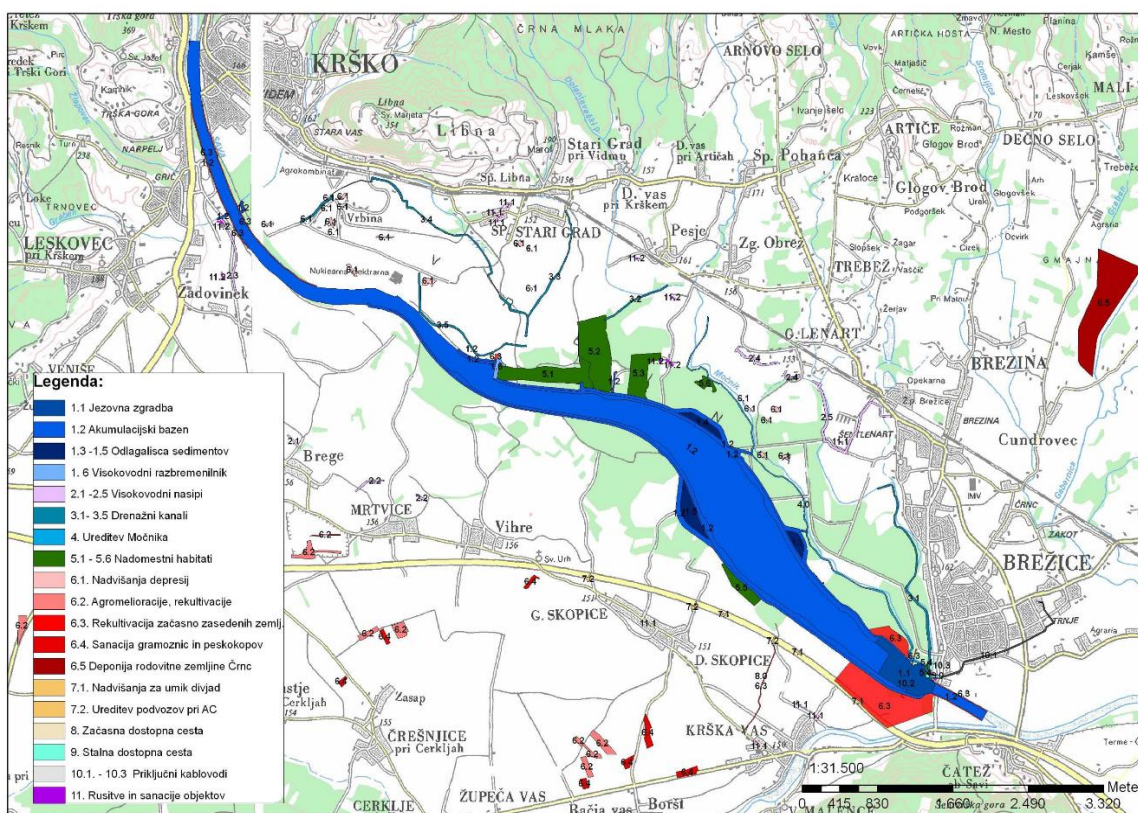
zgradb in akumulacijskega bazena ter poglobljanja struge reke Save, se je s tesnjenimi protipoplavnimi nasipi zagotovila protipoplavna varnost naselij na vplivnem območju HE Brežice (zaščita naselij Krško, Žadovinek, Vrbina, Stari Grad, Pesje, Gornji Lenart, Brege, Velike Malence in Krška vas), (Savaprojekt Krško & Acer Novo mesto, 2008, Geateh, 2014).



Slika 5: HE Krško (Vir: splet HESS)



Slika 6: HE Krško (Vir: splet HESS)



Slika 7: Območje izgradnje in delovanja HE Brežice (Geateh, 2014)

Izvedene so bile vodnogospodarske ureditve pritokov Save (Struga, Žlapovec, Potočnica, Leskovški potok in Močnik) in ureditve na reki Krki za zagotavljanje protipoplavne varnosti Krške vasi (Savaprojekt Krško & Acer Novo mesto, 2008, Geateh, 2014).

Za zagotavljanje ustrezne gladine podzemne vode v širšem območju posega (izgradnja akumulacijskega bazena HE Brežice) je bila izvedena mreža drenažnih kanalov, ki so razdeljeni v tri skupine: kanali ob nasipih bazena (na levem in desnem bregu), kanali v zaledju (na levem bregu) in naravni vodotoki, ki z dodatno ureditvijo delujejo kot drenaže (Močnik,

Struga). Drenažni kanali ob nasipih bazena potekajo ob vznožju nasipov tako, da je v vmesnem prostoru berma z večnamensko potjo, ki služi za vzdrževanje nasipa in kanala. Ti kanali poleg zniževanja podzemne vode zbirajo in odvajajo tudi vodo, ki naj bi se precejala iz bazena skozi nasip (Eurofins Erico Slovenija, 2020).

Spodnja struga dolvodno od HE Brežice se je poglobila na odseku dolžine ca 2,7 km, z začetkom pri kovinskem mostu v Brežicah in do sredine Čateškega polja. Državni prostorski načrt je predvidel izkop iz struge približno 400.000 m<sup>3</sup> materiala. Na območju Vrbine, na levem bregu Save je državni prostorski načrt za široke nasipe predvidel vgrajevanje preko 530.000 m<sup>3</sup> materiala iz poglobljanja spodnje struge Save. Nasipi so tesnjeni s folijo in injekcijskimi sistemi (Savaprojekt Krško & Acer Novo mesto, 2008).

### **Ugotovitve presoje vplivov na vode**

V postopku pridobivanja okoljevarstvenega soglasja za izgradnjo HE Brežice je bilo s presojo vplivov na okolje ugotovljeno, da se vpliv izvedbe HE Brežice kaže kot sprememba pretočnega režima Save, ki se spremeni v počasi tekočo reko. Upočasnitev pretoka naj bi povečala usedanje suspendiranih delcev. V presoji vplivov je bilo predvideno, da bo ob pojavu visokih voda prišlo do delnega odplavljanja usedlih delcev iz akumulacije. Izvedba HE Brežice in visokovodnih nasipov naj bi povečala poplavno varnost območja. Spremenjen poplavni režim ob Savi (poplavna ravnica Save) naj bi do 20 letne poplavne vode prevajal znotraj akumulacije. Večje poplavne vode naj bi se preko kontroliranega preliva razlile na levi in desni del obstoječe poplavne ravnice. Na desnem bregu je bilo ob višjih pretokih predvideno tudi prelivanje preko utrjene brežine. Za zaščito naselij Šentlenart, Gornji Lenart, Stari grad, Mrtvice, Brege, Žadovinek, Krško in Krška vas, naj bi bili utrjeni dodatni visokovodni nasipi (Geateh, 2014).

Prav tako je bilo v presoji vplivov na okolje ugotovljeno, da se vpliv izvedbe HE Brežice kaže v spremembah dinamike toka in gladin podzemne vode, akumulacija naj bi do določene mere tudi napajala vodonosnik, kar vpliva na količinsko ter kemijsko stanje podzemne vode. Vpliv varovalnih nasipov s tesnilnimi zavesami, ki segajo v nivo podzemne vode, se kaže v preusmeritvi toka podzemne vode in v spremenjeni povezavi med Savo in vodonosnikom. Pred izgradnjo HE Brežice se je podzemna voda na področju nizvodno od obstoječega jezua za nuklearko Krško drenirala v reko Savo, po izgradnji akumulacijskega bazena pa teče vzporedno z reko in se pred sotočjem Krke in Save, za jezovno zgradbo drenira v Savo (Geateh, 2014).

Vzdolž zaledne strani nasipov HE Brežice so drenažni kanali, ki imajo dvojno funkcijo: varno odvodnjavanje skozi nasip ponikle vode in regulacija gladin podzemne vode na Krškem in Brežiškem polju. Drenažni kanal je za desnim nasipom dolg 8000 m. Del kanala opravlja tudi funkcijo zniževanja gladin podzemne vode, oziroma dreniranje Krškega in Brežiškega polja južno od Save. Vzdlž levega brega akumulacije so bili prav tako izvedeni drenažni in regulacijski kanali. Po Brežiškem polju je od platoja nuklearke Krško, do vzpetine Brežic, za zagotavljanje ustreznih gladin podzemne vode izvedenih pet regulacijskih drenažnih kanalov. Šesti regulacijski kanal predstavlja urejena struga potoka Močnik. Prekinjen je bil stik zalednih vod s Savo, te se sedaj drenirajo v drenažni kanal ob nasipih (Geateh, 2014).

V presoji je bilo predvideno, da bo gladina podzemne vode zaradi omilitvenih ukrepov segala do maksimalno 1,5 m pod nivojem tal. Vpliv na kemijsko stanje podzemne vode je bil ocenjen kot nebitven (Geateh, 2014).

## 4 METODE DELA

### Kratek opis analiz

Zaradi ugotavljanja sprememb vrednosti fizikalnih in kemijskih parametrov podzemne vode pred pričetkom obratovanja HE Brežice in po njem, smo izvedli statistične in geostatističnih analize podatkov. V vodonosnikih Brežiškega in Krškega polja smo ugotavljali razlike v koncentracijah posameznih parametrov, njihove medsebojne odnose ter kako so prostorsko porazdeljeni. V analize smo vključili merilna mesta za spremljanje kakovosti in gladin podzemne vode.

### Parametri

V statistične analize smo vključili fizikalne in kemijske parametre, ki predstavljajo rezultate državnega monitoringa podzemne vode: gladine podzemne vode, temperatura, nasičenost s kisikom, redoks potencial, nitrat, električna prevodnost, sulfat.

### Podatki

Primerjalno smo analizirali podatke, ki datirajo v čas pred pričetkom obratovanja HE Brežice in po njem.

Iz programa spremljanja kakovosti podzemne vode smo primerjali povprečja izbranih parametrov za obdobje let 2013-2016, v katerem HE Brežice še ni obratovala in povprečja izbranih parametrov za obdobje let 2017-2020, v katerem je HE že obratovala. Letna povprečja parametrov, v katerih sta zajeti dve meritvi letno, smo preverili do vključno leta 2021.

Nizi podatkov iz programa spremljanja gladin podzemne vode zajemajo podatke med leti 2013-2019. Zaradi krajšega niza razpoložljivih podatkov, smo gladine podzemne vode analizirali za povprečja let 2014-2016 in 2017-2019. Nizi teh podatkov so na nekaterih merilnih mestih krajši, prav tako je frekvenca meritev različna (Tabela 2).

### Statistika z dvema spremenljivkama

Analizirali smo odnose med spremenljivkami (parametri). To smo izvedli z neparametrično statistiko. Statistično odvisnost in povezanost med spremenljivkami smo raziskali s Spearmanovim korelacijskim koeficientom rangov ( $r'$ ). Statistične analize z interpretacijo so izvedene za območje vodnega telesa podzemne vode, kar je z večjim številom merilnih mest, omogočilo daljši, za statistiko sprejemljivejši niz podatkov. Na posameznem vodonosniku je namreč število merilnih mest manjše, s tem je niz podatkov krajši, kar za statistiko pomeni manjšo zanesljivost.

### Geostatistika

Z geostatistično analizo smo ugotavljali naravo porazdelitve spremenljivk (parametrov) v prostoru vodnega telesa Krška kotlina, ter jih na osnovi vzorčnih točk v prostoru, predstavili na dvodimenzionalnih izrisih (Priloga 1-7). S tehniko običajnega krigiranja smo izdelali napoved površine posameznega parametra. Krigiranje je metoda, ki zagotavlja napoved spremenljivke s pomočjo uteži, ki ne temeljijo zgolj na razdalji med točkami meritev in napovedanimi točkami. Temeljijo tudi na lastnostih prostora, na prostorski avtokorelaciji, ki je odvisna od razdalje in smeri med točkami meritev. Porazdelitev posameznega parametra je napovedana z manjšo ali večjo napako, ki se jo prikaže z vrednostjo variance na posamezni točki. Varianca je velika na robovih vodnega telesa, kjer nimamo merilnih mest. V našem primeru je to na severnem,

severozahodnem, severovzhodnem, južnem, jugozahodnem in jugovzhodnem obrobju vodnega telesa. Tudi geostatistična analiza z interpretacijo, je zaradi daljšega, za geostatistiko sprejemljivejšega niza podatkov, z večjim številom merilnih mest, izvedena v mejah vodnega telesa podzemne vode in ne za posamezen vodonosnik.

### Merilna mreža za spremljanje kakovosti podzemne vode

V analize smo vključili 14 merilnih mest, na katerih spremljamo kakovost podzemne vode (Tabela 1, Slika 8). Namenska merilna mesta Žadovinek, Vihre in Krška vas so bila v program monitoringa vključena v letu 2016. Na merilnem mestu PB-6 za leti 2020 in 2021 ni podatkov, ker ga v redne programe monitoringa ne vključujemo več, saj je bilo nadomeščeno z novim, namenskim merilnim mestom Krška vas.

Vodno telo podzemne vode	Vodonosnik	Ime merilnega mesta	Šifra mm	X	Y
1003 Krška kotlina	Brežiško polje	Vrbina NE-1077	P62060	88487	539722
1003 Krška kotlina	Brežiško polje	Sp. Stari Grad NE-1177	P62120	87870	540900
1003 Krška kotlina	Brežiško polje	Šentlenart NE-1377	P62240	86260	544830
1003 Krška kotlina	Brežiško polje	PB-20	P68020	85239	545180
1003 Krška kotlina	Krško polje	Žadovinek Žad-1/15	P66200	87556	539158
1003 Krška kotlina	Krško polje	Drnovo	P66120	86797	537438
1003 Krška kotlina	Krško polje	Brege-črpališče	P66242	86882	539329
1003 Krška kotlina	Krško polje	Vihre Vih-1/15	P66350	85833	541103
1003 Krška kotlina	Krško polje	PB-9	P68009	85481	541013
1003 Krška kotlina	Krško polje	Skopice NE-0877	P66400	85240	543130
1003 Krška kotlina	Krško polje	Cerklje 0112	P66302	83046	540952
1003 Krška kotlina	Krško polje	Krška vas Kvas - 1/15	P66522	83818	544573
1003 Krška kotlina	Krško polje	PB-6	P68006	83793	544553
1003 Krška kotlina	Čateško polje	Čatež M32	P70060	83139	548528

Tabela 1: Merilna mreža za spremljanje kakovosti podzemne vode

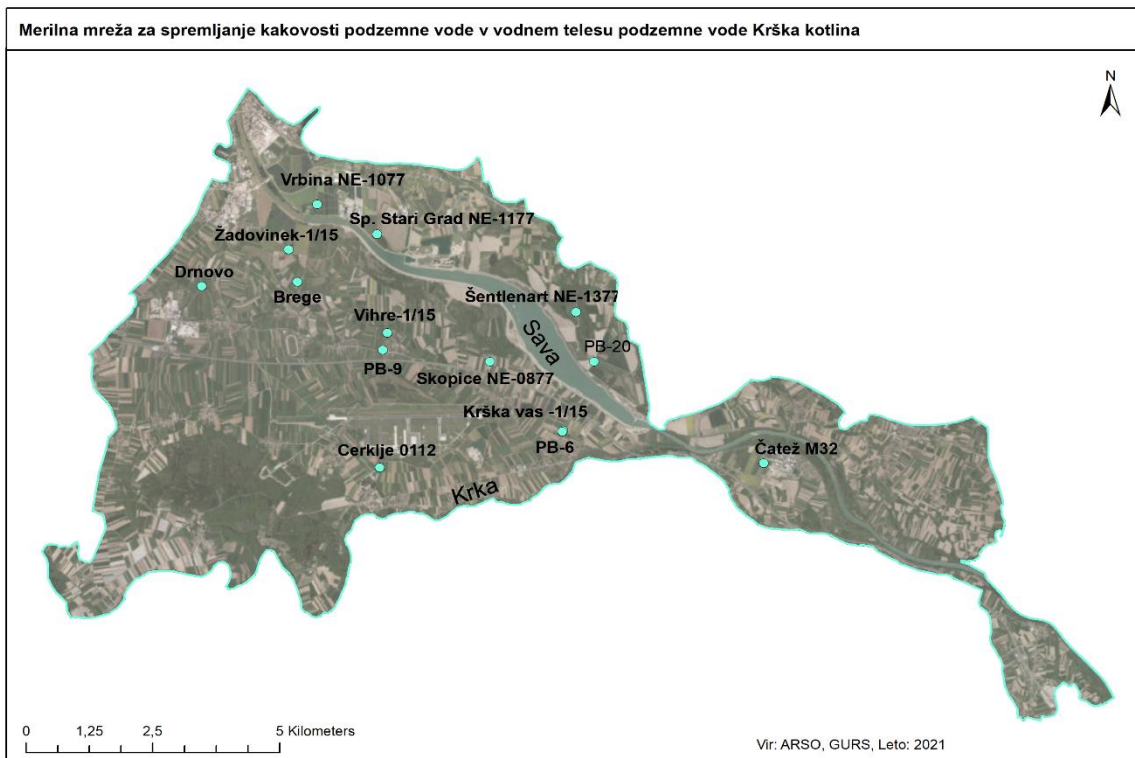
### Merilna mreža za spremljanje gladin podzemne vode

V analize smo vključili 15 merilnih mest, na katerih poteka spremljanje gladin podzemne vode (Tabela 2, Slika 9). Namenska merilna mesta Žadovinek, Vihre in Krška vas so bila v program monitoringa vključena v letu 2015.

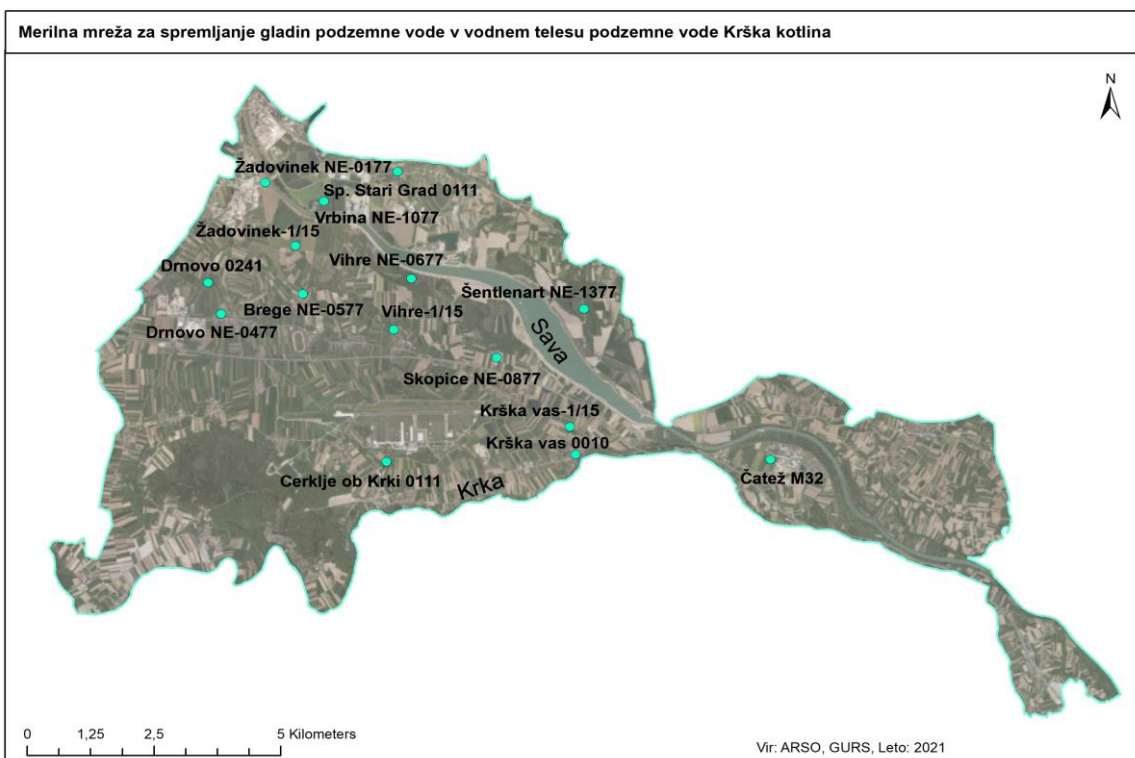
Vodno telo podzemne vode	Vodonosnik	Ime merilnega mesta	Šifra mm	X	Y
1003 Krška kotlina	Brežiško polje	Vrbina NE 1077	40005	88484	539723
1003 Krška kotlina	Brežiško polje	Spodnji Stari Grad 0111	40015	89089	541173
1003 Krška kotlina	Brežiško polje	Šentlenart NE 1377	40025	86253	544850
1003 Krška kotlina	Krško polje	Žadovinek Zad-1/15	50013	87555	539159
1003 Krška kotlina	Krško polje	Žadovinek NE 0177	50005	88862	538568
1003 Krška kotlina	Krško polje	Drnovo 0241	50010	86798	537436
1003 Krška kotlina	Krško polje	Drnovo NE 0477	50015	86152	537691
1003 Krška kotlina	Krško polje	Brege NE 0577	50045	86565	539305
1003 Krška kotlina	Krško polje	Vihre NE 0677	50050	86880	541445
1003 Krška kotlina	Krško polje	Vihre Vih-1/15	50052	85826	541099
1003 Krška kotlina	Krško polje	Skopice NE 0877	50075	85244	543127
1003 Krška kotlina	Krško polje	Krška vas KršV-1/15	50088	83819	544573
1003 Krška kotlina	Krško polje	Krška vas 0010	50090	83244	544690
1003 Krška kotlina	Krško polje	Cerklje ob Krki 0111	50061	83093	540957
1003 Krška kotlina	Čateško polje	Čatež M32	45030	83139	548528

Tabela 2: Merilna mreža za spremljanje gladin podzemne vode





Slika 8: Merilna mreža za spremljanje kakovosti podzemne vode



Slika 9: Merilna mreža za spremljanje gladin podzemne vode



## 5 REZULTATI ANALIZ

### Rezultati za obdobja let 2013-2016, 2017-2020 in 2013-2021

V nadaljevanju so podani rezultati bivariatnih statističnih analiz med parametri. Prav tako so predstavljena povprečja za posamezen parameter za obdobji let 2013-2016 in 2017-2020 ter razlike med njimi. Dodatno so preverjena še povprečja za leto 2021. Predstavljena je tudi geostatistična analiza za posamezen parameter v prostoru vodnega telesa podzemne vode Krška kotlina. Grafični prikazi povprečij parametrov za opazovana obdobja let in porazdelitve parametrov v dvodimenzionalnih kartografskih izrisih, so predstavljeni v prilogah 1-7.

