

UDK/UDC: 556.5:621.398(282.2)

Prejeto/Received: 03.05.2016

Strokovni članek – Professional paper

Sprejeto/Accepted: 31.08.2016

RAZVOJ IN UPORABA DALJINSKO VODENEGA ČOLNA »HI3« DEVELOPMENT AND USE OF A REMOTELY CONTROLLED BOAT »HI3«

Matej Sečnik^{1,*}, Mitja Brilly¹, Andrej Vidmar¹

¹ Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Izvleček

Na UL FGG smo razvili daljinsko vodeni čoln – trimaran, ki smo ga poimenovali »Hi3«. Razvit je bil z namenom, da bi olajšali izvedbo meritev pretokov rek in meritev batimetrije dna vodotokov in jezer. Čoln je dolžine 2 m, njegov ugrez pa je 0,1 m. Čoln je opremljen z akustičnim Dopplerjevim merilnikom SonTek RiverSurveyor M9, ki je namenjen merjenju pretokov in batimetrije kanalov s prosto gladino. Čoln poganjata elektromotorja, ki sta nameščena na zadnjem delu. Čoln krmilimo s spreminjanjem moči, ki se dovaja levemu in desnemu motorju. Energijo za delovanje čoln dobi iz bencinskega agregata ali iz litijevih baterij, ki so nameščene na čolnu. S čolnom smo izvedli meritve batimetrije dna reke Ljubljanice pod avtocestnim mostom, ki leži na južni ljubljanski obvoznici. Znano je, da se pod avtocestnim mostom nahaja prag, ki je bil zgrajen ob izgradnji južne ljubljanske obvoznice in je služil za stabilizacijo brežin pod avtocestnim mostom. V začetku leta 2012 smo na delu pod avtocestnim mostom izvedli merjenje batimetrije dna struge. Aprila 2014 smo meritve ponovili. Pri tem smo uporabili enak merilnik kot leta 2012, ki pa smo ga namestili na novo razvit daljinsko vodeni čoln »Hi3«. Dobljene rezultate smo primerjali in ugotovili, da so rezultati meritve batimetrije dna enaki. S tem smo potrdili zanesljivost uporabe daljinsko vodenega čolna »Hi3« pri izvedbi hidrometričnih meritev.

Ključne besede: hidrologija, ADP, Ljubljana, meritve batimetrije, daljinsko vodeni čoln.

Abstract

At the Faculty of Civil and Geodetic Engineering of the University of Ljubljana we developed a remote-controlled boat - trimaran, which we named "HI3". The radio-controlled boat was designed and developed in order to facilitate water velocity and bathymetry measurements. The boat has a length of 2 m and its draft is 0.1 m. It is equipped with the SonTek RiverSurveyor M9 instrument designed for measuring open channel hydraulics (discharge and bathymetry). The boat is powered by two electric motors. Steering is achieved with changing the power applied to left or right motor. Furthermore, the boat "Hi3" can be powered either by a gasoline electric generator or by lithium batteries. Using the boat we performed bathymetry measurements of the Ljubljanica River. Measurements were performed under the motorway bridge on the southern Ljubljana bypass. It is known that under the bridge there is a threshold that was built during the construction of the southern Ljubljana bypass. The purpose of the threshold is to stabilize the slopes under the motorway bridge. In early 2012, we measured the bathymetry under the motorway bridge. In April 2014 the measurements were repeated using the same equipment installed in the newly developed boat. Bathymetry

* Stik / Correspondence: matej.secnik@fgg.uni-lj.si

© Sečnik M. et al.; Vsebina tega članka se sme uporabljati v skladu s pogoji [licence Creative Commons Priznanje avtorstva – Nekomercialno – Deljenje pod enakimi pogoji 4.0.](#)

© Sečnik M. et al.; This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution – Non Commercial – Share Alike 4.0 Licence.](#)

measurements from both years were compared and were the same. Thus, we confirmed the reliability of using "HI3" for performing hydrometric measurements.

Keywords: hydrology, ADP, Ljubljanica River, bathymetry measurements, remote controlled boat.

1. Uvod

Hidrologija je znanost, ki se ukvarja s proučevanjem pojavov, lastnosti in gibanja vode v hidrosferi ter njenega razmerja do okolja. Ena izmed vej hidrologije je hidrometrija, ki se ukvarja tudi z merjenjem pretoka, pretočnih hitrosti in batimetrije dna vodnih teles. Izvedba kakovostnih hidroloških meritev na terenu je bistvena za nadaljnjo nadgradnjo oziroma izdelavo različnih hidroloških in hidravličnih modelov oziroma študij. Pri izvedbi terenskih hidrometričnih meritev je uporaba akustičnih Dopplerjevih merilnikov (ADP) vse bolj razširjena (Vilanova in Balestieri, 2013; Gunawan et al., 2010; Yorke in Oberg, 2002). V okviru projekta LIFE Ljubljana povezuje (LIFE10 NAT/SI/000142), smo razvili daljinsko vodeni čoln, s pomočjo katerega lahko izvedemo hidrometrične meritve, kot so meritve pretoka, hitrosti vode in batimetrije dna struge. Za lasten razvoj čolna smo se odločili predvsem zaradi visoke cene primerljivo zmogljivih daljinsko vodenih čolnov. Lasten razvoj čolna nam omogoča tudi lažjo nadgradnjo ter cenejše vzdrževanje. Na trgu obstaja nekaj proizvajalcev daljinsko vodenih čolnov, kot so: ARC-Boat proizvajalca Wallingford (Wallingford, 2016), HyDrone-RCV proizvajalca Seafloor (Seafloor, 2016), Heron proizvajalca Clearpath robotics (Clearpath, 2016). Omenjeni čolni so namenjeni izvedbi hidrometričnih meritev. Eden izmed bolj znanih čolnov je tudi Z-boat 1800, proizvajalca Oceanscience (Oceanscience, 2016), ki so ga v svoji študiji uporabili tudi Legleiter et al. (2014) za izdelavo batimetrije Grenlandskih jezer in rek. Daljinsko voden čoln Z-boat ima vgrajen tudi avtopilot, ki omogoča, da se čoln giblje po vnaprej določeni poti. Detajlni opis in način delovanja avtopilota na čolnu je opisan v Azzeria et al. (2015).

