



ХЕМИЈСКИ ОТИСАК ТЕШКИХ МЕТАЛА (УКУПНИ САДРЖАЈ)
ЛИГНИТА СРБИЈЕ У ВРЕМЕНУ – СКРАЋЕНИ ВОДИЧ
КРОЗ ПРОШЛА ВРЕМЕНА

HEAVY METALS TIME FOOTPRINT (TOTAL AMOUNTS)
OF SERBIAN LIGNITE – A BRIEF GUIDE THROUGH
PREVIOUS TIMES

DOI: 10.5937/RG2502107V

Прегледни рад
Review

Богољуб Вучковић

Електропривреда Србије А.Д., Огранак РБ Колубара,
ОЦ „Пројект”, Лазаревац, Србија
bogoljub.vuckovic@eps.rs

Bogoljub Vučković

Joint stock company Elektroprivreda Srbije, Kolubara
coal basin, Division „Project”, Lazarevac, Serbia
bogoljub.vuckovic@eps.rs

Овај рад има геолошки и еколошки теоретски карактер.

Овај рад је проширена верзија рада саопишеној на конгресу „Рударство 2025”, Србија.

This paper has a strong emphasis on theoretical considerations, in the geological and ecological aspect.

This is an extended paper from the Congress „Rudarstvo 2025”, Serbia.

Примљен 29. 7. 2025; Рецензиран 5. 9. 2025; Прихваћен 9. 9. 2025.

Received 29 July 2025; Received in revised version 5 September 2025; Accepted 9 September 2025

Сажетак: Термо енергетски капацитети Електропривреде Србије (ЕПС) заснивају се на лигнитима, који су сконцентрисани у два велика угљена/рударска басена. Први је Костолачко-Ковински басен са укупном површином од око 320 km² и има око 5,7 милијарди t геолошких ресурса и резерви лигнита. Експлоатација угља одвија се дуже од 150 година. Такође, као други је Колубарски басен је са експлоатабилном површином од око 200 km² и са укупно око 4,1 милијарди t геолошких ресурса и резерви лигнита. Експлоатација угља се одвија дуже од 130 година. Укупно, пре ошкровавања, ЕПС је располађао са скоро 10 милијарди t геолошких ресурса и резерви лигнита у оба угљарска подручја. Од тога, добар део од око 1,9 милијарди t већ је ошкрован. И надале, преостале су огромне количине угља за ошкровавање.

Овим радом бавимо се геохемијским карактеристикама угљених слојева у оба угљена басена и вршимо упоредну анализу са одабраним археолошким, антрополошким и осталим савременим примерима из Србије, Европе и Света. Оно што аутора и читаоце највише занима јесте – да ли тешки метали из угља остављају хемијски отисак у времену. У наредним поглављима обрадићемо ову проблематику.

Кључне речи: ЛИГНИТ, ТЛО, СЕДИМЕНТИ, ХЕМИЈСКИ ОТИСАК, ТРАГ

Abstract: The thermal energy capacities of the Electric Power Industry of Serbia (EPS) are based on lignite, which is concentrated in two large coal/mining basins. The first one is the Kostolac-Kovin Coal Basin with a total area of about 320 km² and has about 5.7 billion tons of geological resources and lignite reserves. Coal mining has been going on for more than 150 years. Also, the second one is Kolubara Coal Basin. It has an exploitable area of about 200 km² and a total of about 4.1 billion tons of geological resources and lignite reserves. Coal mining has been going on for more than 130 years. In total, in the previous years, EPS had almost 10 billion t of geological resources and

lignite reserves in both coal mining areas. Out of this, a good part of about 1.9 billion t has already been mined. And furthermore, there are huge amounts of coal left to be mined.

In this paper, we deal with the geochemical characteristics of coal seams in both coal basins and perform a comparative analysis with selected anthropological, archeological and contemporary construction materials based on examples from Serbia, Europe and worldwide. The author and readers are most interested in whether heavy metals from coal cause a chemical footprint in time. We will deal with this issue in the following chapters.

