



Број: ВДС-04/2018

Број: 342-00-3/2018-03-2-21

Датум: 03. септембар 2019. године

## КОНАЧАН ИЗВЕШТАЈ О ИСТРАЗИ ПЛОВИДБЕНЕ НЕЗГОДЕ У УНУТРАШЊОЈ ПЛОВИДБИ

Име пловила:	„GAGRA“
Врста пловила:	Моторни тегљач
Регистарски број:	311
ЕНИ број:	42000068
Година градње:	1968. године
Власник/бродар:	УДП, Измаил
Место пловидбене незгоде:	река Дунав 1111 km
Датум пловидбене незгоде:	03.09.2018. године
Време пловидбене незгоде:	око 10:30



## САДРЖАЈ:

<b>1. Увод</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Основни подаци о пловидбеној незгоди</b> .....	<b>5</b>
2.1. Опис оштећења на пловилима .....	5
2.1.1. Оштећења на броду „GAGRA“ .....	5
<b>3. Техничко-експлоатациони подаци</b> .....	<b>6</b>
3.1. Технички подаци брода (пловила) .....	6
3.1.1. Подаци о броду „GAGRA“ .....	6
3.2. Подаци о пловидбеној незгоди .....	7
3.2.1. Подаци о људском фактору .....	8
<b>4. Опис догађаја (реконструкција догађаја)</b> .....	<b>9</b>
<b>5. Анализа пловидбене незгоде</b> .....	<b>13</b>
5.1. Анализа резултата испитивања материјала тела оштећене зеваче и вијака... ..	19
5.1.1. Анализа резултата хемијског састава материјала оштећеног дела зеваче .....	19
5.1.2. Анализа резултата механичких карактеристика оштећеног дела зеваче и вијака .....	20
5.1.3. Анализа резултата микроструктурних испитивања материјала зеваче .....	22
5.1.4. Извештај о испитивању хемијског састава оштећеног дела пловила (зевача) .....	24
5.1.5. Извештај о испитивању механичких карактеристика материјала оштећеног дела пловила (зевача и вијци) .....	25
5.1.6. Извештај о металграфском испитивању тела зеваче са брода м/т „GAGRA“ .....	27
<b>6. Закључак</b> .....	<b>37</b>
6.1. Силе и моменти који делују на брод у маневру .....	37
6.2. Упорне тачке и привезна опрема на броду .....	37
6.3. Манипулативне радње приликом пристајања брода м/т „GAGRA“ уз бок потиснице „SL-010“ .....	38
<b>7. Препоруке</b> .....	<b>39</b>



## 1. Увод

У овом Извештају приказани су резултати истраживања пловидбене незгоде брода - моторног тегљача (у даљем тесксту: м/т) „GAGRA“, који вије заставу државе Украјине. Пловидбена незгода догодила се дана 03.09.2018. године током пристајања и привезивања брода м/т „GAGRA“ уз десни бок потиснице. Том приликом дошло је до пуцања леве прамчане зеваче са покретним ваљцима где је откинути део великом брзином одлетео, ударио у члана посаде – морнара који се налазио на палуби наведеног брода и усмртио га.

Радну групу за истраживање ове пловидбене незгоде образовао је директор Центра за истраживање несрећа у саобраћају Републике Србије, Решењем број 342-00-3/2018-03-2-11 од 10.10.2018. године.

Истраживање ове пловидбене незгоде спроведено је на основу члана 36. и члана 39. Закона о истраживању несрећа у ваздушном, железничком и водном саобраћају („Сл. гласник РС“, бр.66/2015 и 83/2018) и Правилника о начину спровођења поступка истраживања несрећа и незгода („Сл.гласник РС“, бр.50/2016).

Центар за истраживање несрећа у саобраћају (у даљем тексту ЦИНС) спроводи истрагу која обухвата прикупљање и анализу података, извођење закључака, укључујући и утврђивање узрока. ЦИНС предлаже мере и даје безбедносне препоруке у циљу превенције пловидбених незгода на унутрашњим пловним путевима.

У овом Извештају све величине су изражене у складу са Међународним системом јединица (SI).

Значење скраћеница употребљених у тексту је објашњено у Појмовнику.

**ЦИНС је самосталан у раду, стручни послови који се односе на истраживање несрећа су независни од кривичних истрага или других паралелних истрага којима се утврђује одговорност или одређује степен кривице. Истраживање и откривање узрока несрећа нема за циљ утврђивање кривичне, привредно-преступне, прекршајне, дисциплинске, грађанско-правне или неке друге одговорности.**

**Овај Извештај о истрази пловидбене незгоде није намењен за употребу и коришћење у поступцима којима се утврђује кривица или одговорност за пловидбену незгоду у унутрашњој пловидби.**



### Појмовник скраћеница:

ЦИНС	Центар за истраживање несрећа у саобраћају
м/т	Моторни тегљач
РИС	Речно информациони систем
ЕНЦ	Електронска пловидбена карта
ЕНИ	Јединствени европски идентификациони број
РХМЗ	Републички хидрометеоролошки завод

## 2. Основни подаци о пловидбеној незгоди

ЦИНС је о пловидбеној незгоди обавештен телефоном од стране шефа Лучке капетаније Смедерево, 03.09.2018. године у 13:00.

Истражитељски тим ЦИНС-а изашао је на лице места дана 03.09.2018. године у 14:45, ради вршења увиђаја и прикупљања свих потребних информација.

Дана 03.09.2018. године око 10:30 на 1111 km реке Дунав уз десну обалу, догодила се пловидбена незгода брода – моторног тегљача „GAGRA“, који вије заставу државе Украјине. Пловидбена незгода се догодила током пристајања и привезивања брода – моторног тегљача „GAGRA“ уз десни бок потиснице. Том приликом је дошло до пуцања леве прамчане зеваче са покретним ваљцима где је откинути део великом брзином одлетео, ударио у члана посаде – морнара који се налазио на палуби наведеног брода и усмртио га.

Материјалне штете осим оштећења леве прамчане зеваче на броду – моторном тегљачу „GAGRA“ нема.

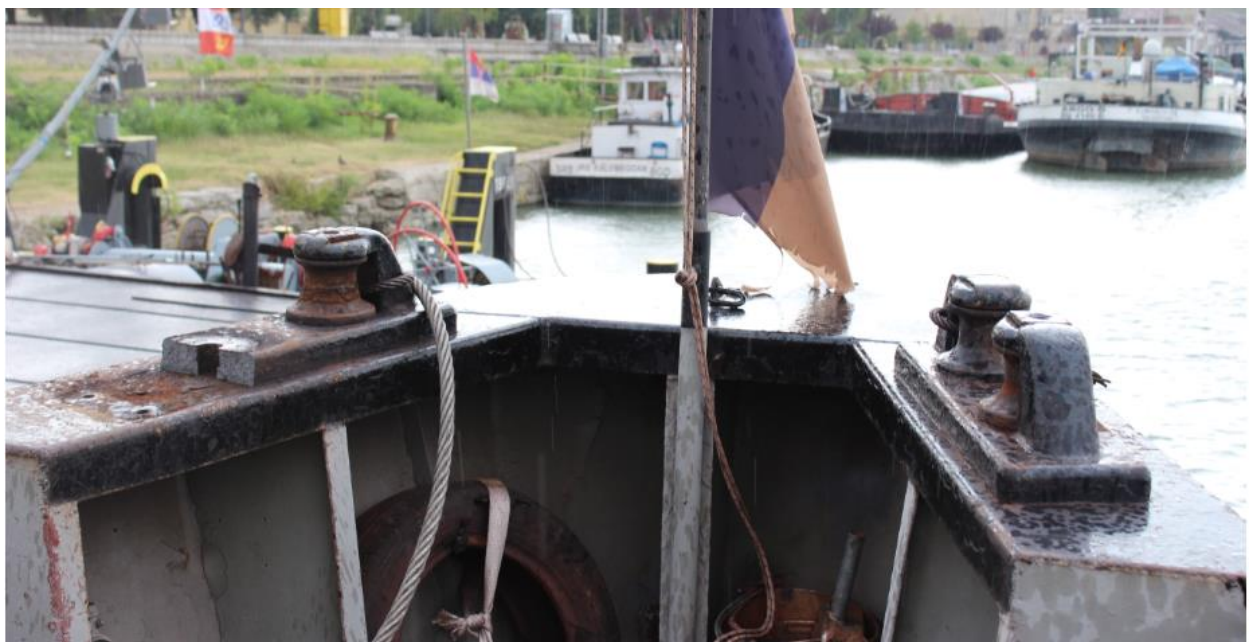
Истрагом је утврђено да није било изливања опасних материја у водоток, нити других последица које могу угрозити редовно одвијање водног саобраћаја.

### 2.1. Опис оштећења на пловилима

Приликом увиђаја истражитељски тим је обавио визуелни преглед пловила.

#### 2.1.1. Оштећења на броду „GAGRA“

Приликом увиђаја истражитељски тим је визуелним прегледом констатовао да осим оштећења леве прамчане зеваче на броду – моторном тегљачу „GAGRA“ нема.



Слика 2.1.1.1. Оштећена лева прамчана зевача на броду м/т „GAGRA“



### 3. Техничко-експлоатациони подаци

У опису чињеничног стања коришћени су записи и документација прикупљена од стране: главног истражитеља за водни саобраћај, Дирекције за водне путеве („Пловпут“), Републичког хидрометеоролошког завода Србије (у даљем тексту РХМЗ) и документације власника/бродара.