Običajno se meritve pretoka reke oziroma batimetrične meritve dna struge s pomočjo Dopplerjevih merilnikov izvede z bližnjega mostu, kjer instrument zapeljemo čez prečni prež struge

vodotoka (Callede et al., 2000; Trček in Cankar, 2006). Meritev batimetrije dna struge jezera ali reke se izvede na način, da manjši čoln brez lastnega pogona z instrumentom pritrdimo na večji čoln in z njim prevozimo območje vodotoka, ki ga želimo izmeriti. Prednost uporabe daljinsko vodenega čolna pred klasičnim načinom izvedbe hidrometričnih meritev je, da meritve lahko izvedemo z brega vodotoka. Poleg tega lahko z uporabo daljinsko vodenega čolna izvajamo hidrometrične meritve v bližini iztoka iz turbin hidroelektrarn in v prelivnih poljih hidroelektrarn, kjer so spremembe batimetrije dna struge najbolj pogoste (Adams, 2001). Te meritve lahko izvedemo tudi pri normalno delujoči hidroelektrarni.

Glavni namen in cilj izdelave daljinsko vodenega čolna je bil olajšati izvedbo meritev pretokov rek in meritev batimetrije dna vodotokov in jezer. Poleg tega je bil čoln razvit s ciljem izvedbe hidrometričnih meritev v območjih, kjer je omejeno oziroma prepovedano plutje čolnom s človeško posadko.

2. Metode in podatki

Z daljinsko vodenim čolnom smo izvedli meritve batimetrije dna reke Ljubljanice pod avtocestnim mostom, ki leži na južni ljubljanski obvoznici. Gradnja južne obvoznice se je začela leta 1983 in je trajala do jeseni 1988 (Gaberc, 1995). V sklopu gradnje južne obvoznice je bil zgrajen tudi avtocestni most, ki prečka Ljubljano. Pod avtocestnim mostom, v strugi Ljubljanice, so zgradili tudi prag, ki je služil za stabilizacijo brežin. Po končani gradnji je bil del tega praga oziroma nasipa odstranjen. Prve meritve višine praga pod avtocestnim mostom smo izvedli januarja 2012 s pomočjo akustičnega merilca pretočnih hitrosti Sontek RiverSurveyor M9 (Sontek, 2016a). Instrument smo namestili na čolniček brez lastnega pogona, ki smo ga pripeli na večji motorni čoln in opravili potrebno vožnjo. V okviru teh meritev smo ugotovili, da je prag pod

avtocestnim mostom visok 5 m (Vidmar, 2012). Meritve batimetrije dna smo ponovno izvedli aprila 2014. Podobno smo uporabili akustični merilec pretočnih hitrosti Sontek RiverSurveyor M9, ki smo ga tokrat namestili na daljinsko voden čoln »Hi3«.

2.1 Lokacija izvedbe meritve

4. 4. 2014 smo izvedli meritve batimetrije dna reke Ljubljanice, na območju, ki leži pod avtocestnim mostom na južni ljubljanski obvoznici (46.023668°, 14.508213°) (slika 1).

2.2 Osnovne tehnične lastnosti in opis daljinsko vodenega čolna

Za osnovo daljinsko vodenega čolna smo uporabili jadrnalno desko. V sredino čolna smo izvrtali odprtino, v katero smo namestili merilni instrument. Po vsej dolžini čolna smo pritrdili t. i. nosilne sani (slika 2, levo), ki so na čoln pritrjene s pomočjo zakovic. Na nosilne sani smo z vijaki namestili ostale sestavne dele čolna, in sicer električna motorja ter napajalni in komunikacijski modul.

Na čoln je mogoče dodatno namestiti tudi dva dodatna plovca, ki izboljšata stabilnost čolna v primeru, da je tok vode hiter oziroma močno turbulenten. Osnovne tehnične lastnosti čolna so predstavljene v preglednici 1.

2.2.1 Kobilica, ki preprečuje nastajanje mehurčkov in izboljša kakovost meritev

Pri uporabi ultrazvočnih merilcev v vodi lahko zračni mehurčki negativno vplivajo na kakovost meritve (Von Bröckel, 2014). Pri izvedbi meritve lahko pride do tega, da se pod instrumentom oblikujejo mehurčki zraka, ki nastanejo zaradi turbulence na površinskem sloju vode. Ti mehurčki zavirajo signal in vodijo do njegove izgube ter posledično do slabše kakovosti meritve (Kongsberg, 2016). Spodnji del čolna na mestu, kjer se nahaja instrument, je med meritvijo v mirni vodi potopljen le 5 cm. Da bi zmanjšali vnos mehurčkov s površinskega sloja pod merilec, smo čolnu dodali kobilico (slika 2, desno). Kobilica je oblikovana tako, da večino mehurčkov odrine stran

od merilca. Na mestu, kjer se nahaja kobilica je tako ugrez čolna za 5 cm večji, s čimer dosežemo, da je merilnik globlje potopljen v vodo (10 cm). To posledično vpliva na zmanjšano oblikovanje mehurčkov med merilcem in vodo, kar pomeni boljšo kakovost signala in posledično meritve.

