

Katedra za rudarske radove i izradu podzemnih prostorija
Rudarskog odseka Rudarsko-geološkog fakulteta
Univerziteta u Beogradu

III Međunarodni simpozijum
SAVREMENI TREND OVI U PODZEMNOJ GRADNJI
The Third International Symposium
MODERN TRENDS IN UNDERGROUND CONSTRUCTION



Zbornik radova / Book of Proceedings

Beograd, 17-18.decembar 2007.

Zbornik radova / Book of Proceedings

SAVREMENI TRENDOVI U PODZEMNOJ GRADNJI

MODERN TRENDS IN UNDERGROUND CONSTRUCTION

Urednici / Editors: Nebojša Vidanović, Rade Tokalić
Uređivački odbor Rudarsko-geološkog fakulteta

Tehnički urednik / Technical Editor: Rade Tokalić

Izdavač / Publisher: Univerzitet u Beogradu-Rudarsko-geološki fakultet

Štampa / Printed by: Energoprojekt Ingraf a.d. - Beograd

Tiraž / Circulation: 100

ISBN: 978-86-7352-181-7



Organizacija / Organization

Organizator / Organizer

Katedra za rudarske radove i izradu podzemnih prostorija

Suorganizatori i pokrovitelji / Coorganizers and Patronages

Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet

Ministarstvo nauke Republike Srbije

Energoprojekt Ingraf a.d. - Beograd

Organizacioni odbor / Organizing Committee

Prof. dr Nebojša Vidanović

Prof. dr Prvoslav Trifunović

Prof. dr Slobodan Trajković

Asistent mr Rade Tokalić

Mr Suzana Lutovac

Mr Dragan Tabori

Mr Nenad Đukanović

Asistent mr Bojan Dimitrijević

Mr Nebojša Ilinčić

Mr Nebojša Ilić

Aleksandar Ćirilović, dipl. inž.

Dragan Dražović, dipl. inž.

Dejan Popović, dipl. inž.

Saša Ognjanović, dipl. inž.

Saša Mitić, dipl. inž.

Naučni odbor / Scientific Committee

Prof. dr Božo Kolonja

Prof. dr Nikola Lilić

Prof. dr Dragan Ignjatović

Prof. dr Đorđe Mihajlović

Prof. dr Dušan Gagić

Prof. dr Miloš Grujić

Prof. dr Vojin Ćokorilo

Prof. dr Nebojša Gojković

Prof. dr Aleksandar Ganić

Prof. dr Dragoslav Šumarac

Prof. dr Prvoslav Trifunović

Prof. dr Slobodan Trajković

Prof. dr Nebojša Vidanović

Doc. dr Milivoj Vulić

Prof. dr Zijad Ibrišimović

Prof. dr Ljubinko Savić

Prof. dr Dejan Divac

Prof. dr Vitomir Milić

Prof. dr Jan Boroška

Prof. dr Zoran Despodov

Doc. dr Vierslav Molnar

Dr Gabriel Fedorko

Mr Aleksandar Glišić

Počasni naučni odbor / Honor Scientific Committee

Prof. dr Petar Jovanović- predsednik

Prof. dr Dragan Marković

Doc. dr Radimir Mitić

Prof. dr Nikolaj Buličov

Prof. dr Miomir Živković

Prof. dr Dragan Petrović

RETROFIT OF A CAVITY FORMED DURING EXCAVATION USING ROOM AND PILLAR MINING IN "SVINJA REKA - WEST" PART OF "SASA" MINE**САНАЦИЈА РУШЕВИНЕ СТВОРЕНЕ ТОКОМ ОТКОПАВАЊА КОМОРНО-СТУБНОМ МЕТОДОМ У РЕВИРУ "СВИЊА РЕКА-ЗАПАД", У РУДНИКУ "САСА"**

Зоран Десподов¹, В. Гичев¹, Николинка Донева¹

ABSTRACT

First we present stress-strain state of the rock of the rock massive around the cavity formed during room and pillar mining. The analysis is done using FEM. Further we analyze several materials for filling the existing cavity. Based on rational estimation, we choose appropriate backfill materials. Latter, we do techno-economical analysis. Based on obtained results for expenses of the backfill material per m³ we choose the optimal type of backfill material for the specific conditions including appropriate technology for filling the cavity.