#### 3.1. Технички подаци брода (пловила)

##### 3.1.1. Подаци о броду „GAGRA“



Слика 3.1.1.1. Брод м/т „GAGRA“, река Дунав 1113 km

Брод м/т „GAGRA“ је уписан у Регистар бродова Украјина са следећим карактеристикама:

Врста брода.....	Моторни тегљач
Државна застава.....	Украјина
Регистарски број.....	311
ЕНИ број.....	42000068
Власник/бродар.....	УДП, Измаил
Година градње.....	1968. године
Место градње.....	Корнајбург (Korneuburg), Аустрија
Максимална дужина ( $L_a$ ).....	52,50 m
Максимална ширина ( $B_a$ ).....	7,565 m
Максимални газ ( $T_{max}$ ).....	1,53 m
Снага погонских мотора ( $N_{ins}$ ).....	772 kW



### 3.2. Подаци о пловидбеној незгоди

Према Рапорту - Извештају заповедника брода м/т „GAGRA“ и приложене скице дана 03.09.2018. године око 10:30 на 1111 km реке Дунав ближе десној обали приликом пристајања сепарат (без вуче - састава) брода м/т „GAGRA“ на усидрену потисницу регистарске ознаке „SL-010“ извршен је маневар пристајања левим боком брода уз десни бок наведене потиснице. Приликом бочног пристајања према Рапорту – Извештају заповедника брода м/т „GAGRA“ исти се налазио за командним пултом за управљање главним моторима, за кромом је био старији помоћник капетана. Приликом везивања сепаратног (без вуче – састава) брода својим левим боком на потисницу регистарске ознаке „SL-010“ скипер на палуби набацио је лево бродско прамчано уже на наведену потисницу, а затим је машиниста – морнар набацио бродско везивно уже на битву (упорну тачку) потиснице. У току приближавања крме брода ка потисници „SL-010“ откинуо се део леве прамчане уводнице (зевача са покретним ваљцима), кроз коју је било провучено челично уже и том приликом смртно ранио члана посаде, машинисту - морнара који се налазио поред леве прамчане двоструке стубасте битве на растојању око 4 m од позиције оштећене леве зеваче. Према Рапорту – Извештају брод је хитно пристао у Луку Смедерево на оперативну обалу, у циљу пружања медицинске помоћи повређеном машинисти – морнару.

Хидрометеоролошки подаци, према РХМЗ Србије, на дан 03.09.2018. године су:

- ветар слаб и умерен, смер северозападни (NW),
- водостај за реку Дунав, меродавна водомерна станица Смедерево (+458cm), у мањем опадању и стагнацији у домену ниских и средње ниских вредности.

#### Прогноза времена за подручје Србије са упозорењем и степеном опасности

Датум издавања: 03.09.2018. године у 12:00

Период важења: од 03.09.2018. до 12.09.2018. године

#### Прогноза времена, упозорење и вероватноћа остварења опасне појаве

Датум	Текст прогнозе	Упозорење	Веров. (%)
03.09.2018. Понедељак	Променљиво облачно местимично са кишом и пљусковима са грмљавином. Локално се очекује већа количина падавина, као и појава града са jakim грмљавинама. Ветар слаб и умерен, северозападни. Највиша температура од 25 до 29 °C.	Локална појава грмљавина са градом	90
		Количина падавина $\geq 20$ l/m <sup>2</sup> у периоду до 3 h	90

Табела 3.2.1. Метеоролошки подаци на дан 03.09.2018. године (Извор: РХМЗ Србије)



**Хидролошки извештај о стању и прогнози вода на дан 03.09.2018. године**

Река/ Слив	Станица	Кота	Водостај	Водостај	Кота		Протисај	Т воде	Прогноза водостаја				
		"0"	Н	ΔН	Редовне одбране	Ванредне одбране	Q		04.09.	05.09.	06.09.	07.09.	
		м.п.ш.	см	см	см	см	см	м³/с	°C	см	см	см	см
ДУНАВ	Линц	247.74	372	-13	550	680							
	Корнојбург	154.05	272	-30					263				
	Братислава	129.08	348	30	650	750	2040	17.7	355				
	Комарно	104.41	235	49	500	680	1835	20.8	220				
	Естергом	101.61	142	47	500	650		21.4	161	165	184	180	
	Будимпешта	95.65	165	38	620	800	1570	21.8	207	218	233	246	
	Дунавфелдвар	89.58	-107	25	600	750		22.4	-69	-38	-24	-6	
	Баја	81.72	127	4	700	900	1330	23.4	159	206	243	266	
	Мошач	79.20	141	-1	700	950	1270	24.1	168	217	256	280	
	Бездан	80.64	-6	-4	500	700	1303	22.6	12	55	87	101	
	Апатин	78.84	52	-6	600	750		24.8	70	92			
	Богојево	77.46	62	0	600	700	1722	23.4	80	100	122	132	
	Вуковар	76.19	66	-2	580	630		23.8					
	Илок	73.97	95	-8				23.0					
	Бач. Паланка	73.97	93	-12	530	650			92	100			
	Нови Сад	71.73	86	-5	450	700	1615	24.0	85	97			
	Сланкамен	69.68	154	0	500			24.0	154	161	172	190	
	Земун	67.87	235	-1	550	650		24.5	234	239	249	264	
	Панчево	67.33	268	0	530	650		24.5	267	272	282	297	
	Смедерево	65.36	458	4	600	2	2850	24.0	458	461	466	476	
Бач. Паланка	62.85	690	-2	765	865								
В. Градиште	62.17	750	8	800	830		24.4						
Прахово	29.00	95	22	500			26.5						

Табела 3.2.2. Хидролошки подаци - река Дунав, на дан 03.09.2018. године (Извор: РХМЗ Србије)

### 3.2.1. Подаци о људском фактору

Брод м/т „GAGRA“ је имао укрчану посаду која му по броју, саставу и звањима омогућава безбедну пловидбу. Из Репорта - Извештаја може се видети да је заповедник брода м/т „GAGRA“ одмах брод дислоцирао на оперативну обалу у Луци Смедерево, у циљу пружања медицинске помоћи повређеном машинисти – морнару.





#### 4. Опис догађаја (реконструкција догађаја)

На основу захтева ЦИНС-а, Дирекција за водне путеве („Пловпут“) доставила је на увид историјске податке из система за лоцирање и праћење пловила, у оквиру система РИС (Речни информациони систем Србија). AIS\* објекат типа пловило, MMSI\*\* броја 272138200 који је додељен броду м/т „GAGRA“, не појављује се у AIS архиви за дан 03.09.2018. године.

Према достављеним Рапортима чланова посаде брода м/т „GAGRA“ може се констатовати следеће:

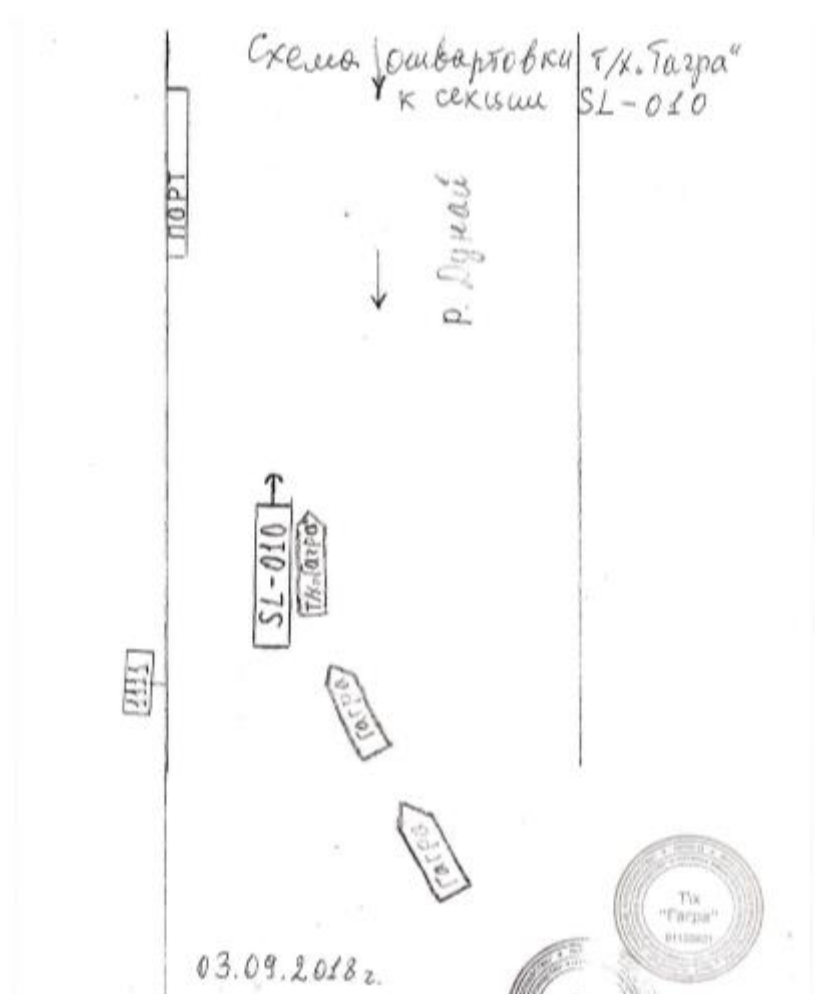
- Дана 03.09.2018. године према Рапорту заповедника брода м/т „GAGRA“ у сепарат пловидби (без вуче), извршио је маневар пристајања својим левим боком уз десни бок усидрене потиснице (барже) регистарске ознаке „SL-010“ према приложеној скици (слика 4.1, страна 10), која је била усидрена ближе десној обали реке Дунав на 1111 km. Приликом узводног бочног пристајања на наведену потисницу прво је дато прамчано бродско челично уже, а затим је дато бродско везивно челично уже скица (слика 4.2, страна 11). Након што су дата бродска челична ужад за време приближавања – слагања крменог дела брода ка потисници, откинуо се део тела леве прамчане уводнице (зевача са покретним ваљцима) кроз коју је провучено бродско челично уже и том приликом је ударио и смртно ранио машинисту – морнара који је био на палуби. Позиције чланова посаде који су били на прамчаном делу палубе брода и учествовали у маневру повезивања на потисницу регистарске ознаке „SL-010“ дате су на приложеној скици (слика 4.3, страна 12).
- Уз дату скицу (слика 4.2, страна 11) на којој се види којим редоследом је брод повезан бродским челичним ужадима у приложеном тексту се види да је прво дато прамчано бродско челично уже – спринг, када се прамац брода од потиснице (барже) налазио на растојању од 1,5 m, а крмени део брода од потиснице на око 7 m. Након тога дато је бочно везивно челично уже кроз прамчану уводницу, у временском периоду док су главни мотори неусклађено радили, дошло је до мањег трзаја и притом се одвалио део уводнице.
- На основу Рапорта боцмана брода м/т „GAGRA“ који је према датој скици (слика 4.3, страна 12) био уз притезно витло (позиција 3), приликом повезивања на потисницу регистарске ознаке „SL-010“, скипер који је према датој скици (слика 4.3, страна 12) био на позицији 8, дао је на битву (упорну тачку) наведене потиснице прамчано бродско челично уже, а затим је машиниста – морнар (позиција 7) према датој скици (слика 4.3, страна 12), дао – набацио на битву (упорну тачку) потиснице (барже) челично бродско везивно уже. За време приближавања – слагања крме брода ка потисници, откинула се лева уводница са витлом (ваљком) кроз коју је било провучено челично бродско уже, те је откинути део ударио и смртно ранио машинисту – морнара.