Preglednica 1: Tehnične lastnosti plovila.

Table 1: Technical characteristics of the boat.

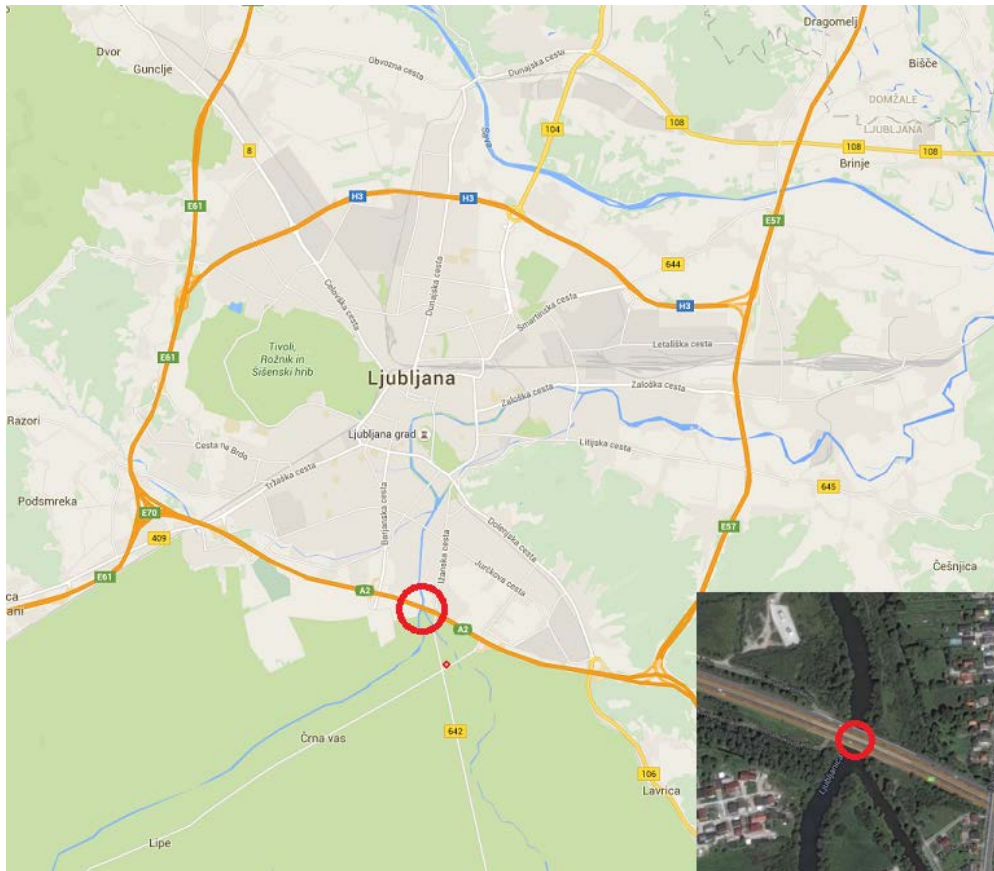
Dolžina plovila	2,25 m
Širina plovila	0,6 m (1,2 m s stabilizatorji)
Višina plovila	0,2 m
Nosilnost plovila	60 kg (max. 80 kg)
Obračalni radij	0 m (okrog osi)
Max. hitrost	3-4 m/s
Hitrost vzorčevanja	2,5 m/s (9 km/h)
Pogon	električni
Napajanje 1	elektroagregat 12 V / 60 A
Napajanje 2	baterija LiFePO4 12 V / 40 Ah

2.2.2 Merilni instrument SonTek RiverSurveyor M9

Merilni instrument, ki smo ga namestili na čoln, je RiverSurveyor M9 proizvajalca SonTek (Sontek, 2016a) (slika 3). Gre za ADP (*acoustic doppler profiler*), ki na podlagi Dopplerjevega učinka na več točkah meri globino in hitrosti vode s patentirano tehnologijo z večsnopnim ultrazvočnim merilnikom. Uporablja se za izdelavo batimetrije dna struge, meri pa tudi vektorje hitrosti toka vode, s katerim dobimo prostorsko neprekinjen 3D model smeri in hitrosti vodnega toka (Flener et al., 2015).

Sontek RiverSurveyor M9 za navigacijo uporablja natančen RTK/D-GPS sistem, s katerim lahko svoj položaj določi na nekaj centimetrov natančno (Slocum, 2009). V območjih, ki so slabše pokrita z GPS signalom, kot so na primer ozke soteske ali območja pod mostovi, instrument svoj položaj določi z uporabo metode sledenja dnu (ang. *Bottom tracking*), s katero lahko določi relativno hitrost med instrumentom in dnem in na podlagi tega

izračuna svoj položaj (Teledyne, 2016). Tehnične lastnosti instrumenta so predstavljene v preglednici 2.



Slika 1: Mesto izvedbe meritve (vir: Google zemljevidi).

Figure 1: Measurement location (Source: Google Maps).



Slika 2: Nosilne sani (levo) in kobilica na dnu čolna (desno).

