

Хидрографски премер међународних пловних путева у Републици Србији

ПЕТКО Р. ВРАНИЋ, Универзитет у Београду,

Грађевински факултет, Београд

ORCID: 0009-0007-3838-8273

ДЕЈАНА М. ЂОРЂЕВИЋ, Универзитет у Београду,

Грађевински факултет, Београд

ORCID: 0000-0003-1865-8284

ЈОВАН М. ПОПОВИЋ, Универзитет у Београду,

Грађевински факултет, Београд

ORCID: 0000-0003-0479-2538

МАРКО М. ПЕЈИЋ, Универзитет у Београду,

Грађевински факултет, Београд

ORCID: 0000-0002-6367-6943

ЉИЉАНА Б. БРАЈОВИЋ, Универзитет у Београду,

Грађевински факултет, Београд

ORCID: 0000-0002-2265-7308

ДАНИЈЕЛА Б. ПЈЕВЧЕВИЋ, Универзитет у Београду,

Саобраћајни факултет, Београд

ORCID: 0000-0003-1037-4367

Стручни рад

UDC: 528.484:007]:656.6(497.11)

DOI: 10.5937/tehnika2405531V

Европски унутрашњи пловни путеви су кључни елемент Европске транспортне мреже и у највећој мери користе се за теретни саобраћај. Хидрографски премер представља основу за одржавање унутрашњих пловних путева и успостављање безбедне пловидбе. Један део Европског пловног коридора Е80 чине реке Дунав, Сава и Тиса, које једним делом свога тока протичу и кроз Републику Србију. На овим деоницама поменутих река, надлежне државне институције спроводе континуирану кампању хидрографских мерења, која између осталог подразумева ГНСС РТК позиционирање и мерење дубине једноснопним ултразвучним дубиномером. У овом раду биће детаљно приказане карактеристике ових деоница река и актуелна методологија мерења дубине и позиционирања у току процеса мерења дубине.

Кључне речи: међународни пловни путеви, Е80, хидрографски премер, једноснопни дубиномер, ГНСС позиционирање

1. УВОД

Међународни пловни путеви имају потенцијал да утичу како на националну и спољну политику земаља преко чијих територија се протежу, тако и на војну и поморску стратегију и омогућавају својим земљама да контролишу промет роба и услуга

на својој територији. Због тога међународни пловни путеви имају стратешки значај. Они такође имају комуникациону, политичку, безбедносну и економску функцију. Њихова примарна функција је комуникација и могућност успостављања комерцијалних, економских и војних веза, као и превоза путника и робе између удаљених места.

Адреса аутора: Петко Вранић, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Београд, Булевар краља Александра 73

e-mail: pvranic@grf.bg.ac.rs

Рад примљен: 05.07.2024.

Рад прихваћен: 16.07.2024.

Да би пловни путеви били функционални, морају да се одржавају, што, између осталог, подразумева спровођење континуиране кампање хидрографских мерења, тј. хидрографског премера речних корита и пловних канала. Када је реч о хидрографским мерењима, најзначајнију улогу међу

њима има мерење дубине пловног пута. У данашње време, за потребе мерења дубине пловних путева, најчешће се користе једноснопни и вишеснопни ултразвучни дубиномери. На основу измерених дубина и захтеваног газа пловила која се крећу конкретним пловним путем, одређују се димензије и положај безбедног коридора за пловидбу у оквиру постојећег пловног пута.

У једној студији о одрживом развоју, спроведеној у Литванији [1] разматране су одлике водног саобраћаја и дошло се до закључака да је водни саобраћај у поређењу са друмским, на подручју од интереса далеко ефикаснији. Циљ научног истраживања у [2] био је процена услова животне средине горњег тока реке Дњепар на деоници европског пловног пута Е40. Услови животне средине одређивани су на основу мерења хемијских карактеристика воде, хидрометеоролошких мерења, али и мерења дубине и димензија пловног пута, као и протока воде. У прегледном раду [3] анализирана је економска ефикасност теретног водног саобраћаја главним пловним путевима Европе, са посебним освртом на теретни транспорт реком Дунав, на главном пловном путу Е80. Оцена параметара датумске трансформације између глобалног и локалног координатног система и координата новоустављених тачака референтне геодетске основе Дунава, од Бездана до Гроцке, био је циљ у [4], што је и приказано у научном раду [5]. Хидрографска мерења се не спроводе само за потребе одржавања функционалности пловних путева, већ и језера, јер се на основу њих може утврдити топографија и састав дна, као и дебљина наслага наноса на дну језера, што је приказано у [6], на примеру језера Neusiedl у Аустрији, у непосредној близини границе са Мађарском.

У овом раду биће приказане неке од основних карактеристика европских пловних путева и постојећи усвојени модел њихове класификације и нумерације. Посебна пажња биће усмерена на деонице река Дунав, Сава и Тиса, које протичу кроз Републику Србију, као делове европског пловног пута Е80. Деонице ових река биће приказане кроз карактеристике њихових речних корита, инжењерске објекте изграђене на њима и погодности за пловидбу. Такође, у раду је приказан осврт на хронолошки развој методологије мерења дубине, као и на актуелни хидрографски премер пловних путева у Републици Србији.

