

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Hidrotehniška smer

Kandidatka:

Nina Volkar

Termika spodnje save v času izgradnje verige hidroelektrarn

Diplomska naloga št.: 3191

Mentor:
prof. dr. Matjaž Četina

Somentor:
dr. Andrej Širca

Ljubljana, 27. 9. 2011

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Nina Volkar izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom: »Termika spodnje Save v času izgradnje verige hidroelektrarn«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 6. 9. 2011

(podpis kandidata)

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali naslednji profesorji:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	621.311.21(497.4Sava)(043.2)
Avtor:	Nina Volkar
Mentor:	prof. dr. Matjaž Četina
Naslov:	Termika spodnje Save v času izgradnje verige hidroelektrarn
Obseg in oprema:	82 strani, 16 slik, 24 preglednic, 29 grafikonov, 34 enačb
Ključne besede:	temperatura vode, spodnja Sava, srednje razmere, kritične razmere, HOTRIVER, HOTCHAIN

Izvleček

Spodnja Sava je toplotno precej obremenjena reka, predvsem zaradi obstoječih termoenergetskih objektov Termoelektrarne Trbovlje in Nuklearne elektrarne Krško. Toplotna obremenitev pa se zaradi gradnje verige hidroelektrarn še povečuje. Leta 2003 je bila s strani podjetja IBE opravljena študija, ki je z matematičnimi modeli ovrednotila vplive TE Trbovlje, NE Krško ter predvidene verige hidroelektrarn na segrevanje vode. Kasneje, leta 2007, se je na odseku izgradnje verige vzpostavil kontinuirani monitoring rečnih temperatur v večih profilih. S pridobljenimi meritvami monitoringa je možna kontrola modelov, kar je bil tudi namen dipomske naloge. Analizo izračuna temperature smo opravili s spremljanjem vodnega elementa. Element toka smo najprej s programom HOTCHAIN spremljali skozi akumulacije Vrhovo, Boštanj ter Blanca in nato s programom HOTRIVER opazovali nadaljnje ogrevanje po strugi Save do Krškega. Pri HE Blanca in NEK smo rezultate primerjali z dejansko dinamiko rečne temperature. Analizirali smo kritično obdobje v juliju 2010 ter obdobja srednjih razmer vsakega meseca posebej v toplem delu leta 2010, to je od aprila do septembra. Na podlagi primerjave dejanskih meritev in rezultatov programa smo kritično presodili primernost obeh modelov za račun toplotne bilance reke in bazenov pretočnih hidroelektrarn v verigi.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 621.311.21(497.4Sava)(043.2)
Author: Nina Volkar
Supervisor: Prof. Matjaž Četina, Ph. D.
Title: Thermal conditions of the lower Sava River during the construction of a chain of hydropower plants
Notes: 82 pages, 16 figures, 24 tables, 29 graphs, 34 equations
Key words: water temperature, lower Sava River, mean condition, critical condition, HOTRIVER, HOTCHAIN

Abstract:

The thermal burden of the lower Sava River from the already existing infrastructure operating along its stream is increasing due to the new hydropower plants that are being built in the area. In the year 2003, an evaluation study based on different mathematical models was made concerning the influence of Trbovlje Thermoelectric Power Plant, Krško Nuclear Power Plant and the existing hydropower plants on river water temperature rise by the company IBE. In 2007, a continuous temperature monitoring in various river cross sections was started on the river stretch concerned, offering a possibility of checking the accuracy of the previously mentioned mathematical models. In this thesis, the acquired monitoring results were used for this purpose on two different mathematical models. The temperature analysis calculation was made by monitoring the water element. First, the flow element was followed at the Vrhovo, Boštanj and Blanca reservoirs by using the HOTCHAIN model; afterwards, further downstream temperature increase was calculated, all the way to Krško, by using the HOTRIVER model. The results at Hydro Power Plant Blanca and Nuclear Power Plant Krško were compared with the actual dynamics of the river temperature. The analysis was made for the critical temperature conditions of July 2010, and for average temperature conditions from April to September 2010. Based on comparison of the actual temperatures monitored in the river stretch concerned with the mathematical models' results, a critical analysis on the suitability of the used mathematical models for calculating the temperature balance of the river and the reservoirs was made.

ZAHVALA

Za strokovno usmerjanje, nasvete in pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju prof. dr. Matjažu Četini in somentorju dr. Andreju Širci.

Hvala podjetju IBE, ki mi je s posredovanjem potrebnih podatkov omogočilo izvedbo naloge.

Ne nazadnje se najlepše zahvaljujem družini in Jakatu, ki so mi tekom študija vselej potrpežljivo stali ob strani in verjeli vame. Hvala tudi dragim prijateljem, ki so me spodbujali in bodrili v času pisanja, ter prijateljici Urški Petelin za lekturo mojega dela.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
2	TEORETIČNA IZHODIŠČA.....	3
2.1	Toplotno stanje površinskih vodotokov	3
2.1.1	Bilanca sevanja	4
2.1.1.1	Globalno kratkovalovno sevanje	4
2.1.1.2	Dolgovalovno sevanje ozračja.....	5
2.1.1.3	Dolgovalovno sevanje vodne gladine.....	7
2.1.1.4	Bilanca toplotnega sevanja	7
2.1.2	Določitev izmenjave toplote zaradi izhlapevanja.....	9
2.1.3	Prehajanje toplote zaradi konvekcije.....	11
2.2	Izračun termike na primeru uporabljenih modelov za spodnjo Savo.....	12
2.2.1	Račun toplotne bilance na površini vodotoka ali akumulacije s programom HEATFLOW	13
2.2.2	Račun termike v rekah s pomočjo programa HOTRIVER.....	14
2.2.2.1	Advekcija in disperzija	15
2.2.2.2	Hidravlični del računa	17
2.2.3	Račun termike v akumulacijah	18
2.2.3.1	Notranja temperaturna dinamika	18
2.2.3.2	Vpliv pritoka in odtoka na termiko akumulacije	19
2.2.3.2.1	Zadrževalni čas	19
2.2.3.2.2	Pritok	20
2.2.3.2.3	Odtok	21
2.2.3.3	Modeliranje.....	21
2.2.3.4	Teoretčne osnove programa HOTCHAIN.....	22
3	ODSEK SPODNJE SAVE.....	25
3.1	Geografske značilnosti odseka spodnje Save.....	26
3.2	Kratka predstavitev hidroelektrarn.....	26
3.3	Uporabljeni modeli.....	29
4	VHODNI PODATKI	30
4.1	Splošno o vhodnih podatkih.....	30
4.1.1	Meritve in opazovanja meteoroloških pojavov	30

4.1.2	Meritve temperature vode in pretoka	31
4.2	Hidravlični podatki	32
4.3	Hidrološki podatki	33
4.4	Meteorološki podatki	35
4.5	Definicija srednjih, kritičnih in ekstremnih razmer	38
4.5.1	Srednje razmere	38
4.5.2	Kritične in ekstremne razmere	38
4.6	Izbira obdobja	40
4.6.1	Analiza kritičnih razmer v juliju 2010	41
4.6.2	Analiza srednjih razmer v letu 2010	44
4.7	Klimatske spremembe	45
4.7.1	Spremenljivost temperature zraka	46
4.7.2	Spremenljivost padavin	48
4.7.3	Spremenljivost pretokov	49
4.7.4	Spremenljivost temperature vode	50
5	ANALIZA REZULTATOV	52
5.1	Prikaz rezultatov v programu	52
5.2	Kritične razmere	52
5.2.1	Rezultati pri kritičnih razmerah v verigi hidroelektrarn	52
5.2.2	Rezultati pri kritičnih razmerah na nezajezenem delu Save	53
5.3	Srednje razmere	55
5.3.1	Rezultati pri srednjih razmerah v verigi hidroelektrarn	55
5.3.2	Rezultati pri srednjih razmerah na nezajezenem delu Save	57
5.4	Analiza občutljivosti	59
5.4.1	Vpliv meteorologije	59
5.4.1.1	Temperatura zraka	60
5.4.1.2	Globalno sevanje	62
5.4.1.3	Zračna vlaga in veter	64
5.4.1.4	Vpliv spremembe meteoroloških parametrov na toplotno bilanco vodnega telesa ...	64
5.4.1.5	Povzetek analize občutljivosti meteoroloških podatkov	65
5.4.2	Vpliv hidroloških parametrov	67
5.4.2.1	Pretok	67
5.4.2.2	Začetna temperatura vode	70
5.4.3	Zaključek	71
5.5	Odstopanje rezultatov – vzroki in rešitve	71
5.5.1	Točnost vhodnih podatkov	72
5.5.2	Zanesljivost meritev MOSS	73

5.5.3	Predpostavka programa HOTCHAIN o toplotnem obnašanju akumulacije kot reke	73
5.5.4	Trendi rezultatov obdobja srednjih razmer.....	74
5.5.5	3D model za račun temperature vode v verigi hidroelektrarn	77
6	ZAKLJUČEK.....	78
VIRI.....		80

KAZALO SLIK

Slika 1:	Bilanca toplotnega sevanja.	8
Slika 2:	Izhlapevanje z vodne gladine.....	9
Slika 3:	Vpliv vetra na evaporacijo.....	10
Slika 4:	Prikaz kontinuiranega, centralnega ter točkovnega toplotnega izvora v vodotok konstante globine in hitrosti.	15
Slika 5:	Shema plasti vode zaradi stratifikacije jezera.....	18
Slika 6:	Gibanje vode v akumulaciji.	19
Slika 7:	Prikaz vtoka v akumulacijsko jezero.	21
Slika 8:	Prikaz enodimenzionalnega modeliranja akumulacij.	22
Slika 9:	Princip modela HOTCHAIN.	23
Slika 10:	Obravnavan odsek spodnje Save.	25
Slika 11:	HE Vrhovo.....	27
Slika 12:	HE Boštanj.....	28
Slika 13:	HE Blanca.....	28
Slika 14:	Shematični prikaz verige treh hidroelektrarn, kjer je bil uporabljen model HOTCHAIN ter nezajezeni del reke, kjer je bil uporabljen program HOTRIVER.....	29
Slika 15:	Statistično značilni trendi v količini padavin po letnih časih za obdobje 1971–2005.....	48
Slika 16:	Trend srednjih letnih pretokov na vodomernih postajah ARSO.....	49

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Geometrija in karakteristike struge HE Vrhovo, HE Boštanj in HE Blanca.	32
Preglednica 2:	Geometrijske karakteristike gorvodnih ter dolvodnih profilov bazena HE Vrhovo, HE Boštanj in HE Blanca.	32
Preglednica 3:	Hidravlični parametri Save za odsek HE Vrhovo – NEK.	33
Preglednica 4:	Hidrološki parametri srednjih razmer za obdobje od aprila do septembra.	38
Preglednica 5:	Sprememba temperature zraka na desetletje ($^{\circ}\text{C}/10$ let), izračunana na podlagi linearnega trenda v obdobju 1950–2009.	47
Preglednica 6:	Povprečne mesečne in letne temperature zraka v Ljubljani.	47
Preglednica 7:	Rezultati programa HOTCHAIN in njihova primerjava z dejanskimi meritvami za kritične razmere.	53
Preglednica 8:	Rezultati programa HOTCHAIN in njihova primerjava z dejanskimi meritvami za povprečne razmere.	55
Preglednica 9:	Segrevanje vodnega delca od sotočja Save in Savinje do HE Blanca pri povprečnih razmerah.	57
Preglednica 10:	Rezultati programa HOTRIVER in njihova primerjava z dejanskimi meritvami za povprečne razmere.	58
Preglednica 11:	Odstopanja s programom HOTRIVER izračunanih in merjenih temperatur Save pri NEK za obdobje srednjih razmer.	59
Preglednica 12:	Vpliv spremembe temperature zraka na temperaturo vode pri vsaki HE za srednje in kritične razmere.	61
Preglednica 13:	Vpliv spremembe temperature zraka na segrevanje vode od sotočja Save in Savinje do HE Blanca za srednje in kritične razmere.	61
Preglednica 14:	Vpliv temperature zraka na spremembo temperature vode dnevnega maksimuma in minimuma pri NEK za srednje in kritične razmere.	62
Preglednica 15:	Vpliv spremembe globalnega sevanja na temperaturo vode za srednje in kritične razmere pri	63
Preglednica 16:	Vpliv spremembe globalnega sevanja na segrevanje vode od sotočja Save in Savinje do HE Blanca za srednje in kritične razmere.	63
Preglednica 17:	Vpliv globalnega sevanja na spremembo temperature vode dnevnega maksimuma in minimuma pri NEK za srednje in kritične razmere.	63
Preglednica 18:	Energija pri srednjih in kritičnih razmerah pri spremembi temperature zraka.	64
Preglednica 19:	Energija pri srednjih in kritičnih razmerah pri spremembi globalnega sevanja.	65
Preglednica 20:	Energija pri srednjih in kritičnih razmerah pri spremembi zračne vlage.	65
Preglednica 21:	Energija pri srednjih in kritičnih razmerah pri spremembi hitrosti vetra.	65

Preglednica 22: Vpliv spremembe začetne temperature Save na segrevanje vode od sotočja s Savinjo do HE Blanca za srednje razmere.....	70
Preglednica 23: Trend odstopanj temperature vode v posameznih akumulacijskih bazenih za srednje razmere.	75
Preglednica 24: Trend odstopanj temperature vode na nezajezenem delu Save za srednje razmere. .	77

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1:	Pretok vodotoka na sotočju rek Save in Savinje za obdobje od 1. 6. do 1. 10. 2010.....	34
Grafikon 2:	Temperatura vode na sotočju rek Save in Savinje za obdobje od 1. 6. do 1. 10. 2010...	35
Grafikon 3:	Temperatura zraka za obdobje od 1. 4. do 1. 10. 2010, ki je bila merjena na meteorološki postaji Novo mesto.....	36
Grafikon 4:	Globalno sevanje za obdobje od 1. 4. do 1. 10. 2010, ki je bilo merjeno na meteorološki postaji Novo mesto.....	36
Grafikon 5:	Relativna vlaga za obdobje od 1. 4. do 1. 10. 2010, ki je bila merjena na meteorološki postaji Novo mesto.....	37
Grafikon 6:	Primerjava temperatur zraka, merjenih v Novem mestu ter pri HE Vrhovo za kritično obdobje julija 2010.....	37
Grafikon 7:	Grafični prikaz iskanja kritičnega obdobja, ko temperatura zraka preseže 27 °C.	40
Grafikon 8:	Primerjava temperature zraka pri kritičnih razmerah z obdobjem od 11. do 18. 7. 2010.....	41
Grafikon 9:	Primerjava kritičnega globalnega sevanja s sevanjem v obdobju od 11. do 18. 7. 2010.....	42
Grafikon 10:	Primerjava kritične relativne vlage z vlago v obdobju od 11. do 18. 7. 2010	42
Grafikon 11:	Pretok reke na sotočju Save in Savinje v obdobju kritičnih razmer od 11. do 18. 7. 2010	43
Grafikon 12:	Rečna temperatura na sotočju Save in Savinje v obdobju kritičnih razmer od 11. do 18. 7. 2010.....	43
Grafikon 13:	Povprečna letna temperatura zraka, 11-letno drseče povprečje ter linearni trend v Ljubljani od leta 1866 do 2007.....	46
Grafikon 14:	Povprečne mesečne in letne temperature zraka v Ljubljani.....	47
Grafikon 15:	Navišje, srednje letne in najnižje temperature vode v obdobju opazovanj, merjene ob sedmi uri zjutraj, na vodomerni postaji Sava – Litija.....	50
Grafikon 16:	Dinamika dejanskih in izračunanih rečnih temperatur pri NEK v kritičnem obdobju....	54
Grafikon 17:	Vpliv spremembe temperature zraka srednjih razmer v avgustu 2010 pri hidroelektrarnah.....	60
Grafikon 18:	Vpliv spremembe temperature zraka kritičnih razmer v juliju 2010 pri hidroelektarnah.....	60
Grafikon 19:	Vpliv temperature zraka na dinamiko temperature vode pri NEK za srednje in kritične razmere.	62

Grafikon 20: Vpliv spremembe meteoroloških pogojev na temperature vode v času avgustovskih srednjih razmer.	66
Grafikon 21: Vpliv spremembe meteoroloških pogojev na temperature vode v času kritičnih razmer.	66
Grafikon 22: Čas potovanja vodnega delca od sotočja Save in Savinje do HE Vrhovo v odvisnosti od pretoka.	67
Grafikon 23: Vpliv spremembe pretoka na temperaturo vode pri HE Blanca za srednje razmere v avgustu 2010.	68
Grafikon 24: Vpliv spremembe pretoka na temperaturo vode pri HE Blanca za kritične razmere v juliju 2010.	68
Grafikon 25: Vpliv spremembe pretoka na dinamiko temperature vode in čas potovanja vodnega delca pri NEK za kritične razmere.	69
Grafikon 26: Vpliv spremembe začetne temperature Save pri sotočju s Savinjo na temperaturo vode pri HE Blanca za srednje razmere v avgustu 2010.	70
Grafikon 27: Vpliv spremembe začetne temperature Save pri HE Blanca na temperaturo vode pri NEK za srednje razmere v avgustu 2010.	71
Grafikon 28: Pretok na sotočju Save in Savinje in pri HE Blanca v času aprilskih srednjih razmer. .	76
Grafikon 29: Pretok na sotočju Save in Savinje in pri HE Blanca v času majskih srednjih razmer.	76

KRATICE

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
BL	Blanca
BO	Boštanj
HC	HOTCHAIN
HE	hidroelektrarna
HESS	Hidroelektrarne na Spodnji Savi, d.o.o.
HR	HOTRIVER
IZV	Inštitut za vode Republike Slovenije
MOSS	monitoring spodnje Save
NE	nuklearna elektrarna
NEK	Nuklearna elektrarna Krško
TE	termoelektrarna
VP	vodomerna postaja
VR	Vrhovo

1 UVOD

Preučevanje rečne termike ima po svetu bogato zgodovino. Prvi modeli, ki so obravnavali predvsem večje vodotoke, so nastajali že v šestdesetih letih prejšnjega stoletja. V zadnjih dvajsetih letih se je pozornost usmerila tudi v manjše vodotoke, večinoma v povezavi z modeli za obravnavanje kakovosti vode.

Tudi v Sloveniji se posveča vedno več pozornosti pojavu toplotnega obremenjevanja voda, česar vzrok je strožje spoštovanje zakonodaje, prav tako pa je vsako leto več izrednih hidroloških in meteoroloških dogodkov, ki bi lahko povzročili moteno delovanje termoenergetskih objektov.

Na toplotno stanje voda vplivajo predvsem neposredno dovedena toplota zaradi površinskih in podtalnih pritokov ter odpadne vode, toplota zaradi evaporacije, konvekcije in sevanja. Slednje zajema globalno kratkovalovno sevanje, dolgovalovno sevanje ozračja ter dolgovalovno sevanje vodne površine. Na bilanco toplotnega sevanja lahko vplivata tudi osenčenost oziroma obraščenost struge in megla.

Spodnja Sava je toplotno precej obremenjena reka, predvsem zaradi obstoječih termoenergetskih objektov Termoelektrarne (TE) Trbovlje in Nuklearne elektrarne (NE) Krško (NEK). Toplotna obremenitev se zaradi gradnje verige hidroelektrarn (HE) še povečuje, kar je posledica povečanja vodne površine ter upočasnitve toka.

Leta 2003 je bila s strani podjetja IBE opravljena obsežna študija termike spodnje Save, ki je z matematičnima modeloma HOTRIVER (HR) in HOTCHAIN (HC) ovrednotila vplive TE Trbovlje, NE Krško ter predvidene verige hidroelektrarn na segrevanje vode. Kasneje, leta 2007, se je na odseku izgradnje verige vzpostavil kontinuirni monitoring rečnih temperatur v večih profilih, s katerim so bili v celoti pridobljeni podatki od leta 2008 do 2010. S pridobljenimi meritvami monitoringa je možna verifikacija uporabljene programske opreme.

Na odseku spodnje Save med Vrhovim (VR) in državno mejo so trenutno zgrajene tri hidroelektrarne, HE Vrholovo, HE Boštanj (BO) in HE Blanca (BL), od skupno načrtovanih štetih elektrarn, gradbena dela četrte v verigi, elektrarne Krško, pa se prav tako približujejo koncu. Veriga hidroelektrarn deluje v dnevno pretočnem akumulacijskem režimu, s HE Vrholovo kot čelnim bazenom in HE Blanca kot izravnalnim bazenom. Omejitev obratovanja narekuje dogovorjen vodni režim v profilu z Republiko Hrvaško ter v profilu NEK, kjer mora biti zagotovljena nemotena oskrba NE Krško s hladilno vodo.

Glavni namen diplomske naloge je izračun termike Save na odseku od sotočja Save in Savinje do NE Krško pri različnih meteoroloških in hidroloških pogojih ter primerjava rezultatov z dejanskimi, merjenimi vrednostmi.

Cilj diplomske naloge je na podlagi primerjave dejanskih meritev in rezultatov programa potrditi ali ovreči primernost obeh modelov za račun toplotne bilance reke in bazenov pretočnih hidroelektrarn v verigi. V primeru odstopanj rezultatov se naj bi ugotovili možni vzroki za slabše ujemanje in podale možne rešitve za nadaljnje delo.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

Za razumevanje toplotne dinamike rek in akumulacij je potrebno poznati princip izmenjave toplote med vodo in zrakom. Ta zajema vplive sevanja, tako kratkovalovnega kot tudi dolgovalovnega, izmenjavo toplote zaradi izhlapevanja ter prehajanje toplote zaradi konvekcije. V tem poglavju je poleg omenjenega opisan tudi izračun termike na primeru uporabljenih programov HOTRIVER in HOTCHAIN za odsek spodnje Save, ki je bil analiziran v diplomskem delu. Predstavljene so izhodiščne enačbe in teoretične predpostavke modelov.

2.1 Toplotno stanje površinskih vodotokov

Izmenjava toplote med vodo in zrakom je odvisna tako od hidromehaničnega obnašanja vodnega telesa kot tudi od njegovega vzajemnega delovanja z zračno maso, kjer so pomembni meteorološki faktorji sončno sevanje, veter, zračna vlaga, tlak in oblačnost (Orlob, 1983).

Pri določanju toplotnega stanja površinskih vodotokov se uporablja osnovna enačba toplotne energije, na primer po Pemiču (1991):

$$P = Q \rho c \Delta T. \quad (1)$$

Kjer so:

Q ... vodni pretok [m^3/s],

ρ ... gostota vode [$1000 \text{ kg}/\text{m}^3$],

c ... specifična toplota vode [$4,2 \text{ MJ}/1000 \text{ kg K}$],

ΔT ... sprememba temperature [K],

P ... toplotni tok [W] (Pemič, 1991).

Iz enačbe je razvidno, da je sprememba toplotne energije vodotoka enaka toplotni bilanci P oziroma razliki v vodotok dovedene ter odvedene toplotne energije (Pemič, 1991).

Za račun spremembe temperature vodnega telesa, enačbo (1) preuredimo in jo zapišemo v diferencialni obliki (Pemič, 1991):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{P}{c \rho V}. \quad (2)$$

Tako bi lahko spremembo temperature vzdolž vodotoka v odvisnosti od časa izračunali, če bi poznali toplotni tok.

Komponente toplotne bilance, ki delujejo na toplotno stanje vodotoka so sledeče (Pemič, 1991):

- Neposredno dovedena toplota v vodotok (PP) zaradi površinskih in podtalnih pritokov ter odpadne vode.
- Toplota zaradi sončnega sevanja (SS).
- Toplota zaradi izhlapevanja (EV) ali kondenzacije (K).
- Toplota zaradi konvekcije (CO).
- Toplota zaradi kemičnih reakcij ter biološkega presnavljanja v vodi.
- Toplota zaradi turbulence in trenja rečnega toka.

Zadnji dve komponenti sta v primerjavi z ostalimi zanemarljivi, torej je toplotna bilanca vodotoka enaka:

$$P = PP + SS + EV + K + CO. \quad (3)$$

V vseh računih je enota za navedene člene enaka W/m^2 .

Komponente so pozitivne, če povzročijo zvišanje temperature vode (toplotni izvor) ali negativne, če povzročijo znižanje temperature vode (toplotni ponik) (Pemič, 1991).

2.1.1 Bilanca sevanja

V nadaljevanju je prikazana prva izmed treh opisanih komponent toplotne bilance in sicer bilanca sevanja, ki zajema globalno kratkovalovno sevanje, dolgovalovno sevanje ozračja in dolgovalovno sevanje vodne gladine.

2.1.1.1 Globalno kratkovalovno sevanje

Zemlja sprejema toplotno energijo skoraj izključno od sonca, v obliki kratkovalovnega sevanja (svetloba). Pri vpadu v zemeljsko ozračje se del tega sevanja, približno 30 odstotkov, odbije v vesolje, del se razprši in absorbira v ozračju, preostali del pa doseže zemeljsko površje. Razprešeni del sevanja povzroča tako imenovano difuzno nebesno sevanje, katerega del prav tako doseže zemeljsko površje. Celotno sončno sevanje, ki doseže zemeljsko površje, imenujemo globalno sevanje sonca (GS).

Njegova velikost je odvisna od položaja sonca, ki variira tako dnevno kot tudi preko leta, prav tako pa je odvisna od oblačnosti, zasenčenosti, motnosti ozračja, množine vodnih hlapov v ozračju (Pemič, 1991).

Globalno kratkovalovno sevanje lahko zapišemo kot vsoto sončnega sevanja ter razpršenega sevanja, ki dosežeta zemeljsko površje:

$$GS = I + H. \quad (4)$$

Kjer so:

GS ... globalno sevanje sonca,

I ... sončno sevanje, ki doseže zemeljsko površje,

H ... del razpršenega sevanja, ki doseže zemeljsko površje (Pemič, 1991).

Del kratkovalovnega sevanja se odbije od gladine vodotoka, njegova odbojnost pa je precej odvisna od stanja vodotoka, na primer valovanja, onesnaženosti ipd (Pemič, 1991).

Pri računu vodne bilance upoštevamo **neto kratkovalovno sevanje (GSA)**, ki ga izračunamo tako, da globalno sevanje sonca pomnožimo s faktorjem 0.94, kar predstavlja delež absorbiranega dela sevanja v vodo (IBE, 2003):

$$GSA = 0,94 GS. \quad (5)$$

2.1.1.2 Dolgovalovno sevanje ozračja

Drugi vpliv na segrevanje vode je dolgovalovno sevanje ozračja.

Ogljikova kislina, vodni hlapi in ozon v ozračju imajo vrsto spektralnih območij, ki omogočajo absorbiranje. Absorbirani del kratkovalovnega sončnega sevanja segreva hlape in molekule plinov zemeljskega ozračja, ki s tem postanejo izvor toplote, t.j. dolgovalovnega sevanja ozračja. Del tega dolgovalovnega sevanja, ki doseže zemeljsko površje, imenujemo sevanje ozračja (SO) (Pemič, 1991). Sevanje je odvisno predvsem od temperature zraka in vlažnosti, od zastrtosti neba in višine oblakov ter se povečuje s povečanjem vlage v zraku. Ponoči ter v toplih in oblačnih dneh predstavlja večji dovod toplote v vodno telo kot sicer (Martin et al., 2007).

Dolgovalovno sevanje ozračja poenostavljeno opišemo s Stefan-Boltzmannovim zakonom, (IBE, 2003), ki pravi, da je energijski tok termičnega sevanja (vseh valovnih dolžin), ki ga seva absolutno črna in gladka sevalna ploskev v polprostor nad seboj, premosorazmeren z velikostjo sevalne ploskve in s četrto potenco njene absolutne površine. Ker pa nečrna telesa sevajo manj kot črna, vpeljemo pojem emisivnost in računamo energijski tok tako imenovanega sivega telesa s približno enačbo, ki je podobna Stefan-Boltzmannovemu zakonu. Emisivnost je vedno manjša od ena in je odvisna od vrste snovi (Kuščer et al., 2000). Dolgovalovno sevanje ozračja se izračuna po enačbi:

$$SO = \varepsilon_z \sigma T_z^4. \quad (6)$$

Kjer so:

SO ... dolgovalovno sevanje ozračja,

T_z ... temperatura zraka [K],

ε_z ... empirični faktor, ki je odvisen od temperature zraka in opisuje odvisnost sevanja ozračja od tlaka vodne pare,

σ ... Stefan–Boltzmannova konstanta, ki je neodvisna od vrste snovi in znaša

$$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}.$$

Pri določanju sevanja ozračja bi torej morali poznati spreminjanje vlažnosti in temperature zraka v navpični smeri, kar zahteva meritve z radiosondami, zato si za ovrednotenje empiričnega faktorja ε_z pomagamo z enačbo Angstroma, ki velja za popolno jasno nebo (Pemič, 1991):

$$\varepsilon_z = 0,848 - 0,294 \cdot 10^{-0,03 \chi \rho}. \quad (7)$$

Kjer sta:

χ ... sprememba gostote vodne pare v navpični smeri, ki ima vrednosti od 1,1 do 3,6 (pri nas konstantno 3,6),

ρ ... gostota vodne pare na višini dveh metrov nad vodno gladino vodotoka [g/m^3].

Gostoto vodne pare izračunamo z enačbo:

$$\rho = K(T_z) e = K(T_z) \frac{RV}{100} \rho_{KRIT}. \quad (8)$$

Kjer so:

K ... empirični koeficient, ki znaša pri 0 °C 0,795, pri 15 °C 0,752, pri 30 °C 0,795, vmes pa se linearno spreminja,

RV ... relativna zračna vlaga,

e ... parni tlak, ki ga dobimo iz relativne zračne vlage RV in je merjena količina ter temperature zraka T_z po empirični enačbi (9).

Empirična enačba, s pomočjo katere izračunamo temperaturo zraka, je:

$$\rho_{KRIT} = 6,11 \cdot 10^{\frac{7,5 T_z}{T_z + 277,3}}. \quad (9)$$

2.1.1.3 Dolgovalovno sevanje vodne gladine

Tudi vodna gladina je pri temperaturah od 0 °C do 30 °C izvor toplotnega, dolgovalovnega sevanja (SV) (Pemič, 1991). Dolgovalovno sevanje vodne gladine ovrednotimo z že omenjenim Stefan-Boltzmannovim zakonom (IBE, 2003):

$$SV = \varepsilon_V \sigma T_V^4 \quad (10)$$

Kjer so:

ε_V ... emisijski faktor vode, ki znaša 0,97,

σ ... Stefan-Boltzmannova konstanta, ki je neodvisna od vrste snovi in znaša $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$,

T_V ... temperatura vode [K].

2.1.1.4 Bilanca toplotnega sevanja

Razliko dolgovalovnega sevanja vodne gladine ter ozračja ($SV - SO$) imenujemo bilanca toplotnega sevanja, ki je skoraj vedno negativna. Pozitivna je le, ko je temperatura zraka vsaj 15 Kelvinov višja od temperature vodotoka (Pemič, 1991).

Na bilanco toplotnega sevanja lahko vpliva zasenčenje, na primer zasenčenje bregov in drevja, ki obdajajo rečno strugo. Vpliv je večji pri manjših vodotokih, zlasti v zimskem času pri popolnoma

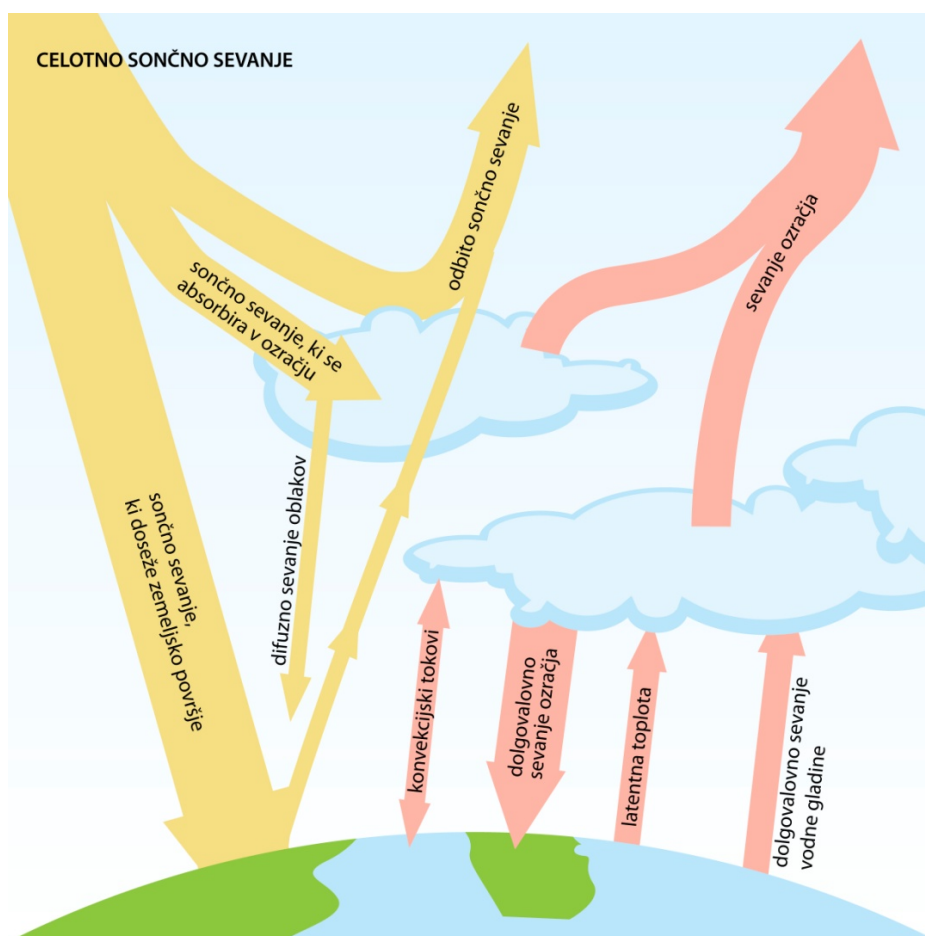
jasnem nebu, pri večjih vodotokih pa je manjši zaradi večjih zračnih gmot med povzročiteljem zasenčenja in vodotokom. Ugotovljeno je, da je vpliv zasenčenja na sevanje pri večjih vodotokih manjši od sedem odstotkov, kar zadeva bilanco toplotnega sevanja ter manjši od deset odstotkov, kar zadeva globalno sevanje (Pemič, 1991).

Na bilanco toplotnega sevanja lahko znatno vpliva tudi megla. Sevanje proste gladine vodotoka pri gosti megli popolnoma preneha (Pemič, 1991).

Enačbo celotnega sevanja lahko zapišemo kot (Pemič, 1991):

$$SS = GSA + SO - SV. \quad (11)$$

Na sliki 1 so prikazani izvori kratkovalovnega in dolgovalovnega sevanja.

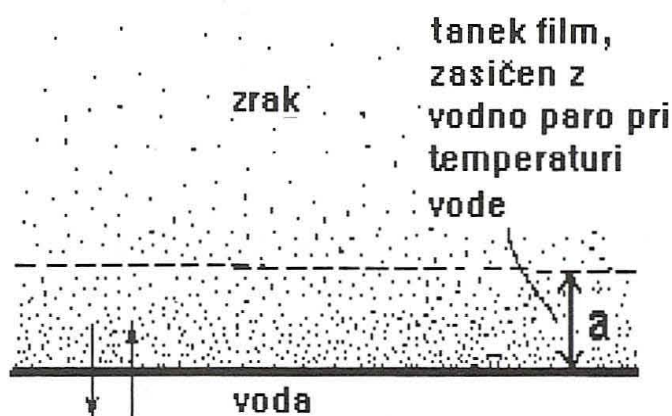


Slika 1: Bilanca toplotnega sevanja.

Vir: Prirejeno po Deas in Lowney, 2000, str. 20.

2.1.2 Določitev izmenjave toplote zaradi izhlapevanja

Izhlapevanje ali evaporacija je pojav prehoda vode iz tekočega agregatnega stanja v plinasto. Na vodni gladini se molekule vode gibljejo med vodo in zrakom, ene se zaradi kondenzacije vračajo v vodo, druge pa izhlapijo v atmosfero (slika 2). Evaporacija je razlika med izhlapelimi in kondenziranimi molekulami vode (Brilly in Šraj, 2005).



Slika 2: Izhlapevanje z vodne gladine.

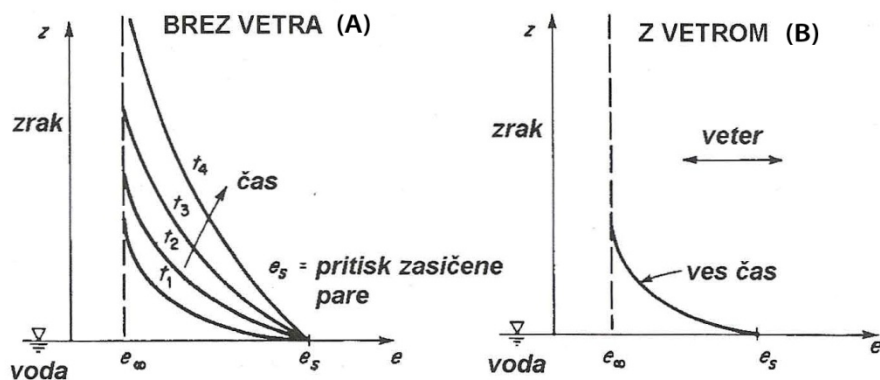
Vir: Brilly in Šraj, 2005, str. 145.

Če se molekule vode zadržujejo nad vodno površino, postane zrak popolnoma zasičen z vodno paro. Tedaj je evaporacija enaka nič (Brilly in Šraj, 2005).

Potek izhlapevanja je odvisen predvsem od energije, vlažnosti zraka, vetra ter kakovosti vode (Brilly in Šraj, 2005).

Za spremembo vode v paro so potrebne izdatne količine energije. Glavni vir energije je sončno sevanje ter energija, ki se spopusti ob hlajenju vodotoka, iz katere voda izhlapeva, to je tako imenovana latentna energija. Prav tako sta pomembni temperatura podlage, torej vodne površine, ter temperature zraka, saj lahko pri višjih temperaturah zraka ta absorbira večje količine vodne pare. Veter evaporacijo pospešuje, saj odvaja bolj nasičene zračne mase (Brilly in Šraj, 2005).

Na sliki 3 sta prikazana diagrama, ki prikazujeta vpliv vetra na evaporacijo. Pri prvem (A), ko opazujemo pritisk vodne pare v brezveterju, se ta na poljubni višini s časom viša, kar upočasnjuje proces evaporacije. Pri drugem grafikonu (B), ko veter odvaja nasičene zračne mase, se pritisk vodne pare spreminja le z višino in na konstantni višini ostaja enak.



Slika 3: Vpliv vetra na evaporacijo.

Vir: Brilly in Šraj 2005, str. 145.

Za določitev evaporacije obstaja več empiričnih enačb, ki pa so dokaj nezanesljive oziroma se njihovi rezultati precej razlikujejo. V nadaljevanju je navedenih devet enačb različnih avtorjev: enačba (13) je pridobljena iz Srebrenovičeve knjige Primijenjena hidrologija (1986), ostalih osem, od enačbe (14) do (21), pa iz študije Teoretična hidravlika – toplotno bilanciranje površinskih vodotokov, avtorja Pemiča (1991).

Vse, z izjemo prve, so zasnovane po značilni obliki Daltonove enačbe (Pemič 1991):

$$E = f(\bar{u}) (F - F_z). \quad (12)$$

Empirične enačbe za določitev evaporacije so:

Fitzgerald

$$E = \frac{F}{80} \left(1 - \frac{U}{100}\right) \left(1 + \frac{w}{2}\right), \quad (13)$$

World Meteorological Organization

$$E = (0,173 + 0,1245 w) (F - F_z), \quad (14)$$

Kohwer

$$E = (0,439 + 0,264 w) (F - F_z), \quad (15)$$

Edinger & Geyer

$$E = 0,1715 w (F - F_z), \quad (16)$$

Meyer

$$E = (0,334 + 0,0745 w) (F - F_z), \quad (17)$$

Rimsha & Donchenko

$$E = (0,2805 + 0,137 w) (F - F_z), \quad (18)$$

Schweizer Kuehlwasserbericht

$$E = (0,157 + 0,1237 w) (F - F_z), \quad (19)$$

Carrier

$$E = (0,427 + 0,364 w) (F - F_z), \quad (20)$$

Sprenger

$$E = (0,525 + 0,40 w) (F - F_z). \quad (21)$$

Kjer so:

E...evaporacija [mm/uro],

F ... kritični tlak vodne pare, ki je odvisen od temperature zraka [mbar],

U ... relativna vlaga [%],

w...hitrost vetra [m/s],

F_z ... parni tlak zraka [mbar].

2.1.3 Prehajanje toplote zaradi konvekcije

Kot zadnji pliv na toplotno stanje vodotoka je opisano prehajanje toplote zaradi konvekcije.

Toplota lahko prehaja iz zraka v vodo v primeru, ko je temperatura zraka višja kot temperatura vode in obratno. Razmerje prehoda med obema medijema je proporcionalno njuni temperaturni razliki in je odvisno tudi od hitrosti vetra (Martin et al., 2007).

Z vodnimi hlapi odtekata v ozračje tako imenovani latentna in zaznavna toplota. Slednja je neposredno vezana na vodne in zračne delce v konvekcijskem gibanju (Pemič, 1991).

Zaznavna toplota je toplota, ki se porablja oziroma sprošča pri temperaturnih spremembah. Toplota prehaja zaradi konvekcije oziroma konvekcijskega toka, s pomočjo vetra, iz medija (voda ali zrak) z višjo temperaturo na medij (voda ali zrak) z nižjo temperaturo. Prehajanje preneha, ko se temperaturi medijev izenačita (Orlob, 1983).

Prehajanje toplote zaradi konvekcije CO se računa po enačbi Stravisija (IBE, 2003):

$$CO = S c_{pZ} \rho_z w (T_V - T_Z). \quad (22)$$

Kjer so:

CO ... prehajanje toplote zaradi konvekcije,

S ... brezdimenzionalno Stantonovo število, za katerega smo privzeli vrednost 0,001,

c_{pZ} ... specifična toplota vlažnega zraka, ki znaša $1010 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$,

ρ_z ... gostota zraka, ki znaša $1,3 \text{ kg/m}^3$,

w ... hitrost vetra [m/s],

T_V ... temperatura vode,

T_Z ... temperatura zraka.

2.2 Izračun termike na primeru uporabljenih modelov za spodnjo Savo

Na tržišču se danes pojavlja vedno več programske opreme za simulacijo toplotne obremenjenosti površinskih voda. V osnovi se veliko teh programov uporablja za simulacijo kakovosti vode, ki pa vključuje tudi račun termike.

Programi se razlikujejo po predmetu simulacije, kot je akumulacijsko jezero, reka, bazen pretočne elektrarne ali veriga bazenov elektrarn in po temeljnih enačbah ter vrsti simulacije oziroma prikazu končnih rezultatov.

Za račun toplotne aktivnosti spodnje Save smo uporabili dva programa, in sicer HOTCHAIN in HOTRIVER, v katerih je kot podprogram vključen tudi model HEATFLOW.

HOTCHAIN je namenjen izračunu termike v verigi zaporednih pretočnih hidroelektrarn (IBE, 2003).

HOTRIVER je nadgradnja enodimenzionalnega modela THERMALS, ki je bil prvič uporabljen za potrebe študije TOPOS-TET3. Uporablja se za izračun termike v nezajezenih vodotokih (IBE, 2003).

HOTRIVER in HOTCHAIN sta enodimenzionalna ter upoštevata le izmenjavo toplote preko vodne površine in ne izmenjave preko brežin in dna (IBE, 2003).

HEATFLOW je model za izračun toplotne bilance na površini vodotoka ali akumulacije (IBE, 2003).

2.2.1 Račun toplotne bilance na površini vodotoka ali akumulacije s programom HEATFLOW

S programom HEATFLOW se računa toplotni tok preko vodne površine, kjer se upošteva (IBE, 2003):

- globalno (kratkovalovno) sevanje zaradi insolacije (GS),
- dolgovalovno sevanje vodnega telesa na površini po Stefan-Boltzmannovem zakonu (SV),
- dolgovalovno sevanje ozračja, oziroma vodnih par v zraku približno po Stefan-Boltzmannovem zakonu (SO),
- izguba toplote zaradi izhlapevanja (EV),
- konvekcijska izmenjava toplote na stiku vode in zraka (CO).

Neposredno dovedena toplota v vodotok (PP) zaradi površinskih in podtalnih pritokov ter odpadne vode v tem programu niso upoštevane, saj na obravnavanem odseku, to je med bazenom HE Vrhovo in NEK, večjih pritokov ni.

Podroben opis toplotnega prehajanja zaradi **kratkovalovnega sevanja** je zapleten zaradi velike spremenljivosti meteoroloških pogojev ter zaradi pogosto nezanesljivih meteoroloških podatkov, zato je bolj zanesljivo, če sevanje merimo, kot da ga izračunamo. Globalno kratkovalovno sevanje (GS) je v našem primeru merjena količina.

Izgube zaradi izhlapevanja (EV) se zaradi nezanesljivosti posameznih empiričnih enačb računajo kot povprečje že omenjenih devetih enačb (13)–(21). Najprej se izračuna urna količina izhlapele vode na površino kvadratnega metra ($\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$), na koncu pa se na podlagi povprečne vrednosti izhlapele vode izračuna še izguba energije (IBE, 2003).

Pri tem se upošteva izparilna toplota vode po formuli (Srebrenovič, 1986):

$$TIZP = (2495 - 2,18 T_V). \quad (23)$$

Kjer sta:

TIZP ... izparilna toplota vode [W/m^2],

T_V ... temperatura vode.

V primerih, kjer nastopajo razmeroma normalne meteorološke razmere, je v programu HEATFLOW upoštevano le 10 odstotkov srednje vrednosti evaporacije, dobljene iz enačb devetih avtorjev. V primerih ekstremnih razmer bi s takšnim modelom dobili zelo visoke vrednosti rečne temperature, zato je na podlagi tako imenovanega računa ravnovesnih temperatur v model vgrajena korekcija, da pri temperaturi vode med 23 in 28 °C člen evaporacije naraste z 10 na 100 odstotkov (IBE, 2003).

2.2.2 Račun termike v rekah s pomočjo programa HOTRIVER

Na rečnem odseku od HE Blanca do NE Krško je bil za izračun termike uporabljen enodimenzionalni model HOTRIVER, namenjen simulaciji širjenja toplote v nezajezjenih rekah.

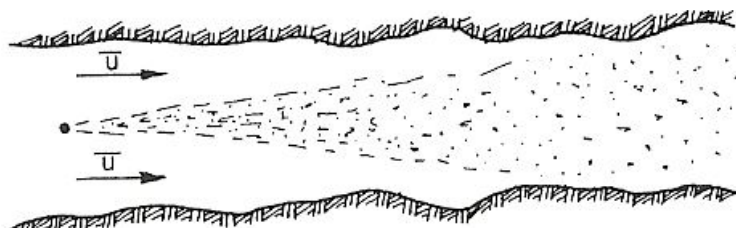
Program HOTRIVER, ki je bil razvit na podlagi modela Siporek za simulacijo polutantov, predvsem naftnih derivatov, računa temperaturo vode na podlagi koncentracije polutanta, torej toplote. Gre za poenostavljen pristop, pri katerem se nestacionarne in kontinuirane izvire polutantov obravnava kot vsoto trenutnih izvirov (IBE, 2003).

Program predpostavlja enakomerno koncentracijo toplote po prečnem prerezu, kar je v rekah zaradi manjših globlin in večjih hitrosti vode pričakovano (IBE, 2003).

Za izračun temperature vode je uporabljena advekcijsko-disperzijska enačba, ki je podrobneje opisana v nadaljevanju.

2.2.2.1 Advekcija in disperzija

Po točkovnem "izpustu" polutanta se ta najprej razredči, nato pa se začne zaradi turbulence mešati po kanalu (slika 4). Proces disperzije se obravnava s pomočjo Taylorjeve analize o disperziji v ceveh (Fischer et al., 1979).



Slika 4: Prikaz kontinuiranega, centralnega ter točkovnega toplotnega izvora v vodotok konstante globine in hitrosti.

Vir: Prirejeno po Fischer et al., 1979, str. 114.

Uporablja se 1D advekcijsko-disperzijska enačba (IBE, 2003):

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} = K_{x1} \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2}. \quad (24)$$

Kjer so:

\bar{u} ... povprečna hitrost toka v reki [m/s],

\bar{c} ... povprečna vrednost koncentracije polutanta v prečnem prerezu,

t ... čas,

x ... (edina) prostorska koordinata, merjena vzdolž toka,

K_{x1} ... vzdolžni koeficient mešanja [m^2/s].

V pogojih 1D stalnega toka v neskončnem kanalu, kjer se polutant izpušča v obliki trenutnega ploskovnega izvira, obstaja analitična rešitev enačbe (24) (IBE, 2003):

$$\bar{c} = \bar{c}(x, t) = \frac{c_0 V_0}{2 S \sqrt{\pi K_{x1} t}} \exp \left[-\frac{(x - \bar{u} t)^2}{4 K_{x1} t} \right]. \quad (25)$$

Kjer so:

V_0 ... volumen izpuščenega polutanta [m^3],

c_0 ... začetna koncentracija izpuščenega polutanta [g/m^3],

S ... površina prečnega prereza [m^2].

Vzdolžni koeficient mešanja K_{x1} , s katerim upoštevamo "nepravilno" obliko struge, se računa po enačbi Fischer et al. (1979):

$$K_{x1} = \frac{0,011 \bar{u}^2 W^2}{h u_*} \quad (26)$$

Kjer so:

W ... povprečna širina trapeznega povprečnega prereza [m],

h ... globina [m],

u_* ... strižna hitrost [m/s].

Sledi račun strižne hitrosti:

$$u_* = n_g \bar{u} \frac{\sqrt{g}}{\epsilon/h} \quad (27)$$

Kjer je:

g ... težnostni pospešek [m/s^2].

Glede na to, da so nekateri parametri grobo ocenjeni in da ne upoštevamo tako imenovanih mrtvih con oziroma efekta stranskih žepov, je enačba za vzdolžni koeficient mešanja približna ocena (Fischer et al., 1979).

Enačba (26) je osnovna komponenta modela, ki se uporablja za simulacijo nestalnega kontinuiranega izvora kot superpozicija končnega števila trenutnih točkastih izvorov s časovnim korakom ene minute. Količina polutanta, ki bi realno iztekla v eni minuti, se sprosti v reko v začetku vsake minute (IBE, 2003).

Enodimenzionalni račun predpostavlja enakomerno koncentracijo polutanta po prečnem prerezu. Izpolnjenost omenjenega pogoja določa enačba, ki definira razdaljo od izvora L [m], na kateri je doseženo popolno premešanje točkovnega izpusta na sredini kanala (Fischer et al., 1979):

$$L = \frac{0,1 \bar{u} W^2}{\varepsilon_t}. \quad (28)$$

Kjer sta:

L ... razdalja, na kateri je doseženo popolno premešanje točkovnega izpusta [m],

ε_t ... transversalni koeficient mešanja [m^2/s].

Na transferzalno mešanje močno vplivajo nepravilnosti kanala oziroma struge, zato je bilo narejeno kar nekaj študij in poizkusov, tako v laboratorijih kot tudi v naravi, o vplivu oblike na vrednost koeficienta.

Za praktično uporabo je priporočena formula po Fischer et al. (1979):

$$\varepsilon_t = 0,6 h u_*. \quad (29)$$

2.2.2.2 Hidravlični del računa

Račun se dodatno poenostavi, saj predpostavimo stalni enakomerni tok, za katerega velja, da so globina, površina, pretok in hitrost v daljšem časovnem obdobju in v vsakem prečnem preseku na daljšem odseku vodotoka (vzdolž smeri toka) konstantne ter da je energijska črta vzporedna z vodno gladino in dnom kanala (Steinman, 1999).

Za stalni enakomerni tok se uporablja Manning-Stricklerjeva enačba (Steinman, 1999):

$$Q = u \frac{S^{5/3} \sqrt{I_0}}{0^{2/3} n_g} = \bar{u} S. \quad (30)$$

Kjer so:

Q ... pretok v vodotoku [m^3/s],

S ... površina prečnega prereza [m^2],

O ... omočeni obod [m],

I_0 ... nagib dna,

n_g ... Manning-Stricklerjev koeficient trenja [$\text{s m}^{-1/3}$],

u ... hitrost toka [m/s],

\bar{u} ... povprečna hitrost toka v vodotoku [m/s].

Rezultat hidrodinamičnega računa je povprečna hitrost toka v reki (IBE, 2003).

2.2.3 Račun termike v akumulacijah

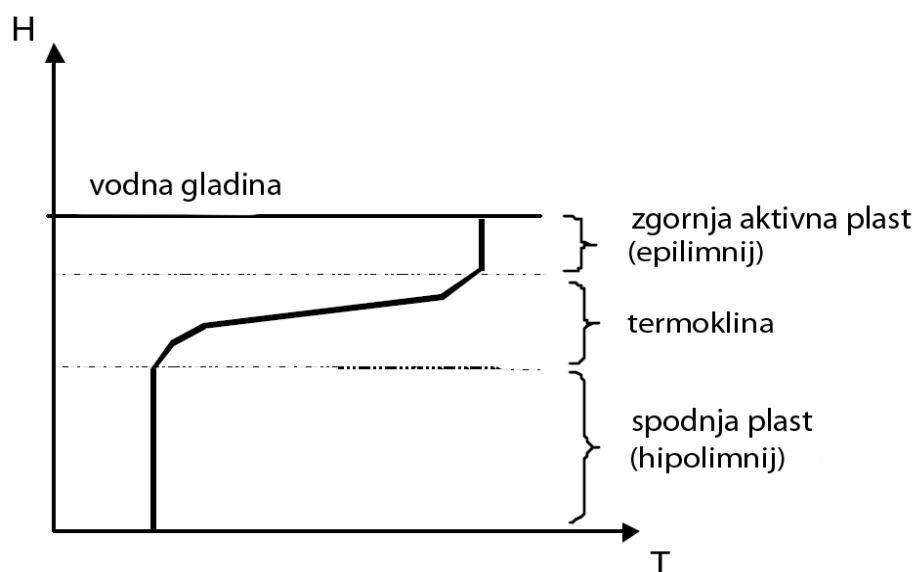
Akumulacijska jezera se zaradi večjih volumnov in s tem povezanega počasnejšega toka, pod vplivom meteoroloških pogojev obnašajo drugače kot reka, posledica česar je tako imenovana stratifikacija oziroma slojevitost (IBE, 2003).

Hitrost spreminjanja toplote v jezeru ali akumulaciji je odvisna tako od količine prenosa toplote v in iz vodnega telesa preko vodne površine, kot tudi od prenosa toplote preko vtoka in iztoka (Deas in Lowney, 2000).

2.2.3.1 Notranja temperaturna dinamika

Medtem ko sončno sevanje dovaja energijo v akumulacijo, gibanje tekočine znotraj vodnega telesa povzroča razporejanje toplote po njem (Deas in Lowney, 2000).

Pozimi se vodna površina nenehno ohlaja, zato postane površinska voda težja in tone, poleti pa se v bazenu oblikujejo tri plasti. Zgornja aktivna plast (epilimnij), ki se neprestano meša in je najtoplejša, spodnja (hipolimnij), ki je najhladnejša ter vmesna, imenovana termoklina, v kateri je oster prehod temperature in spodnjo varuje pred vetrom (slika 5). Temu pojavu pravimo **stratifikacija** (Fischer et al., 1979).

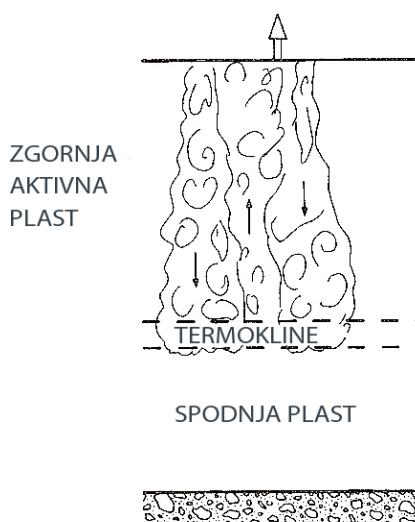


Slika 5: Shema plasti vode zaradi stratifikacije jezera.

Vir: Prirejeno po Deas in Lowney, 2000, str. 32.

Temperaturna dinamika se spreminja tudi preko dneva. Medtem ko podnevi sonce segreva površino akumulacije, se ponoči gladina ohlaja (Fischer et al., 1979).

Debelina zgornje plasti je odvisna od vetrnega režima in sončnega sevanja ter ostalih faktorjev, kot sta motnost jezera in njegova geometrija (Deas in Lowney, 2000). Medtem ko je v zgornji plasti vertikalno mešanje vedno prisotno, je v spodnji plasti večino časa zelo majhno in poteka predvsem na molekularni ravni (slika 6) (Fischer et al., 1979).



Slika 6: Gibanje vode v akumulaciji.

Vir: Prirejeno po Fischer et al., 1979, str. 153.

Veter spodbudi mešanje zgornje tople plasti s spodnjo hladnejšo, kar ima za posledico toplitev globljih plasti (Deas in Lowney, 2000). Blag veter povzroča mešanje zgornje plasti, ne pa tudi mešanje celotne akumulacije. Slednje se zgodi le ob nevihtah z močnim vetrom. Pri brezveterju je penetracija kratkovalovnega sončnega sevanja odvisna predvsem od čistosti vode (Fischer et al., 1979).

Stratifikacija pa ni nujno značilna za plitva jezera, kjer lahko sončni žarki prodrejo do dna jezera, k enakomernem segrevanju pa pripomore tudi mešanje celega jezera zaradi vetra. Na splošno velja, da bolj ko je jezero globoko, večja je možnost stratifikacije. Izjema so torej jezera z relativno majhnim volumnom v primerjavi z največjim dotokom (Deas in Lowney, 2000).

2.2.3.2 Vpliv pritoka in odtoka na termiko akumulacije

2.2.3.2.1 Zadrževalni čas

Na temperaturo jezera vpliva preko pritoka in odtoka tudi zadrževalni čas, ki je definiran kot razmerje volumna jezera s pretokom odtoka iz jezera (Deas in Lowney, 2000).

Zadrževalni čas je:

$$t_r = \frac{V}{Q_0}. \quad (31)$$

Kjer so:

t_r ... zadrževalni čas,

V ... volumen jezera,

Q_0 ... pretok odtoka iz jezera.

Od jezera do jezera se zadrževalni časi razlikujejo, ti variirajo od manj kot enega dneva do več kot 15 let (Deas in Lowney, 2000).

Dolgi zadrževalni časi pomenijo velik vpliv izmenjave toplote med vodo in zrakom na toplotni režim jezera. Procesu mešanja igrajo veliko vlogo pri notranjih dinamikah temperature. Vertikalne razlike temperatur so večje kot pa horizontalne (Deas in Lowney, 2000).

Majhen zadrževalni čas pomeni nasprotno. Na toplotni režim jezera imata večji vpliv pritok in odtok kot pa izmenjava toplote med vodo in zrakom. V ekstremnem primeru se jezero pri majhnem zadrževalnem času obnaša kot reka, posledica česar so večje variacije temperature horizontalno kot pa vertikalno, po globini (Deas in Lowney, 2000). Take akumulacije so značilne za tako imenovane pretočne hidroelektrarne.