Key words: LIGNITE, SOIL, SEDIMENTS, CHEMICAL FOOTPRINT, TIME FOOTPRINT

ОПШТЕ ИНФОРМАЦИЈЕ О УГЉУ

ЛИГНИТСКИ БАСЕН КОСТОЛАЦ-КОВИН (ИСТОЧНА СРБИЈА)

Генерално, лигнитски басен се налази у источној Србији, на 50 km удаљености, источно од Београда. Налази се у алувијалним платоима река Велике Мораве и Млаве, које се обе уливају у реку Дунав (слика 1). Река Дунав га дели на два дела - јужно од Дунава налази се Костолачки угљени басен, а северно од Дунава Ковински угљени басен. Пре савремене геологије, подземна експлоатација почиње средином и крајем XIX века, али у малом обиму. Савремена геолошка истраживања почела су 1941. године и настављају се до данас. Пет слојева лигнита углавном нису дефинитивно оконтурени ни латерално нити по дубини, па постоји потенцијал за њихово даље истраживање ван постојећих истражних поља. Прорачун ресурса/резерви за свих 5 слојева лигнита дао је око 5,7 милијарди тона.

КОЛУБАРСКИ ЛИГНИТСКИ БАСЕН (ЗАПАДНА СРБИЈА)

Лигнитски басен се налази у западној Србији, 50 km југозападно од Београда, у алувијалном сливу реке Колубара, која се надаље улива у реку Саву (слика 1). Пре савремене геологије, подземна експлоатација је почела крајем XIX века, у малом обиму. Период геолошких истраживања од 1936. до 2025. године, у геолошком и рударском аспекту је веома успешан. Као резултат тога, истражено је око 4,1 милијарде тона геолошких резерви и ресурса лигнита, као и додатних неколико стотина милиона кубних метара ресурса неметалних минералних сировина. Истраживање и експлоатација

GENERAL INFORMATION ABOUT COAL

LIGNITE BASIN KOSTOLAC-KOVIN (EAST SERBIA)

Generally, the lignite basin is located in eastern Serbia, at a distance of 50 km east of Belgrade. It lies in the alluvial plates of the rivers Velika Morava and Mlava rivers, which both flow into the Danube river (figure 1). It is divided into two parts by the Danube river - to the south of Danube lies the Kostolac Coal Basin, and to the north of the Danube lies the Kovin Coal Basin. Before contemporary geology, underground mining activities started in mid and late XIX century, on a small scale. Contemporary geological explorations began in 1941 and have continued to this day. In total, 3,900 boreholes were drilled in the last 80 years, i.e. 305,000 m of drilling. The 5 lignite layers are generally not definitively contoured either laterally or in depth, but there is a potential for their further research outside the existing exploration fields. The general calculation of lignite resources for all 5 lignite seams yielded about 5,7 B t of lignite.

LIGNITE BASIN KOLUBARA (WEST SERBIA)

The lignite basin is located in western Serbia, 50 km southwest of Belgrade, in the Kolubara alluvial river basin, which further flow into the Sava river (figure 1). Before contemporary geology, underground mining started in the late XIX century, on a small scale. The period of geological surveys from 1936 up to 2025 in the geological and mining aspects is very successful. As a result, about 4,1 B t of geological lignite reserves and resources were explored, as well as additional few hundred million m³ resources of non-metallic mineral raw materials. Lignite exploration and exploitation began in the eastern part of the basin, where

лигнита почела је у источном делу басена, где је и даље у току, али се полако сели у западни део басена, где постаје све значајнија.

it is still ongoing, but is slowly moving to the western part of the basin, where it is becoming more important.



Слика 1, Генерални приказ географског положаја Колубарског и Костолачког угљеног басена; Костолачко-Ковински басен је на 50 km источно, док је Колубарски басен на 50 km западно од Београда

Figure 1, General geographical position of the Kostolac-Kovin and Kolubara Lignite Basins; Kostolac-Kovin Coal area is 50 km east, and Kolubara Coal Area is 50 km west of Belgrade

РУДАРСКА ДОСТИГНУЋА

У оба подручја одвија се веома обимна рударска експлоатација на површинским коповима. Ово су највећи копови угља у Србији, али и на Балкану. Оба рударска подручја описана су у неколико реченица и дијаграма (слике 2 и 3).