2. МЕЂУНАРОДНИ ПЛОВНИ ПУТЕВИ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

Европски пловни путеви са укупном дужином од 29.238 km повезују 37 држава и представљају битан аспект њиховог економског развоја. С об-

зиром на то да пловни путеви представљају веома сложен систем, европске државе потписале су многобројне уговоре, конвенције и сл, које су донеле различите међународне институције основане са циљем ефикаснијег одржавања и унапређења постојећих пловних путева. Да би се боље сагледало тренутно стање, недостаци, као и могућности за унапређење пловности целокупне мреже европских пловних путева, први корак била је класификација европских пловних путева. Да би класификација европских пловних путева била јасно и потпуно представљена, потребно је такође објаснити и представити постојећи усвојени систем њихове јединствене нумерације. Унутрашње пловне путеве Републике Србије чине реке Дунав, Сава, Тиса и мрежа пловних канала у оквиру Хидросистема Дунав-Тиса-Дунав, што укупно износи приближно 1.637 km. У Европску мрежу пловних путева на територији Републике Србије укључени су: река Дунав од границе са Мађарском код Бездана, до ушћа Тимока, у дужини од 588 km; река Сава од границе са Хрватском код Јамене до ушћа у Дунав код Београда, у дужини од 211 km и река Тиса од границе са Мађарском до ушћа у Дунав код Сланкамена, у дужини од 164 km, што укупно износи 963 km пловних путева. Ови пловни путеви припадају директно или као притоке и секундарне притоке главном међународном пловном путу са ознаком Е80. Канал Дунав-Тиса-Дунав није сврстан у европску мрежу унутрашњих пловних путева и на њему важи национални режим пловидбе.

2.1. Класификација и нумерација европских пловних путева

Класификација унутрашњих пловних путева се може дефинисати као подела и организација компоненти речне инфраструктуре, према одређеним критеријумима. Ови критеријуми, као и обим категорија класификације могу да варирају у зависности од главног циља класификације. У најпознатијој прихваћеној класификацији (ECMT/UNECE), главни параметар класификације била је способност пловног пута да прихвати одређени обим саобраћаја теретних бродова. ECMT/UNECE класификација је производ заједничких напора неколико организација активних у развоју сектора унутрашњег водног саобраћаја у Европи, укључујући Европску конференцију министара саобраћаја ECMT, Светско удружење за инфраструктуру водног транспорта PIANC и Економску комисију Уједињених нација за Европу UNECE. Критеријуми за одређивање класе унутрашњег пловног пута су димензије пловила или јединица пловила у хоризонталној равни (дужина и ширина) и критеријуми у вертикалној равни (газ пловила и

најмања висина пловног отвора испод моста). Треба нагласити да се газ рачуна за ниски пловидбени ниво реке, а најмања висина пловног отвора испод моста за потребе пловидбе, за високи пловидбени ниво реке. Такође, важно је напоменути да су критеријуми ове класификације засновани на анализи постојеће флоте и прилагођавани су како су се карактеристике флоте развијале, почевши од 1954. године, када је усвојена прва класификација унутрашњих пловних путева у Европи, па све до данашњих дана. Актуелна ЕСМТ/УНЕСЕ класификација дели унутрашње пловне путеве у 10 класа (I, II, III, IV, Va, Vb, VIa, VIb, VIc и VII), на основу њиховог капацитета да приме пловила (самоходна пловила и барже) и потискиване саставе одређених величина. Поред поделе по класама, ЕСМТ/УНЕСЕ класификација дели унутрашње пловне путеве у две главне категорије: класе од националног значаја (класе I-III) и класе од међународног значаја (класа IV и више).

На слици 1 приказана је шема актуелне ЕСМТ/УНЕСЕ класификације европских унутрашњих пловних путева од међународног значаја. Забринутост земаља чланица УНЕСЕ, због ограниченог коришћења унутрашњих пловних путева и пловне инфраструктуре, услед недовољне дужине пловних путева од међународног значаја, високо фрагментиране природе европске мреже пловних путева и ограничене поузданости саобраћаја на појединим деоницама, кулминирала је 1996. године њиховом иницијативом за потписивањем европског споразума о главним унутрашњим пловним путевима од међународног значаја (AGN). Главна сврха AGN споразума била је да промовише унутрашњи водни транспорт развојем хомогене и интегрисане мреже унутрашњих пловних путева погодне за економичан међународни транспорт.