Key words: retrofit, cavity, backfill material

АБСТРАКТ

У овом раду биће најпре презентовано напонско-деформационо стање масива око рушевине створене током откопавања коморно-стубном методом, моделирано применом нумеричког метода коначних елемената и програмског пакета SAP90. Биће обрађено више врста засипних материјала, којима ће се санирати створена рушевина. На бази рационалне процене извршиће се избор одговарајућих материјала за запуњавања, а затим ће се извршити техничко-економска анализа. На основу добијених резултата, односно трошкова по 1m³ засипног материјала, биће изабрана оптимална врста засипног материјала за конкретне услове и приказана технологија запуњавања празних простора.

Кључне речи: санација, рушевина, засип

1. УВОД

Коморно-стубна откопна метода у ревиру "Свиња Река" - Запад рудника "Саца" примењује се код откопавања рудних тела са падним углом од 30° до 40°, просечне моћности од 18 m и са укупним садржајем метала Pb+Zn=9,2%.

Радна средина у којој је била примењена ова метода одликује се чврстом рудом и релативно чврстим суседним стенама - шкриљцем.

Припрема рудног блока састоји се од израде:

- Пречних ходника из основних хоризоната до кровине руде;
- Централних ускопа за руду, јаловину, као и ускопа за вентилацију од хоризонта XVI до хоризонта XV;
- Откопне рампе, од хоризонта XVI до хоризонта XV, као и приступних ходника од њих до рудног тела на сваком откопном нивоу.

¹ ФРГП - Штип, Република Македонија

Откопна припрема се састоји из израде смерних, пречних и подетажних ходника, те ускопа разних намена који се израђују по руди, што, у ствари, представља прву фазу откопавања овом методом.

Висина подетажа била је лимитирана падним углом рудних тела и у почетку откопавања било је усвојено да она износи 9m, а касније због ради појаве неповољне гранулације руде и немогућности контроле откопа ова је висина смањена на 7m.

Током откопавања остављају се заштитни стубови од руде, који обезбеђују стабилност кровине док траје откопавање у откопима и они представљају трајан губитак руде. Заштитни стубови имају правоугаони облик, са димензијама 5х6m, а постављени су у правцу нагиба орудњења и на међусобном растојању од 7m по пружању и 10m по нагибу.

Откопавање у интервалу између хоризонта XV и XVI је било у две фазе. У првој фази, због тога што капитални ходник на хоризонту XV није био израђен, са откопавањем је почето из подетаже XVI+18 у смеру хоризонта XVI, тако да су биле откопане следеће подетаже: +18; +19, ±0m.

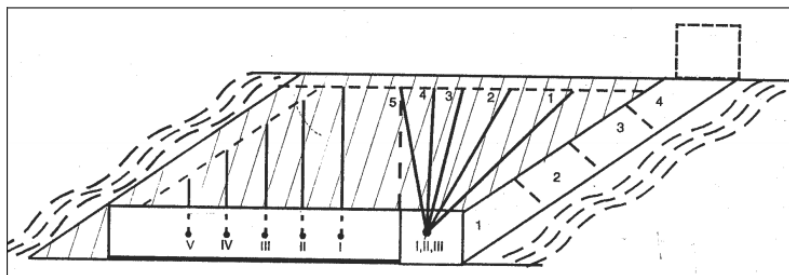
У другој фази, када је била успостављена веза са капиталним ходником на хоризонту XV, откопавање је напредовало од вишег хоризонта према нижем, односно откопаване су следеће подетаже: XV-7; XV-14; и XV-21m.

Откопавање се врши бушењем лезеца из пречника и подинског подетажног ходника. Формирање откопног фронта код бушења и минирања лезеца врши се на тај начин што се на граници орудњења у блоку (на оба крила) из подинског ходника израђује ускоп за засек, ради добијање још једне слободне површине. Затим се из подетажног ходника буше три лезеца на одстојању од 1,5 m.

Истовремено са израдом ускопа за засек на нивоу доње подетаже изађују се и точишта за руду, насупрот сваком кровинском пречнику. Најпре се израђује кратак пречник у подини, а затим се из чела овога пречника пробија ускоп до горњег подетажног ходника. У горњој половини ускопа ради се левкасто проширење у боковима, тако да код обарања руде са лезеца на нивоу горње подетаже, руда гравитацијски долази до доње подетаже, где се са утоваривачем типа Wagner ST - 2D утоварује у пречном ходнику, односно под сигурним кровом за раднике и опрему.