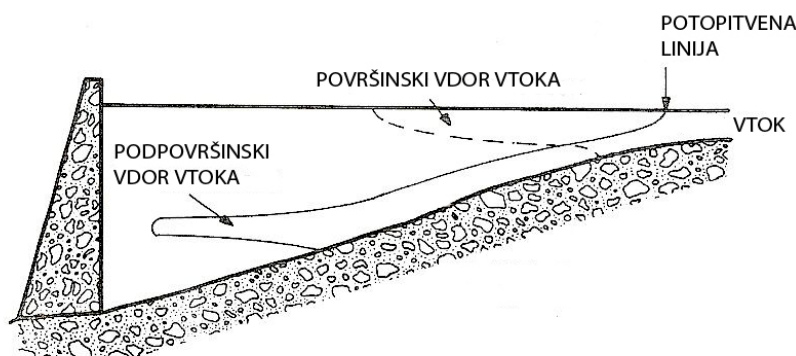
Pretočne hidroelektrarne izkoriščajo veliko količino vode, ki ima relativno majhen padec. Reko se zajezi, ne ustvarja pa se zaloge vode. Slabost teh hidroelektrarn je, da sta proizvedena energija in oddana moč odvisni od pretoka, ki pa skozi leto niha. Pretočna elektrarna lahko stoji samostojno ali pa v verigi več elektrarn (Vodna energija, 13. 7. 2011).

2.2.3.2.2 Pritok

Temperatura vode, ki vteka v akumulacijo, je skoraj vedno različna od temperature na vodni površini, kar pomeni, da tudi njuni gostoti nista enaki. Posledica tega je, da pritekajoča voda "potisne" mirujoče plasti v jezeru naprej, dokler se rezlika v gostoti ne izniči (Fischer et al., 1979).

Obstajajo trije scenariji (slika 7). Pri prvem se vtočna voda zaradi večje gostote potopi pod tako imenovano potopitveno linijo, ki predstavlja mejo med pritokom in jezerom. Pri drugem se voda, ki se

prav tako potopi, zaradi hrapavosti dna meša z vodo v rezervoarju. Kadar je gostota vtočne vode zaradi višjih temperatur večja od vode v rezervoarju, vtočna voda ostane na površini (Fischer et al., 1979).



Slika 7: Prikaz vtoka v akumulacijsko jezero.

Vir: Prirejeno po Fischer et al., 1979, str. 209.

2.2.3.2.3 Odtok

Vpliv odtoka na zadrževalni čas in termiko je odvisen predvsem od stratifikacije in velikosti odtočne odprtine.

V zimskem času, ko je akumulacija izotermalna, je tok vode proti iztoku radialen, enak iz vseh strani (Fischer et al., 1979).

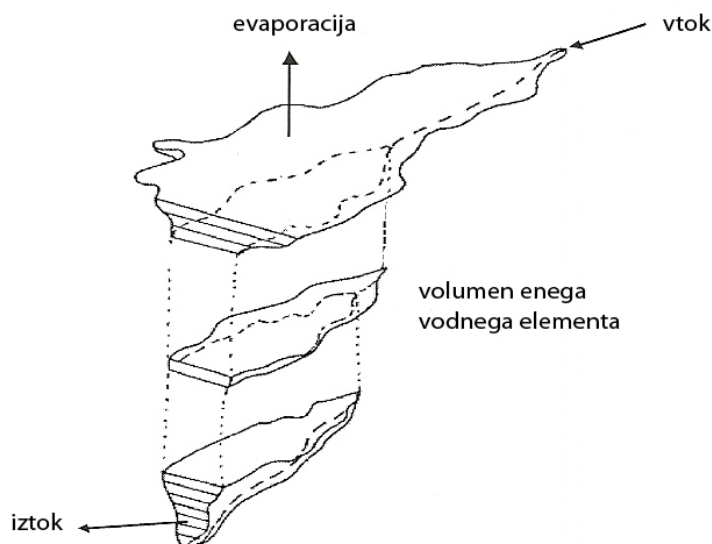
V poletnem času pa ima močan vpliv na tok vode proti iztoku stratifikacija (Fischer et al., 1979).

2.2.3.3 Modeliranje

Rezervoarji so modelirani različno zahtevno. Najenostavnejši model je ničdimenzionalen, ki predpostavlja popolno vertikalno in horizontalno premešanje bazena (Deas in Lowney, 2000).

Zahtevnejši so enodimenzionalni modeli (slika 8), ki se praviloma uporabljajo za simulacijo temperature v jezerih z močno stratifikacijo in velikimi zadrževalnimi časi. V večini teh modelov je predpostavljenih več dobro premešanih vodoravnih plasti, po navadi konstantne debeline ali prostornine, površinski sloj pa lahko variira. Toplota in masa se izmenjavata samo v vertikalni smeri s pomočjo advekcije in difuzije. Evaporacija, zaznavna toplota in dolgovalovno sevanje se absorbirajo le v površinski sloj (Deas in Lowney, 2000).

Pritok je dodan plasti na primerni globini, kjer gostota pritoka, ki je funkcija temperature in gostota jezera sovpadata. Odtok je lahko na katerem koli delu (Deas in Lowney, 2000).



Slika 8: Prikaz enodimenzionalnega modeliranja akumulacij.

Vir: Prirejeno po Deas in Lowney, 2000, str. 35.

V dobro stratificiranih jezerih sta veter in konvekcijsko mešanje dominantna mešalna procesa v epilimniju. V slabo stratificiranih jezerih pa ima prevladujoči vpliv na mešanje turbulentna difuzija (Deas in Lowney, 2000).

Študije so pokazale, da je v primeru precejšnje stratifikacije, predvsem ko se izoblikuje sloj termikline, sprememba temperature po horizontalni ravnini, ki je vzporedna vodni površini, sorazmerno majhna (Orlob, 1983).

V diplomskem delu je bil uporabljen 1D program HOTCHAIN za račun termike pretočnih hidroelektrarn. Model ne upošteva stratifikacije, ampak popolno premešanje po globini in širini, vendar pa se temperatura vzdolžno spreminja, kar pomeni, da horizontalno bazen ni premešan. Program računa temperaturna stanja vzdolž verige v izbranem trenutku po začetku simulacije (IBE, 2003). Razlika s prvim opisanim 1D modelom je tem, da slednji predpostavlja horizontalno premešanje, HOTCHAIN pa vertikalno.

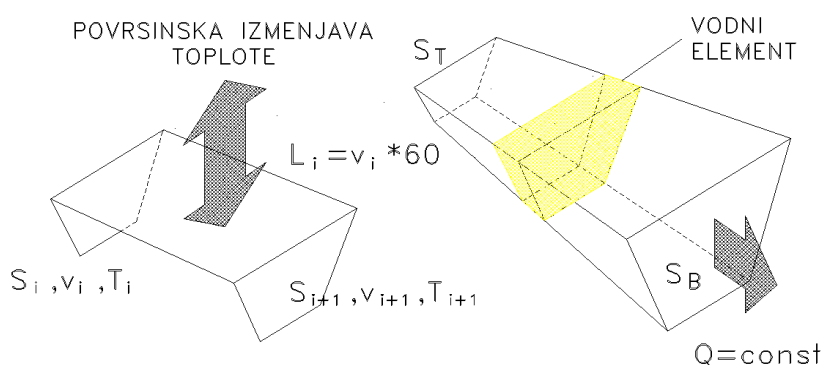
2.2.3.4 Teoretčne osnove programa HOTCHAIN

Program HOTCHAIN je nadgradnja 1D modela HOTLAKE, ki je bil razvit za vrednotenje temperaturnih stanj v bazenih pretočnih elektrarn, medtem ko se HOTCHAIN uporablja za več

zaporednih bazenov. Uporabljena verzija, v kateri je upoštevana veriga treh hidroelektrarn, je narejena specifično za spodnjosavsko verigo (IBE, 2003).

Pri pretočnih akumulacijah, kakršne so v verigi hidroelektrarn na spodnji Savi, je toplotno obnašanje bazenov nekje med reko in jezeri (IBE, 2003).

Princip modela je račun spremembe temperature vodnega elementa, ki potuje od začetka do konca verige hidroelektrarn (slika 9). Pri tem se zaradi posameznih členov toplotne bilance segreva ali ohlaja. Vse temperaturne spremembe se dogajajo le preko proste gladine (IBE, 2003).



Slika 9: Princip modela HOTCHAIN.

Vir: IBE, 2003, str. 3–95.

Osnovne predpostavke (IBE, 2003):

- V prečnih profilih je popolna vertikalna in horizontalna premešanost polutanta, saj lahko dolge in ozke bazene obravnavamo tako kot nezajezene vodotoke.
- Pri vznožju zgornje hidroelektrarne se začne koren bazena spodnje hidroelektrarne, pri čemer se temperatura ob gorvodni pregradi uporablja kot začetna temperatura za dolvodni bazen.
- Voda se pretaka brez zamika zaradi obratovanja, torej predstavlja kontinuirano potovanje vodnega elementa od začetka do konca verige hidroelektrarn, kar pa pri pretokih nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$ lahko povzroči nekaj lokalne napake, pri manjših pa ne, ker hidroelektrarne v takih razmerah načeloma obratujejo po pretoku. Tudi pri pretokih nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$ se lokalna napaka na celotnem odseku izravna, saj čas potovanja vodnega elementa in s tem njegov čas izpostavljenosti atmosferskim vplivom ostajata enaka.

Vsi akumulacijski bazeni so opisani kot neprizmatična telesa. Vsakega posebej omejujeta dva trapeza, ki predstavljata vhodni ter izhodni del bazena, med katerima se vse količine, to so naklon brežin, površine in proste gladine, linearno spreminjajo. Dimenzije obeh trapezov najprej približno določimo

na podlagi dejanskih prečnih profilov, nato pa jih korigiramo toliko časa, da dobimo pravi volumen bazena in pravo površino proste gladine. Dolžina računskega vodnega elementa je opisana s potjo, ki jo gorvodni trapez opravi v eni minuti. Ker imajo akumulacije značilno stožičasto obliko, je dolžina elementa vse manjša in manjša, a se povečujeta prečni prerez elementa in vodna gladina, zato je prostornina vodnega elementa vseskozi približno enaka (IBE, 2003).

Za račun disperzije se uporablja enostavna enodimenzionalna advekcijsko-disperzijska enačba. Nestacionarne in kontinuirne izvire polutantov, ki v našem primeru predstavljajo toplotno obremenitev reke, se obravnavava kot vsoto trenutnih točkovnih izvirov. Podroben opis uporabe enačbe je opisan v poglavju 2.2.2.1.

Osnovna enačba modela je (IBE, 2003):

$$T_{t+\Delta t} = T_t + \frac{HFLOW A}{c_p \rho V} \Delta t. \quad (32)$$

Kjer so:

T_t ... temperatura vodnega elementa na začetku časovnega koraka,

$T_{t+\Delta t}$... temperatura vodnega elementa na koncu časovnega koraka,

HFLOW ... moč naravnega "grelca" na kvadratnem metru (rezultat programa HEATFLOW),

A ... površina elementa,

c_p ... specifična toplota vode,

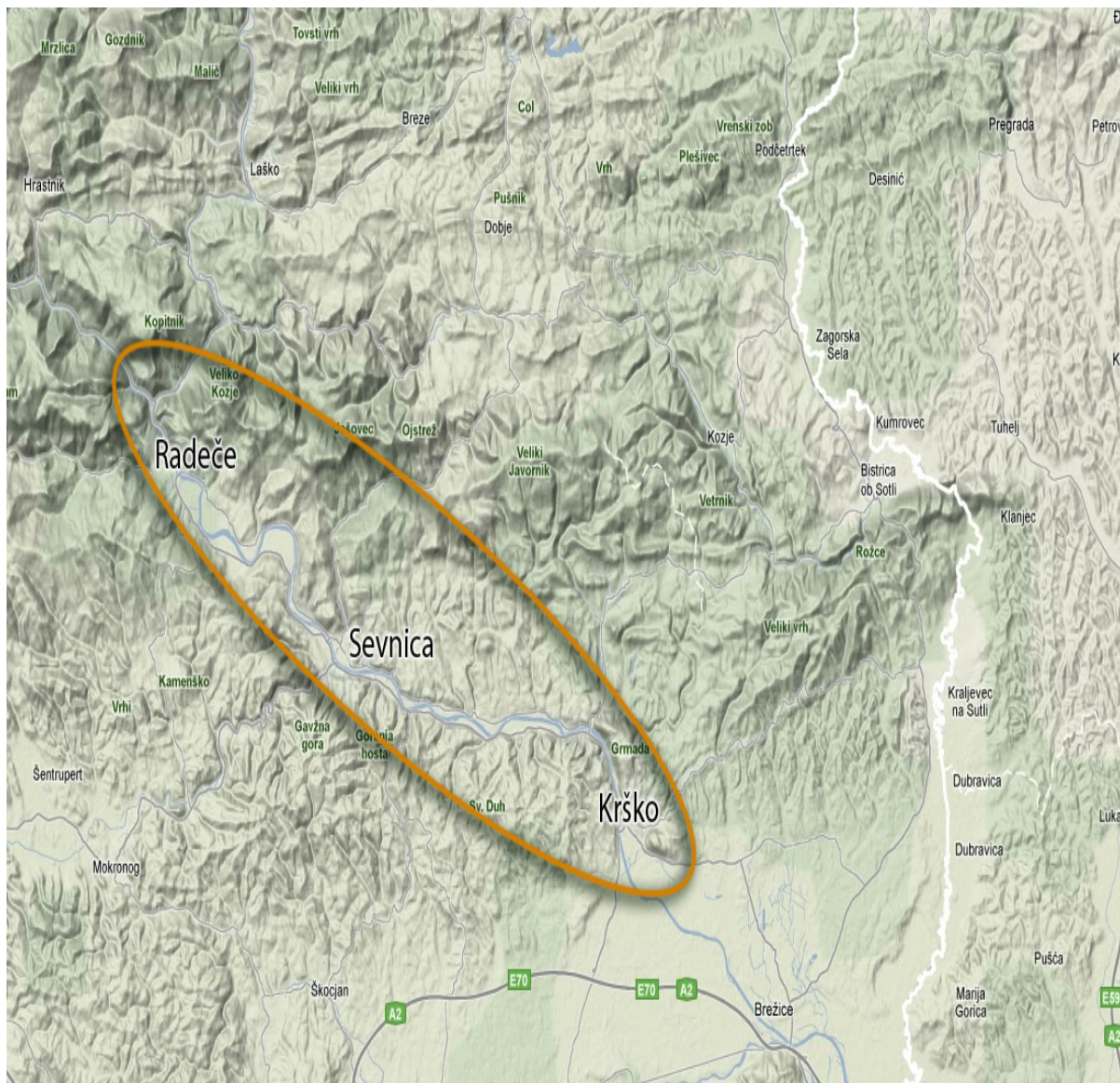
ρ ... gostota vode,

V ... prostornina elementa,

Δt ... časovni korak, ki je konstanten in znaša 60 sekund.

3 ODSEK SPODNJE SAVE

V diplomski nalogi je obravnavana reka Sava in sicer približno 40 km dolg odsek med sotočjem s Savinjo in nuklearno elektrarno Krško, ki je prikazan na sliki 10.



Slika 10: Obravnavan odsek spodnje Save.

Vir: Google Zemljevidi, 21. 7. 2011.

Na tem odseku je zgrajena veriga treh elektrarn, HE Vrhovno, HE Boštanj ter HE Blanca, v gradnji pa je še četrta, to je hidroelektrarna Krško. Na predelu od HE Blanca do NE Krško je Sava nezajezena, medtem ko je gorvodno od pregrade Blanca reka zajezena z akumulacijami pretočnih elektrarn.

3.1 Geografske značilnosti odseka spodnje Save

Nizvodno od Radeč preide Sava v dolinski režim toka. Podlago tvorijo sloji nepropustnih permokarbonskih skrilavcev, ki jih prekrivajo prodno-peščeni kvartarni sedimenti s krovno plastjo peščenih meljev in humusa (SEL, 13. 7. 2011).

Savska dolina je od sotočja s Savinjo široka največ 1,5 kilometra. Večje naselje na tem odseku je Radeče, ki leži ob bazenu Vrhovo in Sevnica, ki se nahaja ob bazenu Blanca. Na obeh bregovih Save se izmenjujejo urbanizirana in kmetijsko intenzivno obdelana območja (Širca et al., 2010).

Dolvodno od Krškega se dolina razširi v aluvialno Krško – Brežiško polje, ki se s Čatežkim in Dobovškim poljem nadaljuje proti Hrvaški in predstavlja rob Panonske nižine. Večja obrečna naselja so Krško, Brežice s Čatežem in Krška vas. Pri Brežicah se na desnem bregu v Savo izliva reka Krka, pri meji s Hrvaško pa na levem bregu Sotla (Širca et al., 2010).

3.2 Kratka predstavitev hidroelektrarn

Reka Sava, ki odvaja vodo s 54 odstotkov slovenskega ozemlja, je energetske le 13-odstotno izkoriščena, kar je bistveno manj v primerjavi z ostalimi slovenskimi in tujimi rekami, prav tako pa manj od evropskega povprečja (Širca et al., 2010).

Izraba reke je bila načrtovana že v času Avstrogrske monarhije, izgradnja večjih hidroelektrarn pa se je začela s HE Medvode po 2. svetovni vojni (Širca et al., 2010).

Aktualni načrti za izrabo jo delijo na tri dele: zgornja Sava s HE Moste, srednja Sava s HE Mavčiče in HE Medvode ter devetimi načrtovanimi stopnjami in spodnja Sava s HE Vrhovo, HE Boštanj in HE Blanca ter še tremi načrtovanimi stopnjami (HE Krško, HE Brežice, HE Mokrice), ki naj bi bile zgrajene predvidoma do leta 2018 (Širca et al., 2010).

Veriga hidroelektrarn na spodnji Savi obratuje v dnevno pretočnem akumulacijskem režimu. V času nizkih obremenitev (ponoči in v času dnevnih znižanih obremenitev) veriga obratuje z minimalnim možnim pretokom in polni akumulacijske bazene, v času visokih obremenitev pa ob izrabi akumulirane vode z največjo možno močjo (IBE, 2003).

Inštalirani pretok verige znaša 500 m³/s. V letih 2009–2012 obratuje s HE Vrhovo kot čelnim bazenom in HE Blanca kot izravnalnim bazenom (Širca et al., 2010). Omejitev obratovanja narekuje

dogovorjen vodni režim v profilu z Republiko Hrvaško ter v profilu NEK, kjer mora biti zagotovljena nemotena oskrba NE Krško s hladilno vodo. Ta pogoj zahteva, da se z obratovanjem HE na spodnji Savi ne vpliva na zmanjšanje naravnih pretokov reke Save, ko ti padejo pod $100 \text{ m}^3/\text{s}$, v ostalem času pa se zahteva minimalni pretok skozi elektrarne $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (IBE, 2003).

a) HE Vrhovo

Gradnja HE Vrhovo se je zaključila leta 1993. Pogonska stavba je locirana v 778.027 kilometru Save (slika 11), kota zaježitve je 191,00 m. Vpliv zaježitve sega 10,7 km po strugi gorvodno do predvidene HE Suhadol, 2 km v Savinjo ter v korito Sopote v dolžini 600 m od izliva. Zajezena voda ostaja večinoma v koritu reke, le na krajših odsekih preliva rob in zaliva obrobno, nizkoležeče ozemlje, ki je bilo prej večinoma pod vplivom visokih voda (IBE, 2003). Inštalirana moč elektrarne je 34 MW, srednja letna proizvodnja pa 126 GWh (Širca et al., 2010).



Slika 11: HE Vrhovo.

Vir: Wikipedia, 21. 7. 2011.

b) HE Boštanj

HE Boštanj (slika 12) je druga hidroelektrarna v verigi šestih načrtovanih HE na spodnji Savi, z največjo močjo 36 MW, s petimi pretočnimi polji s prelivno zmogljivostjo $4.600 \text{ m}^3/\text{s}$ ter povprečno letno proizvodnjo 115 GWh (HESS, 13.7.2011).

Spodnjo vodo HE Vrhovo predstavlja zajezena voda HE Boštanj na koti 182,20 m n.m. Ta elektrarna je locirana v 769.677 kilometru Save. Objekt je zgrajen delno v koritu Save, delno na desnem bregu (IBE, 2003).



Slika 12: HE Boštanj.

Vir: Infra, 13. 7. 2011.

c) HE Blanca

HE Blanca (slika 13) je tretja hidroelektrarna v verigi HE na spodnji Savi z največjo močjo 42 MW, s petimi pretočnimi polji s prelivno zmogljivostjo $4.600 \text{ m}^3/\text{s}$ ter povprečno letno proizvodnjo 144 GWh (HESS, 13. 7. 2011).

Pregradni profil HE Blanca se nahaja v km 760.627 reke Save, nekaj 100 metrov gorvodno od vasi Blanca. Bazen sega na gorvodni strani do HE Boštanj (Širca et al., 2010). Nazivna kota zaježitve je 174,20 m n.m. (HESS, 13. 7. 2011).



Slika 13: HE Blanca.

Vir: HESS, 13. 7. 2011.

3.3 Uporabljeni modeli

V diplomski nalogi je analizirano toplotno stanje spodnje Save od sotočja Save in Savinje do NE Krško, kjer je trenutno zgrajena veriga treh hidroelektrarn, četrta elektrarna HE Krško pa je še v gradnji, zato se je odsek nizvodno od HE Blanca obravnaval kot nezajezeni del reke.

Odsek med sotočjem Save in Savinje ter HE Blanca se modelira s programom HOTCHAIN za tri bazene, ki je namenjen vrednotenju temperaturnih stanj pretočnih akumulacij. Odsek med HE Blanca in NEK pa se modelira s programom HOTRIVER, ki je namenjen simulaciji širjenja toplote nezajezenih rek (slika 14).



Slika 14: Shematični prikaz verige treh hidroelektrarn, kjer je bil uporabljen model HOTCHAIN ter nezajezeni del reke, kjer je bil uporabljen program HOTRIVER.

Vir: Prirejeno po IBE, 2003, str. 4–119.

V vseh računskih primerih se uporabi vhodne podatke, predstavljene v poglavju 4. Vstopna rečna temperatura je konstantna in določena tik pod sotočjem Save in Savinje za HOTCHAIN in pri HE Blanca za HOTRIVER.

Rezultate se vrednoti z dejanskimi meritvami, ki se izvajajo v obliki monitoringa na vseh treh pregradah hidroelektrarn ter pri NEK.

4 VHODNI PODATKI

V tem poglavju so povzeti zbrani podatki, ki so potrebni za zagon programov HOTRIVER in HOTCHAIN. Najprej so opisani hidravlični podatki (geometrija), nato hidrološki (pretoki in rečne temperature) in na koncu še meteorološki podatki (temperatura zraka, globalno sevanje, zračna vlaga ter hitrost vetra).

Za simulacijo in kontrolo rezultatov so bili pridobljeni naslednji podatki:

- Meteorološki podatki iz meteoroloških postaj Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) za Novo mesto za leti 2009 in 2010.
- Hidrološki podatki avtomatskih vodomernih postaj ARSO za Veliko Širje na Savinji in Hrastnik na Savi za leti 2009 in 2010.
- Meteorološki in hidrološki podatki monitoringa s strani monitoringa spodnje Save (MOSS) za leti 2009 in 2010, ki je bil v okviru izgradnje verige hidroelektrarn na Savi vzpostavljen leta 2007.
- Hidrološki podatki monitoringa NE Krško za leti 2009 in 2010.

V nadaljevanju so določeni parametri nastopa tako imenovanih srednjih, kritičnih in ekstremnih razmer. Slednji bi lahko povzročili težave pri obratovanju elektroenergetskega sistema spodnja Sava.

Na koncu poglavja so predstavljene tudi klimatske spremembe, ki imajo dolgoročno velik vpliv na spremembo pretoka in temperaturo vode.

4.1 Splošno o vhodnih podatkih

Meritve hidroloških in meteoroloških parametrov se izvajajo na standardiziranih merilnih mestih. Oprema mora biti zanesljiva, saj izpada meritev zaradi pokvarjenega instrumenta ni mogoče nadomestiti.

4.1.1 Meritve in opazovanja meteoroloških pojavov

Meritve in opazovanja meteoroloških pojavov se izvajajo na meteoroloških postajah, na prostoru, ki zagotavlja reprezentativne in točne meritve po enotnih mednarodnih predpisih. Pri nas so te površine odprte, pokrite s travnato rušo v minimalni izmeri 10 x 7 metrov. Poleg same izbire prostora je

pomembna tudi primerna namestitvev instrumentov, njihov položaj in medsebojna razdalja (Brilly in Šraj, 2005).

Temperaturo zraka se meri v meteorološki hišici na odprtem prostoru, dva metra nad tlemi. Stene hišice so rebraste, kar zagotavlja dobro prezračevanje, bele barve z vratci, obrnjenimi proti severu. Tako je občutljiv termometer ščiten pred vsakim sevanjem in padavinami (Brilly in Šraj, 2005).

Termometri so lahko navadni, živosrebrni, s katerimi merimo temperaturo zraka v določenih meteoroloških terminih, ali pa instrumenti imenovani termografi, ki neprekinjeno zapisujejo temperaturo zraka (Brilly in Šraj, 2005).

Vlažnost zraka pomeni količino vodne pare v zraku. Ta je lahko izražena kot absolutna vlaga, relativna vlažnost, specifična vlažnost, deficit vlažnosti ali pa tlak vodne pare, ki predstavlja parcialni tlak vodne pare v zraku in omogoča posredno ugotavljanje količine vodne pare v zraku. Absolutna vlaga je masa vode v volumnu zraka [g/m^3], relativna vlažnost pa razmerje med dejansko in količino vodne pare v zraku pri dani temperaturi (Brilly in Šraj, 2005).

Za merjenje vlažnosti se uporabljajo psihrometri, psihrometri z aspiratorjem, Assmanovi psihrometri ali higrografi (Brilly in Šraj, 2005).

Energija **sončnega sevanja** ima širok spekter valovnih dolžin in njegovo merjenje je zelo zahtevno. Za meritve se najpogosteje uporablja piranometer (Brilly in Šraj, 2005).

Veter je premeščanje zračnih mas oziroma vodoravno gibanje zraka. Določen je, ko sta mu določeni hitrost ali moč ter smer. Zaradi velike spremenljivosti hitrosti in smeri vetra velja dogovor, da pri njegovem opazovanju ne določimo trenutnega stanja, ampak povprečno hitrost ter smer v času opazovanja. Smer se določi s stranjo neba, od koder piha (Brilly in Šraj, 2005).

Ker se veter z višino zelo hitro spreminja, je mednarodno dogovorjeno, da se ga meri na desetih metrih nad tlemi na odprtem prostoru, s pomočjo vetrovnih smerokazov, anemometrov in anemografov (Brilly in Šraj, 2005).

4.1.2 Meritve temperature vode in pretoka

Za merjenje **temperature vode** se uporabljajo navadni termometri, ki so vgrajeni v posebne ohišju, ki jih varuje pred poškodbami (Brill in Šraj, 2005).

Pretok je definiran kot volumen vode, ki v enoti časa preteče skozi določen prečni prerez vodotoka. Postopki merjenja pretoka so neposredni, ki se jih uporablja le pri manjših količinah vode, in posredni. Merilniki so lahko prenosni ali stalni (Brilly in Šraj, 2005).

4.2 Hidravlični podatki

Hidravlične podatke predstavljajo geometrija in karakteristike struge. Te v računih opišemo s koeficientom hrapavosti po Manningu, ki znaša tako v bazenih kot tudi v nezajezenem delu reke 0,035 s $m^{-1/3}$ ter z geometrijskimi parametri kot so padec struge, površina prereza, omočeni obod, širina proste gladine (preglednica 1). Osnovni vir geometrijskih podatkov so geodetski posnetki terena.

Na podlagi HEC-RAS modela so bili s strani podjetja IBE določeni parametri trapezov gorvodnega ter dolvodnega profila pri pretoku vode 50 m^3/s ter 250 m^3/s , vendar se je po primerjavi geometrij izkazalo, da je njuno ujemanje precejšnje, razlika volumnov je namreč manjša od enega odstotka, zato je bila v program za vse pretoke vnešena geometrija pri 50 m^3/s (preglednica 2).

Naj omenimo, da je geometrija bazena Vrhovo definirana od pregrade Vrhovo do sotočja Save in Savinje, kar predstavlja približno dve tretjini dejanske dolžine bazena.

Preglednica 1: Geometrija in karakteristike struge HE Vrhovo, HE Boštanj in HE Blanca.

Ime	Stacionaža HE	Dolžina bazena L [m]	Kota zaježitve [m]	Volumen bazena V_{50} [m^3]	Površina bazena S_{50} [m^2]
Vrhovo	777.868	7.007	191,00	6230109	915618
Boštanj	769.677	8.191	182,20	8059638	1165840
Blanca	760.708	8.869	174,20	9721954	1376060

Vir: IBE.

Preglednica 2: Geometrijske karakteristike gorvodnih ter dolvodnih profilov bazena HE Vrhovo, HE Boštanj in HE Blanca.

Ime	Gorvodni profil				Dolvodni profil			
	Višina h_{gor} [m]	Širina dna b_{gor} [m]	Naklon brežin m_{gor}	Površina prereza S_{gor} [m^2]	Višina h_{dol} [m]	Širina dna b_{dol} [m]	Naklon brežin m_{dol}	Površina prereza S_{dol} [m^2]
Vrhovo	7,00	57,45	2,06	503,26	10,00	80,00	4,75	1275,00
Boštanj	6,00	69,65	4,17	567,92	10,50	101,67	3,02	1400,00
Blanca	4,50	51,85	5,38	342,34	11,50	111,74	4,27	1850,00

Vir: IBE.

Na približno 15 kilometrov dolgem odseku od HE Vrhovo do NE Krško je bila povprečna površina prečnega prereza S ter površina proste gladine B ocenjena na podlagi pretoka (preglednica 3). Padeč struge je 1 ‰, širina dna trapeznega preseka je 101,4 m, kotanges naklonskega kota brežin je 1.

Preglednica 3: Hidravlični parametri Save za odsek HE Vrhovo – NEK.

Q [m^3/s]	S [m^2]	B [m]
40	104,68	80,79
50	112,18	83,38
60	119,14	85,53
70	128,78	87,42
80	132,02	88,96
90	137,98	90,25
100	122,48	89,44
120	135,44	91,72
140	135,44	93,94
160	159,15	95,23
180	170,05	96,38
200	180,51	97,42

Vir: IBE.

4.3 Hidrološki podatki

Hidrološke podatke predstavljajo pretok ter rečne temperature. Ti so pridobljeni s strani ARSO za vodomerno postajo (VP) Veliko Širje in vodomerno postajo Hrastnik. Poleg podatkov iz mreže ARSO smo pri delu uporabili še meritve iz verige elektrarn ter NEK.

Na VP Veliko Širje ter VP Hrastnik sta pretok in temperatura vode zapisana vsakih 30 minut, in sicer minimalna, maksimalna ter povprečna vrednost 30 minutnega intervala, slednjo pa smo uporabili v programskih analizah.

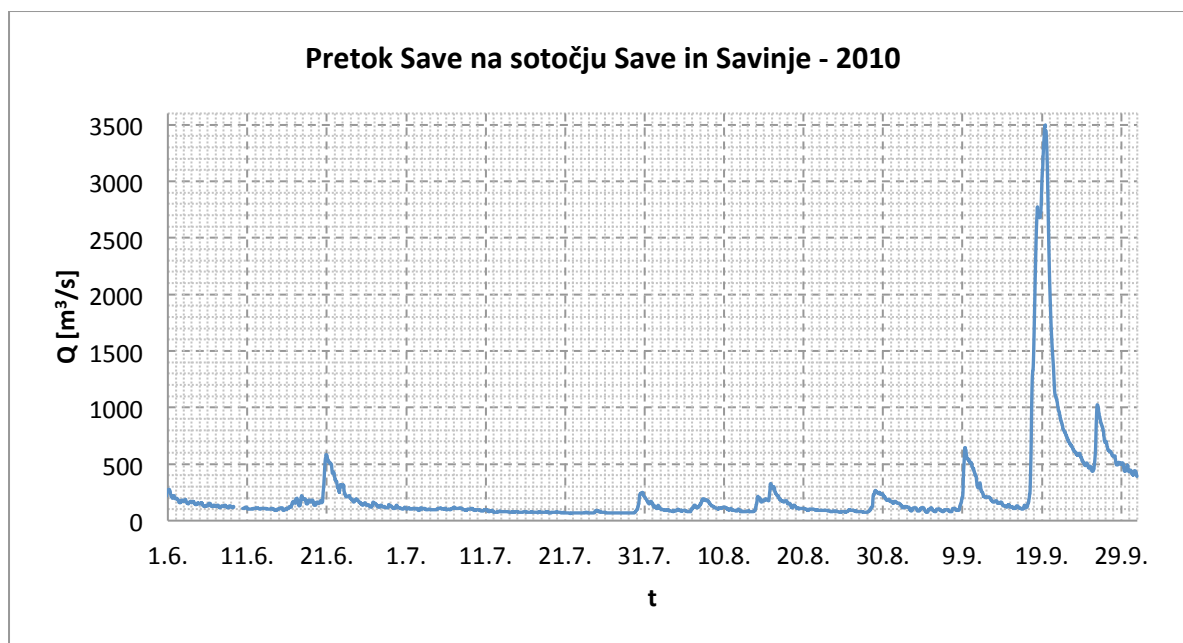
Meritve na verigi elektrarn in pri NEK so podane na vsako uro. Temperatura vode je bila pri posamezni elektrarni merjena ob dolvodnem desnem krilnem zidu, pri NEK pa se meritve izvajajo ob krilnem zidu v bližini vtoka hladilne vode (CW).

a) Pretok

Pretok, ki je vnešen v oba programa, smo dobili kot seštevek pretoka VP Hrastnik ter VP Veliko Širje in predstavlja pretok tik pod sotočjem reke Save ter Savinje, v profilu Radeče (graf ikon 1). Ta

poenostavitev ne pomeni praktično nobene napake, saj na odseku med vodomernima postajama in sotočjem ni večjih pritokov.

Programa predpostavljata konstanten pretok v času simulacije, ki se ga izračuna kot povprečje pretokov obravnavanega obdobja na sotočju. Do napak pride lahko v primeru, če ta dejansko niha, kar se dogaja po deževju. Ob sušnem obdobju pretok navadno pada.



Grafikon 1: Pretok vodotoka na sotočju rek Save in Savinje za obdobje od 1. 6. do 1. 10. 2010.

Na zgornjem graikonu je prikazan pretok na sotočju Save in Savinje za obdobje od 1. junija do 1. oktobra 2010, kjer je viden upad poletnega pretoka tudi pod $100 \text{ m}^3/\text{s}$. V drugi polovici septembra tega leta je bilo povsod po Sloveniji močno deževje, posledica česar so veliki pretoki in poplave.

b) Rečne temperature

Temperaturo vode na sotočju, ki predstavlja začetno rečno temperaturo, vneseno v program HOTCHAIN, smo izračunali s pomočjo temperature vode ter pretoka v že omenjenih vodomernih postajah, po formuli (34) (prirejeno po Brilly in Šraj, 2005):

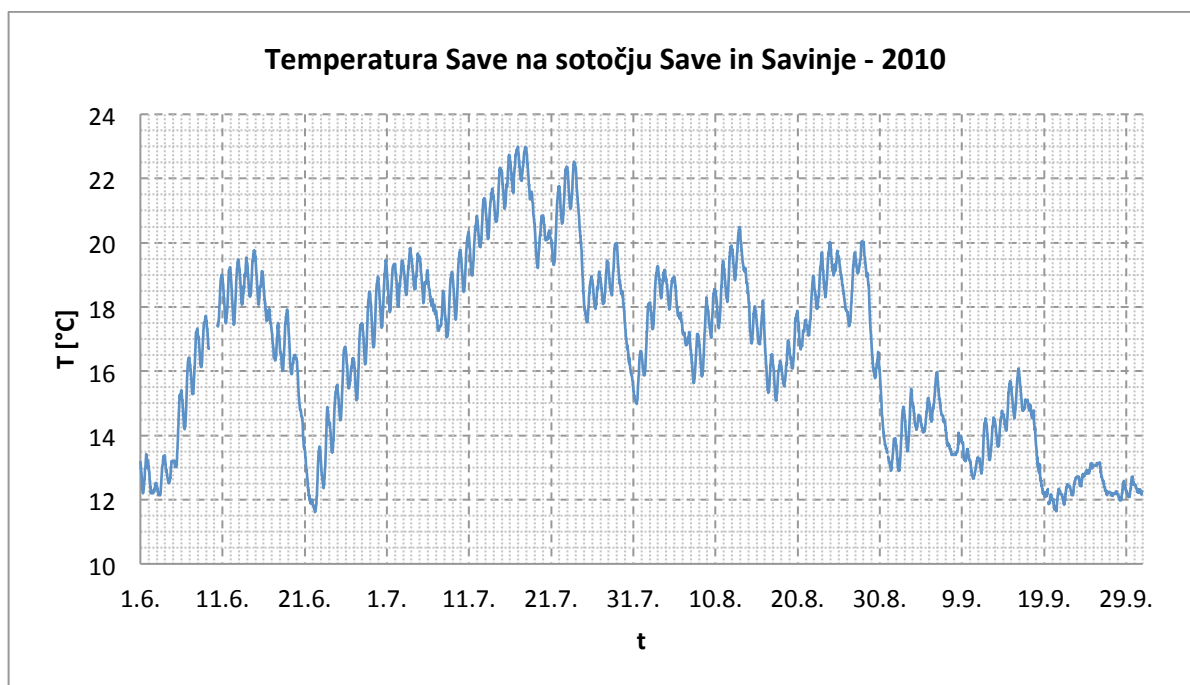
$$T_{\text{sotočje}} = \frac{Q_{\text{Hrastnik}} T_{\text{Hrastnik}} + Q_{\text{V.Širje}} T_{\text{V.Širje}}}{Q_{\text{Hrastnik}} + Q_{\text{V.Širje}}} \quad (34)$$

Zaradi oddaljenosti vodomernih postaj od sotočja ter nepoznavanja intenzitete segrevanja Save na približno osemkilometrskem ozkem ter senčnem odseku med Hrastnikom in sotočjem s Savinjo ter

dvokilometrskem odseku med Velikim Širjem in sotočjem s Savo, bi lahko v povezavi s predpostavljenim ničelnim segrevanjem nastale manjše napake tega vhodnega podatka.

V program HOTRIVER se prav tako vstavlja začetna temperatura vodotoka, ki je enaka temperaturi pri HE Blanca in jo izračuna program HOTCHAIN.

Na grafikonu 2 je prikazana temperatura Save na sotočju Save in Savinje za obdobje od 1. junija do 1. oktobra 2010. Po primerjavi z grafikonom pretoka je očitno, da so pri večjih pretokih rečne temperature nižje ter obratno.

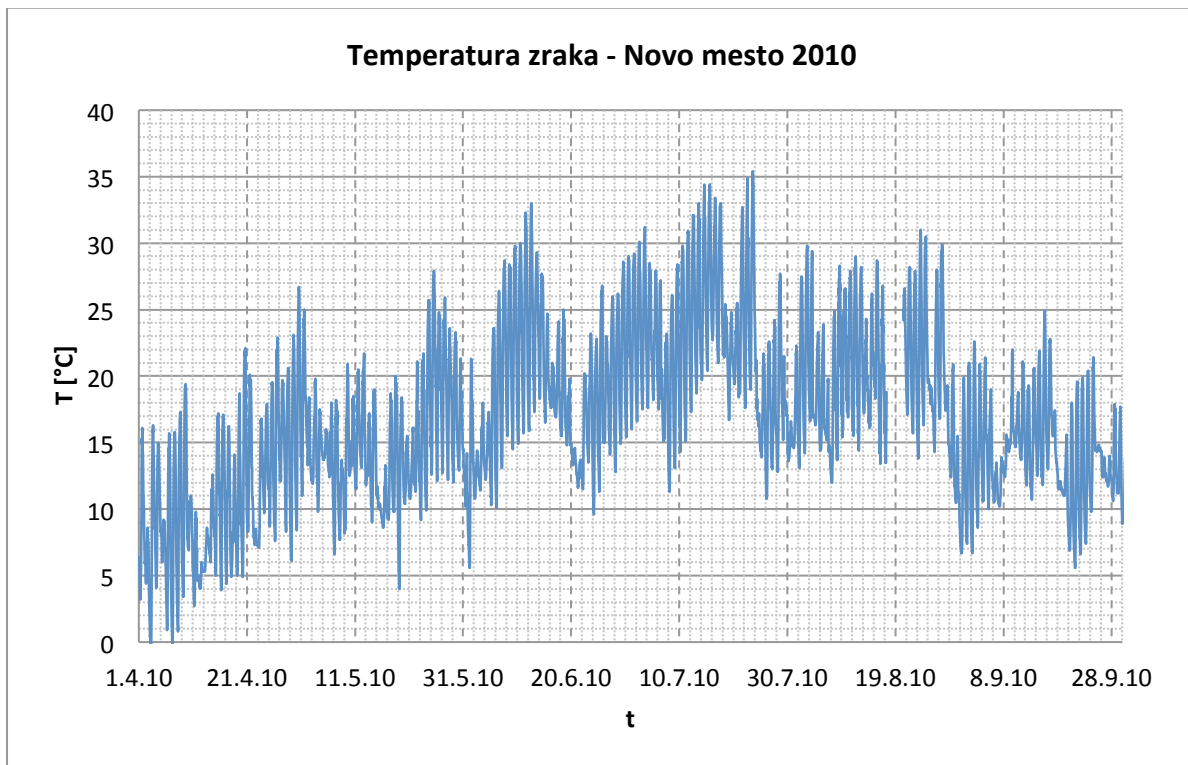


Grafikon 2: Temperatura vode na sotočju rek Save in Savinje za obdobje od 1. 6. do 1. 10. 2010.

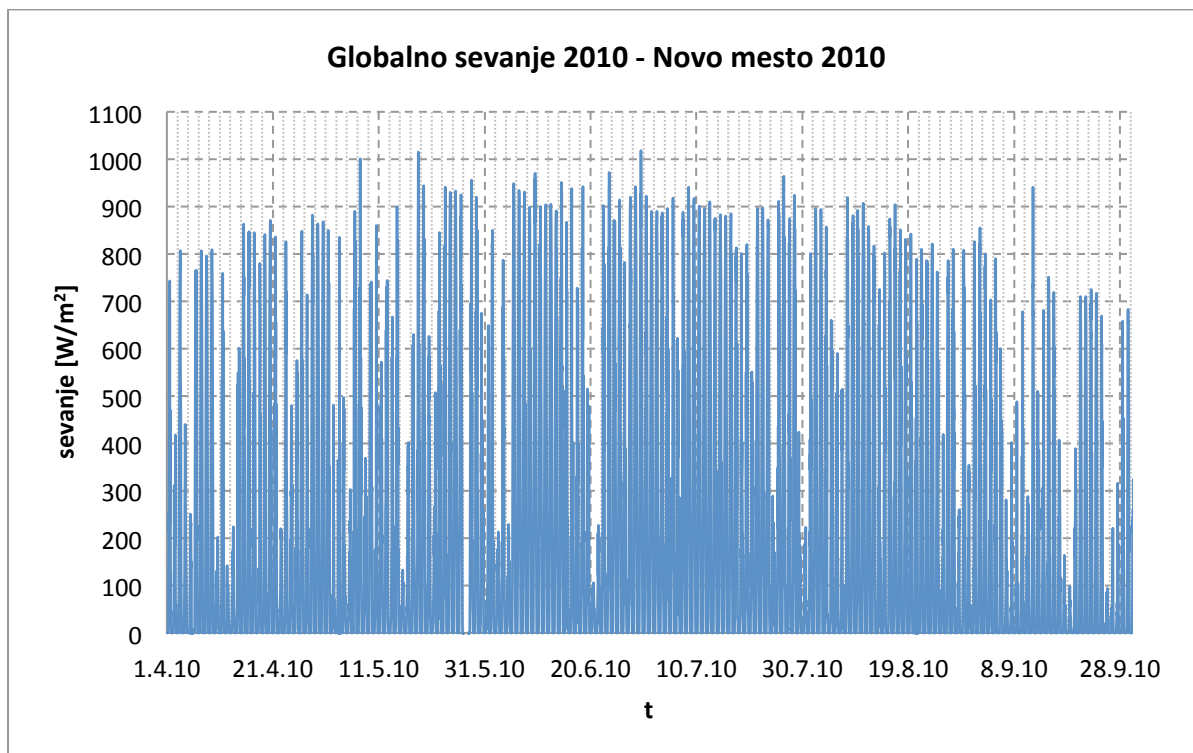
4.4 Meteorološki podatki

S strani ARSO smo za obravnavano obdobje pridobili podatke meteorološke postaje Novo mesto za temperaturo zraka, globalno sevanje, zračno vlago in hitrost vetra. Žal podatkov iz same lokacije ni bilo mogoče dobiti, saj se meteorološke meritve izvajajo le za temperaturo zraka. Podatki so bili zapisani v obliki polurnih vrednosti, tako pa se jih vnaša tudi v oba programa.

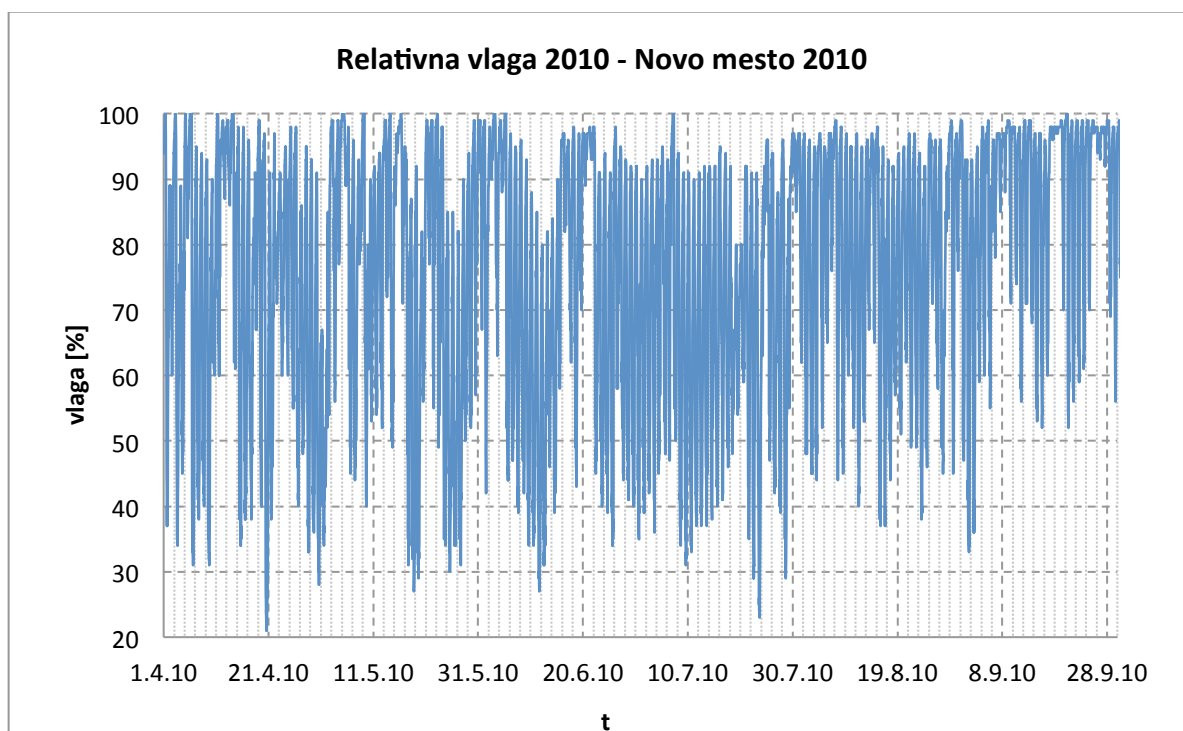
Na grafikonih 3, 4 in 5 so prikazani trije meteorološki parametri za obdobje od 1. junija do 1. oktobra 2010, kjer je pri grafikonu temperature zraka ter globalnega sevanja vidno, kako poleti naraščata. Pri sevanju to spreminjanje tekom tople polovice leta ni zelo izrazito, opazna pa so dnevna nihanja.



Grafikon 3: Temperatura zraka za obdobje od 1. 4. do 1. 10. 2010, ki je bila merjena na meteorološki postaji Novo mesto.

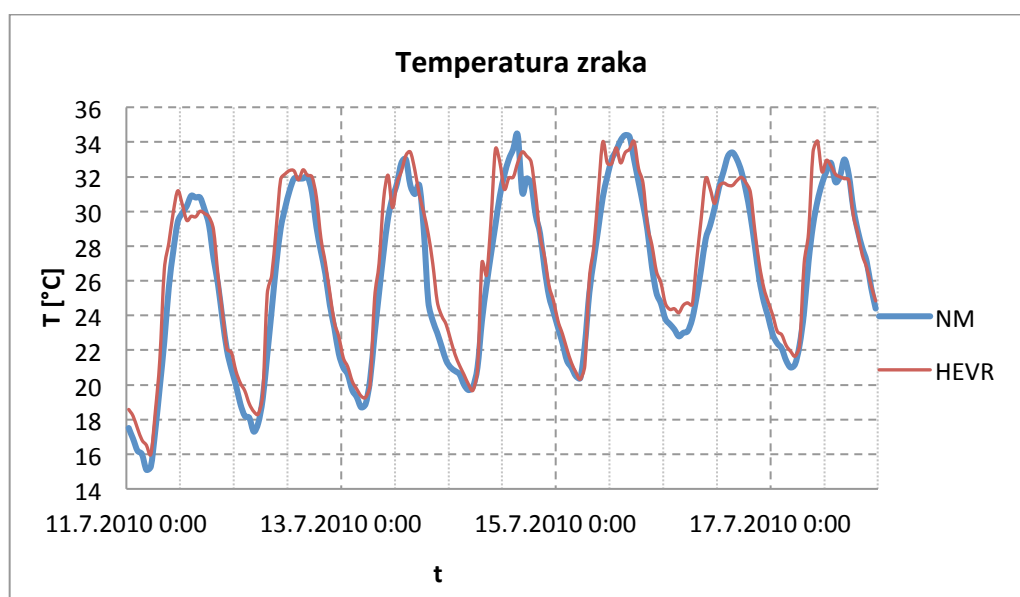


Grafikon 4: Globalno sevanje za obdobje od 1. 4. do 1. 10. 2010, ki je bilo merjeno na meteorološki postaji Novo mesto.



Grafikon 5: Relativna vlaga za obdobje od 1. 4. do 1. 10. 2010, ki je bila merjena na meteorološki postaji Novo mesto.

V večjih mestih se pojavlja tako imenovani efekt temperaturnega otoka, kar pomeni, da so temperature zraka višje kot izven mesta. Zato se je naredila primerjava izmerjenih temperatur zraka v Novem mestu z meritvami na sami lokaciji HE Vrhovo, ki so bile pridobljene s strani MOSS. Slednje so bile podane vsako uro, meritve pa so se izvajale na zunanji severni steni.



Grafikon 6: Primerjava temperatur zraka, merjenih v Novem mestu ter pri HE Vrhovo za kritično obdobje julija 2010.

Primerjava je bila narejena tako za srednje kot tudi za kritično obdobje. V obeh primerih je bilo ujemanje meritev dobro. Na grafikonu 6 je prikazana primerjava temperatur na obeh postajah za kritično obdobje, kjer bi bilo lahko pričakovati večji vpliv mesta, predvsem v nočnem času, ko temperatura zraka v mestih zaradi razgretosti betona ne pade toliko, kot bi to pričakovali izven mesta.

4.5 Definicija srednjih, kritičnih in ekstremnih razmer

Eno najbolj pomembnih in najbolj zaskrbljujočih vprašanj v zvezi s termiko reke ali akumulacije je njena temperatura v tako imenovanih kritičnih ali ekstremnih pogojih. Ta bi lahko povzročila nemalo nevšečnosti pri obratovanju elektroenergetskega sistema.

V tem poglavju so določene verjetnosti nastopa dolgotrajnejših poletnih meteoroloških razmer, ki bi same po sebi ali v kombinaciji z neugodnimi hidrološkimi razmerami povzročile omenjene probleme na odseku spodnje Save. Prav tako so podani povprečni dnevni meteorološki in hidrološki parametri, ki imajo gledano dolgoročno pomembno vlogo pri napovedi sprememb povprečnih mesečnih rečnih temperatur. Vse definicije so povzete po poročilu IBE (2003).

4.5.1 Srednje razmere

Meteorološki in hidrološki parametri srednjih razmer so bili s strani agencije ARSO določeni za vsak mesec posebej. Krivulja povprečnega dne vseh štirih atmosferskih parametrov po mescih je podana v PRILOGI A.2/a-1, v preglednici 4 pa so zapisani srednji pretoki ter srednje rečne temperature.

Preglednica 4: Hidrološki parametri srednjih razmer za obdobje od aprila do septembra.

	April	Maj	Junij	Julij	Avgust	September
Q [m³/s]	247	225	210	161	119	160
T_{vode} [°C]	9,7	12,7	14,9	17,6	18,1	15,2

Vir: IBE

Iz zgornje preglednice je razvidno, da so meseca aprila pričakovani največji pretoki, namanjši pa meseca avgusta, kar je posledica sušnih poletnih dni. Obratno sorazmerno s pritoki so podane srednje temperature Save, ki so navečje avgusta in najmanjše aprila.

4.5.2 Kritične in ekstremne razmere

Z vidika hidrologije Save nastopajo izredne nizkovodne situacije v zimskih (januar, februar) ter v poletnih (julij, avgust) mesecih. Zimsko problematično obdobje se občasno podaljša v pomlad, poletno

pa se lahko začne že prej (maj, junij) in se občasno podaljša v jesen (september). V zimskem obdobju je kritična količina le pretok, poleti pa se lahko nizkemu pretoku pridruži še visoka temperatura rečne vode. Poleg tega se poleti pojavljajo tudi neugodne meteorološke razmere, in sicer močno globalno sevanje, visoke temperature zraka in nizke hitrosti vetra (IBE, 2003).

Definicija kritičnih in ekstremnih razmer je povzeta po poročilu IBE (2003), ki je bila s hidrološkega vidika prevzeta po hidrološki študiji Inštituta za vode Republike Slovenije (IZV) (2002), kjer so bile določene povratne dobe daljših obdobji nizkih pretokov za profil HE Krško. Z vidika verjetnosti nastopa izrednih meteoroloških razmer pa je bila kot osnova prevzeta analiza treh poletnih mesecev (junij, julij, avgust) za obdobje 20 let med 1981 in 2000, ki jo je izdelal ARSO, Urad za meteorologijo (2002).

Glavni parametri so prikazani v nadaljevanju. V PRILOGI A.3/a–b so podane krivulje za temperaturo zraka, globalno sevanje, relativno vlago in hitrost vetra, ki prikazujejo vrednosti kritičnega oziroma ekstremnega dne.

Verjetnosti kritičnega in ekstremnega dogodka sta določeni kot produkt verjetnosti nastopa 20-dnevnih nizkih pretokov ter sočasnega 20-dnevnega obdobja toplih dni (prag 27 °C), saj smo predpostavili, da sta dogodka neodvisna. Sklepni račun verjetnostni je naslednji (IBE, 2003):

Kritične razmere:

Za 20-dnevni pretok 75 m³/s s povratno dobo dveh let je verjetnost nastopa **0,5** (50 %).

Za 20-dnevno obdobje dni z najvišjo temperaturo zraka nad 27 °C je verjetnost nastopa **0,5** (50 %).

Skupna verjetnost nastopa teh dveh neodvisnih dogodkov znaša $0,5 \times 0,5 = \mathbf{0,25}$ (25 %).

Povratna doba dogodka s kritičnimi pogoji je torej štiri leta.

Ekstremne razmere:

Za 20-dnevni pretok 50 m³/s s povratno dobo 20 let je verjetnost nastopa **0,05** (5 %).

Za 20-dnevno obdobje dni z najvišjo temperaturo zraka nad 27 °C je verjetnost nastopa **0,5** (50 %).

Skupna verjetnost nastopa teh dveh neodvisnih dogodkov znaša $0,05 \times 0,5 = \mathbf{0,025}$ (2,5 %).

Povratna doba dogodka z ekstremnimi pogoji je torej 40 let.

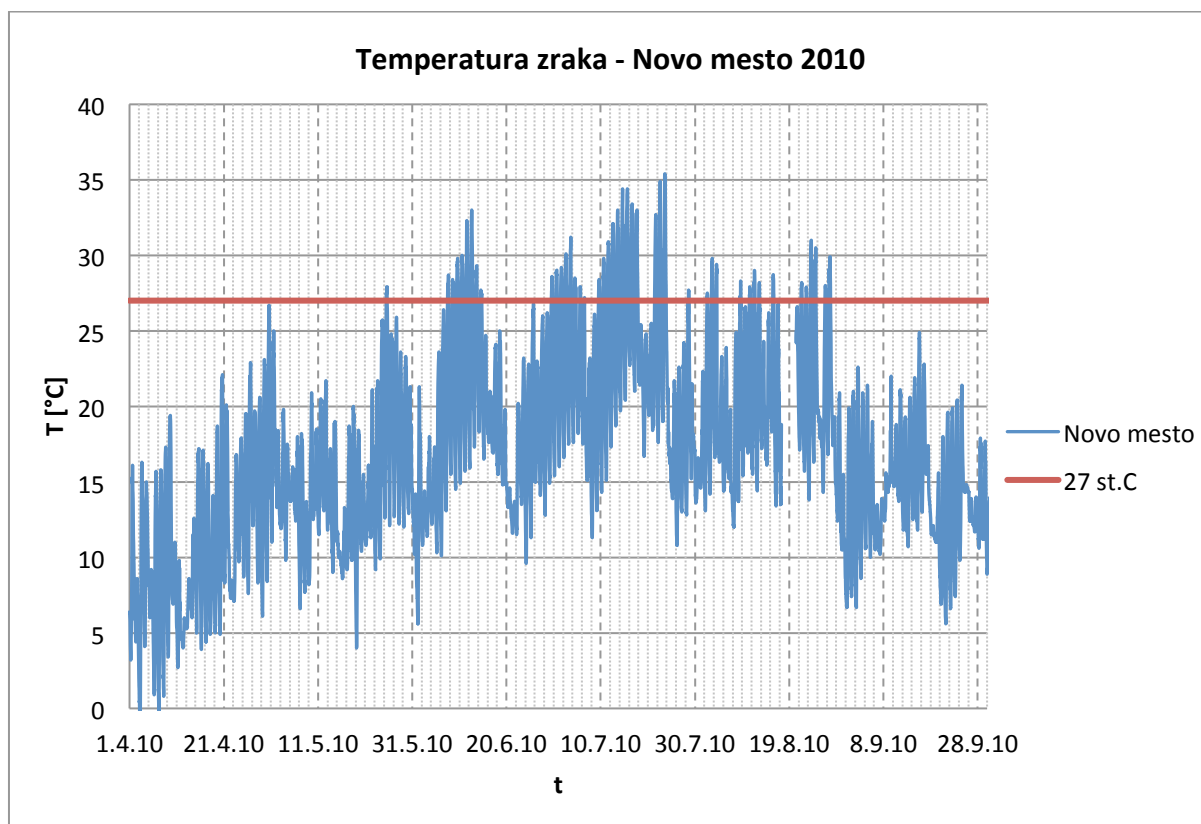
Predpostavka o meteoroloških pogojih je razmeroma optimistična, saj takšne razmere nastopajo praktično vsako leto. Ker pa ima rečni pretok tako po analizi občutljivosti modelov rečne termike, kot tudi po verjetnosti v izračunu skupne verjetnosti večji vpliv, smo za kritične in ekstremne razmere privzeli enake meteorološke pogoje.

4.6 Izbira obdobja

Pri izbiri obdobja smo se omejili na iskanje srednjih, kritičnih in ekstremnih dogodkov, ki so opisani v prejšnjem poglavju. Primerjali smo predvsem temperaturo zraka in globalno sevanje kot najpomembnejša meteorološka parametra ter pretok. Pri tem smo se najbolj ozirali na stabilnost oziroma enakomernost obravnavanega obdobja, kar pomeni, da naj bi bile dnevne maksimalne in minimalne vrednosti kar se da najbolj konstantne. Dodatno omejitev so predstavljali nekateri manjkajoči podatki (PRILOGA A.1/a–f).