Classification of European Inland Waterways of international importance

Type of inland waterway	Classes of navigable waterways	Motor vessels and barges					Pushed convoys					Minimum height under bridges H (m)	Graphical symbols on maps
		Type of vessel: General characteristics					Type of convoy: General characteristics						
		Designation	Maximum length L (m)	Maximum beam B (m)	Draught d (m)	Tonnage T (t)	Length L (m)	Beam B (m)	Draught d (m)	Tonnage T (t)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
of international importance	IV	Johann Welker	80–85	9.5	2.50	1 000–1 500		85	9.5	2.50–2.80	1 250–1 450	5.25 or 7.00	
	Va	Large Rhine vessels	95–110	11.4	2.50–2.80	1 500–3 000		95–110	11.4	2.50–4.50	1 600–3 000	5.25 or 7.00 or 9.10	
	Vb							172–185	11.4	2.50–4.50	3 200–6 000		
	VIa							95–110	22.8	2.50–4.50	3 200–6 000	7.00 or 9.10	
	VIb		140	15.0	3.90			185–195	22.8	2.50–4.50	6 400–12 000	7.00 or 9.10	
	VIc							270–280	22.8	2.50–4.50	9 600–18 000	9.10	
	VII							195–200	33.0–34.2	2.50–4.50	9 600–18 000		
								275–285	33.0–34.2	2.50–4.50	14 500–27 000	9.10	

Слика 1 – Шема ЕСМТ/УНЕСЕ класификације европских пловних путева од међународног значаја [7]

ЕСМТ/УНЕСЕ класификација је прихваћена и постала је део AGN споразума 1996. године, након његовог потписивања. Република Србија је прихватила AGN споразум 2013. године.

Систем нумерације за пловне путеве категорије Е и припадајући систем нумерисања за луке на овим пловним путевима је дефинисан у AGN споразуму. Наиме, сви унутрашњи пловни путеве од међународног значаја идентификовани у Анексу I AGN споразума (Е водни путеве), имају двоцифрене, четвороцифрене или шестоцифрене бројеве којима претходи слово „Е“. Главни елементарни делови мреже пловних путева Е имају двоцифрене бројеве, а њихове притоке и секундарне притоке („притоке притока“) имају четвороцифрени, односно шестоцифрени број. Главни унутрашњи пловни путеве који прате углавном правац север-југ и који обезбеђују приступ морским лукама и повезују један морски слив са другим означени су бројевима 10, 20, 30, 40 и 50 у растућем редоследу од запада према истоку.

Главни унутрашњи пловни путеве који прате углавном правац запад-исток прелазећи три или више претходно наведених унутрашњих пловних путева, означени су бројевима 60, 70, 80 и 90 у растућем редоследу од севера ка југу. Остали главни унутрашњи пловни путеве се идентификују двоцифреним бројевима између бројева два главна унутрашња водна пута, између којих се налазе. У случају притока или притока притока, прве две (или четири) цифре означавају релевантни виши елемент мреже пловних путева, а последње две означавају појединачне притоке нумерисане редом од почетка до краја вишег елемента. Парни бројеви користе се за десне, а непарни бројеви за леве притоке (посматрано у односу на смер водотока).

2.2. Река Дунав

Као што је претходно речено, река Дунав протиче кроз Републику Србију у дужини од 587,6 km и то представља 20,6% укупне дужине ове реке. Налази се на главном пловном путу Е80. Дунав улази у Републику Србију из Мађарске (rkm 1.433+100) и напушта је ка Бугарској, у близини ушћа реке Тимок (rkm 845+500). Постоје две заједничке деонице реке - са Хрватском у дужини од 137 km (од rkm 1.433+100 до rkm 1.295+500) и са Румунијом у дужини од 229,5 km, од ушћа реке Нере (rkm 1.075+000) до ушћа реке Тимок (rkm 845+500).

Према ЕСМТ/УНЕСЕ класификацији, деоница пловног пута реке Дунав у Републици Србији од границе са Мађарском (rkm 1.433+100) до Београда (rkm 1.170+000) је класе VIc, док је остатак пловног пута од Београда (rkm 1.170+000) до ушћа реке Тимок (rkm 845+500) класе VII. На реци Дунав у Републици Србији постоје 24 сектора критична за пловидбу, 9 водомерних станица, 12 мостова (друмских и железничких), 2 бране са бродским преводницама (Ђердап I и Ђердап II) и 3 луке од међународног значаја према АГН-у, са ознакама Р 80–48 (Београд – rkm 1.170+000), Р 80–49 (Смедерево – rkm 1.116+300) и Р 80–52 (Прахово – rkm 861+000). Са аспекта пловидбених услова, река Дунав у Србији може се поделити на три различите деонице:

- Деоница са слободним током – од границе са Мађарском (rkm 1.433+100) до Београда (rkm 1.170+000). Ову деоницу карактерише песковито и морфолошки променљиво речно корито. Сви критични сектори за пловидбу на Дунаву у Србији налазе се на овој деоници реке, тако да се положај пловног пута на овој деоници често мења у зависности од хидролошких прилика, расположивих дубина воде и расположивих ширина пловног пута. У периодима малих вода, на критичним секторима често нису обезбеђене захтевана дубина и/или ширина пловног пута;
- Деоница под успором – од Београда (rkm 1.170+000) до бране Ђердап II (rkm 863+000). Речно дно на овој деоници је највећим делом песковито, а речни ток је под утицајем успора бране Ђердап I. Две бране у Ђердапској клисури на граници са Румунијом Ђердап I (rkm 943+000) и Ђердап II (rkm 863+000) створиле су акумулације, који су међу највећима у Европи. Изградњом ових брана створени су повољни услови за пловидбу на деоници реке Дунав кроз Ђердапску клисуру, где у природним условима пловидба није била безбедна. Акумулација бране Ђердап I простире се до

Београда (rkm 1.170+000) за време малих и средњих вода, а за време великих чак до Новог Сада (rkm 1.255+000). Периоди малих вода не утичу на пловидбу у акумулацији, а ову деоницу генерално карактеришу повољни пловидбени услови током целе године, у погледу расположивих дубина и ширина пловног пута; и

- Деоница са слободним током – од бране Ђердап II (rkm 863+000) до ушћа реке Тимок (rkm 845+500). Ову деоницу карактеришу релативно повољни пловидбени услови.