### Odnosi med parametri

Analize kažejo, da so bili parametri podzemne vode pred začetkom obratovanja HE Brežice bolj spremenljivi (variabilni), saj za povprečje let 2013-2016 enakomernih, statistično značilnih odnosov med njimi, nismo ugotovili. Po pričetku obratovanja HE Brežice, v letih 2017-2020, je analiza pokazala nekaj statistično značilnih, pozitivnih in enakomernih odnosov med parametri (Tabela 3).

Nasičenost s kisikom in nitrat sta v prostoru vodonosnika najbolj pogosto enakomerno, statistično značilno povezana z drugimi parametri. Kisik v vseh odnosih nastopa kot neodvisna spremenljivka, nitrat pa tudi kot odvisna.

V predelih, kjer je vodonosnik dobro prezračen, so v podzemni vodi višje vrednosti redoks potenciala, nitrata in električne prevodnosti. Tam, kjer je redoks potencial višji, so višje vsebnosti nitrata. Ob višjih vsebnostih nitrata, so vrednosti električne prevodnosti višje (Tabela 3).

Neodvisna / odvisna spremenljivka	Število Število N	Spearman r
Nasičenost s kisikom 2017-2020 & Nitrat 2017-2020	14	0,88
Redoks potencial 2017-2020 & Nitrat 2017-2020	14	0,83
Nasičenost s kisikom 2017-2020 & Električna prevodnost 2017-2020	14	0,76
Nitrat 2017-2020 & Električna prevodnost 2017-2020	14	0,76
Nasičenost s kisikom 2017-2020 & Redoks potencial 2017-2020	14	0,68

Tabela 3: odnosi med parametri

### Gladine podzemne vode (m.n.m.)

Gladine podzemne vode so v Krški kotlini najvišje v njenih severozahodnih delih, tako na Brežiškem polju (Vrbina, Spodnji Stari Grad), kot tudi na Krškem polju (Žadovinek, Brege, Drnovo) in se znižujejo proti jugovzhodu do Čateža.

Po pričetku obratovanja HE Brežice so se gladine podzemne vode za povprečje let 2017-2019 zvišale na vseh merilnih mestih, razen v Čatežu. Primerjava povprečnih vrednosti gladin za obravnavana obdobja let kaže, da je bil dvig gladin podzemne vode v Šentlenartu in v Vihrah, največji (Tabela 4, Priloga 1).

Vodonosnik	MM	X	Y	1. Gladina (m.n.m.) 2014-2016	2. Gladina (m.n.m.) 2017-2019	Razlika 2-1 (m.n.m.)
Brežiško polje	40005 Vrbina NE 1077	88484	539723	149,87	150,54	0,67
Brežiško polje	40015 Spodnji Stari Grad 0111	89089	541173	149,69	149,78	0,09
Brežiško polje	40025 Šentlenart NE 1377	86253	544850	143,54	144,63	1,09
Krško polje	50013 Žadovinek Žad-1/15	87555	539159	147,85	148,65	0,80
Krško polje	50005 Žadovinek NE 0177	88862	538568	150,29	/	/
Krško polje	50010 Drnovo 0241	86798	537436	148,43	148,80	0,37
Krško polje	50015 Drnovo NE 0477	86152	537691	148,46	148,85	0,39
Krško polje	50045 Brege NE 0577	86565	539305	147,70	148,34	0,64
Krško polje	50050 Vihre NE 0677	86880	541445	146,14	147,81	1,67
Krško polje	50052 Vihre Vih-1/15	85826	541099	146,40	147,53	1,13
Krško polje	50075 Skopice NE 0877	85244	543127	144,11	145,06	0,95
Krško polje	50088 Krška vas Kvas-1/15	83819	544573	142,90	143,32	0,42
Krško polje	50090 Krška vas 0010	83244	544690	142,66	/	/
Krško polje	50061 Cerklje ob Krki 0111	83093	540957	147,03	147,41	0,38
Čateško polje	45030 Čatež M32	83139	548528	137,87	137,59	-0,28

Tabela 4: Gladine podzemne vode med leti 2014-2016 in 2017-2020

### Temperatura

Pred pričetkom obratovanja HE Brežice so bile temperature najvišje v jugovzhodnem delu Krškega polja, v Krški vasi, v vrtini Pb-6 in na Čateškem polju. Na večini ostalih merilnih mest so bile vrednosti temperatur, ob manjših nihanjih, na levem in desnem bregu Save približno enake. Izjema je vrtina Pb-20 na Brežiškem polju, kjer je bila temperatura podzemne vode med leti 2013-2016, nižja (Tabela 5, Priloga 2).

Po pričetku obratovanja HE Brežice, je temperatura podzemne vode višja praktično na vseh merilnih mestih Krške kotline. Primerjava povprečnih vrednosti znotraj obravnavanih obdobjev let kaže, da je bil porast temperature v vrtini Pb-20, največji. V letu 2021 je povprečna letna vrednost temperature v Čatežu narasla na skoraj 16°C (Tabela 5, Priloga 2).

Vodonosnik	Merilno mesto	X	Y	1. Temperatura (°C) 2013-2016	2. Temperatura (°C) 2017-2020	Razlika 2-1 (°C)
Brežiško polje	Vrbina NE-1077	88487	539722	13,3	13,6	0,3
Brežiško polje	Sp. Stari Grad NE-1177	87870	540900	13,2	14,5	1,3
Brežiško polje	Šentlenart NE-1377	86260	544830	12,8	13,0	0,2
Brežiško polje	Pb-20	85239	545180	11,2	14,9	3,7
Krško polje	Žadovinek Žad-1/15	87556	539158	13,3	13,4	0,1
Krško polje	Drnovo	86797	537438	12,7	13,8	1,2
Krško polje	Brege - črpališče	86882	539329	12,6	13,3	0,6
Krško polje	Vihre Vih-1/15	85833	541103	13,3	14,0	0,7
Krško polje	Pb-9	85481	541013	13,2	13,7	0,5
Krško polje	Skopice NE-0877	85240	543130	13,3	14,2	0,9
Krško polje	Cerklje 0112	83046	540952	13,3	14,4	1,1
Krško polje	Krška vas Kvas-1/15	83818	544573	14,2	14,2	0,0
Krško polje	Pb-6	83793	544553	13,9	13,9	-0,05
Čateško polje	Čatež M32	83139	548528	14,5	15,0	0,6

Tabela 5: Temperatura podzemne vode med leti 2014-2016 in 2017-2020

### Nasičenost podzemne vode s kisikom (%)

Slabše prezračena sta vodonosnika Brežiškega in Čateškega polja. Vodonosnik Brežiškega polja je ponekod zaprt in polzaprt, po sestavi bolj heterogen in nekoliko tanjši. V geološki sestavi vodonosnika Brežiškega polja so slabše prepustni kvartarni in pliokvartarni glinasti ter meljasti sedimenti (GeoZs, 1971/1972, 1976, 1978, IBE, 1979). V vrtini Pb-20, v jugovzhodnem delu Brežiškega polja, je prezračenos najslabša. Kjer je vodonosnik odprt, gladina podzemne vode prosto niha pod vplivom atmosfere in je njegova prezračenos boljša. Več kisika je na merilnih mestih Drnovo, Brege in Cerklje (Tabela 6, Priloga 3).

Po pričetku obratovanja HE Brežice je se je nasičenost s kisikom v vseh merilnih mestih Krške kotline, z izjemo vrtine Pb-6, znižala, najbolj na merilnih mestih vodonosnika Brežiškega polja. Na Brežiškem polju je bil zabeležen največji padec kisika v letu 2018, v Šentlenartu že v letu 2017. V vrtini Pb-20 so povprečne vrednosti kisika v obdobju let 2018-2021, padle tudi pod mejo detekcije (Tabela 6, Priloga 3).

Vodonosnik	Merilno mesto	X	Y	1. Nasičenost kisik (%) 2013-2016	2. Nasičenost kisik (%) 2017-2020	Razlika 1-2 (%)
Brežiško polje	Vrbina NE-1077	88487	539722	64	23	41
Brežiško polje	Sp. Stari Grad NE-1177	87870	540900	76	43	33
Brežiško polje	Šentlenart NE-1377	86260	544830	39	21	18
Brežiško polje	Pb-20	85239	545180	41	13	28
Krško polje	Žadovinek Žad-1/15	87556	539158	79	67	12
Krško polje	Drnovo	86797	537438	94	93	1
Krško polje	Brege - črpališče	86882	539329	94	89	5
Krško polje	Vihre Vih-1/15	85833	541103	89	78	11
Krško polje	Pb-9	85481	541013	86	76	10
Krško polje	Skopice NE-0877	85240	543130	89	77	12
Krško polje	Cerklje 0112	83046	540952	95	87	8
Krško polje	Krška vas Kvas-1/15	83818	544573	89	79	10
Krško polje	Pb-6	83793	544553	65	79	-14
Čateško polje	Čatež M32	83139	548528	58	45	14

Tabela 6: Nasičenost podzemne vode s kisikom med leti 2014-2016 in 2017-2020

### Redoks potencial (mV)

Pred obratovanjem HE Brežice je bil redoks potencial podzemne vode najvišji v Vrbini na Brežiškem polju. Po pričetku obratovanja so se v temu vodonosniku vrednosti redoks potenciala, z izjemo merilnega mesta v Spodnjem Starem gradu, znižale. V Šentlenartu so v letu 2021 ponovno narasle. Obratno so se na Krškem polju, na večini merilnih mest zvišale. Višje vrednosti redoks potenciala so zabeležene v osrednjem delu Krškega polja (Vihre, Pb-9, Skopice), v njegovem jugovzhodnem in južnem delu (Krška vas, Pb-6, Cerklje) ter na severozahodu v Drnovem. (Tabela 7, Priloga 4).

Vodonosnik	Merilno mesto	X	Y	1. Redoks potencial (mV) 2013-2016	2. Redoks potencial (mV) 2017-2020	Razlika 2-1 (mV)
Brežiško polje	Vrbina NE-1077	88487	539722	396	351	-45
Brežiško polje	Sp. Stari Grad NE-1177	87870	540900	320	344	24
Brežiško polje	Šentlenart NE-1377	86260	544830	249	247	-2
Brežiško polje	Pb-20	85239	545180	375	294	-81
Krško polje	Žadovinek Žad-1/15	87556	539158	326	347	22
Krško polje	Drnovo	86797	537438	378	399	22
Krško polje	Brege - črpališče	86882	539329	356	355	-1

Vodonosnik	Merilno mesto	X	Y	1. Redoks potencial (mV) 2013-2016	2.Redoks potencial (mV) 2017-2020	Razlika 2-1 (mV)
Krško polje	Vihre Vih-1/15	85833	541103	340	437	97
Krško polje	Pb-9	85481	541013	380	399	19
Krško polje	Skopice NE-0877	85240	543130	341	401	59
Krško polje	Cerklje 0112	83046	540952	329	398	69
Krško polje	Krška vas Kvas-1/15	83818	544573	334	404	70
Krško polje	Pb-6	83793	544553	361	404	43
Čateško polje	Čatež M32	83139	548528	368	357	-11

Tabela 7: Redoks potencial med leti 2014-2016 in 2017-2020

### Nitrat

V vodonosniku Krškega polja so vsebnosti nitrata višje, kot v vodonosniku Brežiškega polja. Največje je onesnaženje z nitratom v neaktivem črpališču pitne vode Drnovo, kjer povprečne letne vrednosti že vrsto let nihajo okoli okoljskega standarda kakovosti (50 mg/l), ki ga določa Uredba o stanju podzemne vode (Ur. l. RS št. 25/09, 68/12, 66/16). Tudi povprečje za obdobje let 2013-2016 pred pričetkom obratovanja HE Brežice, je za nitrat v Drnovem presežlo okoljski standard. Za obdobje let pred posegom so vsebnosti nitrata od Drnovega proti jugovzhodu vodonosnika Krškega polja po prostoru nihale približno med 50% in 75,5% okoljskega standarda (Tabela 8, Priloga 5).

Po pričetku obratovanja HE Brežice se je v Krški kotlini povprečna vrednost nitrata za obdobje let 2017-2020, na več kot polovici merilnih mest, znižala. Na Brežiškem polju beležimo večje znižanje v Spodnjem Starem gradu in Vrbini, v Pb-20 so za posamezno leto vrednosti padle tudi pod mejo detekcije. Tudi v letu 2021 je bila vrednost nitrat v tej vrtini pod mejo detekcije. Na Krškem polju so se vsebnosti nitrata najbolj znižale v severozahodnem delu vodonosnika, v črpališču v Bregah. Nasprotno, so se v centralnem in južnem delu vodonosnika vsebnosti nitrata povišale, najbolj v Cerkljah, kjer sta se povprečji za obdobje let 2017-2020 in za leto 2021, že približali okoljskemu standardu. Po posegu je v neaktivnem črpališču Drnovo okoljski standard za povprečje let 2017-2020 in za povprečje v letu 2021, še vedno presežen (Tabela 8, Priloga 5).

Vodonosnik	MM	X	Y	1. Nitrat (mg/l) 2013-2016	2.Nitrat (mg/l) 2017-2020	Razlika 1-2 (mg/l)
Brežiško polje	Vrbina NE-1077	88487	539722	18,44	8,41	10,03
Brežiško polje	Sp. Stari Grad NE-1177	87870	540900	24,54	8,49	16,05
Brežiško polje	Šentlenart NE-1377	86260	544830	1,75	5,50	-3,75
Brežiško polje	Pb-20	85239	545180	9,01	1,02	7,99
Krško polje	Žadovinek Žad-1/15	87556	539158	11,75	12,18	-0,43
Krško polje	Drnovo	86797	537438	52,28	51,56	0,71
Krško polje	Brege - črpališče	86882	539329	34,99	20,98	14,01
Krško polje	Vihre Vih-1/15	85833	541103	30,50	34,58	-4,08
Krško polje	Pb-9	85481	541013	25,49	30,16	-4,68
Krško polje	Skopice NE-0877	85240	543130	30,09	32,38	-2,29
Krško polje	Cerklje 0112	83046	540952	36,38	44,99	-8,61
Krško polje	Krška vas Kvas-1/15	83818	544573	37,75	31,08	6,68
Krško polje	Pb-6	83793	544553	35,31	33,75	1,56
Čateško polje	Čatež M32	83139	548528	9,02	8,96	0,06

Tabela 8: Nitrat med leti 2014-2016 in 2017-2020

**Električna prevodnost pri 20°C ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )**

Pred pričetkom obratovanja HE Brežice so bile vrednosti električne prevodnosti podzemne vode najvišje v Vrbini in Spodnjem Starem gradu na Brežiškem polju (Tabela 9, Priloga 6).

Po pričetku obratovanja HE Brežice so se vrednosti električne prevodnosti na Brežiškem polju, z izjemo Šentlenarta, znižale. V letu 2021 je v Vrbini povprečna vrednost električne prevodnosti znašala 282  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nasprotno so se vrednosti na Krškem polju povišale na večini merilnih mesti, vključno z neaktivnim črpališčem pitne vode Drnovo in črpališčem Brege. V Cerkljah je v letu 2021 povprečna letna vrednost električne prevodnosti narasla na 791  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabela 9, Priloga 6).

Vodonosnik	Merilno mesto	X	Y	1. Električna prevodnost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) 2013-2016	2. Električna prevodnost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) 2017-2020	Razlika 2-1 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
Brežiško polje	Vrbina NE-1077	88487	539722	711	568	-143
Brežiško polje	Sp. Stari Grad NE-1177	87870	540900	702	463	-239
Brežiško polje	Šentlenart NE-1377	86260	544830	510	571	61
Brežiško polje	Pb-20	85239	545180	522	392	-130
Krško polje	Žadovinek Žad-1/15	87556	539158	359	375	16
Krško polje	Drnovo	86797	537438	573	705	132
Krško polje	Brege - črpališče	86882	539329	675	676	1
Krško polje	Vihre Vih-1/15	85833	541103	664	666	2
Krško polje	Pb-9	85481	541013	607	649	42
Krško polje	Skopice NE-0877	85240	543130	688	678	-10
Krško polje	Cerklje 0112	83046	540952	614	660	46
Krško polje	Krška vas Kvas-1/15	83818	544573	592	622	30
Krško polje	Pb-6	83793	544553	578	627	49
Čateško polje	Čatež M32	83139	548528	460	459	-1

Tabela 9: Električna prevodnost med leti 2014-2016 in 2017-2020

**Sulfat**

Vsebnosti sulfata so v vodonosnikih Krške kotline nižje od zakonsko predpisanega standarda za pitno vodo (250 mg/l), (Pravilni o pitni vodi, Ur. l. RS št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15, 51/17). Vrednosti so spremenljive v razponih vrednosti statistične razporeditve - 10, 50 in 90 percentila in so značilne za naravna ozadja molasnih sedimentov prvega vodonosnika Krške kotline (GeoZS, 2005/2006). Najvišje vrednosti beležimo v severozahodnem delu Brežiškega polja (Vrbina, Spodnji Stari Grad), (Tabela 10, Priloga 7).

Po pričetku obratovanja HE Brežice so se vrednosti sulfata v podzemni vodi Brežiškega polja znižale, na Krškem polju pa, z izjemo vrtine Pb-6, zvišale, vendar še nihajo v razponu vrednosti naravnega ozadja (Tabela 10, Priloga 7).

Vodonosnik	Merilno mesto	X	Y	1.Sulfat (mg/l) 2013-2016	2.Sulfat (mg/l) 2017-2020	Razlika 2-1 (mg/l)
Brežiško polje	Vrbina NE-1077	88487	539722	33,9	25,1	-8,9
Brežiško polje	Sp. Stari Grad NE-1177	87870	540900	29,7	17,6	-12,1
Brežiško polje	Šentlenart NE-1377	86260	544830	14,0	10,8	-3,2
Brežiško polje	Pb-20	85239	545180	17,2	10,6	-6,6
Krško polje	Žadovinek Žad-1/15	87556	539158	14,6	16,5	1,9
Krško polje	Drnovo	86797	537438	11,0	12,6	1,5
Krško polje	Brege - črpališče	86882	539329	12,9	13,7	0,8
Krško polje	Vihre Vih-1/15	85833	541103	9,0	11,7	2,8

Vodonosnik	Merilno mesto	X	Y	1.Sulfat (mg/l) 2013-2016	2.Sulfat (mg/l) 2017-2020	Razlika 2-1 (mg/l)
Krško polje	Pb-9	85481	541013	8,4	9,9	1,5
Krško polje	Skopice NE-0877	85240	543130	8,8	11,4	2,6
Krško polje	Cerklje 0112	83046	540952	9,9	10,1	0,2
Krško polje	Krška vas Kvas-1/15	83818	544573	7,4	8,3	0,9
Krško polje	Pb-6	83793	544553	10,3	8,5	-1,9
Čateško polje	Čatež M32	83139	548528	15,8	15,9	0,1

Tabela 10: Sulfat med leti 2014-2016 in 2017-2020

## 6 ZAKLJUČKI

Gladine podzemne vode in smeri tokov podzemne vode v Krški kotlini so odvisne od naravnih in antropogenih dejavnikov. Med naravne dejavnike, med drugim štejemo režim in vodostaj reke Save, odnos med reko in vodonosnikom, napajanje iz padavin in iz zaledja, hidrogeološke značilnosti, geometrija vodonosnika idr.

Na režim podzemne vode Krške kotline že vrsto let vpliva človekova dejavnost. Tudi izgradnja in obratovanje HE Brežice sta vplivala na režim podzemne vode. V postopku presoje vplivov na okolje za HE Brežice so bili napovedani spremenjen hidrološki režim reke Save, spremenjena povezava z reko medzrnskim vodonosnikom in prekinitev stika reke z zalednimi vodami. Z izgradnjo akumulacije so bili napovedani sprememba smeri tokov in dvig (seganje) gladin podzemne vode, do maksimalno 1,5 m, pod nivojem tal (Geateh, 2014).

Tudi z analizami podatkov državnega monitoringa smo v vodonosnikih Brežiškega in Krškega polja, tako kot je bilo že v presoji vplivov na okolje napovedano, ugotovili dvig gladin podzemne vode. Največji dvig gladin smo zabeležili v jugovzhodnem delu Brežiškega polja v Šentlenartu in v osrednjem delu Krškega polja, ob reki Savi, na merilnem mestu Vihre.

Vpliv posega na kemijsko stanje podzemne vode je bil v postopku presoje vplivov na okolje ocenjen, kot nebistven (Geateh, 2014).

Sprememba režima podzemne vode je vplivala na spremembo vrednosti fizikalnih in kemijskih parametrov. Z analizami podatkov državnega monitoringa smo za tri letno obdobje pred pričetkom obratovanja in po njem, ugotovili spremembe vrednosti fizikalnih in kemijskih parametrov ter njihovo porazdelitev v prostoru vodonosnikov Krške kotline. Naknadno smo v analize vključili tudi podatke iz leta 2021, ki so še kot dodaten pokazatelj dopolnili analizo in interpretacijo.

V vodonosnikih Krške kotline smo na večini merilnih mest ugotovili dvig temperature podzemne vode. Glede na presojo vplivov na okolje (Geateh, 2014) je prišlo v reki Savi zaradi verige akumulacij, zaradi zmanjšane hitrosti vodnega toka ter zaradi emisije toplote iz nuklearke Krško, do dviga temperature vode. Posledično je narasla tudi temperatura podzemne vode. S porastom temperature se je poslabšala prezračenost vodonosnika, najbolj na Brežiškem polju. Ob nižanih vrednostih kisika so se na večini merilnih mest Brežiškega polja v podzemni vodi znižale vrednosti redoks potenciala, nitrata in električne prevodnosti. Nasprotno z Brežiškim poljem, so se na Krškem polju, na večini merilnih mest povišale vrednosti redoks potenciala in električne prevodnosti. Vsebnosti nitrata so se na Krškem polju zvišale na večih merilnih mest, najbolj v Cerkljah. Znižanje vsebnosti nitrata je največje v črpališču pitne v Bregah. Po posegu je v neaktivnem črpališču pitne Drnovo okoljski standard za nitrat tudi v 2021, še vedno presežen.

Vrednosti sulfata so se v razponu naravnega ozadja, značilnega za molasni tip, prvega, kvartarnega vodonosnika (GeoZS, 2005/2006), s pričetkom obratovanja HE Brežice v podzemni vodi Brežiškega polja znižale, na Krškem polju pa, na večini merilnih mest zvišale.

## 7 PREDLOGI ZA BODOČE DELO

Za ugotavljanje dolgoročnih vplivov izgradnje in obratovanja HE Brežice na vrednosti fizikalnih in kemijskih parametrov prvega, medzrnskega vodonosnika Krške kotline, bodo v prihodnje potrebne dodatne analize in interpretacija daljših nizov podatkov.