\*AIS (Automatic Identification System-Аутоматски идентификациони систем), транспондери идентификују тренутну позицију бродова користећи глобални систем позиционирања (GPS).

\*\*MMSI број (Maritime mobile Service Identity Number) је међународни поморски радиокомуникациони идентификациони број.

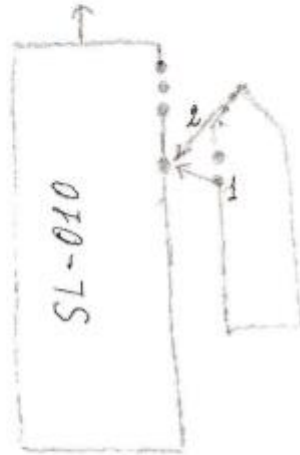


- Из Рапорта скипера са брода м/т „GAGRA“, за време повезивања на потисницу регистарске ознаке „SL-010“ левим боком, набацивао је (лево прамчано бродско челично уже, слика 4.3. на страни 12, на позицији 8), а морнар је набацивао на битву (упорну тачку) потиснице (барже) везивно уже (слика 4.3. на страни 12, позиција 7), када је чуо ударац и када је окренуо главу видео је морнара како лежи на бродској палуби.
- На основу Рапорта заповедника – капетана м/т „GAGRA“, брод је одмах отпловио до Луке Смедерево у циљу пружања медицинске помоћи рањеном морнару.



Слика 4.1. Скица из Рапорта о пловидбеној незгоди заповедника брода „GAGRA“

Схема подаци швартовног продолког  
троса Т/х „Гагра“ на SL-010

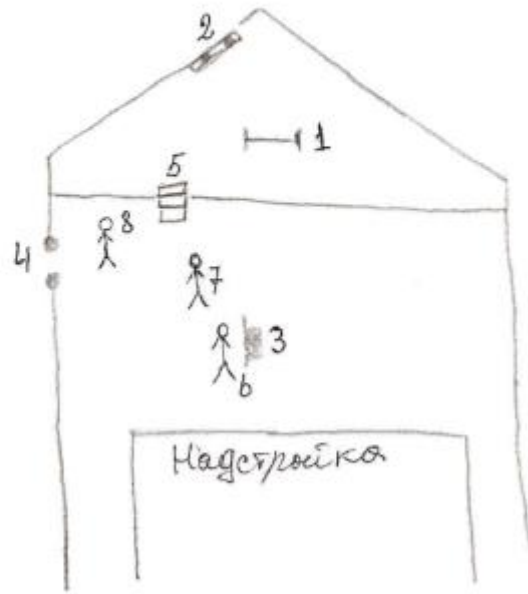


1. Первим был подан продолког трос, швартовног, растојане од бака до SL-010 било растојане 1,5 метра, корма находила се на растојану од SL-010 метрова 7 (седам)
2. Вторим был подан прижилиной трос через килеву планку, при подгонке кормы судна к SL-010, работај машини враздори произошл небольшой рывок, при этом оборвало часть килевой планки.

Слика 4.2. Скица из Рапорта о пловидбеној незгоди заповедника брода „GAGRA“



Схема расстановки членов  
Екипажа при ошвартовке  
Т/К. Гагра<sup>4</sup> к SL-010



Слика 4.3. Скица из Репорта о пловидбеној незгоди заповедника брода „GAGRA“



## 5. Анализа пловидбене незгоде

Дана 03.09.2018. године на реци Дунав на 1111 km ближе десној обали (сидриште), брод м/т „GAGRA“ вршио је око 10:30 маневар пристајања уз леви бок усидрене потиснице регистарске ознаке „SL-010“. Према датој скици (слика 4.1. на страни 10) брод је пришао усидреној потисници по левом боку у узводној пловидби. На основу Рапорта заповедника и скице (слика 4.2. на страни 11) може се видети распоред повезивања и позиција бродских челичних ужади која су дата на усидрену потисницу.

При маневру приласка прамчаног дела брода према скици пристајања (слика 4.1. на страни 10) уз бок потиснице „SL-010“, на растојању од око 1,5 m са брода на упорну тачку (битва) потиснице дато је прамчано бродско челично уже на спринг, скица (слика 4.2. на страни 11). Након датог првог ужета на прамцу, дато је са брода везивно челично прамчано уже преко леве прамчане уводнице (зевача са покретним ваљцима) на упорну тачку потиснице. Везивно бродско челично уже ( $\varnothing 22$  mm) је намотано на прамчано електрично притезно витло (слика 5.1. на страни 14), поред витла је према скици (слика 4.3. на страни 12) био бродски боцман. Према Рапорту заповедника у наставку маневра током слагања – приближавања крменог дела брода услед деловања сложених динамичких сила приликом затезања бродског челичног ужета ( $\varnothing 22$  mm) на покретни ваљак уводнице, а самим тиме и на целу уводницу долази до кидања дела тела уводнице са покретним ваљком, које је одлетело великом брзином у правцу члана посаде машинисте – морнара и наноси му смртну повреду у пределу врата.

На основу Рапорта заповедника види се да су главне погонске машине приликом бочног слагања брода на потисницу „SL-010“ радиле неусклађено. Овде се вероватно мисли на спрег сила главних погонских машина. У овом случају лева погонска машина (леви пропелер) ради у режиму за ход напред, а десни за ход назад, крмила брода су у положају десно у односу на уздужницу брода. Услед рада пропелера јављају се пропулзионе силе ( $F_{pr}$ ) супротних смерова које делују као спрег сила те се услед оваквог деловања сила јавља момент окретања (момент погонских машина). На тај начин при раду погонских машина (пропелера) спрегом пропулзионих сила супротног смера и отклоном крмила (јавља се момент крмила) у десну страну, јавља се снажан момент закретања у десно, односно у конкретном случају прамац добија тенденцију закретања у десну страну а крма брода у леву страну, односно закретање крме ка боку потиснице. Оваквим режимом рада погонских машина и отклон крмила подпомогнут утицајем струје водотока на уроњени труп брода по десном боку образује снажан момент закретања (окрета) брода у десно, који је настао деловањем хидродинамичке силе пропелера, као и момент крмила настао хидродинамичким деловањем силе пропелера на изложену површину пера крмила. Угаона брзина закретања брода у десно у овом случају зависи од режима рада главних погонских машина и угла пера крмила у односу на уздужницу брода.



Слика 5.1. Прамчано електрично притезно витло на броду м/т „GAGRA“

У Бродском сведочанству брода м/т „GAGRA“ не постоје подаци о прекидној сили ужади за вез брода.

Према доброј бродограђевној пракси и важећим класификационим Правилима, за вез брода наведених димензија, користе се челична ужад класе не мање од А6х24+7ВЈ, димензионисана према класификационим Правилима и стандару ЕС-ТРИН 1. У овом случају захтевана прекидна сила ужета за вез је 156,08кN.

Према стандарду ЕС-ТРИН 1, привезно уже брода наведених димензија је Ø18, А6х24+7ВЈ, прекидне силе 169кN.

Према стандарду ЕС-ТРИН 1, стандардно привезно уже стандардне потиснице Е IIв је Ø22, А6х24+7ВЈ, прекидне силе 252 кN.

Не постоје подаци о прилагођавању зеваче привезним ужадима повећане прекидне силе.



Слика 5.2. Леви прамчани бок брода м/т „GAGRA“



Слика 5.3. Оштећена зевача на левом прамчаном боку таласњаче брода м/т „GAGRA“

Напомена:



Према класификационим правилима, захтевана прекидна сила челичних, привезних и сидрених ужади је 3 – 4% мања од стварне прекидне силе, одређене одговарајућим стандардима и наведеним у атестима произвођача..

А6х24+7ВЈ – челично уже класе А, 6 струкова, сваки са по 24 жице и 7 влакнастих језгара. Детаљи су дати у спецификацији произвођача.

Прекидна сила жице ужета класе А не сме бити мања од 1570 МПа.

Класификационим правилима, важећим у време градње брода, дозвољена је примена елемената, делова опреме и склопова опреме израђених од сивог лива захтеване затезне чврстоће не мање од 185 МПа ( $R_M \geq 185$  МПа), односно SL22.

На захтев ЦИНС-а извршено је испитивање оштећеног дела зеваче и оштећених притезних вијака у Институту за испитивање материјала. ЦИНС-у су достављени извештаји о испитивању:

- Извештај бр. 421116 – 126 Хемијски састав материјала оштећеног дела пловила (зеваче).
- Извештај бр. 421116 – 060/1 Механичке карактеристике материјала оштећеног дела зеваче и вијака.
- Извештај бр. 421116 – 060/2 Металографско испитивање оштећеног дела зеваче.

Резултати испитивања механичких карактеристика тела зеваче, средње дебљине 48mm, дати су у табели 5.1. Прописане механичке карактеристике сивог лива SL18 и SL22, дебљине од 30 до 50 mm (узорак Ø45) дате су у табели 5.2.

Резултати испитивања механичких карактеристика притезних вијака дате су у табели 5.3. Прописане механичке карактеристике материјала за вијке класе 5.6 и 5.8 дате су у табели 5.4. на страни 17.

Табела 5.1.

узорак	$R_e$ [МПа]	$R_M$ [МПа]	тврдоћа
1	-	171	HB = 131
2	-	172	HB = 129

$R_e$  [МПа] – граница пластичности

$R_M$  [МПа] – затезна чврстоћа

Табела 5.2.

материјал	$R_e$ [МПа]	$R_M$ [МПа]	тврдоћа
SL18	-	150	165 < HB < 225
SL22	-	190	190 < HB < 360

Табела 5.3.