2.3. Река Сава

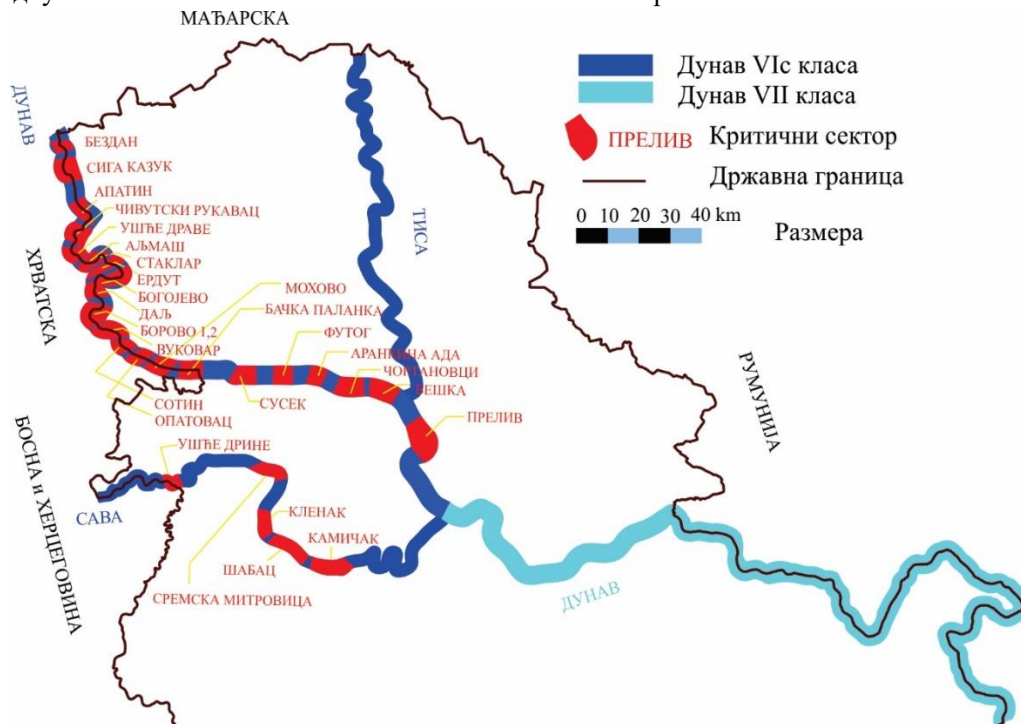
Река Сава је по дужини трећа притока реке Дунав и међународни пловни пут са ознаком Е 80–12. Њена укупна дужина износи 944,0 km, а кроз Републику Србију протиче у дужини од 210,8 km. У Републику Србију улази из Босне и Херцеговине, у Сремској Рачи (rkm 210+800) и преосталим делом свога тока тече кроз Републику Србију, до ушћа у Дунав, у Београду (rkm 0+000). Према ЕСМТ/УНЕСЕ класификацији, целокупан пловни пут реке Саве у Републици Србији је класе IV. На реци Сави у Републици Србији постоји 5 сектора критичних за пловидбу, 5 водомерних станица, 17 мостова (пешачких, друмских и железничких) и 4 сидришта.

На слици 2 приказани су пловни путеви Дунава, Саве и Тисе кроз Републику Србију са назначеним положајима критичних сектора. Треба нагласити да у овом раду, на сликама на којима ће бити приказани токови пловних путева у Републици Србији, ширина реке није приказана у реалним димензијама, већ је нешто увећана, са циљем постизања боље видљивости и уочљивости осталих карактеристика пловног пута.

Са аспекта пловидбених услова, река Сава у Србији се може поделити на три различите деонице:

- Деоница са слободним током – од уласка у Србију (rkm 210+800) до критичног сектора Камичак (rkm 82+000). На овој деоници, потпуно слободан ток је од уласка у Србију (rkm 210+800) до железничког моста у Шапцу (rkm 107+000), а од железничког моста у Шапцу (rkm 107+000) до критичног сектора Камичак (rkm 82+000) је делимично слободно течение. Ову деоницу карактеришу променљиви пловидбени услови који зависе од хидролошких услова. На овој деоници налазе се сви критични сектори за пловидбу на реци Сави у Републици Србији, са ограниченим дубинама и ширинама пловног пута у периоду малих вода;

- Деоница под успором у периодима малих вода – од критичног сектора Камичак (rkm 82+000) до почетка сектора „Ушће Саве“ (rkm 11+000). Ову деоницу карактеришу повољни пловидбени услови током целе године, у погледу расположивих дубина и ширина пловног пута. На овој деоници нема критичних сектора за пловидбу и
- Сектор „Ушће Саве“ – деоница са посебним режимом пловидбе од (rkm 11+000) до ушћа реке Саве у Дунав у Београду (rkm 0+000). На овој деоници реке важи посебан режим пловидбе, имајући у виду густину саобраћаја, као и број и карактеристике мостова који узрокују једносмерну пловидбу једним делом овог сектора.