Za nas so bile zanimive le analize od aprila do septembra, saj lahko ekstremne razmere, kot sta višja temperatura zraka in nizek pretok, pričakujemo le v topli polovici leta.

Pri iskanju ekstremnega in kritičnega obdobja smo najprej iz vseh podatkov za leti 2009 in 2010 izbrali tiste, ki zadostujejo pogoju o minimalni dnevni temperaturi 27 stopinj Celzija. To smo naredili tabelarično ter grafično (grafikon 7).



Grafikon 7: Grafični prikaz iskanja kritičnega obdobja, ko temperatura zraka preseže 27 °C.

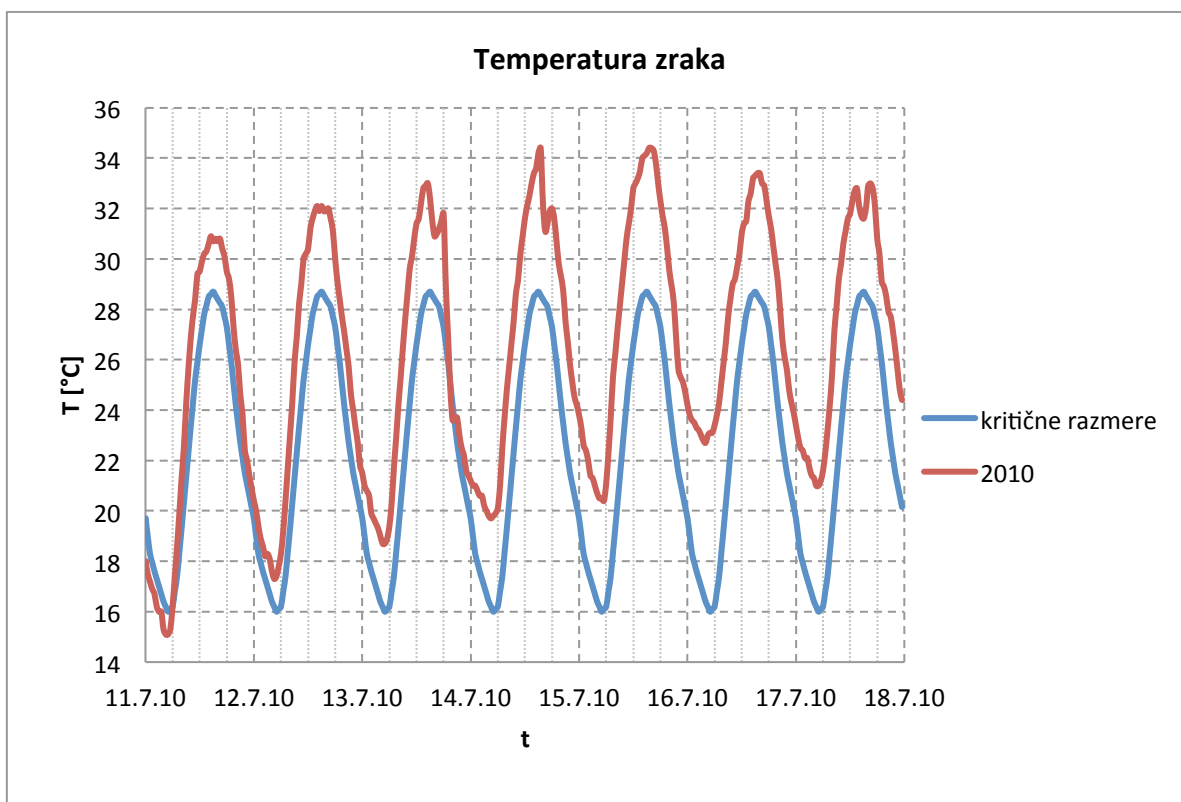
Pri iskanju srednjega obdobja je bil največji problem globalno sevanje, saj dejanske vrednosti kar precej presegajo povprečne, poleti pa tudi kritične.

4.6.1 Analiza kritičnih razmer v juliju 2010

Čas od 11. do 17. julija se je tako po meteoroloških podatkih kot tudi po pretoku zelo približal kritičnem obdobju, ki je bil definiran v študiji IBE (2003). Še več, po primerjavi meteoroloških podatkov, ki so bili izmerjeni v Novem mestu, in kritičnih lahko vidimo, da so pri izbranem obdobju razmere v letu 2010 višje (grafikon 8, 9 in 10). Težava obravnavanega obdobja je, da kritične razmere niso trajale 29, temveč le 7 dni.

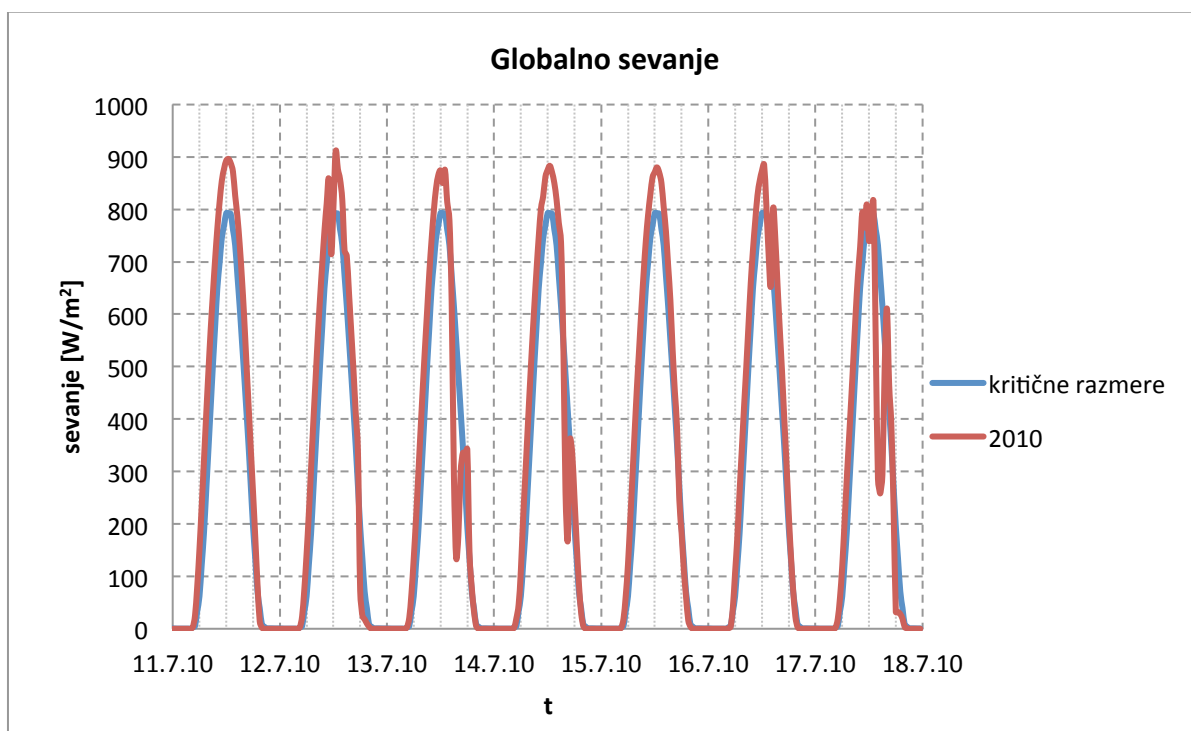
Na spodnjih grafikonih je prikazana primerjava treh merjenih meteoroloških parametrov s kritičnimi in sicer temperatura zraka, globalno sevanje ter zračna vlaga. Razmere so bile v teh dneh enakomerne.

Temperatura zraka je tudi do 6 stopinj Celzija nad kritičnimi in se iz dneva v dan dviguje. Dnevni temperaturni ekstremi so bili med 30 in več kot 34 °C, ponoči so temperature padle na 15 do celo 23 °C (grafikon 8).



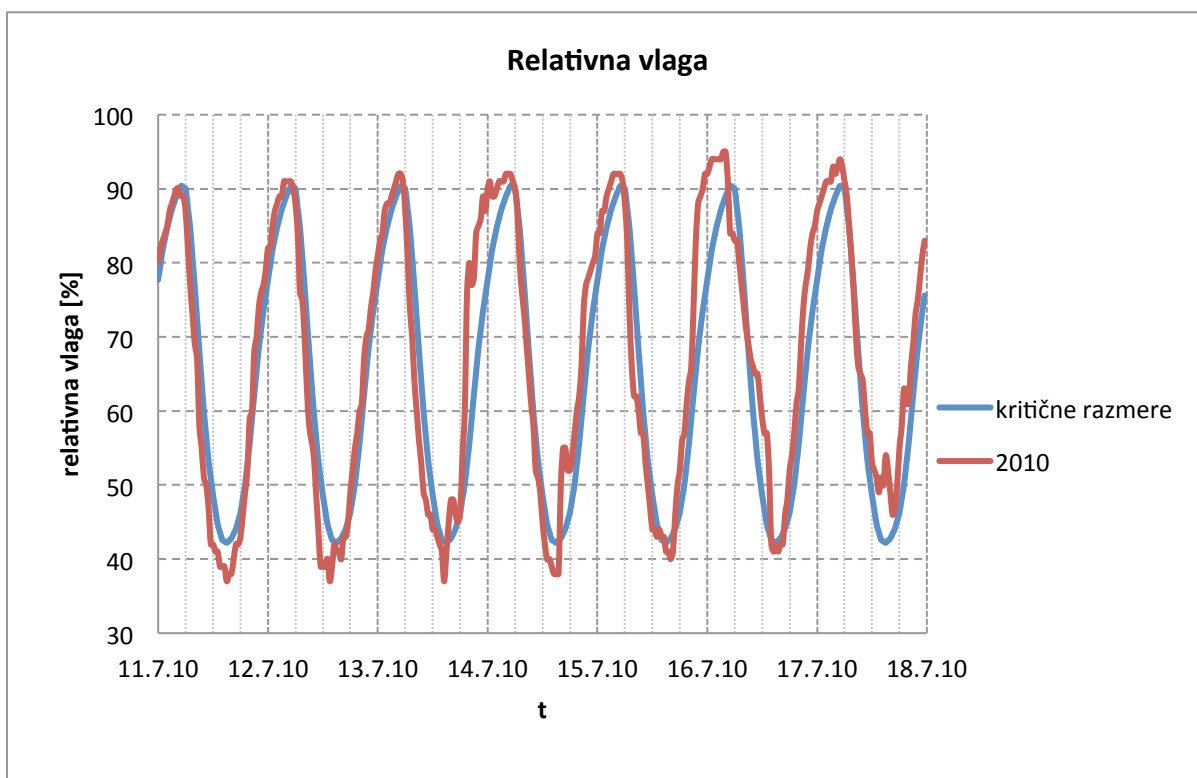
Grafikon 8: Primerjava temperature zraka pri kritičnih razmerah z obdobjem od 11. do 18. 7. 2010.

Izmerjeno globalno sevanje je vsak dan dosegalo vrednost nad 800 W/m². V primerjavi s kritičnimi vrednostmi so dejanske vrednosti višje do 100 W/m².



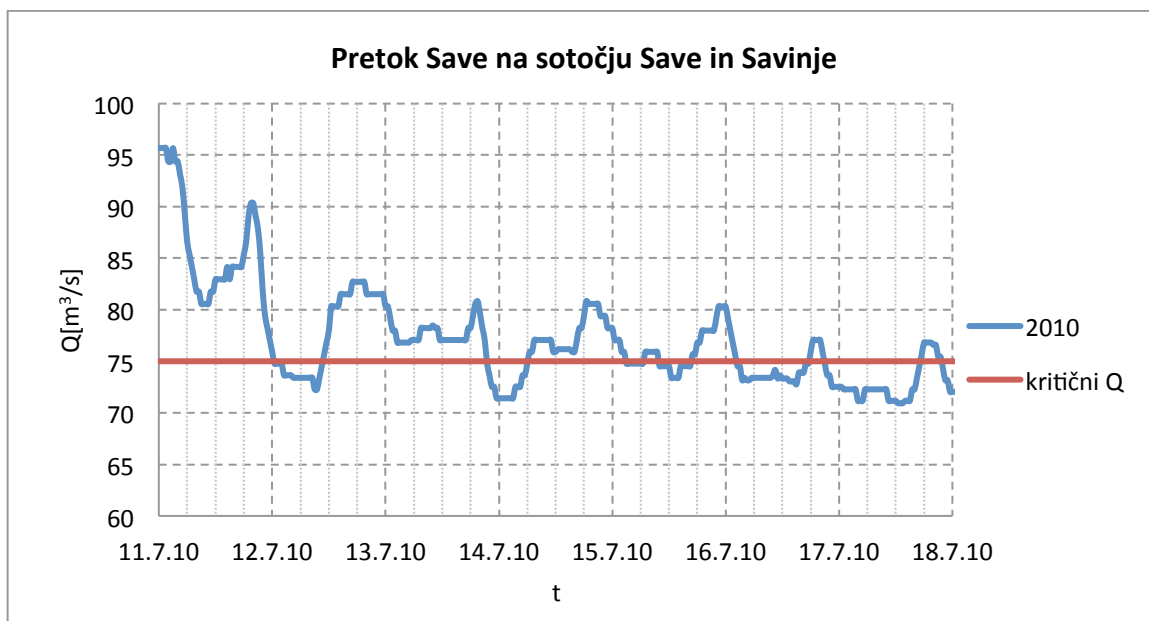
Grafikon 9: Primerjava kritičnega globalnega sevanja s sevanjem v obdobju od 11. do 18. 7. 2010.

Zračna vlaga se je gibala med 37 in 95 odstotki in odstopala od kritičnih vrednosti za maksimalno 5 odstotkov.



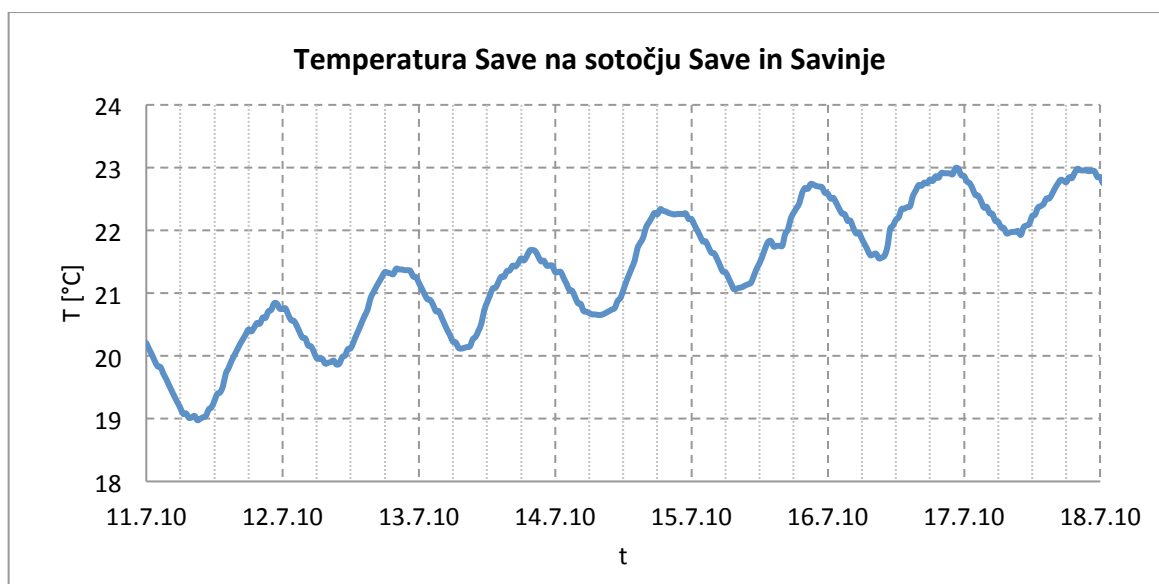
Grafikon 10: Primerjava kritične relativne vlage z vlago v obdobju od 11. do 18. 7. 2010.

Pretok Save na sotočju Save in Savinje je za obravnavano obdobje podan na grafikonu 11. V času od 11. do 18. 7. se je ta gibal med vrednostmi 70 in 95 m³/s, kar ni najbolj enakomerno. Dnevna nihanja so bila v mejah 10 m³/s. Povprečen pretok obravnavanega obdobja je 77,3 m³/s, torej je za 2,3 m³/s večji od predvidenega kritičnega.



Grafikon 11: Pretok reke na sotočju Save in Savinje v obdobju kritičnih razmer od 11. do 18. 7. 2010.

Temperatura Save na sotočju se je od 11. do 18. julija gibala med 19 in 23 °C in se konstantno višala, kar je med drugim posledica nižanja pretoka (grafikon 12). Dnevni maksimumi so naraščali od 20 do 23 °C, minimumi pa do 19 do 22 °C. Dnevna nihanja so bila približno 1,5 °C.



Grafikon 12: Rečna temperatura na sotočju Save in Savinje v obdobju kritičnih razmer od 11. do 18. 7. 2010.

4.6.2 Analiza srednjih razmer v letu 2010

Poleg kritičnih smo analizirali tudi srednje razmere, najprej obdobje od 8. do 14. avgusta v letu 2010, ki se je najbolj približalo iskanim vrednostim, kasneje pa se je pokazala potreba po izračunu tudi preostalih srednjih razmer vsakega meseca posebej v toplem delu leta 2010.

Seveda ni mogoče pričakovati, da bi v vsakem mesecu istega leta našli daljše obdobje srednjih razmer, zato smo se pri iskanju osredotočili predvsem na ujemajočo temperaturo zraka ter na stabilnost podatkov (PRILOGA A.4/a–1).

Pretok in temperaturo vode smo s srednjimi vrednostmi primerjali na sotočju reke Save in Savinje, meteorološke podatke pa iz meteorološke postaje Novo mesto.

April: Analizirali smo obdobje od 15. do 20. 4., ko se minimalna dnevna temperatura zraka giblje med 4,3 in 5 °C, maksimalna dnevna pa med 14 °C (četrti dan) in 18 °C. Globalno sevanje je v tem času od 800 do 850 W/m², kar je celo nad kritičnimi vrednostmi. Vrednosti pretoka so med 190 in 140 m³/s, z dnevnimi nihanji tudi do 25 m³/s. Temperatura vode prvih par dni narašča od vrednosti 9,3 °C do 11,2 °C, nato pa pade za dobro stopinjo Celzija.

Maj: Analizirali smo obdobje od 9. do 14. 5. V tem času temperatura zraka ni bila najbolj konstantna, dnevna minimalna temperatura se giblje med 8,4 in 13,3 °C, maksimalna pa med 17 in 21,7 °C. Globalno sevanje se giblje med 570 W/m², kar je malo pod srednjo vrednostjo meseca maja in 900 W/m². Pretok obravnavanega obdobja je kar visok in se giblje med 330 m³/s in 230 m³/s. Temperatura vode vseskozi narašča od vrednosti 9,9 do 12 °C.

Junij: Obravnavano obdobje je bilo od 25. do 30. 6. Meteorološki parametri se rahlo približajo kritičnim, saj doseže temperatura zraka v zadnjih dveh dneh vrednost 29 °C, vendar pa v prvih štirih dneh ne preseže 27 °C. Globalno sevanje znaša od 800 do 1000 W/m². Pretok na sotočju minimalno pada. Njegova maksimalna vrednost znaša 180 m³/s, minimalna pa 110 m³/s, z dnevnimi nihanji okoli 20 m³/s. Temperatura vode prvega dne znaša 15,5 °C, ta pa se v teh šestih dneh dvigne za skoraj 4 stopinje Celzija. Dnevna nihanja so približno 1,5 °C.

Julij: Analiziralo se je obdobje od 1. do 5. 7., ko sta temperatura zraka in sončno sevanje dosegala kritične vrednosti, pretok pa je bil nekoliko večji. Vrednosti maksimalnih temperatur zraka se gibljejo med 26,8 in 31 °C, minimalne dnevne pa med 16 in 18,6 °C. Vrednosti sevanja so okoli 900 W/m².

Pretok je enakomeren in dnevno niha za približno $5 \text{ m}^3/\text{s}$ okoli vrednosti $105 \text{ m}^3/\text{s}$. Temperatura vode se v tem času spremeni za $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ z dnevnimi nihanji $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$, torej se ta giblje med 18 in $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Avgust: Obravnavano obdobje je bilo od 8. do 12. 8. Temperatura zraka dne 8. 8. in od 10. do 12. 8. preseže 27 stopinj Celzija, kar ustreza kritičnim razmeram. Prav tako ustreza kritičnim razmeram sevanje, ki preseže povprečne razmere za približno $50\text{--}250 \text{ W/m}^2$ in doseže vrednost 900 W/m^2 . Pretok se prvi dan zmanjša iz $180 \text{ m}^3/\text{s}$ na $120 \text{ m}^3/\text{s}$, nato pa se počasneje zmanjšuje do vrednosti $90 \text{ m}^3/\text{s}$. Obratno sorazmerno temperatura vode narašča in v teh dneh naraste za $2,5$ stopinji Celzija. Najnižji dnevni maksimum znaša $18 \text{ }^\circ\text{C}$, minimum pa $17 \text{ }^\circ\text{C}$.

September: Obdobje, ki se je analiziralo, je bilo od 1. do 5. septembra. V tem času se dnevne temperature zraka gibljejo med 19 in $22,3 \text{ }^\circ\text{C}$, nočne pa med 7 in $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Globalno sevanje je višje od srednjega v tem mesecu in doseže v prvem dnevu celo 850 W/m^2 , vendar je zadnji, peti dan le še 600 W/m^2 . Maksimalni pretok znaša $150 \text{ m}^3/\text{s}$, minimalni pa $90 \text{ m}^3/\text{s}$. Temperatura vode počasi narašča do $16 \text{ }^\circ\text{C}$, dnevna nihanja so zelo različna, od pol do celo dveh stopinj.

4.7 Klimatske spremembe

Za zaključek poglavja o vhodnih podatkih bi bilo morda potrebno omeniti, kakšno podnebje pričakujemo v prihodnosti in kakšen vpliv bodo imele spremembe na termiko voda. Povratna doba omenjenih kritičnih razmer je 4 leta, ekstremnih 40 let, vendar bi bile lahko ob globalnem segrevanju take razmere vse bolj pogoste.

Dejstvo je, da se danes podnebje spreminja hitreje, kot se je kadarkoli v preteklosti. Ocene kažejo, da bodo posledice podnebnih sprememb ene predele prizadela bolj kot druge. Že sedaj lahko zasledimo nekoliko večje ogrevanje ozračja na predelu Evrope, kot je to v svetovnem povprečju (Cegnar, 2010a).

Vendar pa posledic ne pričakujemo le v porastu temperatur, saj v poletnem času zaznamo tudi precejšen upad padavin. Višja temperatura in manj padavin pa vodita v pomanjkanje vode in sušo. V srednji Evropi že opažajo porast povprečnih vodotokov v prvi polovici leta ter upad v obdobju običajnih najnižjih pretokov. Ti trendi bodo v prihodnje še močnejši, torej se bo povečevala predvsem pogostost in jakost ekstremnih dogodkov (Cegnar, 2010a).

Napovedovanje sprememb na lokalni ravni je mnogo težje kot na globalni. Pri nas tako napovedovanje dodatno otežuje prepletanje gorskega, celinskega in sredozemskega podnebja ter geografske značilnosti slovenskega prostora. A raziskave kažejo podobne podnebne spremembe kot jih zasledimo

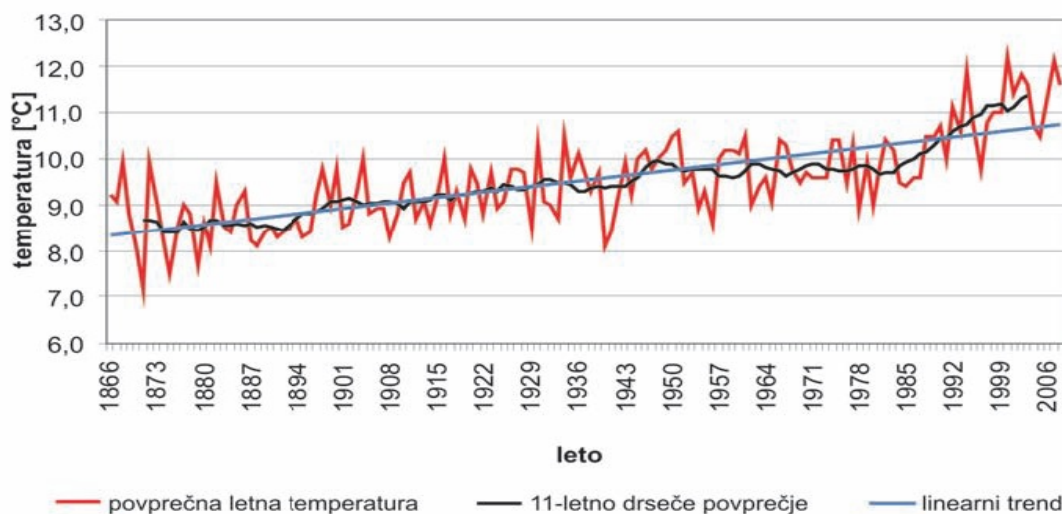
v Evropi. Povprečna temperatura zraka postopno narašča, povečanje pa je najbolj opazno v zadnjih dvajsetih letih. Prav tako pa se spreminja padavinski režim, in sicer se jesenski višek še povečuje, medtem ko je v ostalih letnih časih zaznan upad le-teh (Cegnar, 2010a).

V zadnjem času je bilo pri nas opaženih kar nekaj ekstremnih dogodkov. Izjemno vroče je bilo poletje leta 2003, rekordno mila zima je bila v sezoni 2006/07, obdobje od septembra 2006 do avgusta 2007 je bilo najtoplejše 12-mesečno obdobje doslej. Po drugi strani pa se je junij leta 2006 začel z neobičajnim hladnim in deževnim vremenom, v drugi polovica pa nas je zajel vročinski val, kar dokazuje, da ogrevanje ozračja ne poteka enakomerno in se hkrati pojavlja večja spremenljivost (Cegnar, 2010a).

4.7.1 Spremenljivost temperature zraka

Trend višanja temperature zraka je mogoče zaznati po celem svetu. Med letoma 1906 in 2005 znaša dvig globalne temperature zraka $0,74 \pm 0,18$ °C, pri čemer trend v zadnjih 50ih letih precej strmo narašča (Kobold in Ulaga, 2010d).

Povprečna temperatura zraka na območju Ljubljane narašča že od začetka meritev (grafikon 13). Od leta 1986 dalje so vsa leta nadpovprečno topla. Glede na linearni trend se je povprečna letna temperatura v času meritev zvišala za kar 2,2 °C, vendar je pri tem potrebno upoštevati toplotni otok, ki je posledica širitve mesta. Natančno se ne da ugotoviti kolikšen delež k segrevanju prispeva toplotni otok, vendar glede na merilna mesta izven mesta lahko trdimo, da je ta delež manjši od posledic svetovnega segrevanja (Dolinar et al., 2010b).



Grafikon 13: Povprečna letna temperatura zraka, 11-letno drseče povprečje ter linearni trend v Ljubljani od leta 1866 do 2007.

Vir: Dolinar et al., 2010b, str. 29.

V preglednici 5 je prikazan trend povprečne temperature zraka za meteorološki postaji Ljubljana ter Novo mesto. Temperatura je naraščala na obeh območjih. Zanimivo je, da je hitrost ogrevanja od zime do poletja podobna, medtem ko je bil v jeseni porast majhen (Bertalanič et al., 2010).

Preglednica 5: Sprememba temperature zraka na desetletje ($^{\circ}\text{C}/10$ let), izračunana na podlagi linearnega trenda v obdobju 1950–2009.

	Zima	Pomlad	Poletje	Jesen	Leto
Ljubljana	0,4	0,4	0,5	0,2	0,4
Novo mesto	0,4	0,4	0,5	0,2	0,4

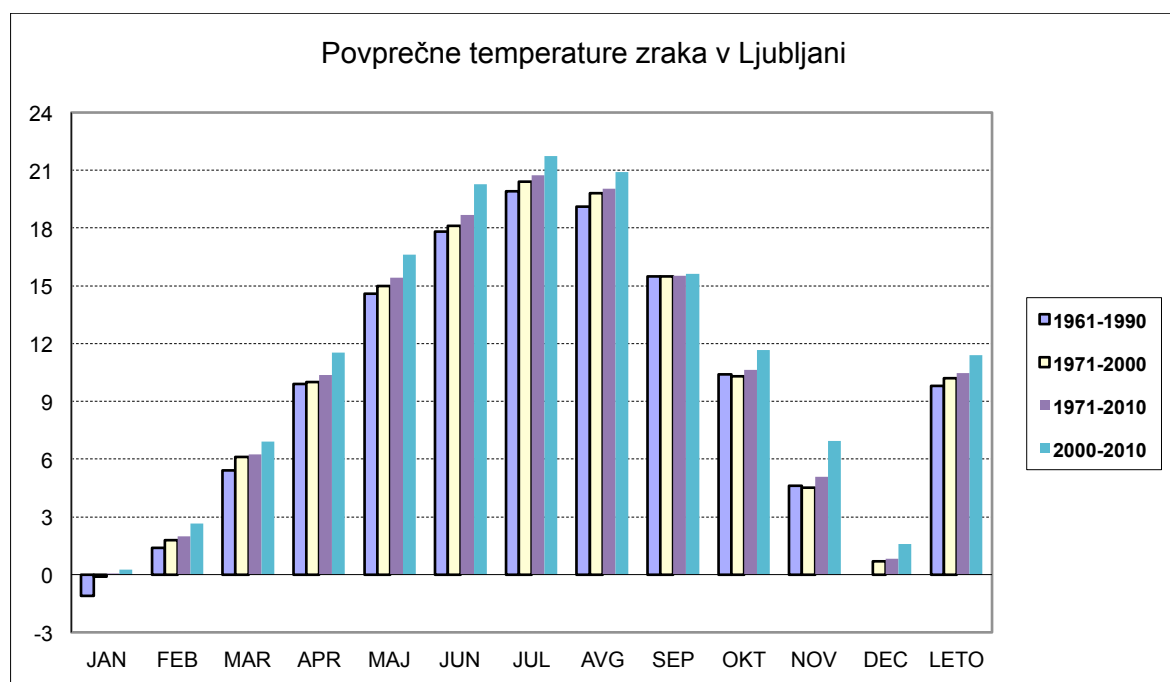
Vir: Bertalanič et al., 2010, str. 3.

Po primerjavi izračunanih povprečnih mesečnih in letnih temperatur v Ljubljani za različna obdobja (preglednica 6 in grafikon 14), opazimo predvsem veliko povišanje temperature zraka v zadnjih desetih letih.

Preglednica 6: Povprečne mesečne in letne temperature zraka v Ljubljani.

obdobje	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	leto
61-90	-1,1	1,4	5,4	9,9	14,6	17,8	19,9	19,1	15,5	10,4	4,6	0	9,8
71-2000	-0,1	1,8	6,1	10	15	18,1	20,4	19,8	15,5	10,3	4,5	0,7	10,2
71-2010	0,1	2,0	6,3	10,4	15,4	18,7	20,8	20,0	15,5	10,6	5,1	0,8	10,5
2000-10	0,2	2,7	6,9	11,5	16,6	20,3	21,7	20,9	15,6	11,7	6,9	1,6	11,4

Vir: IBE.



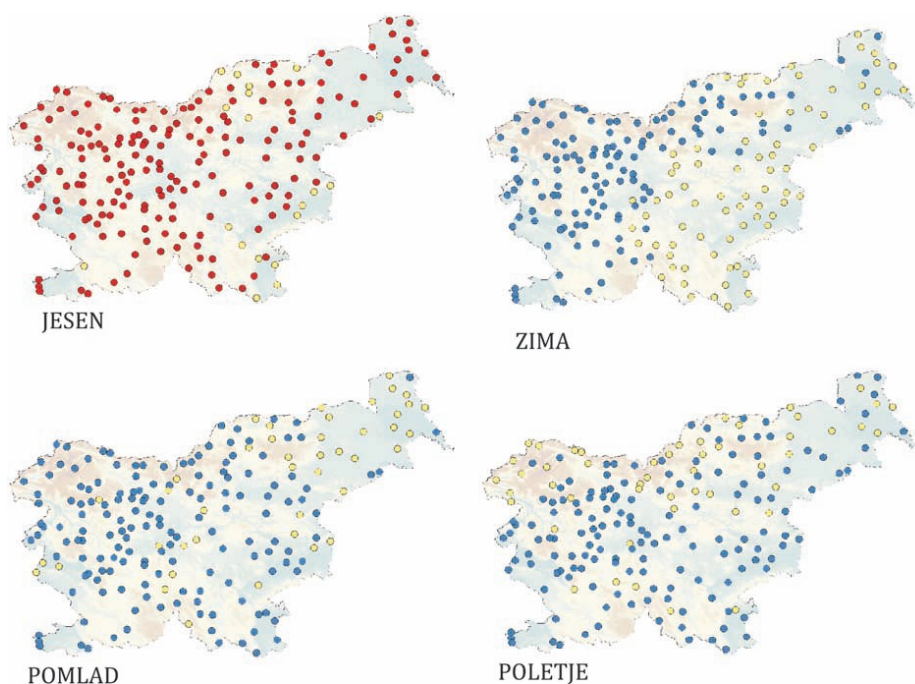
Grafikon 14: Povprečne mesečne in letne temperature zraka v Ljubljani.

Kakšne so napovedi za prihodnost? Predvidenih je več scenarijev izpustov toplogrednih plinov v prihodnosti, od česar je odvisno tudi segrevanje ozračja. Najbolj optimistične napovedi kažejo, da se bo do konca 21. stoletja globalna povprečna temperatura dvignila za 1,1 °C glede na povprečne razmere v obdobju od leta 1980 do 1999, najbolj pasimistične napovedi pa pravijo, da naj bi se ozračje ogrelo za kar 6,4 °C. Zanesljivost teh rezultatov je manjša na regionalni oziroma lokalni ravni. Napovedi za naše kraje se gibljejo med 3 in 3,5 °C, najbolj izrazito pa naj bi se ogrela poletja (Bergant, 2010e).

4.7.2 Spremenljivost padavin

V Sloveniji se v zadnjih letih spopadamo na eni strani s hidrološko sušo, na drugi s poplavami, medtem ko je običajno letna količina padavin blizu obdobjnega povprečja ravni (Kobold in Ulaga 2010d).

Na sliki 15 so prikazani statistično značilni trendi v količini padavin po letnih časih (obdobje 1971–2005), kjer rdeč znak pomeni statistično značilno naraščanje letne količine padavin, moder znak statistično značilno upadanje letne količine padavin, rumen znak pa pomeni, da trend ni statistično značilen. Očitno je, da se padavinski režim spreminja. Jesenski maksimum postaja bolj izrazit, medtem ko se v ostalih mesecih količina padavin zmanjšuje (še posebno poleti) ali pa ostaja na enaki ravni (Dolinar in Vertačnik, 2010c).



Slika 15: Statistično značilni trendi v količini padavin po letnih časih za obdobje 1971–2005.

Vir: Bertalanč et al., 2010, str. 40.

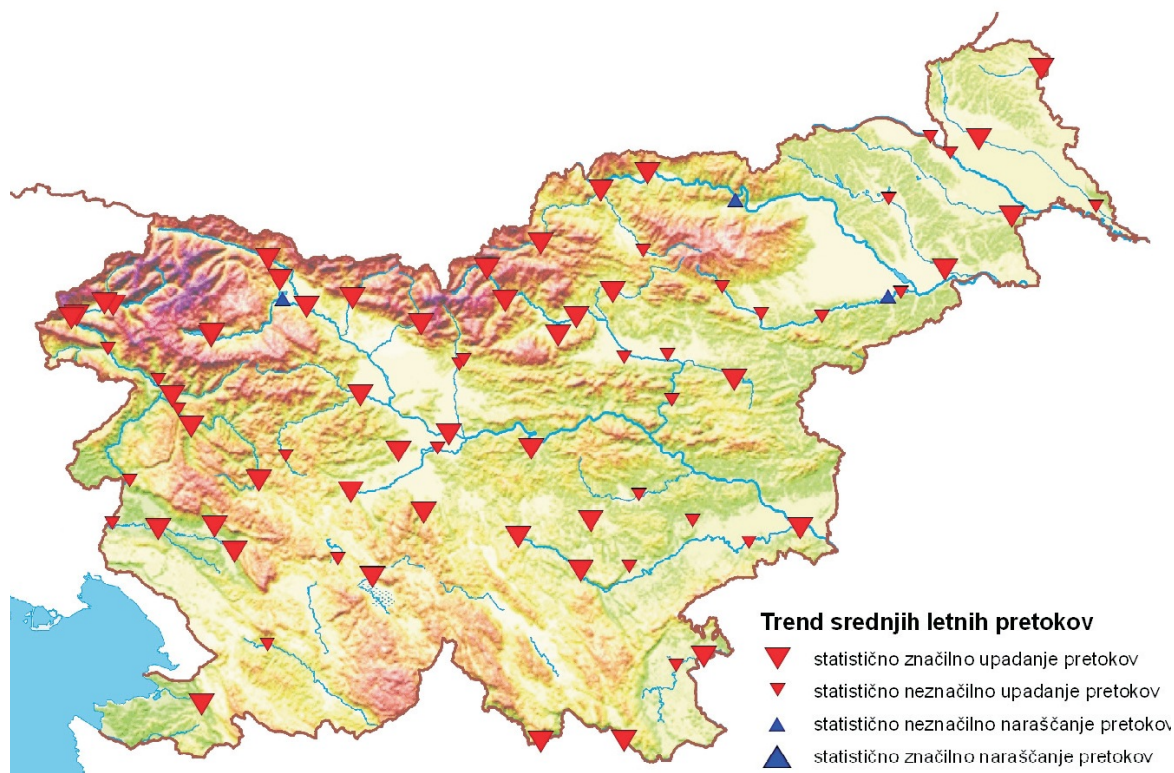
V prihodnosti lahko pričakujemo daljša sušna obdobja ter krajša in krajevno razporejena obdobja intenzivnih padavin (Kobold in Ulaga, 2010d). Do konca 21. stoletja naj bi se količina padavin na letnem nivoju zmanjšala za 10 odstotkov. Poletja naj bi bila bistveno bolj suha (za 15 do 20 odstotkov), medtem ko lahko pozimi pričakujemo dvig količine padavin za 10 odstotkov ravni (Bergant, 2010e).

4.7.3 Spremenljivost pretokov

Hidrološko stanje voda je v največji meri posledica vremenskega dogajanja (Kobold in Ulaga, 2010d).

V zadnjem času je vse več ekstremnih dogodkov. Dolga sušna obdobja smo v Sloveniji zabeležili od februarja pa vse do septembra leta 2003 ter v drugi polovici leta 2006, ki se je nadaljevalo v leto 2007 (Kobold in Ulaga, 2010d).

Statistične analize trendov srednjih letnih pretokov so nakazovale statistično značilno zmanjševanje pretokov rek v severozahodnem alpskem delu Slovenije (slika 16) (Kobold in Ulaga, 2010d).



Slika 16: Trend srednjih letnih pretokov na vodomernih postajah ARSO.

Vir: Kobold in Ulaga, 2010d, str. 48.

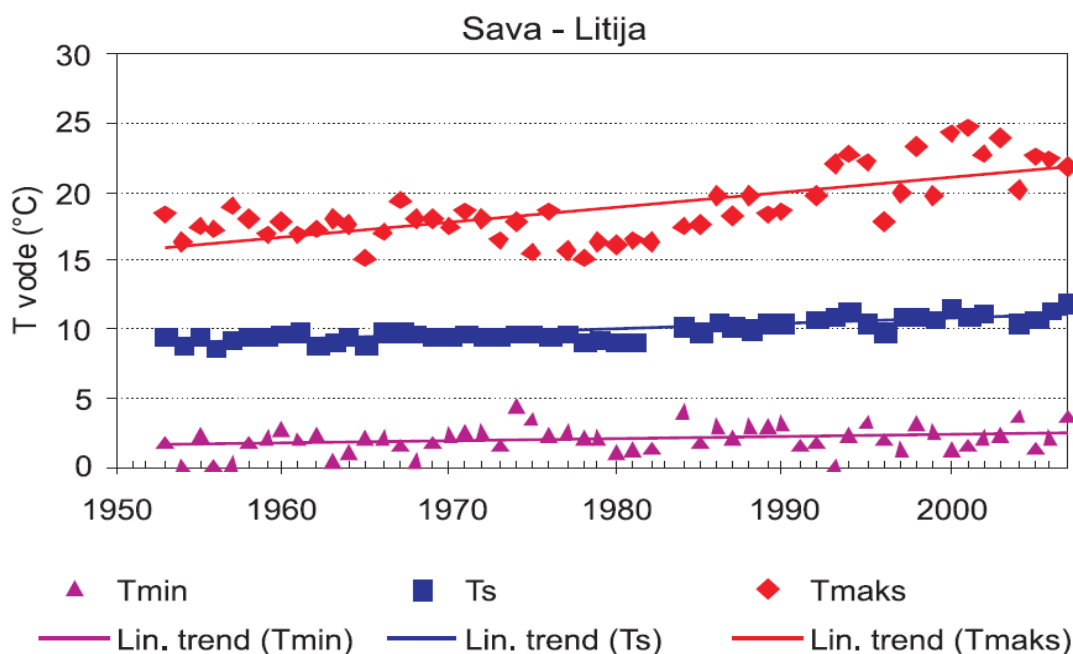
V PRILOGI C.1/a–b so prikazani nizki in srednji pretoki za VP Hrastnik na Savi ter VP Veliko Širje na Savinji za različna obdobja. V zadnjem desetletju je zaznan upad pretokov na Savinji, medtem ko so na Savi konice nizkih pretokov nižje v zimskih in poletnih mesecih, spomladi in jeseni pa so višje.

Ob napovedanih podnebnih spremembah se bodo trendi manjšanja pretokov in dolžine hidrološke suše nadaljevali. Upadli bodo predvsem srednji in mali pretoki. Do leta 2070 se za jug Evrope pričakuje do 36 odstotkov upada srednjega letnega pretoka, v poletnih mesecih napovedujejo upad celo do 80 odstotkov (Kobold in Ulaga, 2010d).

4.7.4 Spremenljivost temperature vode

Tudi na temperaturo vode močno vplivajo vremenski pogoji, najbolj pa temperatura zraka (Kobold in Ulaga, 2010d).

Statistična analiza trendov kaže, da narašča trend najvišje in srednje temperature vode (grafikon 15). Po primerjavi dveh sušnih let 2003 in 1993, ko so bile zabeležene ekstremne suše, se je izkazalo, da so bile temperature vode v poletnih mesecih leta 2003 v povprečju za 3 do 5 °C višje kot v letu 1993 in v območju najvišjih obdobjnih vrednosti (Kobold in Ulaga, 2010d).



Grafikon 15: Navišje, srednje letne in najnižje temperature vode v obdobju opazovanj, merjene ob sedmi uri zjutraj, na vodomerni postaji Sava – Litija.

Vir: Kobold in Ulaga, 2010d, str 54.

Podobno kot za pretoke, so v PRILOGI C.2/a–b prikazane srednje in visoke rečne temperature na VP Hrastnik in Veliko Širje za različna obdobja. Kot posledica višanja temperatur zraka in nižanja pretokov so se rečne temperature v zadnjem desetletju na splošno povišale. Višji so predvsem maksimumi visokih rečnih tempertur.

Glede na prevladujoč vpliv temperature zraka na temperature površinskih voda lahko v skladu z globalnimi trendi segrevanja zemeljskega ozračja pričakujemo trende segrevanja vodotokov, jezer in morja. Njihova sposobnost prevzemanja toplotnih obremenitev bo manjša in nevarnost onesnaženj večja (Kobold in Ulaga, 2010d).

5 ANALIZA REZULTATOV

Namen simulacije rečne termike je bila kontrola uporabljenih modelov. V tem poglavju so predstavljeni pomembnejši izvlečki rezultatov temperatur vode, pridobljenih s pomočjo programov HOTCHAIN in HOTRIVER, ki smo jih primerjali z dejanskimi, merjenimi vrednostmi pri HE Blanca ter NE Krško. Za oba programa je bila izvedena tudi občutljivostna analiza na spreminjanje hidroloških in meteoroloških parametrov. Sledi opis verjetnih vzrokov za odstopanja izračunanih vrednosti.

5.1 Prikaz rezultatov v programu

Analizo računa temperature smo opravili s spremljanjem vodnega elementa od sotočja Save in Savinje do NE Krško. Element toka smo najprej z modelom HOTCHAIN spremljali skozi akumulacije Vrhovo, Boštanj ter Blanca in nato z modelom HOTRIVER opazovali nadaljnje ogrevanje po strugi Save do Krškega.

Kot rezultat programa HOTCHAIN je mogoče odčitati temperaturo tega delca vzdolž vodotoka v izbranem trenutku po začetku vnosa polutanta. Torej je mogoče odčitati temperaturo vode v nekem določenem profilu, na vsaki hidroelektrarni posebej.

V program HOTRIVER sta vgrajena dva osnovna tipa simulacij. Prvi računa spremembo koncentracije vzdolž vodotoka v izbranem trenutku po začetku vnosa polutanta (krivulja C-x), drugi pa spremembo koncentracije v času na izbrani lokaciji (krivulja C-t).

Programa omogočata tabelarni in grafični prikaz rezultatov.

5.2 Kritične razmere

Obravnavno je bilo obdobje od 11. do 17. julija, ko so se meteorološki in hidrološki pogoji najbolj približali kritičnim razmeram.

5.2.1 Rezultati pri kritičnih razmerah v verigi hidroelektrarn

Vodni delec, ki potuje po verigi hidroelektrarn, potrebuje, pri povprečnem pretoku v obdobju simulacije $79,55 \text{ m}^3/\text{s}$, 3 dni in 12 ur od sotočja Save in Savinje do HE Blanca, ki je zadnja v verigi.

Pri tem se voda iz začetnih 20,206 °C segreje na izračunanih 23,233 °C, kar je za dobre 3 stopinje Celzija.

Po primerjavi izračunane temperature vode pri HE Blanca in dejanske, merjene vrednosti na dolvodnem desnem krilnem zidu elektrarne je bilo ugotovljeno, da se temperaturi razlikujeta kar za 1,883 °C. Sava se pri potovanju čez verigo po rezultatih meritev dejansko ogreje za 1,144 °C, kar predstavlja 40 odstotkov izračunane vrednosti ali obratno, izračunano segrevanje po verigi predstavlja 260 odstotkov dejanske vrednosti.

V preglednici 7 so prikazane vrednosti dejanskih in izračunanih temperatur pri vseh treh hidroelektrarnah, njihova razlika ter odstopanja temperatur vsakega bazena posebej. Pozitiven predznak razlik pomeni, da je model HOTCHAIN izračunal višjo temperaturo, kot je bila dejanska, in obratno. Prikazani so tudi potovalni časi vodnega elementa, ki se v vsakem naslednjem bazenu povečujejo, kar je posledica večanja volumnov bazenov.

Preglednica 7: Rezultati programa HOTCHAIN in njihova primerjava z dejanskimi meritvami za kritične razmere.

HE	Čas potovanja delca - veriga [h]	Čas potovanja delca - bazen [h]	$T_{vode,dej}$ [°C]	$T_{vode,HC}$ [°C]	Razlika $T_{vode,HC} - T_{vode,dej}$ [°C]	Odstopanja temperatur v posameznem bazenu [°C]
Vrhovo	22	22	20,23	21,215	0,985	0,985
Boštanj	50	28	20,5	22,07	1,57	0,585
Blanca	84	34	21,35	23,233	1,883	0,313

Odstopanja temperatur vode se iz akumulacije v akumulacijo povečuje. V bazenu Vrhovo znaša prirastek temperature 0,985 °C, v bazenu Boštanj znaša 0,585 °C, v bazenu Blanca pa 0,313 °C. Torej je največja razlika temperature v bazenu Vrhovo, najmanjša pa v bazenu Blanca. V vseh primerih pa program HOTCHAIN izračuna večje segrevanje vode, kot je to dejansko.

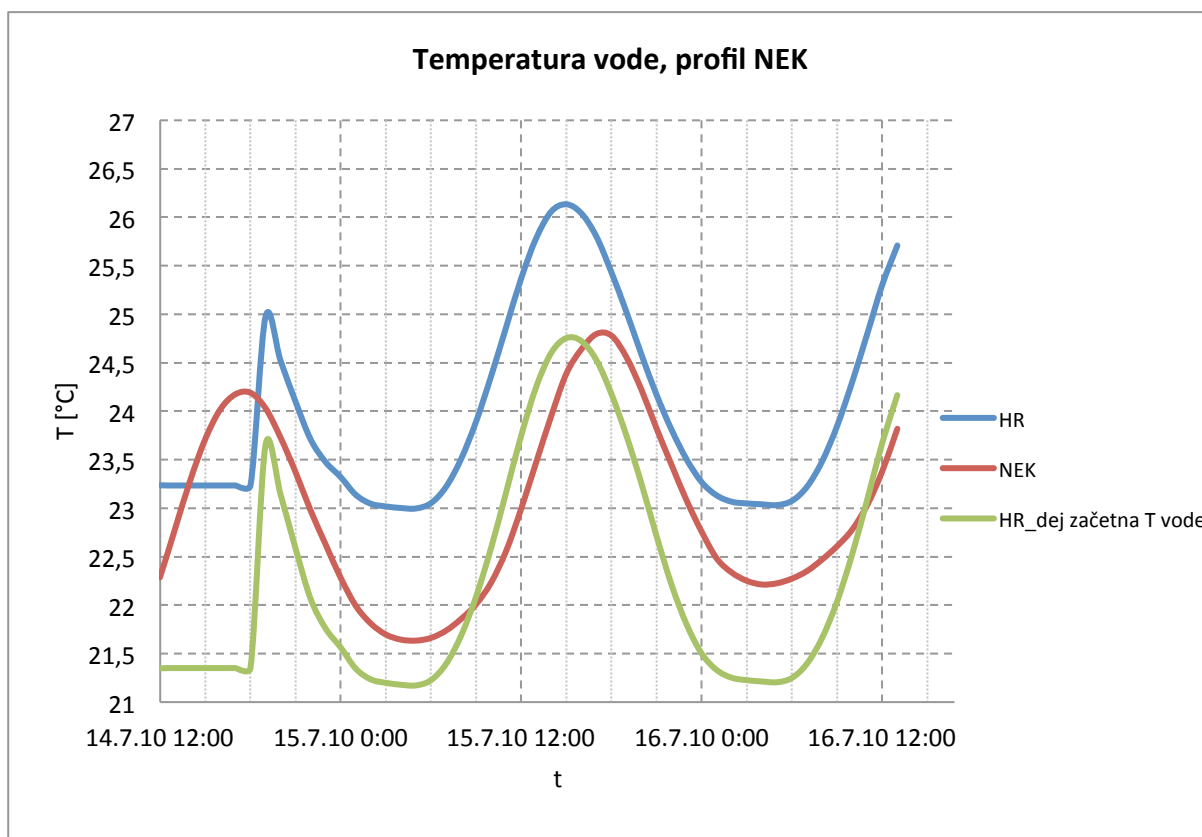
5.2.2 Rezultati pri kritičnih razmerah na nezajezenem delu Save

Temperaturo vode, ki smo jo dobili kot rezultat programa HOTCHAIN pri hidroelektrarni Blanca, smo vstavili kot začetno temperaturo vode v program HOTRIVER ter opazovali rezultate modela pri NE Krško. Čas opazovanja temperature vode je dva dni in dve uri, povprečen pretok v času simulacije pa 93,64 m³/s.

V dinamiki rečne temperature je opazen časovni zamik izračunanih in merjenih maksimumov temperatur za približno 2 uri ter zamik minimumov za 1 uro. Pri NEK nastopijo dejanski temperaturni dnevni maksimumi ob 17ih, izračunani pa ob 15ih.

Razlika izračunanih in dejansko izmerjenih maksimalnih temperatur vode je 1,34 °C, razlika minimalnih pa je 1,36 °C pri prvi in 0,82 °C pri drugi najnižji temperaturi dneva (grafikon 16). Ti rezultati kažejo, da program HOTRIVER zmanjšuje razliko dejanskih in računanih vrednosti, kar bi lahko pomenilo tudi, da računa manjše segrevanje vode od dejanskega. Zato se je za primerjavo naredilo simulacijo, kjer je bila kot začetna temperatura vode vstavljena dejanska, merjena temperatura pri HE Blanca.

Slednji rezultati kažejo na odlično ujemanje dnevnih maksimumov in slabše ujemanje dnevnih minimumov z zamikom maksimuma dveh ur (grafikon 16). To pomeni, da v času kritičnih razmer, ko meteorološki in hidrološki pogoji ustrezajo pogojem obravnavanega obdobja, program HOTRIVER natančno izračuna maksimalno dnevno temperaturo vode, ki nas tudi najbolj zanima, vendar pa so temperaturna nihanja nekoliko večja od dejanskih.



Grafikon 16: Dinamika dejanskih in izračunanih rečnih temperatur pri NEK v kritičnem obdobju.

5.3 Srednje razmere

V letu 2010 se je za toplo polletje, to je od aprila do septembra, v vsakem mesecu posebej iskalo obdobje srednjih razmer. V nadaljevanju so predstavljeni rezultati.

5.3.1 Rezultati pri srednjih razmerah v verigi hidroelektrarn

Prav tako kot pri kritičnih razmerah so se tudi pri srednjih pokazala odstopanja med dejanskimi in izračunanimi temperaturami vode v verigi elektrarn.

V preglednici 8 sta za vsak mesec simulacij prikazana pretok in začetna temperatura vodotoka na sotočju Save in Savinje, ki sta kot konstantna vhodna podatka vstavljena v model HOTCHAIN ter rezultati programa in njihova primerjava z dejanskimi meritvami. Prikazane so temperature vode pri vsaki hidroelektrarni posebej, odstopanja temperatur vode v posameznem bazenu, potovalni čas vodnega delca tako za celotno verigo elektrarn kot tudi za vsak bazen posebej. Pozitiven predznak razlik pomeni, da je model HOTCHAIN izračunal višjo temperaturo, kot je bila dejanska, in obratno.

Preglednica 8: Rezultati programa HOTCHAIN in njihova primerjava z dejanskimi meritvami za povprečne razmere.

			April	Maj	Junij	Julij	Avgust	September
T vode pri HE [°C]	VR	Dej	9,57	10,1	15,52	19,37	16,88	13,79
		HC	9,558	9,89	15,919	20,016	17,507	14,232
	BO	Dej	9,9	10,3	15,9	19,5	17,2	13,7
		HC	10,199	10,368	16,453	20,68	17,869	14,36
	BL	Dej	11,22	11,19	16,04	20,23	17,92	14,4
		HC	10,732	10,689	16,973	21,757	18,846	15,018
Odstopanja T vode v posameznem bazenu	VR	[°C]	-0,012	-0,21	0,399	0,646	0,627	0,442
		[%]	-0,125	-2,08	2,6	3,3	3,7	3,2
	BO	[°C]	0,311	0,278	0,154	0,534	0,042	0,218
		[%]	3,14	2,7	1	2,7	0,2	1,6
	BL	[°C]	-0,787	-0,569	0,38	0,881	0,257	-0,042
		[%]	-7,01	-5,1	2,4	4,3	1,4	-0,3
Q [m ³ /s]			165	288	144	104	123	115
T _{vode, zač} [°C]			9,4	9,9	15,5	19,1	16,9	13,7
t od začetka simulac. [h]	VR	10,6	6	12	16,6	14,1	15,1	
	BO	24	13,8	27,5	38	32,3	34,6	
	BL	40,3	23,1	46,2	63,8	54,3	58,1	
t potovanja po bazenu [h]	VR	10,6	6	12	16,6	14,1	15,1	
	BO	12,6	7,8	15,5	21,4	18,2	19,5	
	BL	16,3	9,3	18,7	25,8	22	23,5	

Iz preglednice rezultatov lahko razberemo, da večji kot je volumen bazena, daljši so potovalni časi vodnega delca. Ti so prav tako odvisni od pretoka. Večji kot je pretok, krajši je zadrževalni čas vodnega elementa.

Razlike med dejanskimi in merjenimi temperaturami se razlikujejo od elektrarne do elektrarne ter od meseca do meseca. V večini primerov izračuna program višje vrednosti od dejanskih.

Največje napake se pojavijo meseca julija, ko se meteorološki pogoji najbolj približajo kritičnim razmeram. V primerjavi z ostalimi meseci je pretok najnižji, začetna temperatura vode pa najvišja. Program HOTCHAIN izračuna pri vseh treh elektrarnah višjo temperaturo od dejansko izmerjene.

Najmanjša odstopanja temperatur so meseca septembra, ko ni bilo v nobenem bazenu razlike več kot 0,5 stopnje Celzija. V bazenu Blanca se je voda ogrela celo toliko kot dejansko, v ostalih dveh bazenih pa se je dejansko ogrela manj.

Po primerjavi vsakega bazena posebej za obdobje šestih mesecev ugotovimo, da se pri elektrarni Vrhovo merjeni in izračunani vrednosti temperature aprila ujemata, procentualno največja odstopanja so v mesecu avgustu, temperaturno največja odstopanja pa se opazijo v juliju. Meseca maja je program HOTCHAIN izračunal nižje vrednosti od dejanskih, od junija do septembra pa višje.

Pri HE Boštanj, katere bazen se nahaja nizvodno od HE Vrhovo, lahko opazimo, da program v vseh mesecih izračuna višje segrevanje vodnega delca, kot je bilo to dejansko izmerjeno. Meseca avgusta se vrednosti temperatur pri HE Boštanj ujemata, največje temperaturno odstopanje pa je julija.

Primerjava rezultatov programa HOTCHAIN z meritvami pri HE Blanca nam pokaže naslednje: septembra, ki ni meteorološko in hidrološko gledano niti najtoplejši niti najhladnejši mesec obravnavanega obdobja, se vrednosti temperature vode ujemajo, medtem ko so pri najhladnejših dveh mesecih, aprila in maja, razlike precejšnje in HOTCHAIN izračuna manjše segrevanje bazena. V najtoplejših mesecih (junij, julij in avgust) pa je rezultat programa večje segrevanje od dejanskega. V aprilu in juliju so odstopanja približno za 0,8 stopinje Celzija.

Po pregledu rezultatov lahko zaključimo naslednje. V vseh treh bazenih verige je od julija do septembra, ko je pretok manjši od $150 \text{ m}^3/\text{s}$ in začetna temperatura vode dokaj visoka, trend razlike pozitiven ali enak nič. Pri HE Vrhovo se ta trend giblje okoli 3 odstotkov, pri HE Boštanj se giblje med 0 in 3 odstotki, pri HE Blanca pa med 0 in 4,5 odstotki. Aprila in maja, ko je pretok kar visok,

torej večji od $150 \text{ m}^3/\text{s}$, in začetna temperatura vode dokaj nizka, je trend, razen v bazenu Boštanj, negativen.

Poglejmo še, za koliko se segreje vodni delec od sotočja Save in Savinje do konca verige treh elektrarn, torej do HE Blanca. V preglednici 9 je prikazano dejansko in izračunano segrevanje vode vsakega meseca posebej ter njuna razlika.

Preglednica 9: Segrevanje vodnega delca od sotočja Save in Savinje do HE Blanca pri povprečnih razmerah.

	April	Maj	Junij	Julij	Avgust	September
$\Delta T_{\text{dej}} [^{\circ}\text{C}]$	1,82	1,29	0,54	1,13	1,02	0,7
$\Delta T_{\text{HC}} [^{\circ}\text{C}]$	1,32	0,79	1,473	2,657	1,946	1,318
$\Delta T_{\text{HC}} - \Delta T_{\text{dej}} [^{\circ}\text{C}]$	-0,5	-0,5	0,933	1,527	0,926	0,618

Voda se najbolj ogreje aprila, in sicer skoraj za $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, sledi mu maj, najmanj pa se ogreje meseca junija. Rezultati programa HOTCHAIN pa kažejo, da se voda najbolj ogreje meseca julija, za več kot $2,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, najmanj pa maja.