узорак	$R_e$ [МПа]	$R_M$ [МПа]	тврдоћа
1	334	458	HB = 128
2	332	442	HB = 120

Табела 5.4.

материјал	$R_e$ [МПа]	$R_M$ [МПа]	тврдоћа
5.6	300	500	-
5.8	400	500	-





У моменту незгоде коришћено је привезно уже  $\text{Ø}22 \text{ mm}$ .

Прегледом неоштећене десне прамчане зеваче, као и оштећеног и неоштећеног дела леве прамчане зеваче установљено је:

- Истрошења уздужних ивица тела зеваче санирана су наваривањем. Ово истрошење је последица клизања привезног ужета по телу зеваче.
- Истрошења ваљака зевача санирана су наваривањем. Ово истрошење је последица клизања привезног ужета по ваљку. Клизање ужета по ваљку јавља се у случају немогућности обртања ваљка око осовинице.

Нису доступни подаци о примењеном поступку наваривања и додатном материјалу коришћеном за наведене поправке.

Истрошење тела зеваче испод ваљка је последица сталног контакта ваљка и тела зеваче. Прегледом доступних делова оштећене зеваче, није уочено постојање аксијалног лежишта између ваљка и тела зеваче.

Не постоји могућност правилног подмазивања осовиница ваљака зеваче. Нису уочене мазалице, или прикључци за мазалице.

Недостаци уочени на оштећеној левој прамчаној зевачи, уочени су и на неоштећеној десној прамчаној зевачи. Уочени недостаци виде се на сликама 5.4. и 5.5. на страни 18.



Слика 5.4. Оштећени део леве прамчане зеваче са покретним ваљком и челичним ужетом  $\text{Ø} 22 \text{ mm}$  на броду м/т „GAGRA“



Слика 5.5. Попречни прелом тела леве прамчане зеваче на броду м/т „GAGRA“

Поред уочених недостатака, конструктивно решење којим је отвор у телу зеваче уједно и главчина осовинице ваљка, је узрок концентрације напона у зони отвора.

Испитивањем механичких карактеристика тела зеваче, примењене су прописане минималне механичке карактеристике материјала према стандарду JUS C.J2.020 (материјал зеваче-стандард за сиви лив), важећем у време изградње брода 1968. године. Према доброј бродограђевној пракси материјал за израду овог дела бродске опреме је SL22. Механичке карактеристике узорака су знатно испод прописаних.

Испитивањем механичких карактеристика притезних вијака, према доброј бродограђевној пракси и Правилима класификационих друштава, у бродоградњи се користи галвански заштићена (цинкована или кадминизирана) вијчана роба класе не мање од 5.8 и не више од класе 8.8. У одређеним случајевима обавезна је примена вијчане робе класе > 8.8, или вијчане робе од нерђајућих челика класе А2-70 или А4-80.

На оштећеним вијцима није уочена антикорозивна заштита. Примењене су прописане минималне механичке карактеристике материјала према стандарду JUS M.B1.021 и JUS M.B1.023 (стандард за материјал вијка), важећем у време изградње брода 1968. године. Механичке карактеристике узорака су знатно испод прописаних.

Недостаци материјала тела зеваче уочени металографским испитивањем могу се поделити у две групе:

- Грешке у одливку – порозност, неметални укључци, стедит
- Оштећења у раду – графитна корозија, прслине



Утицај графитне корозије на пад механичких карактеристика одливка тела зеваче, у пресеку лома и зони уз пресек лома, приказан је драстичном променом измерене тврдоће на местима приказаним на сликама 12-15, стране 34-35.

Измерена тврдоћа основног материјала је 276 HV1, а у зонама захваћеним графитном корозијом је од 88,2 HV1 до 98,8 HV1. Однос тврдоће по Бринелу (НВ) и Викерсу (НВ)  $NB = 0,96 \times HV$  примењује се за  $NB < 500$ .

Зевача тегљача димензионисана је према захтевима за привезно уже брода.

Узимајући у обзир да су средином 1970-их година потискивани састави заменили тегљене саставе, намена брода је промењена са тегљења састава, на покретање потискиваног састава бок уз бок. Променом типа састава, промењена је врста и прекидна сила привезних ужади. Нема података да је зевача прилагођена овој промени.

Нема података о материјалу ваљка зеваче, па није могуће утврдити да ле је коришћен сиви лив, или челични лив.

Поправке тела зевача и ваљака вршене су наваривањем. Нема доступних података о примењеном поступку и додатном материјалу.

У стандардну опрему овог типа брода спада апарат за РЕЛ (ручно електролучно) заваривање и додатни материјал за S 235 JRA. Важећим прописима није предвиђен атестирани заваривач као члан посаде.

## **5.1. Анализа резултата испитивања материјала тела оштећене зеваче и вијака**

Извршена је анализа резултата испитивања обављених у Институту за испитивање материјала и достављених извештаја, а која су се односили на:

### **1. Хемијски састав материјала оштећеног дела зеваче,**

Извештај бр. 421116 – 126, Хемијски састав материјала оштећеног дела пловила (зеваче), Институту за испитивање материјала, **5.1.4. на страни 23,**

### **2. Механичке карактеристике материјала оштећеног дела зеваче и вијака,**

Извештај бр. 421116 – 060/1, Механичке карактеристике материјала оштећеног дела зеваче и вијака, Институту за испитивање материјала, **5.1.5. на страни 25,**

### **3. Микроструктурна испитивања материјала зеваче,**

Извештај бр. 421116 – 060/2, Металографско испитивање оштећеног дела зеваче, Институту за испитивање материјала, **5.1.6. на страни 27.**

### **5.1.1. Анализа резултата хемијског састава материјала оштећеног дела зеваче**

На основу резултата испитивања хемијског састава материјала оштећеног дела зеваче, табела 1. (на страни 24), који је приказан у табели 5.1.1.1, као и резултата микроструктурних испитивања (странице 27-36, слике 3-15), може се закључити да је зевача израђена од **сивог ливеног гвожђа** јер је угљеник у микроструктури одливка издвојен у облику графита.

Хемијско састав материјала зеваче (табела 1. на страни 24) приказан је у табели 5.1.1.1. на страни 20.



Табела 5.1.1.1. Хемијски састав материјала зеваче

Хемијски елемент [%]											
C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Co
3,89	1,83	0,489	0,113	0,058	0,076	<0,001	0,032	0,003	0,042	0,029	<0,001

Према садржају угљеника и силицијума ливена гвожђа се деле на подеутектичка, еутектичка и надеутектичка. На основу образаца за израчунавање еквивалента угљеника (CE) који гласи  $CE=C+1/3Si$  (%); C - процентуални удео угљеника и Si - процентуални удео силицијума, могуће је утврдити да ли је ливено гвожђе из категорије подеутектичких ( $CE<4,3\%$ ), еутектичких ( $CE\sim 4,3\%$ ) или надеутектичких ( $CE\sim 4,3\%$ ).

Заменом утврђених вредности за процентуални удео угљеника (C=3,89%) и силицијума (Si=1,83%), табела 5.1.1.1, у образац за израчунавање CE добија се вредност за еквивалент угљеника  $CE=4,5\%$ . На основу израчунате вредности  $CE=4,5\%$  може се закључити да је зевача израђена од **надеутектичког сивог ливеног гвожђа**. Подеутектичке и надеутектичка ливена гвожђа имају нешто вишу температуру топљења од еутектичких.

### 5.1.2. Анализа резултата механичких карактеристика оштећеног дела зеваче и вијака

Испитивање механичких карактеристика материјала - затезних својстава и тврдоће оштећеног дела зеваче и вијака је обављено на два узорка (стране 25 и 26):

- Узорак 1 - Део оштећена зевача димезија 470x180x180 mm (слика 1. на страни 25) и
- Узорци 2-4 - Три вијка са конусном упуштеном главом M16x70 mm, којима је зевача била причвршћена за пловило (слика 1. на страни 25).

Напомињемо да квалитет оба материјала од којих је израђена зевача и вијци није декларисан.

Извршена су два испитивања затезних својстава тела зеваче (коришћењем две стандардне епрувете за испитивање затезањем према SRPS EN ISO 6892-1:2017 (B)) а мерење тврдоће према SRPS EN ISO 6506-1:2016 је обављено на три мерна места. Резултати испитивања су приказани у табели 5.1.2.1. на страни 21.

Табела 5.1.2.1. Механичких карактеристика материјала зеваче (табеле 1 и 2 на страни 26)

Узорак 1 - Зевача	Напон на граници течења, $R_e$ [MPa]	Затезна чврстоћа, $R_M$ [MPa]	Тврдоћа (три мерна места)
епрувета 1	-	171	129-131HB
епрувета 2	-	172	

Поређењем добијених резултата за затезну чврстоћу ( $R_M\sim 170$  MPa) материјала зеваче (Табела 2) са вредностима за затезну чврстоћу сивог ливеног гвожђа према стандарду SRPS EN 1561:2012 ("Ливарство - Ливено гвожђа са ламеларним графитом (сиви лив)"),



може се констатовати да је зевача израђена од материјала који одговара **класи EN-GJL-100** сивих ливених гвожђа са најнижим механичким својствима (SRPS EN 1561:2012 -  $R_m = 100 - 200$  МПа). Имајући у виду да су ламеларни графитни укључци издвојени у структури материјала одливка и одговарају класи I, према стандарду SRPS EN ISO 945-1/2018 ("Микроструктура ливеног гвожђа - Део 1: Класификација графита помоћу визуелне анализе"), слика 3 на страни 29, ниска добијене вредности затезна чврстоћа су очекиване.

Утврђени садржај угљеника ( $C = 3,89\%$ , табела 5.1.1.1. на страни 16) у материјалу зеваче је повишен и изнад 3.5%, што утиче на веће издвајање графита и смањење механичких својстава (затезне чврстоће и тврдоће) сивог лива. Такође, на додатно смањење механичких својстава утиче и ламеларни облик издвојених графитних укључака, слика 3 на страни 29.