Утоварена руда се одвози до рудне сипке и спушта гравитацијски до хоризонта XVI, одакле се шинским транспортом извози на површину.

За израду припремних просторија употребљава се електрохидраулична бушилица типа BOOMER 251H, а за обарање руде користи се бушилица типа SIMBA 157 H. Принцип откопавања руде је приказан на слици 1.



Сл. 1. Шематски приказ принципа откопавања

Након петогодишњег застоја у раду рудника “Саса“, који је био последица процеса трансформације државног капитала у приватни, средином 2006. год., производњу у руднику је рестартовала страна компанија. Неколико месеци од рестартовања, почетком јануара 2007. год., на производном хоризонту XV дошло је до неочекиваног зарушавања јалових стена (шкриљаца) између оба рудна тела (кровинског и подинског), у зони геолошког профила 1000 - 1000', у рудном блоку 2. У ствари, дошло је до неочекиваног зарушавања шкриљаца у раније створеним празним просторима у подинском рудном телу, од нивоа XV-14m до нивоа XVI+27m, при чему је формиран отвор са димензијама 22m по вертикали и 15m по хоризонталу.

Главни разлози за настајање рушевине су:

- велики подземни притисци,
- створени празни простори (распони),
- време као фактор,
- неповољне физичко-механичке особине јалових стена,
- непридржавање пројектованог распореда и димензија стубова,
- тектонски поремећаји и др.

Ипак, најугицајнији фактор насталог стања су створени празни простори у периоду ранијег откопавања коморно-стубном методом. Димензије ових простора су 27m по вертикали и више од 30m по хоризонталу, са ширином око 10m, док је пружање празних простора 500m, за оба рудна блока. Запремина празних простора је одређена на основу количине руде експлоатисане из оба рудна тела (табела 1).

Табела 1.

подетажа/ ниво	БЛОК 1			БЛОК 2		
	подинско р.т. (t)	кровинско р. т. (t)	јужно р.т. (t)	подинско р.т. (t)	средишно р.т. (t)	кровинско р.т. (t)
подетажа XVI+18	52968	69330	18627	65500	23400	21900
подетажа XVI + 9	44500	65000	17500	51200	22000	15300
ниво хориз. XVI ₀	57000	84000	23205	63200	26200	15369
Укупна рудна маса (t)	154468	218330	59332	179900	71600	52569
Укупна запремина (m ³)	51489	72777	19777	59967	23867	17523
Збирна руда по блоку (t)	432130			304069		
Збирна запр. по блоку(m ³)	144043			101357		
УКУПНО	БЛОК 1+ БЛОК 2					
Руда (t)	736199					
Празан простор (m ³)	245400					

2. МОДЕЛИРАЊЕ НАПОНСКОГ СТАЊА КАРПЕСТОГ МАСИВА У БЛИЗИНИ СТВОРЕНЕ РУШЕВИНЕ И ПРАЗНИХ ПРОСТОРА

Да би се урадила детаљна анализа напонско-деформацијског стања масива потребне су врло прецизне геолошке и геодетске подлоге. Просечни угао залегања рудног тела између хоризоната XV и XVI је 35° . Као што је напред речено, у овом делу масива постоје подинско и кровинско рудно тело, која су међусобно раздвојена шкриљцем. Физичко-механичке особине руде и пратећих стена су одређене од стране Лабораторије за механику стена Рударско-геолошког факултета у Београду, 1978 год. На основу тих података усвојене су вредности одговарајућих особина у моделу, (табела 2).

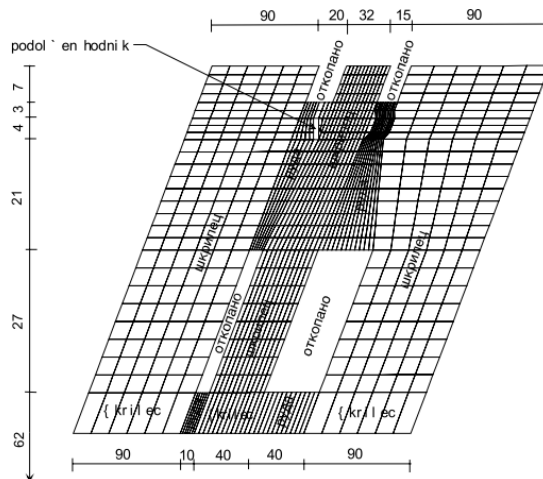
Табела 2.