Največja odstopanja med izračunanimi in merjenimi segrevanji so julija, ko se je vodni delec dejansko segrel kar za $1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ oziroma skoraj polovico manj od izračunane vrenosti $2,66 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Meseca junija pa se je delec segrel trikrat manj, kot je bilo to izračunano, ali za skoraj eno stopinjo manj.

V aprilu in maju se vodni delec dejansko segreje za pol stopinje več, kot je bilo to izračunano, medtem ko se od junija do septembra segreva manj.

5.3.2 Rezultati pri srednjih razmerah na nezajezenem delu Save

Z rezultati programa HOTCHAIN pri HE Blanca je sledila analiza segrevanja nezajezenega dela Save do NE Krško, kjer smo rezultate tudi opazovali in jih primerjali z merjenimi količinami. Čas opazovanja temperature vode pri NEK je bil 2 dni in 2 uri, v tem času pa se pojavita eden ali dva dnevna maksimuma, kar je odvisno od časa začetka analize. Pretok je enak povprečnemu v obdobju simulacije.

Pri dinamiki rečne temperature je opazen časovni zamik maksimumov izračunanih in merjenih rezultatov od ene do štirih ur.

V preglednici 10 so prikazana odstopanja dejanskih in izračunanih temperatur pri NE Krško za minimalne in maksimalne dnevne vrednosti. Pri pregledu rezultatov se je nunjo potrebno zavedati, da je **začetna temperatura vode, ki je bila vnešena v program HOTRIVER, enaka s programom HOTCHAIN izračunani temperaturi vode pri HE Blanca in da se ta od dejanske razlikuje od 0,5 do 1,5 stopinje Celzija**. Prav tako so podani povprečni pretoki in začetne temperature vode v času simulacij.

Preglednica 10: Rezultati programa HOTRIVER in njihova primerjava z dejanskimi meritvami za povprečne razmere.

			April	Maj	Junij	Julij	Avgust	September
Odstopanja T vode ($T_{vode,HR} - T_{vode,dej}$)	1. max	[°C]	0,51	-1,0	1,5	2,5	1,96	1,06
		[%]	4,2	-7,99	8,3	11,5	9,9	6,6
	2. max	[°C]	0,09		0,19		0,94	
		[%]	0,7		0,97		4,5	
	1. min	[°C]	-0,74	-1,0	0,66	1,42	0,57	0,58
		[%]	-7,51	-8,61	4,1	7,07	3,1	4,07
	2. min	[°C]	-0,47		-0,2	1,26		-0,05
		[%]	-4,25		-1,18	6,22		-0,34
Q [m³/s]			152,8	246,4	128,8	101,1	93,6	95,8
T_{vode, zač} [°C]			10,7	10,7	17	21,8	18,8	15

Pri NE Krško so razlike med maksimalnimi dnevnimi vrednostmi temperatur vode od 0,5 do 2,5 stopinje Celzija pri prvem maksimumu, pri drugem pa se odstopanja zmanjšajo. V celotnem obravnavanem obdobju, razen meseca maja, so izračunane vrednosti višje od dejanskih. Minimalne dnevne temperature se razlikujejo manj od maksimalnih, in sicer do ene in pol stopinje.

Tako kot pri kritičnih razmerah so tudi tukaj opazna večja dnevna nihanja izračunanih temperatur kot dejansko izmerjenih (PRILOGA B.1/a–c).

Če bi odšteli začetno temperaturno odstopanje pri HE Blanca, bi lahko približno določili natančnost programa HOTRIVER. Za točno analizo pa je bila izvedena simulacija srednjih razmer od aprila do septembra, kjer je bila kot začetna temperatura vodotoka vnešena dejansko izmerjena pri HE Blanca. Rezultati so za dnevne maksimume podani v preglednici 11, grafično pa so primerjave prikazane v prilogi B.1/a–c.

Rezultati kažejo na razmeroma slabo ujemanje merjenega in izračunanega segrevanja vode. Velikostni redi razlik se gibljejo med 0,5 in 1 stopinjo Celzija pri prvem maksimumu in do 0,75 stopinje razlike pri drugem. Program večinoma izračuna večje segrevanje, kot je to bilo dejansko izmerjeno.

Preglednica 11: Odstopanja s programom HOTRIVER izračunanih in merjenih temperatur Save pri NEK za obdobje srednjih razmer.

			April	Maj	Junij	Julij	Avgust	September
ΔT vode (HR)	1. max	[°C]	0,98	-0,5	0,59	1,03	1,05	0,46
		[%]	8,1	-4,01	3,25	4,8	5,3	2,88
	2. max	[°C]	0,57		-0,72		0,03	
		[%]	4,74		-3,73		0,16	

5.4 Analiza občutljivosti

Z analizo občutljivosti ugotovimo, kako spreminjanje vhodnih parametrov vpliva na rezultat programa oziroma za koliko se rezultat spremeni, če nek vhodni podatek povečamo ali pomanjšamo za neko vrednost. Pri tem gre predvsem za primerjavo večjega števila rezultatov pri spreminjanju enega vhodnega podatka in primerjavo občutljivosti modela na različne parametre.

Tako analizo je priporočljivo narediti v postopku določevanja natančnosti modelov. Smiselno jo je narediti tudi, ko vhodni podatki niso dovolj natančni, bodisi zaradi pomanjkanja meritev, bodisi zaradi poenostavitve modela.

Preverjali smo občutljivost na temperaturo zraka, globalno sevanje, zračno vlago, hitrost vetra ter pretok za kritične razmere v juliju 2010 in srednje razmere v avgustu 2010 ter še dodatno na začetno temperaturo vode za srednje razmere za oba modela, torej za HOTCHAIN na odseku od sotočja Savinje in Save do HE Blanca ter za HOTRIVER na odseku od HE Blanca do NEK.

5.4.1 Vpliv meteorologije

Meteorološki podatki, ki so bili vstavljeni v modela HOTRIVER in HOTCHAIN, so bili merjeni na območju Novega mesta, torej nekaj deset kilometrov stran od same lokacije hidroelektrarn.

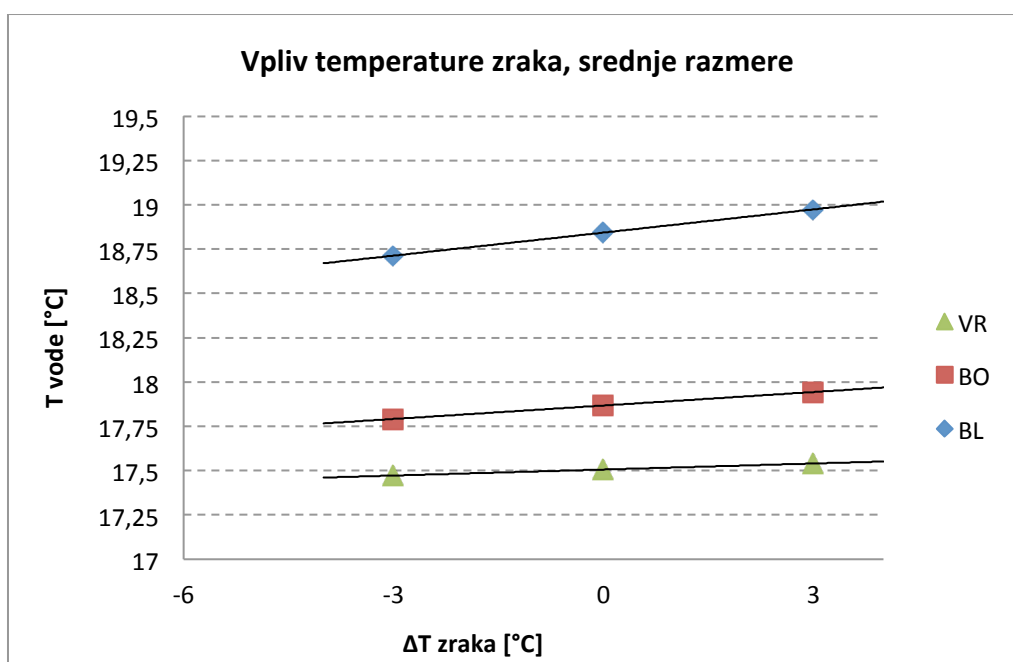
Občutljivostna analiza je narejena za vsak meteorološki parameter posebej, pri enakem pretoku in začetni temperaturi vode, ki sta odvisna od obravnavanega obdobja, torej obdobja srednjih in kritičnih pogojev.

Posledica enakega pretoka je konstanten čas potovanja vodnega delca, kar pomeni, da so v profilih rezultati enostavno primerljivi.

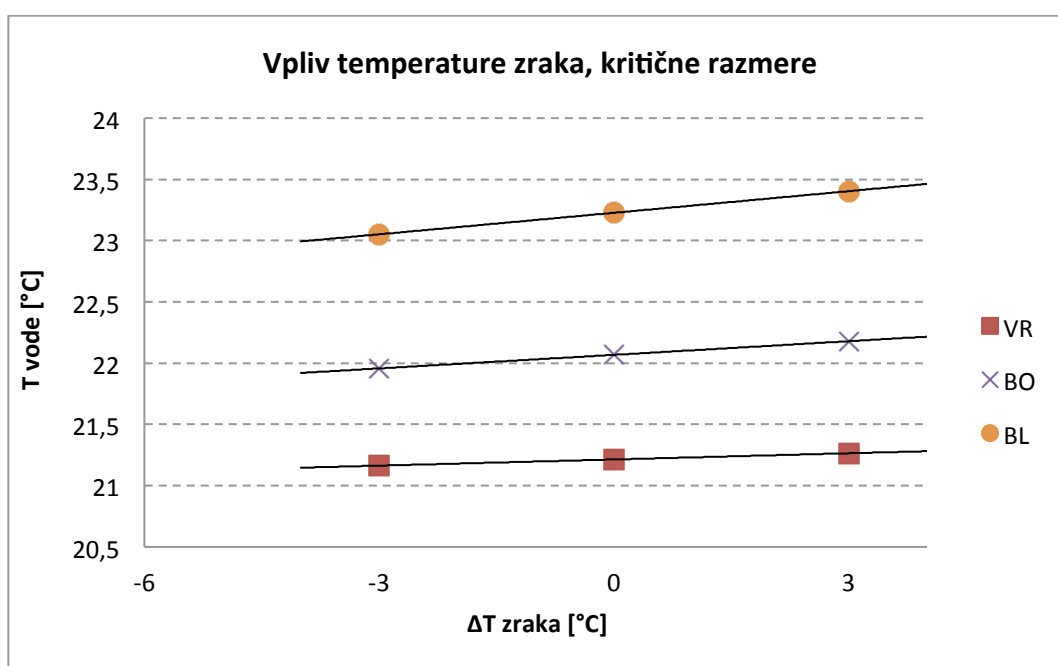
5.4.1.1 Temperatura zraka

V obdobju simulacije smo dnevni diagram temperature zraka povišali in znižali za 3 stopinje Celzija.

Grafikona 17 in 18 prikazujeta vpliv spremembe temperature zraka srednjih razmer v avgustu 2010 in kritičnih v juliju 2010 na temperature vode pri HE Vrhovo, HE Boštanj in HE Blanca.



Grafikon 17: Vpliv spremembe temperature zraka srednjih razmer v avgustu 2010 pri hidroelektrarnah.



Grafikon 18: Vpliv spremembe temperature zraka kritičnih razmer v juliju 2010 pri hidroelektrarnah.

Razvidno je, da je trend naraščanja temperature vode v odvisnosti od temperature zraka praktično linearen. Naklon trendne linije se od prve elektrarne v verigi, HE Vrhuvo, do zadnje, HE Blanca, povečuje, kar je logično, saj se z vsako naslednjo hidroelektrarno povečuje čas potovanja vodnega delca in vpliv temperature zraka narašča.

Preglednica 12 prikazuje, za koliko odstotkov se spremeni temperatura vode pri vsaki hidroelektrarni posebej ter za koliko odstotkov se voda več ali manj segreje od začetka do konca verige, če temperaturo zraka spremenimo za 3 stopinje Celzija.

Preglednica 12: Vpliv spremembe temperature zraka na temperaturo vode pri vsaki HE za srednje in kritične razmere.

	Srednje razmere				Kritične razmere			
	VR	BO	BL	ΔT verige	VR	BO	BL	ΔT verige
+3 °C	0,19 %	0,41 %	0,67 %	6,6 %	0,23 %	0,49 %	0,72 %	5,55 %
-3 °C	-0,2 %	-0,44 %	-0,71 %	-6,96 %	-0,24 %	-0,51 %	-0,79 %	-6,09 %

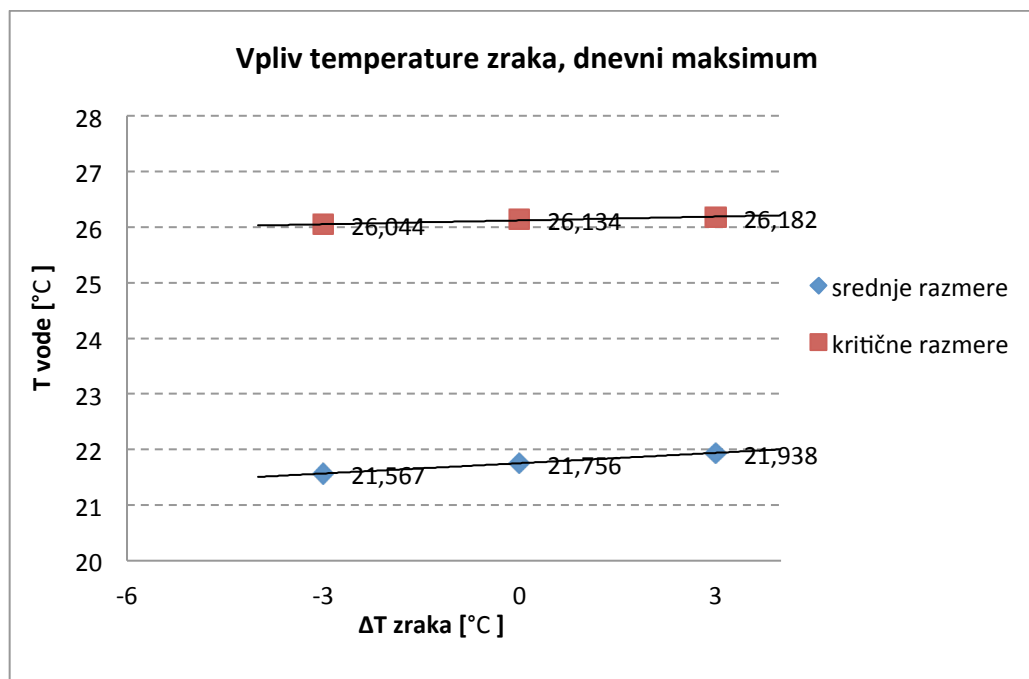
Preglednica 13: Vpliv spremembe temperature zraka na segrevanje vode od sotočja Save in Savinje do HE Blanca za srednje in kritične razmere.

Sprememba temperature od sotočja do HE Blanca		
	Srednje razmere	Kritične razmere
+3 °C	2,05 °C	3,2 °C
Dejansko	1,93 °C	3,03 °C
-3 °C	1,79 °C	2,84 °C

Rezultati kažejo, da se pri hidroelektrarni Blanca temperatura vode, pri spremembi temperature zraka za 3 stopinje Celzija, spremeni za manj kot 1 odstotek vrednosti. Večje razlike se pokažejo po primerjavi spremembe temperature vzdolž verige (preglednica 13), saj se pri srednjih razmerah voda od sotočja do HE Blanca segreje za 2,05 °C, kar pomeni 6,6 odstotkov več kot v primeru, če temperature zraka ne bi povišali za 3 °C. Če pa temperaturo zraka znižamo, se voda vzdolž verige segreje za 6,96 odstotkov manj kot pri dejanski srednji temperaturi zraka. V kritičnih pogojih so te razlike malo nižje.

Očitno je, da ima sprememba temperature zraka večji vpliv pri kritičnih kot pa pri srednjih razmerah, le pri segrevanju vodnega delca preko celotne verige je vpliv ravno obraten. Predpostavljamo, da je to zaradi višje začetne temperature vode v kritičnih razmerah.

Vpliv spremembe temperature zraka na nezajezeni del Save, torej od HE Blanca do NEK, je prikazan na grafikonu 19 in v preglednici 14. Grafično je prikazan dnevni maksimum, kjer je trendna črta zopet skoraj linearna, za kritične pogoje pa je njen naklon manjši od trendne črte pri srednjih razmerah. Tudi v tem primeru je to povezano z višjimi začetnimi temperaturami vode.



Grafikon 19: Vpliv temperature zraka na dinamiko temperature vode pri NEK za srednje in kritične razmere.

V spodnji tabeli so prikazane odstotne vrednosti spremembe temperature vode pri dnevnem maksimumu in minimumu. Opazimo lahko, da je razlika temperature vode ponoči večja kot podnevi.

Preglednica 14: Vpliv temperature zraka na spremembo temperature vode dnevnega maksimuma in minimuma pri NEK za srednje in kritične razmere.

	Srednje razmere		Kritične razmere	
	Dnevni maksimum	Dnevni minimum	Dnevni maksimum	Dnevni minimum
+3 °C	0,84 %	0,98 %	0,18 %	0,98 %
-3 °C	-0,87 %	-1,01 %	-0,34 %	-1,06 %

5.4.1.2 Globalno sevanje

Na podoben način pogledjmo, kakšen vpliv na rezultate ima sprememba globalnega sevanja. Sevanje smo povišali in znižali za 15 odstotkov.

Preglednica 15 prikazuje, za koliko odstotkov se spremeni temperatura vode pri vsaki hidroelektrarni posebej ter za koliko odstotkov se voda več ali manj segreje od začetka do konca verige, če spremenimo globalno sevanje za 15 odstotkov. Razvidno je, da je prirastek temperature vode tudi pri sevanju linearen in da njegova sprememba najbolj vpliva na temperaturo vode pri HE Blanca.

Preglednica 15: Vpliv spremembe globalnega sevanja na temperaturo vode za srednje in kritične razmere pri hidroelektrarnah.

	Srednje razmere				Kritične razmere			
	VR	BO	BL	ΔT verige	VR	BO	BL	ΔT verige
+15 %	0,57 %	0,92 %	1,7 %	16,6 %	0,81 %	1,47 %	2,1 %	16,1 %
-15 %	-0,57 %	-0,92 %	-1,7 %	-16,6 %	-0,81 %	-1,47 %	-2,23 %	-17,1 %

Preglednica 16: Vpliv spremembe globalnega sevanja na segrevanje vode od sotočja Save in Savinje do HE Blanca za srednje in kritične razmere.

Sprememba temperature od sotočja do HE Blanca		
	Srednje razmere	Kritične razmere
+15 %	2,25 °C	3,52 °C
Dejansko	1,93 °C	3,03 °C
-15 %	1,61 °C	2,51 °C

Rezultati kažejo, da se pri hidroelektrarni Blanca temperatura vode pri spremembi globalnega sevanja za 15 odstotkov, spremeni za približno 2 odstotka vrednosti. Večje razlike se pokažejo po primerjavi spremembe temperature vzdolž verige (preglednica 16), saj se pri srednjih razmerah voda od sotočja do HE Blanca segreje za 2,25 °C, kar pomeni 16,6 % več kot v primeru, če globalnega sevanja ne bi zvišali.

Vpliv na nezajezeni del Save je prikazan v spodnji preglednici. Trendna črta je zopet linearna. Opazimo lahko, da je razlika temperature vode podnevi večja kot ponoči.

Preglednica 17: Vpliv globalnega sevanja na spremembo temperature vode dnevnega maksimuma in minimuma pri NEK za srednje in kritične razmere.

	Srednje razmere		Kritične razmere	
	Dnevni maksimum	Dnevni minimum	Dnevni maksimum	Dnevni minimum
+15 %	3,48 %	1,68 %	3,06 %	1,98 %
-15 %	-3,48 %	-1,68 %	-3,17 %	-2,18 %

5.4.1.3 Zračna vlaga in veter

Vpliv zračne vlage in vetra je manjši od vplivov temperature zraka in globalnega sevanja.

Pri spremembi zračne vlage za $\pm 10\%$ se temperatura vode pri HE Blanca in NEK spremeni za manj kot 0,4 odstotke pri srednjih in kritičnih pogojih. Na segrevanje delca od začetka do konca verige sprememba vlage vpliva za manj kot 1,5 odstotkov.

Hitrost vetra je bila pri srednjih avgustovskih in kritičnih razmerah spremenjena za 50 odstotkov, njegov vpliv na rezultate pa je pri izračunanih hitrostih do maksimalno 6,6 m/s še precej manjši.

5.4.1.4 Vpliv spremembe meteoroloških parametrov na toplotno bilanco vodnega telesa

Do sedaj smo analizirali vpliv spremembe vhodnih meteoroloških parametrov na temperaturo in segrevanje vode, v tem poglavju pa je predstavljen še en možen način analize in sicer primerjava prejete energije vodnega elementa v času potovanja vodnega delca pri različnih vrednostih vhodnih parametrov za srednje in kritične razmere. Temperatura zraka je bila tudi tokrat zvišana in znižana za 3 stopinje Celzija, globalno sevanje za 15 odstotkov, zračna vlaga za 10 odstotkov, hitrost vetra pa je bila spremenjena za 50 odstotkov.

Program HOTCHAIN omogoča izpis dovedene energije v času simulacije za vsako akumulacijsko jezero, kar predstavlja vsoto neto kratkovalovnega sevanja, dolgovalovnega sevanja ozračja, dolgovalovnega sevanja vodnega telesa na površini, izgube toplote zaradi izhlapevanja ter konvekcijske izmenjave toplote.

V spodnjih štirih preglednicah je podana energija, ki je bila dobljena kot rezultat občutljivostne analize na meteorološke parametre. Energija je odvisna tako od zadrževalnega časa v akumulaciji, kar je povezano tudi z njeno velikostjo, kot tudi od časovne razporeditve potovanja vodnega delca po bazenu, kar pomeni, da dalj časa ko je ta potoval podnevi, več energije je akumulacija prejela.

Preglednica 18: Energija pri srednjih in kritičnih razmerah pri spremembi temperature zraka

	Energija [MJ/m^2] - srednje razmere			Energija [MJ/m^2] - kritične razmere		
	$T_{\text{zraka}} +3\text{ }^{\circ}\text{C}$	Dejansko	$T_{\text{zraka}} -3\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{zraka}} +3\text{ }^{\circ}\text{C}$	Dejansko	$T_{\text{zraka}} -3\text{ }^{\circ}\text{C}$
Bazen VR	18,8	17,84	16,85	31,27	29,88	28,39
Bazen BO	9,82	8,62	7,36	28,35	26,65	24,84
Bazen BL	25,4	23,85	22,23	38,13	36,38	34,32
Σ	54,02	50,31	46,44	97,75	92,91	87,55

Preglednica 19: Energija pri srednjih in kritičnih razmerah pri spremembi globalnega sevanja

	Energija [MJ/m ²] - srednje razmere			Energija [MJ/m ²] - kritične razmere		
	Sevanje +15 %	Dejansko	Sevanje -15 %	Sevanje +15 %	Dejansko	Sevanje -15 %
Bazen VR	20,86	17,84	14,82	34,96	29,88	24,8
Bazen BO	10,22	8,62	7,02	31,29	26,65	22,02
Bazen BL	27,72	23,85	19,98	41,38	36,38	30,31
Σ	58,8	50,31	41,82	107,63	92,91	77,13

Preglednica 20: Energija pri srednjih in kritičnih razmerah pri spremembi zračne vlage

	Energija [MJ/m ²] - srednje razmere			Energija [MJ/m ²] - kritične razmere		
	Vlaga +10 %	Dejansko	Vlaga -10 %	Vlaga +10 %	Dejansko	Vlaga -10 %
Bazen VR	17,97	17,84	17,63	30,2	29,88	29,52
Bazen BO	8,83	8,62	8,34	27,03	26,65	26,24
Bazen BL	24,18	23,85	23,47	36,81	36,38	35,9
Σ	50,98	50,31	49,44	94,04	92,91	91,66

Preglednica 21: Energija pri srednjih in kritičnih razmerah pri spremembi hitrosti vetra

	Energija [MJ/m ²] - srednje razmere			Energija [MJ/m ²] - kritične razmere		
	Veter +50 %	Dejansko	Veter -50 %	Veter +50 %	Dejansko	Veter -50 %
Bazen VR	17,86	17,84	17,83	29,69	29,88	30,06
Bazen BO	8,67	8,62	8,57	26,47	26,65	26,84
Bazen BL	23,95	23,85	23,75	36,14	36,38	36,62
Σ	50,48	50,31	50,15	92,3	92,91	93,52

Pri primerjavi rezultatov lahko pridemo do podobnega zaključka kot že pri primerjavi temperature vode. Prirastek energije se približno linearno povečuje z višanjem posameznega parametra, ta je največji pri globalnem sevanju, sledijo pa mu temperatura zraka, zračna vlaga ter hitrost vetra. Največja občutljivost toplotne bilance je na spremembo globalnega sevanja ter temperaturo zraka, namanjša pa na hitrost vetra. Večje razlike energij so pri kritičnem obdobju kot pa pri srednjem.

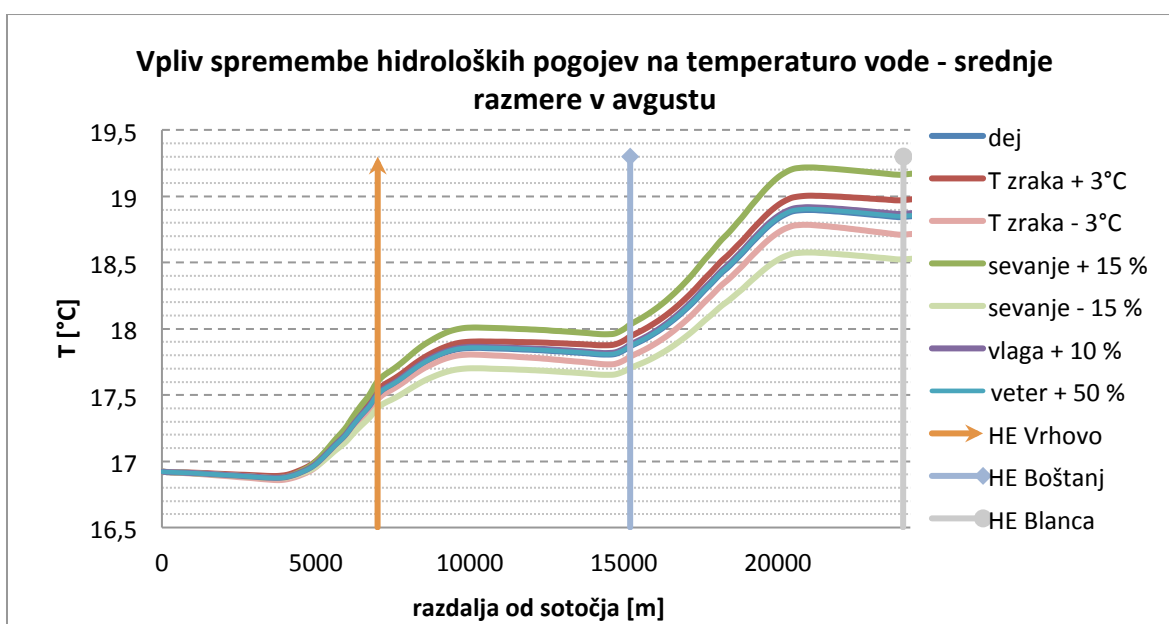
Tako narejena občutljivostna analiza bolj nazorno pokaže kako, se v vodno telo dovedena energija pri spremembi vhodnega podatka spreminja, vendar pa je pri poljubni meteorološki spremembi rezultat programa, t.j. temperaturo vode težje napovedati.

5.4.1.5 Povzetek analize občutljivosti meteoroloških podatkov

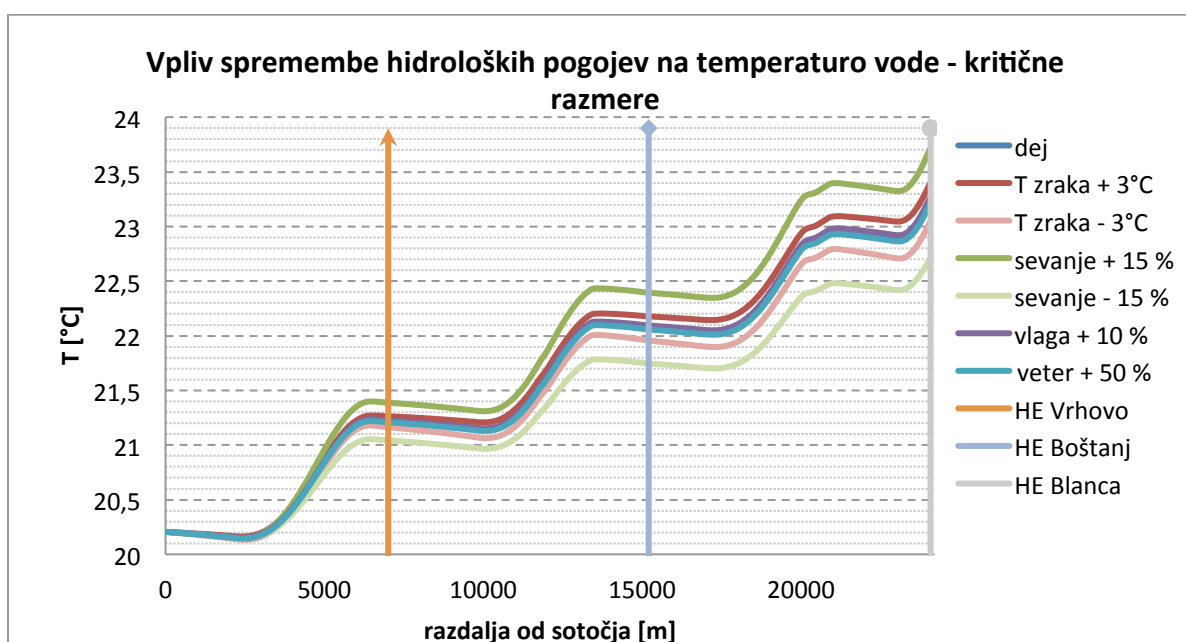
Največji vpliv na temperaturo vode ima globalno sevanje, sledi mu temperatura zraka, medtem ko je vpliv zračne vlage zanemarljiv. Rezultati analize kažejo na majhen vpliv vetra, kar je posledica redkega pojava močnih vetrov, ob katerih bi bil lahko njihov vpliv občutno večji.

Za verigo hidroelektrarn je značilno, da so razlike med temperaturami pri posamezni elektrarni v primeru kritičnih razmer večje kot v primeru srednjih, vendar pa je segrevanje vodnega delca enako ali celo manjše.

Na spodnjih dveh grafikonih 20 in 21 je prikazan vpliv meteoroloških parametrov na temperaturo vode na odseku verige hidroelektrarn.



Grafikon 20: Vpliv spremembe meteoroloških pogojev na temperature vode v času avgustovskih srednjih razmer.



Grafikon 21: Vpliv spremembe meteoroloških pogojev na temperature vode v času kritičnih razmer.

5.4.2 Vpliv hidroloških parametrov

Poleg meteoroloških parametrov so lahko tudi hidrološki vhodni podatki vzrok za odstopanje dejanskih in merjenih rezultatov.

V tem primeru smo spreminjali pretok in začetno temperaturo vode, vsakega posebej, ostali vhodni podatki so ostali nespremenjeni.

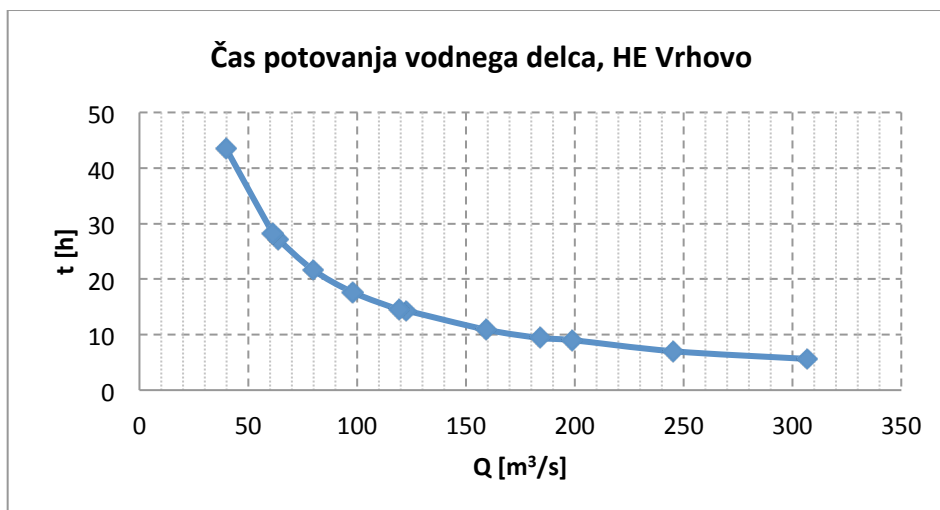
Pretok je v oba programa vnešen kot povprečen v obdobju simulacije, kar je lahko težava v primeru, ko pretok ni konstanten, na primer, če obravnavano obdobje sledi deževnem obdobju, pretok praviloma narašča.

Težava začetne temperature vode je, da ta ni merjena na sotočju, temveč se jo tam izračuna iz podatkov VP Hrastnik in VP Veliko Širje, ki pa sta kar nekaj kilometrov oddaljena od sotočja.

5.4.2.1 Pretok

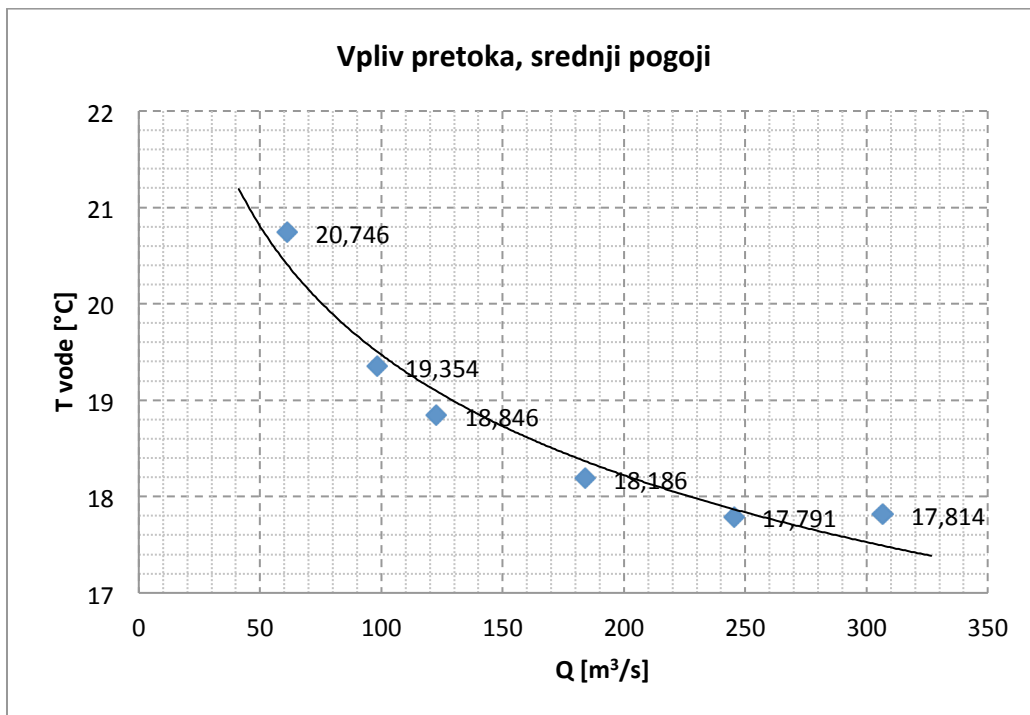
Vodni element smo spremljali najprej skozi verigo hidroelektrarn in nato vse do NEK, pretok pa smo spreminjali za 150, 100, 50, -20 ter -50 odstotkov od tistega pri srednjih ter kritičnih pogojih.

Problem analize vpliva pretoka je v tem, da se s pretokom spreminja tudi čas potovanja vodnega delca, kar pa zelo vpliva na temperaturo vode (grafikon 22). Temperatura vode se viša preko dneva, ponoči pa se ohlaja. V korenu akumulacije je vodni tok najhitrejši, ta pa se z večanjem prečnega prereza linearno zmanjšuje zaradi predpostavke o enakomerni hitrosti po prerezu (IBE, 2003).

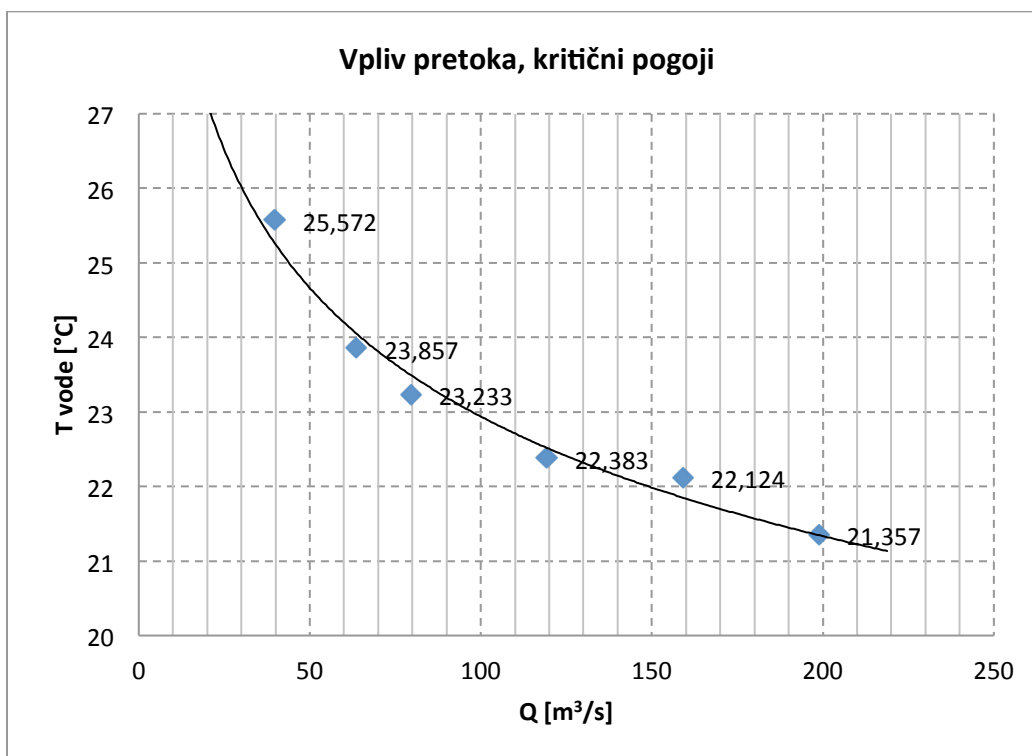


Grafikon 22: Čas potovanja vodnega delca od sotočja Save in Savinje do HE Vrhovo v odvisnosti od pretoka.

Na grafikonih 23 in 24 je prikazan vpliv spremembe pretoka na temperaturo vode v profilu HE Blanca.



Grafikon 23: Vpliv spremembe pretoka na temperaturo vode pri HE Blanca za srednje razmere v avgustu 2010.



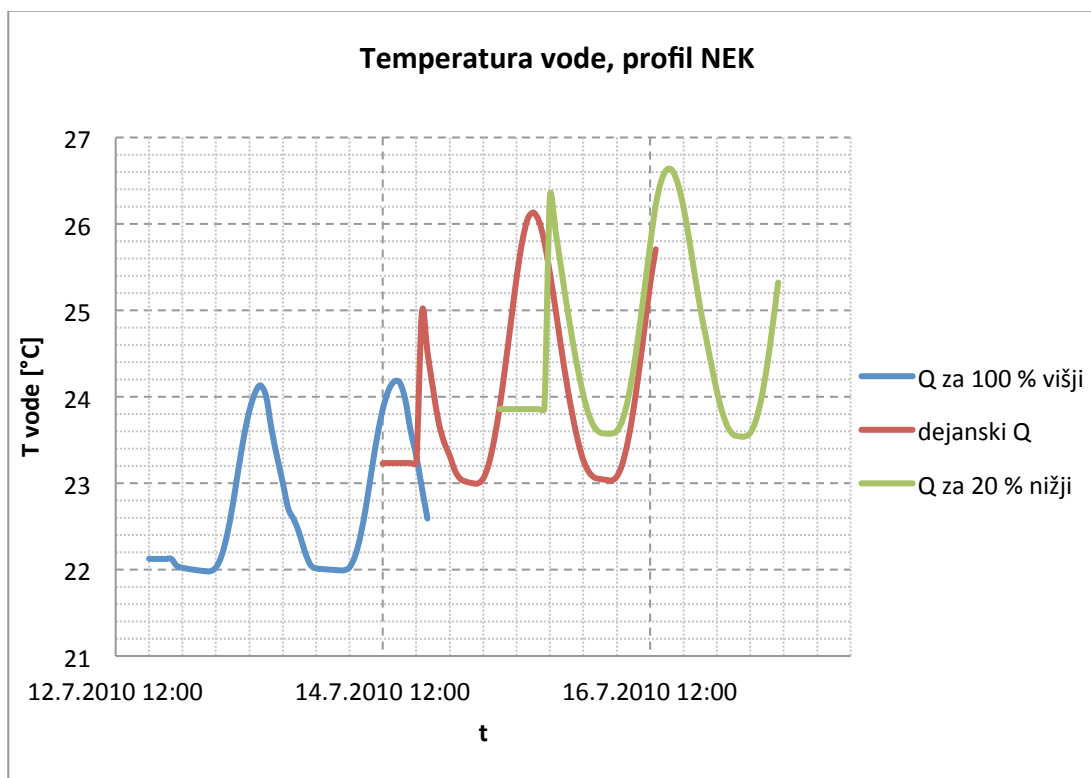
Grafikon 24: Vpliv spremembe pretoka na temperaturo vode pri HE Blanca za kritične razmere v juliju 2010.

Iz grafikonov je očitno, da se z manjšanjem pretoka temperatura vode viša in obratno. Poleg tega je očitno in logično, da so pri istem pretoku in različnih meteoroloških pogojih, srednjih in kritičnih, temperature vode različne.

Trendna črta ni linearna, kar pomeni, da če nek pretok povišamo in znižamo za enak odstotek, prirastek temperature vode ne bo enak.

Za primer naj navedemo rezultat za srednje razmere, ki kaže, da se pri 100-odstotnem povišanju pretoka spremeni razlika temperature vode od sotočja do HE Blanca za 0,87 stopinje Celzija, kar predstavlja -54,78-odstotno razliko od spremembe temperature z dejanskim pretokom. Pri 50-odstotnem znižanju pretoka pa se spremeni razlika temperature vode od sotočja do HE Blanca za 3,83 stopinje Celzija, kar predstavlja kar 98,65-odstotno razliko od spremembe z dejanskim pretokom.

Prav tako je nemogoča natančna primerjava na odseku od HE Blanca do NEK. Za primer je prikazan grafikon temperature vode v profilu NEK za kritične razmere (grafikon 25), kjer je vidno, da vodni delec pri večjem pretoku potuje hitreje kot pri manjšem, da se rezultati v nekem času ne morejo primerjati in da je temperatura vode pri višjem pretoku nižja kot pri nižjem.

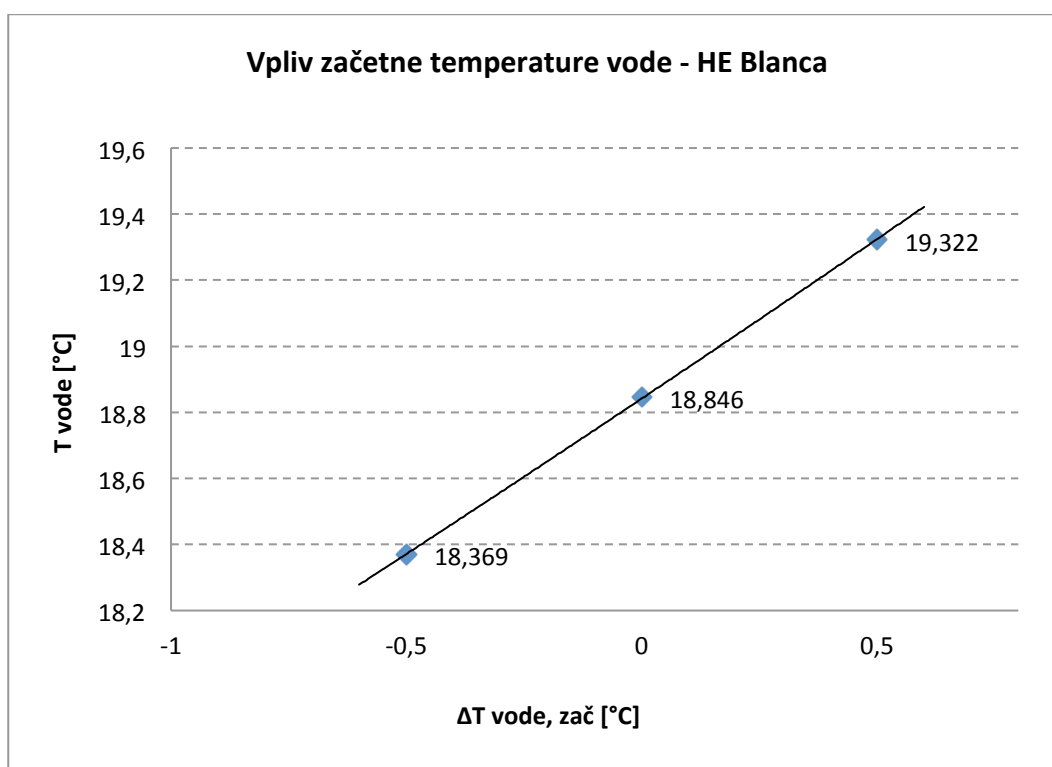


Grafikon 25: Vpliv spremembe pretoka na dinamiko temperature vode in čas potovanja vodnega delca pri NEK za kritične razmere.

5.4.2.2 Začetna temperatura vode

Analiza občutljivosti na začetno temperaturo vode je bila narejena le za obdobja srednjih pogojev. Temperaturo vode na sotočju se je povišalo in znižalo za 0,5 stopinje Celzija.

Rezultati pri HE Blanca so prikazani na grafikonu 26 in v preglednici 22. Primerjava kaže, da se začetne temperaturne razlike vzdolž toka v neki meri ohranjajo. Trend višanja temperature je linearen, največji vpliv pa ima pri bazenu Vrhovo.

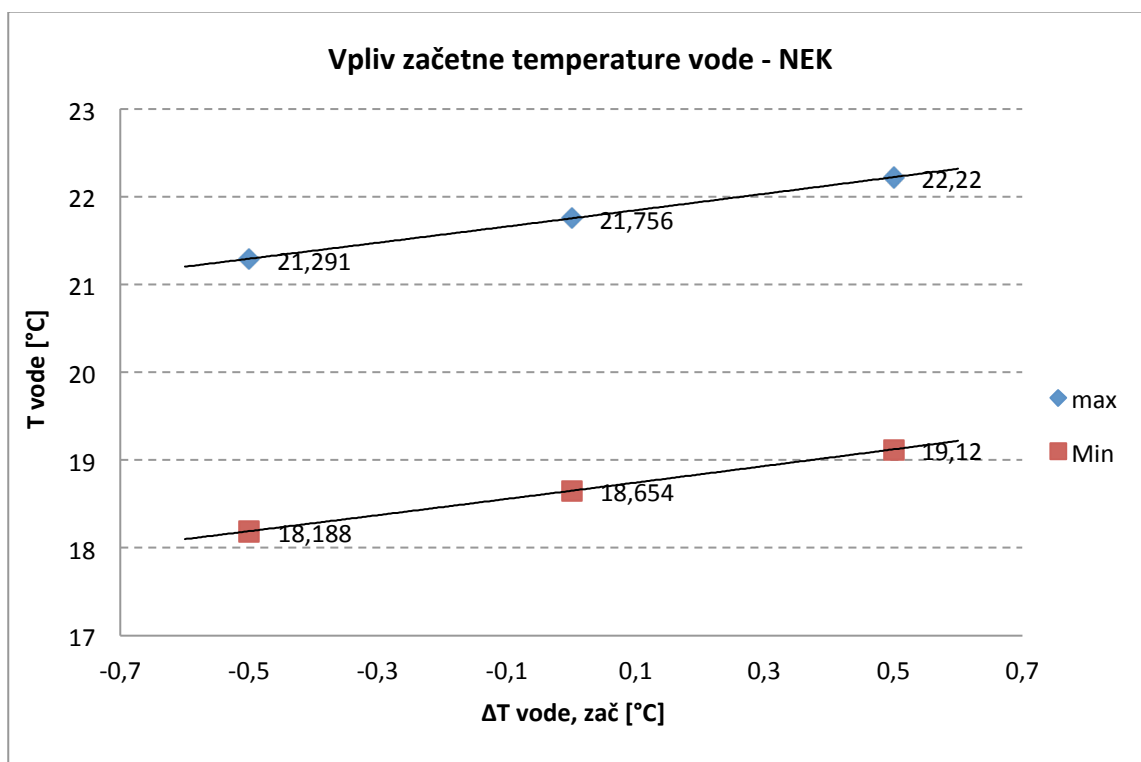


Grafikon 26: Vpliv spremembe začetne temperature Save pri sotočju s Savinjo na temperaturo vode pri HE Blanca za srednje razmere v avgustu 2010.

Preglednica 22: Vpliv spremembe začetne temperature Save na segrevanje vode od sotočja s Savinjo do HE Blanca za srednje razmere.

$\Delta T_{\text{vode, zač. na sotočju}}$	Priratek T_{vode} pri HR Blanca
+ 0,5 °C	1,90 °C
dejansko	1,43 °C
- 0,5 °C	0,95 °C

Tudi pri NEK se začetna temperaturna razlika ohranja, tako pri dnevnem maksimumu kot tudi pri minimumu (grafikon 27).



Grafikon 27: Vpliv spremembe začetne temperature Save pri HE Blanca na temperaturo vode pri NEK za srednje razmere v avgustu 2010.

5.4.3 Zaključek

Glede na opisano vpliva na temperaturo vode na obravnavanem odseku v največji meri pretok oziroma potovanje vodnega delca. Do največjih dvigov rečnih temperatur prihaja pri minimalnih pretokih, ko je zadrževalni čas v odseku najdaljši, kar pomeni tudi najdaljšo izpostavljenost meteorološkim razmeram. Dodaten vpliv ima čas potovanja podnevi in s tem povezane višje temperature zraka in višje sončno sevanje.

Na končen rezultat pa močno vpliva tudi začetna temperatura vodotoka. Vsako odstopanje meritev od dejanske začetne temperature bi pomenilo tudi skoraj enak prirastek pri rezultatu.

5.5 Odstopanje rezultatov – vzroki in rešitve

Rezultati simulacij se ne ujemajo zadovoljivo z dejanskimi meritvami. Vzroke tega lahko iščemo v konceptualnih poenostavitvah obeh uporabljenih računalniških programov, v točnosti vhodnih podatkov in v natančnosti merjenih podatkov, s katerimi primerjamo rezultate.

5.5.1 Točnost vhodnih podatkov

Kot je bilo v poglavju o vhodnih podatkih že omenjeno, nekateri parametri niso bili pridobljeni z mesta simulacije, temveč privzeti z merilnih mest izven same lokacije. Tako so bili meteorološki podatki pridobljeni na meteorološki postaji v Novem mestu, pretok in temperatura vode na sotočju Save in Savinje, ki sta potrebna za zagon programa HOTCHAIN, pa sta bila izračunana iz gorvodnih vodomernih postaj VP Hrastnik na Savi in VP Veliko Širje na Savinji.

Pri oceni vpliva odstopanj vhodnih podatkov na rezultate simulacij si lahko pomagamo tudi z narejeno občutljivostno analizo programa, ki je predstavljena v poglavju 5.4.

Na podlagi primerjave temperatur zraka iz Novega mesta in HE Vrhovo (grafikon 6) bi lahko rekli, da je **vpliv meteoroloških podatkov** na odstopanje rezultatov zanemarljiv. Vendar pa globalnega sevanja, ki ima po pregledu občutljivostne analize dokaj velik vpliv na rezultate, ni bilo mogoče primerjati, saj se na obravnavanem območju meritve sevanja ne izvajajo.

Morebitna nenatančna določitev **pretoka** na sotočju v času simulacije bi lahko na rezultate vplivala predvsem v primeru, če se obravnavano obdobje približa kritičnim ali ekstremnim razmeram, za katere so značilne visoke temperature zraka, visoko globalno sevanje ter nizki pretoki.

Dodaten vpliv pretoka na odstopanja rezultatov je uporabljena poenostavitev v obeh programih, ki predpostavljata konstanten pretok v času simulacije. Če se ta dejansko niža, se voda bolj segreva, kot če je pretok konstanten in obratno.

Začetna temperatura vodotoka na segrevanje vode ne vpliva toliko kot na vrednost izračunane temperature na koncu odseka, kar pomeni, da se ob najmanjši spremembi temperature vode na sotočju Save in Savinje oziroma pri HE Blanca za približno enako razliko spremenijo rezultati tudi v ostalih opazovanih profilih. V primeru, da se privzeta temperatura vode na sotočju od dejanske razlikuje za na primer le eno desetinko stopinje, se bo skoraj enaka razlika temperature ohranjala vse do HE Blanca, posledično pa se bo odstopanje zaznalo tudi pri NEK, saj je v program HOTRIVER kot začetna temperatura Save vnešen rezultat programa HOTCHAIN pri HE Blanca.

Oba programa predpostavljata konstantno začetno temperaturo vode, kar pri verigi hidroelektrarn nima vpliva na rezultate, saj vodni delec spremljamo od začetka do konca verige in sprememba temperature vodotoka pri sotočju nanj po začetku simulacije ne vpliva več. Na nezajezenem delu reke, ko

opazujemo dinamiko temperature vode pri NEK, pa bi ta predpostavka v primeru nihanja dejanske temperature pri HE Blanca lahko vplivala na rezultate.

5.5.2 Zanesljivost meritev MOSS

V študiji o termiki spodnje Save podjetja IBE (2009) je bilo zapisano, da bi znala biti lokacija meritev MOSS ob desnem krilnem zidu hidroelektrarn problematična z vidika reprezentativnosti meritve v primeru obratovanja samo enega agregata. Potemtakem bi lahko dvomili v točnost podatkov, s katerimi primerjamo rezultate programa HOTCHAIN in na podlagi katerih se ocenjuje oziroma verificira program.

V maju in juliju leta 2011 je bila s strani Inštituta za hidravlične raziskave izvedena kontrola meritev temperatur vode na omenjenih problematičnih lokacijah. Meritve so bile izvedene v vsakem turbinskem iztoku posebej ter na lokaciji, v kateri se izvaja referenčna meritev temperature vode, torej ob desnem krilnem zidu vzdolž turbinskega iztoka agregata 3. Temperature vode so bile izmerjene na globini enega metra oziroma na globini, kjer se nahaja sonda za stalno merjenje referenčne temperature vode, s časovnim intervalom 30 sekund.

Analiza meritev (priloga C.3/a–c) je pokazala na zelo dobro ujemanje meritev referenčne temperature vode Tref in temperatur vode na turbinskih iztokih. Prav tako je zelo dobro ujemanje izmerjenih temperatur pri HE Blanca z referenčno temperaturo vode, a nekoliko slabše pri HE Vrhovo in HE Boštanj.

V tem trenutku še ni mogoče dokončno oceniti primernost lokacije, a dobro ujemanje pri HE Blanca, kjer je merilna sonda postavljena dlje od elektrarne kot pri HE Vrhov in HE Boštanj, kaže, da bi bilo v nadaljevanju študije na HE Vrhovo in HE Boštanj potrebno izvesti in analizirati meritve temperature vode tudi dolvodno od obstoječe lokacije za merjenje referenčne temperature vode.

5.5.3 Predpostavka programa HOTCHAIN o toplotnem obnašanju akumulacije kot reke

Program HOTCHAIN predpostavlja enakomerno razporeditev temperature vode po prečnem prerezu, kar pomeni, da se v akumulaciji ne ustvari zgornji topli sloj, ki bi globlje plasti jezera ščitil pred segrevanjem.

Glede na rezultate, kjer so izračunane temperature vode praviloma višje od dejanskih, bi lahko predvidevali, da se v akumulacijah kljub drugačni predpostavki v poletnih mesecih ustvari zgornji topli sloj, zato se preostali del vodnega telesa ne segreva toliko, kot bi se sicer.

V času vročih poletnih dni, 13. in 14. julija tega leta, ko je največja verjetnost pojava stratifikacije, so se na odseku spodnje Save izvajale meritve, ki bi potrdile ali ovrgle teorijo o napačni predpostavki programa.

Meritve temperature vode so bile s strani Inštituta za hidravlične raziskave izvedene šestkrat dnevno v času 24 ur v vseh treh akumulacijah, t. j. v bazenih Vrhov, Bošanj in Blanca, v petih enakomerno razporejenih vertikalnih vzdolž osi struge na globinah 0,0 (tik pod gladino), 0,25, 0,75, 1,0, 2,0 metra ter nato v vsakem nadaljnjem metru do dna.

Rezultati meritev, ki so podani v prilogi C.3/a–c, kažejo na precejšno stratifikacijo v vseh treh akumulacijah, najbolj pa je opazna v bazenu Blanca. Pojav plastenja je najmanj opazen v korenu akumulacij, v bližini pregrade pa je precejšen. Plast termokline, za katero je značilen oster prehod temperature vode, je zelo izrazita, medtem ko je zgornja topla plast manj opazna. Stratifikacija je največja v popoldanskem času, namanjša pa ponoči in zgodaj zjutraj. Največja razlika v temperaturi vode med gladino in dnom je bila zabeležena v akumulaciji Blanca, v bližini pregrade ob 18:45 in je znašala kar 11,3 stopinje Celzija.

5.5.4 Trendi rezultatov obdobja srednjih razmer

Eden od načinov za popravek rezultatov je določitev trenda napak, s pomočjo katerega bi lahko rezultate "ročno" popravili.

V ta namen smo naredili simulacije srednjih razmer za vsak mesec posebej in skušali ugotoviti logično povezavo med odstopanji dejanskih in izračunanih temperatur vode. Preverjali smo vpliv meteoroloških in hidroloških pogojev na odstopanja, primerjali globalno sevanje, temperaturo vode in zraka ter pretok vsakega meseca s kritičnimi pogoji, v katerih se skoraj zagotovo pojavi vpliv stratifikacije ter opazovali čas potovanja delca po posamezni akumulaciji (glej preglednico 8, poglavje 5.3.1), in sicer ali ta po akumulaciji potuje pretežno ponoči ali podnevi.

Osnovna hipoteza za odstopanje programa HOTCHAIN je bila, da je izračunana izmenjava toplote med vodo in zrakom večja kot je dejanska. Ta predpostavka drži tudi v primeru stratifikacije akumulacijskih bazenov. Podnevi zgornja ogreta plast varuje jezero pred segrevanjem celotnega vodnega telesa, medtem ko ga ponoči varuje pred ohlajanjem.

Slojevitost jezera je pričakovana poleti, v primeru višjih dnevniških temperatur in večjega globalnega sevanja, vendar pa po primerjavi hidroloških in nekaterih meteoroloških pogojev izbranih srednjih

obdobji s kritičnim obdobjem ugotovimo, da se je v večini mesecev vsaj en parameter približal ali celo presegel kritične razmere.