Figure 2: Supporting skids (left) and the keel on the bottom of the boat (right).



Slika 3: Merilni instrument SonTek RiverSurveyor M9 ADP (vir: sontek.com).

Figure 3: Measuring Instrument SonTek RiverSurveyor M9 ADP (Source: sontek.com).



Slika 4: Napajanje čolna preko električnega agregata.

Figure 4: Boat powered by the electric generator.

Preglednica 2: Tehnične lastnosti merilnega instrumenta SonTek RiverSurveyor M9 (Sontek, 2016b).

Table 2: Technical characteristics of the measuring instrument SonTek RiverSurveyor M9 (Sontek, 2016b).

Globina — natančnost	2 cm (CTD korekcijska kompenzacija hitrosti zvoka)
Globina — ločljivost	1 mm
Širina snopa	50 °
Območje profiliranja — globina	0,06 m do 40 m
Območje profiliranja — hitrost	± 10 m/s
Hitrost — natančnost	do ± 0,25 %, ± 0,2 cm/s
Hitrost — ločljivost	0,001 m/s (1 mm/s)
Število vzorčnih celic	do 128
Velikost vzorčne celice	0,02 m do 4 m
Zvočno sledenje dna — doseg	± 10 m/s
Zvočno sledenje dna — globina	0,2 – 40 m (80 m vertikalni snop)
Pozicioniranje SonTek RTK GPS — horizontalna natančnost (ponovljivost)	<0,03 m
Pozicioniranje SonTek DGPS — SBAS GPS horizontalna natančnost	<1,0 m
Konfiguracija transduktorja ADP	8 - snopni Janus (4 x 1 MHz; 4 x 3 MHz) in 1 vertikalni snop (0,5MHz)
Temperaturni senzor — ločljivost	± 0,01 °C
Temperaturni senzor — natančnost	± 0,1 °C
Kompas Kompas — tip	trdi tip z vgrajenim inklinometrom
Kompas senzor	polni krog 360 °
Kompas — vrtenje (heading) - natančnost	± 2 °
Kompas — 2 osno nagibanje (valjanje in zibanje) - natančnost	± 1 °
Napajanje	12-18 V
Delovna temperatura	-5 °C do 45 °C
Temperatura shranjevanja	-20 °C do 70 °C

2.2.3 Napajanje

Čoln za delovanje uporablja električno energijo. Napaja se s pomočjo električnega agregata (slika

4) ali litijevih baterij (slika 5). Glavni razlog, da smo poleg baterijskega napajanja uporabili še električni agregat je, da nam bencinski agregat

omogoča izvedbo meritev brez prekinitve več ur skupaj, poleg tega pa je uporaba električnega agregata relativno preprosta in omogoča izvedbo meritev večjega obsega. Uporabili smo električni agregat, ki proizvede 12 V izhodne napetosti in zmore izhodni tok do 60 A. Agregat ima v primerjavi z litijevimi baterijami tudi slabosti. V primerjavi z baterijami je namreč relativno težek (električni agregat tehta 18 kg, litijeva baterija pa 5 kg) in glasen. Med delovanjem električni agregat vibrira, kar bi lahko vplivalo na kakovost meritve. Vibracije agregata smo zmanjšali z uporabo gumijastih distančnikov, preko katerih je nameščen na čoln. Na ta način smo uspeli zmanjšati vibracije na raven, ki ne vpliva na kakovost meritve. Poleg tega pa tudi masa čolna, ki znaša okoli 50 kg, dodatno pripomore k dušenju vibracij.

Daljinsko voden čoln se lahko napaja tudi preko litij-železo-fosfatnih (LiFePO₄) bateriji, ki smo jih namestili v vodoodporen kovček (slika 5). LiFePO₄ baterije smo uporabili predvsem zaradi njihove stabilnosti in dolge življenjske dobe. Omenjene baterije imajo nazivno napetost 12 V in kapaciteto 40 Ah. Čoln deluje na litijevo baterijo v povprečju eno do dve uri, odvisno od hitrosti vožnje. Uporabimo lahko štiri complete baterij, ki jih po potrebi zamenjamo in polnimo na terenu. Litijeva baterija se napolni v uri in pol.

2.2.4 Radijska komunikacija in nadzor vožnje

Za potrebe daljinskega upravljanja čolna smo razvili lasten daljinsko voden sistem, ki je sestavljen iz daljinskega upravljalnika (slika 6, levo) in sprejemne enote (slika 6, desno), ki je nameščena na čolnu. Na sprejemno enoto priključimo litijevo baterijo oziroma električni agregat ter oba motorja. V sprejemni enoti sta nameščena regulatorja motorjev in enota za brezžično komunikacijo z daljinskim upravljalnikom. Moč levega in desnega motorja lahko reguliramo neodvisno. Vsak motor je povezan na ločen H mostiček, preko katerega se moč regulira z uporabo pulzno-širinske modulacije (ang. *Pulse-width modulation*). Moč motorjev lahko reguliramo na 0,4 % natančno. Daljinski upravljalnik je sestavljen iz zaslona, na katerem je prikaz trenutne moči levega in desnega motorja,

smeri vrtenja posameznega motorja, napetosti litijeve baterije oziroma električnega agregata in časa vožnje. Na daljinskem upravljalniku moč motorjev spreminjamo preko 100 mm drsnih potenciometrov, smer vrtenja motorjev pa preko dveh gumbov. Daljinski upravljalnik in sprejemna enota komunicirata na frekvenci 433 MHz. Frekvenco 433 MHz smo uporabili, ker je v primerjavi z višjimi frekvencami (pogosta je tudi frekvenca 2.4 GHz) manj občutljiva na morebitne ovire med sprejemnikom in oddajnikom. Največja razdalja komuniciranja je 1000 m, v primeru, da med sprejemnikom in oddajnikom ni ovir.