Стена	$\gamma(\text{KN}/\text{m}^3)$		E(KPa)		ν	
	лабараторија	модел	лабараторија	модел	лабараторија	модел
Руда	30-43	35	$5 \cdot 10^7 - 8.7 \cdot 10^7$	$7 \cdot 10^7$	0.24-0.25	0.25
Шкриљац	26.5-28.2	27	$2.5 \cdot 10^7 - 4.3 \cdot 10^7$	$3.5 \cdot 10^7$	0.13-0.16	0.14

Притисна и затезна чврстоћа стена варирају у ширем дијапазону:

- за руду : $62 \text{ MPa} < \sigma_c < 165 \text{ MPa}$ и $5 \text{ MPa} < \sigma_t < 29 \text{ MPa}$
- за шкриљац: $34 \text{ MPa} < \sigma_c < 100 \text{ MPa}$ и $7 \text{ MPa} < \sigma_t < 24 \text{ MPa}$

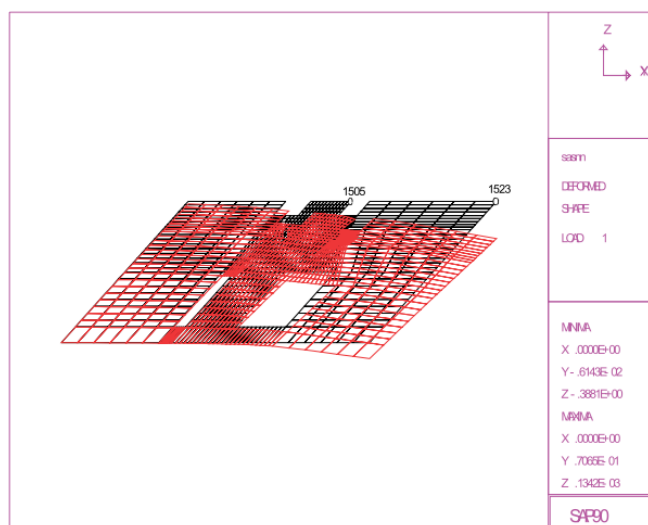
Напонско-деформацијско стање стенског масива ближе је равнинском стању деформација, ради чега је усвојен дводимензионални математички модел, који геометријски представља вертикалан пресек, управан оси подужног ходника на хоризонту XV. Да би одредили напонско-деформацијско стање ослабљеног масива, користимо нумеричку методу коначних елемената. Коначни елементи су квадрилатерални елементи са два степена слободе у чвору или укупно 8 степени слободе по елементу^{2,3}. Масив је моделиран са 1523 чвора и 1218 елемената (слика 3).



Сл. 3. Геометрија рудних тела и пратећих стена на дискретном моделу коначних елемената

Деформисано стање масива је приказано на слици 4. Са слике могуће је уочити да је тренд масива да се он помера у десно и пада према подинском откопаном простору на хоризонту

XVI. Максимално вертикално слегање је у горњој десној тачки модела (тачка 1523), и износи 38,8cm, док је максимално хоризонтално померање у горњем углу осталог шкриљца између оба рудна тела, и оно износи 7cm.



Сл. 4. Деформисано стање карпестог масива

Уз помоћ модела утврђена су напрезања у свим правцима. Највеће напрезање јавља се по хоризонтали - оса (y). Највећа концентрација напона јавља се у близини откопаних простора и то у близини горњег десног угла, на подинском откопаном делу на хоризонту XVI (чвор 724), у рудном телу, и има вредност $\sigma_y^{t,max} = 62.5\text{MPa}$. Овај напон затезања вишеструко прелази затезну чврстоћу руде, што указује на појаву лома у овој зони, као и рушења подинског откопа на хоризонту XV. Интензивност напрезања је:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad \text{односно Von Mises-ов напон, због благог}$$