Meseca aprila je globalno sevanje preseglo kritičnega celo za 150 W/m^2 . Junija se temperatura zraka približa kritični, sevanje pa tudi v tem mesecu prekorači kritičnega za 120 W/m^2 . V obravnavanem julijskem obdobju temperatura zraka preseže celo 30 °C , globalno sevanje doseže vrednost 900 W/m^2 , kritično vrednost pa doseže tudi temperatura vode na sotočju Save in Savinje, ki se po začetku simulacije še dvigne. Tako kot julija je tudi avgusta temperatura zraka in globalno sevanje višje od kritičnih meteoroloških razmer, temperatura vode pa se jim zelo približa. Pričakovano se septembra temperatura vode in zraka zniža, vendar pa so tudi v tem mesecu vrednosti globalnega sevanja blizu kritičnim.

V preglednici 23 je prikazan trend odstopanj temperature vode med rezultati programa in dejanskimi meritvami za srednje razmere. Oznaka O pomeni, da odstopanj ni bilo oziroma so bila zanemarljivo majhna, enojni + ali – pomeni, da so bila odstopanja manjša od štirih odstotkov, dvojni znak pa pomeni, da so bila večja od štirih odstotkov.

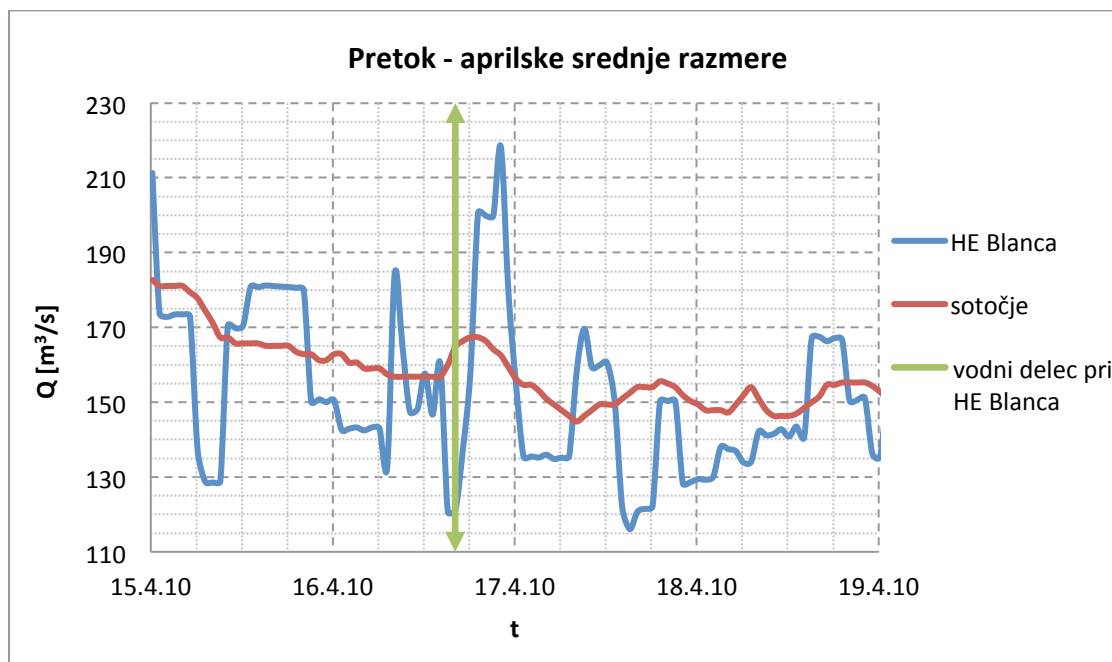
Preglednica 23: Trend odstopanj temperature vode v posameznih akumulacijskih bazenih za srednje razmere.

		April		Maj		Junij		Julij		Avgust		September	
Trend T_{vode} v bazenu	VR	O	-0,012 °C	-	-0,21 °C	+	0,4 °C	+	0,65 °C	+	0,63 °C	+	0,44 °C
			-0,125 %		-2,08 %		2,6 %		3,3 %		3,7 %		3,2 %
	BO	+	0,31 °C	+	0,278 °C	+	0,15 °C	+	0,53 °C	O	0,04 °C	+	0,22 °C
			3,14 %		2,7 %		1 %		2,7 %		0,2 %		1,6 %
	BL	--	-0,79 °C	--	-0,57 °C	+	0,38 °C	++	0,88 °C	+	0,26 °C	O	-0,04 °C
			-7,01 %		-5,1 %		2,4 %		4,3 %		1,4 %		-0,3 %
Q [m³/s]		165		288		144		104		123		115	
T_{vode, zač} [°C]		9,4		9,9		15,5		19,1		16,9		13,7	

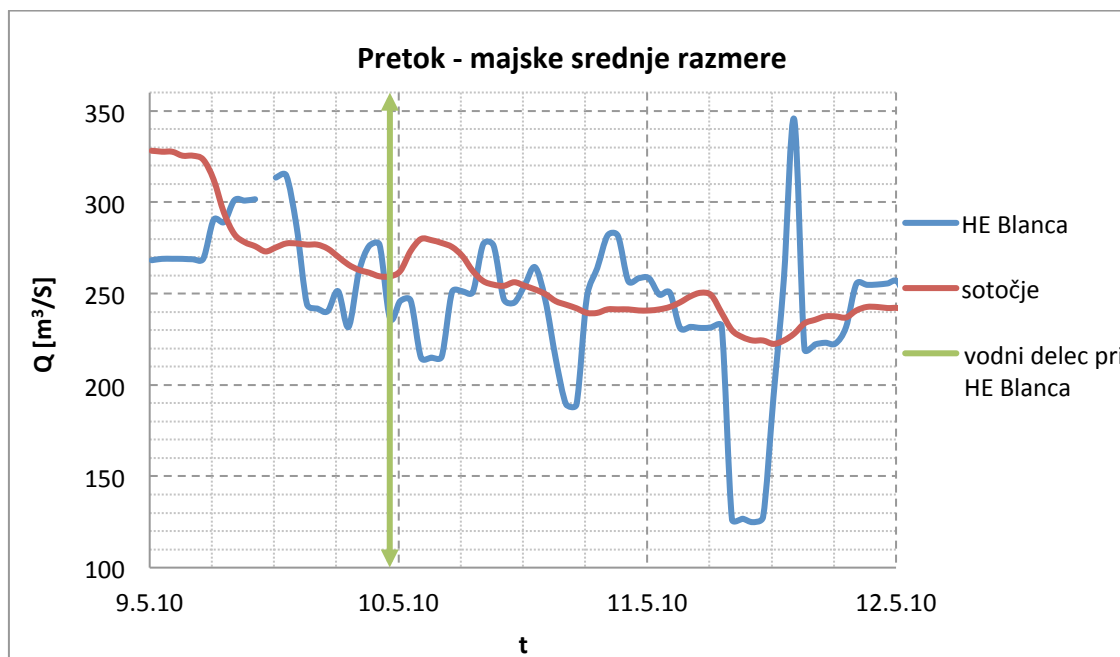
Po primerjavi trenda odstopanj z meteorološkimi in hidrološkimi pogoji ter časa potovanja vodnega delca po posameznih akumulacijskih jezerih lahko zaključimo, da je hipoteza pravilna. Nepravilna je edino meseca aprila in maja pri akumulacijskem jezeru hidroelektrarne Blanca, saj vodni delec potuje v obeh mesecih po jezeru pretežno v dnevnem času, trend odstopanja pa je precej negativen.

Vzrok višje dejanske temperature vode, kot je bila ta izračunana pri HE Blanca meseca aprila in maja, bi lahko bilo polnjenje akumulacije. Tega pa program HOTCHAIN ne more upoštevati, saj je primarno namenjen izračunu temperature pri kritičnih in ekstremnih razmerah pri katerih hidroelektrarne delujejo po pretoku in vode ne zadržujejo.

Grafikona 28 in 29 prikazujeta pretok vode na sotočju Save in Savinje ter pri HE Blanca v času simulacije aprilskih in majskih srednjih razmer, kjer zelena vertikalna črta označuje čas, ko opazovani vodni delec "prispe" do HE Blanca. Primerjamo torej pretok na začetku simulacije, to je 15. 4. oziroma 9. 5. 2010 pri sotočju (rdeča črta) in pretok pri zeleni vertikalni črti za HE Blanca (modra črta). Če bi veriga elektrarn delovala pretočno, odstopanj primerjanih vrednosti ne bi bilo, vendar temu ni tako.



Grafikon 28: Pretok na sotočju Save in Savinje in pri HE Blanca v času aprilskih srednjih razmer.



Grafikon 29: Pretok na sotočju Save in Savinje in pri HE Blanca v času majskih srednjih razmer.

Podobno kot za verigo elektrarn so bili narejeni tudi trendi odstopanj za nezajezeni del reke Save na odseku med HE Blanca in NE Krško.

Preglednica 24 prikazuje trende odstopanj temperature vode za maksimalne dnevne temperature. Najprej so podani trendi, katerih vrednosti so posledica tudi rezultatov programa HOTCHAIN, v drugi vrsti pa so podani trendi, ki so neodvisni od napak programa HOTCHAIN.

Preglednica 24: Trend odstopanj temperature vode na nezajezemem delu Save za srednje razmere.

		April		Maj		Junij		Julij		Avgust		September	
Trend odstopanj	1.max	++	0,5 °C 4,2 %	--	-1 °C -8 %	++	1,5 °C 8,3 %	++	2,5 °C 11,5 %	++	1,96 °C 9,9 %	++	1,06 °C 6,6 %
	T_{vode} 2.max	0	0,1 °C 0,7 %			+	0,19 °C 0,97 %			++	0,94 °C 4,5 %		
Trend T_{vode} (T_{zač.}=T_{dej})	1.max	++	0,98 °C 8,1 %	-	-0,5 °C -4 %	+	0,59 °C 3,25 %	++	1,03 °C 4,8 %	++	1,05 °C 5,3 %	+	0,46 °C 2,88 %
	2.max	++	0,57 °C 4,74 %			-	-0,72 °C -3,73 %			0	0,03 °C 0,16 %		
Q [m³/s]		152,8		246,4		128,8		101,1		93,6		95,8	
T_{vode, zač} [°C]		10,7		10,7		17		21,8		18,8		15	

Po pregledu rezultatov opazimo, da je tudi pri računu termike nezajezene del reke trend odstopanj programa z izjemo meseca maja precej pozitiven. V primeru, ko je izračunan tudi drugi dnevni maksimum, da ta boljše rezultate in odstopanje zmanjša.

5.5.5 3D model za račun temperature vode v verigi hidroelektrarn

Izkazalo se je, da so bazeni verige hidroelektrarn na spodnji Savi vsaj v vročih poletnih dneh stratificirani, kar pomeni, da se temperatura vode ne spreminja le vzdolž akumulacije, temveč tudi po globini. Enodimenzionalen program HOTCHAIN, namenjen računu temperature vode vzdolž verige elektrarn, predpostavlja konstantno temperaturo vode po prečnem prerezu.

Za natančnejše rezultate bi bil potreben izračun termike v 3D modelu, ki bi zajemal spremembo temperature po globini in širini prereza ter po dolžini akumulacije. S tem bi bila narejena bolj natančna analiza o temperaturi vode v akumulacijah, ki pa bi zahtevala tudi več vhodnih podatkov, predvsem topografskih, delo pa bi bilo precej zamudno.

6 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi je bila narejena analiza rečnih temperatur pri srednjih in kritičnih razmerah na odseku med sotočjem Save in Savinje ter nuklearno elektrarno Krško. Vodni delec smo najprej s programom HOTCHAIN spremljali skozi verigo hidroelektrarn do HE Blanca ter nato s programom HOTRIVER še do NE Krško. Rezultate obeh programov smo primerjali z merjenimi vrednostmi pri pregradah in pri nuklearni elektrarni.

Rezultati simulacij se ne ujemajo zadovoljivo z dejanskimi meritvami. Pri bazenu Blanca se pri kritičnih razmerah pojavi razlika med merjenimi in izračunanimi vrednostmi blizu dveh stopinj Celzija. Pri srednjih razmerah so te razlike nekoliko manjše, do reda velikosti 1,5 stopinje Celzija v mesecu juliju, ko se razmere precej približajo kritičnim. V dinamiki rečne temperature nezajezenega dela Save je opazen časovni zamik izračunanih in merjenih maksimumov temperatur. Odstopanja pa so manjša kot pri HE Blanca.

Vzroke odstopanj programov lahko iščemo v konceptualnih poenostavitvah obeh uporabljenih računalniških programov, v točnosti vhodnih podatkov in v natančnosti merjenih podatkov, s katerimi primerjamo rezultate.

Eden ključnih problemov je verjetno pojav stratifikacije v vseh treh bazenih elektrarn, saj program HOTCHAIN predpostavlja konstantno temperaturo vode po prečnem prerezu, dejansko pa temu vsaj v vročih dneh ni tako. Vpliv slojevitosti je bil močno zaznan v bližini pregrad hidroelektarn, najbolj pri HE Blanca.

Vpliv na rezultate bi lahko imeli tudi meteorološki in hidrološki podatki, ki niso bili pridobljeni z mesta simulacije, temveč privzeti z merilnih mest, precej oddaljenih od same lokacije. Tako so bili meteorološki podatki pridobljeni na meteorološki postaji v Novem mestu, pretok in temperatura vode na sotočju Save in Savinje, ki sta potrebna za zagon programa HOTCHAIN, pa sta bila izračunana iz gorvodnih vodomernih postaj VP Hrastnik na Savi in VP Veliko Širje na Savinji. Mikroklimatske razmere bi lahko igrale vlogo predvsem pri parametrih vetra in deloma insolacije.

Glede na v diplomski nalogi opravljene analize lahko zaključimo, da še vedno obstaja nekaj odprtih vprašanj in potreba po izboljšavi rezultatov. V prihodnosti bi bila zaželena postavitev hidrološke postaje tik pod sotočjem Save in Savinje, s katero bi pridobili točne vrednosti pretoka in temperature vode. Poleg tega bi bilo na sami lokaciji primerno merjenje potrebnih meteoroloških parametrov, kot so globalno sevanje, zračna vlaga in hitrost vetra (meritve temperature zraka se že izvajajo). Prav tako

bi bilo potrebno dopolniti analizo primernosti merilnih mest temperature vode pri hidroelektrarnah in analizirati meritve tudi dolvodno od obstoječe lokacije za merjenje referenčne temperature vode.

Ob točnejših meteoroloških podatkih bi bilo smiselno izvesti ponovno umerjanje termičnega modela HEATFLOW, predvsem člena evaporacije, ki je sedaj računana kot povprečje devetih enačb.

Pri uporabi programov se je potrebno zavedati odstopanj in jih s pomočjo narejenega trenda napak korigirati. Analiza trenda napak bi bila lahko z večjim vzorcem bolj natančna in končni rezultati programa zanesljivejši. Za bolj natančne rezultate bi bila potrebna obdelava termike s 3D modelom, ki bi zajemal tudi spremembo rečne temperature po prerezu in s tem vpliv stratifikacije. Taka analiza pa bi bila precej zamudna in bi zahtevala tudi več vhodnih podatkov, predvsem topografskih.

Na podlagi opravljenih analiz lahko sklepamo, da so rezultati študije IBE (2003) razmeroma konzervativni in je termični vpliv novih akumulacij nekoliko manjši od napovedanega. Po drugi strani je očiten trend neugodnih sprememb hidroloških in meteoroloških parametrov zaradi klimatskih sprememb. V nadaljevanju tovrstnega raziskovalnega dela je zato treba še ugotoviti, kaj ima na rezultate pravladujoč vpliv.

VIRI

Bertalanič, R., Demšar, M., Dolinar, M., Dvoršek, D., Nadbath, M., Pavčič, B., Roethel-Kovač, M., Vertačnik, G., Vičar, Z. 2010. Spremenljivost podnebja v Sloveniji. Ljubljana, ARSO: str. 1–11.

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije: univerzitetni učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 8–248.

Cegnar, T. (ur.). 2010a. Okolje se spreminja, Podnebna spremenljivost Slovenije in njen vpliv na vodno okolje. V: Cegnar, T. Podnebne spremembe in potreba po prilagajanju nanje. Ljubljana, ARSO: str. 3–14.

http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/publikacije/Okolje_se%20spreminja.pdf

(pridobljeno 10. 5. 2011).

Cegnar, T. (ur.). 2010b. Okolje se spreminja, Podnebna spremenljivost Slovenije in njen vpliv na vodno okolje. V: Dolinar, M., Nadbath, M., Vičar, Z., Vertačnik, G., Pavčič, B. Spremljanje podnebja v Sloveniji. Ljubljana, ARSO: str. 17–35.

http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/publikacije/Okolje_se%20spreminja.pdf

(pridobljeno 10. 5. 2011).

Cegnar, T. (ur.). 2010c. Okolje se spreminja, Podnebna spremenljivost Slovenije in njen vpliv na vodno okolje. V: Dolinar, M., Vertačnik, G. Spremenljivost temperaturnih in padavinskih razmer v Sloveniji. Ljubljana, ARSO: str. 37–40.

http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/publikacije/Okolje_se%20spreminja.pdf

(pridobljeno 10. 5. 2011).

Cegnar, T. (ur.). 2010d. Okolje se spreminja, Podnebna spremenljivost Slovenije in njen vpliv na vodno okolje. V: Kobold, M., Ulaga, F. Hidrološko stanje voda in podnebna spremenljivost. Ljubljana, ARSO: str. 43–56.

http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/publikacije/Okolje_se%20spreminja.pdf

(pridobljeno 10. 5. 2011).

Cegnar, T. (ur.). 2010e. Okolje se spreminja, Podnebna spremenljivost Slovenije in njen vpliv na vodno okolje. V: Bergant, K. Podnebje v prihodnosti - koliko vemo o njem?. Ljubljana, ARSO: str. 142–159.

http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/publikacije/Okolje_se%20spreminja.pdf

(pridobljeno 10. 5. 2011).

Deas, M.L., Lowney, C.L. 2000. Water temperature modeling review. Central Valley, California water modeling forum: str. 20–35.

<http://cwemf.org/Pubs/BDMFTempReview.pdf> (pridobljeno 1. 3. 2011)

Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., Brooks, N. 1979. Mixing in inland and coastal waters. Orlando, Academic Press: str. 104–210.

Hidroelektrarne na Spodnji Savi. 2011.

<http://www.he-ss.si/he-blanca.html> (pridobljeno 13. 7. 2011).

<http://www.he-ss.si/he-blanca.html> (pridobljeno 13. 7. 2011).

<http://www.he-ss.si/he-blanca-tehnicne-specifikacije.html> (pridobljeno 13. 7. 2011).

<http://www.he-ss.si/he-bostanj.html> (pridobljeno 13. 7. 2011).

IBE. 2003. Medsebojni vplivi energetskega objekta ob in na reki Savi z vidika toplotne obremenitve Save. Študija. Ljubljana, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo: 143 f.

IBE. 2009. Medsebojni vplivi energetskega objekta ob in na reki Savi z vidika toplotne obremenitve Save. Novelacija študije – Faza I: Preliminarna analiza podatkov. Študija. Ljubljana, HESS: 28 f.

Infra. 2011.

http://www.infra.si/hidroelektrarna_bostanj.html (pridobljeno 13. 7. 2011).

Kuščer, I., Moljk, A., Kranjc, T., Peternej, J. 2000. Fizika za srednje šole, 2. del. Ljubljana, DZS: str. 217–219.

Martin, J., Edinger, J., Higgins, J., Gordon, J. 2007. Energy Production and Reservoir Water Quality: a guide to the regulatory, technical, and theoretical basis for required studies. Reston, American society of civil engineers: str. 5–53, 5–64.

Orlob, G.T. 1983. Mathematical modeling of water quality: streams, lakes, and reservoirs. Chichester, Wiley: str. 170–228.

Pemič, A. 1991. Teoretična hidravlika - Toplotno bilanciranje površinskih vodotokov. Programski sklop 2. Študija. Ljubljana, RSS: f. 6–26.

Savske elektrarne Ljubljana. 2011.

<http://www.sel.si/index.php?id=24> (pridobljeno 13. 7. 2011).

Srebrenović, D. 1986. Primijenjena hidrologija. Zagreb, Tehnička knjiga: str. 92–95.

Streinman, F. 1999. Hidravlika: 1. ponatis. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 132–139.

Širca, A., Josipovič, Z., Kvaternik, K., Močnik, I., Somrak, D. 2010. Večnamenski projekt hidroelektrarn na Spodnji Savi = A multi purpose lower Sava River hydropower project. Gradbeni vestnik 59, april 2010: str. 74–81.

Vodna energija. 2011.

<http://www.focus.si/ove/index.php?l1=vrste&l2=vodna> (pridobljeno 13. 7. 2011).

Wikipedia. 2011.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Slika:HE-Vrhovo.JPG> (pridobljeno 21. 7. 2011).

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: VHODNI PODATKI

- Priloga A.1: Pridobljeni in manjkajoči podatki
- Priloga A.2: Meteorološki podatki za povprečen dan
- Priloga A.3: Meteorološki podatki za kritičen dan
- Priloga A.4: Izbira srednjega obdobja

PRILOGA B: REZULTATI

- Priloga B.1: Rezultati programa HOTRIVER za srednje obdobje pri NE Krško

PRILOGA C: SPLOŠNE PRILOGE

- Priloga C.1: Nizki in srednji pretoki
- Priloga C.2: Srednje in visoke rečne temperature
- Priloga C.3: Meritve temperature vode na turbinskih iztokih
- Priloga C.4: Meritve stratifikacije

PRILOGA A.1/a: PRIDOBLENI IN MANJKAJOČI PODATKI

V prilogi so zapisani podatki, ki so bili potrebni za simulacijo termike Save. Podatki so pridobljeni s strani MOSS, ARSO in NEK. Zapisana pa so tudi obdobja izpada meritev.

- a) Hidrološke in meteorološke meritve, ki so bile pridobljene s strani MOSS kot rezultat monitoringa reke Save za lokacije HE Vrhovo, HE Boštanj, HE Blanca ter HE Krško.

HE Vrhovo:

- pretok 1. 1. 2009–31. 12. 2009
- temperatura vode 1. 1. 2009–31. 12. 2009
- temperatura zraka 1. 1. 2009–31. 12. 2009

Meritve so bile podane na vsako uro. Temperatura zraka je bila merjena na zunanji severni steni, temperatura vode pa ob dolvodnem desnem krilnem zidu.

Izpad meritev za temperaturo zraka in vode je bil: 9. 7. ob 12ih, 3. 8. ob 14ih, 6. 8. ob 8ih ter 27. 8. ob 12ih.

Izpad meritev pretoka je bil: 28. 5. ob 9:47, 3. 8. ob 16:47 ter 27. 8. ob 11:47.

- pretok 1. 1. 2010–30. 9. 2010
- temperatura vode 1. 1. 2010–30. 9. 2010
- temperatura zraka 1. 1. 2010–30. 9. 2010

Meritve so bile podane na vsako uro. Temperatura zraka je bila merjena na zunanji severni steni, temperatura vode pa ob dolvodnem desnem krilnem zidu.

Izpad meritev za temperaturo zraka in vode je bil: od 2. 6. ob 21:28 do 3. 6. ob 8:28, 30. 9. od 10:28 do 23:28.

Izpad meritev pretoka je bil: od 2. 6. ob 21:21 do 3. 6. ob 8:21, 30. 9. od 10:21 do 23:21.

HE Boštanj:

- pretok 1. 1. 2009–31. 12. 2009
- temperatura vode 1. 1. 2009–31. 12. 2009
- temperatura zraka 1. 1. 2009–31. 12. 2009

PRILOGA A.1/b: PRIDOBLENI IN MANJKAJOČI PODATKI

Meritve so bile podane na vsako uro. Temperatura zraka je bila merjena na zunanji severni steni, temperatura vode pa ob dolvodnem desnem krilnem zidu in ob gorvodnem desnem krilnem zidu.

Izpad meritve za temperaturo zraka in vode je bil 27. 8. ob 12:21.

Izpad meritev pretok je bil: 3. 8. ob 12:11, 6. 8. ob 8:11, 19. 8. ob 13:11 in ob 14:11 ter 27. 8. ob 12:11.

- pretok 1. 1. 2010–30. 9. 2010
- temperatura vode 1. 1. 2010–30. 9. 2010
- temperatura zraka 1. 1. 2010–30. 9. 2010

Meritve so bile podane na vsako uro. Temperatura zraka je bila merjena na zunanji severni steni, temperatura vode pa ob dolvodnem desnem krilnem zidu in ob gorvodnem desnem krilnem zidu.

Izpad meritve za temperaturo zraka in vode je bil: od 2. 6. ob 20:42 do 3. 6. ob 8:42, 30. 9. od 10:47 do 23:47, poleg tega je bil izpad meritve za temperaturo vode ob gorvodnem desnem krilnem zidu dne 11. 6. ob 11:42 in 12:42.

Izpad meritev pretok je bil: od 2. 6. ob 21:36 do 3. 6. ob 8:36, 30. 9. od 10:41 do 23:41.

HE Blanca:

- temperatura vode 1. 1. 2009–31. 12. 2009
- temperatura zraka 1. 1. 2009–31. 12. 2009

Meritve so bile podane na vsako uro. Temperature zraka in vode so bile merjene ob preusmeritvenem nasipu.

- pretok 1. 1. 2010–30. 9. 2010
- temperatura vode 1. 1. 2010–30. 9. 2010
- temperatura zraka 1. 1. 2010–30. 9. 2010

Meritve so bile podane na vsako uro. Temperatura zraka je bila merjena na severni strani strojnice ter ob preusmeritvenem nasipu, ob desnem krilnem zidu je bila merjena temperatura zgornje in spodnje vode, ob preusmeritvenem nasipu pa je bila merjena tudi temperatura vode.

Izpad meritev za pretok: 9. 5. ob 11ih, od 2. 6. 2010 ob 21ih do 3. 6. ob 8ih, 30. 9. 2010 od 11ih do 23ih.

PRILOGA A.1/c: PRIDOBLENI IN MANJKAJOČI PODATKI

Izpad meritev za temperaturo zraka in temperaturo spodnje in zgornje vode, merjeno ob desnem krilnem zidu: od 2. 6. 2010 ob 21ih do 3. 6. ob 8ih, 30. 9. 2010 od 10ih do 23ih.

Izpad meritev za temperaturo zraka vode, merjene ob preusmeritvenem nasipu: 30. 9. 2010 od 10ih do 23ih.

b) S strani ARSO so bili pridobljeni naslednji meteorološki podatki:

Meteorološka postaja Novo mesto:

- temperatura zraka 1. 1. 2009–31. 12. 2009
- zračna vlaga 1. 1. 2009–31. 12. 2009
- hitrost vetra 1. 1. 2009–31. 12. 2009
- sevanje 1. 1. 2009–31. 12. 2009

Meritve so bile podane na vsake pol ure.

- temperatura zraka 1. 1. 2010–30. 9. 2010
- zračna vlaga 1. 1. 2010–30. 9. 2010
- hitrost vetra 1. 1. 2009–30. 9. 2010
- sevanje 1. 1. 2009–30. 9. 2010

Meritve so bile podane na vsake pol ure.

Izpad meritev za temperaturo zraka je bil: od 17. 8. 2010 ob 9:00 do 20. 8. 2010 ob 11:00.

Izpad meritev za globalno sevanje je bil: 5. 4. 2010 od 16:00 do 18:00, 3. 5. 2010 ob 13:00 in 13:30, 27. 5. 2010 od 0:00 do 23:30, 20. 8. 2010 od 12:30 do 13:30.

c) S strani ARSO so bili na reki Savi in Savinji pridobljeni naslednji hidrološki podatki:

VP Veliko Širje:

- temperatura vode 1. 1. 2009–31. 12. 2009
- pretok 1. 1. 2009–31. 12. 2009

PRILOGA A.1/d: PRIDOBLENI IN MANJKAJOČI PODATKI

Vrednost pretoka je dnevno povprečje, temperatura vode pa je bila podana na vsakih 30 minut, predstavlja pa povprečje 30-minutnega intervala.

Izpad meritev za pretok: 25. 5.–5. 8. 2009.

Izpad meritev za temperaturo vode:

1. 4. 2009 11:30, 13:30, 22:00
2. 4. 2009 14:00, 21:30, 22:30, 23:30
3. 4. 2009 00:00, 2:00, 5:30 - 7:00, 12:00, 16:30, 18:00, 18:30
4. 4. 2009 12:00, 16:00, 21:30
5. 4. 2009 7:30
6. 4. 2009 14:00, 17:30
7. 4. 2009 3:00, 6:30, 11:00, 18:30
8. 4. 2009 11:30, 13:30, 16:00, 17:00, 19:30, 20:00, 22:00
9. 4. 2009 14:00, 16:00, 23:30
10. 4. 2009 1:00, 2:30
11. 4. 2009 1:30, 16:00, 17:00
13. 4. 2009 0:30, 9:30, 10:30
14. 4. 2009 17:30, 19:00, 22:30
15. 4. 2009 6:30, 11:00, 13:30, 19:30, 23:30
16. 4. 2009 2:30
17. 4. 2009 11:00
18. 4. 2009 17:30
20. 4. 2009 6:00, 16:30
22. 4. 2009 19:00
23. 4. 2009 0:30, 14:00, 20:30
24. 4. 2009 3:30, 9:30, 16:30
25. 4. 2009 15:30
26. 4. 2009 1:30–14:30
27. 4. 2009 1:00
28. 4. 2009 8:30
29. 4. 2009 11:00, 14:00, 19:30
30. 4. 2009 3:00

PRILOGA A.1/e: PRIDOBLENI IN MANJKAJOČI PODATKI

2. 5. 2009 0:30, 16:30, 18:30
3. 5. 2009 13:30, 15:00
4. 5. 2009 0:30, 2:00–5:00, 7:00, 7:30, 8:30–16:00
5. 5. 2009 3:00, 21:30
6. 5. 2009 0:00, 3:00, 3:30, 23:00
7. 5. 2009 0:30, 7:30, 10:30, 15:30, 17:00
8. 5. 2009 4:30, 5:30, 10:30, 22:30
10. 5. 2009 7:00, 21:30
11. 5. 2009 0:00, 7:00, 11:30
12. 5. 2009 6:00–23:30
13. 5. 2009 0:00–8:30, 19:00, 23:00
14. 5. 2009 14:30, 15:00
15. 5. 2009 0:00, 10:00, 16:00, 21:30
16. 5. 2009 2:30, 10:00, 12:00, 14:30
17. 5. 2009 1:00, 2:30
20. 5. 2009 5:30
21. 5. 2009 10:00–12:00
22. 5. 2009 6:30, 9:00, 15:30, 16:00, 16:30, 19:00
23. 5. 2009 5:30, 9:30
25. 5. 2009 11:30
25. 5. ob 19:00–5.8. ob 13:30

- temperatura vode 1. 1. 2010–30. 9. 2010
- pretok 1. 1. 2010–30. 9. 2010

Pretok in temperatura vode sta bila zapisana vsakih 30 minut, in sicer minimalna, maksimalna ter povprečna vrednost 30-minutnega intervala, slednjo smo tudi uporabili v programskih analizah. Izpad meritev za pretok: od 9. 6. 2010 ob 8:30 do 10. 6. 2010 ob 9:30.

VP Hrastnik:

- temperatura vode 1. 1. 2009–31. 12. 2009
- pretok 1. 1. 2009–31. 12. 2009

PRILOGA A.1/f: PRIDOBLENI IN MANJKAJOČI PODATKI

Vrednost pretoka je dnevno povprečje, temperatura vode pa je bila podana na vsakih 30 minut, predstavlja povprečje 30-minutnega intervala.

Izpad meritev za temperaturo vode: 3. 4. ob 16:30, 27. 7. 13:00–15:00, 4. 8. od 11:30 do 15:30.

- temperatura vode 1. 1. 2010–30. 9. 2010
- pretok 1. 1. 2010–30. 9. 2010

Pretok in temperatura vode sta bila zapisana vsakih 30 minut, in sicer minimalna, maksimalna ter povprečna vrednost 30 minutnega intervala, slednjo smo tudi uporabili v programskih analizah.

Izpad meritev za pretok: 14. 5. 2010 od 12:00 do 15:30, 16:30, 17:30, 15. 5. 2010 ob 18:00, 30. 8. 2010 ob 22:30, 23:30, 19. 9. 2010 od 11:30 do 12:00.

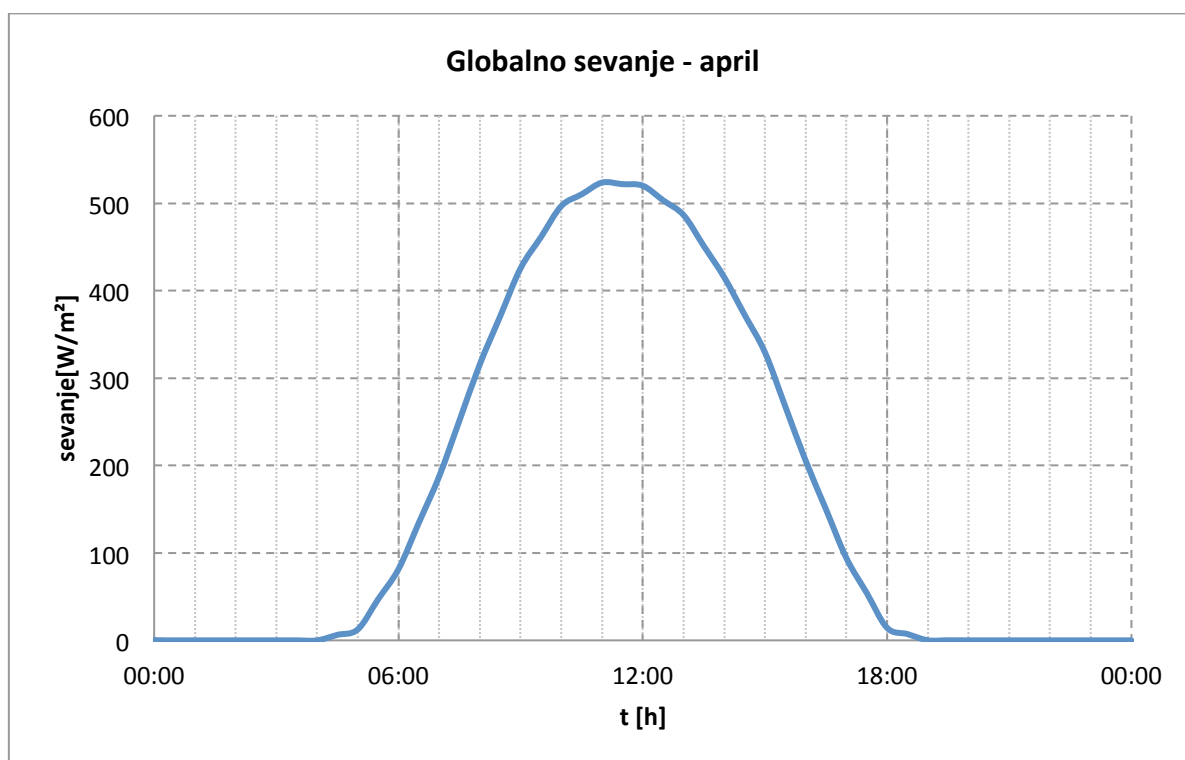
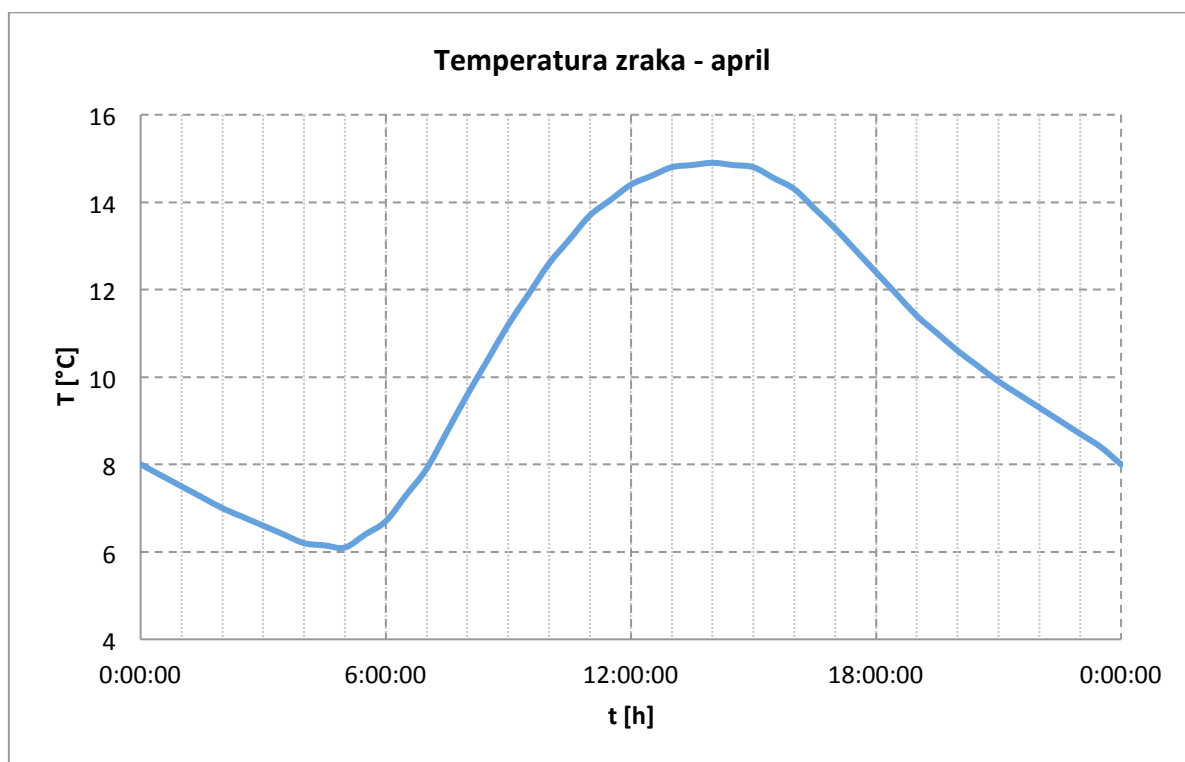
Izpad meritev za temperaturo vode: 14. 5. od 12:00 do 15:30 ter ob 16:30 in 17:30, 15. 5. ob 8:00, 30. 8. 2010 od 22:30 do 23:00.

- d) S strani monitoringa NEK so se pridobili podatki meritev temperature Save, ki so bili zapisani na eno uro.

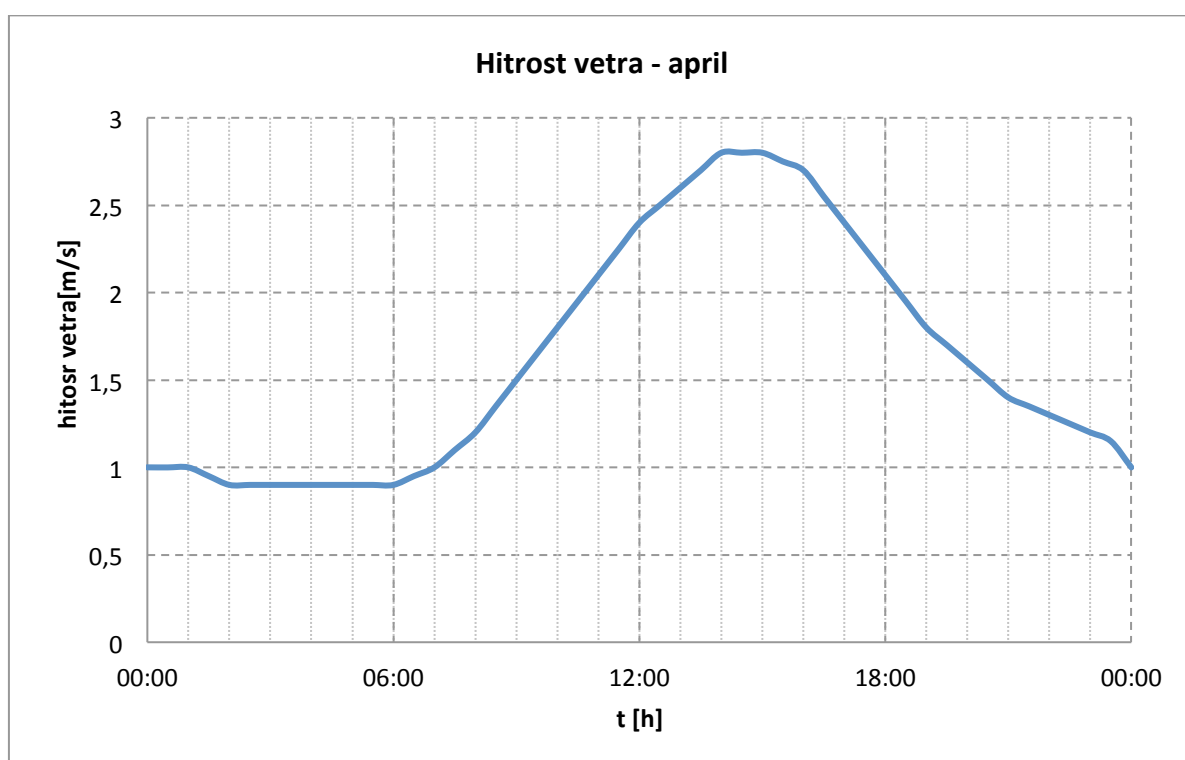
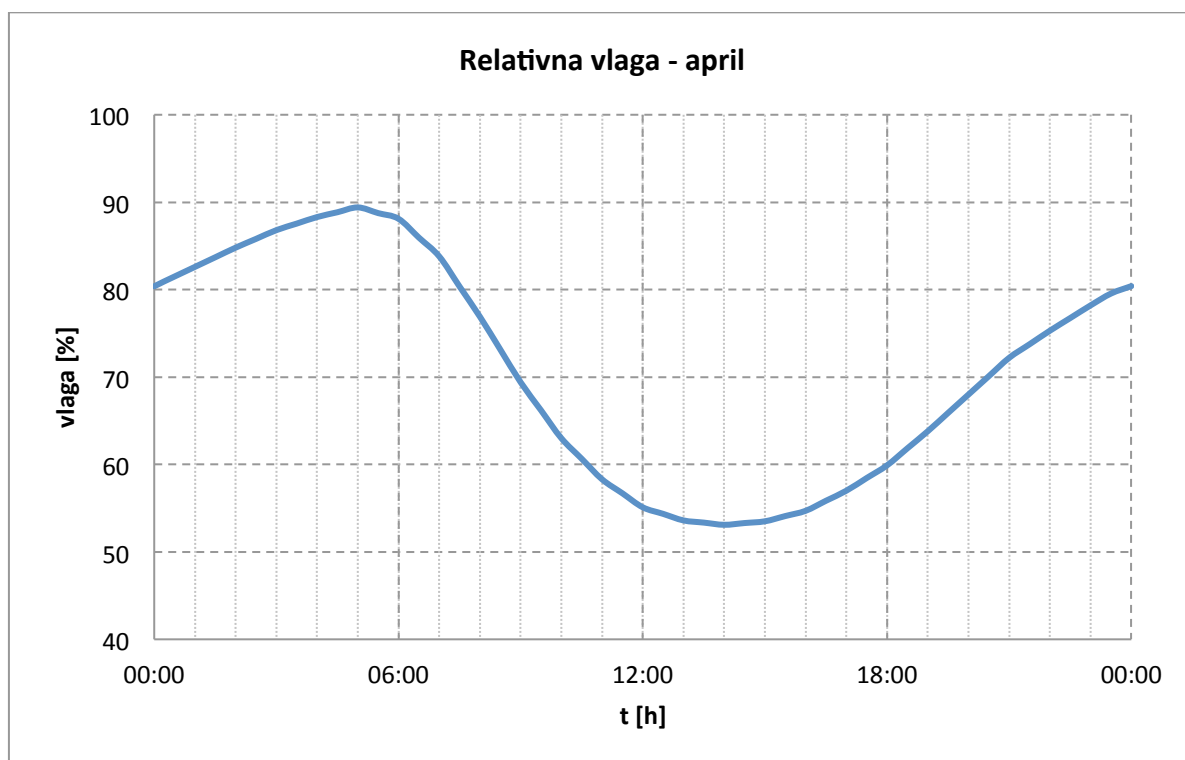
NEK

- temperatura vode 1. 5.–1. 11. 2010

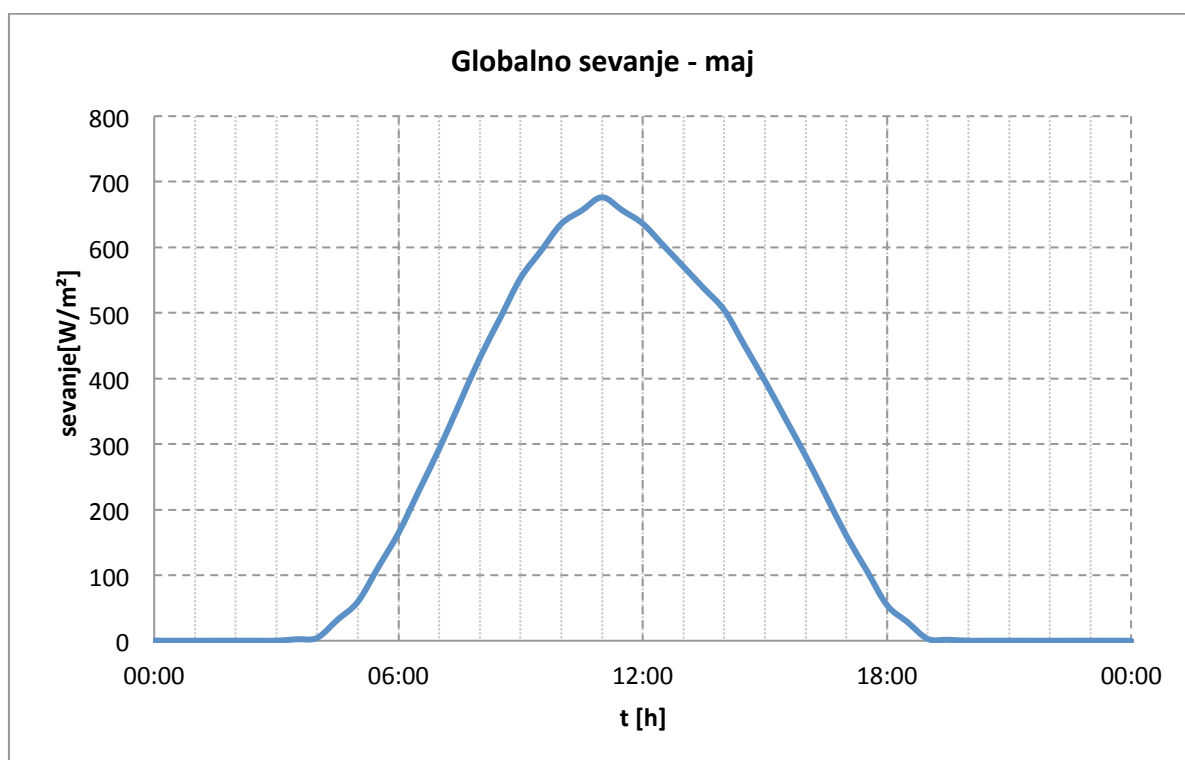
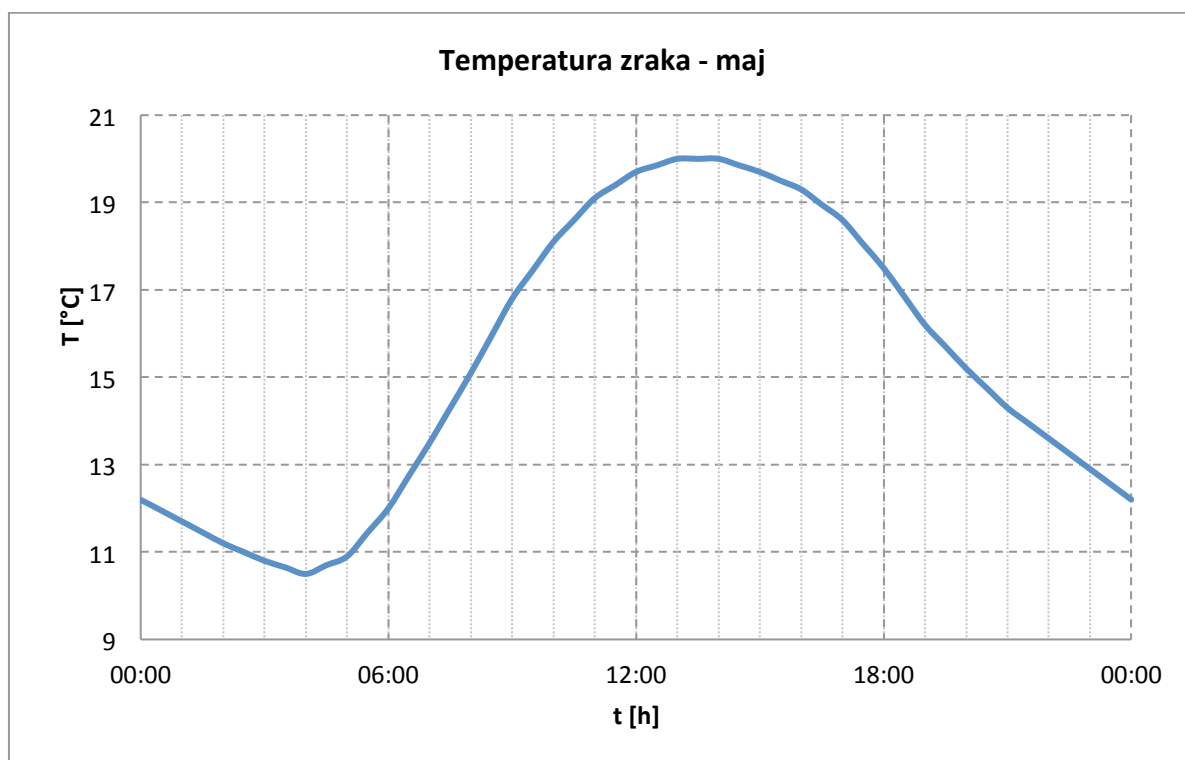
PRILOGA A.2/a: METEOROLOŠKI PODATKI ZA POVPREČEN DAN - april



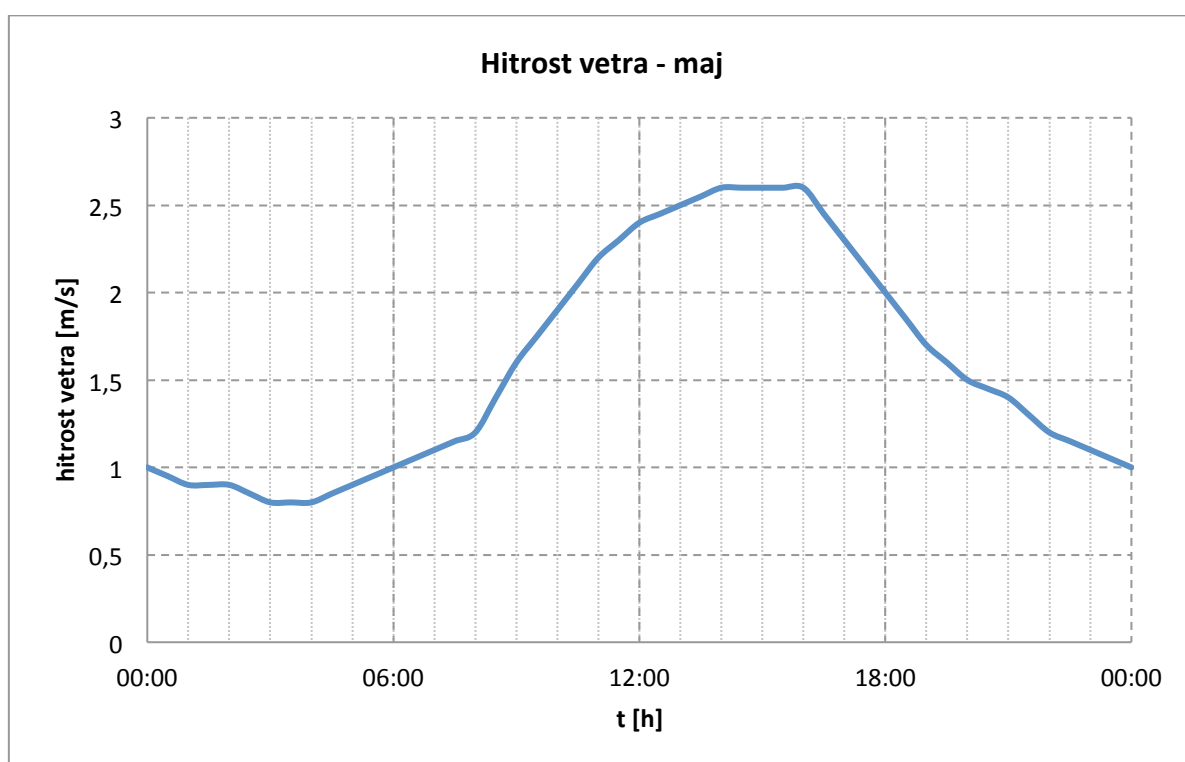
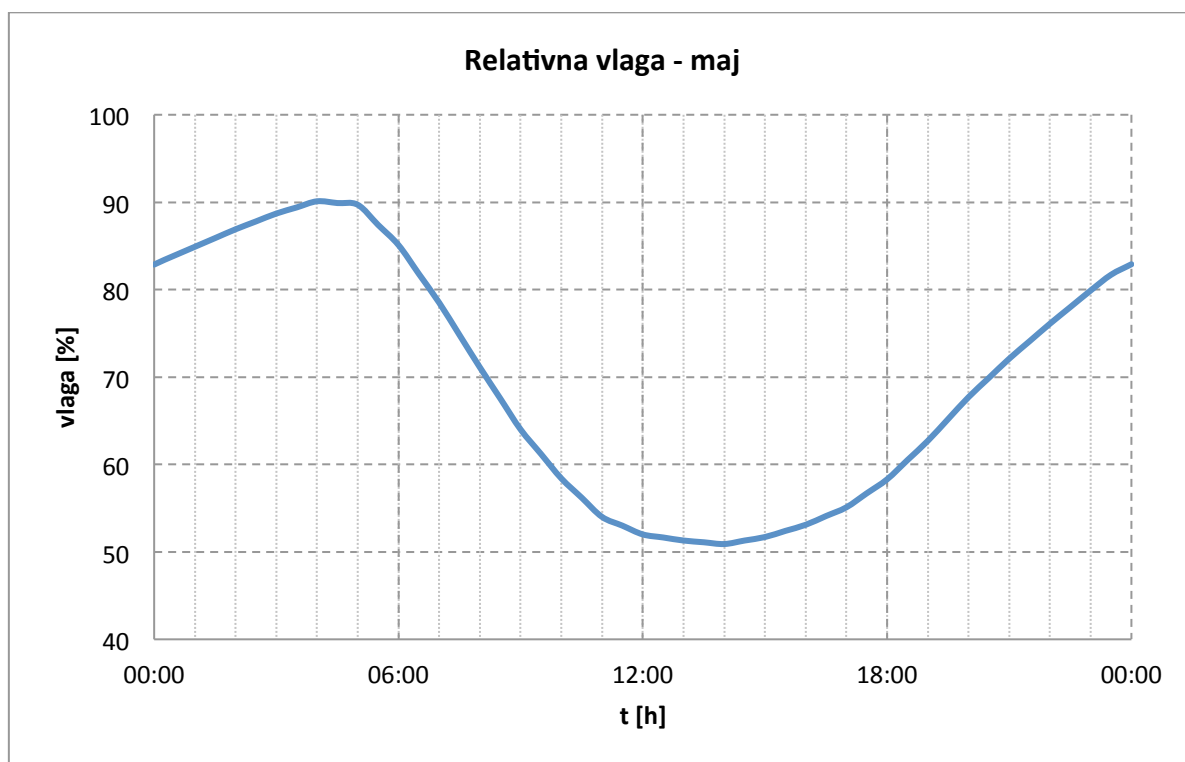
PRILOGA A.2/b: METEOROLOŠKI PODATKI ZA POVPREČEN DAN - april



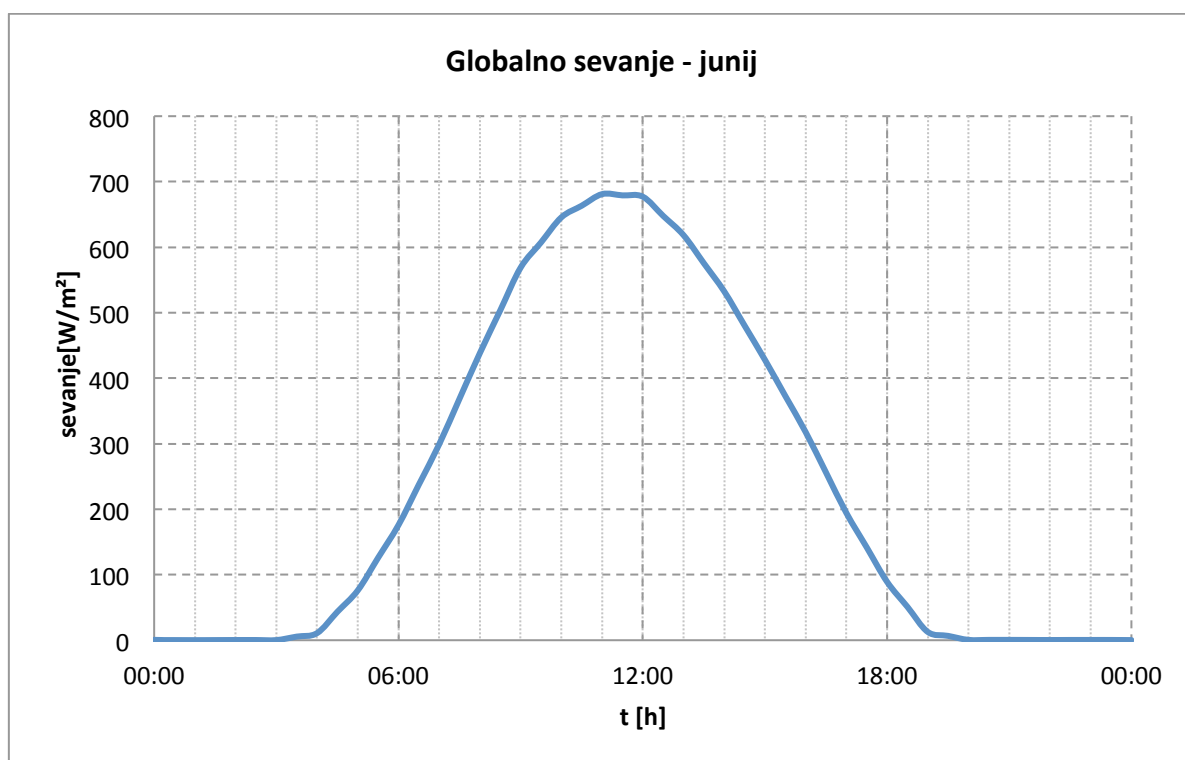
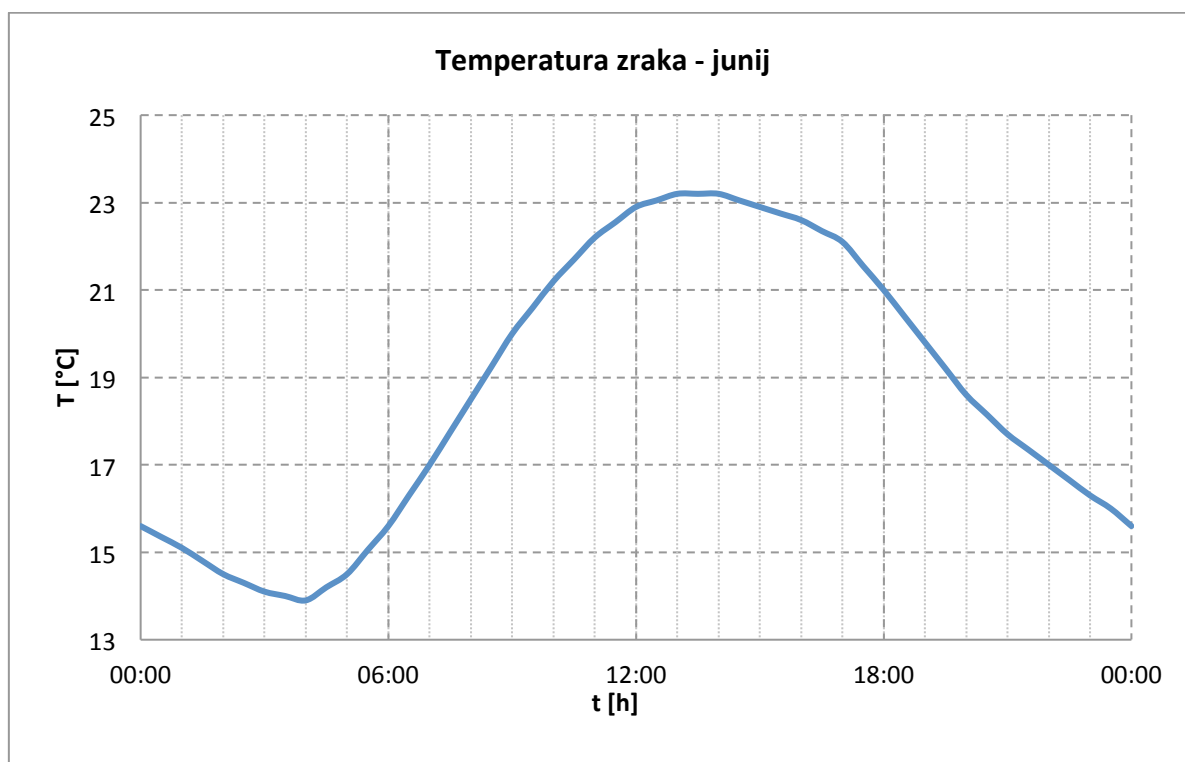
PRILOGA A.2/c: METEOROLOŠKI PODATKI ZA POVPREČEN DAN - maj