Поређењем добијених резултата за тврдоћу (129-131 НВ) са вредностима за тврдоћу према стандарду SRPS EN 1561:2012 може се констатовати да је зевача израђена од материјала који највероватније одговара **класи EN-GJL-HB155** сивих ливених гвожђа са најнижим вредностима, тврдоћом предвиђеном према стандарду (SRPS EN 1561:2012 - max. 155HB30).

Испитивање затезних својстава материјала тела зеваче (коришћењем две стандардне епрувете за испитивање затезањем према SRPS EN ISO 6892-1:2017 (B) и SRPS EN ISO 898-1) и мерење тврдоће материјала према SRPS EN ISO 6506-1:2016 је обављено на два вијка и то на три мерна места. Резултати испитивања су приказани у табели 5.1.2.2.

Табела 5.1.2.2. Механичких карактеристика материјала вијака (табеле 3. и 4. на страни 26)

Узорци 2-4 - Вијци M16x70mm	Напон на границу течења, $R_e$ [МПа]	Затезна чврстоћа, $R_m$ [МПа]	Тврдоћа (три мерна места)	Процентуално сужење, Z [%]
вијак 2	334	458	127-129НВ	66,36
вијак 3	332	442	119-121НВ	68,64

Поређењем добијених резултат за напон течења ( $R_e \sim 333$  МПа), затезну чврстоћу ( $R_m \sim 450$  МПа) и тврдоћу (119-129 НВ) материјала вијака (Табела 5.1.2.2.) са вредностима специфицираним за различите класе чврстоће вијака према стандарду SRPS EN ISO 898-1:2011 ("Механичка својства делова за причвршћивање израђених од угљеничног и легираног челика - Део 1: Вијци и усадни вијци са утврђеним класама чврстоће - Крупни и ситни корак навоја") може се констатовати да су механичке карактеристике испитиваних вијака по својој класи чврстоће између вредности за класу чврстоће вијака 4.8 и класу чврстоће вијака 5.6 (SRPS EN ISO 898-1:2011 - минимална затезна чврстоћа, класа 4.8:  $R_m = 420$  МПа, класа 5.6:  $R_m = 500$  МПа; минимална тврдоћа по Бринелу, класа 4.8: 130НВ, класа 5.6: 155НВ).

Измерене вредности тврдоће испитиваног вијка 3 (119-121НВ, табела 5.1.2.2. на страни 21) одговарају нижој класи чврстоће вијака 4.6 (SRPS EN ISO 898-1:2011 - минимална тврдоћа по Бринелу, класа 4.6: 120НВ), док вредности тврдоће испитиваног вијка 2 (127-129НВ, табела 5.1.2.2. на страни 21) одговарају класи чврстоће вијака 4.8 (SRPS EN ISO 898-1:2011 - минимална тврдоћа по Бринелу, класа 4.8: 130НВ). Утврђене вредности за напон на граници течења ( $R_e$ ) оба испитивана вијка су блиске ( $R_e = 334$  МПа и



332 МПа, табела 5.1.2.2. на страни 21) и одговарају класи чврстоће вијака 4.8 (SRPS EN ISO 898-1:2011 - минимални препоручени напон на граници течења, класа 4.8: 340 МПа).

Добијене вредности за процентуално сужење ( $Z$ ) након кидања за оба испитивана вијка су високе и блиске ( $Z = 66,36\%$  и  $68,64\%$ , табела 5.1.2.2. на страни 21). Стандард SRPS EN ISO 898-1:2011 не даје препоруке за минималне вредности процентуалног сужење за разматране ниже класе чврстоће челика (класе 4.6, 4.8 и 5.6) и стога није могуће извршити поређење добијених вредности са препорукама датим у стандарду. На основу добијених вредности за процентуално сужење ( $Z$ ) након кидања може се констатовати да су својства пластичности материјала вијака задовољавајућа ( $Z > 50\%$ ) и да није дошло до значајне појаве повећања крстости материјала вијака након дуготрајне експлоатације. На овај закључак наводи и податак да минималне вредности за процентуално сужење ( $Z$ ) за вијке више класе чврстоће (класе 8.8, 9.8, 10.9 и 12.9), које дефинише стандард SRPS EN ISO 898-1:2011, се крећу у опсегу  $Z=44-52\%$ .

На основу резултата испитивања механичких карактеристика материјала вијака **није могуће донети једнозначну оцену којој класи чврстоће вијака** према стандарду SRPS EN ISO 898-1:2011 припадају испитивани вијци. Резултати испитивања указују да **вијци M16x70 mm највероватније припадају класи чврстоће вијака 4.8 или 5.6.**

### 5.1.3. Анализа резултата микроструктурних испитивања материјала зеваче

Испитивање микроструктурних карактеристика материјала зеваче обављен је на једном узорку за металграфска испитивања (странице 27-36). Изглед преломне површине на телу зеваче приказан је на слици 1, страна 28. Узорак за микроструктурно испитивање је исечен из унутрашњости тела зеваче тако да је обухватио и преломну површину (слика 2, страна 29). Такође је обављено и мерење тврдоће (Виексова метода, HV1) у појединим карактеристичним зонама у микроструктури (слике 12-15, стране 34-35).

Напомињемо да квалитет материјала од којих је израђена зевача није декларисан.

На основу фотографија добијених коришћењем светлосног оптичког микроскопа (слике 3-15, стране 29-35) могу се изнети следећа запажања:

- Облик ламеларних графитних укључака издвојених у структури материјала - **сивог ливеног гвожђа** одговара класи I, док је распоред једноличан, тип А, према стандарду SRPS EN ISO 945-1/2018 ("Микроструктура ливеног гвожђа - Део 1: Класификација графита помоћу визуелне анализе"), слика 3 на страни 29.
- Структура сивог лива се састоји од феритно-перлитне основе са равномерно издвојеним ламелама графита, слика 3 на страни 29.
- У структури сивог лива присутне су ливачке грешке типа порозности, слике 4 и 5, на страни 30.
- У структури сивог лива местимично су присутни неметални укључци типа манган сулфидних (MnS) укључака, слика 7 на страни 31 .
- У структури сивог лива местимично је присутан стедит, слике 6 (страна 31) и 8 (страна 32).
- У околини преломне површине запажа се присуство појединачне корозионе прелине (слика 9 на страни 32), као и локална појава селективне графитне корозије (слике 10 и 11 на страни 33).
- Извршено је мерење тврдоће материјала зеваче у околини површине лома а добијене су следеће вредности у појединим зонама:



- 276HV1 - зона феритно-перлитне основе
- 88-96HV1 - локална зона захваћена селективном графитном корозијом.

На основу анализе свих доступних резултата приказаних у Извештајима ИМС-а, а који су се односили на хемијски састав материјала оштећеног дела зеваче (5.1.4. на страни 25 ), механичке карактеристике материјала оштећеног дела зеваче и вијака (5.1.5, стране 26-27) и микроструктурна испитивања материјала зеваче (5.1.6, стране 28-37) могу се донети следећи закључци:

- Квалитет оба материјала од којих је израђена зевача и вијци није декларисан.
- Тело оштећене зеваче је израђено од надеутектичког сивог ливеног гвожђа.
- Микроструктура сивог ливеног гвожђа од кога је израђена зевача се састоји од феритно-перлитне основа са једнолично издвојеним ламеларним графитних укључцима (класа I, тип А према SRPS EN ISO 945-1/2018).
- По својим затезним својствима материјал од кога је израђена зевача највише одговара класи EN-GJL-100 сивих ливених гвожђа са најнижим механичким својствима предвиђеном према стандарду (SRPS EN 1561:2012 - RM = 100 -200 МПа).
- Садржај угљеника (C =3,89%) у материјалу зеваче је повишен и изнад 3.5%, што очекивано утиче на веће издвајање графита и смањење механичких својстава (затезне чврстоће и тврдоће) сивог лива.
- По својој тврдоћи материјал од кога је израђена зевача највише одговара класи EN-GJL-NB155 сивих ливених гвожђа са најнижим вредностима тврдоће предвиђеном према стандарду (SRPS EN 1561:2012 - max. 155HB30).
- Није могуће донети једнозначну оцену којој класи чврстоће вијака према стандарду SRPS EN ISO 898-1:2011 припадају испитивани вијци.
- Резултати испитивања затезних својстава вијака M16x70 mm указују да највероватније припадају класи чврстоће вијака 4.8 или могуће нешто вишој класи чврстоће 5.6.
- Својства пластичности материјала испитиваних вијака су задовољавајућа и није дошло до значајне појаве повећања кртости материјала вијака након дуготрајне експлоатације.
- Испитивање микроструктурних карактеристика материјала зеваче је указало на локално и местимично присуство ливачких грешака у структури као и појединачних корозионих прелина мале дубине продора и локалне појаве селективне графитне корозије (локално снижене тврдоће) у појединим зонама у околини преломне површине.
- Локално присуство грешака у микроструктури сивог ливеног гвожђа од кога је израђено тело зеваче као и изразито локализовани детектовани корозиони процеси у околини преломне површине нису имали утицаја на пад макроскопских механичких особина и структурни интегритет материјала тела зеваче.
- Фактор материјал, односно његове механичке особине и грешке у материјалу, како у случају материјала тела зеваче, тако и материјала вијака, није одговоран за појаву лома тела зеваче и вијака који је вероватно последица веома сложеног динамичког - ударног оптерећења и преоптерећења које је изазвано спољњим фактором и наступило током маневра пристајања и везивања брода м/т „GAGRA“ за потисницу регистарске ознаке „SL-010“.



#### 5.1.4. Извештај о испитивању хемијског састава оштећеног дела пловила (зевача)

## IZVEŠTAJ O ISPITIVANJU Br. 421116 – 126

**Predmet ispitivanja:** Hemijski sastav materijala oštećenog dela plovila (zevača).

### 1. Dostavljeni materijal

Na ispitivanje je dostavljen jedan uzorak materijala dimenzija cca. 50x50x15 mm za ispitivanje hemijskog sastava, uzorkovan sa oštećenog dela plovila (polomljena zevača gabaritnih dimenzija cca. 470x180x180 mm).

Uzorkovanje je izvršeno od strane Naručioca ispitivanja. Izgled dela iz koga je isečen dostavljeni uzorak prikazan je na slici 1. (JŠ LAB : 120 /19).