MINING ACHIEVEMENTS

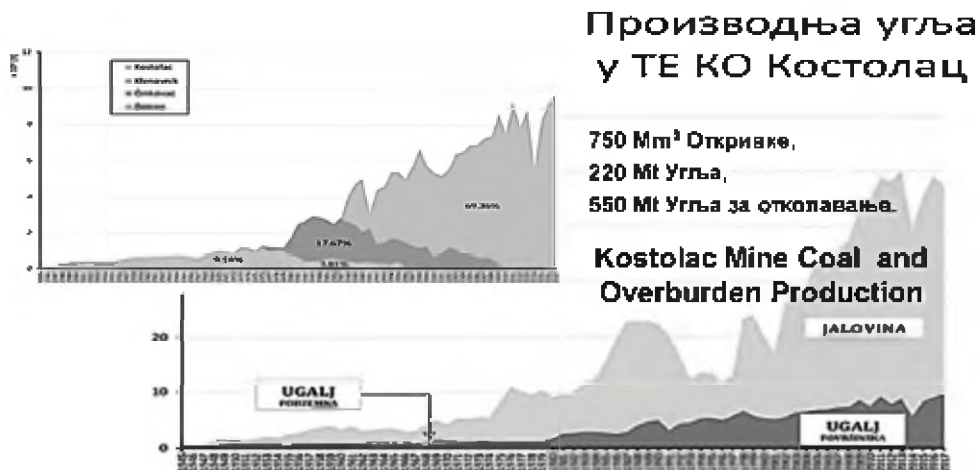
In both areas, extensive mining operations are carried out in open-pit mines. These are the largest coal mines in Serbia, but also in the Balkans. For both mining areas are described in a few sentences and diagrams (figures 2 and 3).

КОСТОЛАЧКО-КОВИНСКИ БАСЕН

Садашња годишња производња лигнита са површинског копа Дрмно износи око 8 M t/god. и у плану је повећање тих капацитета. Са слике 2 уочава се да је откопано више од 750 M m³ јаловине и око 220 M t лигнита, првенствено на површинским коповима (три површинска копа), закључно са 2017. годином. Удео јамске експлоатације (три старе јаме) је миноран. У оквиру ЕПС-а, овај рудник обезбеђује око 25% годишњих количина угља. За откопавање на површинским коповима у наредном периоду преостало је још око 550 M t лигнита.

KOSTOLAC-KOVIN MINING AREA

The current annual production of lignite from the Drmno surface mine is about 8 M t/year. and the plan is to increase those capacities. In Figure 2, it can be seen that more than 750 M m³ of overburden and about 220 M t of lignite were excavated, primarily in open pits (three open pits), up to 2017. The share of underground exploitation (three old pits) is minor. Within EPS, this mine provides about 25% of annual coal volumes. About 550 M t of lignite remains to be excavated in surface mines in the following period.



Слика 2, Генерални приказ остварених резултата рударске производње у ТЕ—КО Костолац (након Вучковић, 40-47)

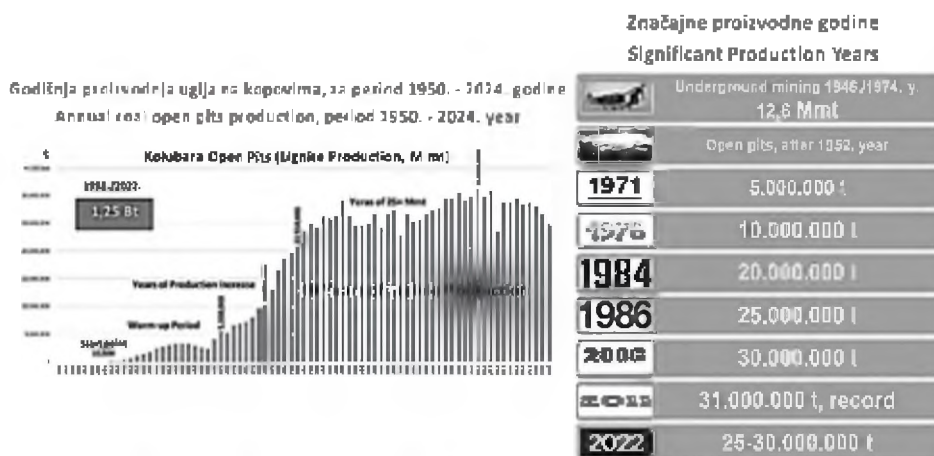
Figure 2, General Mining Achievements of the Kostolac Coal Mine (after Vuckovic, 40-47)

КОЛУБАРСКИ БАСЕН

Годишња производња лигнита на површинским коповима (10 површинских копова, од којих су четири већ затворена) до 2022. године износила је и до 30 М t/god. По захтевима ЕПС-а у плану је производња лигнита од око 22-23М t/god. Са слике 3, уочава се да је откопано више од 1,35 Мlrd t лигнита, првенствено на површинским коповима, закључно са 2024. годином. За исти период откопане количине јаловине износе око 3 Мlrd m³. Удео јамске експлоатације (12 јама, након 1973. све су затворене) је миноран. У оквиру ЕПС-а, овај рудник обезбеђује око 75% годишњих количина угља. За откопавање на површинским коповима у наредном периоду преостало је још око 1,5 Мlrd t лигнита.