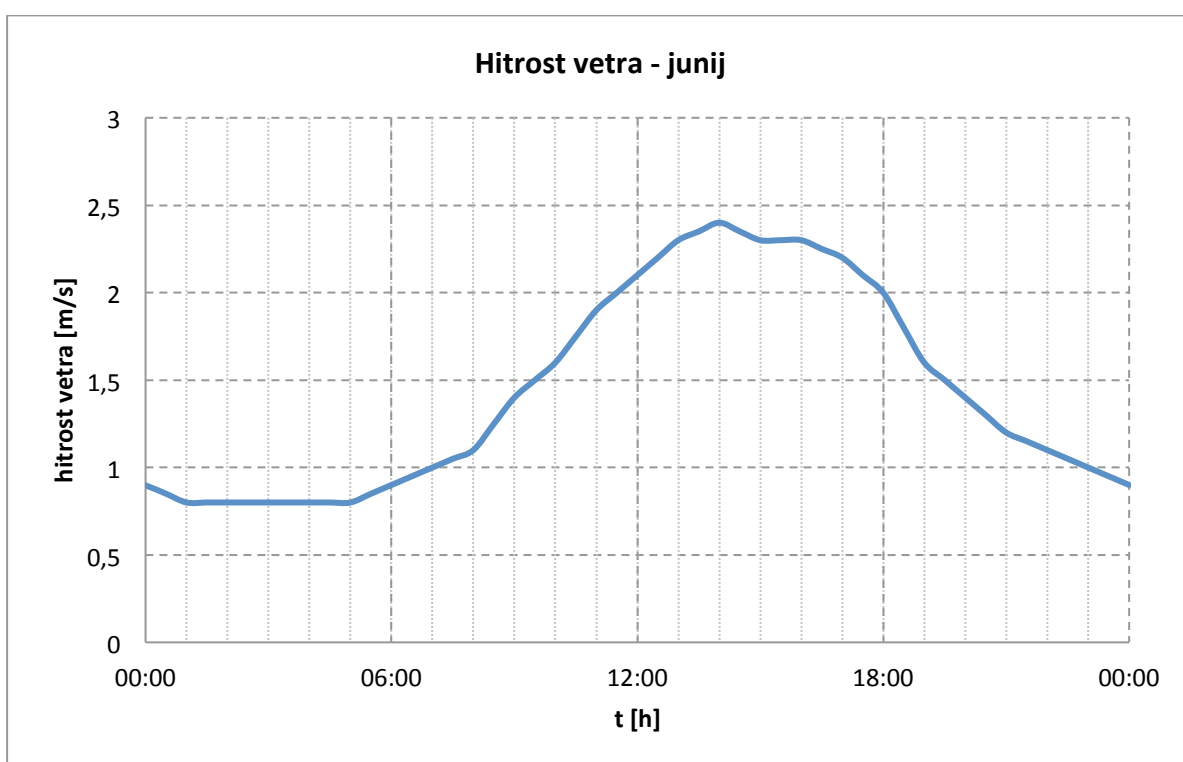
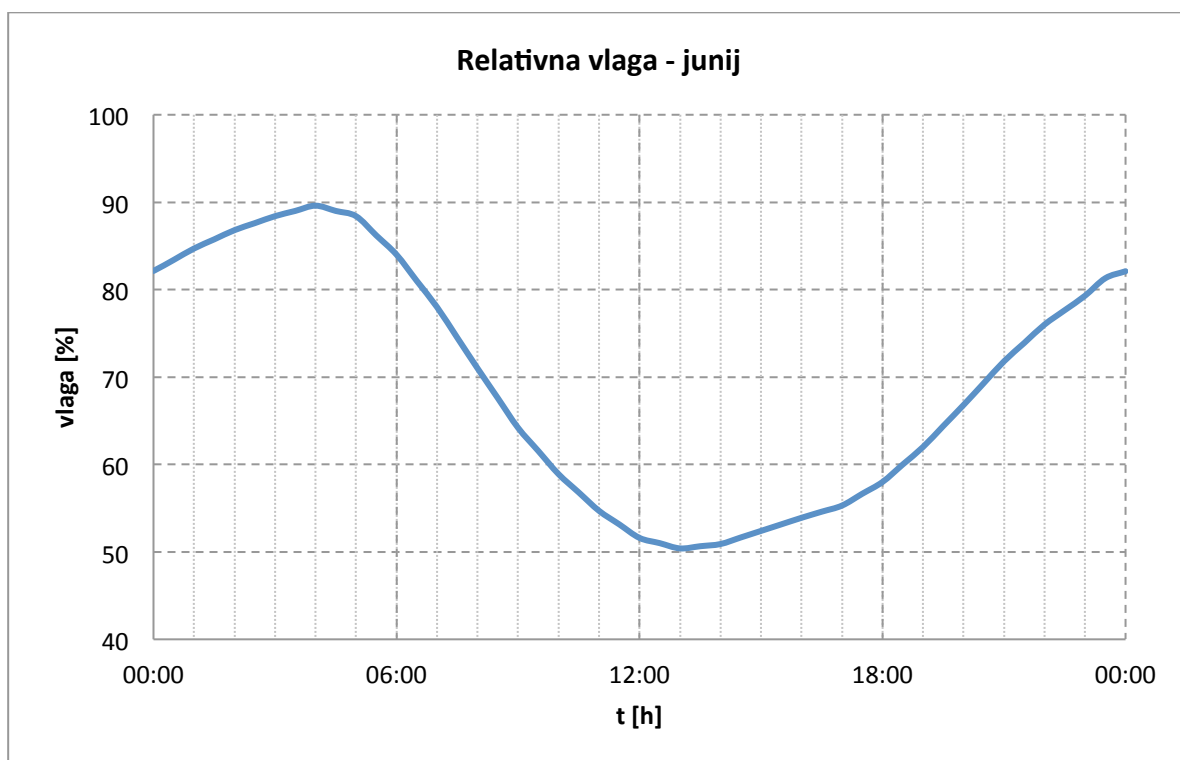
PRILOGA A.2/d: METEOROLOŠKI PODATKI ZA POVPREČEN DAN - maj



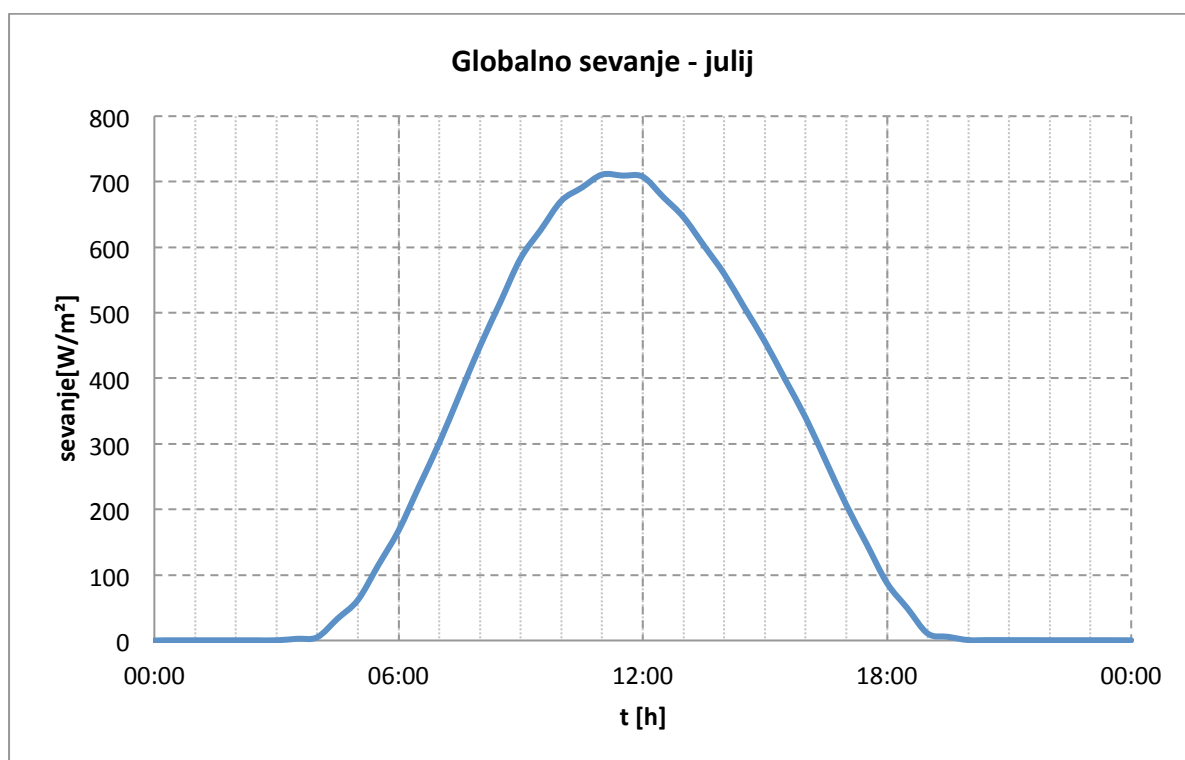
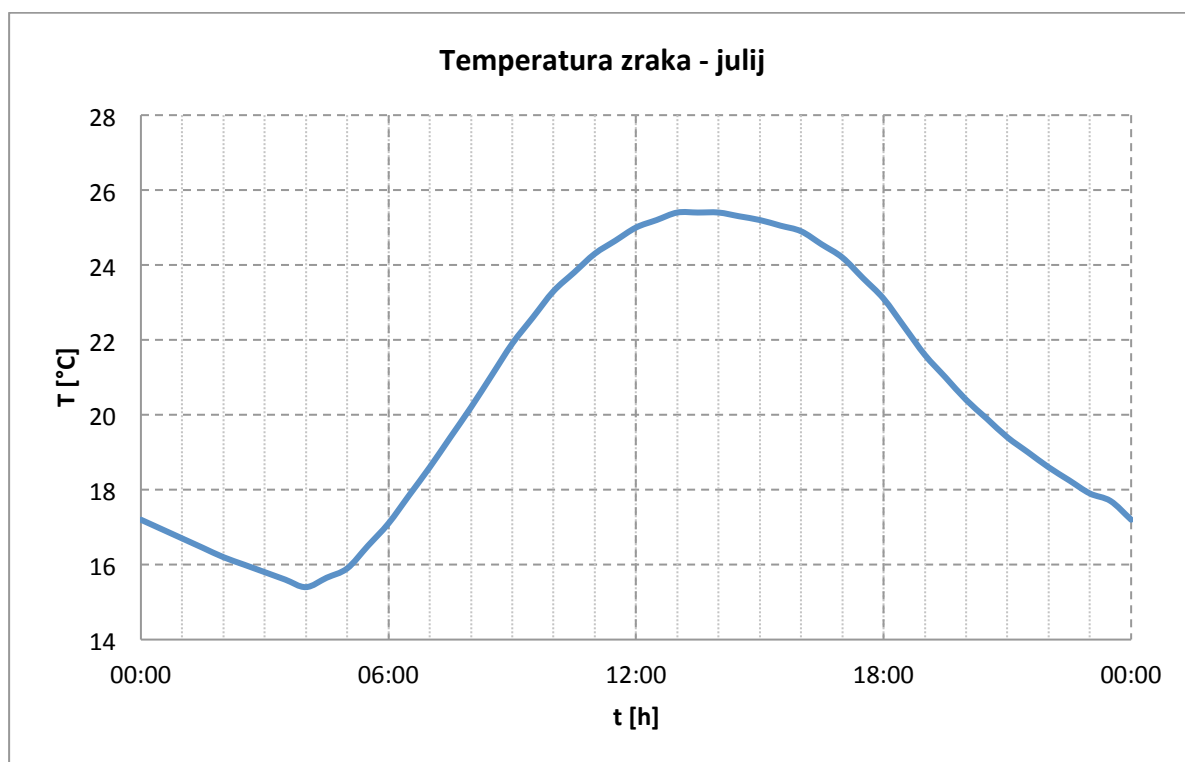
PRILOGA A.2/e: METEOROLOŠKI PODATKI ZA POVPREČEN DAN - junij



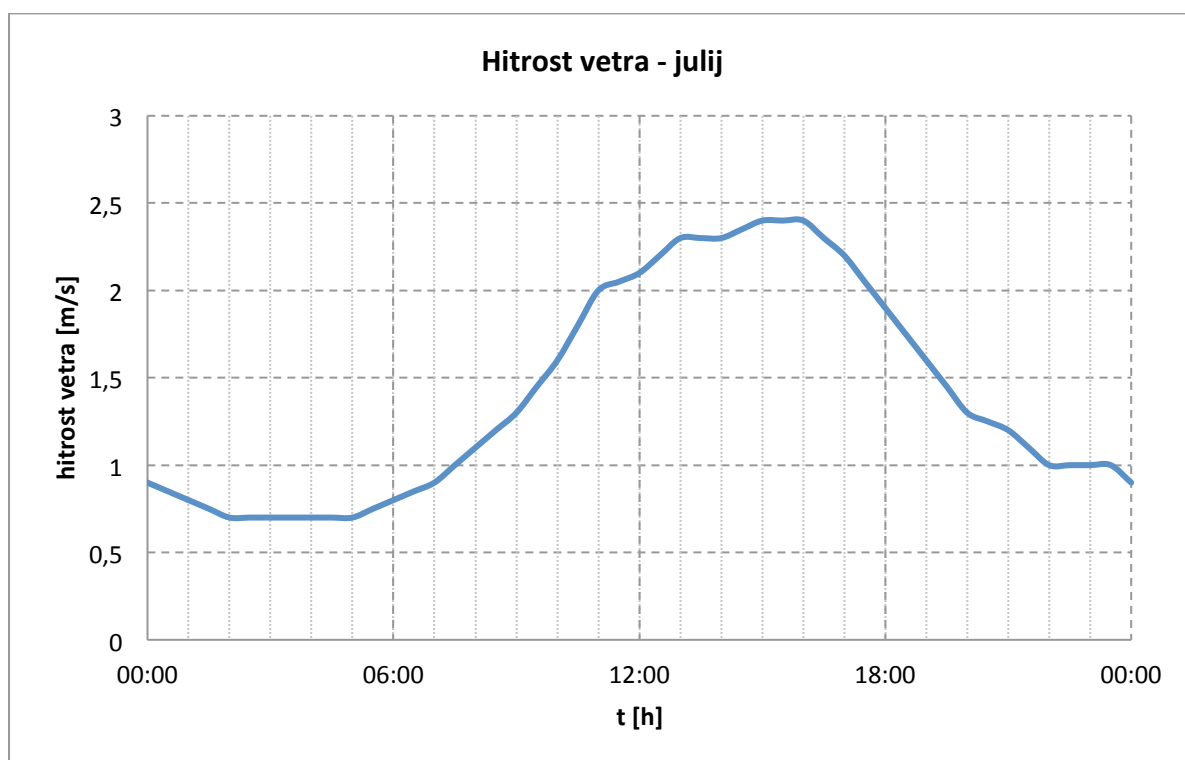
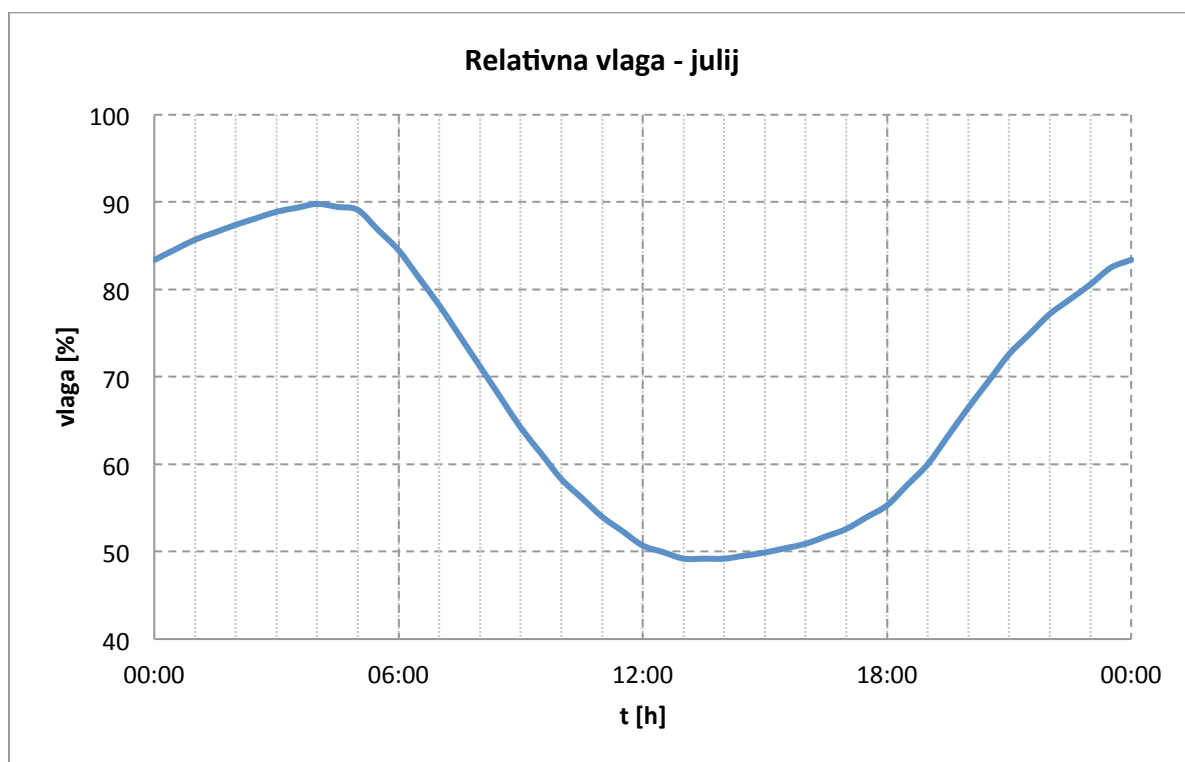
PRILOGA A.2/f: METEOROLOŠKI PODATKI ZA POVPREČEN DAN - junij



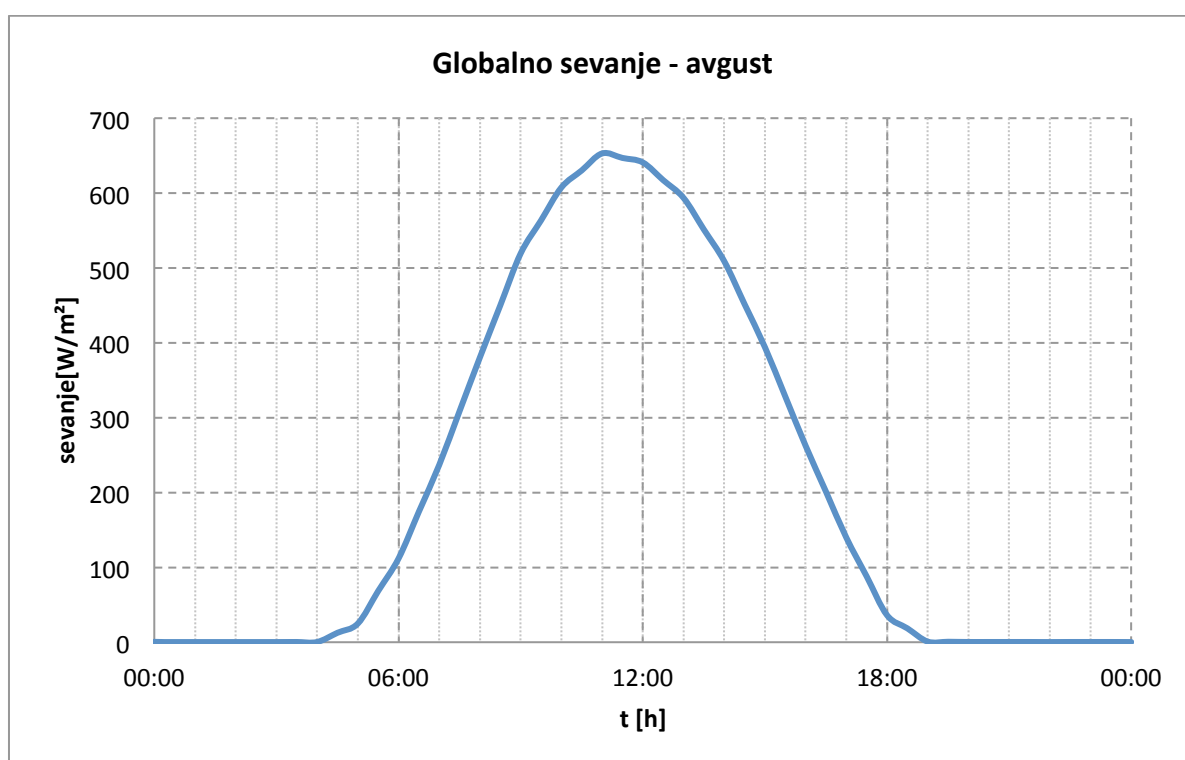
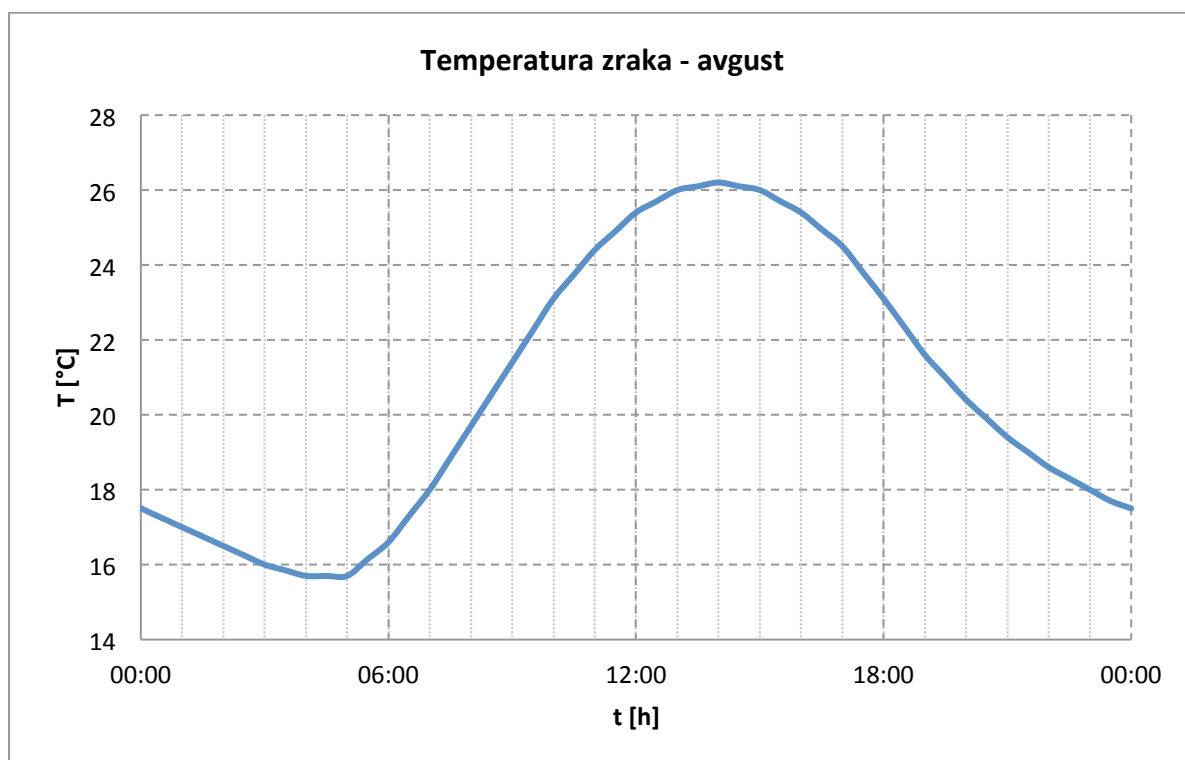
PRILOGA A.2/g: METEOROLOŠKI PODATKI ZA POVPREČEN DAN - julij



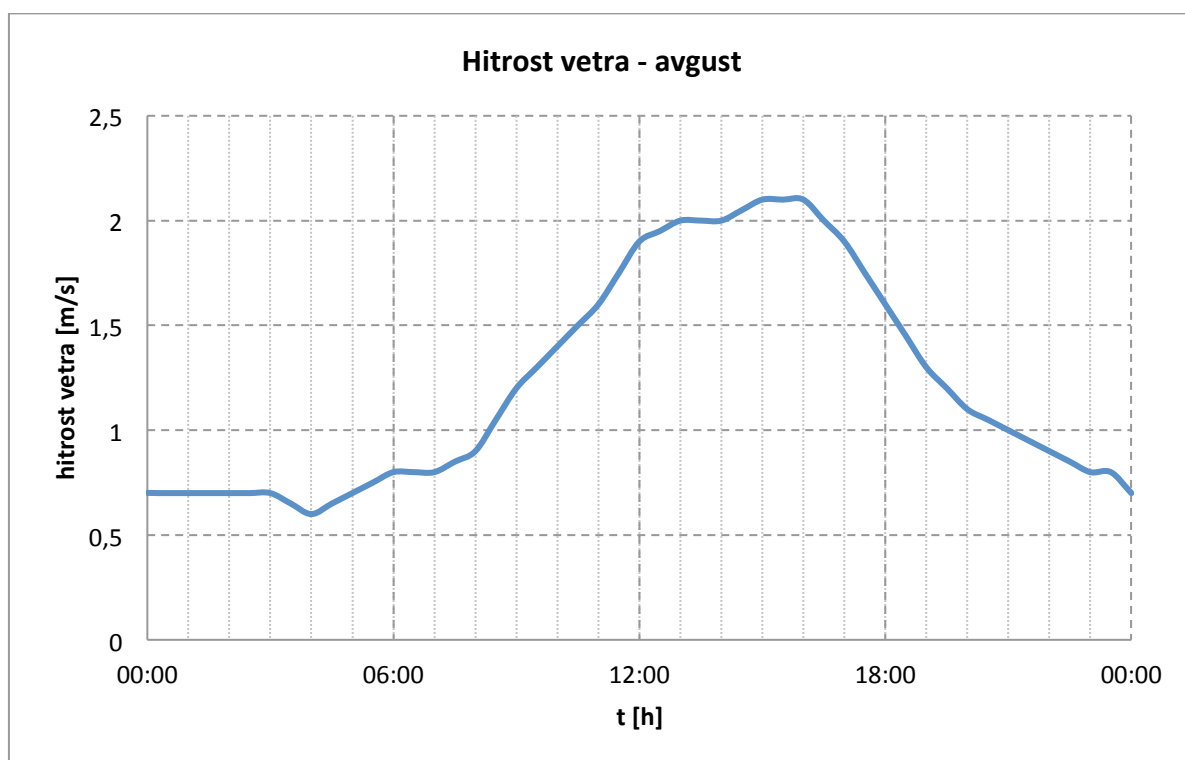
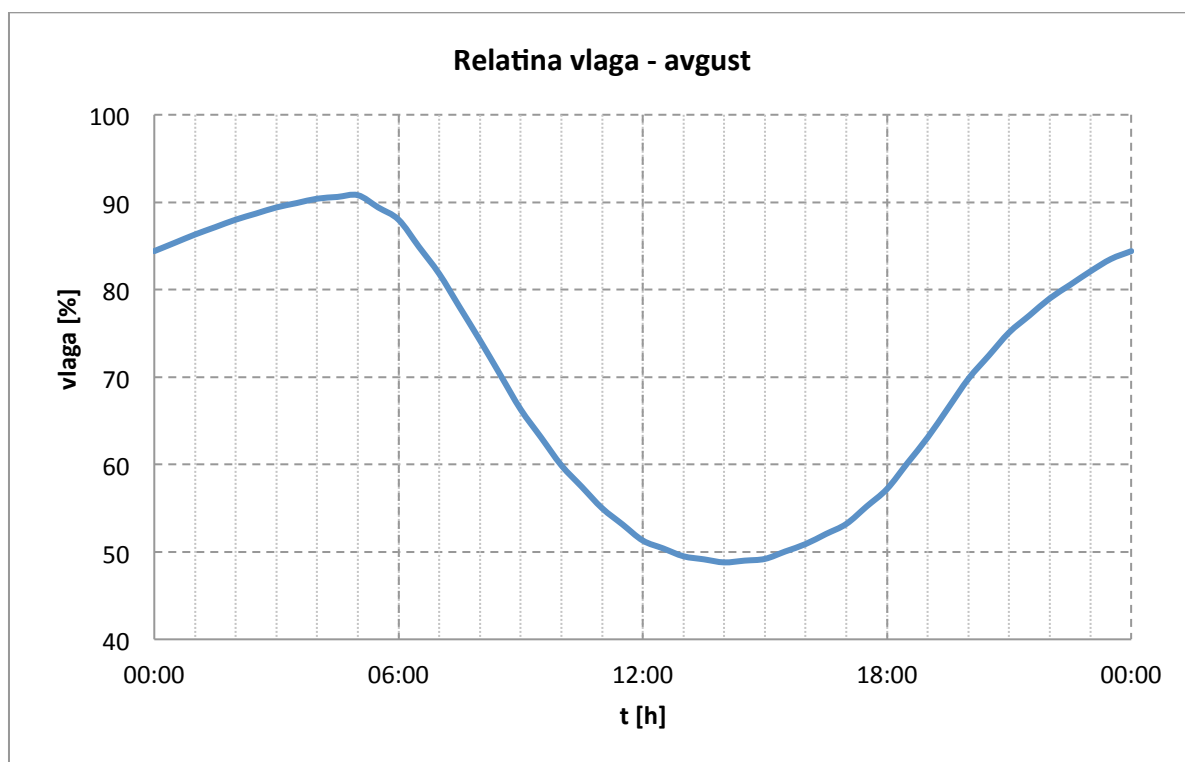
PRILOGA A.2/h: METEOROLOŠKI PODATKI ZA POVPREČEN DAN - julij



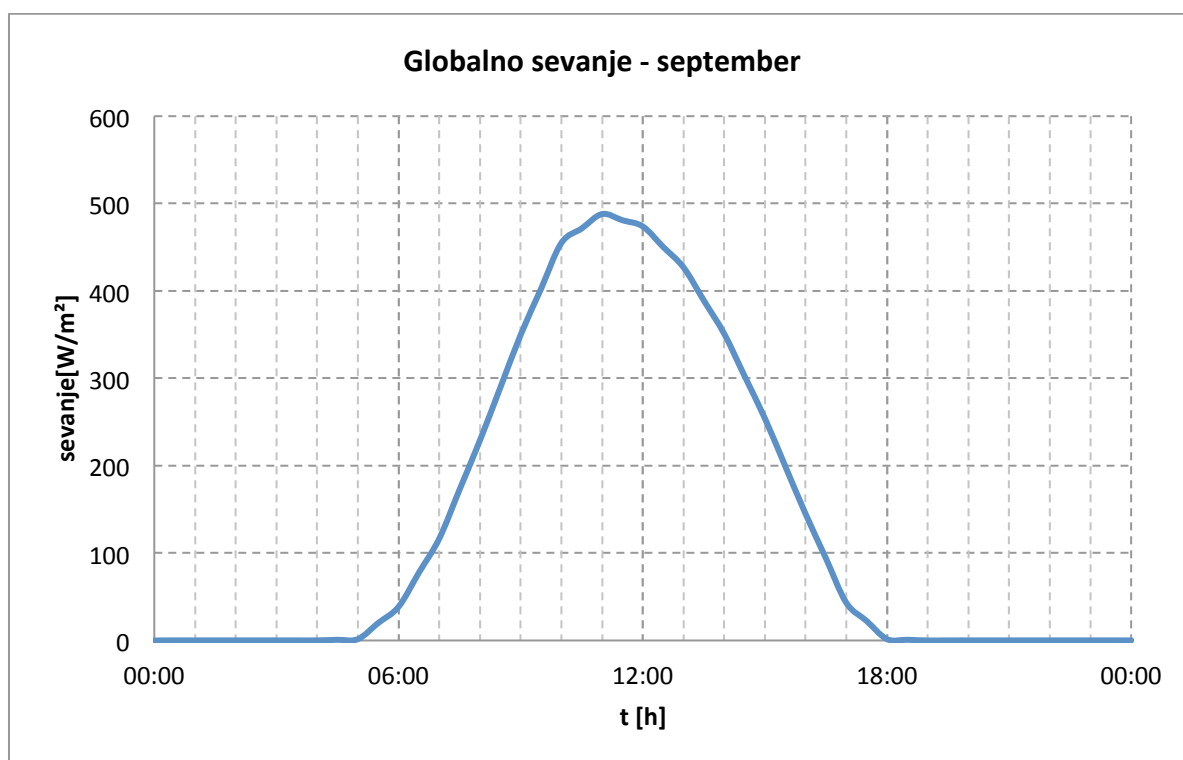
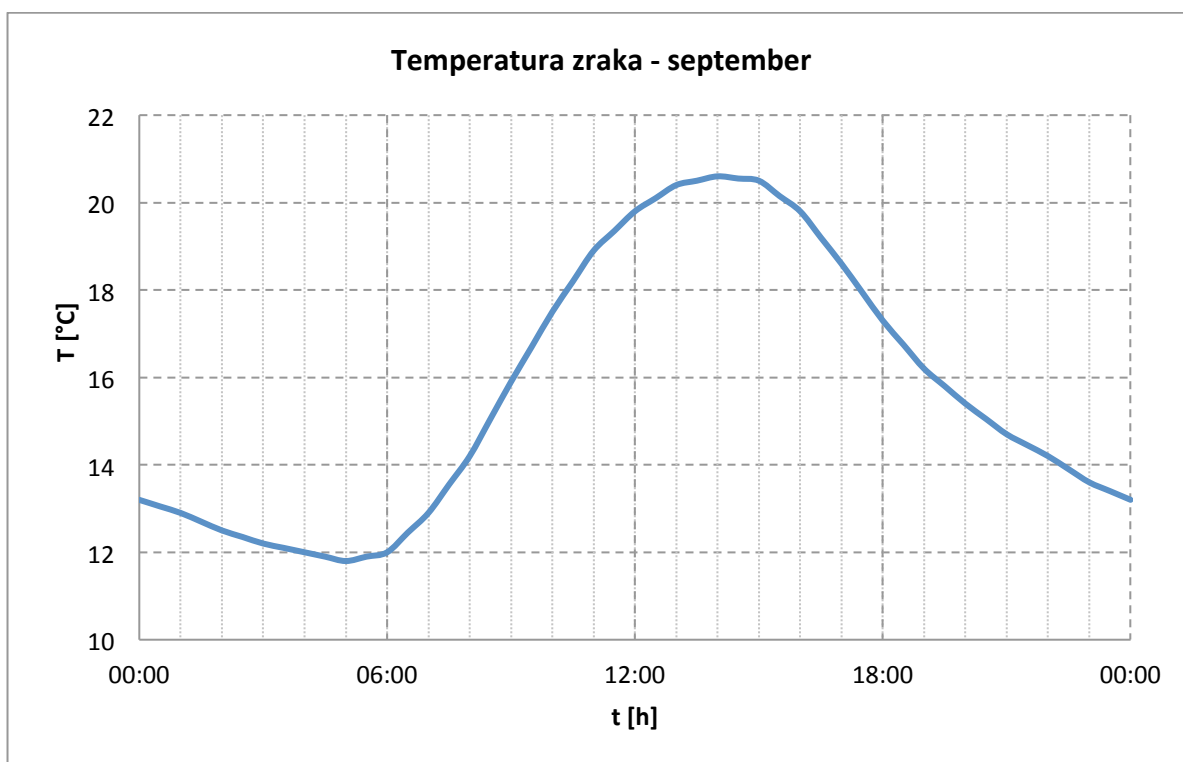
PRILOGA A.2/i: METEOROLOŠKI PODATKI ZA POVPREČEN DAN - avgust



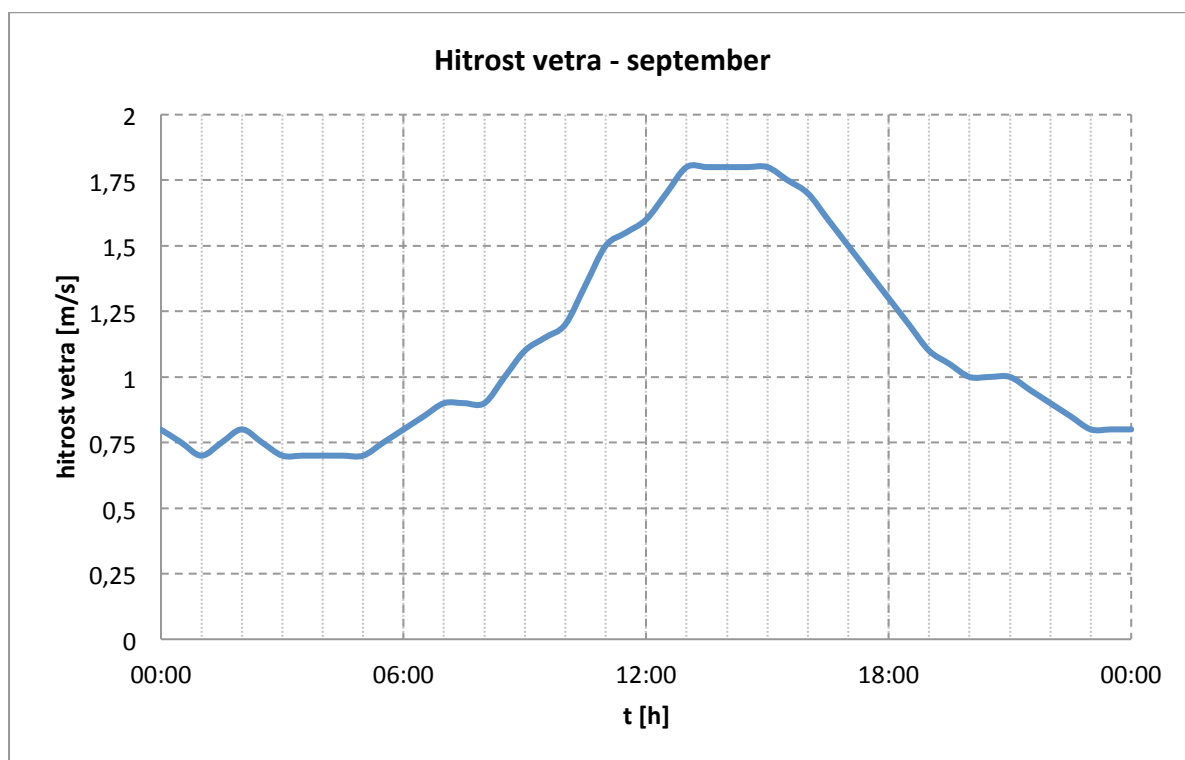
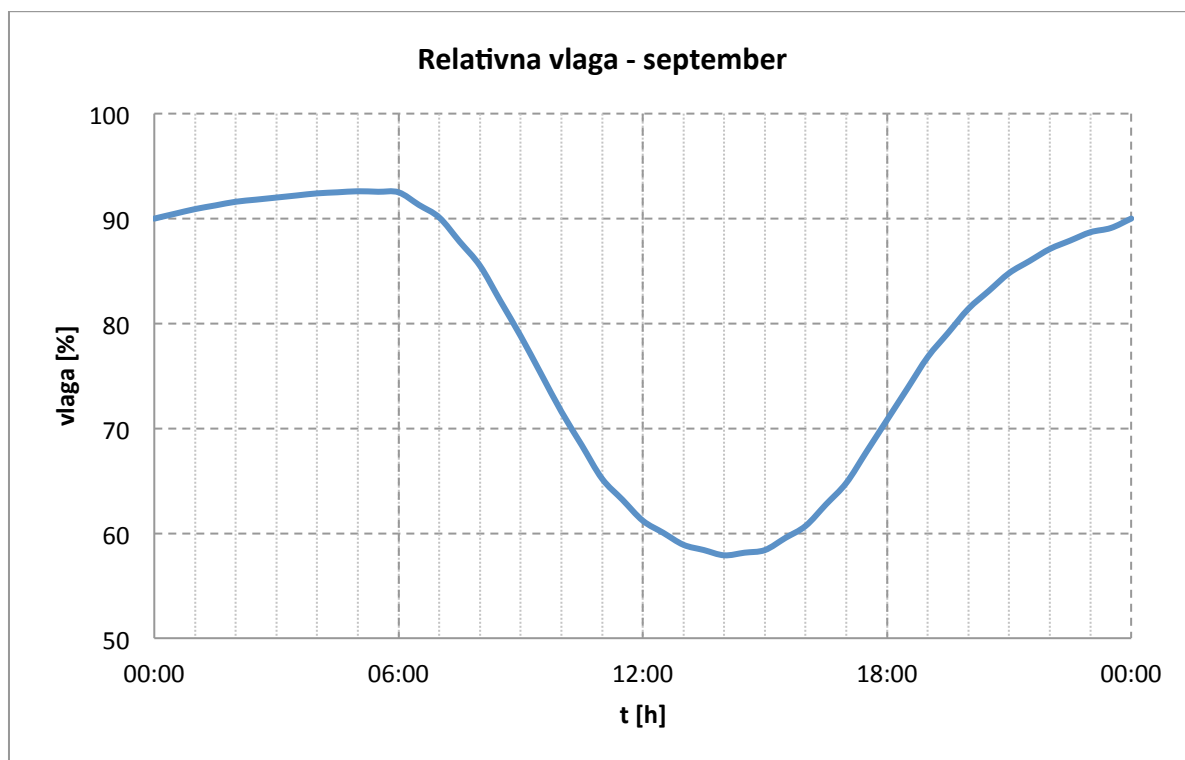
PRILOGA A.2/j: METEOROLOŠKI PODATKI ZA POVPREČEN DAN - avgust



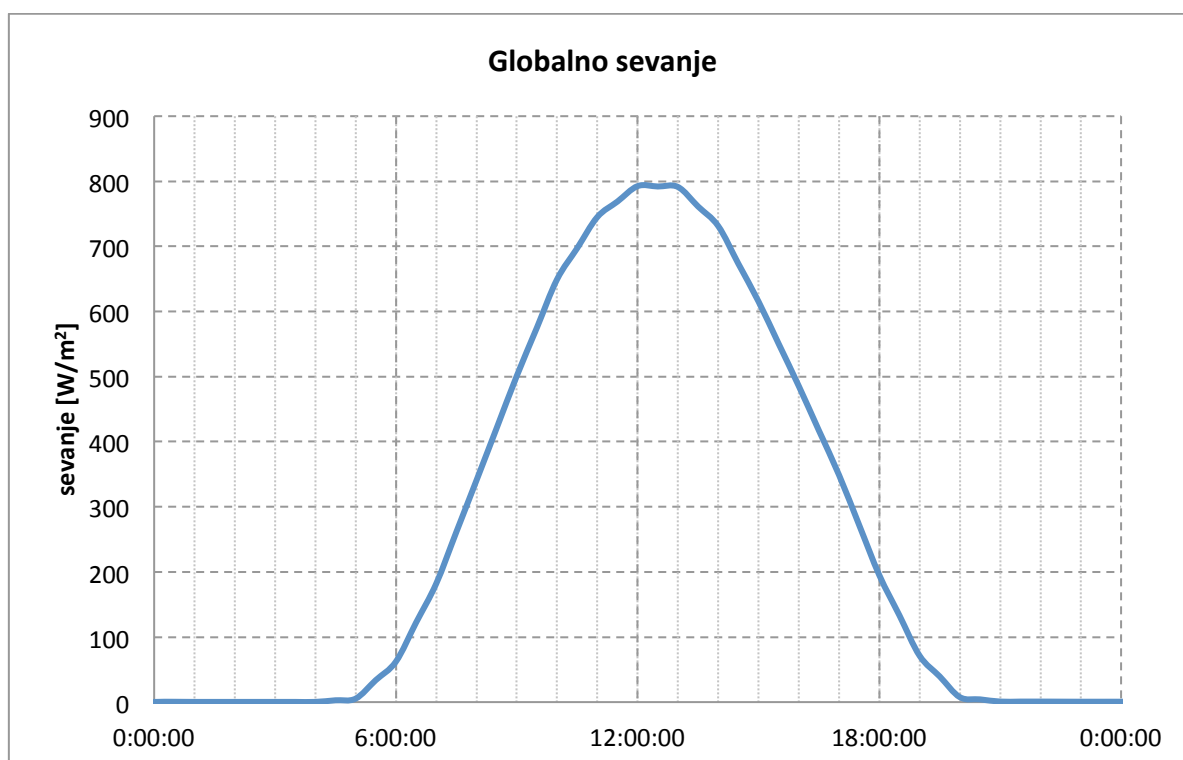
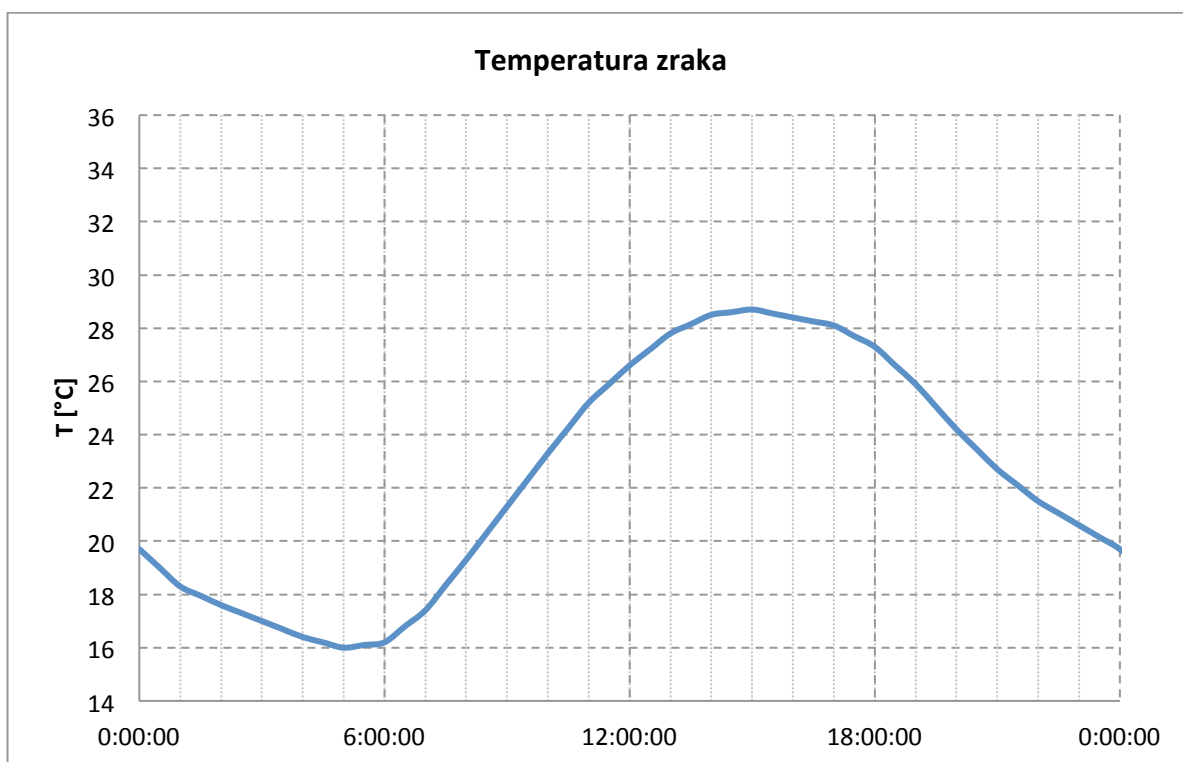
PRILOGA A.2/k: METEOROLOŠKI PODATKI ZA POVPREČEN DAN - september



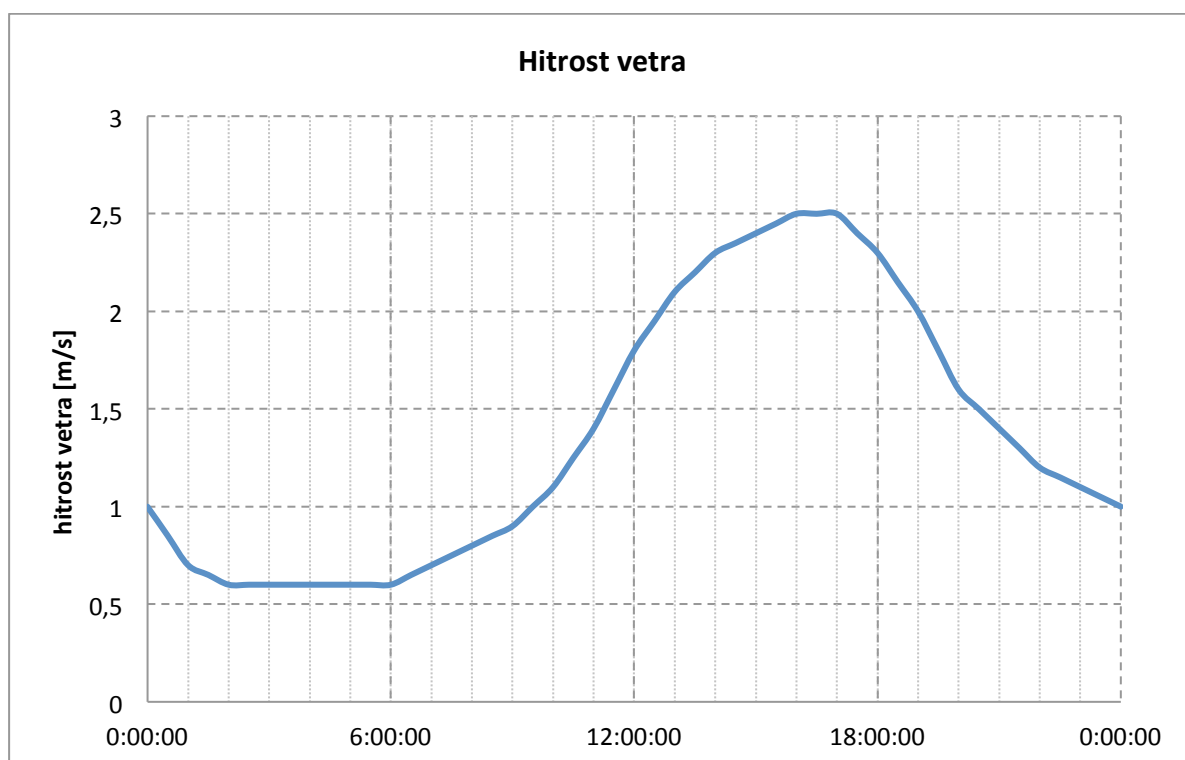
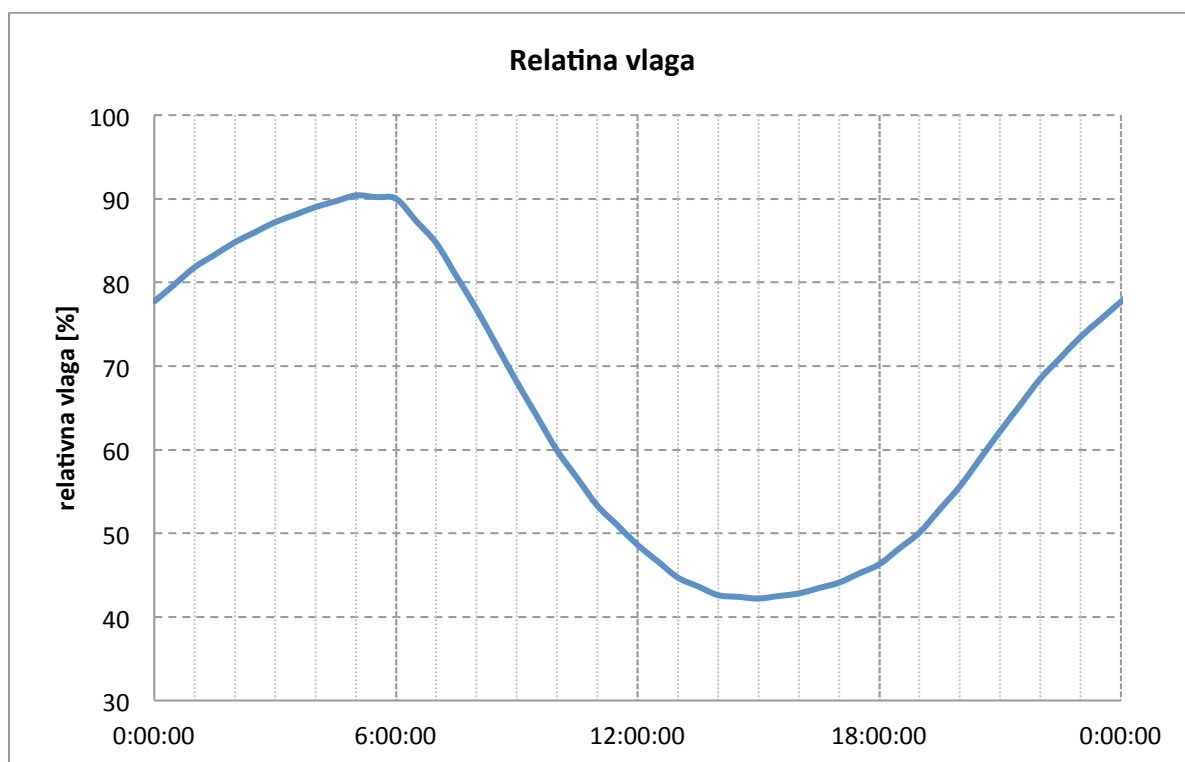
PRILOGA A.2/I: METEOROLOŠKI PODATKI ZA POVPREČEN DAN - september



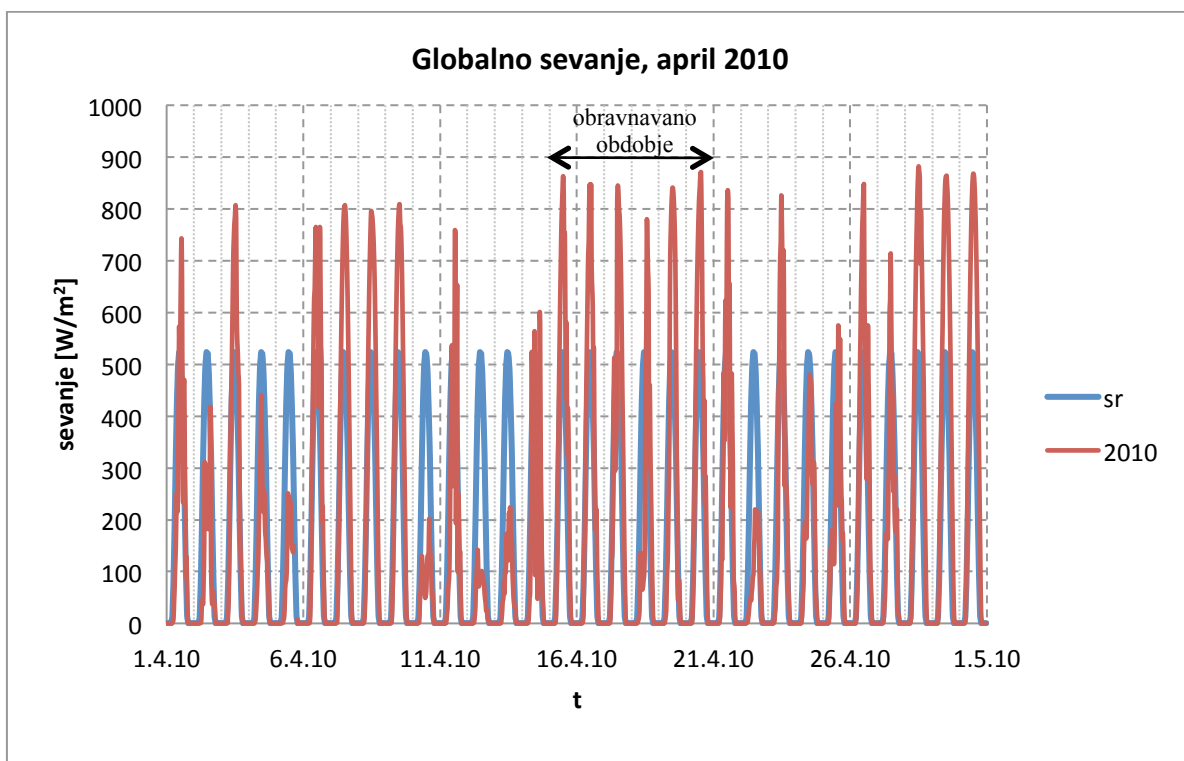
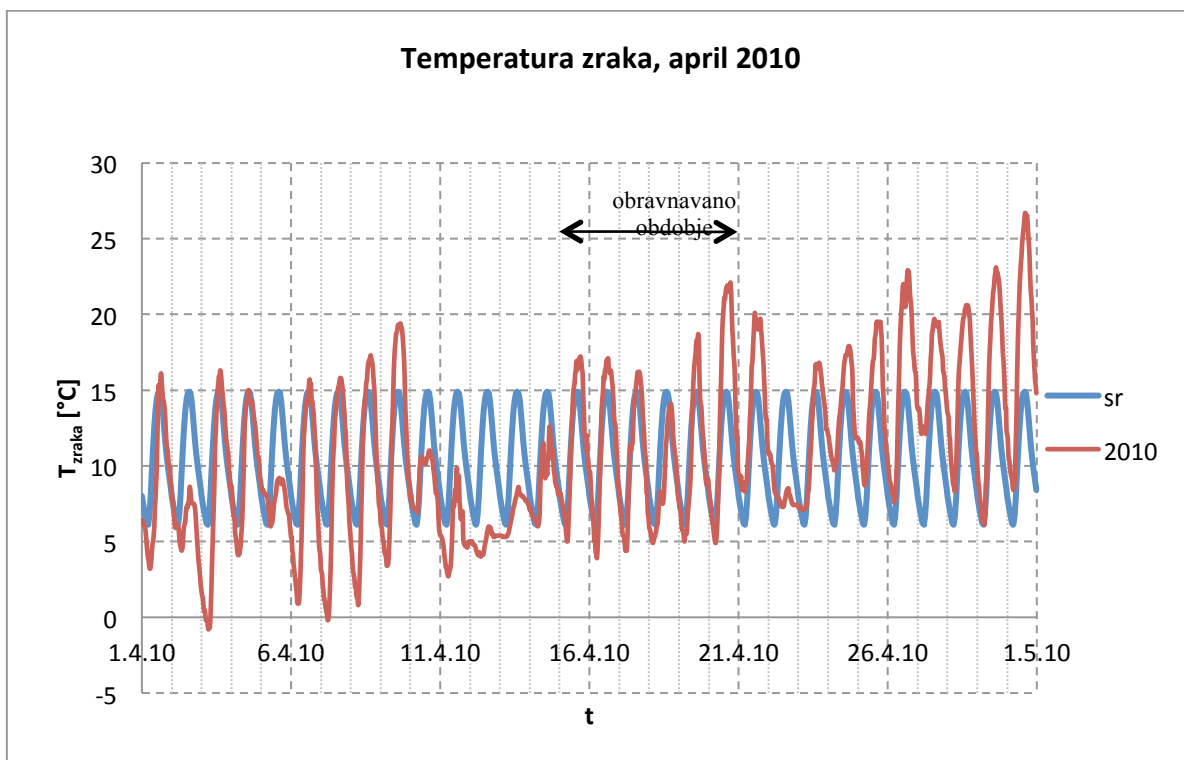
PRILOGA A.3/a: METEOROLOŠKI PODATKI ZA KRITIČEN DAN