Слика 2 – Пловни путеви кроз Републику Србију – реке Дунав, Сава и Тиса са означеним положајима критичних сектора

2.3. Река Тиса

Река Тиса је највећа лева притока реке Дунав и представља међународни пловни пут са ознаком Е 80–01. Њена укупна дужина износи 1358,0 km, а кроз Републику Србију протиче у дужини од 164,0 km. У Републику Србију улази из Мађарске (rkm 164+000) и преосталим делом свога тока тече кроз Републику Србију, до ушћа у Дунав, код Старог Сланкамена (rkm 0+000).

Према ЕСМТ/УНЕСЕ класификацији, целокупан пловни пут реке Тисе у Републици Србији је класе Va и на њему нема сектора критичних за пловидбу. На току реке Тисе у Републици Србији постоји 7 водомernih станица, 5 мостова (друмских и железничких), 3 сидришта и једна брана са бродском преводницом – Брана на Тиси (rkm 63+400) код Новог Бечеја.

Са аспекта пловидбених услова, река Тиса у Србији може се поделити на две деонице:

- Деоница под успором – од уласка у Србију (rkm 164+000) до Бране на Тиси (rkm 63+400)

код Новог Бечеја. Ову деоницу карактеришу стабилни пловидбени услови; и

- Деоница са слободним током – од Бране на Тиси (rkm 63+400) до ушћа у Дунав, код Старог Сланкамена (rkm 0+000). Ову деоницу такође карактеришу повољни пловидбени услови током целе године, у погледу расположивих дубина и ширина пловног пута.

3. ХИДРОГРАФСКИ ПРЕМЕР ПЛОВНИХ ПУТЕВА

За мерење дубине најпре су се користиле хидрографске мотке (сондирке) и ручни дубиномери. Технолошки развој омогућио је напредак у мерењу дубина и то применом акустичких и ласерских метода мерења.

Акустичка метода мерења дубина почива на принципу мерења времена протеклог од емитовања акустичког (звучног) сигнала са сонде постављене на доњу површ пловила до повратка сигнала рефлектованог од дна, натраг на сонду.

Једноснопни дубиномери, као уређаји који служе за мерење дубине у акустичкој методи, у комбинацији са ГНСС пријемником и диференцијалном методом позиционирања веома су се добро показали са аспекта тачности, а нарочито са аспекта ефикасности, у односу на претходне методе мерења дубине, што је приказано у [8] и [9].

Развојем вишеснопних дубиномера омогућено је мерење дубина не само једним снопом вертикално испод сонде, обично по попречним пресецима водотока, као код једноснопних дубиномера, већ у широком дијапазону упадних углова снопа, кретањем пловила по подужним пресецима водотока. На тај начин постиже се већа ефикасност и вишеснопни дубиномери све више из употребе истискују њихове једноснопне пандане. Они су предмет дугогодишњих научних истраживања, како са аспекта тачности мерења [10], тако и са аспекта практичне примене за различите потребе [11]. У последње време, за хидрографска мерења применом акустичке методе користе се и пловила без посаде, названи Unmanned Survey Vessel (USV) [12].

Паралелно са развојем акустичких метода, развијала се и ласерска методе мерења дубина из ваздуха, названа Airborne LIDAR Bathymetry (ALB). Принцип одређивања дубина ласерском методом базира се на мерењу времена протеклог од емитовања ласерских таласа различитих таласних дужина и њихове рефлексије од површине воде и речног дна. Ласерски таласи одашиљу се са платформе постављене на летелици. На основу дугогодишњег рада ових система, ALB се показао као прецизан, исплатив, брз, сигуран и флексибилан метод мерења дубина у плиткој води и снимања обала где су акустичке методе мање ефикасне. Са оваквим предностима, ALB се наметнуо најчешће у подручјима која су неприступачна и ризична за примену акустичке методе. У том смислу, примена ALB-а данас је веома распрострањена [13]. Генерално, најчешћи финални продукт хидрографских мерења су пловидбене карте и један аспект ове примене приказан је у [14]. Дакле, хидрографска

мерања се реализују првенствено са циљем одређивања расположивих дубина пловних путева и њиховог одржавања.