Za ugotavljanje doseganja napovedi iz postopka presoje vplivov na okolje, o seganju gladin podzemne vode na maksimalno 1,5 m pod nivojem tal (Geateh, 2014), bo potrebna podrobna analiza režima podzemne vode na daljših podatkovnih nizih, vključno z leti po pričetku obratovanja HE Brežice. Pri tem bo treba upoštevati tako naravne dejavnike (hidrogeološki, meteorološki, hidrološki, vegetacijski pokrov) (Mikulič et.al., 2004), kot tudi antropogene dejavnike (odvzemi, zajezitve, idr.), ki vplivajo na režim podzemne vode.

Dejstvo je, da se z dvigi gladin zmanjša globina do podzemne vode, prav tako se zmanjša debelina nezasičenega območja vodonosnika. Posledično je pot po kateri se onesnaževala z infiltracijo padavin vertikalno precejajo proti zasičenemu območju vodonosnika, krajša. Zaradi tega je vodonosnik bolj ranljiv in dojemljiv za onesnaženje, še posebej tam, kjer je hidrodinamsko odprt, brez zaščitnih, vrhnjih, slabše prepustnih plasti.

V postopku presoje vplivov na okolje je bilo ocenjeno, da poseg - HE Brežice, ne bo imel bistvenega vpliva na kemijsko stanje podzemne vode (Geateh, 2014).

Šele analiza daljših, večletnih nizov fizikalnih in kemijskih parametrov podzemne vode bo lahko z gotovostjo dala odgovor, kakšen je dolgoročni vpliv spremenjenega hidrološkega režima in dvigov gladin na kemijsko stanje podzemne vode.

S tem v zvezi bo potrebno z daljšimi nizi podatkov ugotavljati trende in nihanja vrednosti posameznih parametrov v času in prostoru. Ob tem bo za zanesljivo ugotavljanje vpliva HE Brežice na režim in kemijsko stanje podzemne vode Krške kotline, pri analizah in interpretaciji podatkov, potrebno sistematično definirati in upoštevati vplive tako naravnih dejavnikov, kot tudi dejavnikov vpliva človeka.

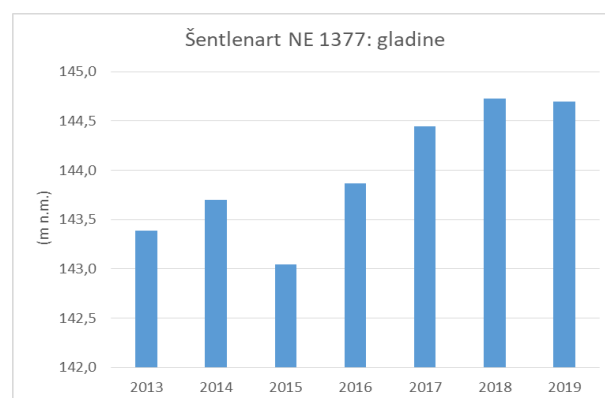
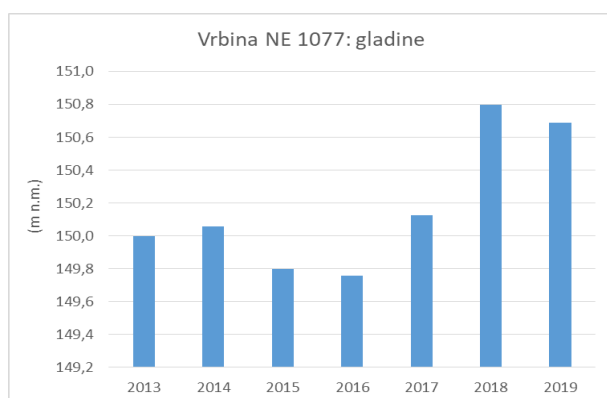
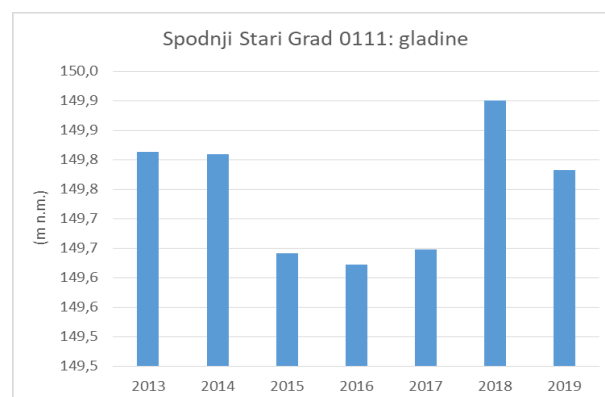
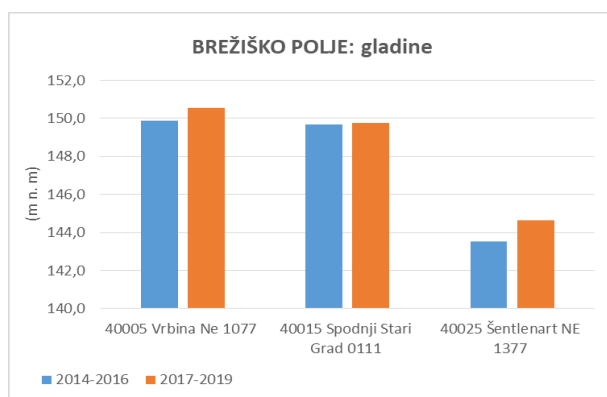


## 8 VIRI

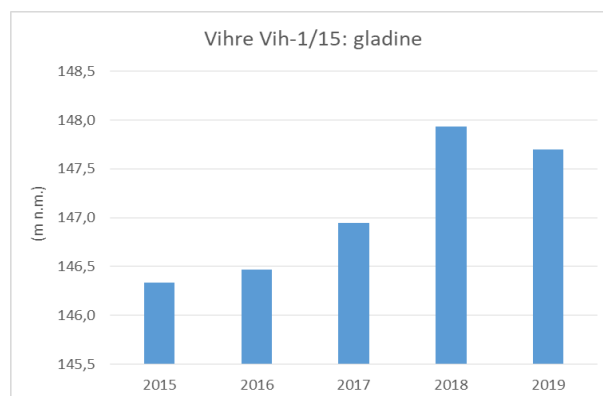
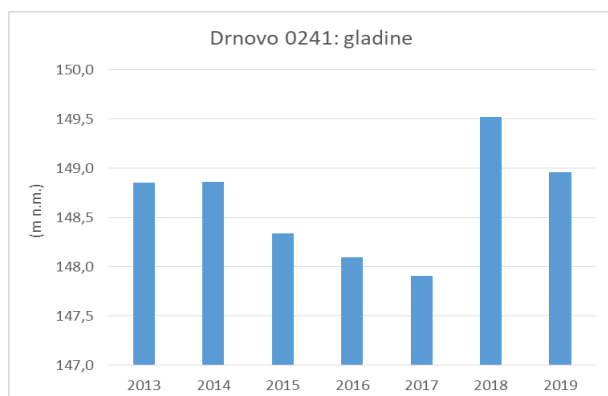
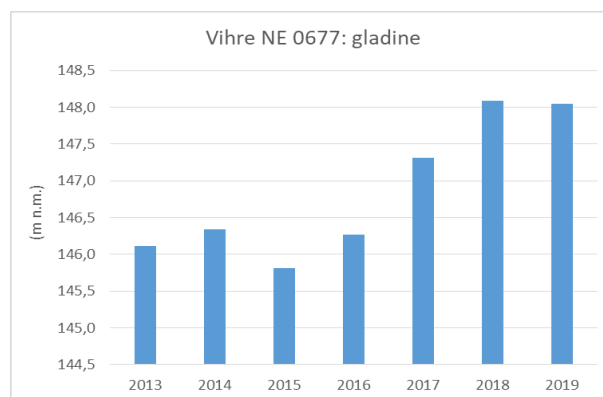
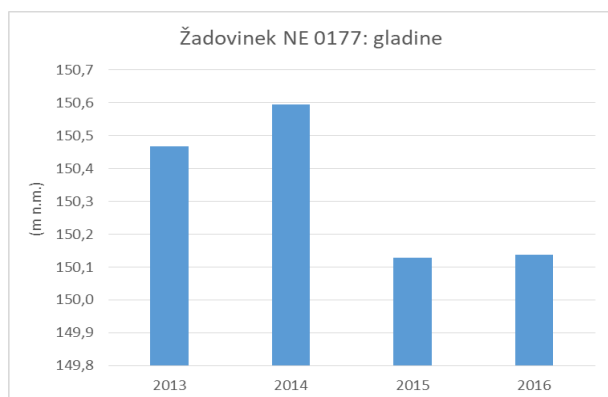
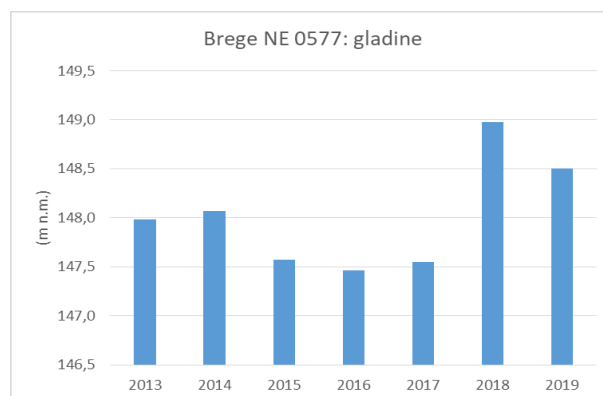
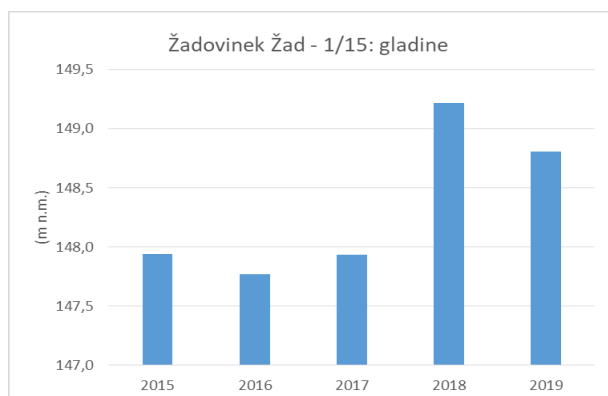
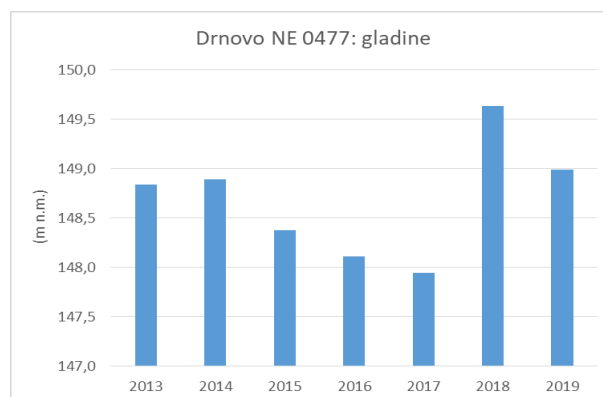
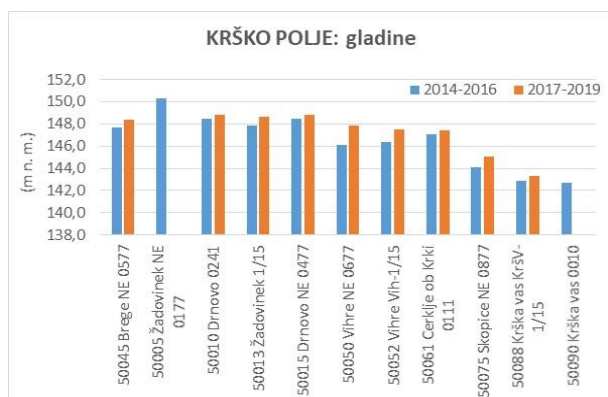
1. Uredba o stanju podzemnih voda (Ur. l. RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16)
2. Uredba o državnem prostorskem načrtu (UDPN) za območje hidroelektrarne Brežice (Ur. l. RS 50/12, 69/13)
3. Pravilnik o pitni vodi (Ur. l. RS št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17)
4. Agencije RS za okolje: Tokovnice, območja napajanja in dreniranja aluvialnih vodonosnikov, stanje 20-21 marec 2012, Strokovno, digitalno gradivo, Ljubljana, 2021
5. Agencija RS za okolje: Atlas okolja, 2022:  
[Atlas okolja](#)
6. Eurofins Erico Slovenija d.o.o: Poročilo o vplivih na okolje za odlagališče NSRAO, Vrbina Krško, Velenje, oktober 2020
7. Geateh načrtovanje in izvajanje d.o.o: Poročilo o vplivih na okolje za HE Brežice, PVO 168/12, april 2013, Ljubljana, januar 2014
8. Geološki Zavod Slovenije: Hidrogeološke raziskave Krškega in Brežiškega polja, Ljubljana, 1971/1972
9. Geološki Zavod Slovenije: Predhodno poročilo o izvedenih hidrogeoloških raziskavah na območju Krške kotline, Ljubljana, 1971/1972
10. Geološki Zavod Slovenije: Idejni projekt vodnjakov na desnem bregu Save pri NE Krško, Ljubljana, Januar 1976
11. Geološki Zavod Ljubljana: Poročilo o izvedbi piezometrov hidrogeološke mreže za spremljanje režima podtalne vode Krško-Brežiškega polja za NE Krško, Ljubljana, marec 1978
12. Geološki zavod Slovenije: Nacionalna baza hidrogeoloških podatkov za opredelitev teles podzemne vode RS, Ljubljana, 2005/2006
13. IBE Podjetje za projektiranje in inženiring p.o. : Dopolnitev lokacijske dokumentacije, vpliv zajeze na podtalnico, Ljubljana, oktober 1972
14. IBE Podjetje za projektiranje in inženiring p.o. : Jedrska elektrarna Krško: Pregledno zaključno poročilo o študijah podtalnice Krško-Brežiškega polja., projekt št. 2424/2, Ljubljana, marec 1979
15. Mikulič et.al. : Režim podzemnih voda ob mejni Muri, Agencija RS za okolje, Ljubljana, 2004
16. Savaprojekt d.d. Krško & Acer Novo mesto d.o.o. : Državni prostorski načrt za HE Brežice, št. naloge 0701800, Krško, Novo mesto, osnutek april 2008
17. Splet: HESS - Hidroelektrarne na Spodnji Savi d.o.o. :  
[HE Brežice](#)  
[Otvoritev HE Brežice](#)
18. Vodogradbeni laboratorij: Poročilo o modelnih raziskavah toplotnega onesnaženja Save pri Krškem zaradi iztekanja hladilne vode iz NE v Savo, Ljubljana, oktober 1977

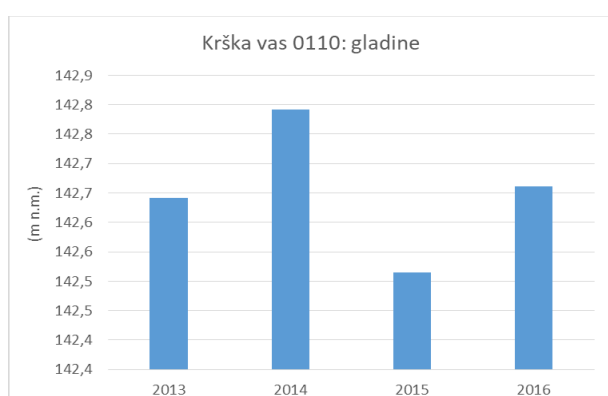
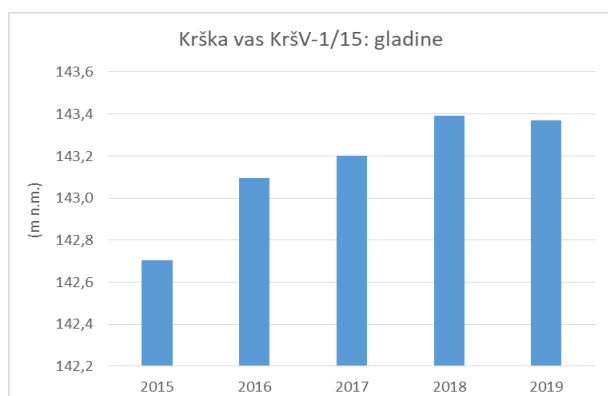
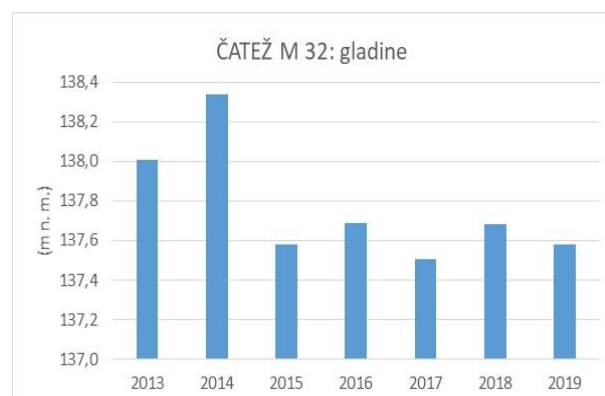
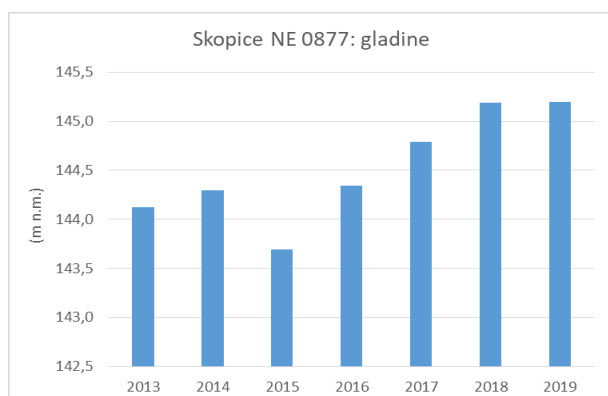
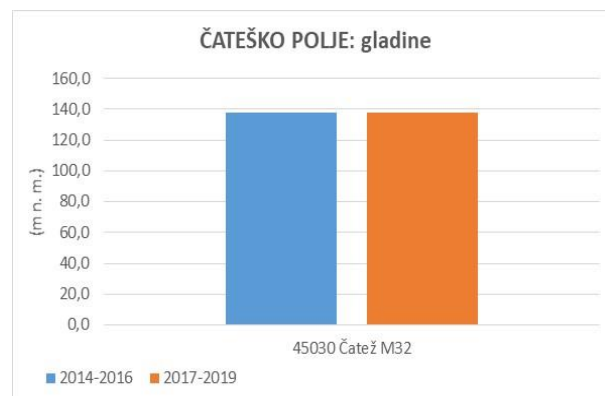
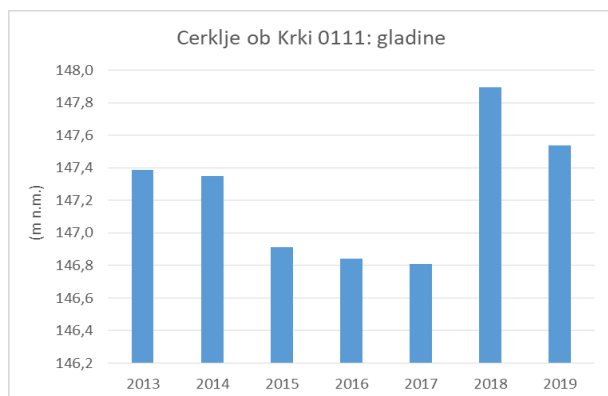
## 9 PRILOGE

## Priloga 1: Grafični prikazi gladin na Brežiškem polju

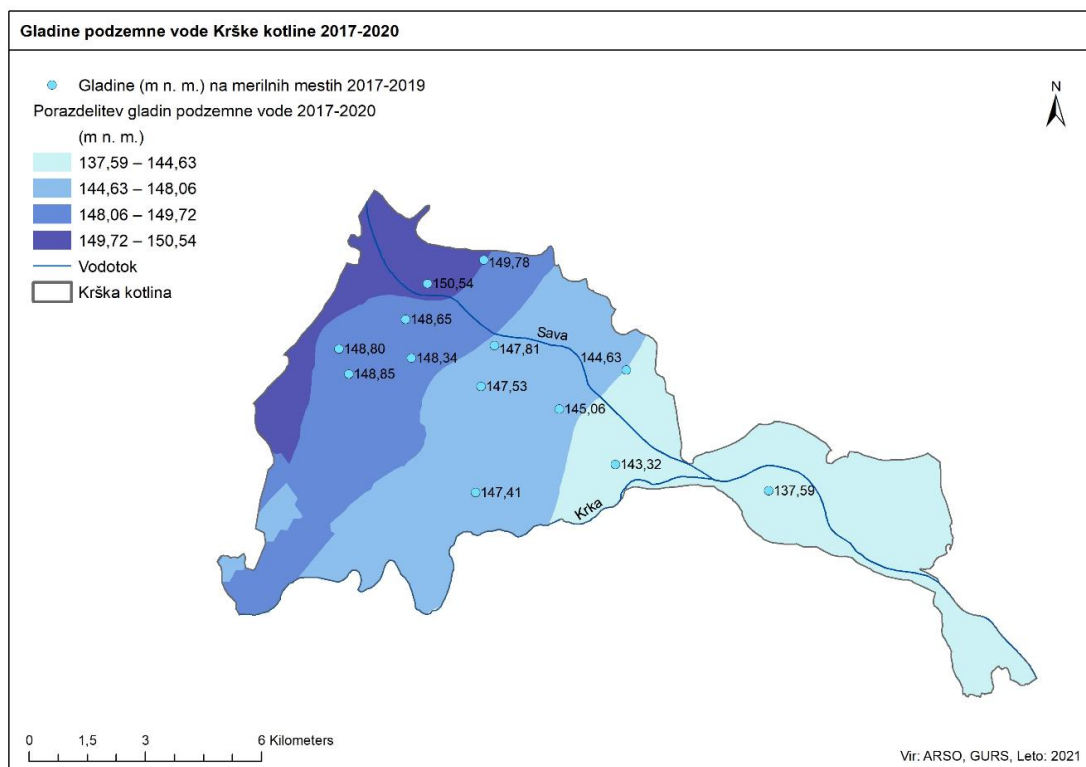
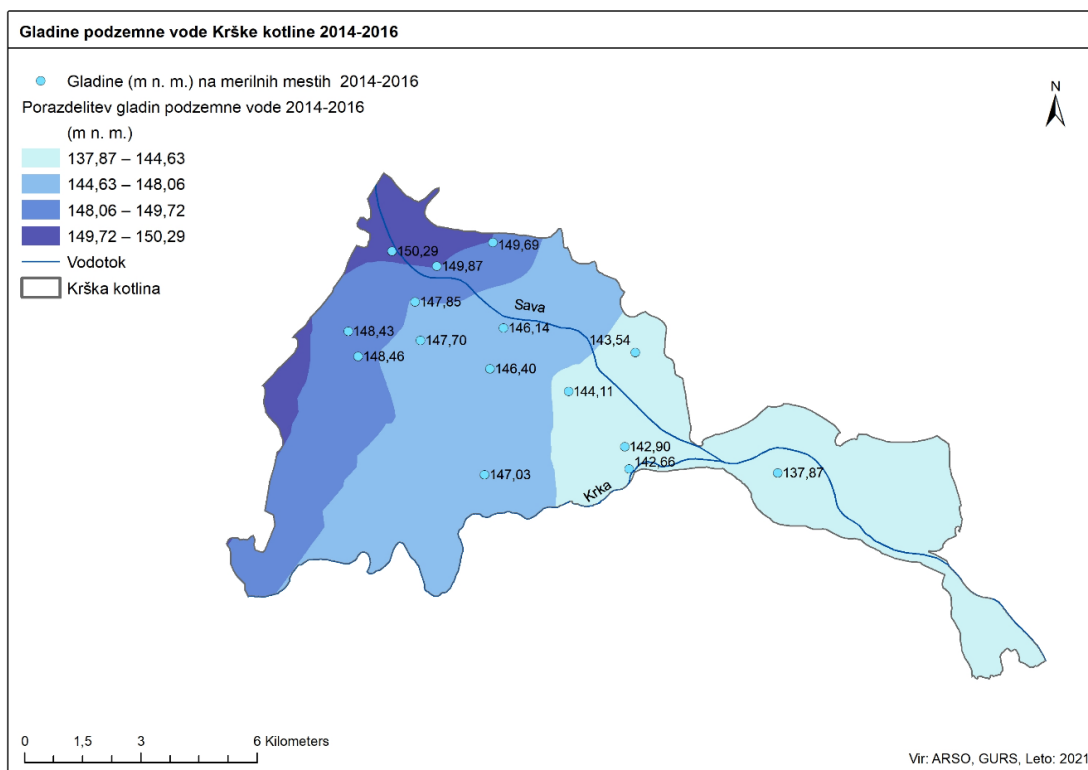