KOLUBARA MINING AREA

The annual production of lignite at surface mines (10 open pits, four of which are already closed) until 2022 was up to 30M t/year. According to the requirements of EPS, the production of lignite of about 22-23 M t/year is planned. From Figure 3, it can be seen that more than 1.35 billion t of lignite was mined, primarily in surface mines, by the end of 2024. For the same period, the amount of overburden excavated is about 3 billion m³. The share of pit exploitation (12 pits, all closed after 1973) is minor. Within EPS, this mine provides about 75% of annual coal volumes. About 1.5 billion t of lignite remains to be mined in surface mines in the following period.



Слика 3, Генерални приказ остварених резултата рударске производње у РБ Колубара (Вучковић, 2024.)

Figure 3, General Mining Achievements of the Kolubara Coal Mine (after Vučković, 2024)

ОПШТЕ ИНФОРМАЦИЈЕ О ГЕОХЕМИЈСКОМ УЗОРКОВАЊУ

У Костолачко-ковинском и Колубарском лигнитском басену спроведене су бројне лабораторијске анализе за одређивање квалитета лигнита, као и бројне друге за геотехничке и хидрогеолошке сврхе. Углавном у последњих десет година, посебна пажња је посвећена и еколошким карактеристикама лигнита, а одређиван је укупан садржај 20 ТМ (тешки метали). Поред лигнита, узорци су узети и из свих седимената у хоризонталном и вертикалном профилу; као и из површинског слоја земљишта изнад лежишта Дрмно и из шљунка из ширег подручја. У Колубарским лигнитским рудницама постоје еколошка истраживања у мањем обиму.

ТОКСИЧНИ ТЕШКИ МЕТАЛИ У ЛИГНИТУ – ОЧЕКИВАЊА ЈАВНОСТИ И СТРУЧЊАКА О ЗАГАЂЕЊУ ЕКОЛОГИЈЕ

Наравно, ова тема је изузетно актуелна и присутна је у свим могућим владиним медијима, универзитетима, институтима, биромима, канцеларијама, затим невладиним организацијама и тако даље. Сви очекују да ће експлоатација и сагоревање лигнитних маса изузетно загадити животну средину. То иде толико далеко да је већ постало нека врста мантре. Сматра се да термоенергетски сектор Србије у великој мери загађује животну средину и да се одговарајуће мере заштите или санације морају предузети што је пре могуће.

Међутим, бројни подаци мерења ТМ (слика 4) из површинских рудника лигнита у Костоцу и Колубари, као и подаци о пепелу из повезаних термоелектрана, не указују на то. У последњих неколико година ова тема је представљена и објављена у неколико радова у Србији и иностранству. Као матрица је коришћен увек исти угаљ Колубара/Костолац, који је упоређен са многим различитим примерима (*урбано земљиште, градски паркови, површински слој земљишта, речни седименти, органске материје, органска њива, индустријско и рударско земљиште, итд.*). Било је изузетно много примера загађења у неким

GENERAL INFORMATION ABOUT HM GEOCHEMICAL CYCLE

At the Kostolac-Kovin and Kolubara Lignite Basins numerous laboratory analyses were performed to determine the quality of lignite, as well as numerous others for geotechnical and hydrogeological purposes. Mostly in the last ten years, special attention has been paid to the ecological characteristics of lignite, and the total contents of 20 HM¹ have also been determined. Apart from lignite, samples were also taken from all sediments in the horizontal and vertical profile of the deposit; as well as from the top soil above the Drmno deposit and from gravel from the wider area. In Kolubara Lignite Mines there are ecology explorations on a smaller scale. In this paper we deal with the total amounts of specific HM.