2.2.5 Senzor za določitev in korelacijo hitrosti zvoka v vodi

Temperatura vode se z globino spreminja. Sprememba temperature vode v vodnem stolpcu vpliva na hitrost zvoka v vodi in posledično na kakovost meritve (Sontek, 2016b). V času meritve je treba izvesti meritve temperaturnega profila vode na več lokacijah. Izvedba temperaturnih meritev je še posebej pomembna pri globljih vodotokih, kjer je sprememba temperature z globino bolj izrazita. Temperaturni profil v vodnem stolpcu na več lokacijah izmerimo s CTD CastAway sondo (Sontek, 2016b), ki meri prevodnost, slanost, temperaturo, hitrost zvoka, globino, datum-čas in GPS položaj vzorčenja (slika 7). Sondo spustimo do dna vodotoka, pri čemer posnamemo celotni profil hitrosti zvoka v vertikalnem stolpcu. Podatke kasneje upoštevamo pri preračunavanju kompenzacijskih popravkov meritev. Hitrost zvoka pri gladini se v ADP instrumentu Sontek RiverSurveyor M9 konstantno preračunava z vgrajenim temperaturnim senzorjem.

2.2.6 Programska oprema za zajem podatkov

Meritve se izvaja v programskem okolju HydroSurveyor Live 1.5 (Sontek, 2016c), ki omogoča izvedbo vseh postopkov merjenja in obdelave podatkov (povezava in sinhronizacija instrumentov, umerjanje, navigacija, zajem in obdelava) (slika 8). Program operaterju in vozniku čolna v realnem času omogoča opazovanje plovbe

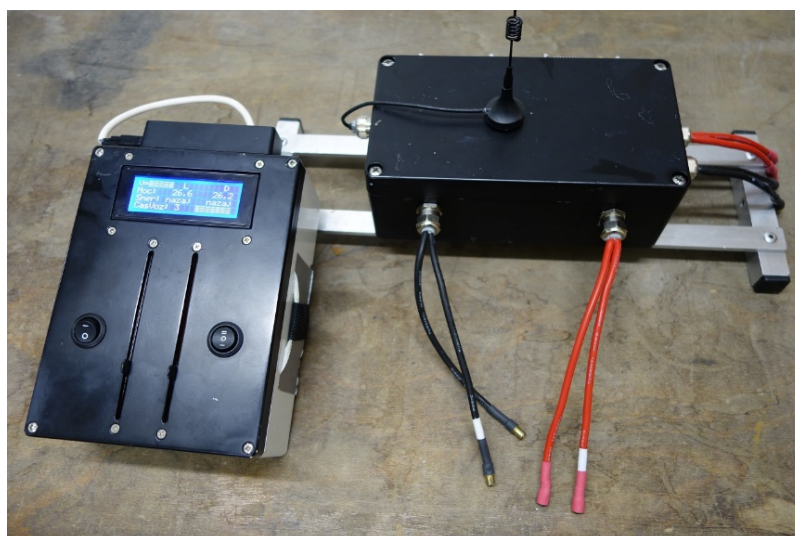
glede na kartografske podlage in spremljanje podatkov vseh senzorjev. Program ima vgrajene sprožilce, ki operaterja sproti opozarjajo na morebitne napake in kakovost zajetih podatkov. Na sliki 8 so s števkami označeni bistveni deli programske opreme Hydrosurveyor Live 1.5. V oknu s sloji (št. 1) lahko izbiramo med različnimi sloji. Sloji prikazujejo podatke o lokaciji čolna, pretočnih hitrostih, smeri toka vode... S številko 2

je označeno okno, v katerem je prikazana hitrost zvoka v vodnem stolpcu pod čolnom, ki se spreminja z globino in je odvisna od gostote in temperature vode. Razmerje med signalom in šumom Dopplerjevega instrumenta je prikazano v oknu, ki je označeno s št. 3. V delu vmesnika, ki je označen s št. 4, lahko spremljamo smer vožnje čolna in njegov nagib. V oknu št. 5 so vidni izbrani sloji.



Slika 5: Litijev (LiFePO4) akumulator.

Figure 5: Lithium (LiFePO4) battery.