Priloga 1: Grafični prikazi gladin na Krškem in Čateškem polju

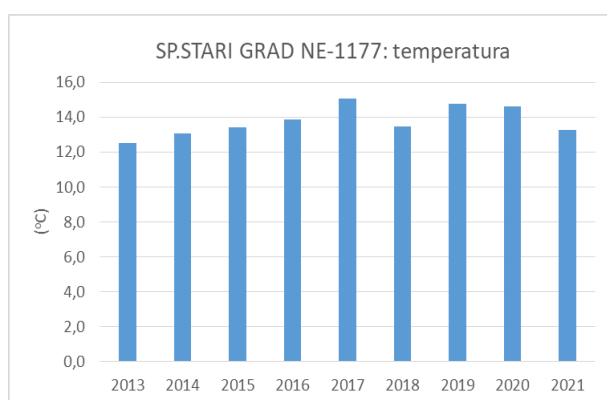
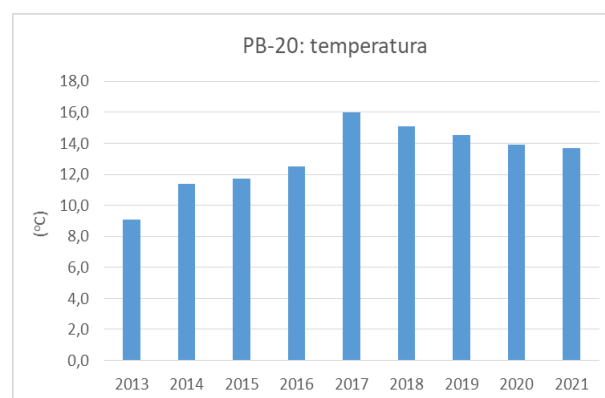
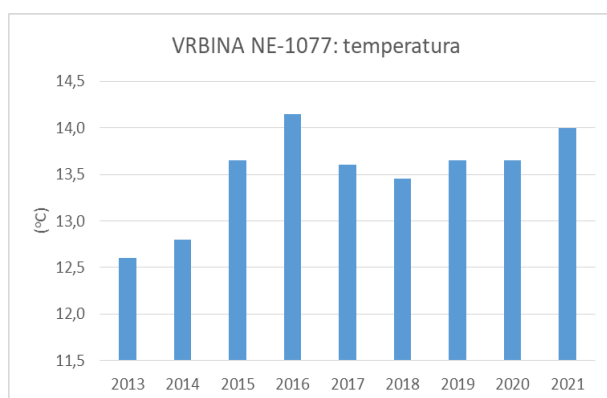
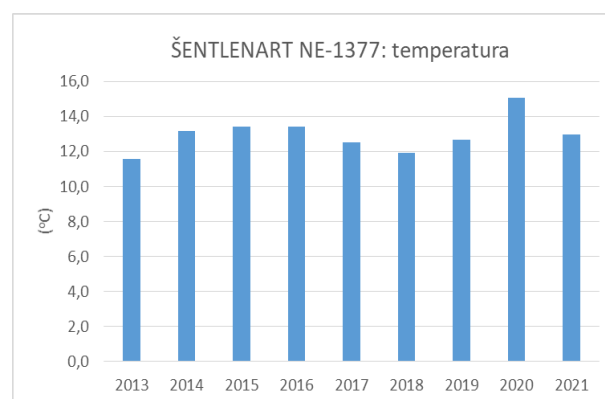
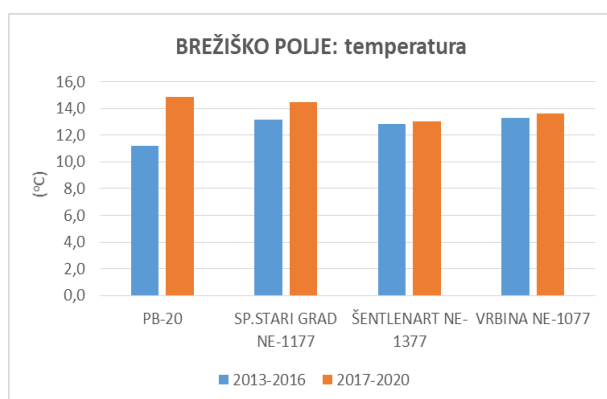




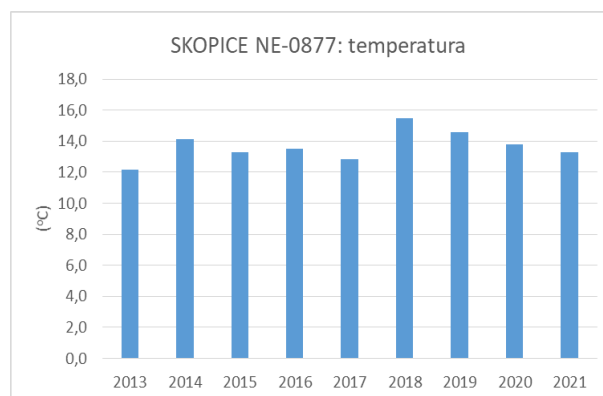
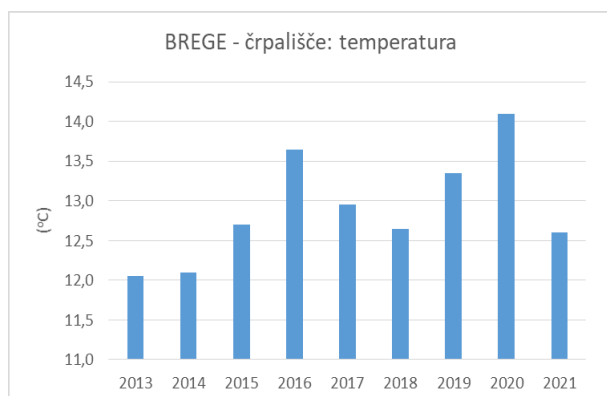
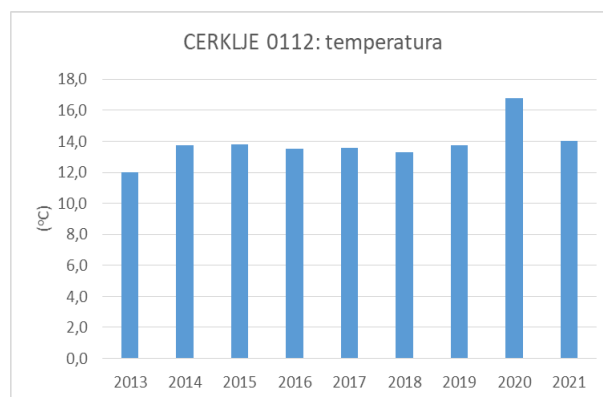
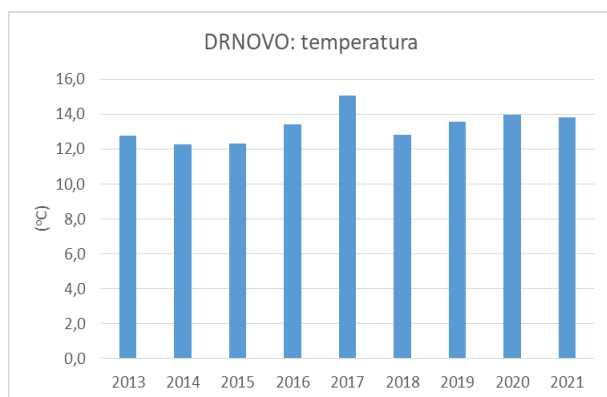
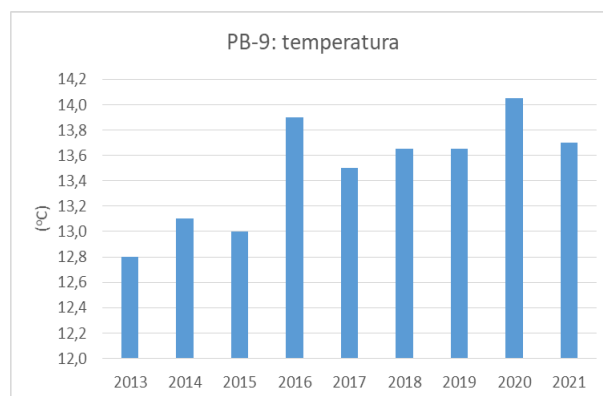
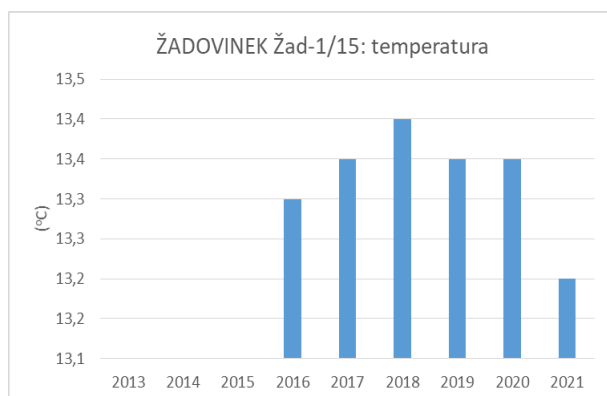
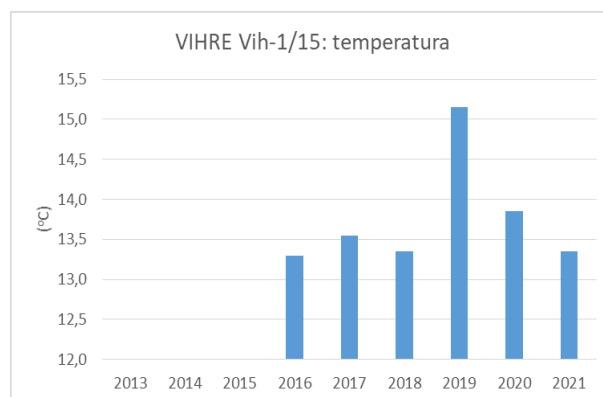
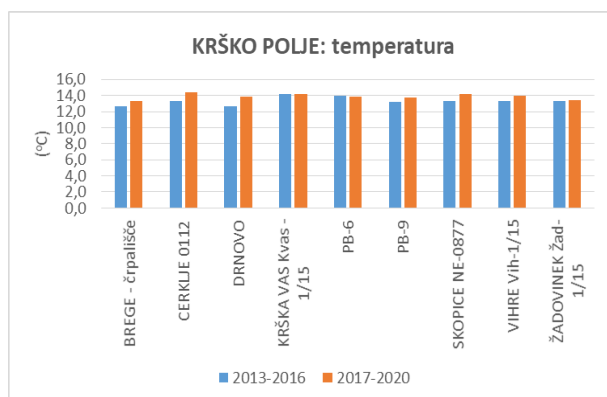
Priloga 1: Porazdelitev gladin podzemne vode

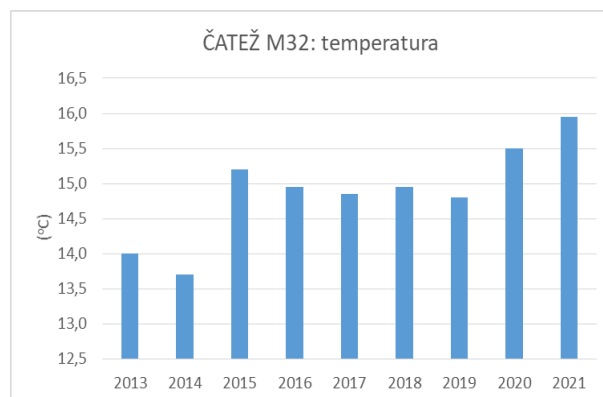
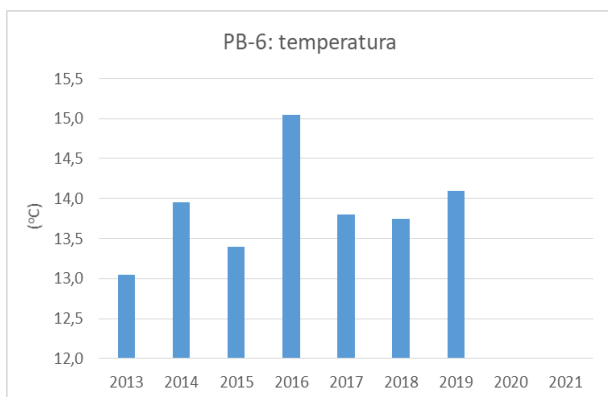
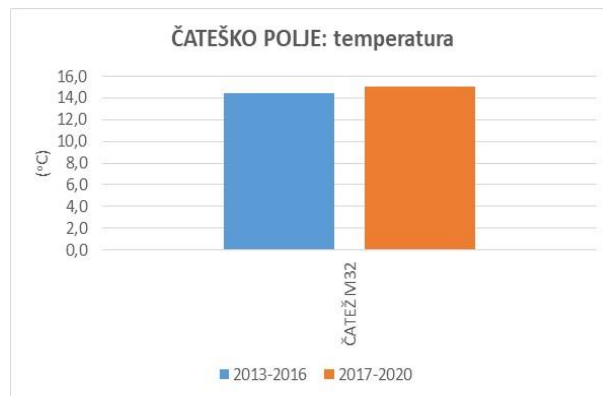
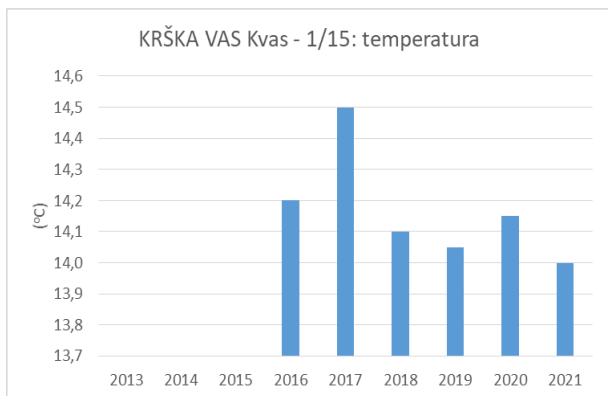


## Priloga 2: Grafični prikazi temperature na Brežiškem polju



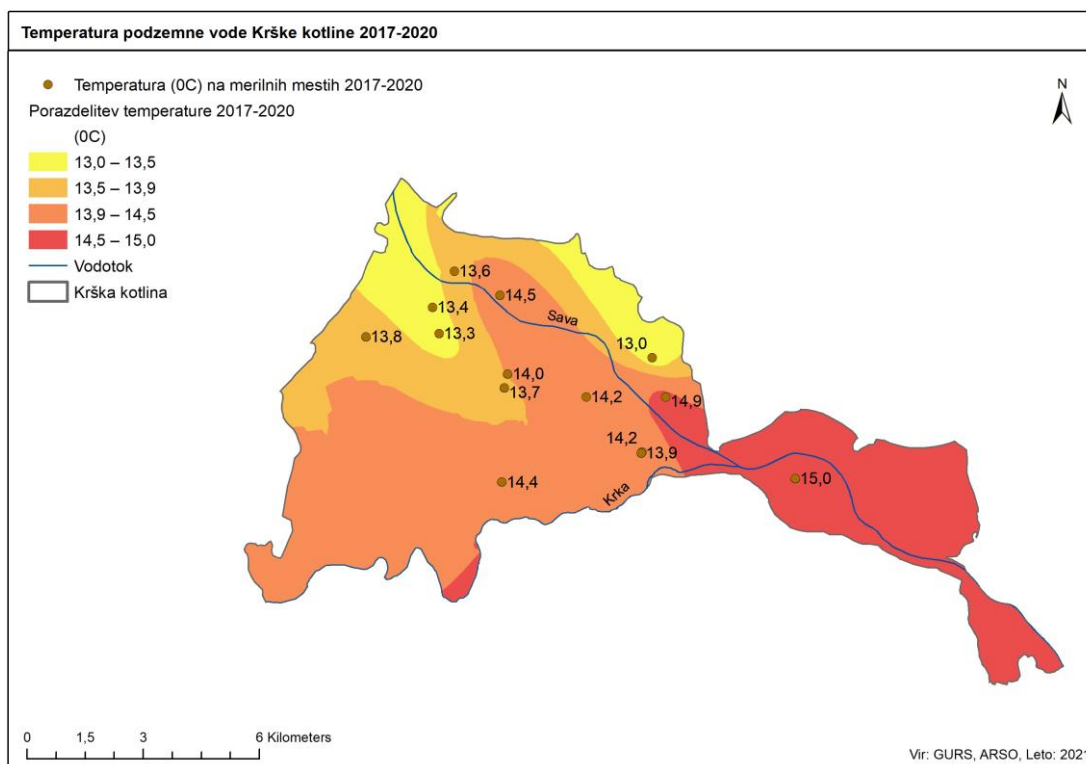
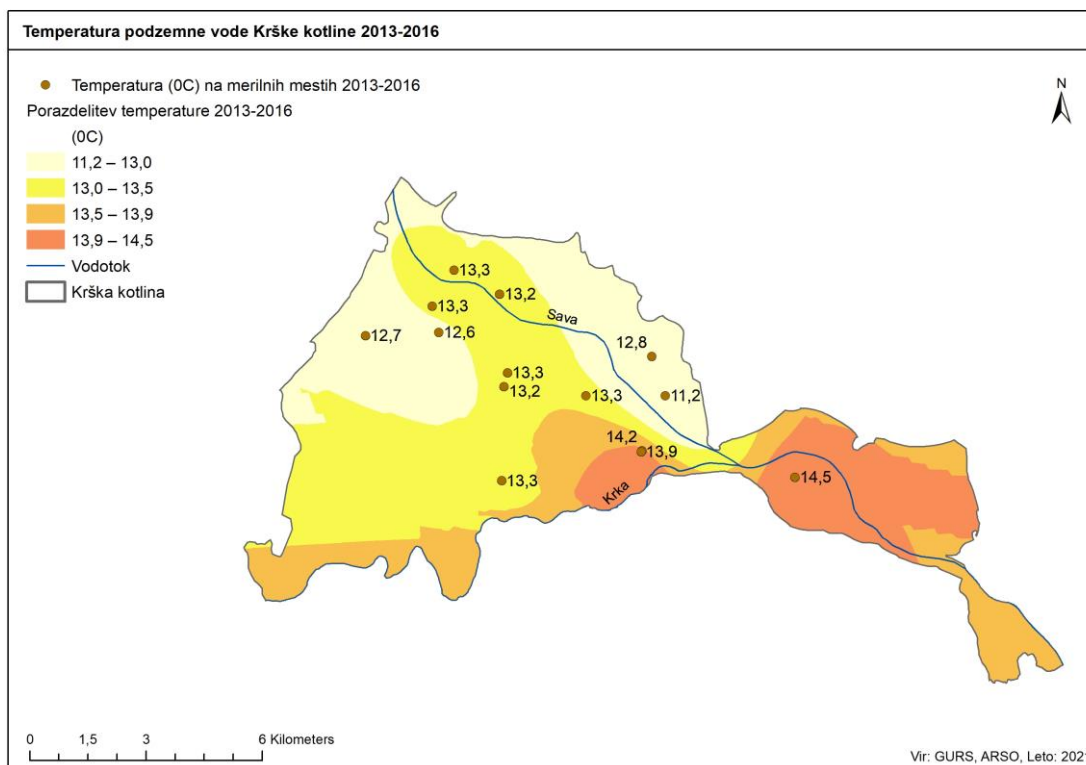
## Priloga 2: Grafični prikazi temperature na Krškem in Čateškem polju