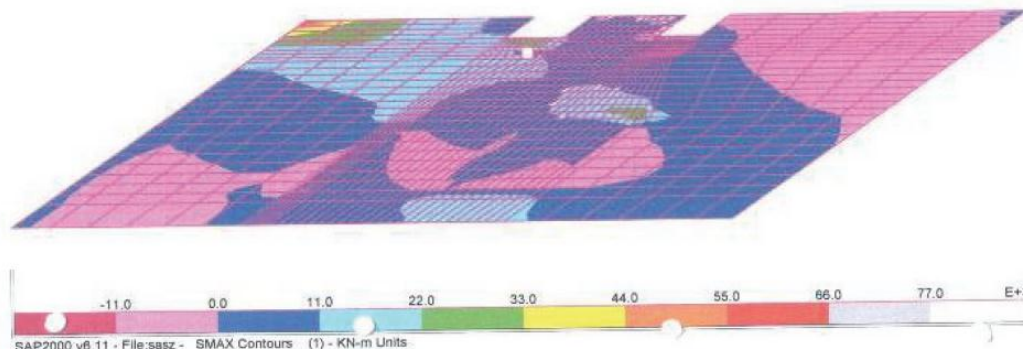
залегања слојева (35°), по интензивности је много ближи хоризонталном напрезању по (y) - оси, док главне осе врло мало одступају од хоризонталне осе.

Физичко-механичке особине песка који ће се употребљавати за запуњавање празних простора одређене су у лабораторији, и износе:

- модул стишљивости: $12500\text{KPa} \leq M_v \leq 23810\text{KPa}$
- Poisson-ов коефициент: $0.25 \leq \nu \leq 0.30$
- запреминска тежина: $\gamma = 19\text{KN/m}^3$
- притисна чврстоћа: $\sigma_c = 1.0\text{MPa}$

У овом раду због раније приказаних разлога, биће дата расподела нормалних напона, након запуњавања откопаних простора песком из флотацијске јаловине, како је приказано на слици бр.5.

SAP2000



Сл.5. Расподела нормалних напона, након запуњавања откопаних простора песком

Максимални напон јавља се опет у чвору 724, али је сада његова вредност много нижа и износи $\sigma_{\max} = 37.4\text{MPa}$. Ово указује да запуна песка прерасподељује и ублажава високе напоне у угловима незапуњених откопа, што то доводи до растерећења напонског стања околног стенског масива.

3. ИЗБОР МАТЕРИЈАЛА ЗА ЗАПУЊАВАЊЕ

Анализирани су потенцијални типови материјала за запуњавање:

- Јаловина добијена рударским радовима (суви засип);
- Флотацијска јаловина (хидрозасип);
- Песак (циклонирани) из старих хидројаловишта;
- Дробљени камен из површинског копа;
- Увозни засипни материјали (пене).

3.1 Техничко-економска анализа рационалних материјала за запуњавање

Као рационални материјали за запуњавање усвојени су следећи:

Варијанта 1 - Хидрозапуњавање песком из старих хидројаловишта

Запуњавање код ове варијанте вршиће се песком из старих хидројаловишта. Материјал ће се транспортовати камионима до засипне станице, која ће бити лоцирана на платоу испред улаза у поткоп на хор. XV, а затим ће се вршити хидротранспорт са испумпавањем до откопа. Претпостављамо да ће радни век засипне станице износити 7 год., и да ће она служити не само за запуњавање старих откопа него и за запуњавање новостворених откопаних простора током откопавања методом са хидрозапуњавањем. Усвајамо да трошкови камата, пореза и осигурања опреме износе 15% од просечне годишне инвестиције.

Трошкови ове варијанте по категоријама су дати у табели 3.

Табела 3.

Врста трошкова	Трошкови (€/h)	Трошкови (€/god)
1. Припрема хидрозасипа и хидротранспорт:		
Укупни (капитални) трошкови засипне станице	42,85	154260
Укупни оперативни и трошкови материјала	13,95	50220
Укупни трошкови припреме хидрозасипа и трошкови хидротранспорта	56,8	204480
2. Камсионски транспорт песка за хидрозасипа:		
Укупни (капитални) трошкови камсионског транспорта	29,8	160920
Укупни оперативни и трошкови материјала	54,65	295110
Укупно за камсионски транспорт	84,45	456030
Укупни трошкови допреме, припрема и уградња хидрозасипа (1+2)	141,3	660510
Трошкови по 1м³ засип:		
Припрема хидрозасипа и хидротранспорт	1.26 (€/м ³)	
Камсионски транспорт песка	6.50 (€/м ³)	
Укупни трошкови по 1м³ засип	7.76 (€/м³)	

Варијанта 2 - Запуњавање очврслим засипом (локација постројења за припрему очврслог засипа је на платоу испред улаза у поткоп на XV хор.)