3.1. Хидрографски премејер у Републици Србији

Хидрографски премејер у Републици Србији, како историјски, тако и у садашњем времену углавном подразумева хидрографски премејер пловних путева. С обзиром на то да кроз Србију протиче 963 km међународних пловних путева, како је описано у глави 2, јасно је да је за потребе њиховог одржавања потребан веома сложен и ефикасан систем. Из ових разлога је основана Дирекција за унутрашње пловне путеве Пловпут [15] као посебна организација Владе Републике Србије, надлежна за одржавање и развој унутрашњих пловних путева на којима важе међународни и међудржавни режими пловидбе. Ова институција има традицију постојања дугу преко 6 деценија и као таква представља неприкосновени ауторитет у овој области, када је реч о одржавању пловних путева. Пловпут сарађује са многим међународним институцијама и учествује у раду међународних организација релевантних за одржавање унутрашњих пловних путева. Пловпут обавља планирање, пројектовање и реализацију хидрографских мерења, обележавања габарита пловних путева, реализацију потребних хидротехничких радова, израду и ажурирање електронских навигационих карата и речног информационог система. За реализацију хидрографских мерења на пловним путевима Републике Србије примењује се ултразвучна метода са одговарајућом комбинацијом ГНСС пријемника и једноснопног дубиномера. Наиме, након планирања и пројектовања хидрографских мерења у канцеларији, теренске екипе врше мерења по унапред дефинисаним попречним пресецима водотока и на тај начин обезбеђује се покривање подручја од интереса, као што је приказано на слици 3. Растојање између суседних попречних профила зависи од расположивих дубина пловног пута, тј. од степена угрожености безбедне пловидбе на конкретној деоници.



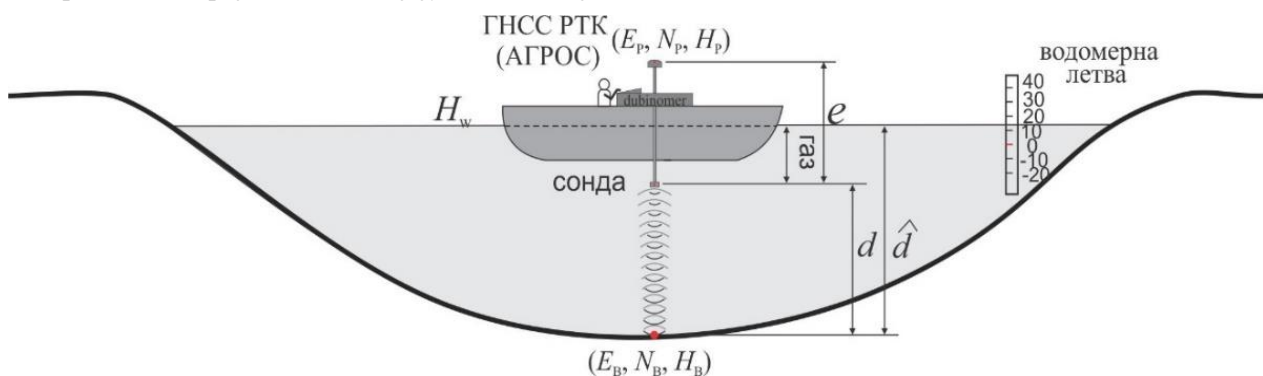
Слика 3 – Оријентациони приказ путање пловила током хидрографских мерења једноснопним дубиномером

3.2. Принцип одређивања дубине системом једноснопни дубиномер – ГНСС пријемник

Када је реч о процедури мерења, треба истаћи да се за потребе реализације хидрографског премера у Републици Србији користи кинематичко позиционирање у реалном времену (РТК) на покретном ГНСС пријемнику (на пловилу) који добија корекције позиционирања од стационарног пријемника постављеног на некој од тачака Активне геодетске референтне основе Србије (АГРОС), са које се врше перманентна опажања. Истовременим позиционирањем применом ГНСС РТК методе и мерењем дубина једноснопним дубиномером чија се сонда налази на доњем крају штапа на који је монтиран ГНСС пријемник обезбеђује се прикупљање података о позицији у Државном координатном систему и дубини пловног пута.

Дакле, мрежно решење за корекцију позиције и висине пријемника на покретном пловилу у реалном времену добија се на основу припадајућег троугла чија темена представљају станице АГРОС мреже, а подаци о корекцији покретном пријемнику шаљу се са најближе од те 3 станице. На овај начин, ГНСС позиционирањем и одговарајућом трансформацијом добијених координата фазног центра антене пријемника добијају се положајне

координате у Државном координатном систему Републике Србије и висине у државном систему висина. На другом крају вертикалног носача (штапа) на чијем врху се налази ГНСС пријемник и који је причвршћен за пловило, налази се сонда једноснопног дубиномера која је уроњена у воду и са чије површи се емитују ултразвучни сигнали. Након рефлексије емитованих ултразвучних сигнала од речног дна и поновног доспећа на сонду, једноснопни дубиномер на основу познате брзине простирања ултразвучних сигнала кроз воду и измереног протеклог времена од емитовања до поновног доспећа на сонду, одређује дубину, тј. половину пређеног двоструког растојања. Размак између фазног центра антене и сонде је фиксне дужине која је прецизно одређена. Такође, газ (уроњеност) сонде дубиномера, тј. растојање између сонде и нивоа воде се очитава на посебној мерној подели нанетој на чамцу. Симултаним ГНСС позиционирањем и мерењем дубине са урачунавањем корекције за ова два претходна поменута размака, омогућује се одређивање дубине пловног пута, као и положаја и висине тачака речног дна у државном координатном систему. На слици 4 приказан је принцип мерења дубина у описаном систему једноснопног дубиномера – ГНСС РТК.