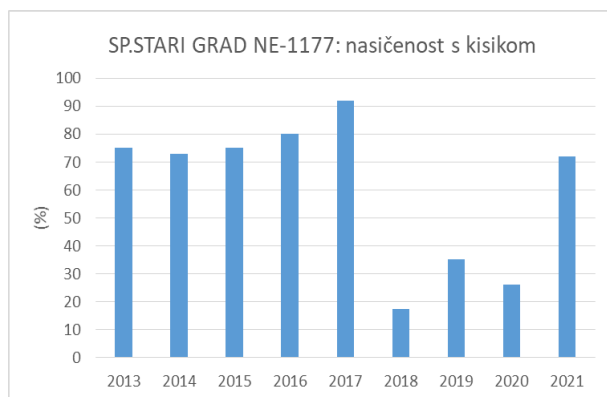
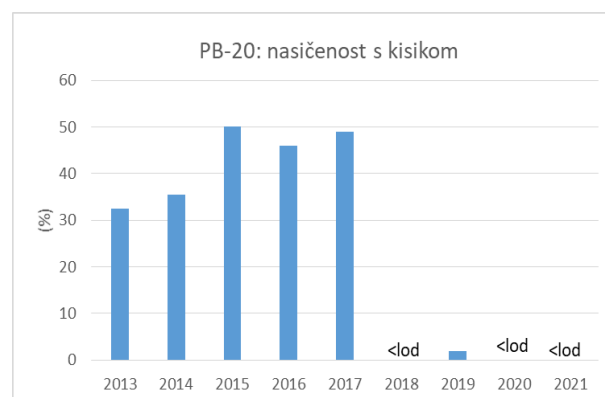
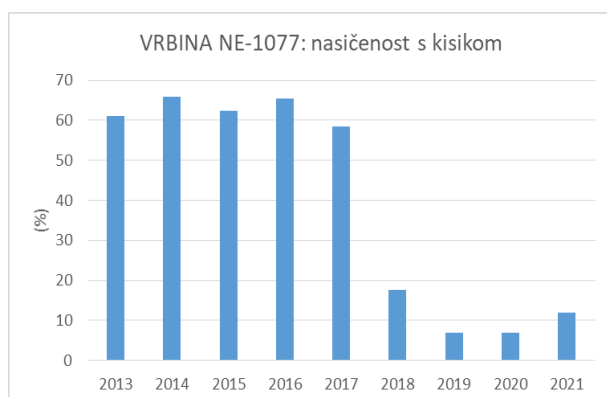
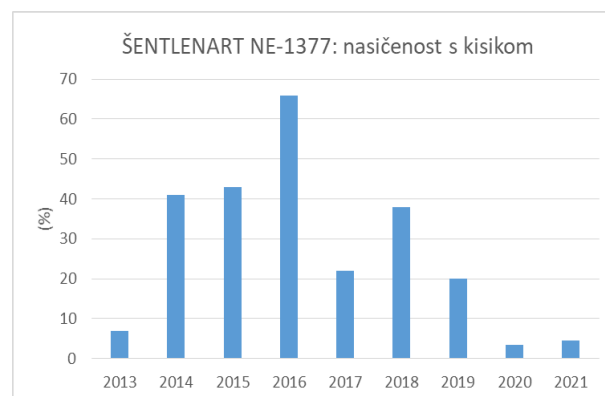
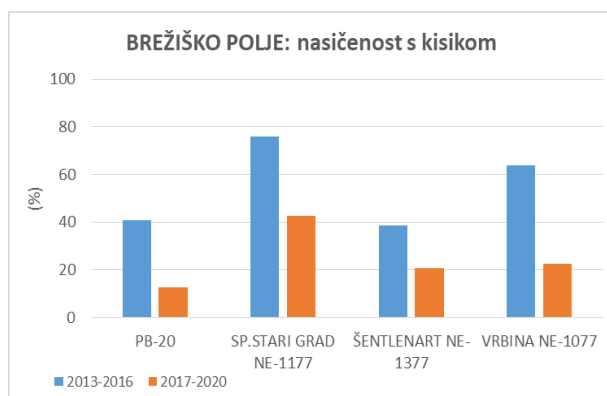




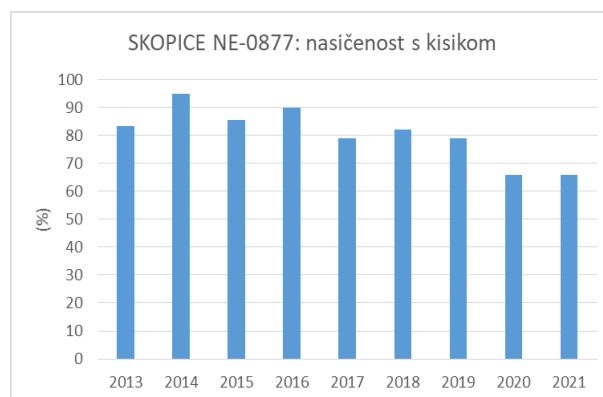
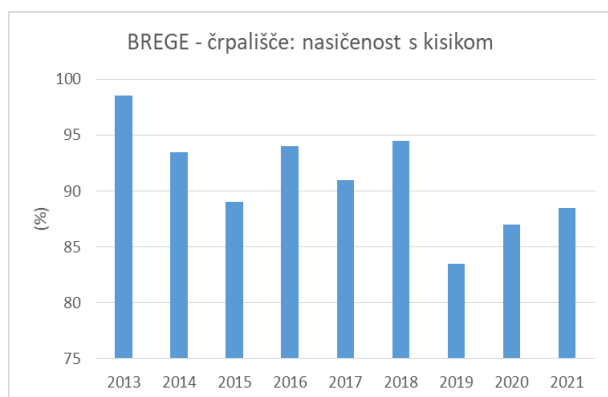
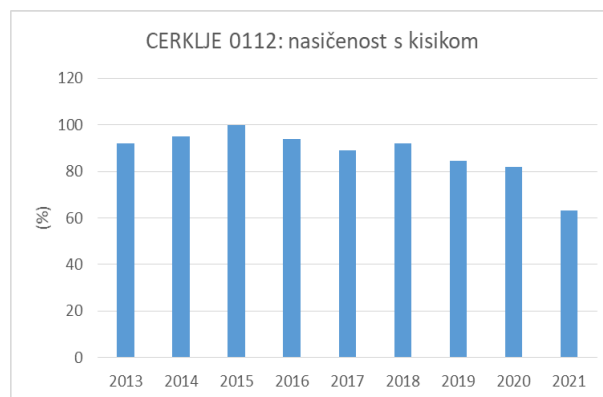
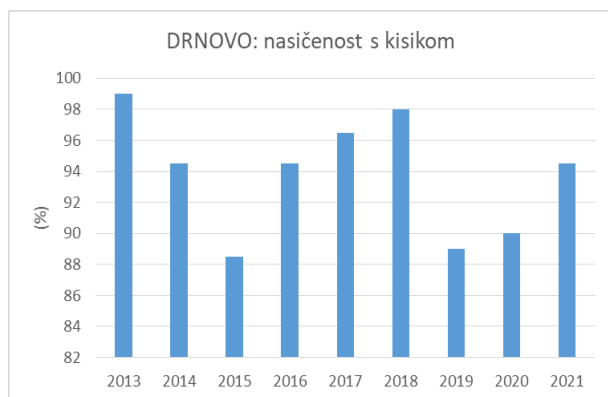
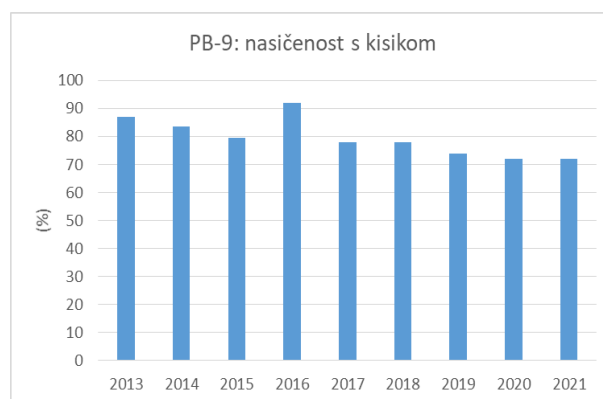
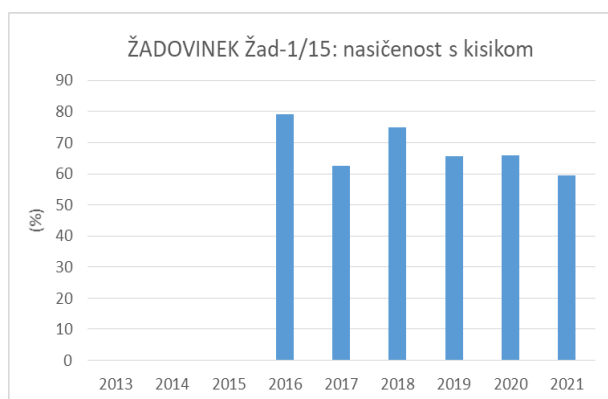
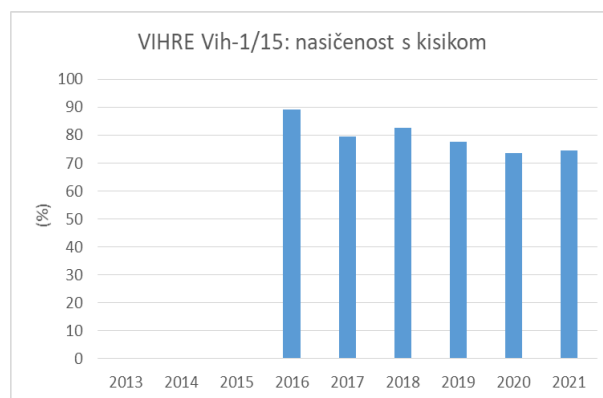
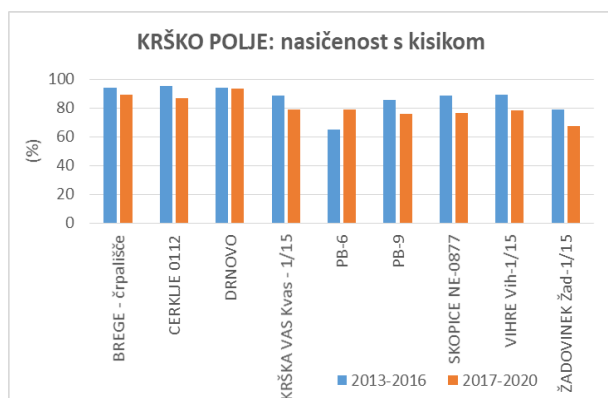
Priloga 2: Porazdelitev temperature podzemne vode

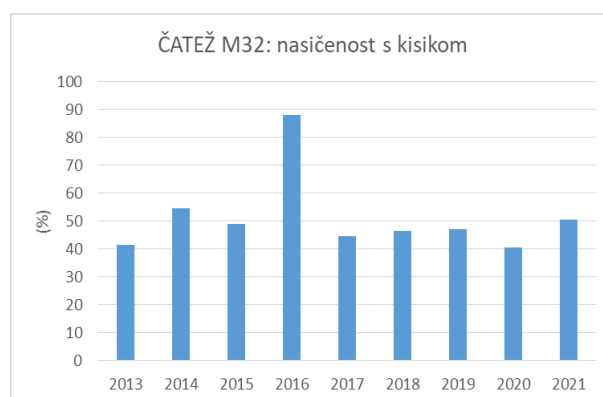
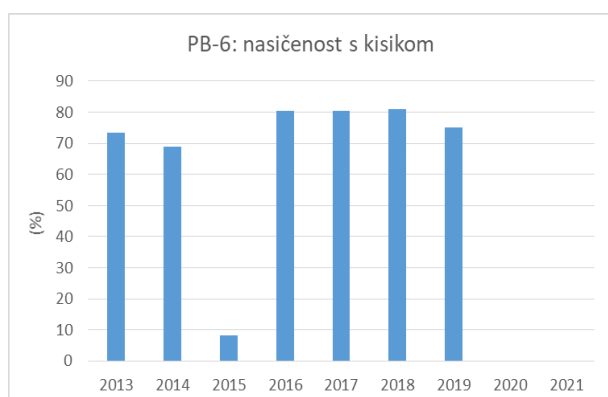
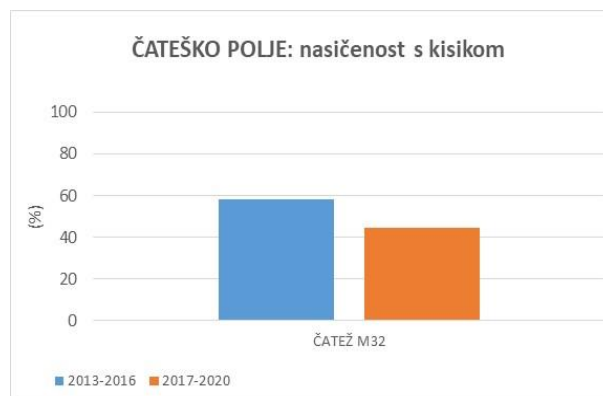
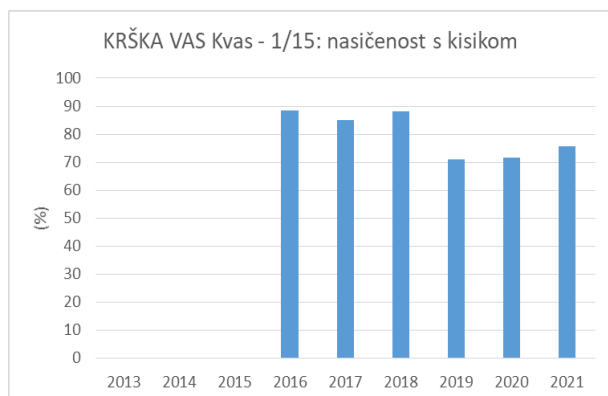


Priloga 3: Grafični prikazi nasičenosti s kisikom na Brežiškem

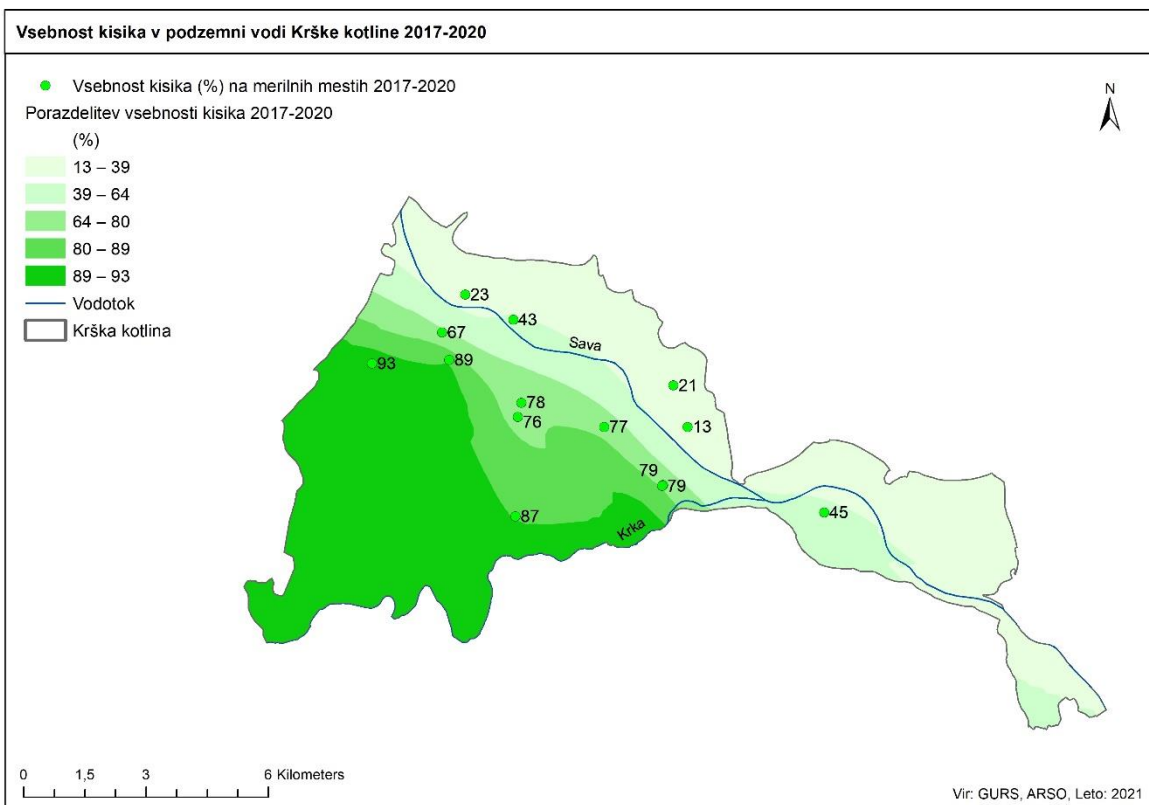
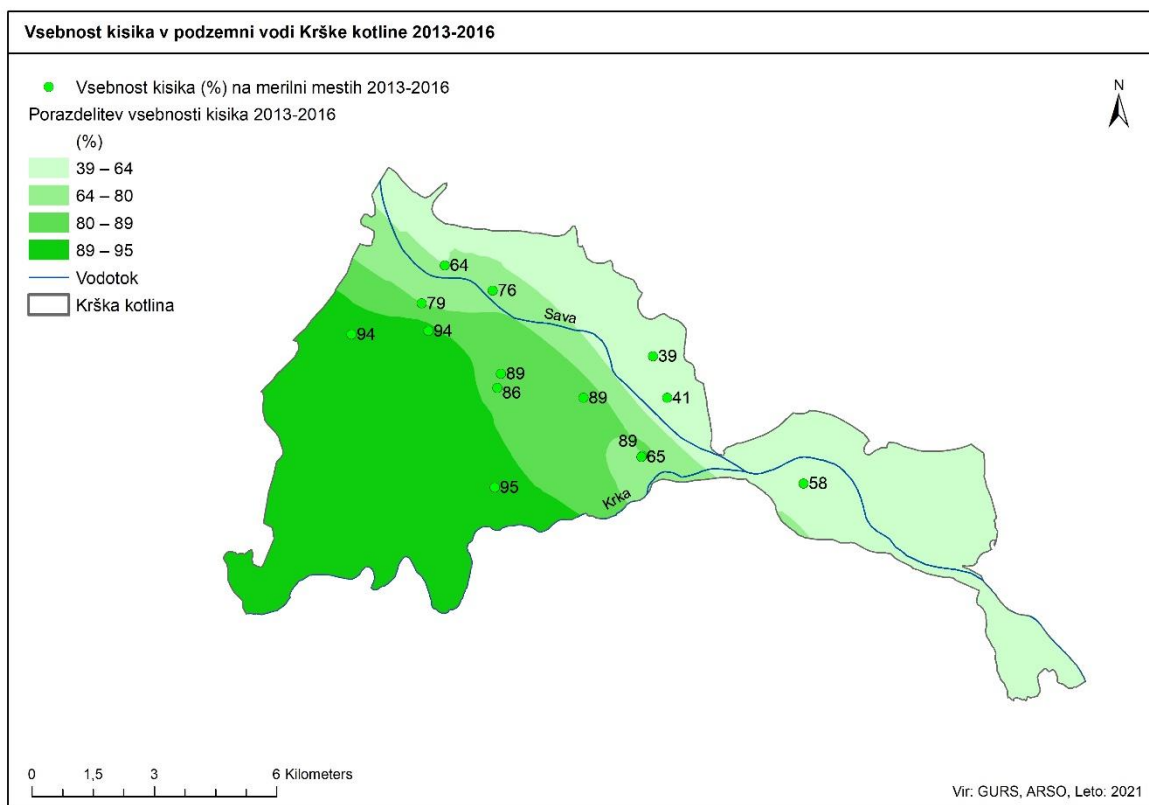


Priloga 3: Grafični prikazi nasičenosti s kisikom na Krškem in Čateškem polju

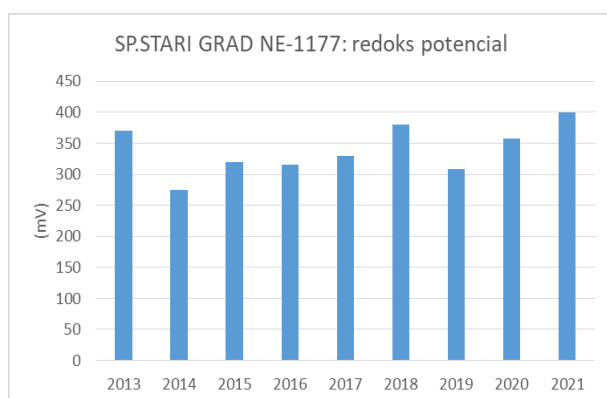
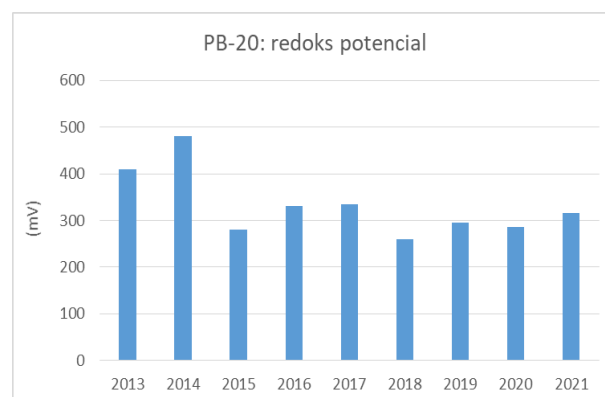
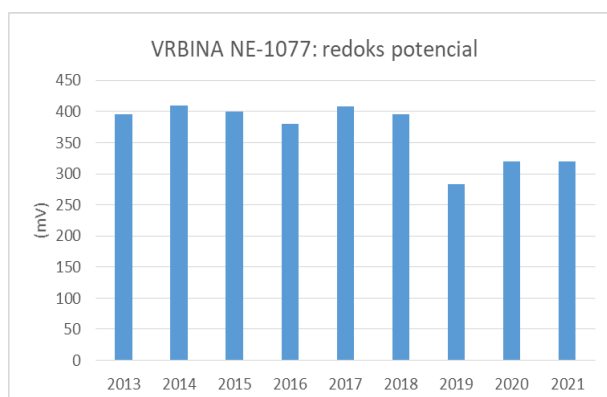
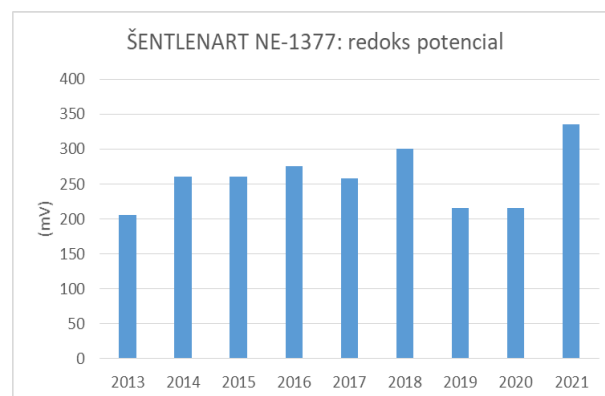
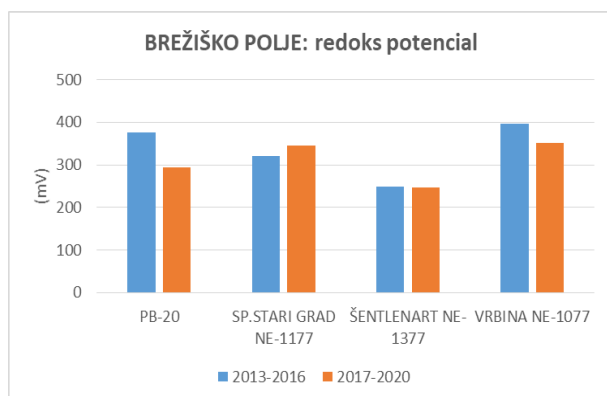