Запуњавање код друге варијанте вршиће се крупнозрнастим материјалом величине зрна < 60 mm, добијеним из површинског копа који је лоциран у непосредној близини хоризонта XV, уз додавање везивног средства (цемента). На овај начин добија се засипна мешавина мршаваог бетона. Мршави бетон се транспортује и уграђује пнеуматским путем. Однос компонената у мешавини је тако одређен да се добија бетонски засип чија је притисна чврстоћа 2 МРа/см². Код вредности коефицијента запуњавања од 0,85 запремина простора којег треба запунити износи 170.000 м³, односно маса засипа је 370.100 t. У табели 4 дате су потребне количине појединих компонената засипа.

Табела 4.

Саставне компоненте	Количина по 1м ³ засип (t/m ³)	Количина по 1 дан (t/dan)	Укупна количина (t)	Процентуално (%)
Крупна фракција	1.950	934.5	331.500	87.5
Цемент	0.130	61.6	22.100	5.8
Вода	0.150	71.5	25.500	6.7
Укупно	2.23	1068	379.100	100

Постројење за пнеуматски транспорт и уградњу засипа има капацитет од 150м³/h. Инвестициона улагања, трошкови материјала код осталих фаза процеса припреме, транспорта и уградње очврслог засипа, као и трошкови радне снаге приказани су у табели 5.

Главни критеријум избора оптималне технологије запуњавања биле су *минимални специфични тошкови запуњавања, изражени у €/м³ засипа*. На основу тога изабрана је прва варијанта: *запуњавање песком из старих хидројаловишта, који ће се транспортирати камсионима до засипне станице лоциране на платоу испред улаза у поткоп на XV хор., а хидрозасип ће се испумпавати до откопа.*

Табела 5.

Врста трошкова	Опрема (људи) (бр.)	Вредност (€)	Спец. трошкови (€/m ³)
Капитални трош.			
Опрема* (Повр. коп)	5	1237500	
Јамски камиони	2	354412	
Пнеуматски транс. цемента до места где се меша со агрегатом		500000	
Машина Briden за пнеум. запуњавање		188000	
Укупно		2279912	
Амортизација за 5 године рада			3,37
Оперативни трош.			
Лични доход радника ПК	20	159750	2,30
Репроматеријали за ПК			7,18
Укупно			9,48
Укупно +10% непредвиђ. трошкова			10,43
Јамски кам. транс. агрегата до откопа			
Лични доход возача	2		0,75
Репроматеријали за транспорт			2,35
УКУПНО+АМОТИЗАЦИЈА			19,20

*бушалица ROC 601(1), утоваривач CAT 966(1), камиони Краз 256-Б2 (2), булдозер CAT D8H (1), дробилочно постројење -комплет (1)

5. ЗАКЉУЧАК

На основу претходне анализе може се закључити да је најефикасније и најбезбедније санирати рушевину хидрозапуњавањем песком из флотацијског јаловишта. Рушевина је настала као резултат несистематског откопавања коморно-стубном методом. Уградња хидрозасипа ће се вршити са горњег, XV хоризонта, тако што ће се кроз бушотине исти допремати у откопане просторе. У пречне ходнике који повезују капитални ходник на хоризонту XVI неопходно је уградити бараже са цевима за оцеђивање засипа. Вода која истиче из хидрозасипа гравитационим путем се одводи на површину и одатле иде у активно хидројаловиште.

Запуњавањем празних простора могуће је сигурно и ефикасно откопавање рудних резерви у ревиру "Свиња река" које се налазе изнад хоризонта XV, као и резерви испод хоризонта XVI.

ЛИТЕРАТУРА

1. З. Десподов и група аутора: Физибилити студија за санација на рушевината и заполнување на поранешните откопи на хор. XV- XVI во рудникот за олово и цинк «Сага» М. Каменица – РГФ – Штип, 2007.