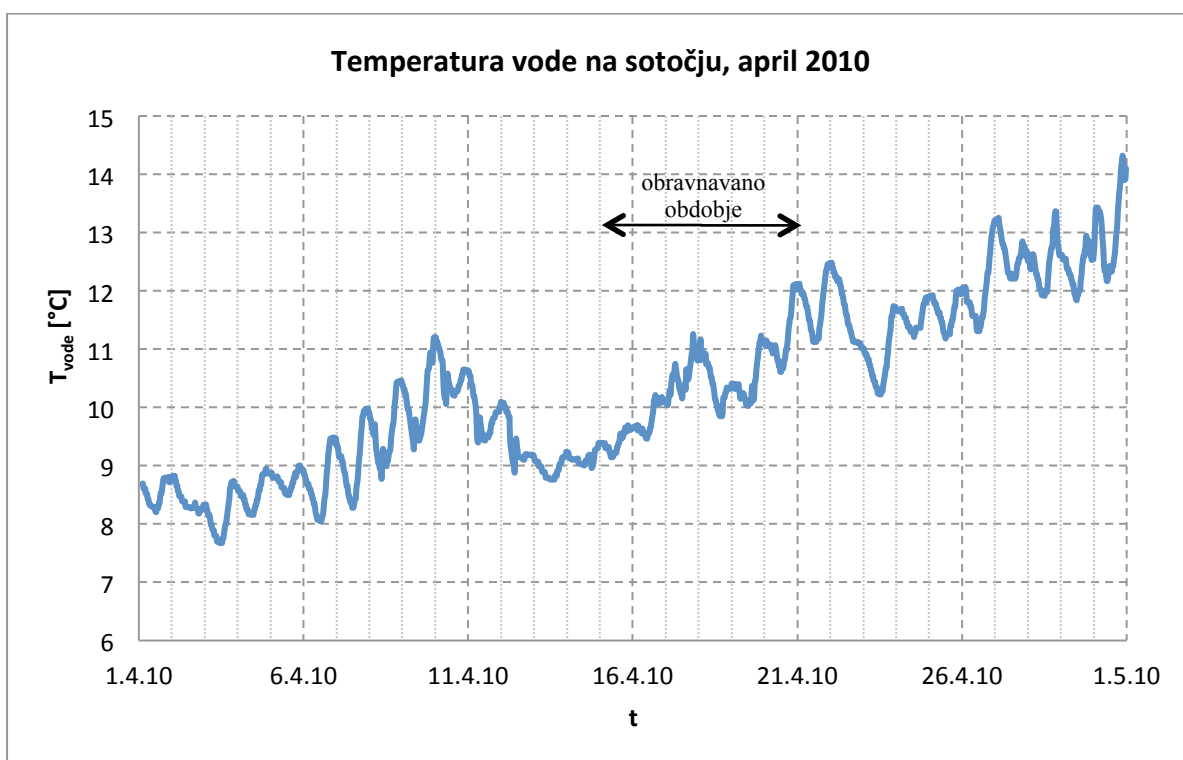
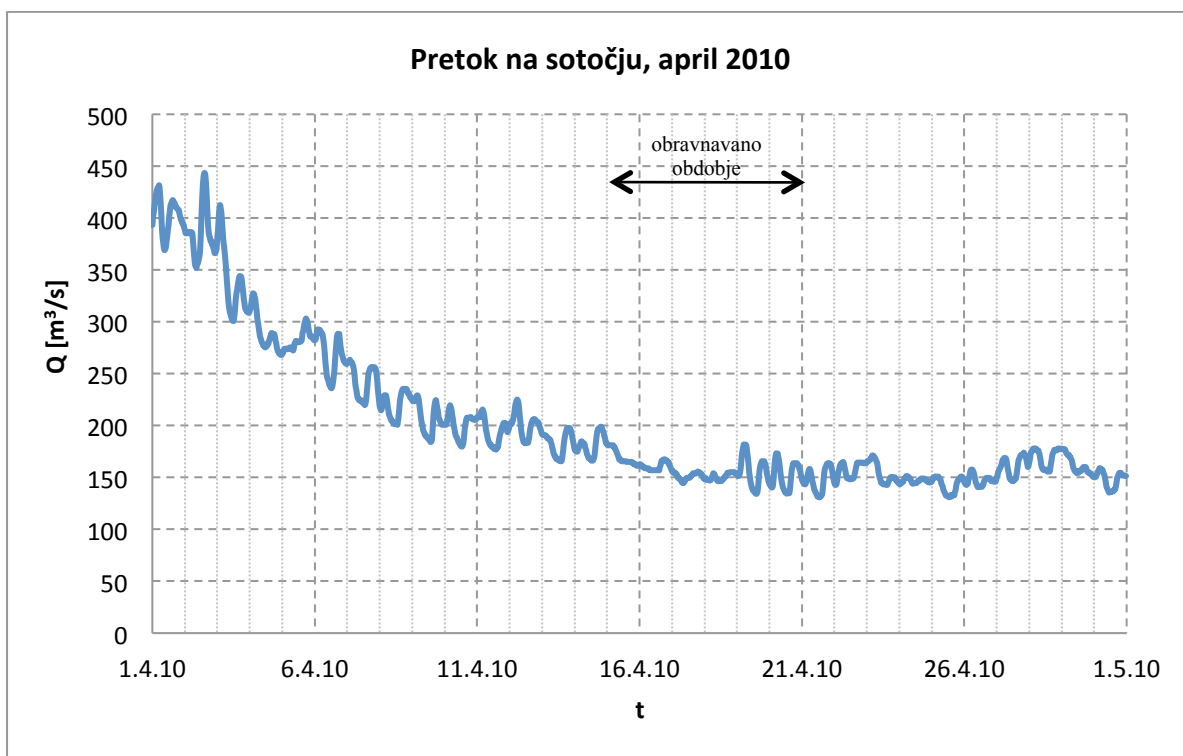
PRILOGA A.3/b: METEOROLOŠKI PODATKI ZA KRITIČEN DAN



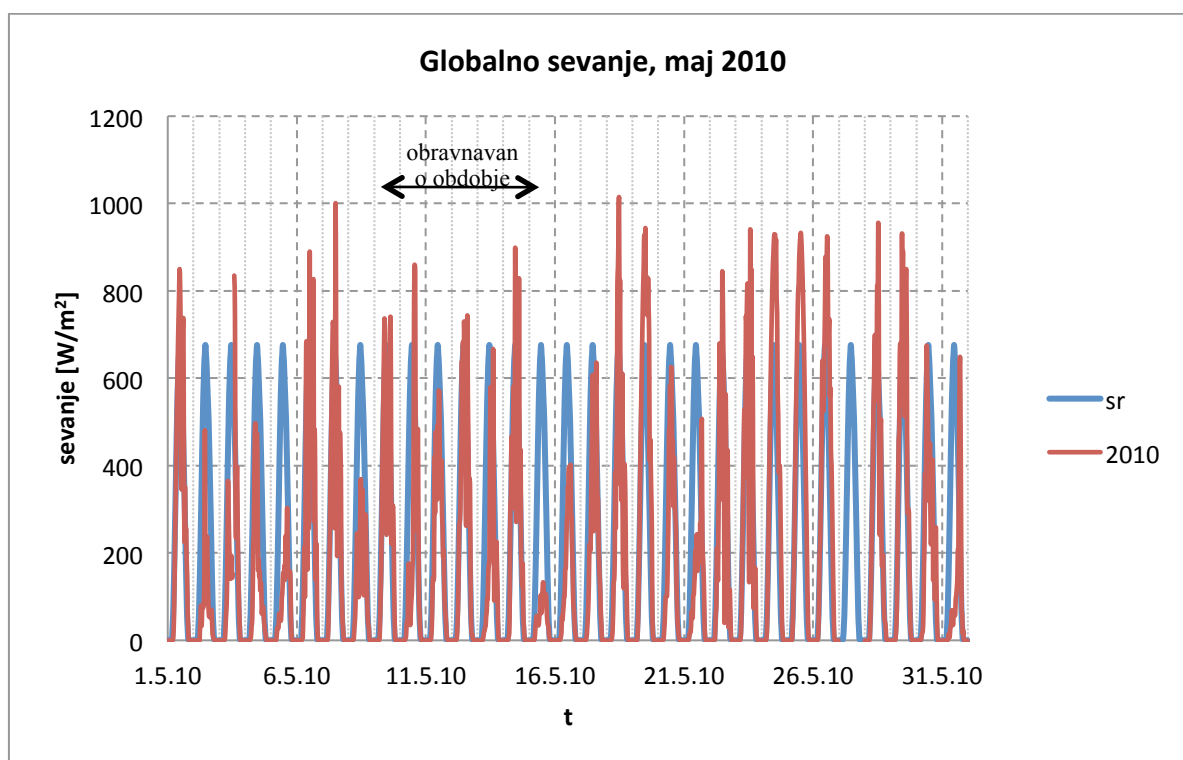
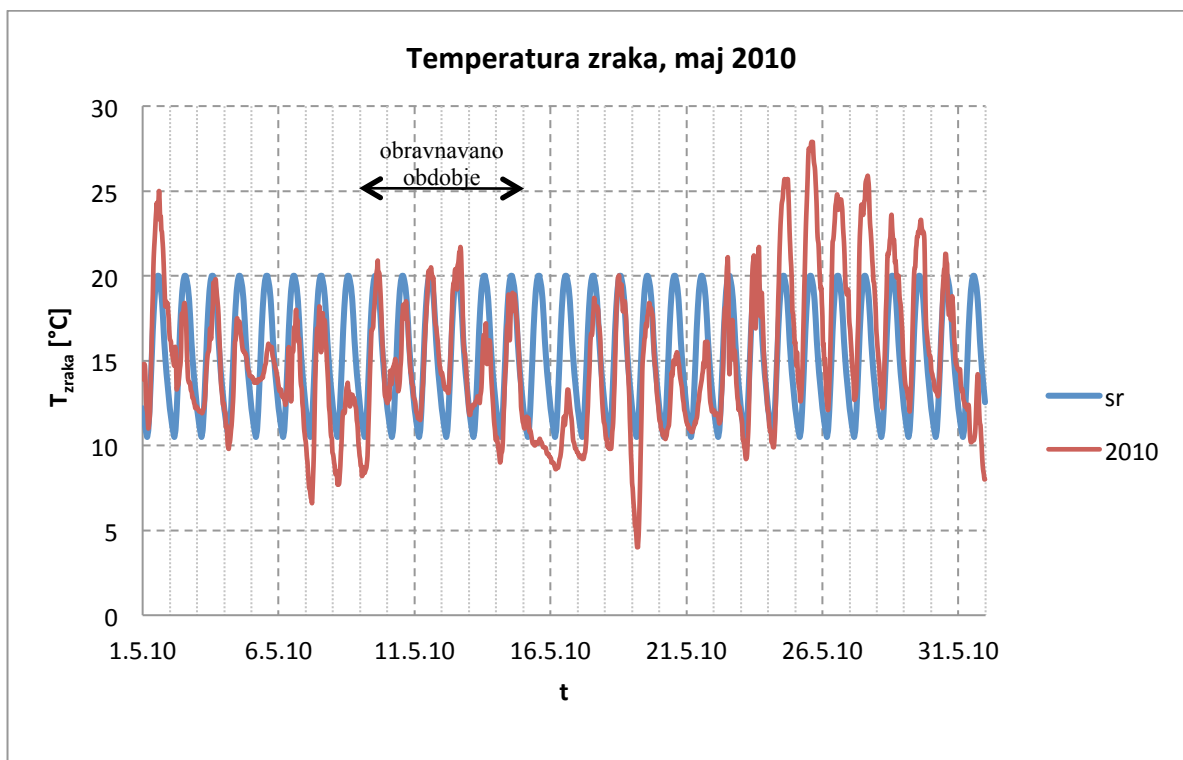
PROLOGA A.4/a: IZBIRA SREDNJEGA OBDOBJA - april



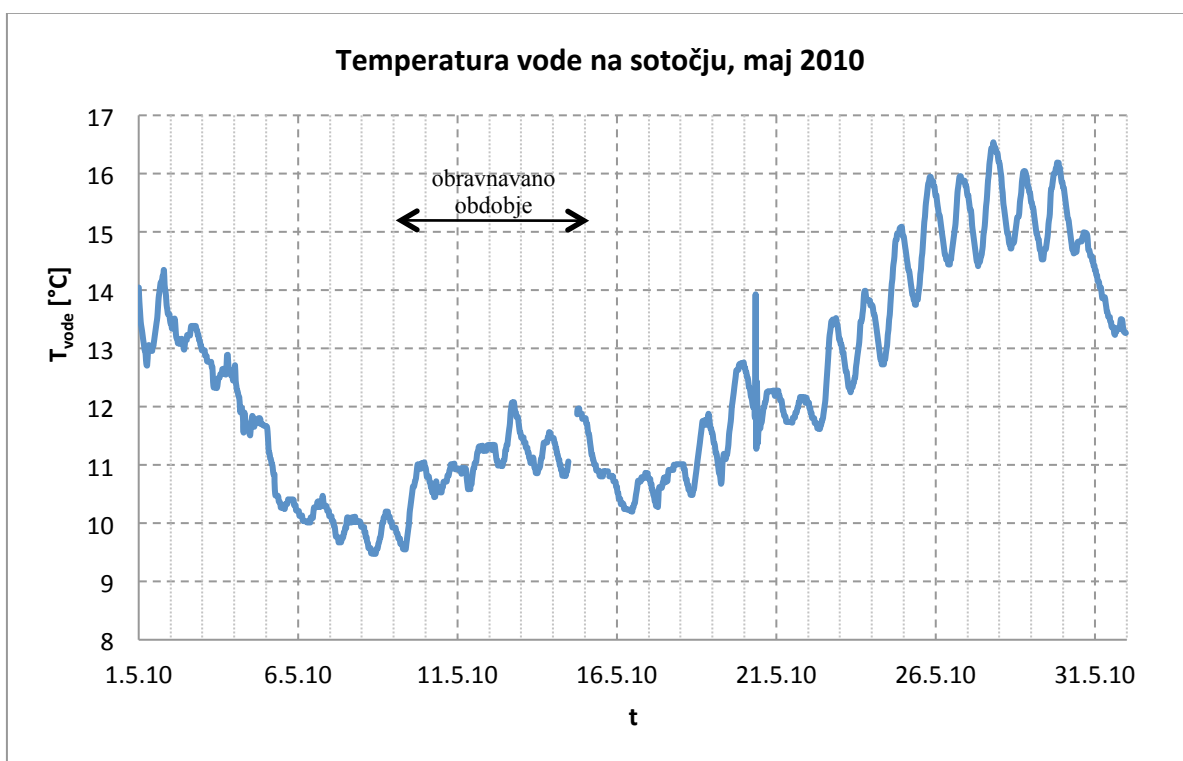
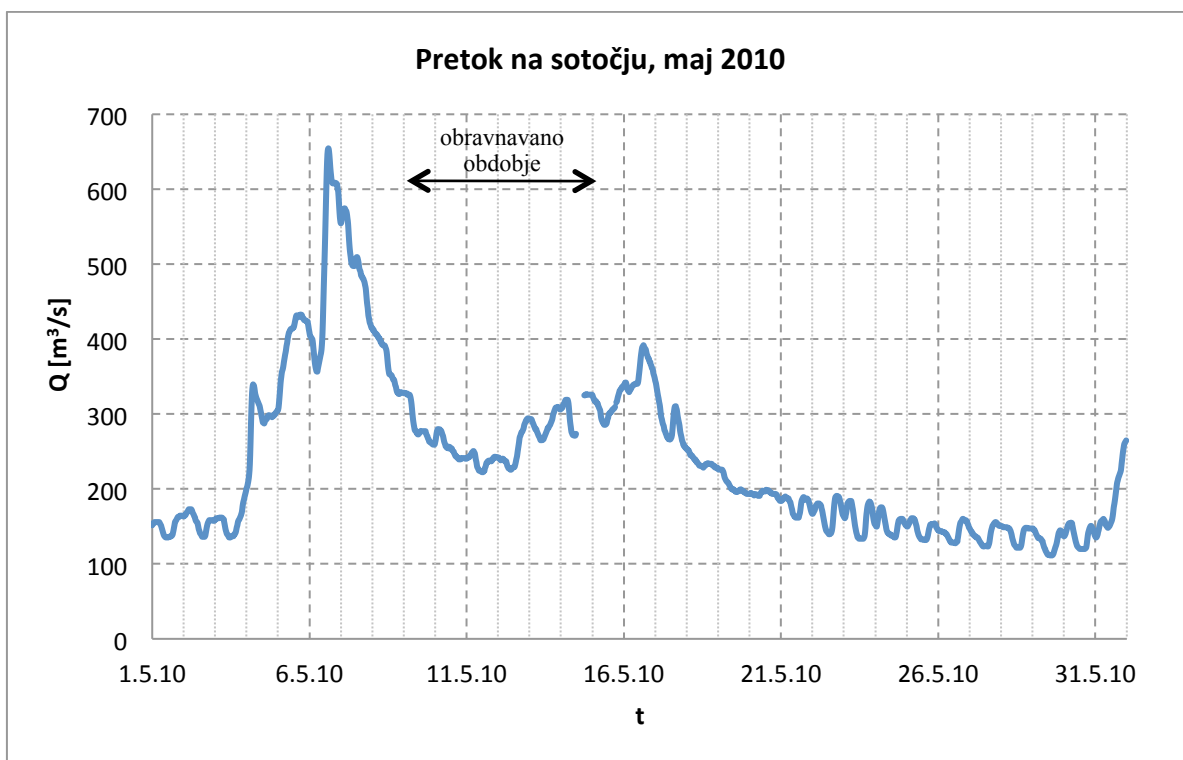
PROLOGA A.4/b: IZBIRA SREDNJEGA OBDOBJA - april



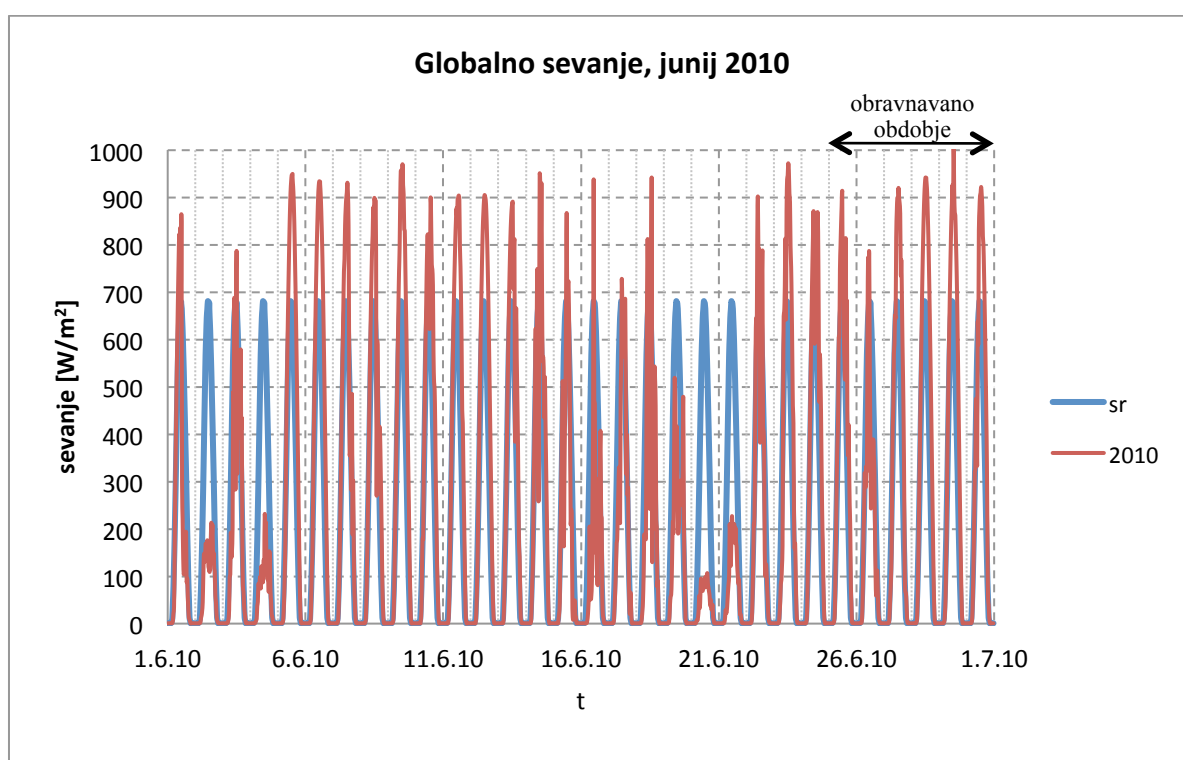
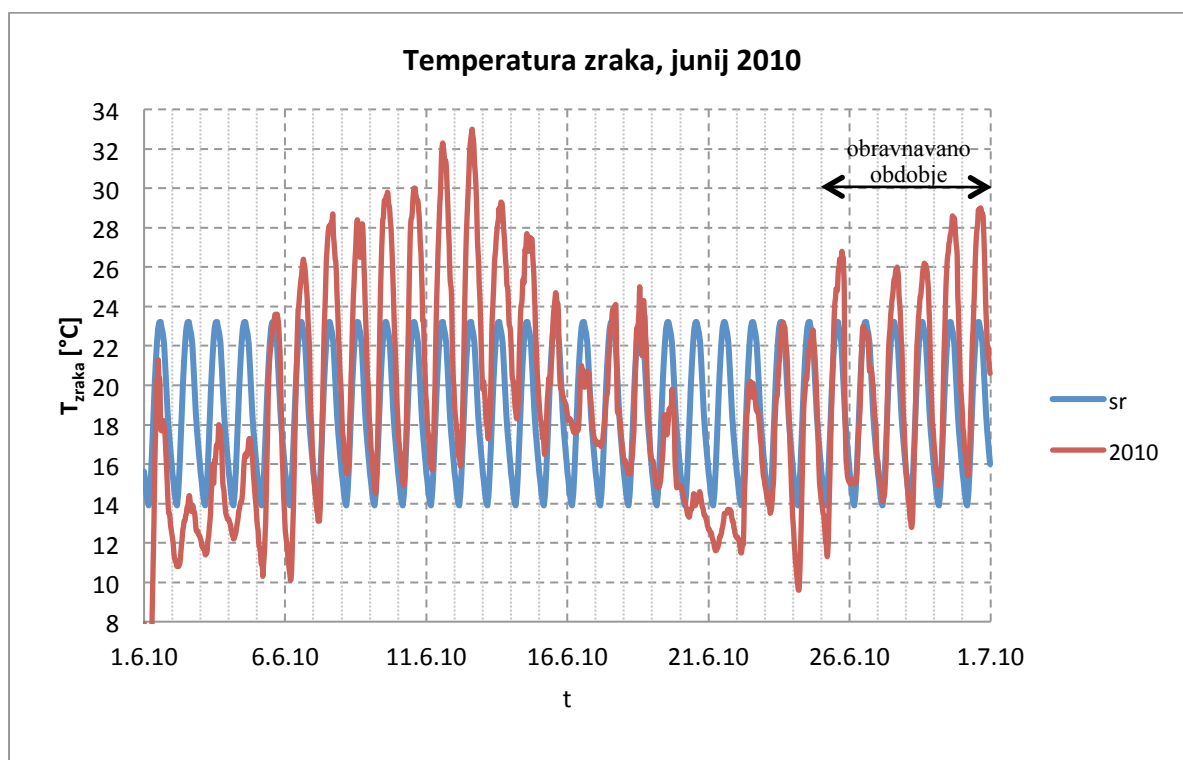
PROLOGA A.4/c: IZBIRA SREDNJEGA OBDOBJA - maj



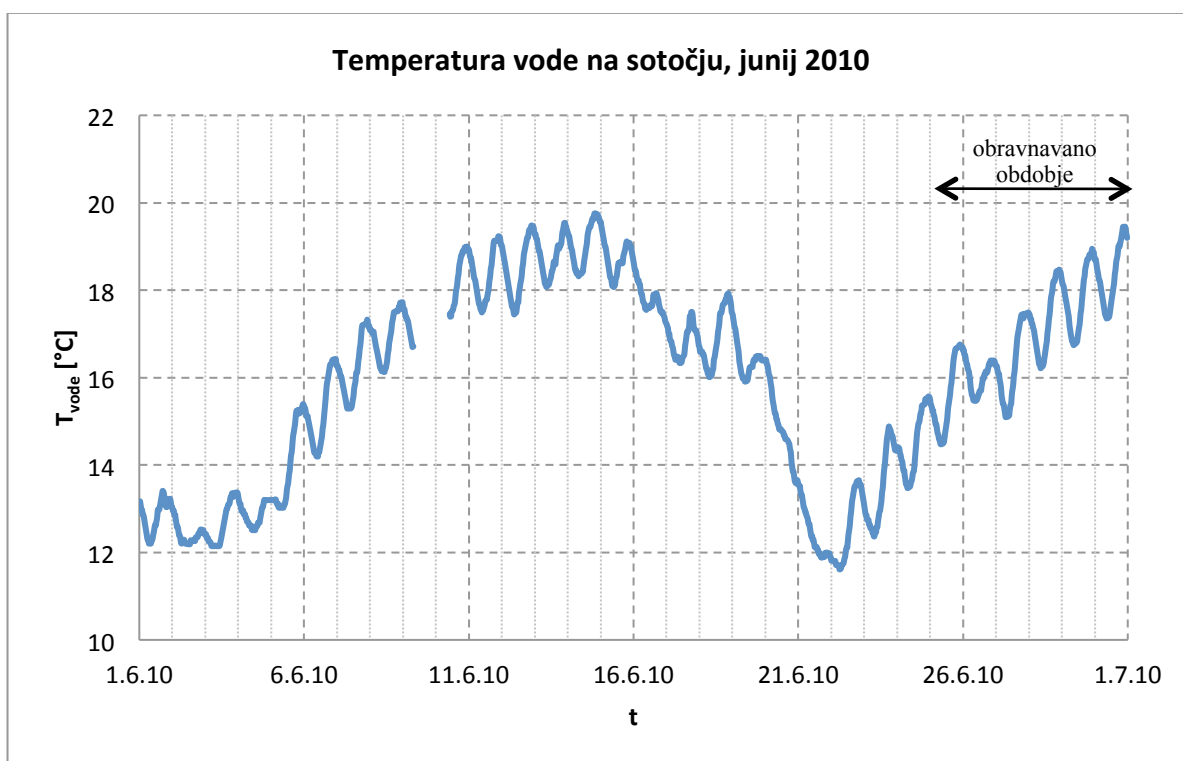
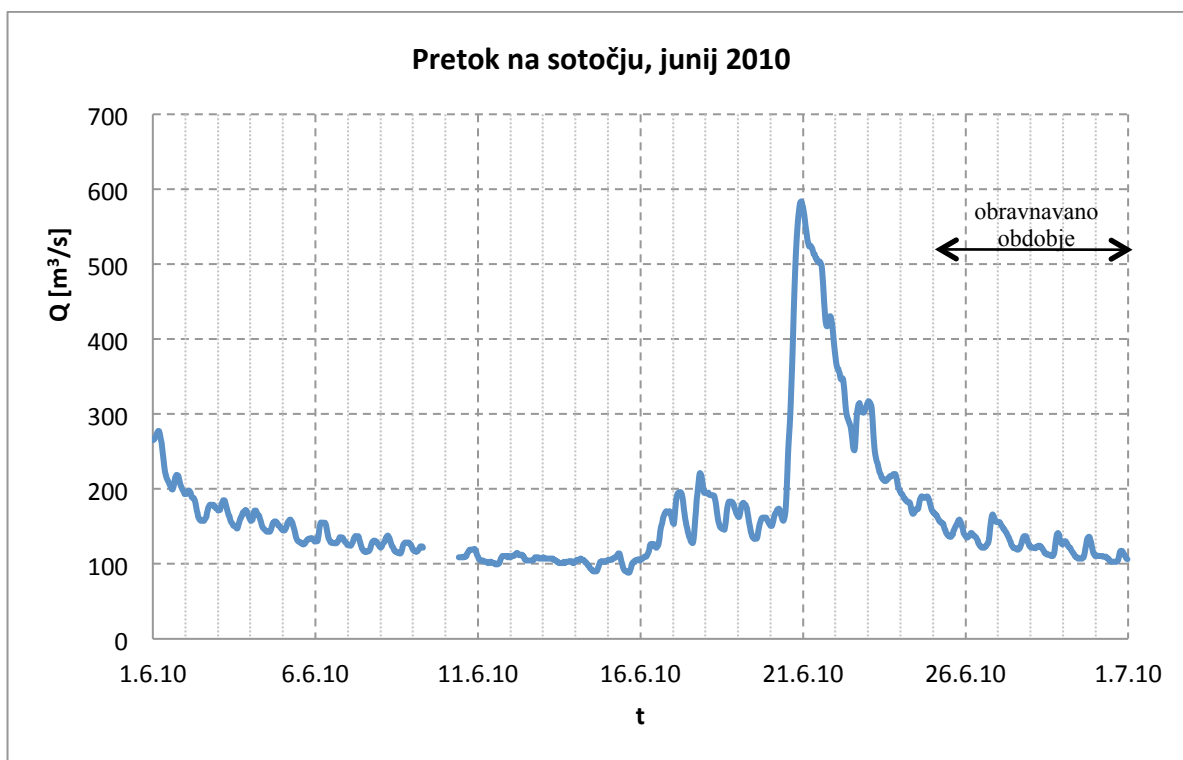
PROLOGA A.4/d: IZBIRA SREDNJEGA OBDOBJA - maj



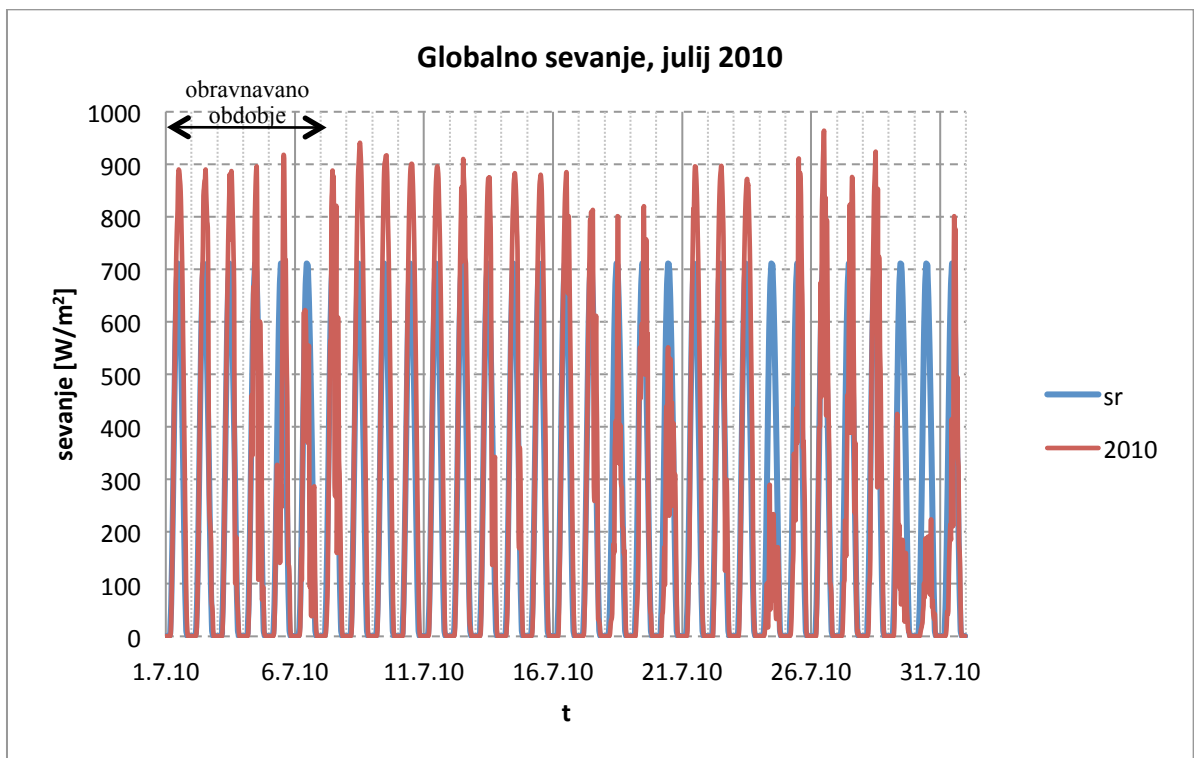
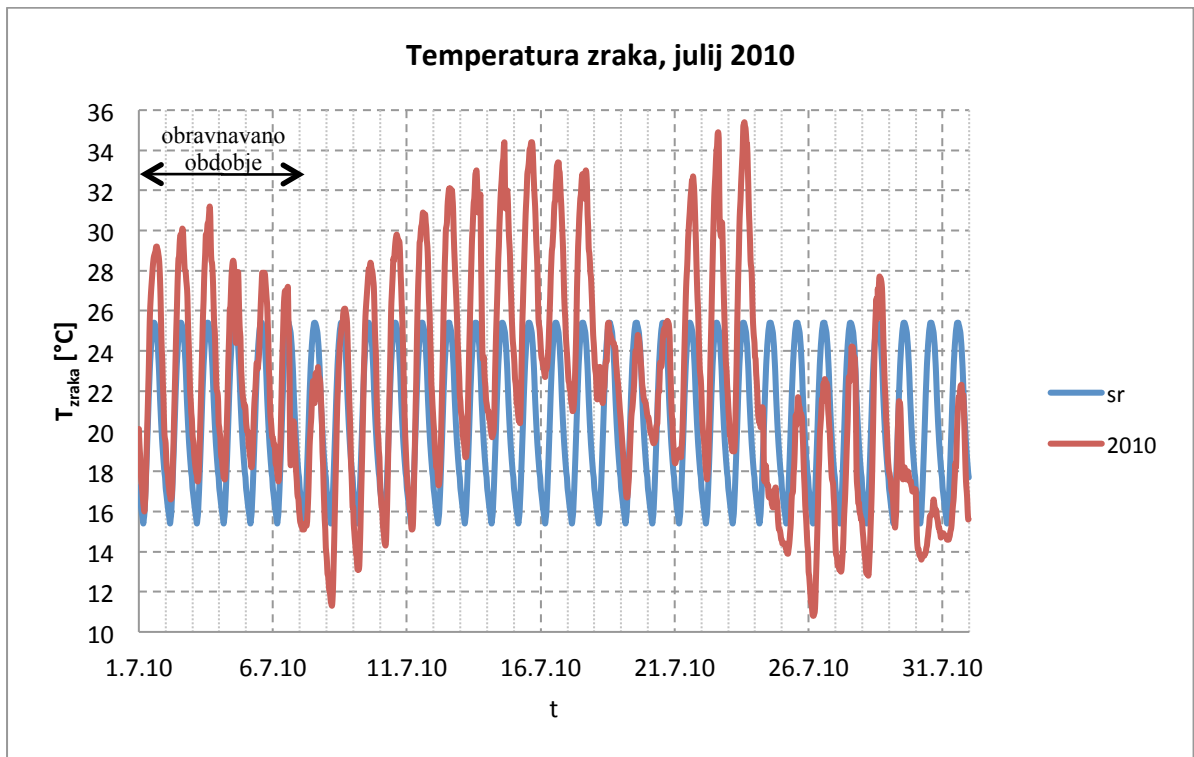
PROLOGA A.4/e: IZBIRA SREDNJEGA OBDOBJA - junij



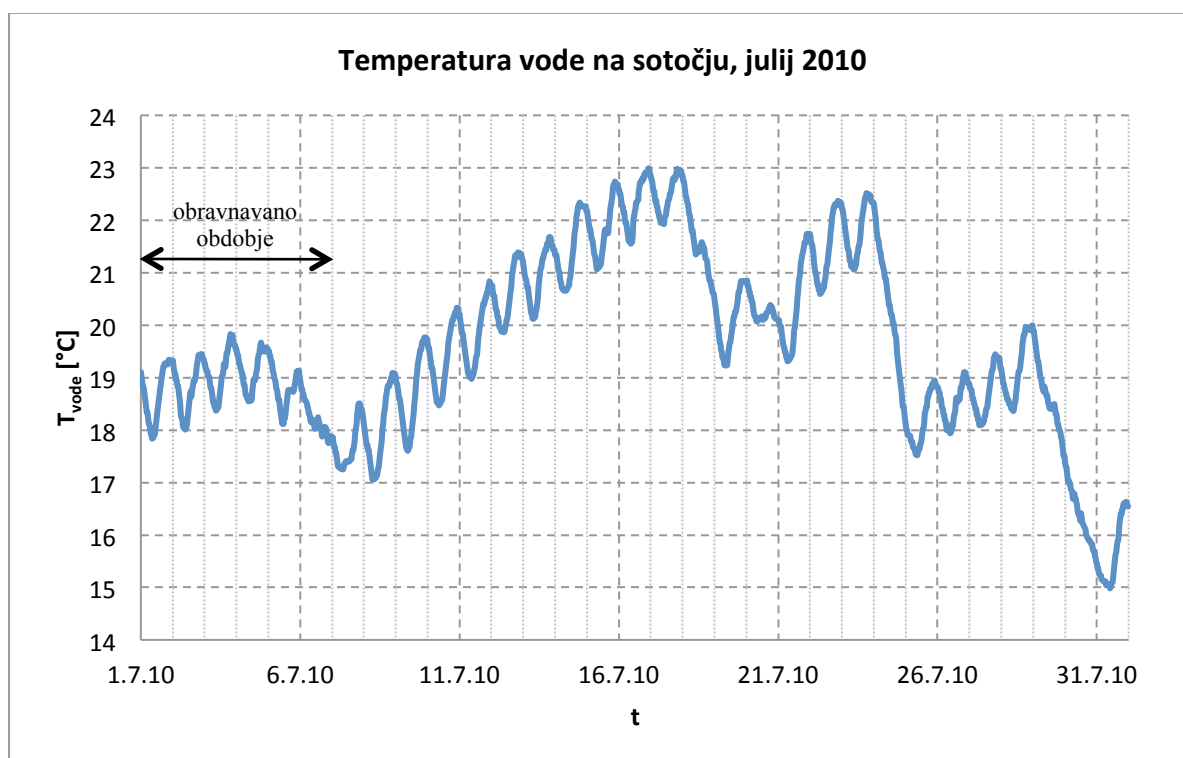
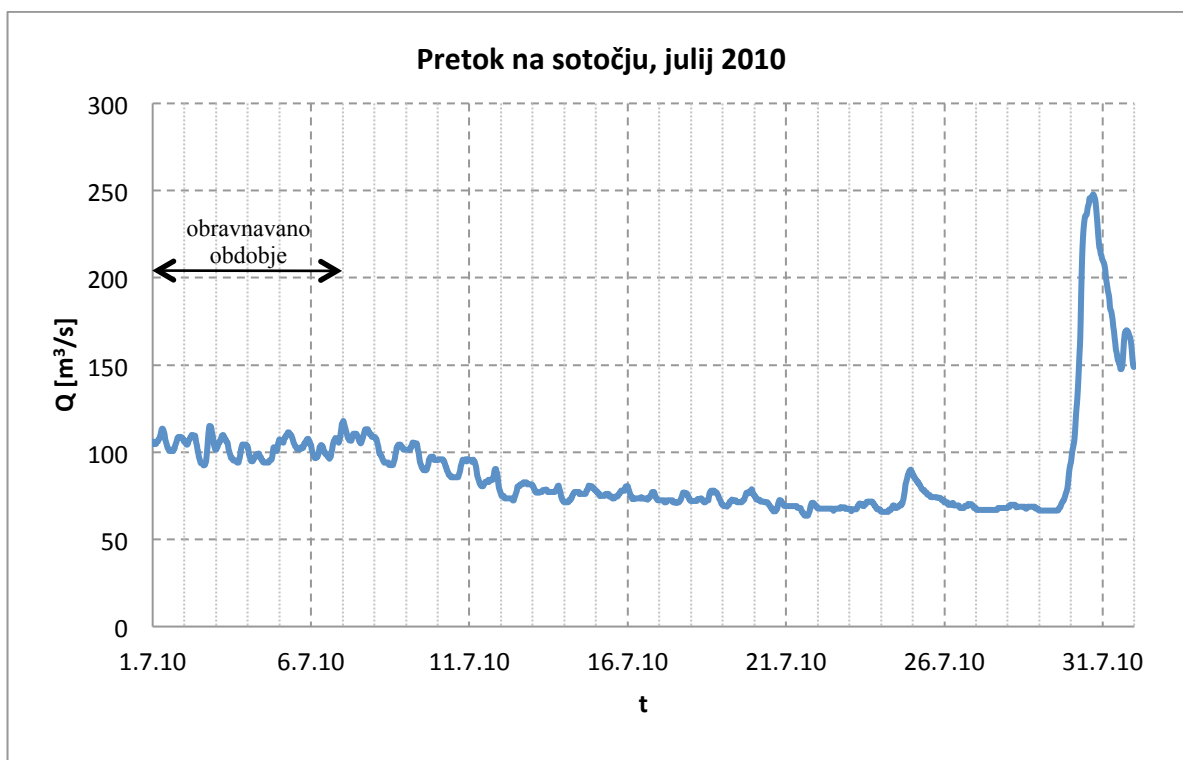
PROLOGA A.4/f. IZBIRA SREDNJEGA OBDOBJA - junij



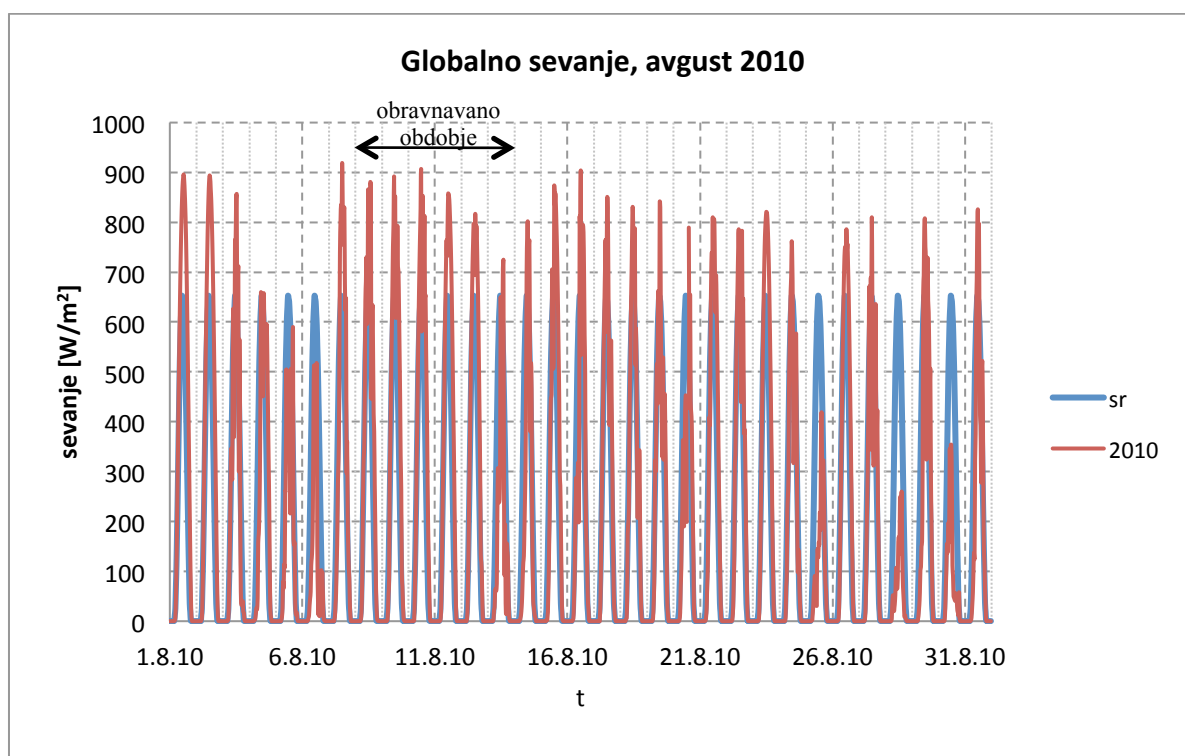
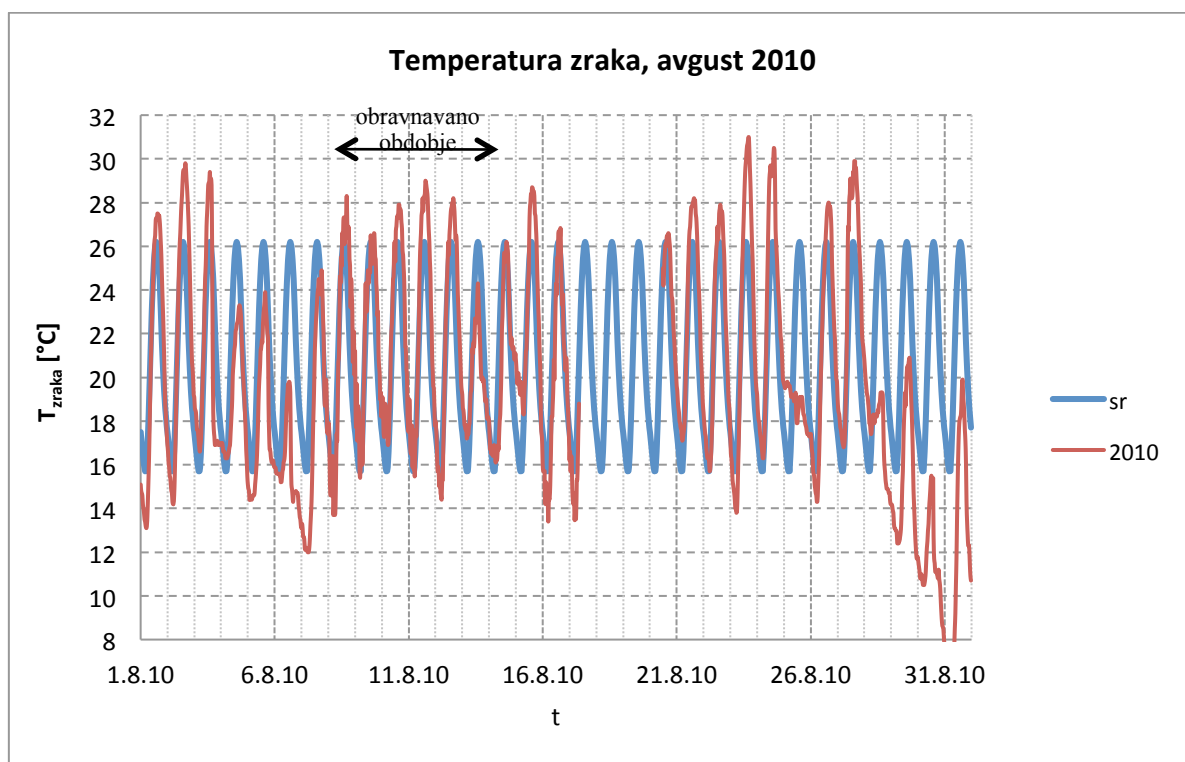
PROLOGA A.4/g: IZBIRA SREDNJEGA OBDOBJA – julij



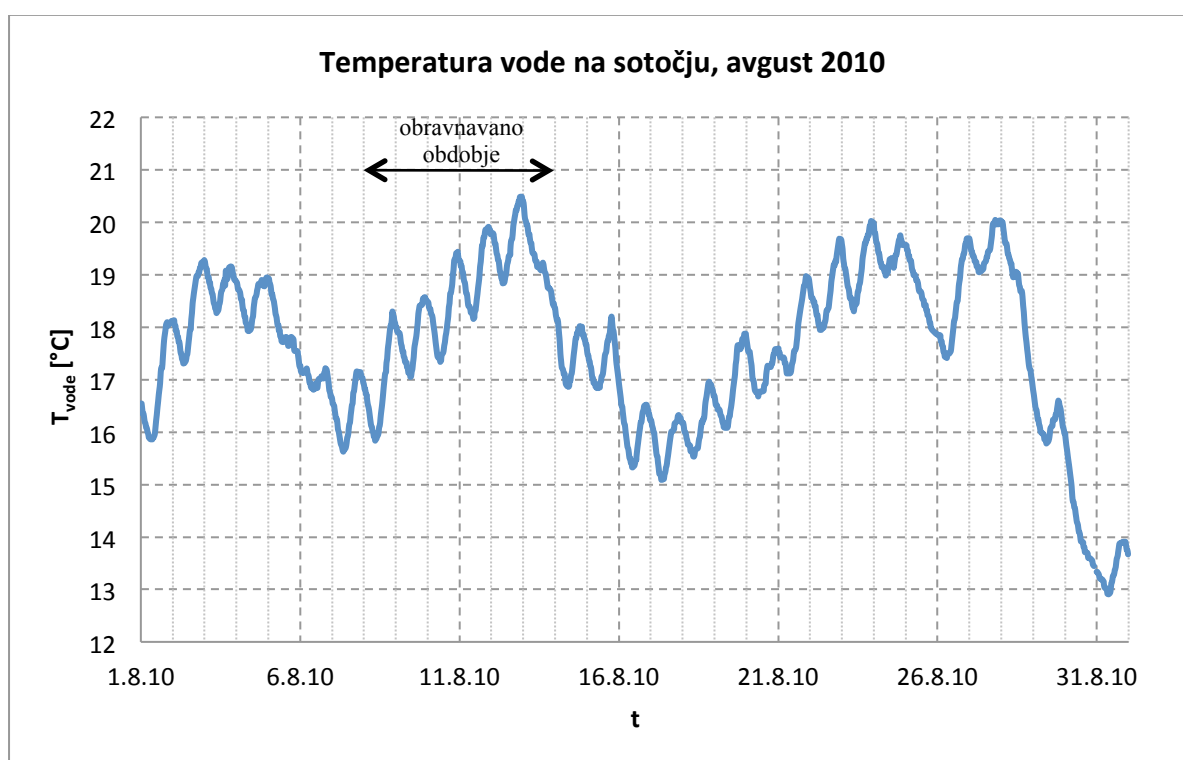
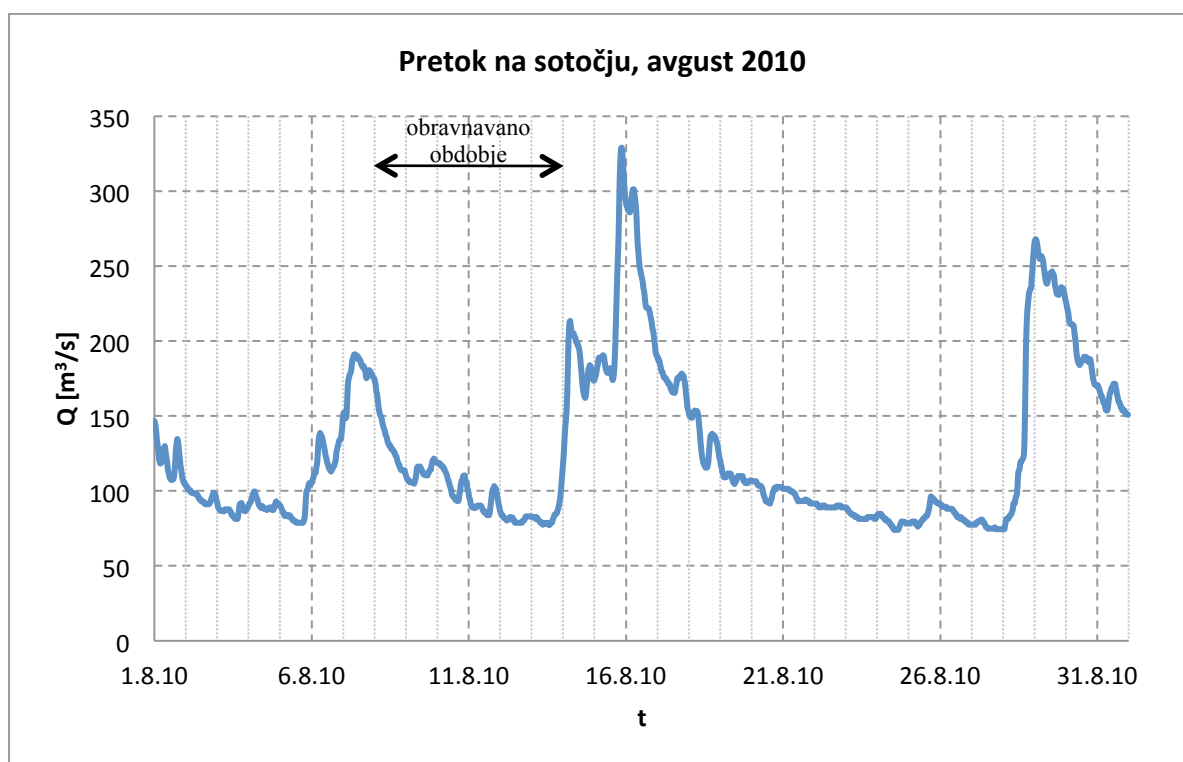
PROLOGA A.4/h: IZBIRA SREDNJEGA OBDOBJA - julij



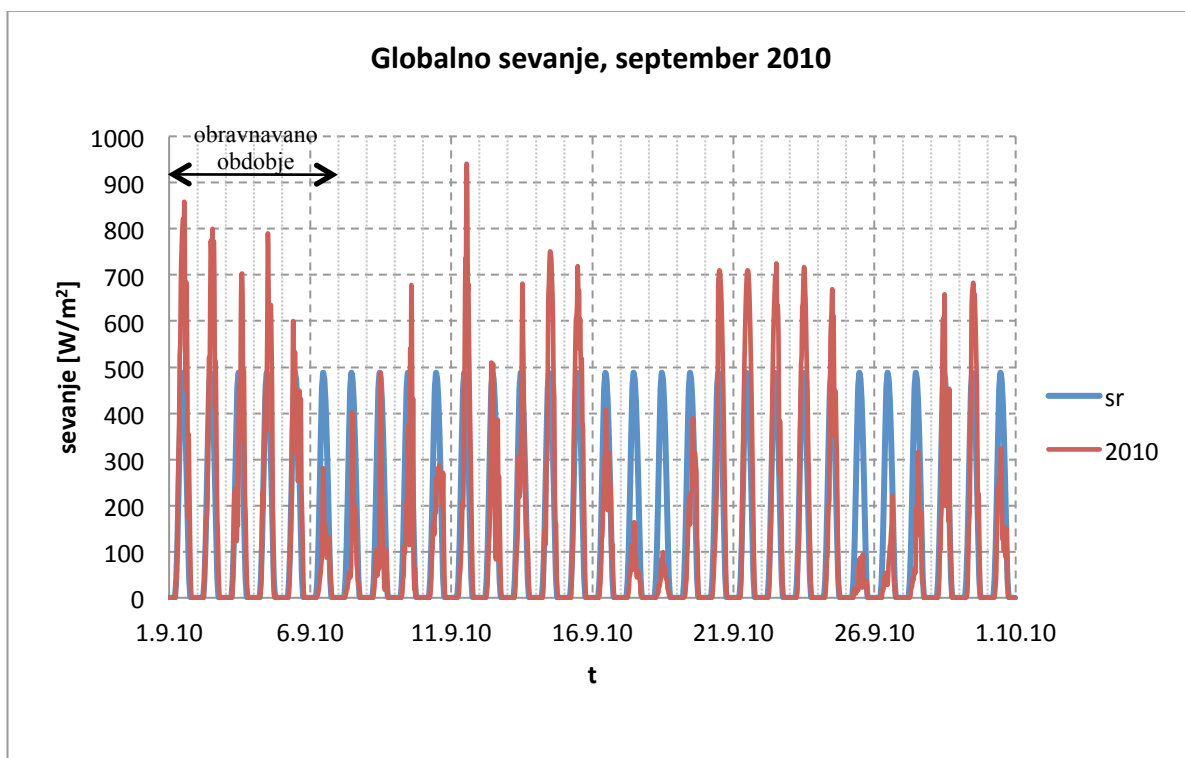
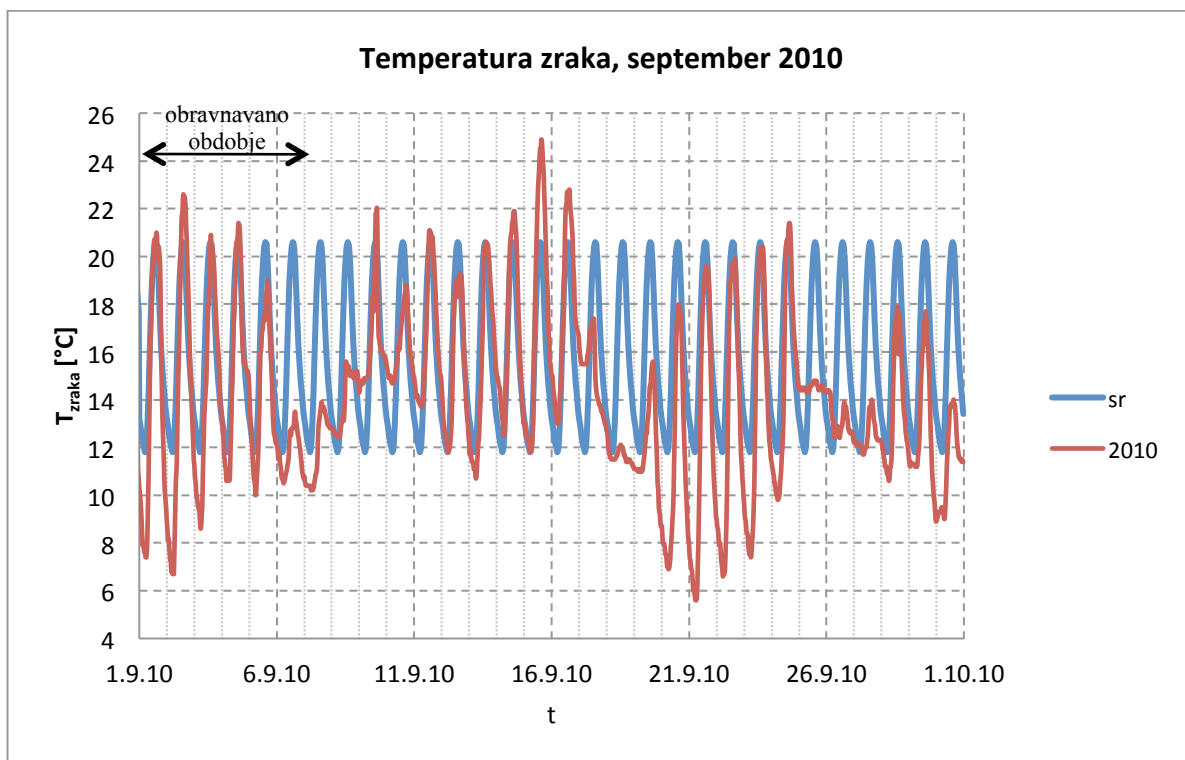
PROLOGA A.4/i: IZBIRA SREDNJEGA OBDOBJA - avgust