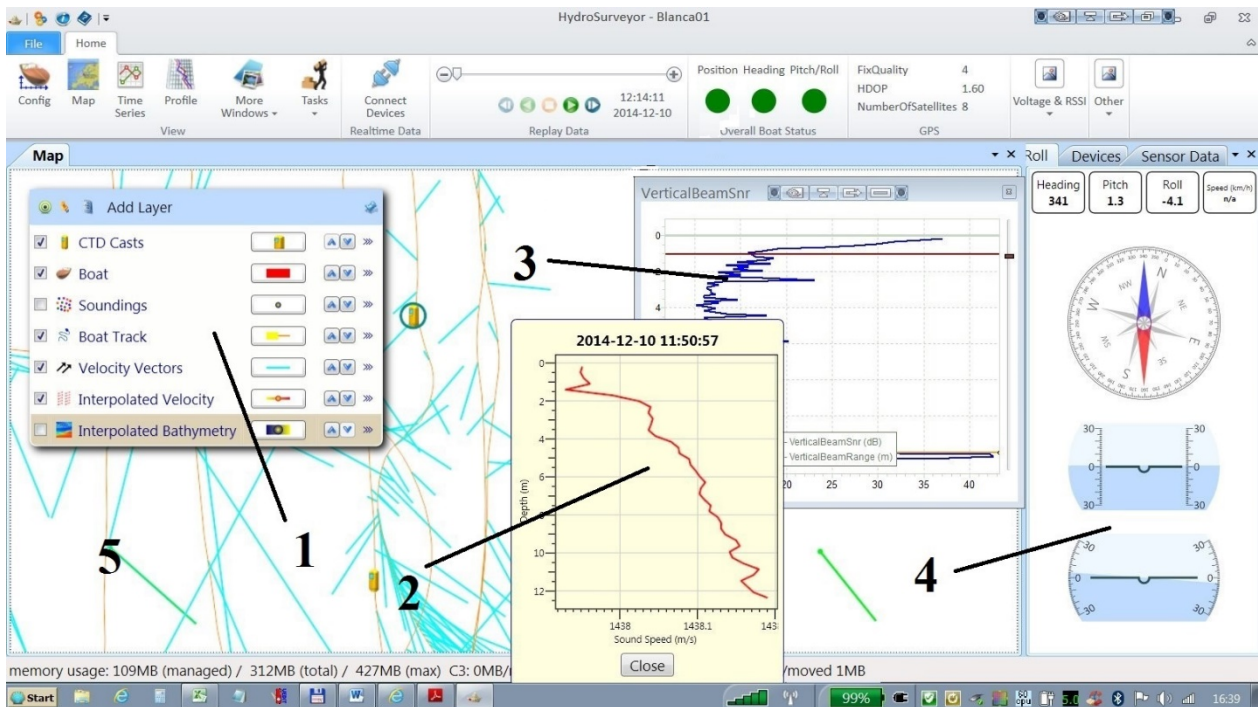
Slika 6: Daljinski upravljalnik (levo) in sprejemna enota (desno).

Figure 6: Remote control (left) and receiver unit (right).



Slika 7: CTD-CastAway zapisovalnik (Sontek, 2016b).

Figure 7: Castaway CTD instrument (Sontek, 2016b).



Slika 8: Programsko orodje HydroSurveyor live 1.5 (Sontek, 2016c). Na sliki je označeno s št. 1 – okno s sloji, št. 2 – okno, v katerem je prikazana hitrost zvoka v vertikalnem profilu, št. 3 – okno, v katerem je prikazano razmerje med signalom in šumom, št. 4 – okno, v katerem je prikazana smer vožnje čolna in njegov nagib, št. 5 – okno s prikaznimi sloji.

Figure 8: The HydroSurveyor Live 1.5 software (Sontek, 2016c). Marks on the figure represent: 1 – window with layers, 2 – window which displays the speed of sound in the vertical profile, 3 – window which shows the relationship between the signal and noise, 4 – window which shows the boat position and its inclination, 5 – visible layers.

3. Rezultati

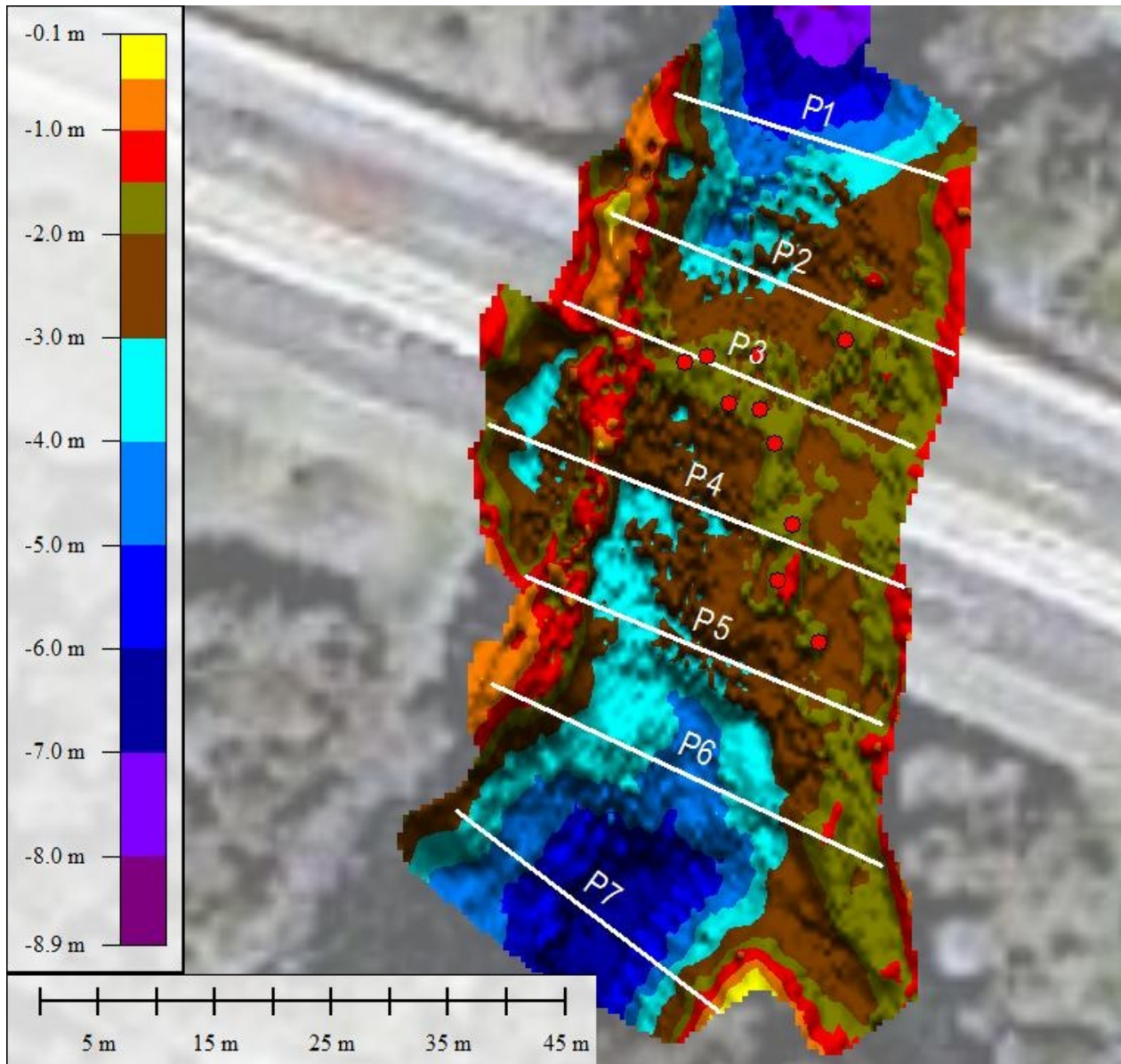
Meritve batimetrije dna struge pod avtocestnim mostom smo izvedli 4. 4. 2014 z začetkom ob 12:30 po lokalnem času (slika 9). Meritev je trajala eno uro, med tem časom smo s čolnom prevozili razdajo 3,5 km. Pripadajoča nadmorska višina gladine vode v času meritve je bila 285,65 m. Meritve gladine vode smo izvajali periodično, na vsakih 10 minut. Ugotovili smo, da se v času meritve gladina reke Ljubljanice ni spreminjala. Tudi pretok Ljubljanice je bil konstanten in je znašal $35,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Rezultat meritve je bil 3D oblak točk, ki smo ga obdelali z GIS orodjem Global Mapper z vgrajenim LiDAR modulom (Global Mapper, 2016).