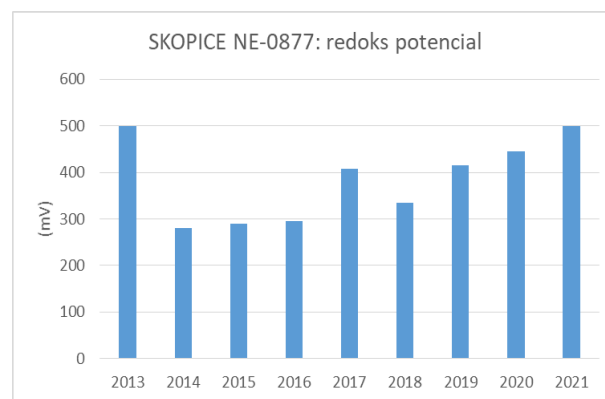
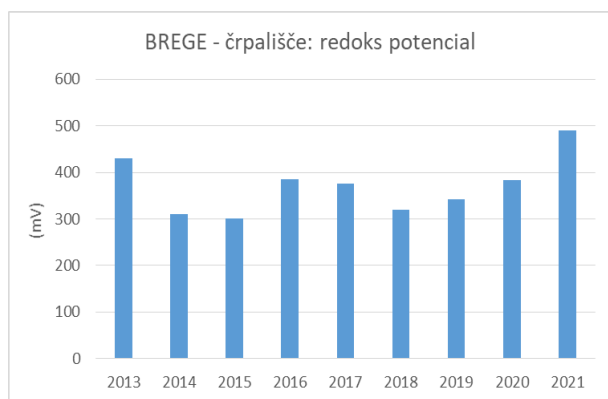
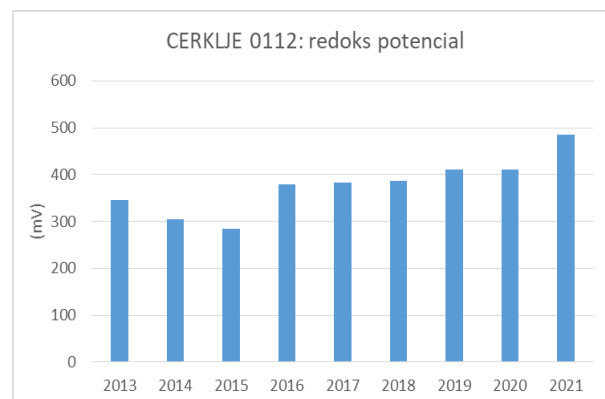
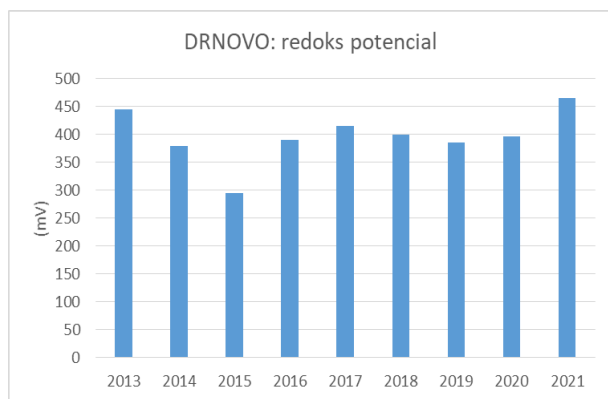
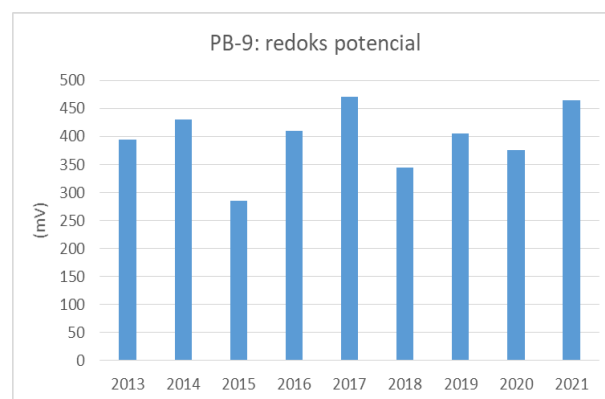
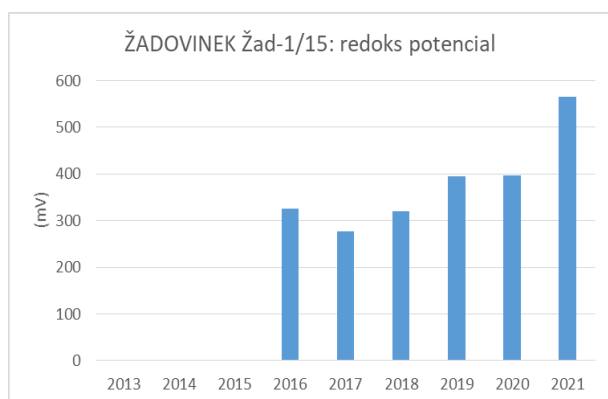
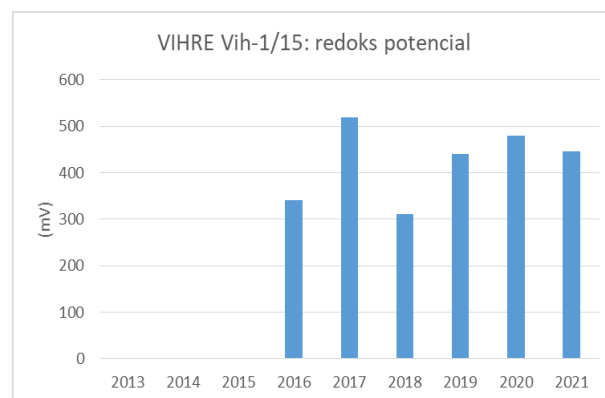
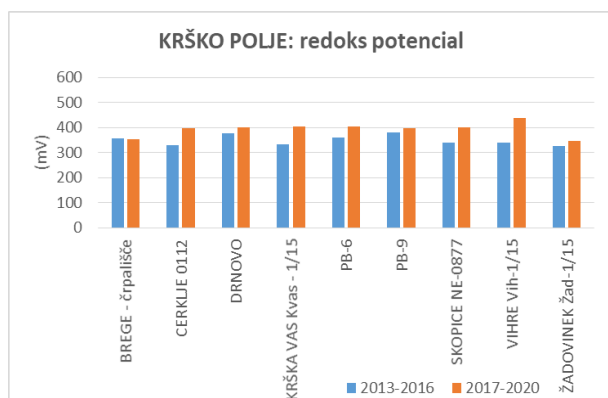
Priloga 3: Porazdelitev nasičenost podzemne vode s kisikom

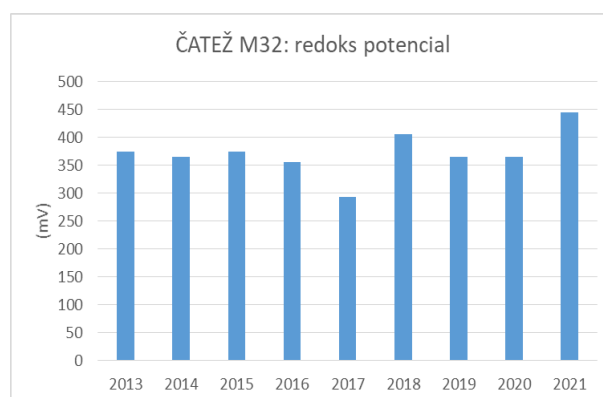
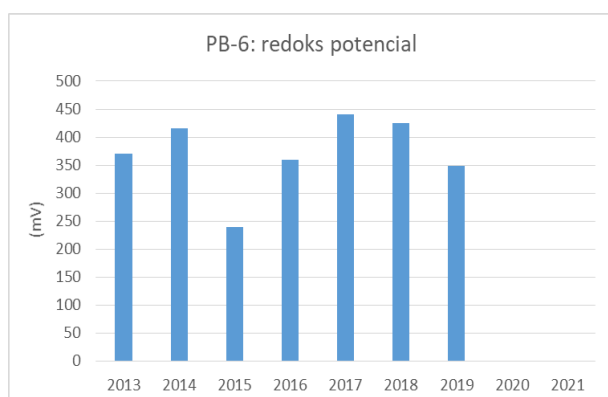
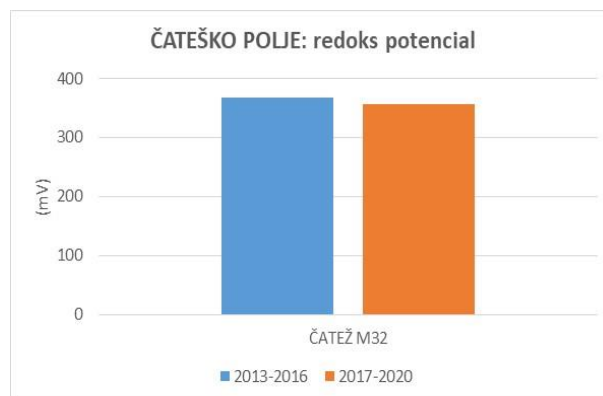
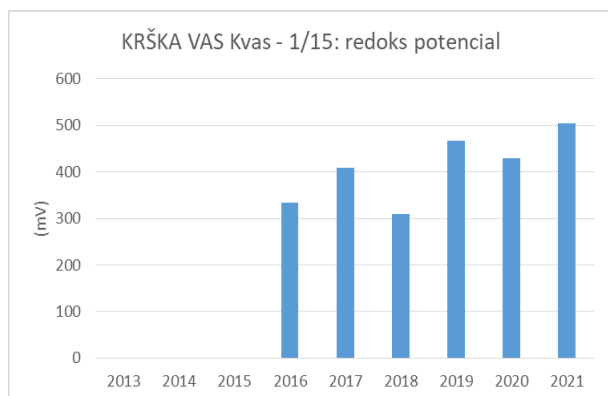


## Priloga 4: Grafični prikazi redoks potenciala na Brežiškem polju



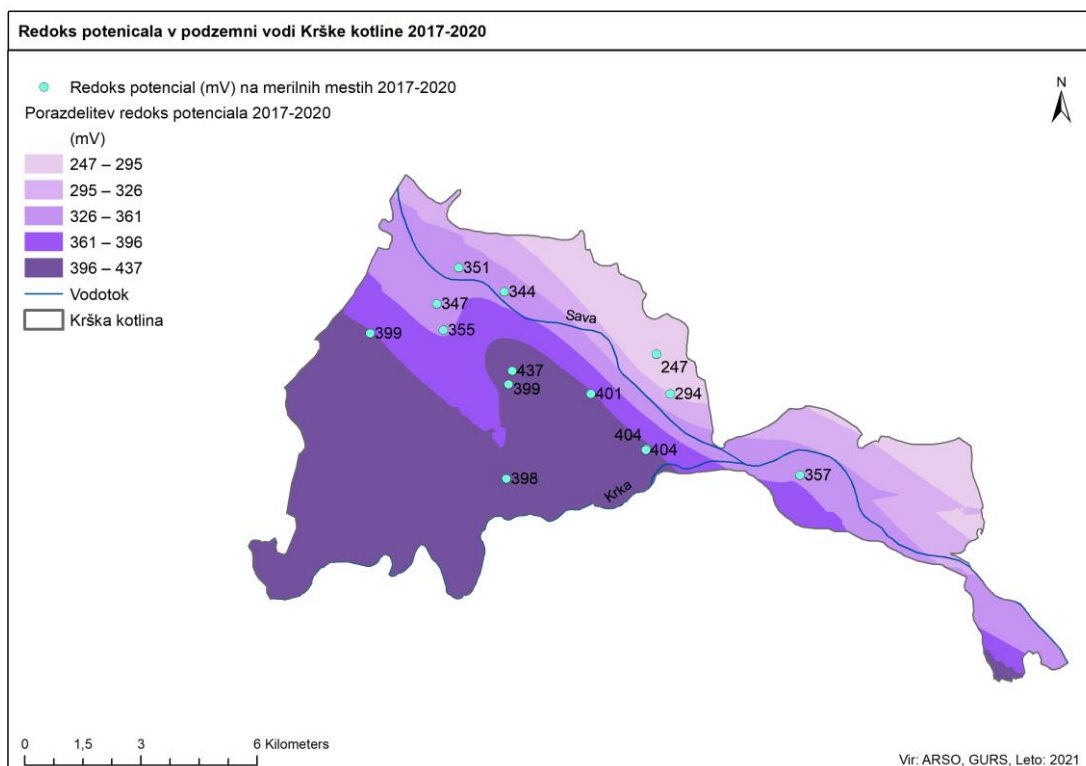
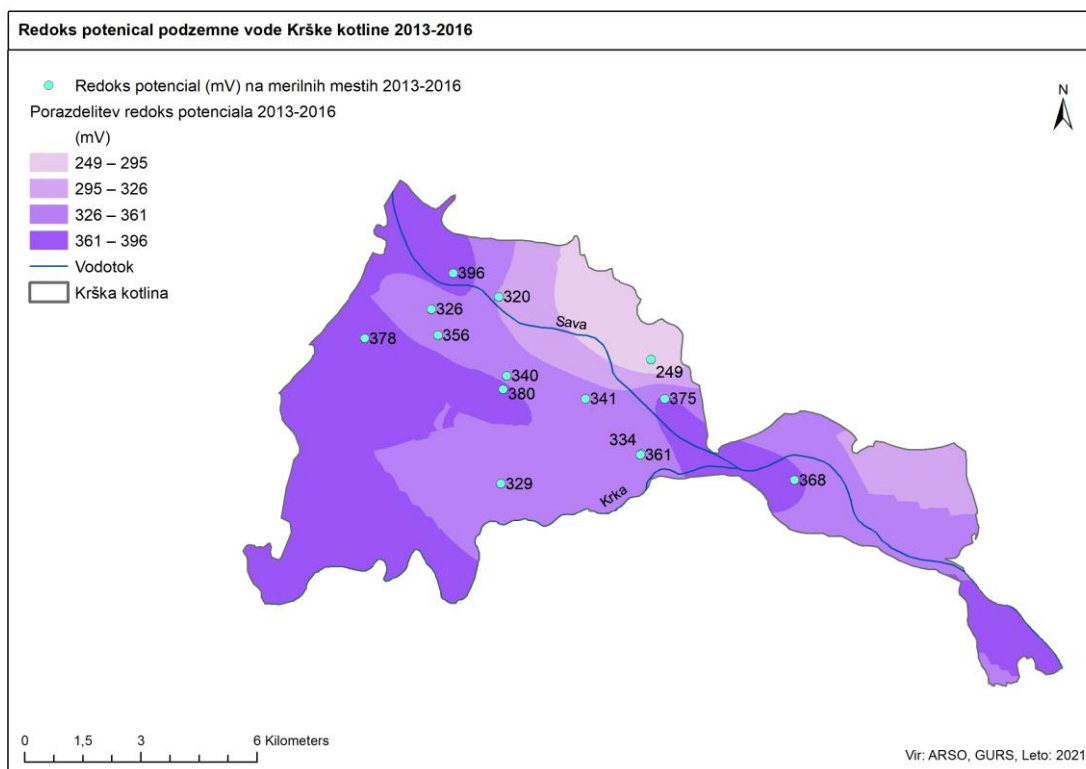
Priloga 4: Grafični prikazi redoks potenciala na Krškem in Čateškem polju



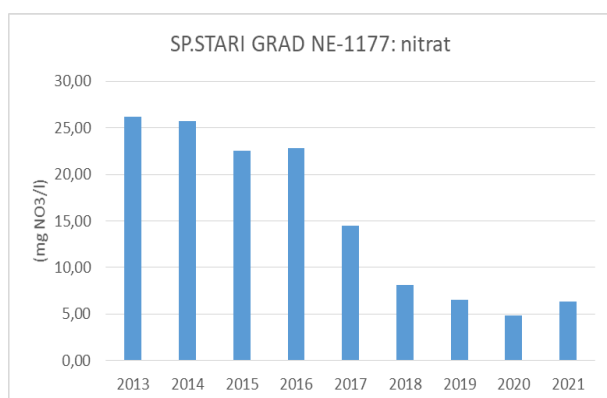
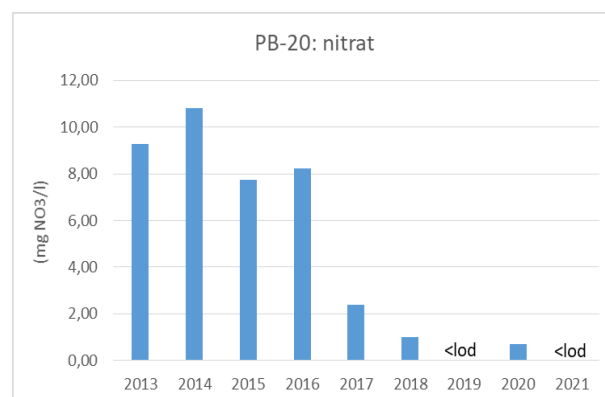
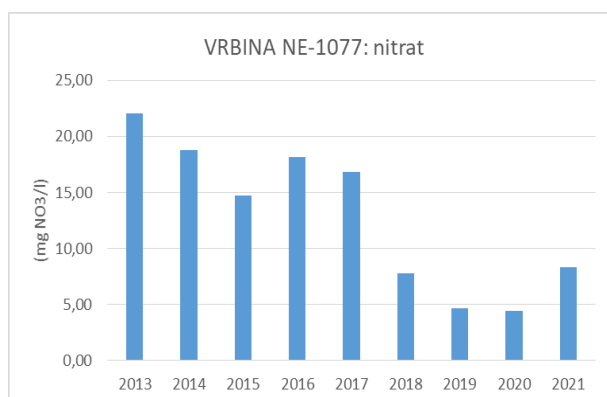
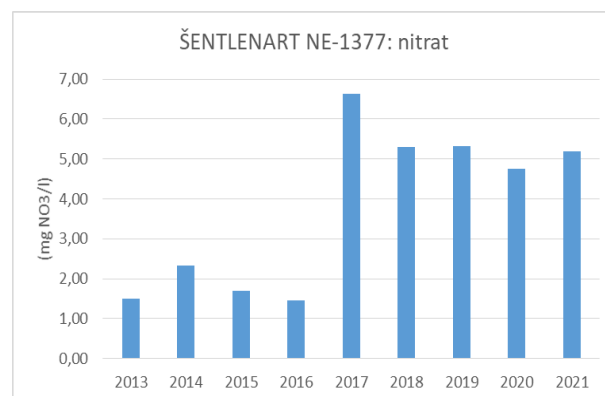
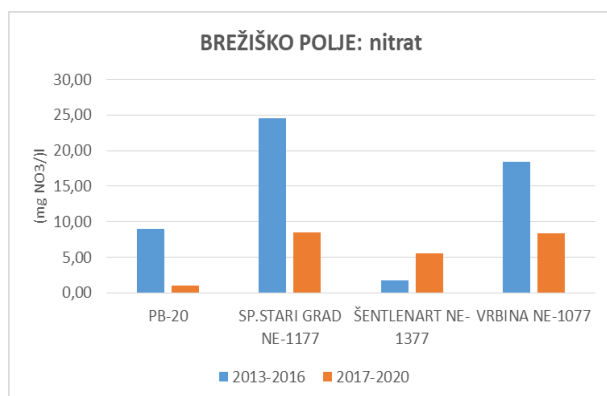