Слика 4 – Принцип мерења дубина у систему једноснопни дубиномер – ГНСС РТК

Поред сервиса АГРОС и других државних геодетских мрежа, геодетску основу хидрографског премера за потребе одржавања пловних путева чине и водомерне станице, тј. водомерне летве.

Функционисање и одржавање водомерних станица у надлежности је Републичког хидрометеоролошког завода (РХМЗ). Наиме, на пловним путевима од међународног значаја Републике Србије налази се укупно 21 водомерна станица на којима се свакодневно очитавају водостаји и ти подаци су доступни на сајту РХМЗ-а.

Положај у државном координатном систему и висину у државном систему висина водомерних

станица за потребе РХМЗ-а одређује Републички геодетски завод (РГЗ). Висина и положајне координате „нуле водомера“ у државном координатном систему одређују се комбинацијом релативног статичког ГНСС позиционирања и геометријског нивелмана са тачака државних мрежа и помоћних тачака стабилованих у ову сврху. Водостај очитан на водомерној летви служи као допунски и контролни податак у току кампање хидрографских мерења на пловним путевима. Како су висине „нула водомерних летава“ одређене у државном систему висина, тако се и очитани тренутни водостај може прерачунати, тј. одредити висина воде у државном систему висина. Тренутни водостај је веома важна информација капетанима

бродова чија је пловидба у току или у плану, јер на основу ње могу прогнозировати могући наступајући ниски или високи пловидбени ниво и томе прилагодити режим пловидбе.

Дакле, може се рећи да се применом ГНСС РТК позиционирања пловило доводи на унапред задати попречни пресек водотока на којем ће се мерити дубина. Истовремено са кретањем по попречном пресеку водотока, једноснопни дубиномер врши мерење дубине која се коригује за вредност газа сонде, према формули:

$$\hat{d} = d + g_a \quad (1)$$

где је:

d – измерена дубина и

$\hat{d}$ – дубина коригована за газ сонде.

Поред измерене дубине, актуелне државне процедуре налажу и одређивање положајних координата и висине тачака речног дна у државном координатном систему. Обзиром да се једноснопни дубиномер и ГНСС пријемник налазе на штапу фиксне и познате дужине чија се вертикалност обезбеђује одговарајућом централном либелом и положајне координате фазног центра антене коинцидирају са положајним координатама тачака речног дна, а висине тачака речног дна се рачунају према формули:

$$H_B = H_P - e - d \quad (2)$$

где је:

e – дужина штапа;

H_P – висина фазног центра ГНСС антене у Државном систему висина и

H_B – висина тачке речног дна у Државном систему висина.

Уз податак о висини тачака речног дна бележи се и висина нивоа воде у државном систему висина, а која се рачуна према формули:

$$H_w = H_P - e + g_a \quad (3)$$

где је:

H_w – висина нивоа воде (кота нивоа) у државном систему висина.

3.3. Динамика реализације кампање хидрографског премера на пловним путевима

Одржавање безбедне пловидбе на Дунаву засновано је на подацима хидрографског премера прикупљаним са различитом учесталосту на појединим деоницама, обзиром на повољност пловидбених услова. Наиме, деонице са слободним током (rkm 1.433+100 - rkm 1.170+000) и (rkm 863+000 - rkm 845+000) се премеравају једном годишње по

попречним пресецима водотока на међусобном растојању од 200 m. Сви критични сектори реке Дунав се налазе на првој деоници и они се могу премеравати по потреби и чешће и то по попречним пресецима водотока на међусобном растојању од 50 m. На заједничкој деоници са Хрватском у дужини од 137 km (rkm 1.433+100 - rkm 1.295+500) мерења се врше заједнички, тј. наизменично (годишње) од стране надлежне институције Републике Србије и Републике Хрватске. На деоници под успором (rkm 1.170+000 - rkm 863+000) хидрографска мерења се реализују једном годишње на делу (rkm 1.170+000 - rkm 1.075+000) и једном у четири године на делу који је под директним утицајем режима рада брана Ђердап I и Ђердап II и представља део заједничке деонице са Румунијом (rkm 1.075+000 - rkm 863+000), такође по попречним пресецима водотока на међусобном растојању од 200 m. Хидрографска мерења на Сави и Тиси обављају се по правилу једном годишње, по попречним пресецима водотока на међусобном растојању од 200 m, осим на критичним секторима реке Саве, где се по потреби могу вршити и чешће, по попречним пресецима водотока на међусобном растојању од 50 m.

4. ЗАКЉУЧАК

Водни саобраћај је убедљиво најјефтинија врста саобраћаја, јер омогућава превоз велике количине робе, неупоредиво веће него у осталим видовима транспорта. Поред тога, показало се да је унутрашњи водни транспорт баржама и потискиваним саставима енергетски најјефикаснији и еколошки најприхватљивији метод транспорта робе у поређењу са железничким и друмским саобраћајем. Главни Европски унутрашњи пловни пут Е80 повезује луке Атлантског океана и Црног мора и представља веома важан стратешки коридор. На једном свом делу међународни пловни пут Е80 пролази кроз Републику Србију токовима река Дунав, Сава и Тиса. Надлежне институције Републике Србије обављају одржавање деоница ових пловних путева у складу са параметрима ЕСМТ/UNECE класификације, АГН споразумом, прописима и стандардима Међународне хидрографске организације [16] и другим међународним уговорима са којима су и усклађени сви национални закони и правилници из ове области. Одржавање пловних путева се постиже реализацијом хидрографског премера и одређивањем позиција и димензија пловног пута, што има за циљ остваривање безбедне навигације и регулисање саобраћаја на пловним путевима.