Rezultati meritev batimetrije iz leta 2014 so prikazani na sliki 10. Črte P1 – P7 predstavljajo mesta, kjer smo izdelali prečne profile dna struge. Črta P3 označuje mesto praga. Med meritvami januarja 2012 in aprila 2014 ni bilo razlik. Prag povzroči dvig dna reke Ljubljanice v območju mostu za povprečno 5 metrov. Struga Ljubljanice je pred in za pragom globoka od 8 do 9 m (slika 10). Z rezultati obeh meritev smo potrdili uporabnost čolna »Hi3« za izvedbo hidrometričnih meritev. V prihodnje bomo izdelali še podrobnejšo analizo vpliva praga na pretočnost Ljubljanice.



Slika 9: Čoln med izvedbo meritve.

Figure 9: Boat during the measurement.



Slika 10 : Batimetrija dna struge reke Ljubljanice pod avtocestnim mostom. Črte P1 – P7 predstavljajo mesta, kjer smo izdelali prečne profile dna struge. S črto P3 je označen prag.

Figure 10: Bathymetry results of the riverbed of the Ljubljanica river under the motorway bridge. Lines P1 - P7 represent the locations of the cross section profiles of the river bottom. Line P3 indicates the location of the threshold.

4. Zaključki

Daljinsko vodeni čoln »Hi3« se je izkazal za zelo uspešnega in je do danes prevozil že več kot 200 km v rekah in jezerih. S čolnom lahko izmerimo batimetrijo dna jezer in rek ter vektorje hitrosti toka vode. Z dobljenimi vektorji hitrosti toka lahko izdelamo prostorsko neprekinjen 3D model smeri in hitrosti toka vode, ki ga lahko uporabimo npr. pri modeliranju erozije, spreminjanju rečnega dna

oziroma prostornine akumulacije. Uporaba daljinsko vodenega čolna »Hi3« omogoča hitrejšo in varnejšo izvedbo hidrometričnih meritev, kar posledično pomeni nižje stroške meritev.

Lasten razvoj čolna nam omogoča tudi lažjo kasnejšo nadgradnjo in lažje ter cenejše vzdrževanje. Nadaljnji razvoj čolna je usmerjen v izdelavo avtopilota, s katerim želimo avtomatizirati vožnjo. Avtopilot bo omogočal samodejno vožnjo

čolna po vnaprej določeni poti. S samodejno vožnjo bi lahko v najkrajšem možnem času in najbolj optimalno izdelali batimetrijo dna reke ali jezera, saj bi se s tem izognili nepotrebnim vožnjam. V fazi izdelave je tudi lasten sistem ultrazvočnih merilnikov razdalje, ki nam bodo omogočili hitrejšo in bolj natančno izmero inženirske batimetrije.

Zahvala

Razvoj daljinsko vodenega čolna »Hi3« je potekal v okviru EU raziskovalnega projekta Ljubljana povezuje, ki je financiran z LIFE+ finančnim instrumentom Evropske skupnosti v okviru programa LIFE+ Nature&Biodiversity 2010 in sofinanciran s strani Univerze v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo ter Ministrstva za okolje in prostor RS

Viri

Adams, W. M. (2001). *Green Development: Environment and Sustainability in the Third World*, Second edition, Routledge: 221 str.