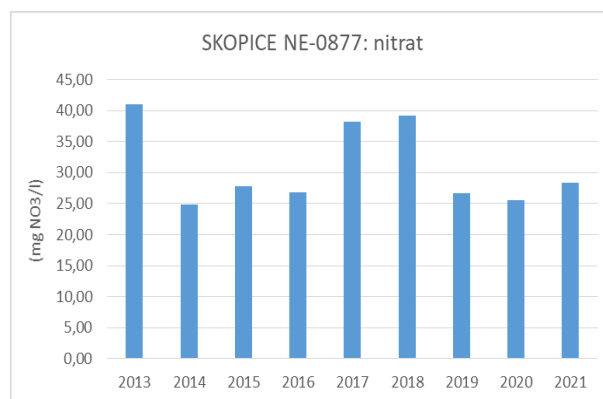
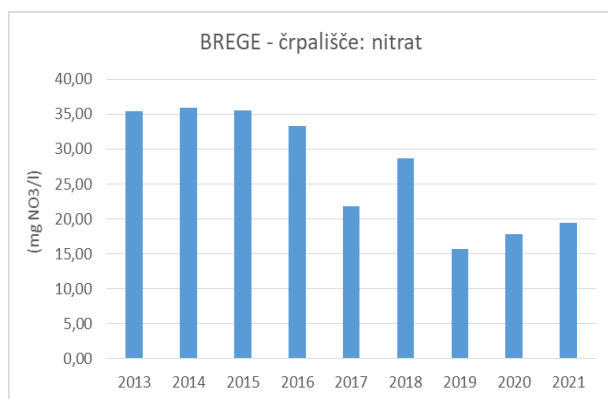
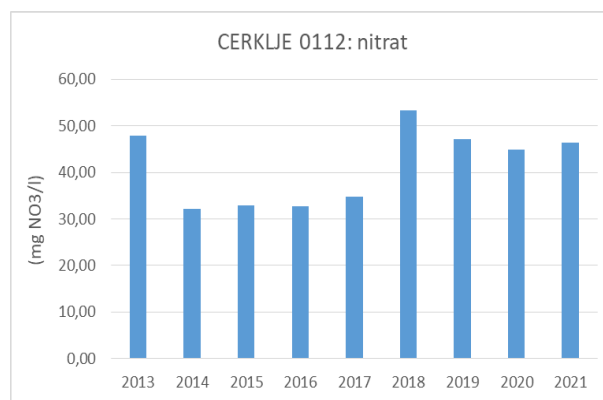
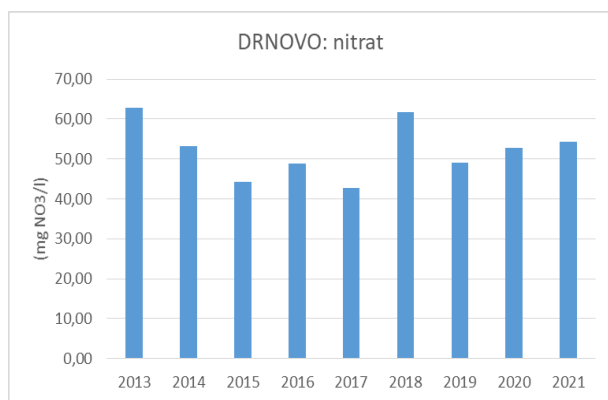
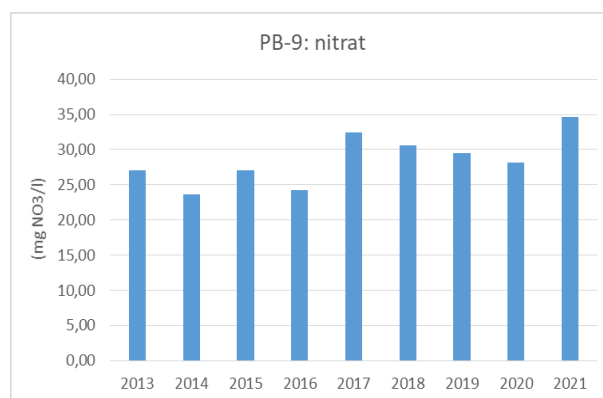
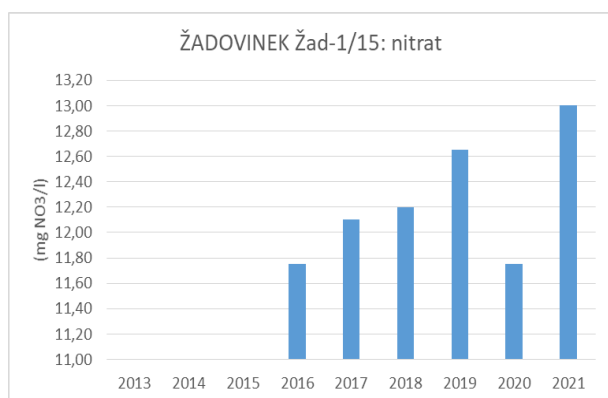
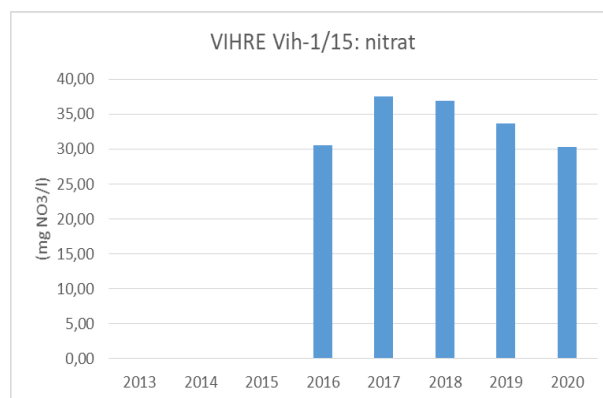
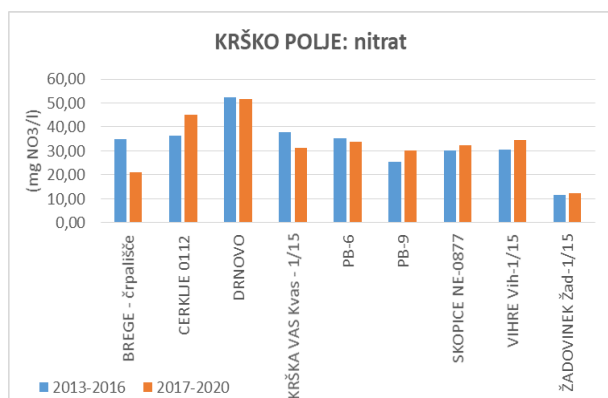
Priloga 4: Porazdelitev redoks potenciala podzemne vode

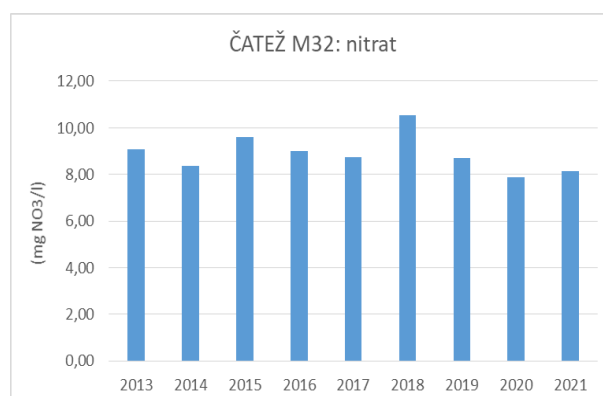
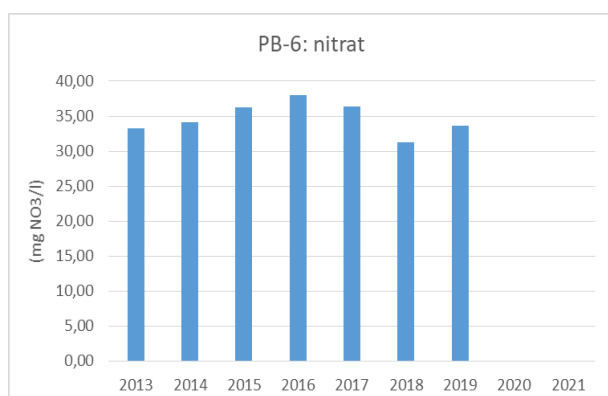
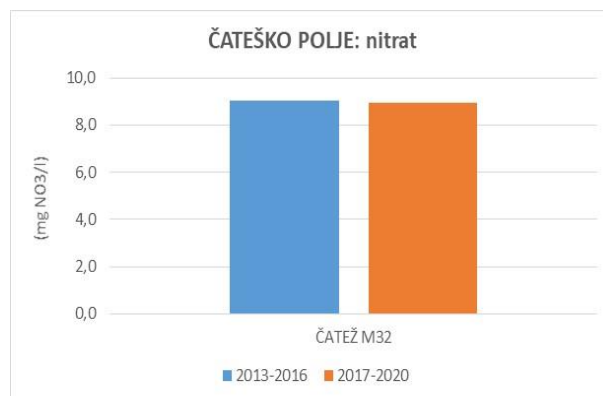
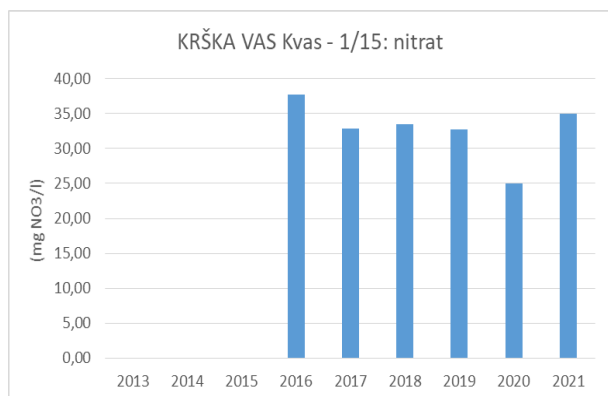


Priloga 5: Grafični prikazi nitrata na Brežiškem polju

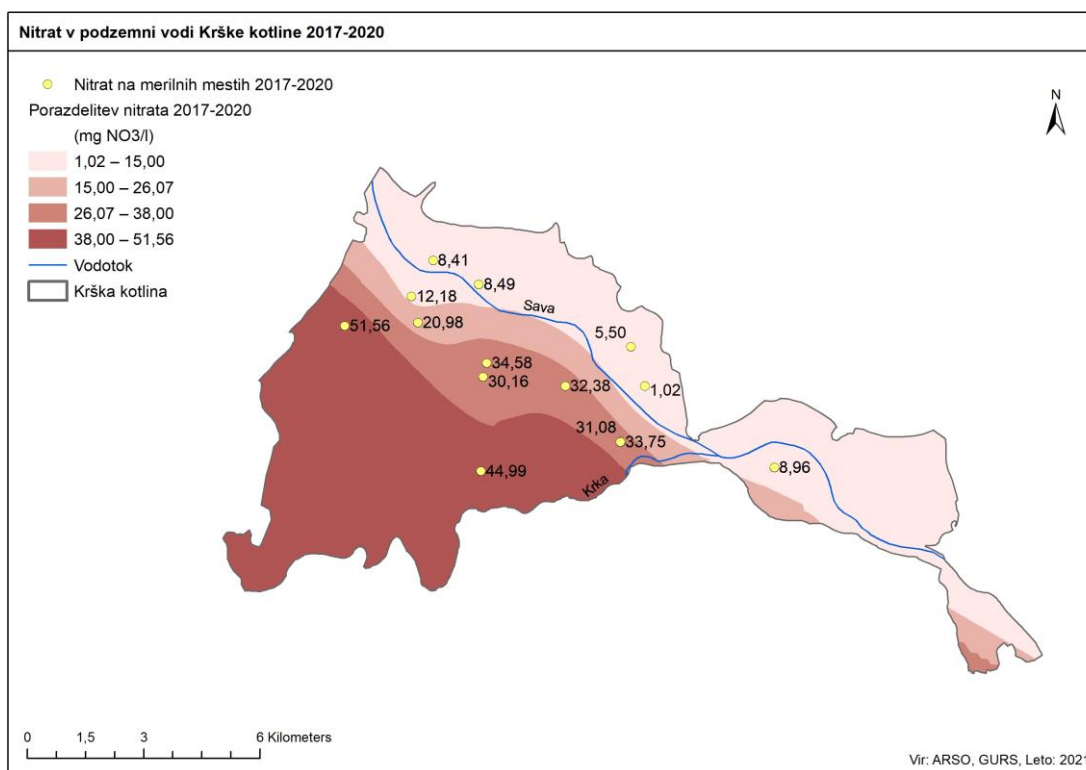
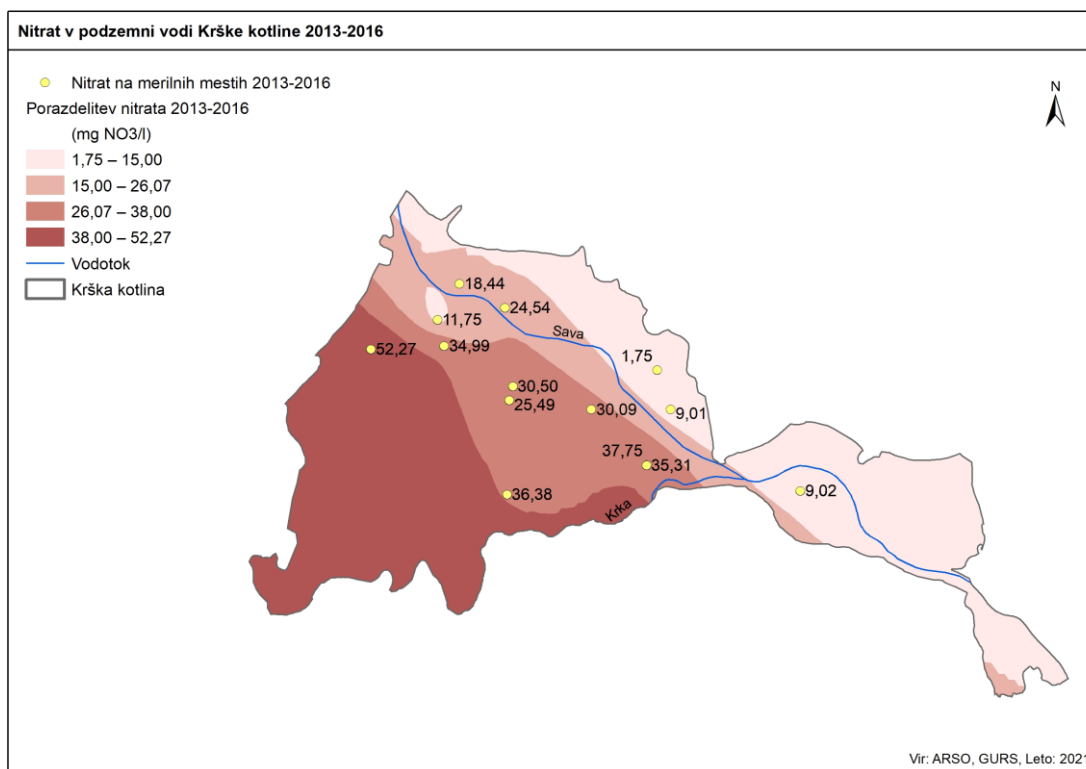


Priloga 5: Grafični prikazi nitrata na Krškem in Čateškem polju

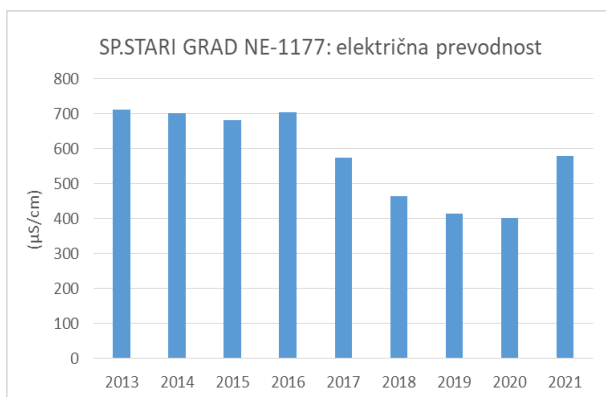
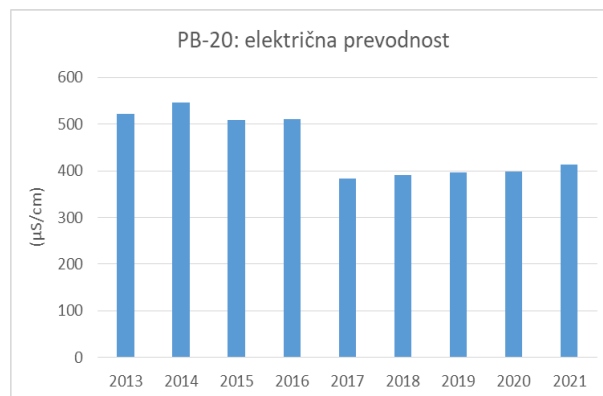
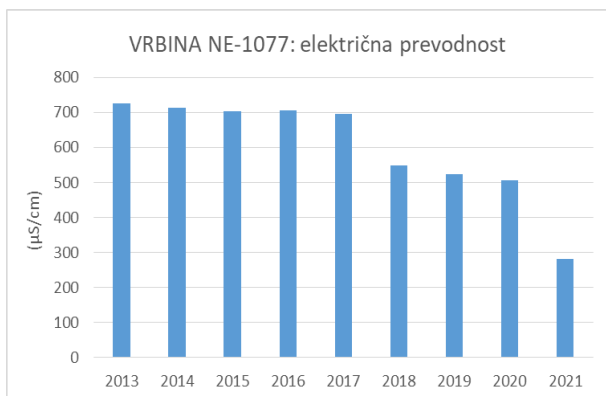
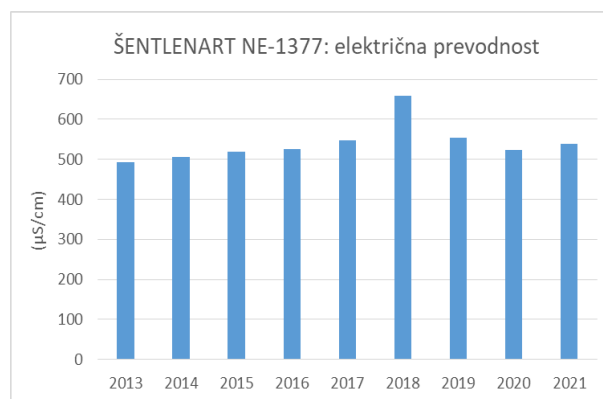
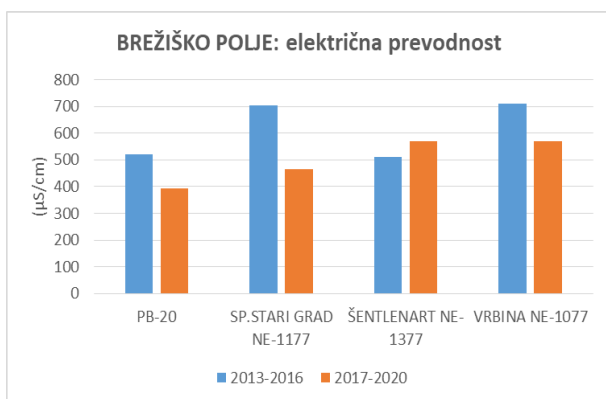




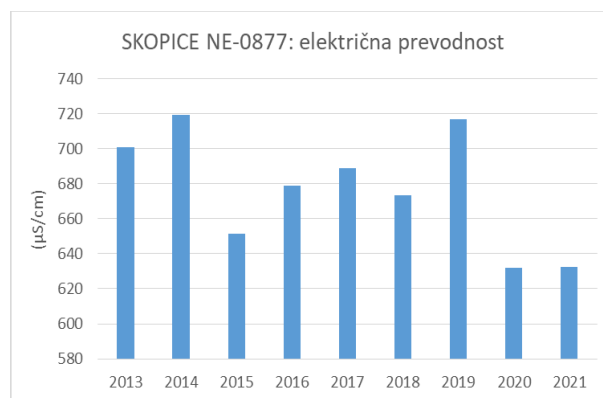
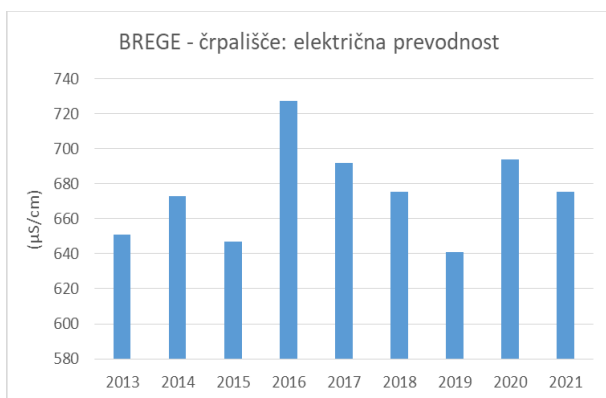
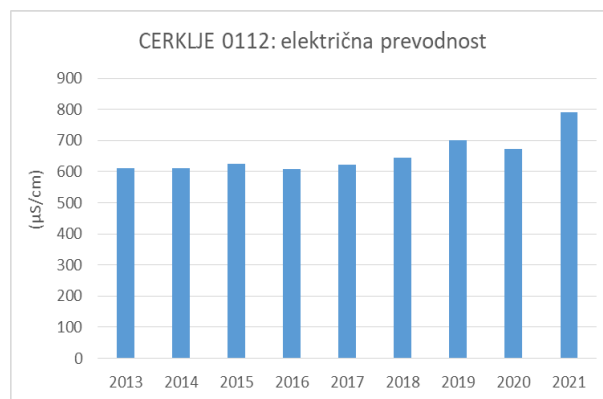
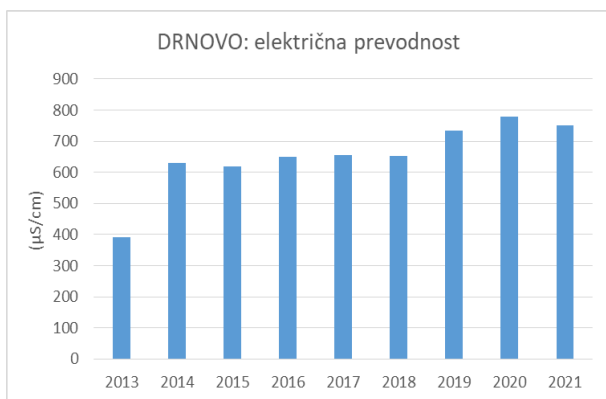
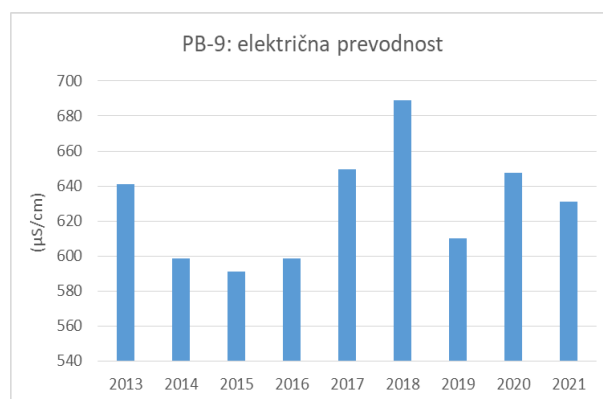
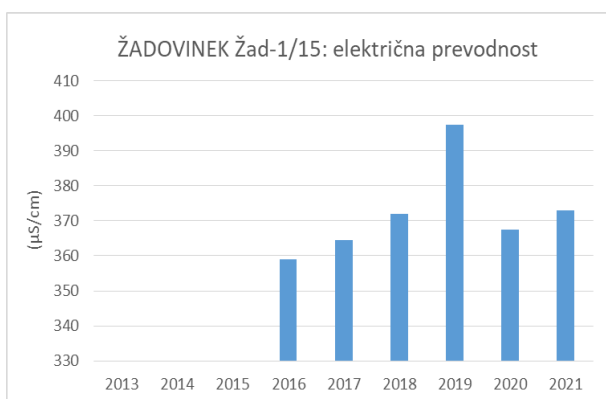
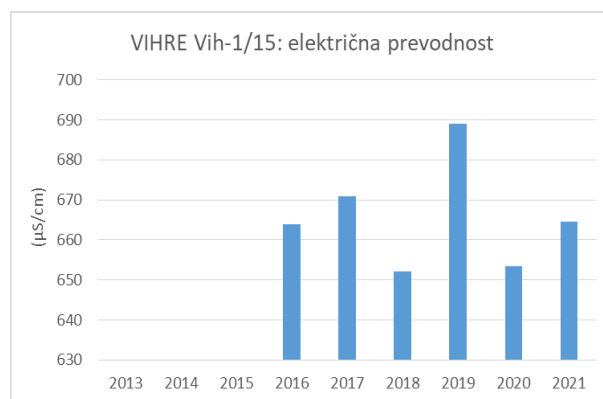
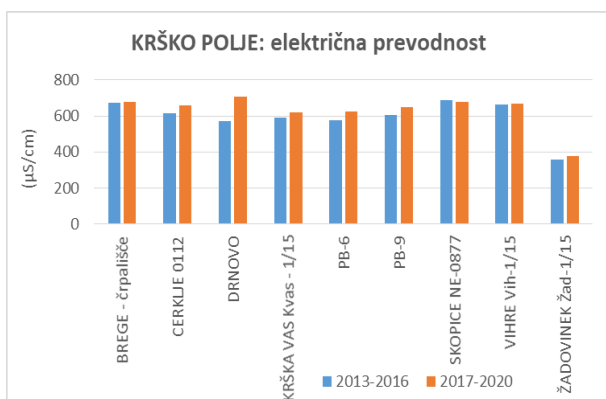
Priloga 5: Porazdelitev nitrata v podzemni vodi