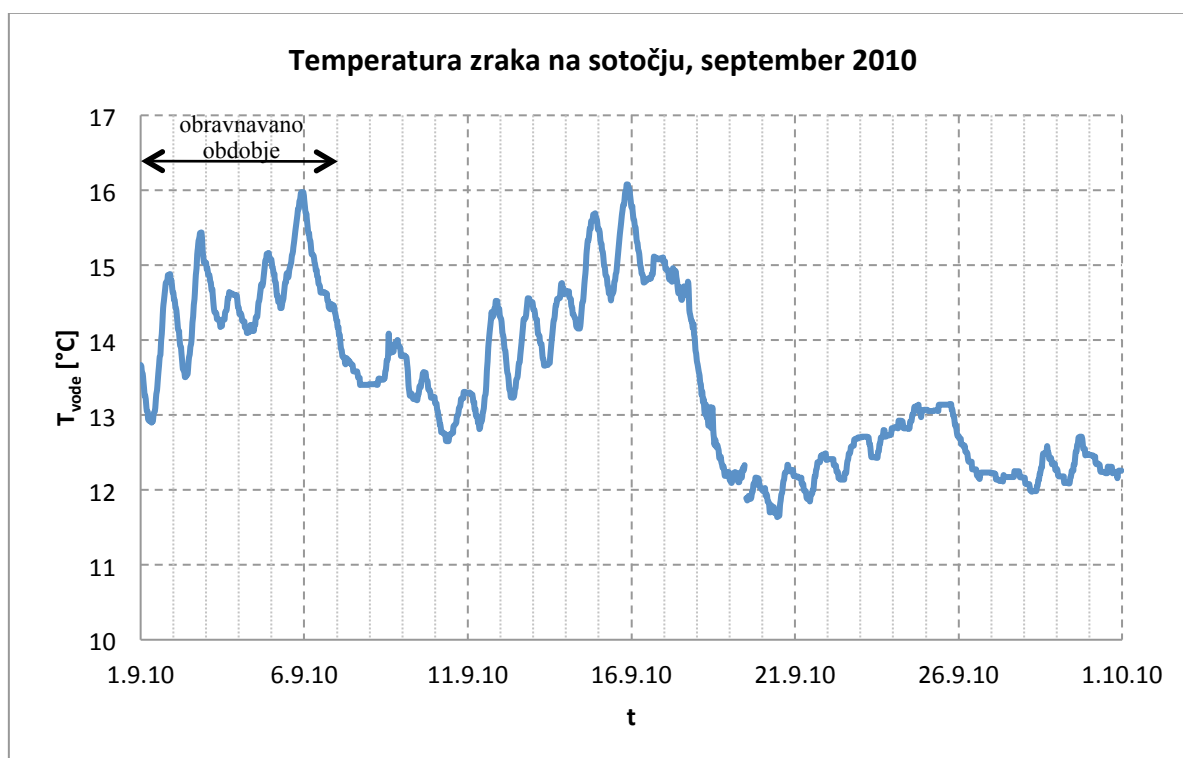
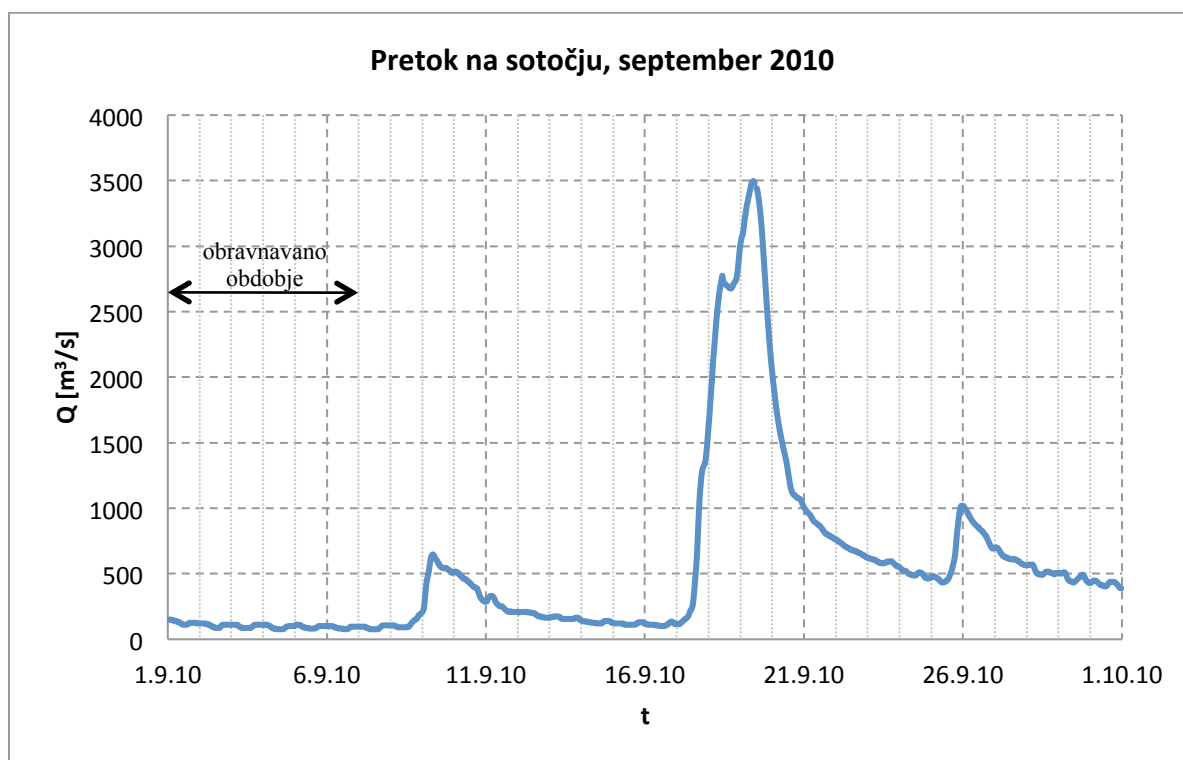
PROLOGA A.4/j: IZBIRA SREDNJEGA OBDOBJA - avgust



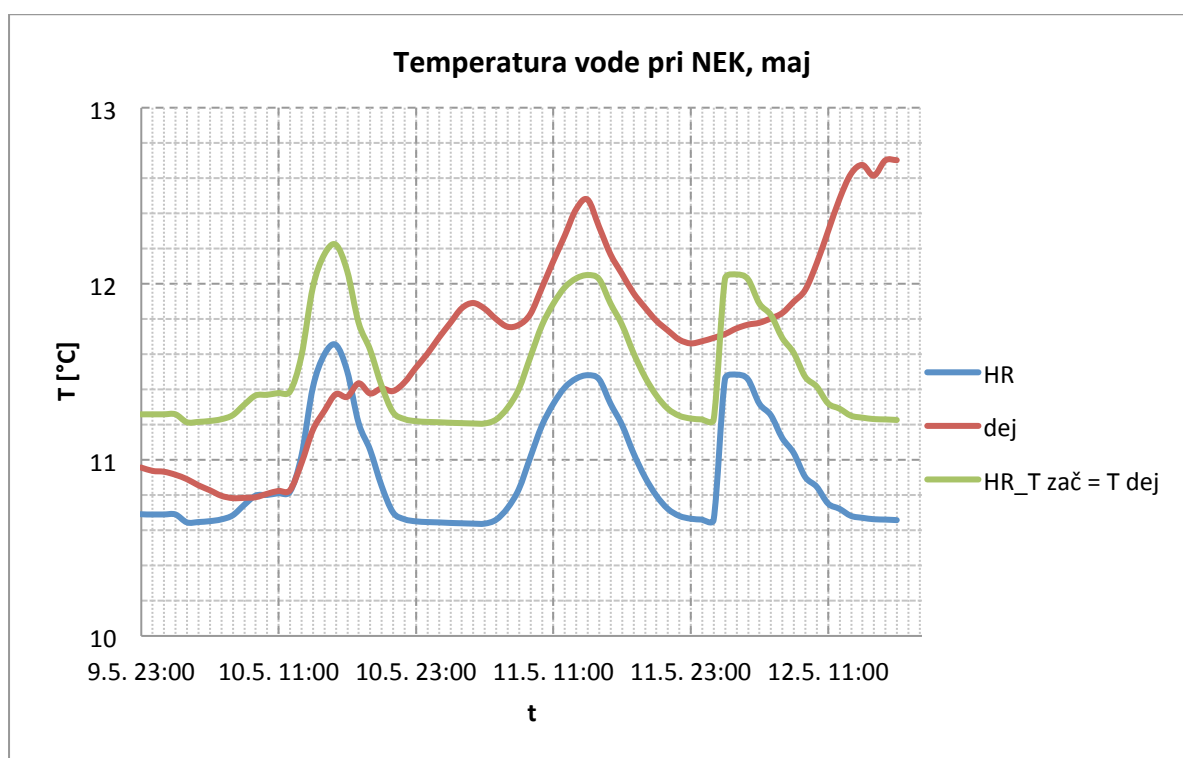
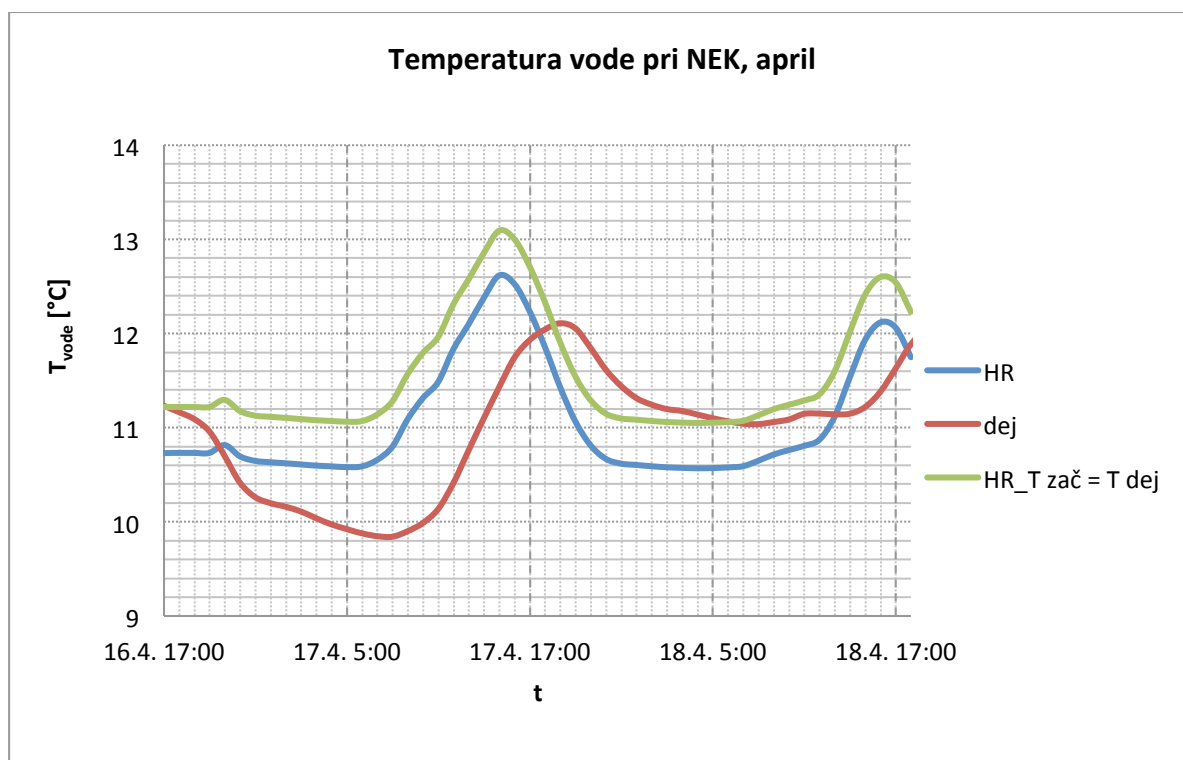
PROLOGA A.4/k: IZBIRA SREDNJEGA OBDOBJA - september



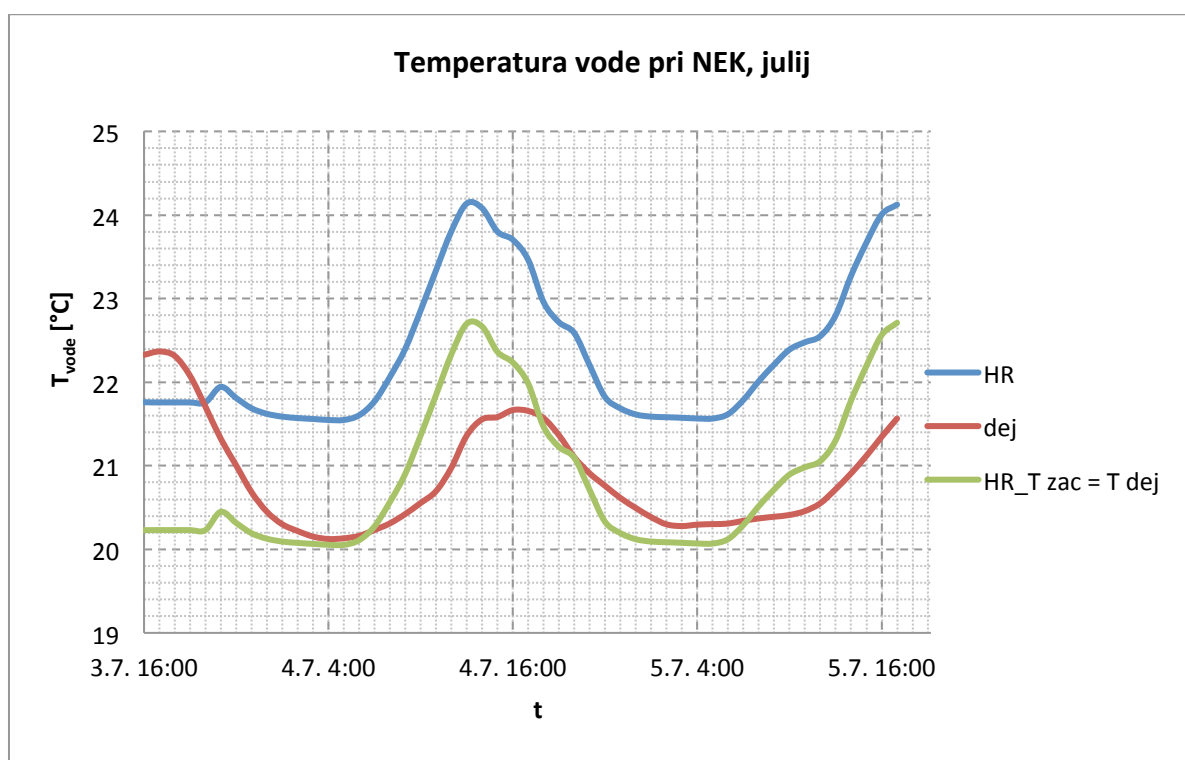
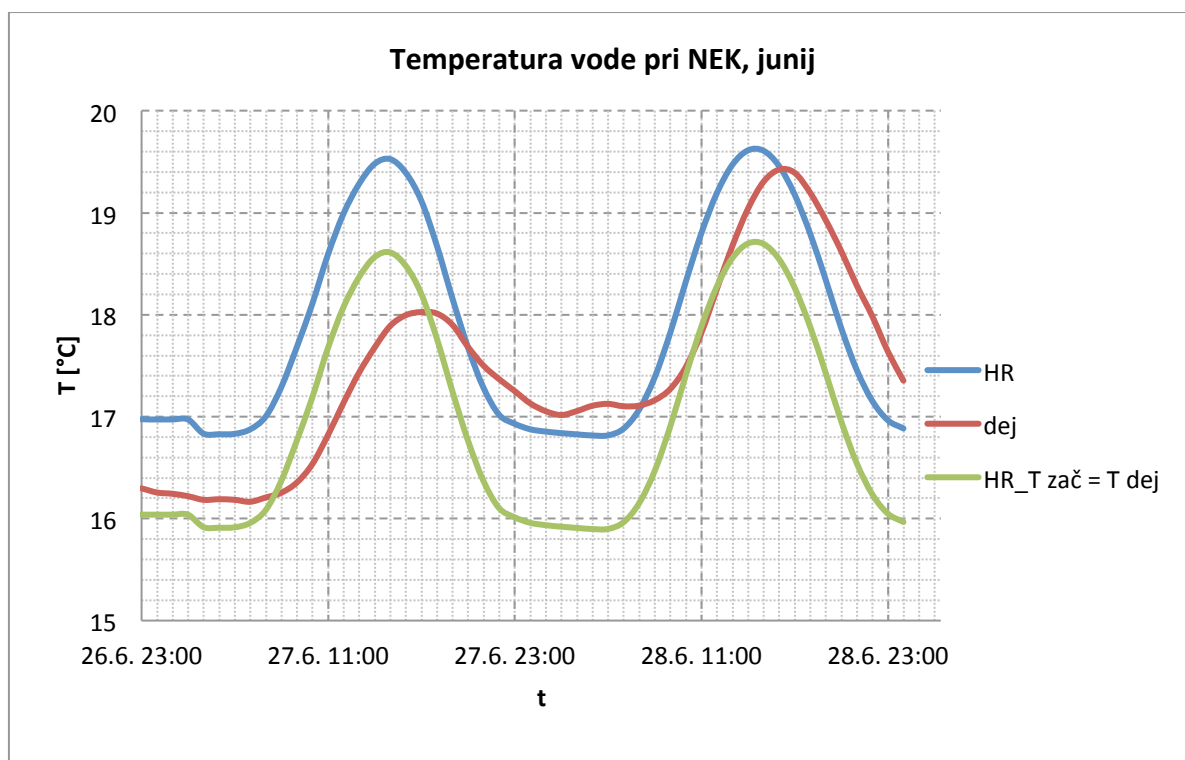
PROLOGA A.4/I: IZBIRA SREDNJEGA OBDOBJA - september



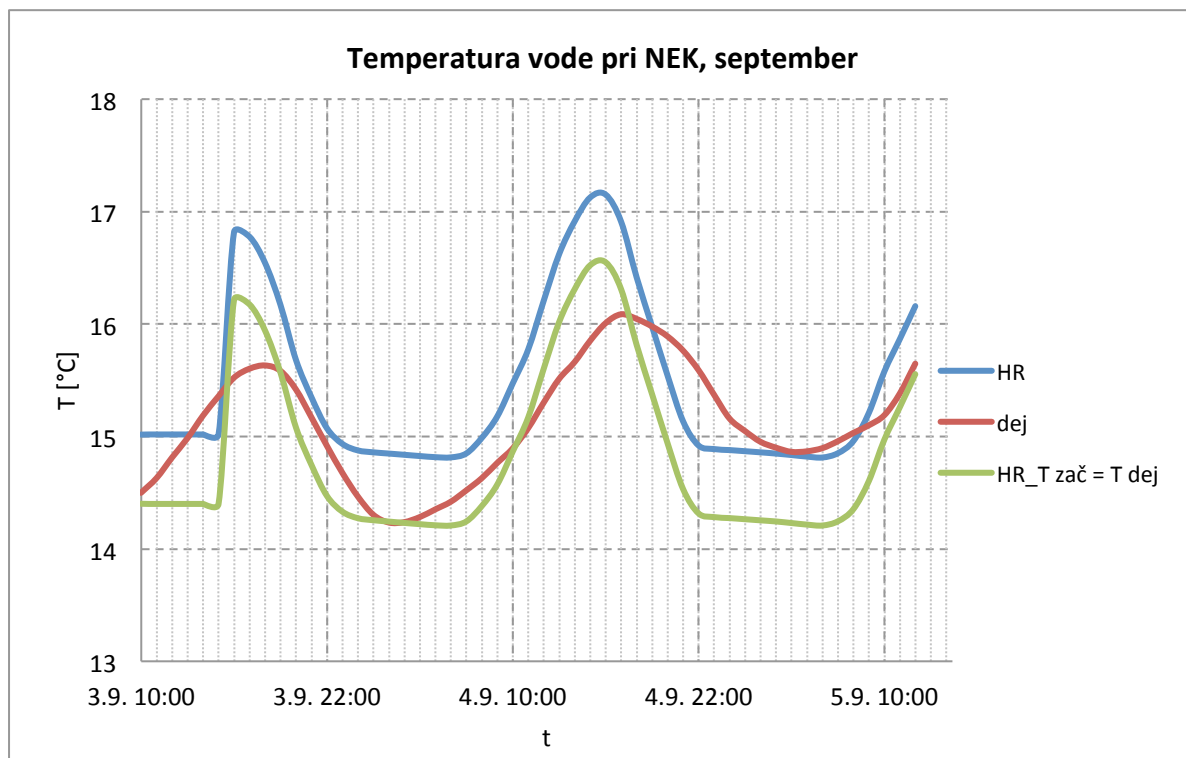
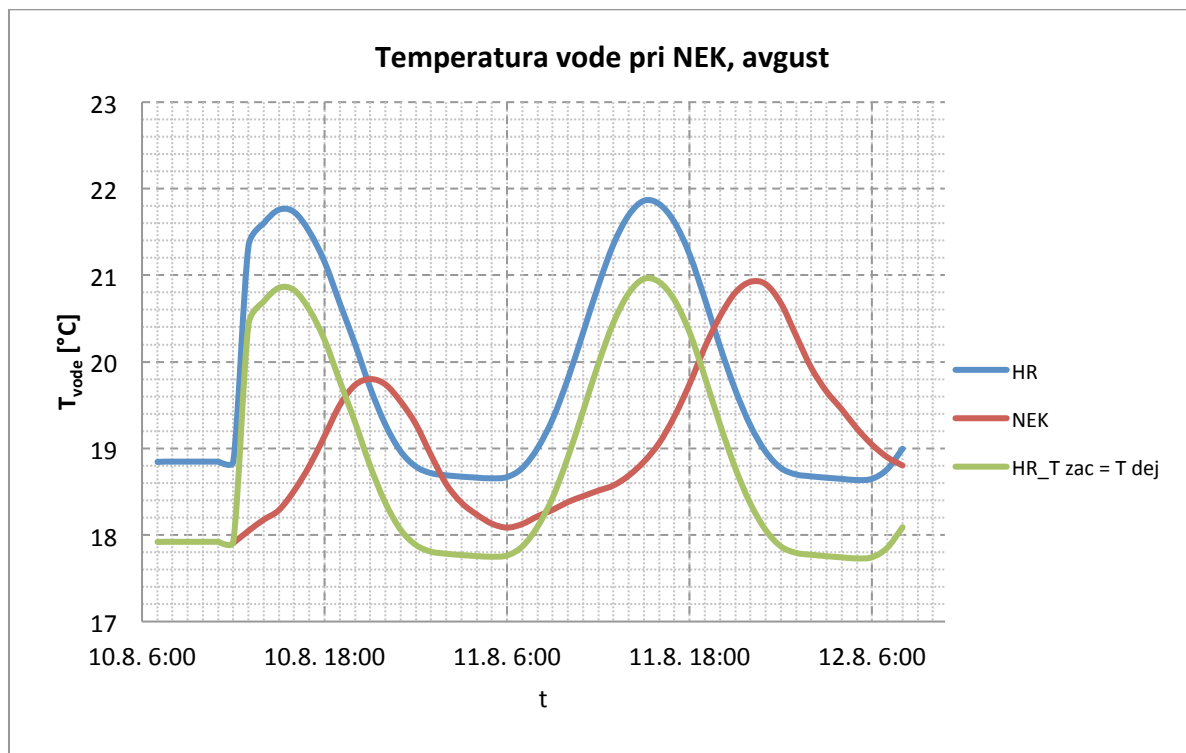
PRILOGA B.1/a: REZULTATI PROGRAMA HOTRIVER ZA SREDNJE OBDOBJE PRI
NE KRŠKO



PRILOGA B.1/b: REZULTATI PROGRAMA HOTRIVER ZA SREDNJE OBDOBJE PRI
NE KRŠKO



PRILOGA B.1/c: REZULTATI PROGRAMA HOTRIVER ZA SREDNJE OBDOBJE PRI
NE KRŠKO



PRILOGA C.1/a: NIZKI IN SREDNJI PRETOKI

HRASTNIK, nizki pretoki

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
Obdobje 1993 - 1999													
SRED	98,3	81,3	87,2	85,1	92,5	78,5	63,3	54,6	69,1	119,0	93,6	102,0	46,4
MAKS	133,0	104,0	186,0	131,0	134,0	126,0	76,9	71,3	115,0	237,0	142,0	144,0	62,6
MIN	73,3	51,2	38,3	43,2	45,6	44,7	37,0	32,8	43,8	39,9	37,5	67,0	32,8
Obdobje 2000 - 2010													
MIN	41,3	48,4	43,2	48,0	46,6	35,9	33,7	30,1	35,9	44,0	40,1	44,5	30,1

HRASTNIK, srednji pretoki

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
Obdobje 1993 - 1999													
SRED	178,0	124,0	130,0	174,0	144,0	126,0	122,0	82,6	156,0	235,0	217,0	192,0	157,0
MAKS	259,0	198,0	277,0	273,0	209,0	195,0	215,0	96,5	292,0	443,0	314,0	292,0	187,0
MIN	108,0	61,4	52,0	68,6	58,3	51,2	46,4	43,2	80,0	52,5	101,0	90,2	132,0
Obdobje 1993 - 2010													
SRED	166,5	136,2	166,2	195,6	151,2	123,0	113,6	91,5	149,9	199,5	231,4	224,2	162,4
Obdobje 2000 - 2010													
SRED	156,2	141,9	187,6	205,7	153,4	119,6	106,6	96,9	143,0	169,1	234,9	240,0	162,9

VELIKO ŠIRJE, nizki pretoki

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
Obdobje 1956 - 1999													
SRED	17,5	18,0	21,5	28,5	24,0	19,3	15,1	12,7	13,2	15,8	18,4	20,2	10,0
MAKS	36,0	40,4	46,2	60,7	44,8	38,4	28,0	21,6	25,1	40,5	34,9	38,0	15,2
MIN	7,6	7,5	10,0	10,8	9,8	8,7	4,7	6,5	6,5	6,2	6,2	7,6	4,7
Obdobje 1980 - 1999													
SRED	17,2	17,0	20,1	26,5	22,3	18,9	15,0	12,0	13,3	17,5	18,4	19,3	10,0
MAKS	25,2	31,0	37,1	60,7	35,0	38,4	22,2	21,6	25,1	34,1	31,9	32,1	13,8
MIN	8,7	7,5	10,0	10,8	9,8	8,7	7,6	6,5	7,2	8,4	8,0	7,6	6,5
Obdobje 2000 - 2010													
MIN	8,4	6,4	6,4	9,1	7,3	5,1	4,6	4,0	6,1	7,3	8,5	7,2	4,0

VELIKO ŠIRJE, srednji pretoki

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
Obdobje 1956 - 1999													
SRED	39,2	39,4	48,3	60,1	48,4	46,9	39,1	29,8	36,3	47,3	56,5	50,4	45,8
MAKS	110,0	87,5	94,1	112,0	116,0	124,0	79,9	84,0	92,8	147,0	145,0	104,0	81,1
MIN	9,9	11,7	17,1	14,4	14,8	13,4	10,7	10,8	9,9	9,4	10,2	18,9	29,3

Se nadaljuje ...

PRILOGA C.1/b: NIZKI IN SREDNJI PRETOKI

... nadaljevanje

VELIKO ŠIRJE, srednji pretoki

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
Obdobje 1980 - 1999													
SRED	39,1	33,4	49,4	53,4	45,8	48,1	39,5	30,5	38,6	57,2	54,0	50,0	46,5
MAKS	68,4	76,1	92,1	93,1	87,0	124,0	79,9	80,5	92,8	141,0	145,0	99,0	81,1
MIN	9,9	11,7	17,1	14,4	14,8	13,4	14,5	12,0	15,8	10,4	14,1	23,4	29,3
Obdobje 1980 – 2010													
SRED	36,0	32,9	48,8	51,0	39,7	39,9	34,0	29,4	39,1	49,5	51,3	51,4	42,6
Obdobje 2000 – 2010													
SRED	31,3	32,0	47,9	47,2	30,4	27,2	25,5	27,7	40,8	37,0	46,9	53,8	37,3

PRILOGA C.2/a: SREDNJE IN VISOKE REČNE TEMPERATURE

HRASTNIK, srednje rečne temperature

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
Obdobje 1997 - 2000													
SRED	5,7	6,6	8,8	10,6	14,2	16,1	16,2	17,3	15,1	11,9	9,0	6,6	11,5
MAKS	7,2	8,0	10,4	11,5	15,3	17,4	17,5	17,9	16,8	13,8	10,9	7,5	12,7
MIN	4,3	5,8	8,3	10,0	13,4	15,2	14,7	16,2	12,7	10,8	7,7	5,1	10,7
Obdobje 1997 - 2010													
SRED	5,4	5,9	7,9	10,0	13,3	16,1	17,1	17,3	14,5	11,4	8,6	6,1	11,1

HRASTNIK, visoke rečne temperature

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
Obdobje 1997 - 2000													
SRED	6,5	8,1	10,5	12,0	15,8	18,1	18,4	18,7	16,8	13,5	10,4	7,7	19,0
MAKS	7,5	9,5	10,9	12,7	16,3	20,2	20,5	19,5	18,4	14,8	10,9	9,1	20,5
MIN	5,3	7,0	10,3	11,5	15,3	15,6	17,5	17,9	14,3	12,6	9,7	6,6	17,9
Obdobje 1997 - 2010													
MAKS	8,8	9,5	12,0	14,7	19,0	24,2	22,3	21,8	22,5	16,0	12,1	10,4	24,2

VELIKO ŠIRJE, srednje rečne temperature

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
Obdobje 1968 - 2000													
SRED	2,9	3,8	6,2	9,3	13,4	16,3	18,5	19,0	15,6	11,5	7,2	4,1	10,6
MAKS	5,0	6,4	9,5	12,4	18,9	21,2	23,3	22,6	18,9	16,4	12,2	6,9	14,3
MIN	0,8	1,2	2,9	7,1	10,1	13,4	15,9	15,8	12,8	9,2	4,2	2,6	7,7
Obdobje 1980 - 2000													
SRED	2,8	3,7	6,3	9,6	13,8	16,5	18,9	19,3	15,8	11,8	7,3	4,3	10,8
MAKS	5,0	6,4	9,5	12,4	18,9	21,2	23,3	22,6	18,9	16,4	12,2	6,9	14,3
MIN	0,8	1,2	2,9	7,9	10,2	13,4	16,0	16,5	13,2	10,4	4,2	2,6	7,7
Obdobje 1980 - 2010													
SRED	2,9	3,7	6,4	9,7	13,9	16,9	18,9	19,2	15,5	11,7	7,3	4,2	10,9
Obdobje 2000 - 2010													
SRED	3,1	4,0	6,8	10,3	14,8	18,3	19,5	19,6	15,2	11,7	8,0	4,6	11,3

VELIKO ŠIRJE, visoke rečne temperature

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
Obdobje 1968 - 2000													
SRED	5,3	6,1	9,1	12,3	16,7	20,1	22,1	22,3	18,8	15,2	10,4	7,0	22,5
MAKS	8,0	9,1	12,6	15,4	20,3	25,2	25,0	25,6	20,8	20,0	12,8	9,5	25,6
MIN	2,4	2,8	5,1	10,2	12,1	15,9	19,2	19,0	15,1	12,0	7,2	4,2	17,8

Se nadaljuje ...

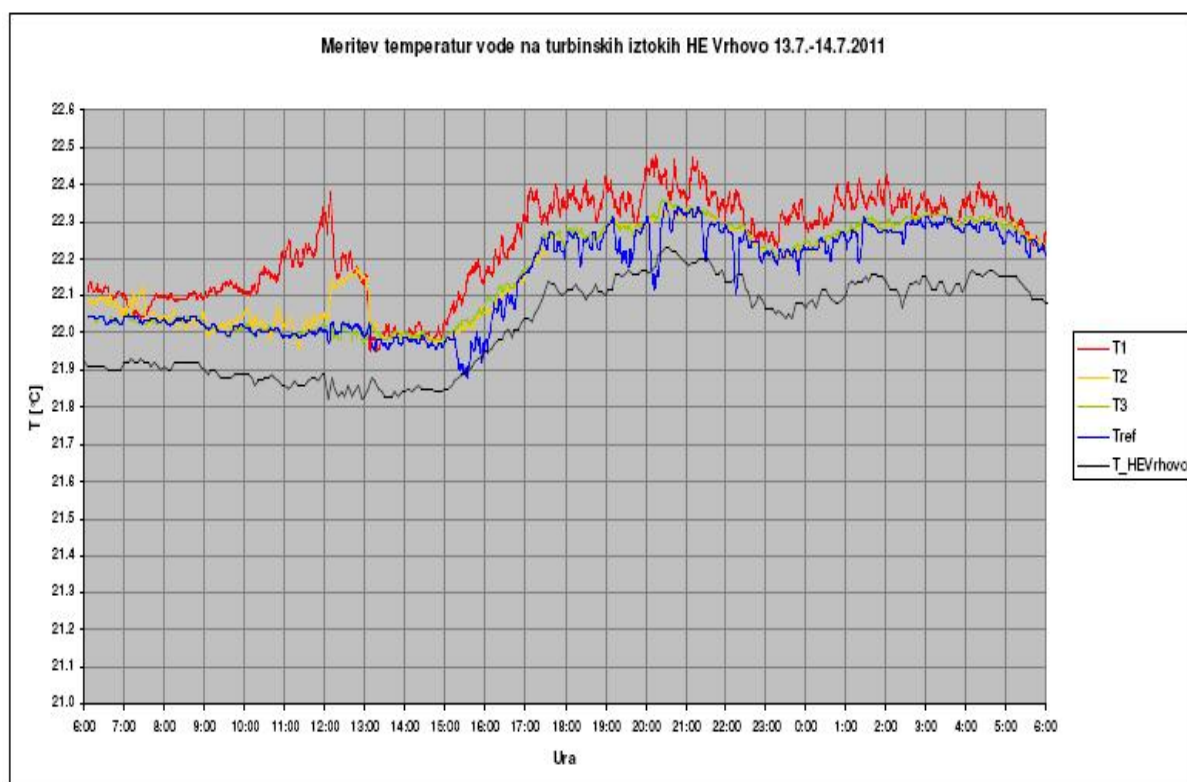
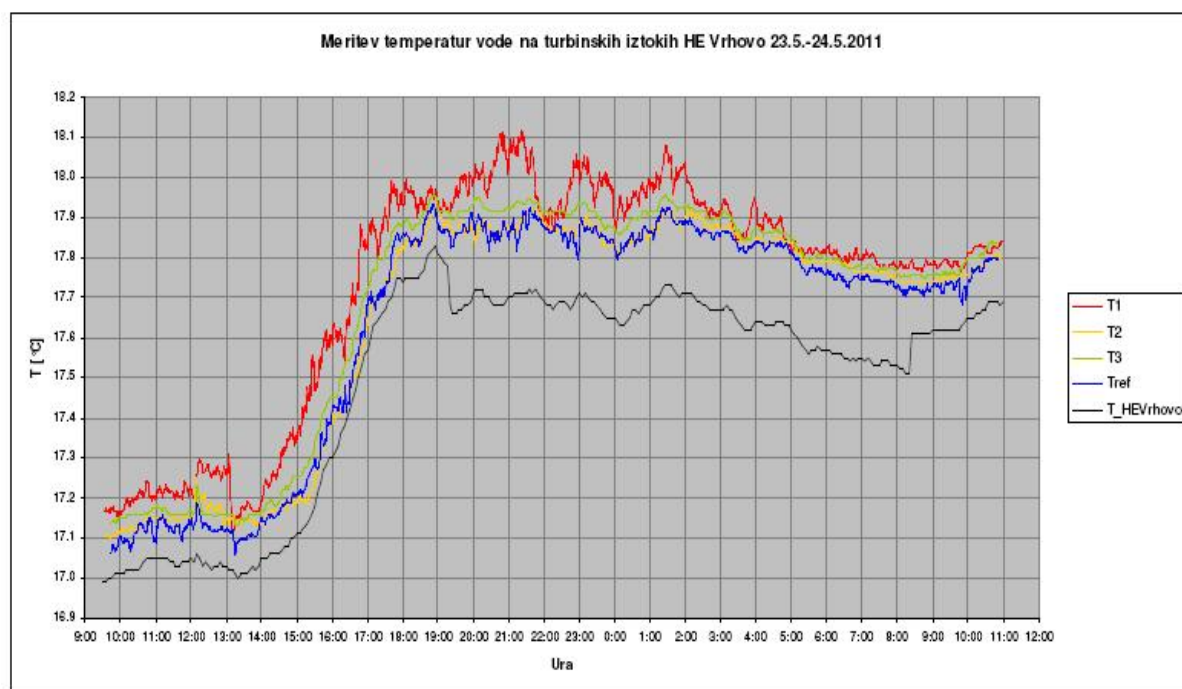
PRILOGA C.2/b: SREDNJE IN VISOKE REČNE TEMPERATURE

... nadaljevanje

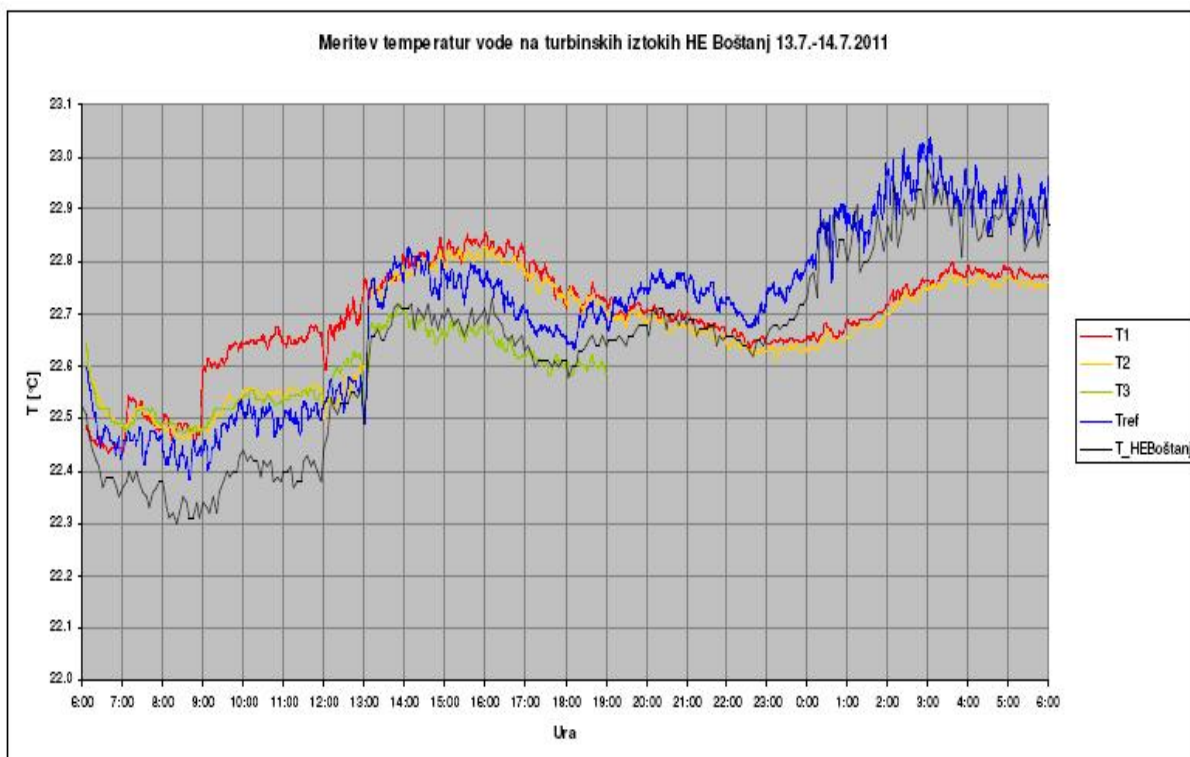
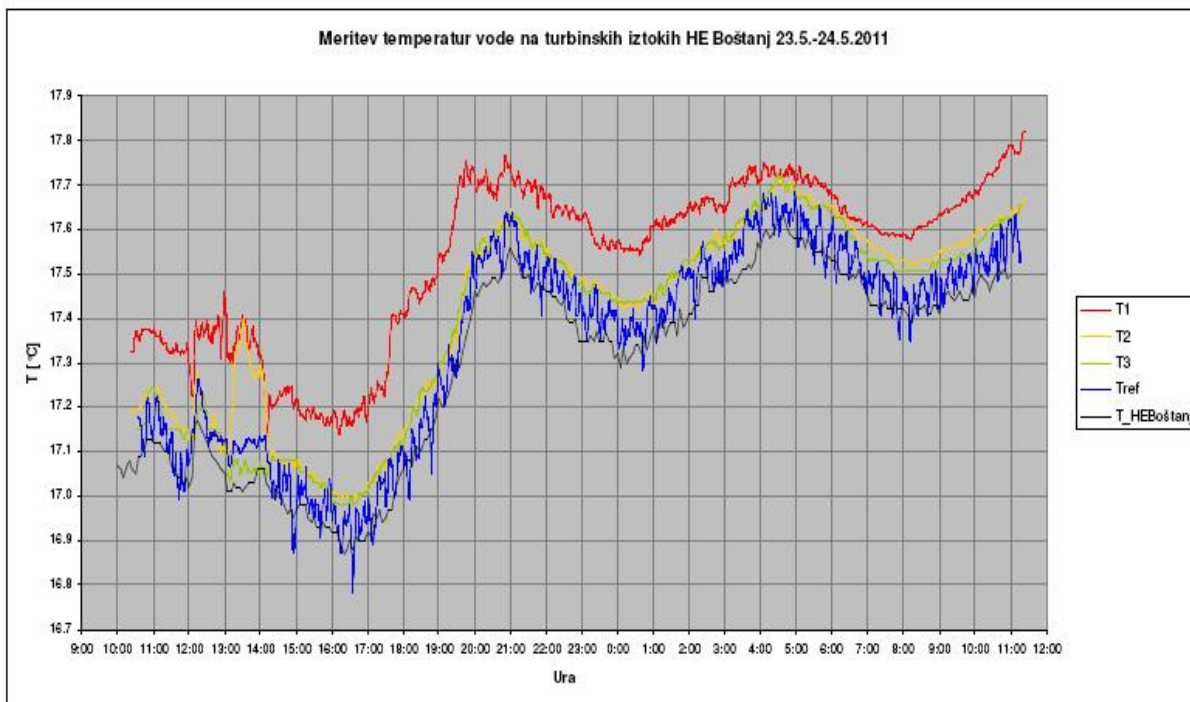
VELIKO ŠIRJE, visoke rečne temperature

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
Obdobje 1980 - 2000													
SRED	5,4	5,9	9,1	12,4	17,0	20,2	22,2	22,6	18,7	15,3	10,3	7,1	22,8
MAKS	8,0	8,6	12,6	15,4	20,3	25,2	25,0	25,6	20,8	17,6	12,2	9,5	25,6
MIN	2,4	2,8	5,1	10,4	12,1	15,9	19,2	19,2	15,1	12,2	8,0	4,2	17,8
Obdobje 1980 – 2010													
MAKS	8,0	10,9	12,9	18,4	24,3	26,3	28,9	25,6	20,8	17,6	12,9	9,7	28,9
Obdobje 2000 – 2010													
MAKS	7,5	10,9	12,9	18,4	24,3	26,3	28,9	25,5	20,7	16,6	12,9	9,7	28,9

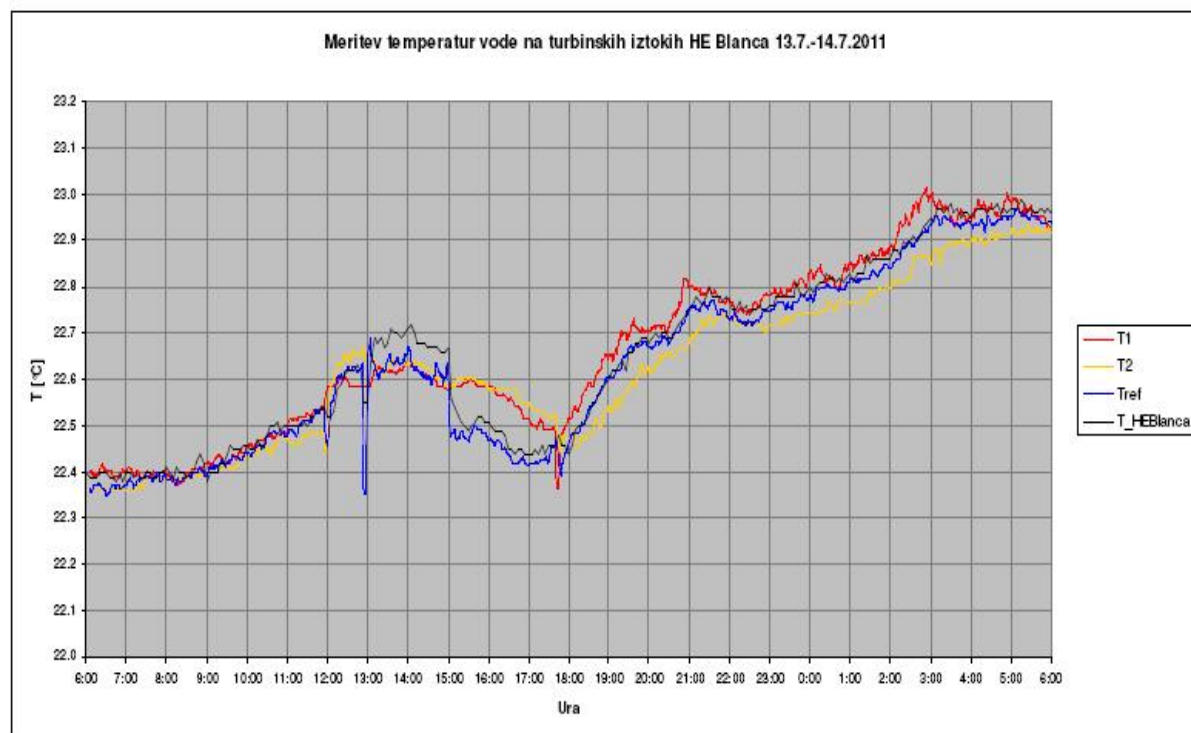
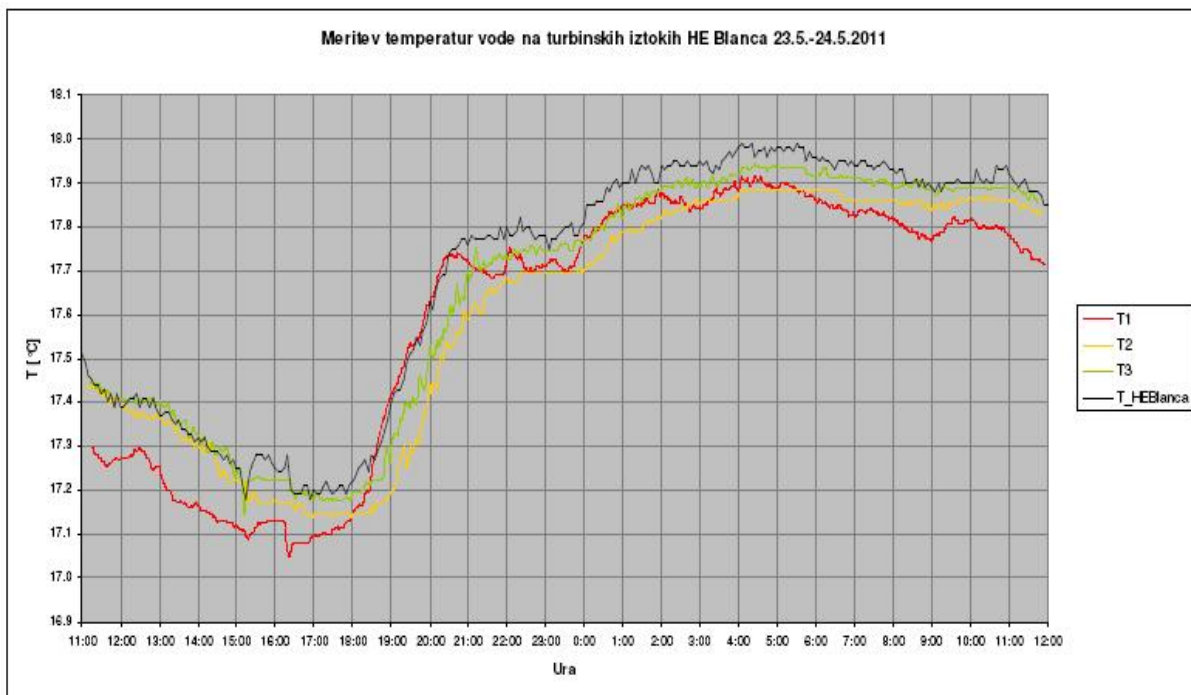
PRILOGA C.3/a: MERITVE TEMPERATURE VODE NA TURBINSKIH IZTOKIH



PRILOGA C.3/b: MERITVE TEMPERATURE VODE NA TURBINSKIH IZTOKIH

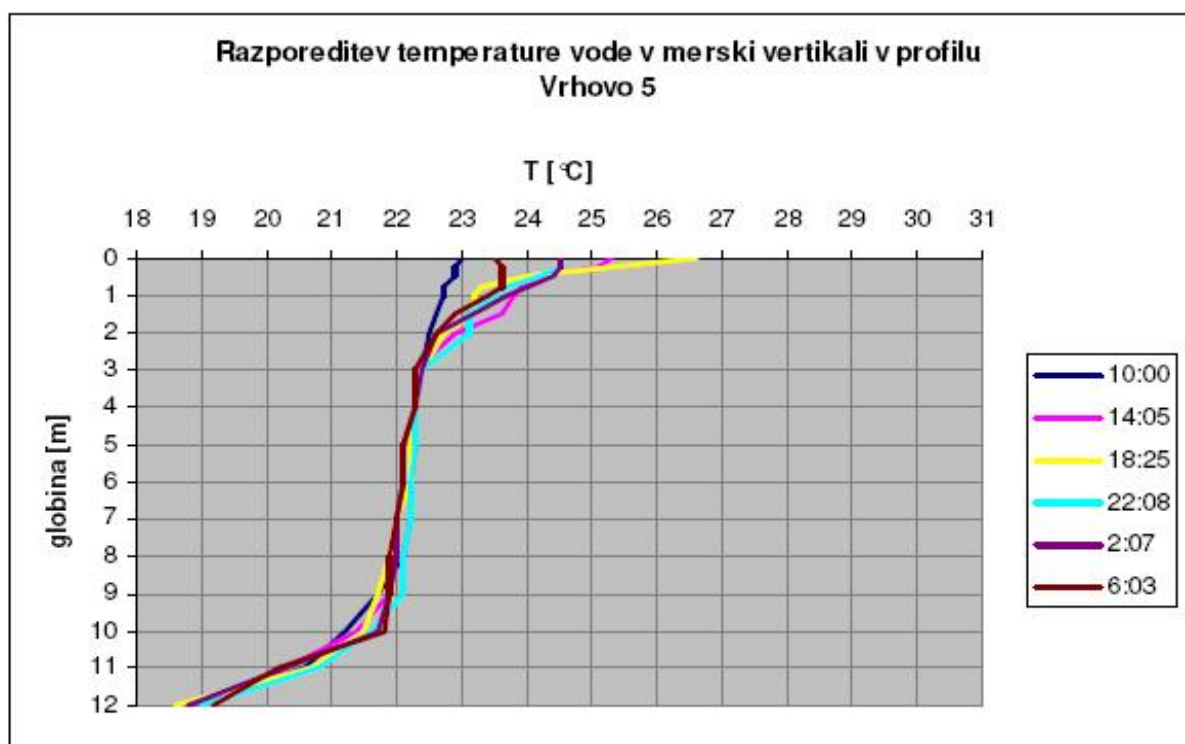


PRILOGA C.3/c: MERITVE TEMPERATURE VODE NA TURBINSKIH IZTOKIH



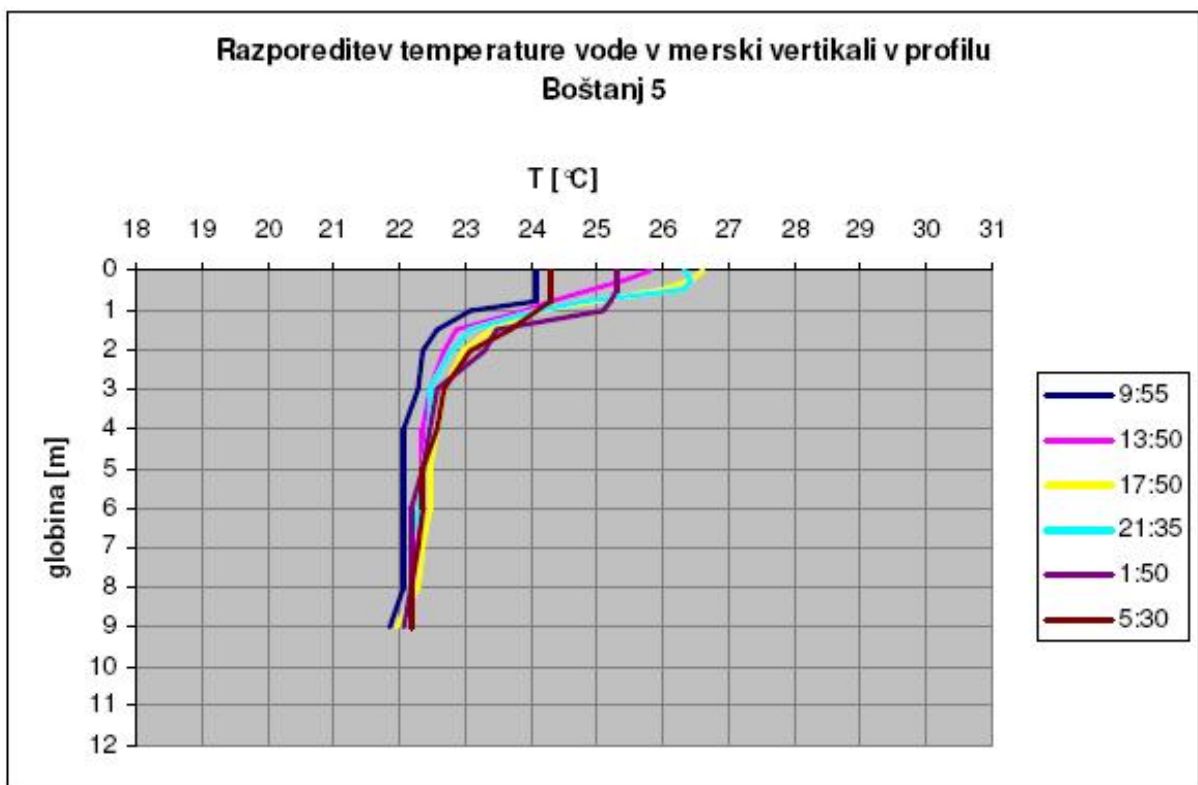
PRILOGA C.4/a: MERITVE STRATIFIKACIJE

Merski profil:		Vrhovo 5				
Ura:	10:00	14:05	18:25	22:08	2:07	6:03
T zraka:	27,4	31,8	30,6	22,9	20,9	19,1
Globina [m]	T vode [°C]	T vode [°C]	T vode [°C]	T vode [°C]	T vode [°C]	T vode [°C]
0	23	25,4	26,7	24,5	24,5	23,5
0,25	22,9	25,2	25,4	24,5	24,5	23,6
0,5	22,9	24,2	24	24,2	24,4	23,6
0,75	22,7	23,9	23,3	23,7	24	23,6
1	22,7	23,8	23,2	23,5	23,7	23,4
1,5	22,6	23,6	23,2	23,1	23,2	22,9
2	22,5	22,9	22,7	23,1	22,6	22,6
3	22,4	22,3	22,4	22,4	22,4	22,3
4	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3
5	22,3	22,1	22,2	22,3	22,1	22,1
6	22,2	22,1	22,2	22,2	22,1	22,1
7	22,2	22	22	22,2	22	22
8	22,1	22	21,9	22,1	22	21,9
9	21,7	21,9	21,7	22,1	21,9	21,9
10	21,2	21,4	21,5	21,6	21,7	21,8
11	20,6	20,3	20,7	20,8	20,3	20,2
12	18,8	19,1	18,6	19	18,8	19,2
Povprečna temperatura v merski vertikali [°C]						
	21,93	22,12	22,09	22,2	22,08	22,01



PRILOGA C.4/b: MERITVE STRATIFIKACIJE

Merski profil:		Boštanj 5				
Ura:	9:55	13:50	17:50	21:35	1:50	5:30
T zraka:	25,2	30	32,1	23	21,6	21,6
Globina [m]	T vode [°C]	T vode [°C]	T vode [°C]	T vode [°C]	T vode [°C]	T vode [°C]
0	24,1	25,8	26,6	26,3	25,3	24,3
0,25	24,1	25,4	26,4	26,4	25,3	24,3
0,5	24,1	24,9	26	26,3	25,3	24,3
0,75	24,1	24,3	25	24,8	25,2	24,3
1	23,1	23,9	24,1	24,1	25,1	24,1
1,5	22,6	22,9	23,4	23,1	23,5	23,7
2	22,4	22,7	23	22,8	23,3	23,1
3	22,3	22,5	22,7	22,5	22,6	22,7
4	22,1	22,4	22,6	22,5	22,5	22,6
5	22,1	22,4	22,5	22,4	22,4	22,4
6	22,1	22,3	22,5	22,3	22,2	22,4
7	22,1	22,3	22,4	22,2	22,2	22,3
8	22,1	22,2	22,3	22,2	22,2	22,2
9	21,9	22,1	22	22,1	22,1	22,2
Povprečna temperatura v merski vertikali [°C]						
	22,37	22,7	22,94	22,81	22,86	22,77



PRILOGA C.4/c: MERITVE STRATIFIKACIJE

Merski profil:		Blanca 5				
Ura:	9:42	14:01	18:45	21:38	1:42	5:40
T zraka:	24,8	26,9	29,8	24,6	22,7	20,2
Globina [m]	T vode [°C]	T vode [°C]	T vode [°C]	T vode [°C]	T vode [°C]	T vode [°C]
0	24,7	29,2	30,1	28,2	27,3	25,8
0,25	24,4	28,3	29,4	28,3	27,3	25,9
0,5	24,4	26,4	25,4	28,1	27	25,9
0,75	24,2	25,1	24,5	26	26,9	25,9
1	24,1	24,6	24,1	24,6	26,4	25,9
1,5	23,6	23,9	23,7	23,5	24	24,9
2	23	23,3	23,3	23	23,4	23,6
3	22,3	22,9	22,8	22,7	22,9	23,2
4	22,1	22,6	22,5	22,5	22,7	22,9
5	22	22,3	22,5	22,4	22,5	22,6
6	21,9	22,3	22,4	22,3	22,3	22,5
7	21,8	22,3	22,3	22,3	22,3	22,5
8	21,7	22,2	22,3	22,2	22,2	22,4
9	21,6	22,2	22,2	22,1	22,2	22,4
10	21,4	22,2	22	21,8	22	22,2
11	20,2	21,1	20,9	21,1	20,8	21,3
12	18,5	19	18,8	19	19,5	19,7
Povprečna temperatura v merski vertikali [°C]						
	21,98	22,66	22,61	22,61	22,74	22,87