Slika 1: Izgled polomljene zevače iz koje je isečen uzorak za hemijsku analizu (bazna ploča)

### 2. Zahtev Naručioca

Na dostavljenom uzorku materijala izvršiti ispitivanje hemijskog sastava.

### 3. Rezultati ispitivanja

#### 3.1. Ispitivanje hemijskog sastava

Ispitivanje hemijskog sastava materijala, izvršeno je prema zahtevima standarda SRPS C.A1.011:2004, optičko-emisionom metodom, na uređaju "BELEC LAB 3000 S". Rezultati ispitivanja su dati u tabeli broj 1.

Tabela 1. Rezultati hemijske analize materijala uzorka.

Hemijski element	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	Al %	Cr %	Mo %	Ni %	V %	Co %
120/19	3,89	1,83	0,488	0,113	0,058	0,076	< 0,001	0,032	0,003	0,042	0,029	< 0,001





**5.1.5. Извештај о испитивању механичких карактеристика материјала оштећеног дела пловила (зевача и вијци)**

## IZVEŠTAJ O ISPITIVANJU Br. 421116 – 060/1

**Predmet ispitivanja:** Mehaničke karakteristike materijala oštećenog dela plovila (zevača i vijci).

### 1. Dostavljeni materijal

Na ispitivanje su dostavljeni uzorci oštećenog dela plovila prema sledećoj specifikaciji:

- Uzorak 1: Komad polomljene zevače gabaritnih dimenzija cca. 470x180x180 mm (odlivak nedeklarisanog kvaliteta materijala);
- Uzorak 2: Tri uzoraka vijaka sa konusnom upuštenom glavom M16x70 mm, nedeklarisane klase kvaliteta, kojima je zevača bila pričvršćena za plovilo.

Uzorkovanje je izvršeno od strane Naručioca ispitivanja. Izgled dostavljenih uzoraka prikazan je na slici 1.  
(JŠ LAB : 059 /19).



Slika 1: Izgled dostavljenih uzoraka

### 2. Zahtev Naručioca

Na dostavljenim uzorcima izvršiti sledeća ispitivanja:

- Ispitivanje zateznih karakteristika materijala zevače ( na 2 epruvete);
- Ispitivanje tvrdoće materijala zevače;
- Ispitivanje zateznih karakteristika materijala vijaka (na 2 vijka);
- Ispitivanje tvrdoće materijala vijaka (na 2 vijka).



### 3. Rezultati ispitivanja

33 BELTITRIBANA  
SRPS BAZIC EN ISO 6892

#### 3.1. Ispitivanje zatezanjem materijala zevače

Iz dostavljenog uzorka zevače (osnovne ploče debljine cca 48 mm), u zahtevanom podužnom pravcu uzorka, izrađene su epruvete za ispitivanje zatezanjem, prema zahtevima SRPS EN ISO 6892-1:2017 (B). Izrađene su epruvete kružnog poprečnog preseka, prečnika mernog dela 10 mm. Ispitivanje je izvršeno na univerzalnoj mašini za ispitivanje zatezanjem, pritiskanjem i savijanjem "A.J. Amsler" Švajcarska, maksimalnog mernog opsega do 98.1 kN. Rezultati ispitivanja epruveta na sobnoj temperaturi, prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati ispitivanja zateznih svojstava materijala zevače

Uzorak	Napon na granici tečenja $R_{e0.2}$ (MPa)	Zatezna čvrstoća $R_m$ (MPa)	Izduženje $A_{s,0.5}$ (%)	Kontrakcija $Z$ (%)
Zevača	-*	171	-*	-*
	-*	172	-*	-*

\* Krsti lom epruveta.

#### 3.2. Ispitivanje tvrdoće materijala zevače

Ispitivanje tvrdoće materijala zevače, izvršeno je metodom po Brinelu, prema zahtevima standarda SRPS EN ISO 6506-1:2016, a izmerene vrednosti tvrdoće prikazane su u tabeli broj 2.

Tabela 2: Izmerene vrednosti tvrdoće materijala zevače.

Uzorak	Tvrdoća HBW 5/7500/20"	Srednja vrednost (HBW)
Zevača	131 – 129 - 131	130

#### 3.3. Ispitivanje vijaka zatezanjem

Iz dostavljenih uzoraka vijaka izrađene su epruvete za ispitivanje zatezanjem prema zahtevima SRPS EN 6892-1:2017 (B) i SRPS ISO 898-1.. Zatezanje je izvršeno na Univerzalnoj mašini za ispitivanje materijala zatezanjem, pritiskanjem i savijanjem "A.J. Amsler", mernog opsega do 98.1 kN. Rezultati ispitivanja vijaka na sobnoj temperaturi, prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati ispitivanja zateznih svojstava

Vijci	Napon na granici tečenja $R_{e0.2}$ (MPa)	Zatezna čvrstoća $R_m$ (MPa)	Izduženje $A_s$ (%)	Kontrakcija $Z$ (%)
M16x70 mm	334	458	-	66,36
	322	442	-	68,64

#### 3.4. Ispitivanje tvrdoće vijaka

Ispitivanje tvrdoće materijala vijaka, izvršeno je metodom po Brinelu, prema zahtevima standarda SRPS EN ISO 6506-1:2016, a izmerene vrednosti tvrdoće prikazane su u tabeli broj 4.

Tabela 4: Izmerene vrednosti tvrdoće materijala vijaka.

Vijci	Tvrdoća HBW 2,5/1875/20"	Srednja vrednost (HBW)
M16x70 mm	129 - 127 - 127	128
	121 – 119 - 121	120



### 5.1.6. Извештај о металографском испитивању тела зеваче са брода м/т „GAGRA“

## IZVEŠTAJ O ISPITIVANJU

METALLOGRAPHIC REPORT No.:

Br. 421116 – 060/2

Predmet ispitivanja:

Oštećeni deo tela zevače sa broda "GAGRA"

Object:

#### 1. Dostavljeni materijal

Na ispitivanje je dostavljen deo polomljene zevače sa broda "GAGRA", slika 1.



a)



b)



**Slika 1.** a) Slika polomljenog tela zevače dostavljena od strane Naručioca. b) Deo polomljenog tela zevače dostavljen u laboratoriju "IMS" na ispitivanje. c) Prelomna površina polomljenog tela zevače sa slike b).

## 2. Zahtev Naručioca

Izvršiti metalografsko ispitivanje uzorka iz zone loma.

## 3. Metalografska analiza

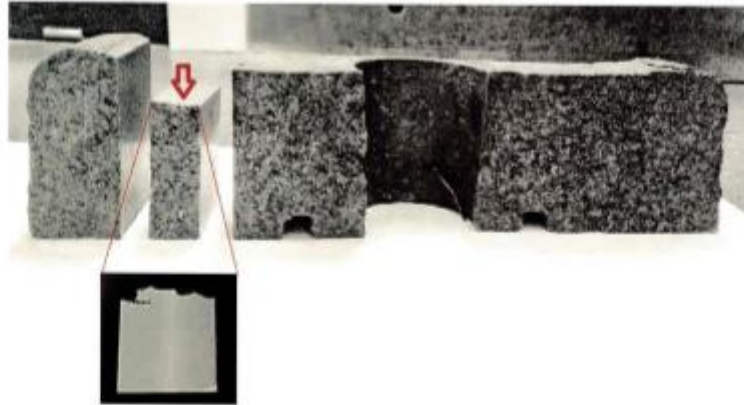
**Oznaka uređaja za ispitivanje:** Svetlosni optički mikroskop CARL ZEISS JENA.

**Primenjeni standard:** SRPS EN ISO 945-1/Maj 2018 – Mikrostruktura livenog gvožđa – Deo 1: Klasifikacija grafita pomoću vizuelne analize.

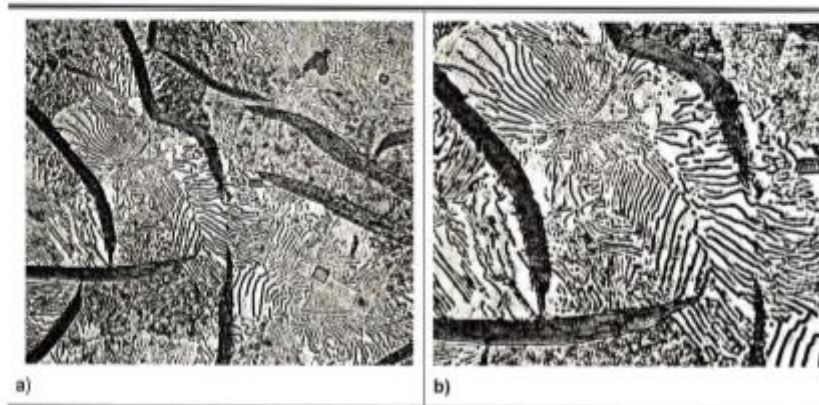
**"IMS" oznaka ispitivanog uzorka:** JS LAB: 059/19.

**Ispitni uzorak:** Uzorak za mikroskopsku analizu isečen je iz unutrašnjosti tela zevače sa obuhvaćenom površinom loma, slika 2.

**Sredstvo za nagrzanje:** 3% alkoholna azotna kiselina.



Slika 2. Mesto uzorkovanja metalografskog uzorka iz tela zevače sa obuhvaćenom površinom loma. Ispitivana površina označena je strelicom.

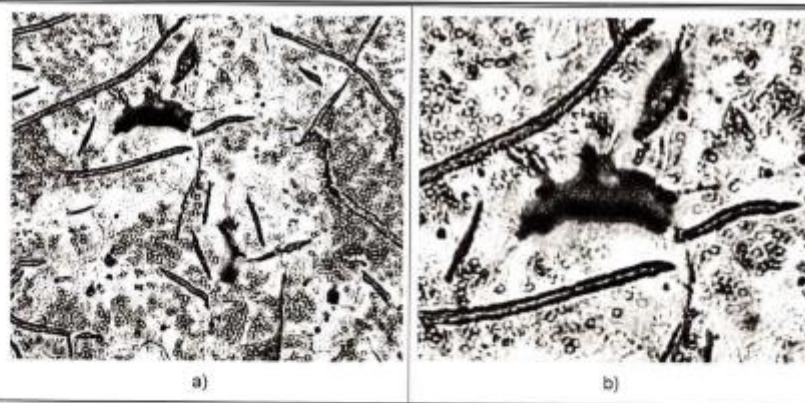


Slika 3.