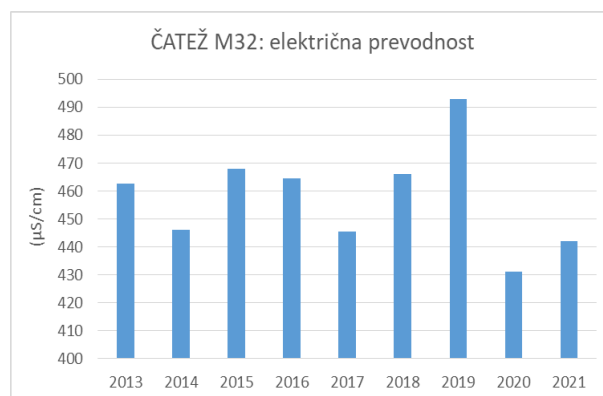
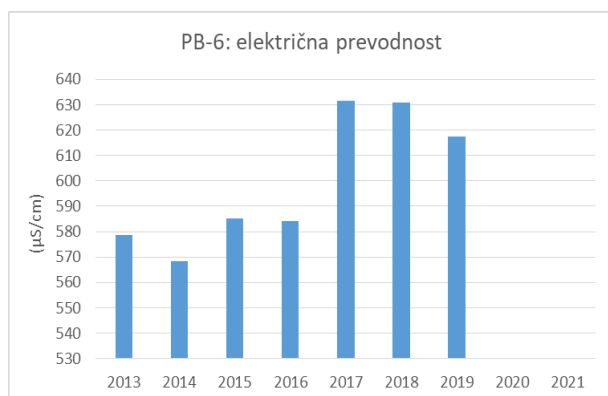
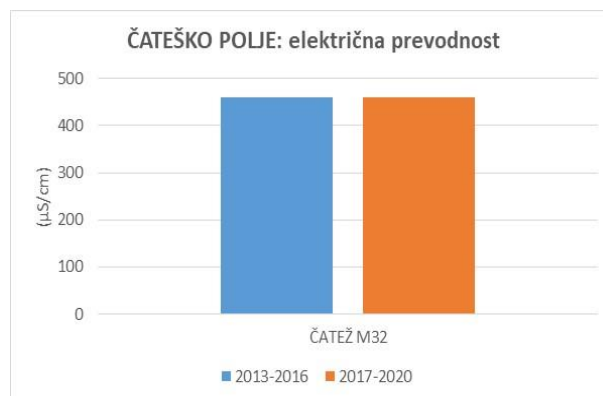
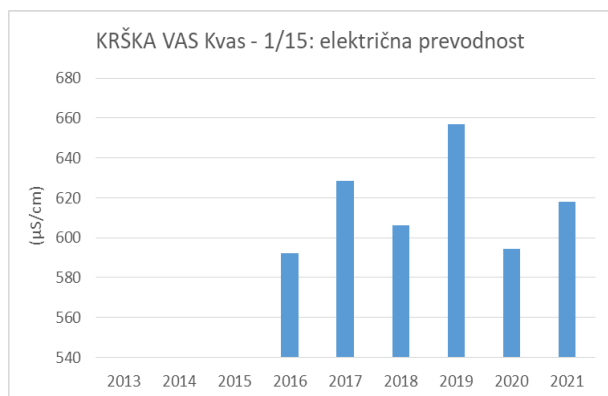


Priloga 6: Grafični prikazi električne prevodnosti na Brežiškem polju



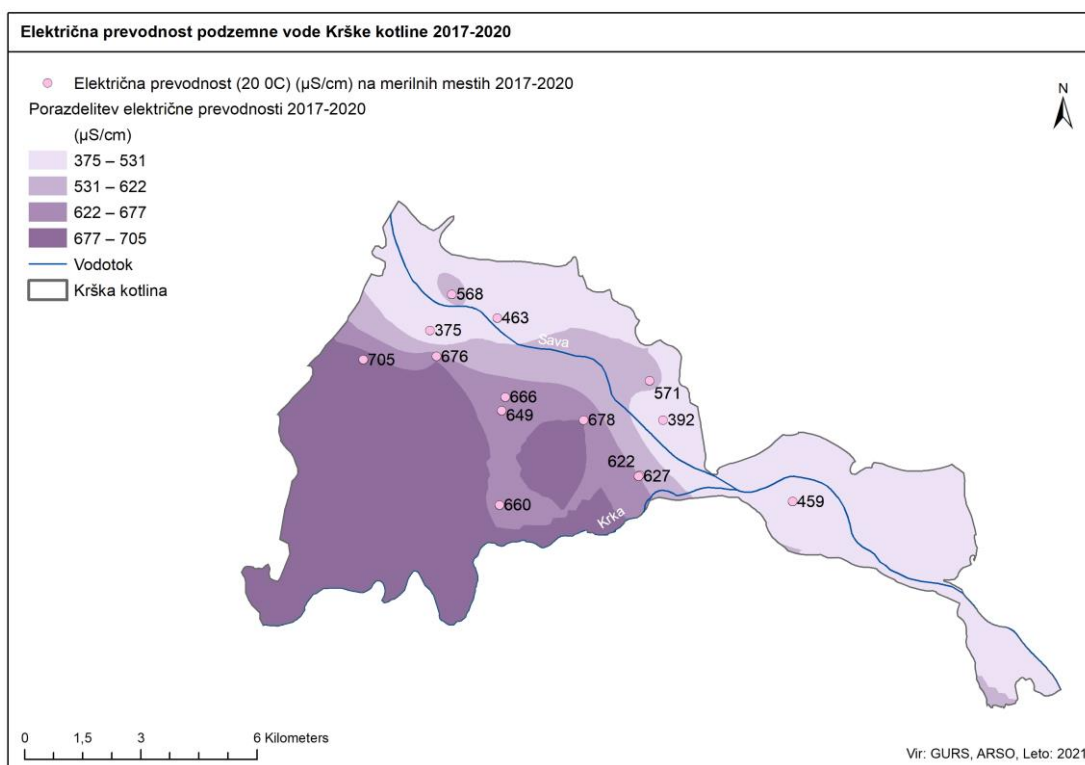
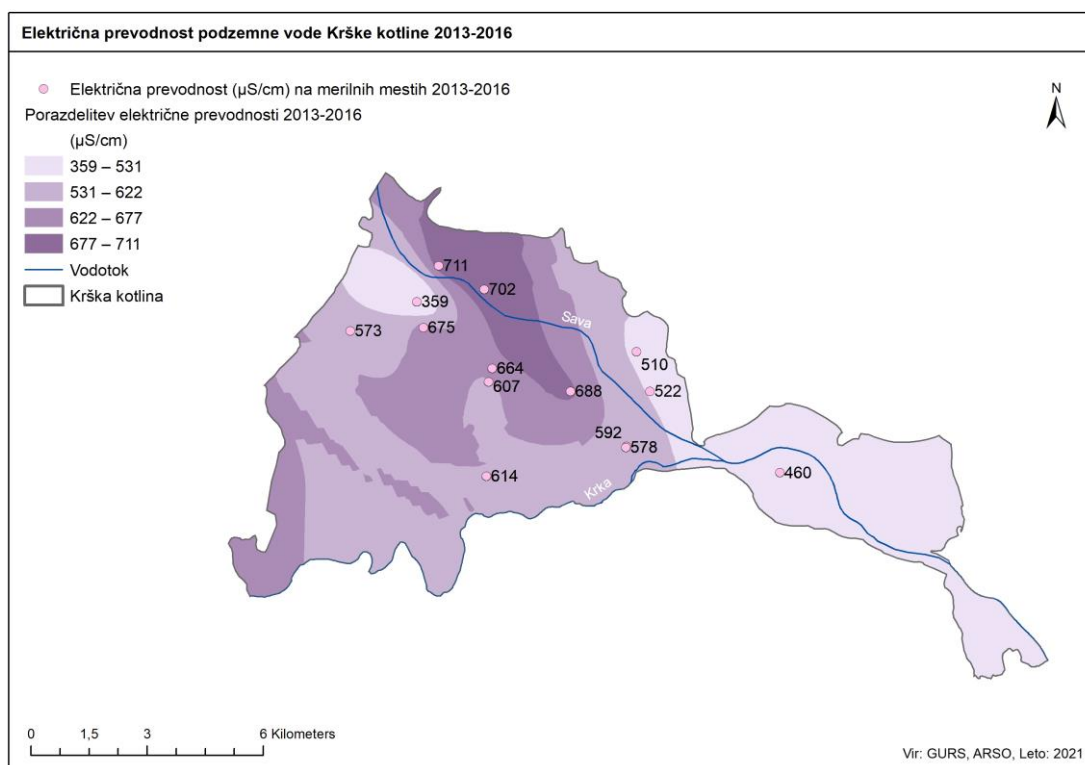
Priloga 6: Grafični prikazi električne prevodnosti na Krškem in Čateškem polju



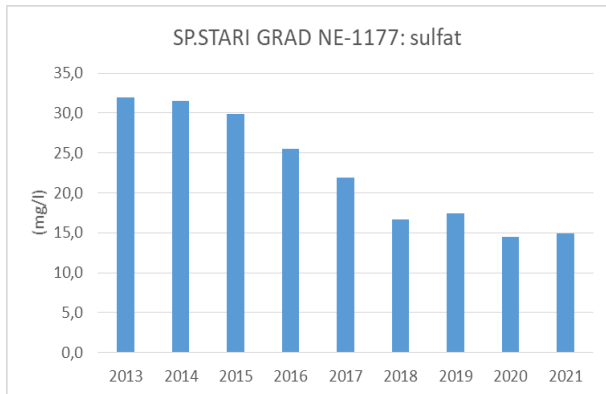
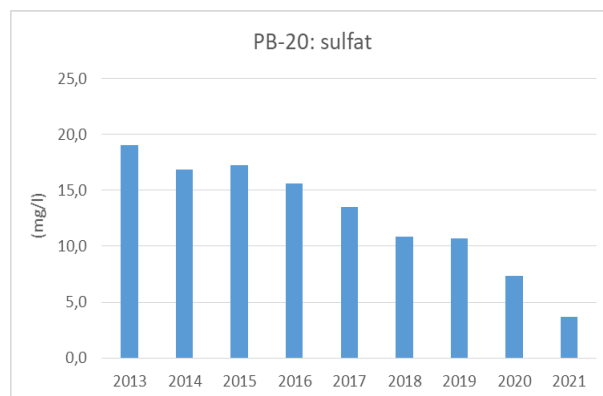
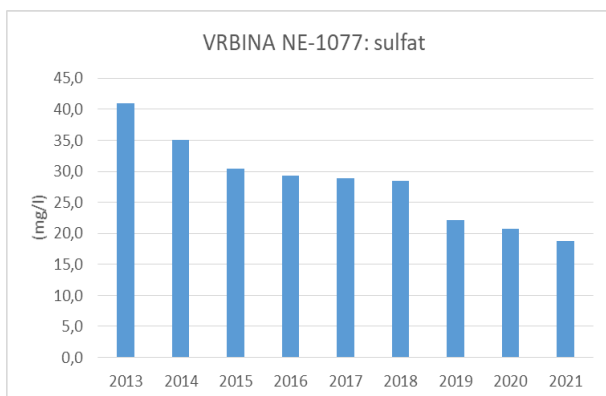
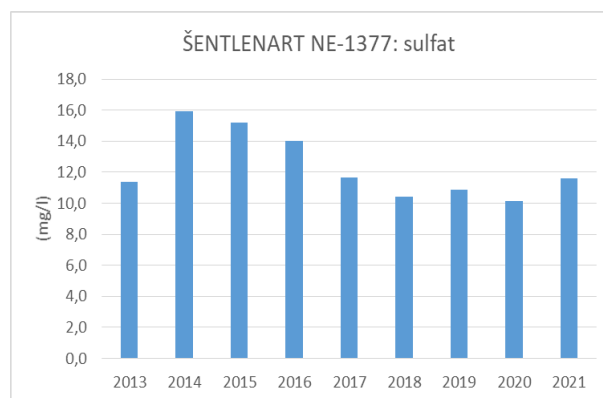
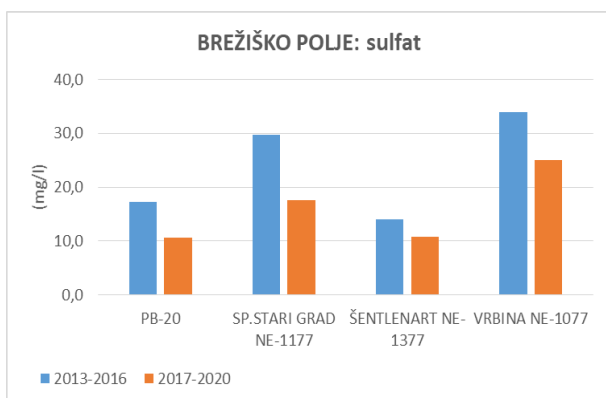




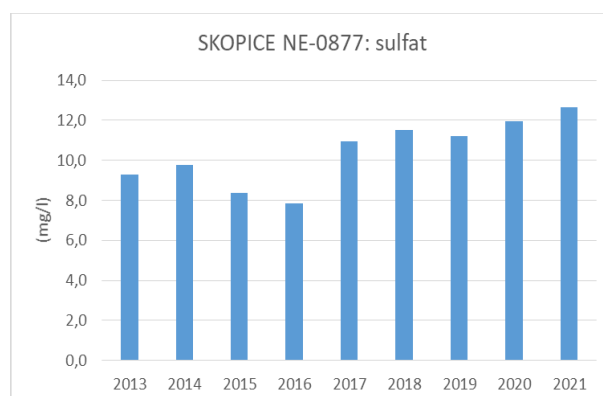
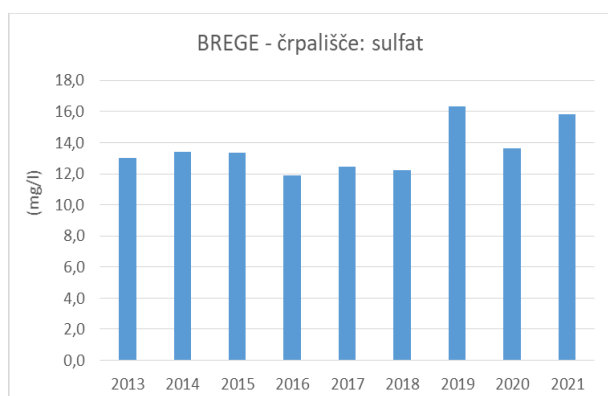
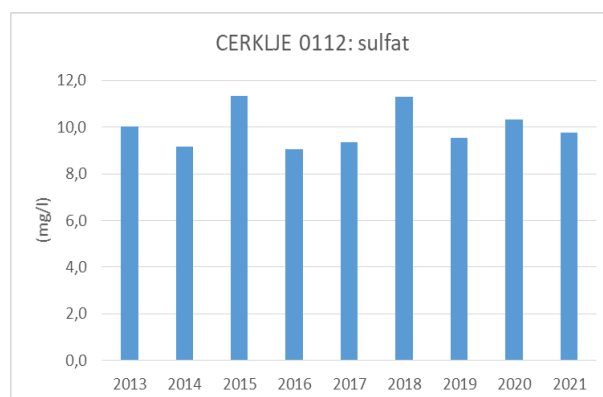
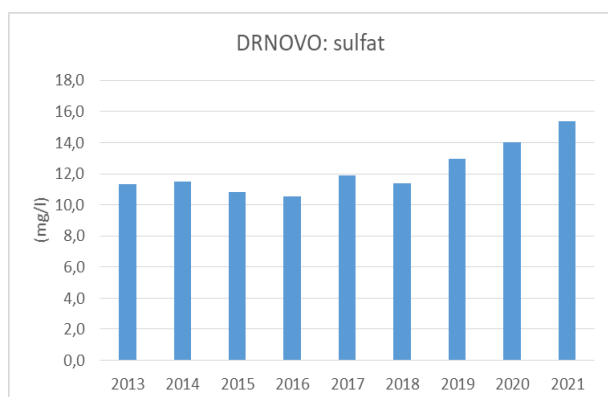
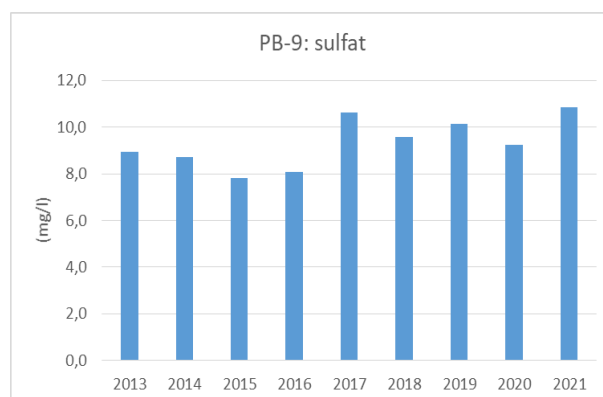
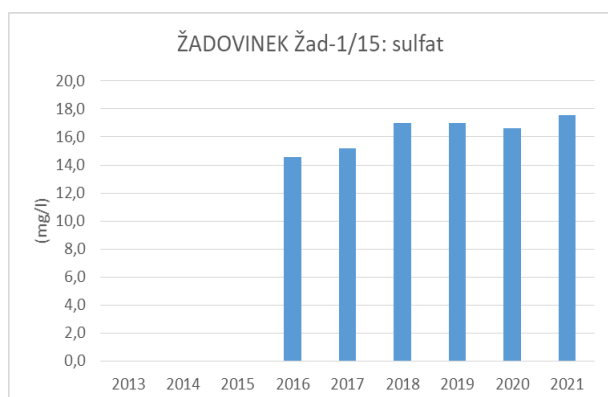
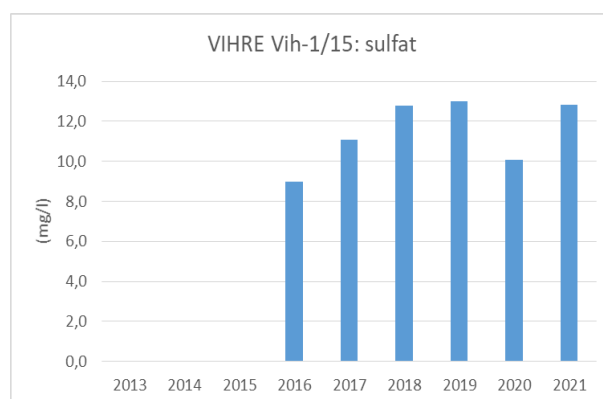
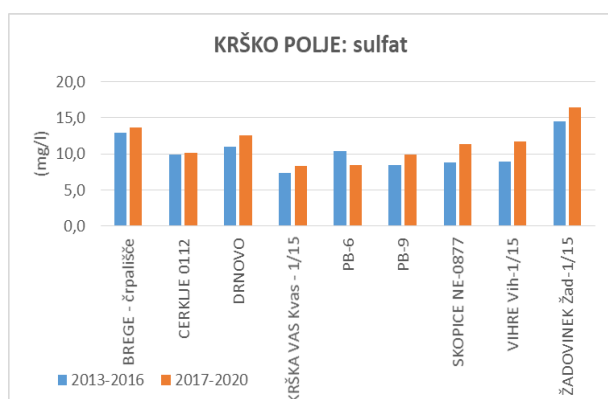
Priloga 7: Porazdelitev električne prevodnosti podzemne vode

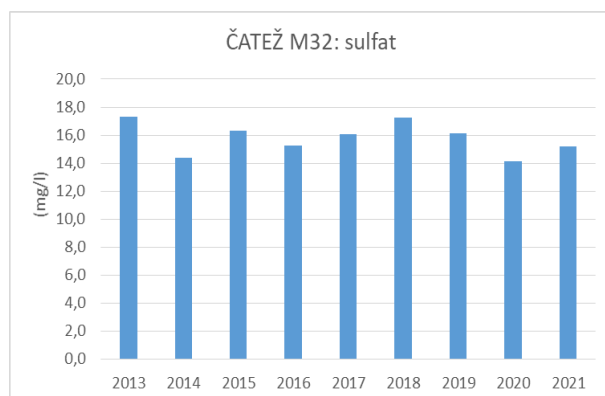
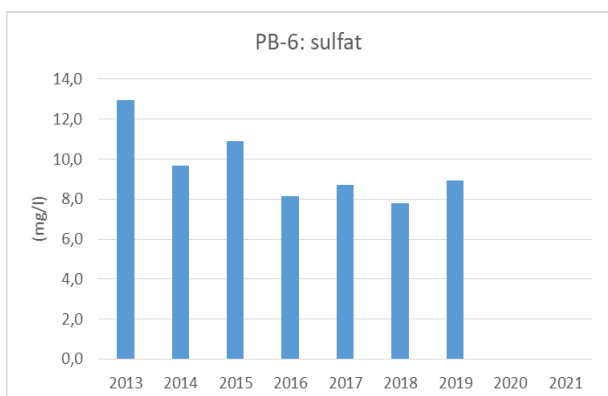
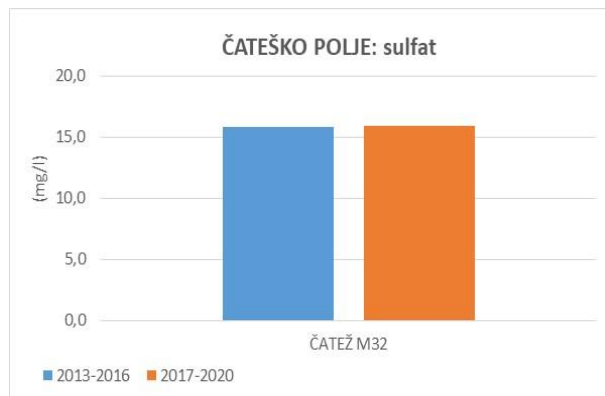
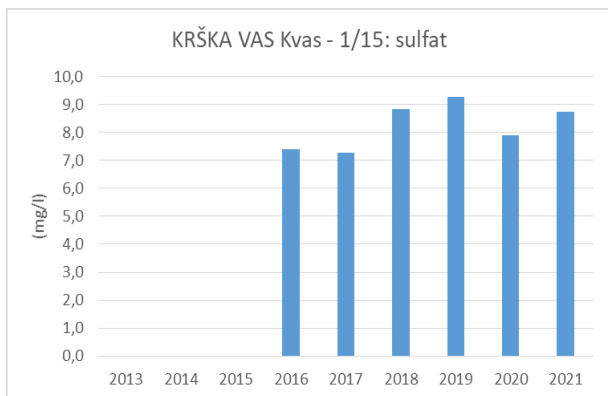


Priloga 7: Grafični prikazi sulfata na Brežiškem polju



Priloga 7: Grafični prikazi sulfata na Krškem in Čateškem polju





Priloga 7: Porazdelitev sulfata v podzemni vodi