У оквиру хидрографског премера, најзначајнију улогу имају хидрографска мерења дубине

пловног пута. Ова мерења се генерално у последње време изводе једноснопним и вишеснопним ултразвучним дубиномерима, који су се за ову сврху показали најбољима.

У конкретном случају, на пловним путевима у Републици Србији хидрографска мерења изводе се применом ГНСС методе позиционирања и ултразвучне методе мерења дубине једноснопним дубиномером. Обзиром на велики значај поменутих деоница пловних путева на коридору Е80, надлежне институције имају исто тако велику одговорност за одржавање безбедне пловидбе на њима.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Plotnikova E, Vienažindienė M, Slavinskas S. Development of Inland Waterway Transport as a Key to Ensure Sustainability: A Case Study of Lithuania (2022). *Sustainability* (Switzerland), 14 (17), art. no. 10532. DOI: 10.3390/su141710532
- [2] Snytko V, Shirokova V, Ozerova N, Romanova O, Sobisevich, A. Hydrological situation of the upper Dnieper International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 17 (31), pp. 379-384. DOI: 10.5593/sgem2017/31/S12.048, 2017.
- [3] Radmilović Z, Maraš V. *Role of Danube Inland Navigation in Europe*, 2011.
- [4] Божић Б, Поповић Ј. Референтна геодетска основа Дунава, Технички извештај и оригинали рачунања ГПС мерења, *Пловпут*, Београд, 2004.
- [5] Божић, Б. Референтна геодетска основа Дунава. *Техника* - 61(2), 1-7, СИТС, Београд, 2007.
- [6] Hydrographic Surveying of the Steppe Lake Neusiedl – Mapping the Lake Bed Topography and the Mud Layer. (2014). Heine E., Kogelbauer, I., Prokoph, A. and Loiskandl, W. Photogrammetrie – Fernerkundung – *Geoinformation*. DOI: 10.1127/1432-8364/2014/0228
- [7] ECE/TRANS/120/Rev.2. Economic commission for Europe. Inland transport committee. European agreement on main inland waterways of international importance (AGN).
- [8] Прибичевић, Б. *Поморска геодезија*. Свеучилиште у Загребу, Геодетски факултет, Загреб, 2005.
- [9] Popielarczyk, D. GNSS/RTS techniques in precise inland bathymetric survey. 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015, Book 2 Vol. 2, pp. 323-330. DOI: 10.5593/-SGEM2015/B22/S9.040, 2011.
- [10] Christian de Moustier. Field Evaluation of Sounding Accuracy in Deep Water Multibeam Swath Bathymetry Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, CA, USA, 2002.
- [11] Dutu F, Panin N., Ion, G., Dutu, Laura. (2018). Multibeam Bathymetric Investigations of the Morphology and Associated Bedforms, Sulina Channel, Danube Delta. *Geosciences* 2018, 8(1), 7. DOI: 10.3390/geosciences8010007
- [12] Specht C, Świtalski E, Specht M.. Application of an Autonomous/Unmanned Survey Vessel (ASV/USV) in Bathymetric Measurements. *Polish Maritime Research*, Vol.24 (Issue 3), pp. 36-44. DOI: 10.1515/pomr-2017-0088, 2017.
- [13] Mandlbürger, G. A review of airborne laser bathymetry for mapping of inland and coastal waters. *Hydrographische Nachrichten*. DOI: 10.23784/HN-116-01, 2020.
- [14] Stateczny A, Gronska-Sledz D, Motyl W. Precise Bathymetry as a Step Towards Producing Bathymetric Electronic Navigational Charts for Comparative (Terrain Reference) Navigation. *Journal of Navigation*, 72 (6), pp. 1623-1632. DOI: 10.1017/S0373463319000377, 2019.
- [15] <https://www.plovput.rs/>
- [16] International Hydrographic Organization. Standards for Hydrographic Surveys. S-44 Edition 6.0.0.

SUMMARY

HYDROGRAPHIC SURVEYING OF INTERNATIONAL INLAND WATERWAYS OF THE REPUBLIC OF SERBIA

European inland waterways are a key element of the European transport network and are mostly used for freight traffic. The hydrographic surveying is the basis for the maintenance of inland waterways and the establishment of safe navigation. A part of the European waterway corridor E80 consists of the rivers Danube, Sava and Tisza, which part of their course also flows through the Republic of Serbia. On these sections of the mentioned rivers, the competent state institutions are conducting a continuous campaign of hydrographic measurements, which, among other things, includes GNSS RTK positioning and depth measurement with a single-beam ultrasonic echo sounder. In this paper, the characteristics of these sections of rivers, the current methodology of depth measuring and positioning during depth measuring will be shown in details.

Key Words: *International waterways, E80, hidrographic surveying, single beam echo sounder, GNSS positioning*