Mikrostruktura ispitnog uzorka tela zevače.

Povećanje: a) 200x; b) 500x.

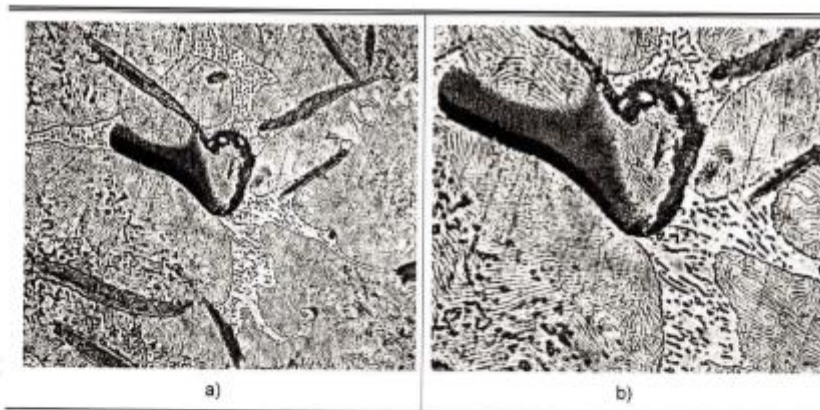
Rezultat ispitivanja: Grafitne čestice oblika I, rasporeda A u osnovi sivog liva prema SRPS EN ISO 945-1/2018.



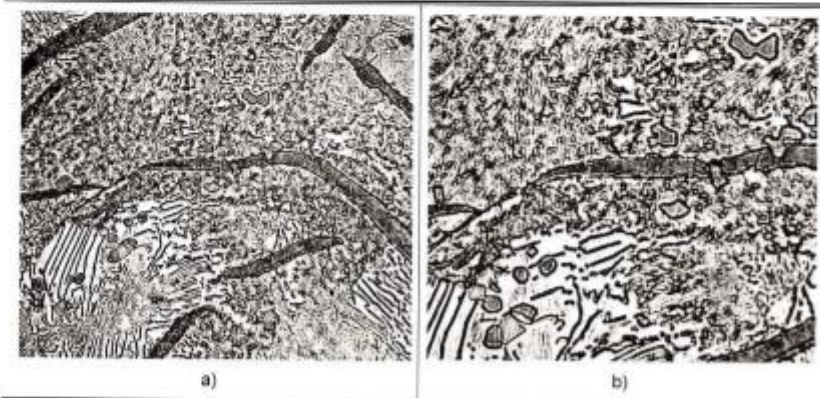
**Slika 4.**  
Mikrostruktura ispitnog uzorka tela zevače.  
Povećanje: a) 100x; b) 200x.  
Rezultat ispitivanja: Poroznost.



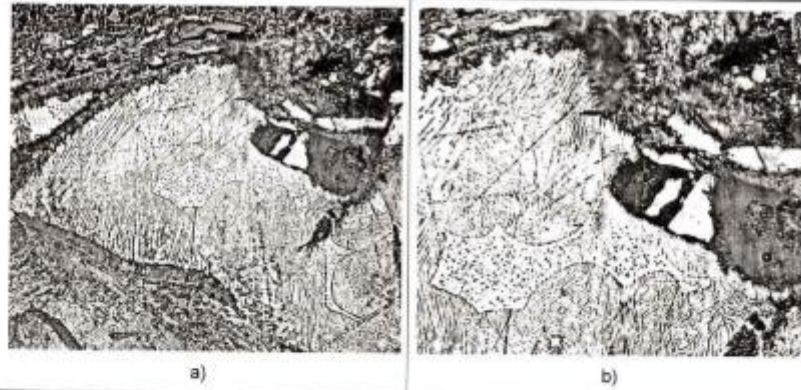
**Slika 5.**  
Mikrostruktura ispitnog uzorka tela zevače.  
Povećanje: a) 100x; b) 200x.  
Rezultat ispitivanja: Poroznost.



**Slika 6.**  
Mikrostruktura ispitnog uzorka tela zevače.  
Povećanje: a) 200x; b) 500x.  
Rezultat ispitivanja: Stedit.



**Slika 7.**  
Mikrostruktura ispitnog uzorka tela zevače.  
Povećanje: a) 100x; b) 200x.  
Rezultat ispitivanja: Nemetalni uključci mangan-sulfida.



**Slika 8.**

Mikrostruktura površine loma tela zevače. (Površina loma – vrh slike)

Povećanje: a) 200x; b) 500x.

Rezultat ispitivanja: Stedit.



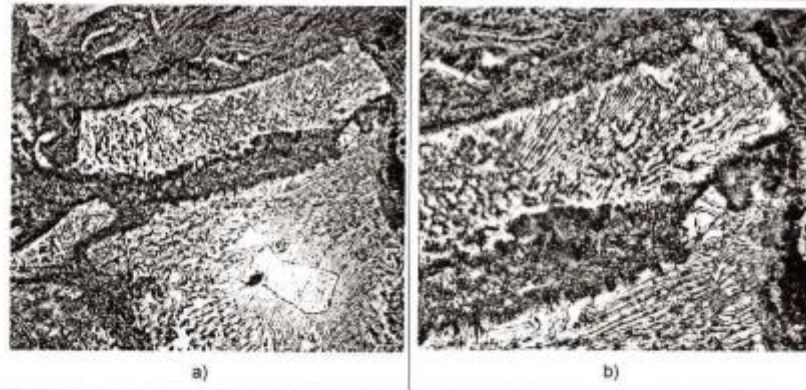
**Slika 9.**

Podpovršinska oblast loma. (Površina loma – vrh slike (levo))

Povećanje: a) 60x; b) 100x.

Rezultat ispitivanja: a) Koroziona prslina koja kreće sa površine loma. b) Deo prsline pri većem povećanju.

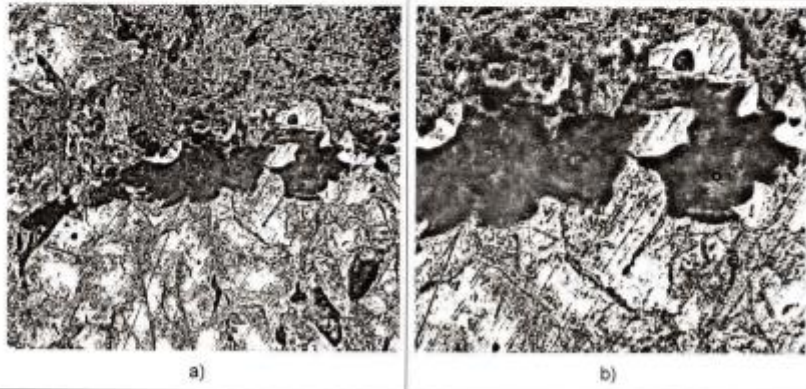




Slika 10.

Mikrostruktura tela zevače ispod površine loma zahvaćena korozijom. (Površina loma – vrh slike)  
Povećanje: a) 200x; b) 500x.

Rezultat ispitivanja: Grafitna korozija.



Slika 11.

Mikrostruktura tela zevače ispod površine loma zahvaćena korozijom. (Površina loma – vrh slike)  
Povećanje: a) 200x; b) 500x.

Rezultat ispitivanja: Grafitna korozija.



#### 4. Испитивање тврдоће по Викерсу HV1

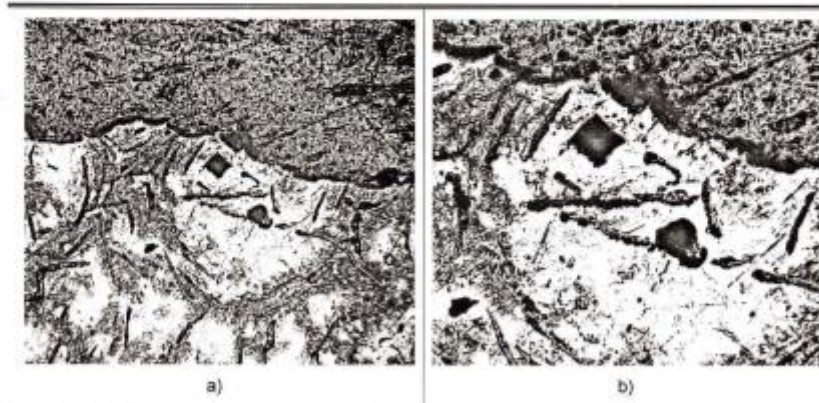
Испитивање тврдоће по Викерсу – Deo 1: Metoda испитивања према SRPS EN ISO 6507-1/2011.

**Naziv metode za ispitivanje tvrdoće:** Испитивање тврдоће по Викерсу ниском силом. /

**Nominalna vrednost ispitne sile  $F$ :** 9,807 N.

**Oznaka tvrdoće:** HV 1.

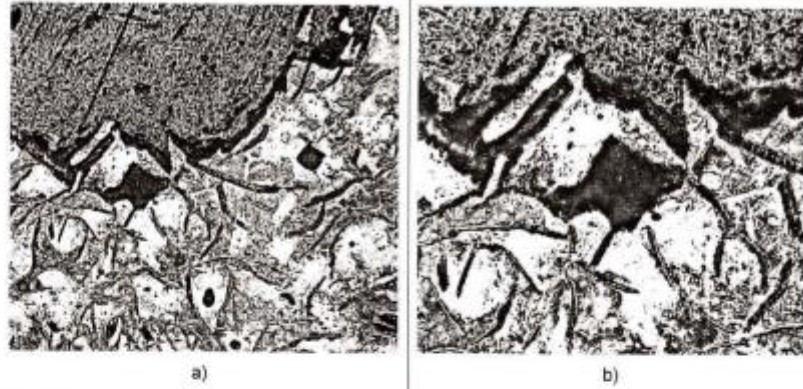
**Oznaka uređaja za ispitivanje:** Poluautomatski optički ispitivač tvrdoće tipa HENRI HAUSER-BIENE 249a.



**Slika 12.**

Mesto merenja tvrdoće: neposredno ispod površine loma u oblasti svetle zone u osnovi mikrostrukture sivog liva.