Azzeria, M. N., Adnan, F. A., Zaina, M. Z. Md. (2015). Review of Course Keeping Control System for unmanned Surface Vehicle. *Jurnal Teknologi* **74**(5), 11–20.

Callede, J., Kosuth, P., Guimaraes, V. (2000). Discharge determination by acoustic doppler current profilers (ADCP): a moving bottom error correction method and its application on the river Amazon at Obidos. *Hydrological Sciences Journal -des Sciences Hydrologiques* **45**(6), 911–924.

Clearpath. (2016). Heron – Unmanned surface vessel. Dostopno na: <https://www.clearpathrobotics.com/heron-bathymetry-unmanned-surface-vessel/> (Pridobljeno 12. 7. 2016).

Flener, C., Wang, Y., Laamanen, L., Kasvi, E., Vesakoski, J.M., Alho, P. (2015). Empirical Modeling of Spatial 3D Flow Characteristics Using a Remote-Controlled ADCP System: Monitoring a Spring Flood. *Water* **2015**, 7(1), 217–247.

Gaberc, A. (1995). Napovedano in opazovano posredanje južne ljubljanske obvoznice. 1. Šukljetovi dnevi. Slovensko geotehniško društvo. Ljubljana 1(5), 121–128.

Global Mapper. (2016). Overview of a Global Mapper software and use of free extensions. Blue Marble Geographics. Dostopno na: <http://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper.php> (Pridobljeno 3. 5. 2016).

Gunawan, B., Sterling, M., Knight, D. W. (2010). Using an acoustic Doppler current profiler in a small river. *Water and Environment Journal* **24**(2), 147–158.

Kongsberg. (2016). Echo sounder transducer installation. Dostopno na: <https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/B2896D802BDA7B8EC125738E004A9BCA?OpenDocument> (Pridobljeno 12. 7. 2016).

Legleiter, C. J., Tedesco, M., Smith, L. C., Behar, A. E., Overstreet, B.T. (2014). Mapping the bathymetry of supraglacial lakes and streams on the Greenland ice sheet using field measurements and high-resolution satellite images. *The Cryosphere* **8**, 215–228.

Oceanscience. (2016). Z-Boat 1800 Remotely-Operated Survey Boat. Oceanscience. Dostopno na: <http://www.oceanscience.com/products/z-boat/home.aspx> (Pridobljeno 21. 3. 2016).

Seafloor. (2016). HyDrone-RCV Remote Control Survey Boat Platform. Dostopno na: https://seafloorsystems.com/products/product/hydrone-rcv/category_pathway-19 (Pridobljeno 12. 7. 2016).

Slocum D.B., Ward, C., Orlinsky, H., Velasco, D. (2009). Next Generation System for Obtaining Bathymetry and Velocity Log data from a Single Device Fully integrated into HYPACK. U.S. Hydro 2009 Conference. Norfolk, Virginia U.S.A: 6 str. Dostopno na: ushydro.thsoa.org/hy09/0513A_05.pdf

Sontek. (2016a). RiverSurveyor S5 and M9 specifications. Sontek. Dostopno na: <http://www.sontek.com/productsdetail.php?RiverSurveyor-S5-M9-14> (Pridobljeno 21. 3. 2016).

Sontek. (2016b). CastAway-CTD, description and specifications. Sontek. Dostopno na: <http://www.sontek.com/productsdetail.php?CastAway-CTD-11> (Pridobljeno 21. 3. 2016).

Sontek. (2016c). RiverSurveyor LIVE (RSL) & RiverSurveyor Stationary LIVE (RSSL), overview and specifications. Sontek. Dostopno na: <http://www.sontek.com/softwaredetail.php?RiverSurveyor-LIVE-RSL-RiverSurveyor-Stationary-LIVE-RSSL-34> (Pridobljeno 3. 5. 2016).

Teledyne. (2016). RDI's Bottom-Tracking. Technical note. RDI instruments. Dostopno na:

http://rdinstruments.com/_documents/TechTips/RDI_TechTipBottomTracking.pdf.

Trček, R., Cankar, B. (2006). Meritve visokovodnih pretokov slovenskih rek z ultrazvočnimi merilniki. *Ujma* **20**, 182–187. Dostopno na: www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2006/trcek.pdf.

Vidmar, A. (2012). Zmanjševanje ogroženosti pred škodo poplav južnega dela Ljubljane - Andrej Vidmar, januar 2012. Dostopno na: <http://www.crnavas.si/poplave/protipoplavni-ukrepi/zmanjsjevanjeogrozenostipredskodopoplavjuznegadelaljubljane-andrejvidmarjanuar2012> (Pridobljeno 29. 2. 2016).

Von Bröckel, K. (2014). Echo Sounders versus Air Bubbles in Research Vessels. GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Kiel, Germany. Dostopno na: <http://www.hydro-international.com/content/article/echo-sounders-versus-air-bubbles-in-research-vessels> (Pridobljeno 12. 7. 2016).

Vilanova, M. R. N., Balestieri, J. A. P. (2013). Quality analysis of streamflow data obtained by acoustic profiling. *Revista Arvore* **37(3)**, 531–538.

Wallingford. (2016). Specifications and features of the ARC-Boat. Dostopno na: <http://www.hrwallingford.com/expertise/arc-boat> (Pridobljeno 12. 7. 2016).

Yorke, T. H., Oberg, K. A. (2002). Measuring river velocity and discharge with acoustic Doppler profilers. *Flow Measurement and Instrumentation* **13(5-6)**, 191–195.