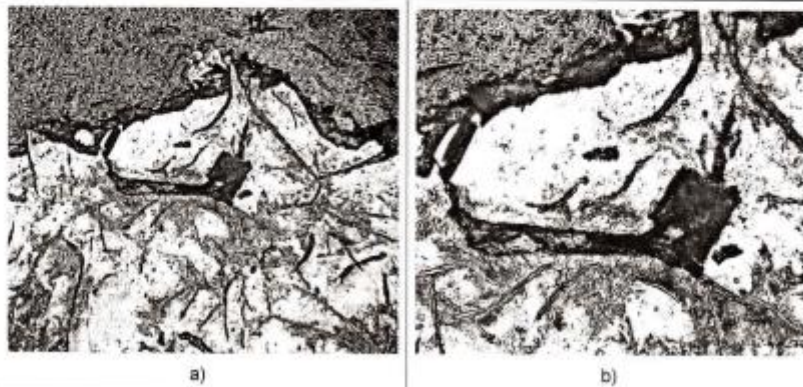
Rezultat ispitivanja tvrdoće: 276 HV1.



**Slika 13.**

Mesto merenja tvrdoće: neposredno ispod površine loma.

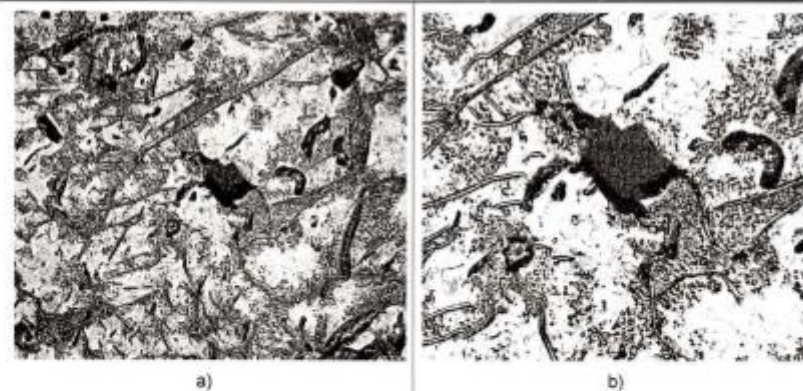
Rezultat ispitivanja tvrdoće: a) 88,2 HV1 otisak levo na mestu zahvaćenom grafitnom korozijom; 276 HV1 otisak desno u oblasti svetle zone u osnovi mikrostrukture sivog liva; b) otisak levo sa slike a)/88,2 HV1 pri većem povećanju.



**Slika 14.**

Mesto merenja tvrdoće: neposredno ispod površine loma na mestu zahvaćenom grafitnom korozijom.

Rezultat ispitivanja tvrdoće: 98,8 HV1.



**Slika 15.**

Mesto merenja tvrdoće: unutrašnjost materijala (~4 mm ispod površine loma) na mestu zahvaćenom grafitnom korozijom.

Rezultat ispitivanja tvrdoće: 94,4 HV1.



#### 5. Naizaz

- Mikrostruktura ispitivanog uzorka tela zevače prikazana je na slici 3: Grafitne čestice oblika I, rasporeda A u osnovi sivog liva prema SRPS EN ISO 945-1/2018.
- Poroznost prisutna u mikrostrukturi ispitnog uzorka tela zevače prikazana je na slikama 4 i 5.
- Stedit prisutan u mikrostrukturi ispitnog uzorka tela zevače prikazan je na slikama 6 i 8.
- Nemetalni uključci mangan-sulfida prisutni u mikrostrukturi ispitnog uzorka tela zevače prikazani su na slici 7.
- Koroziona prslina koja kreće sa površine loma ispitnog uzorka tela zevače prikazana je na slici 9a). Deo iste prsline pri većem povećanju prikazan je na slici 9b).
- Grafitna korozija prisutna u mikrostrukturi ispitnog uzorka tela zevače neposredno ispod površine loma prikazana je na slikama 10 i 11.
- Tvrdoca po Vickersu HV1 ispitivana je na ispitnom metalografskom uzorku prema standardu SRPS EN ISO 6507-1/2011. Rezultati ispitivanja tvrdoće HV1 kao i mesta merenja tvrdoće prikazani su na slikama 12, 13, 14 i 15. Vrednosti izmerene tvrdoće HV1 po ispitivanim zonama su:
  - 276 HV1 neposredno ispod površine loma u oblasti svetle zone u osnovi mikrostrukture sivog liva, slika 12;
  - 88,2 HV1 neposredno ispod površine loma na mestu zahvaćenom grafitnom korozijom, slika 13;
  - 98,8 HV1 neposredno ispod površine loma na mestu zahvaćenom grafitnom korozijom, slika 14;
  - 94,4 HV1 unutrašnjost materijala (~4 mm ispod površine loma) na mestu zahvaćenom grafitnom korozijom, slika 15.



## 6. Закључак

### 6.1. Силе и моменти који делују на брод у маневру

- Хидродинамичке силе које су узроковане кретањем брода, радом погонских машина и управљачких уређаја.
- Силе пригушења су сразмерне губицима енергије при кретању брода кроз воду.
- Силе услед додатне масе су сразмерне убрзању брода при кретању кроз воду и узроковане чињеницом да брод при кретању кроз воду покреће велику количину воде.
- Спољашње силе узроковане утицајем ветра на изложену површину, таласа и струјање воде у водотоку.
- Спољашње силе које су последица радних и манипулативних радњи брода којим управља и маневрише навигатор.

Све наведене сложене хидродинамичке силе делују приликом маневра пристајања брода у конкретном случају приликом пристајања брода уз усидрену потисницу.

### 6.2. Упорне тачке и привезна опрема на броду

У Техничким правилима о градњи бродова унутрашње пловидбе, доброј бродограђевној пракси и класификационих правила, битве се морају причврстити за палубу брода или морају пролазити кроз палубу и спојити се са бродском структуром. Битве, зеваче и друга привезна опрема као и њихови темељи, морају бити тако конструисани да при деловању силе једнаке стварној прекидној сили ужета, за коју су они намењени, напрезање у њиховим деловима не пређу 0,95 границе развлачења материјала од којег су израђене. При примени сивог лива, **кофицијент сигурности мора бити барем 2**. Што значи да је степен сигурности челичног ужета мања од степена сигурности упорне тачке, односно у критичним моментима прво долази до кидања челичног ужета.

Није могуће утврдити евентуалну замену зеваче током експлоатације брода м/т „GAGRA“.

Динамичко оптерећење тела зеваче у моменту оштећења није могуће одредити на основу субјективног осећаја чланова посаде о „мањем трзају“.

Конструктивно решење и грешке у материјалу су основа за убрзан настанак оштећења услед замора материјала (прслине, слика 11. на страни 34) елемената зеваче изложене променљивом статичком и динамичком оптерећењу током експлоатације брода, изграђеног 1968. године.



### **6.3. Манипулативне радње приликом пристајања брода м/т „GAGRA“ уз бок потиснице „SL-010“**

На основу Рапорта и скица заповедника брода м/т „GAGRA“ на потисницу регистарских ознака „SL-010“ дата су два основна челична ужета са левог бока на прамцу брода. Прво челично уже на спринг, а затим је кроз уводницу (зевача) између покретних ваљака дато челично уже (Ø22 mm) на упорну тачку потиснице. Брод је у датом положају заклапао по својој уздужници одређени угао у односу на потисницу. Из Рапорта чланова посаде који су били на прамцу и учествовали у маневру се не види како је вршено релаксирање (попуштање) бродских ужади приликом бочног слагања, закретања крме брода ка боку потиснице, с обзиром да прамец добија тенденцију закретања у десно, а самим тиме затеже прамчану ужад, иста су изложена сили напрезања на затезање. Правовременим попуштањем ужади приликом бочног слагања брода се регулише оптимална затегнутост истих до момента када брод пристане целом својом дужином уз бок потиснице и тада се даје крмено бродско уже. Челична бродска ужад дата са прамчаног дела брода, која су дата на упорну тачку (битва) потиснице при бочном извезивању треба да приближно подједнако буду затегнута (да подједнако носе). Предње бочно уже (прамчано бочно уже на спринг, позиција 1 слика 4.2. на страни 11) има исто дејство као и прамчано бродско уже и у пракси се користи када брод пристаје уз пристан или друго пловило. Ова ужад треба да су најјача јер се депласман брода и утицај хидродинамичких сила ослања на њих. Челично уже (позиција 2 слика 4.2. на страни 11) има задатак да спречи одвајање прамца брода од потиснице, у конкретном случају главно уже које трпи највеће оптерећење треба да буде предње бочно уже (позиција 1 слика 4.2. на страни 11) које је дато на прамцу са двоструке вертикалне (стубасте) бродске битве које су по конструкцији и најјаче. У доброј бродарској пракси ова три ужета се дају при повезивању брода уз бок.

У конкретном случају када је брод заклапао одређени угао по својој уздужници у односу на потисницу у критичном тренутку инерцијалног падања – слагања крменог дела брода ка потисници у челичном прамчаном везивном ужету услед велике силе на затезање и притиска на површину налегања покретног ваљка зеваче, дошло је до формирања сложених динамичких сила и напона који су се пренели на тело зеваче те кидања дела исте.



## 7. Препоруке

ЦИНС је у циљу могућег повећања безбедности и превенције настанка озбиљних пловидбених незгода и пловидбених незгода на унутрашњим пловним путевима издао следеће безбедносне препоруке:

### **Бродар/власник** **УДП, Измаил**

**БП\_01/18** У циљу безбедности пловидбе потребно је извршити оптимизацију, димензионисање и примени прописани однос степена сигурности зеваче са покретним ваљцима (уводнице) и привезних челичних бродских ужади који се користе за увођење – вођење преко ивице бродске палубе (таласњаче) до битава на пловилу за које се брод привезује, а све према Техничким правилима бродоградње.

**БП\_02/18** У циљу безбедности пловидбе приликом маневра извезивања брода треба правилно оптеретити челичну бродску ужад и упорне тачке на броду (битве, зеваче, кљунасте битве и друге врсте упорних тачака) према својој намени, како би се избегле сложене динамичке силе и напони за чији интезитет нису димензионисане.