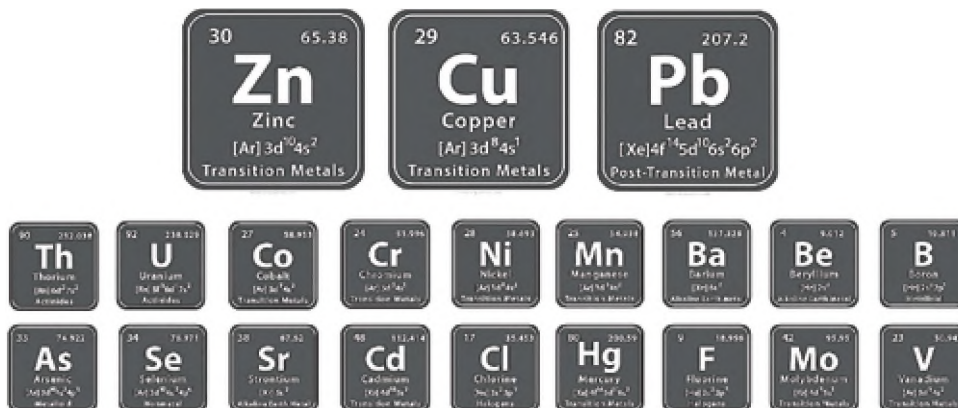
TOXIC HEAVY METALS IN LIGNITE – PUBLIC AND EXPERT EXPECTATION OF ECOLOGY POLLUTION

Of course, this topic is extremely hot and is present in all possible governmental media, universities, institutes, bureaus, offices, NGOs and so on. Everyone's expectations are that the exploitation and combustion of lignite masses will extremely pollute the environment. This goes so far, that it has already become a kind of mantra. It is considered that the thermal energy sector of Serbia has been polluting the environment to a great extent and that appropriate protection or remedial measures must be urgently taken.

However, numerous HM (figure 4) measured data from surface lignite mines in Kostolac and Kolubara, as well as data on ash from related thermal power plants, do not indicate this. At last few years this topic was presented and published in several papers in Serbia and abroad. The same Kolubara/Kostolac Coal was used as a matrix and compared with a lot of different examples (*urban soils, city parks, top soils, river sediments, organic matters, organic tissues, industrial and mining grounds, banking value, etc.*) There were many examples of pollution in some matters throughout Serbia, the Region, Europe and

материјама широм Србије, региона, Европе и света, које нису у никаквој вези са лигнитима, што делује крајње неочекивано (видети претходне радове аутора) [40-47].

the World, that appear to be unexpected (see the authors of previous papers) [40-47].



Слика 4, Листа лабораторијски анализираних ТМ у линијама Колубаре и Косилоца (Вучковић, 2024.)
 Figure 4, List of Heavy Metals assayed in the Kolubara and Kostolac Coal Mines (after Vučković, 2024)

ГДЕ СУ ДАНАС ПРИСУТНИ ТМ?

На основу свеprisутног страха од ТМ, да ли знамо, барем информативно, где можемо пронаћи ТМ у нашем најближем окружењу (слике 5, 6). У сваком случају, те „ствари“ су увек присутне у нашем животу и постале су наши доживотни пратиоци пре много година.

NOWDAYES, WHERE ARE HM PRESENT?

Given the extended fear of HM, do we know, at least informatively, where we can find HM in our nearest neighbourhood (figures 5, 6). Anyway, those "things" are always present in our life and they became our lifelong companion long ago.



Слика 5, Свакодневни видови извора тешких метала (нпр. батерије, кухињско посуђе)
 Figure 5, Some Heavy Metals Everyday Sources (e.g. batteries, kitchenware)



Слика 6, Свакодневни видови извора тешких метала (нпр. пасте за зубе, медицински сулемењени, мобилни телефони)
 Figure 6, Some Heavy Metals Everyday Sources (e.g. tooth paste, medical supplements, cellular phones)

Као што видимо, постоје свуда по нашим домовима и то је цена савременог живота. Али, да ли су опасни или токсични? Наравно да нису, јер се ти ТМ налазе у веома стабилним минералним облицима/легурама у тим свакодневним предметима. Не постоји могућност да се активирају и мобилишу, произвођачи се брину о томе.

As we can see, they exist all everywhere in our homes and that is the price of contemporary life. But, are they dangerous or toxic. Of course not, because that HM stay in very stabile mineral forms/alloyes in that everyday items. There is no possibility to activate and mobilize them, the producers take care about that.

КАДА ЈЕ ПОЧЕЛО ЗАГАЂЕЊЕ ТМ?

WHEN DID HM POLLUTION START?

Дакле, свеprisутно општеноародно, стручно и научно размишљање сматра да је ово присуство ТМ у нашем свакодневном животу почело одмах након **Прве индустријске револуције**, која је почела (1780. године у Великој Британији; после 1830-1840. широм света). Велика индустријска и рударска производња утицали су на животну средину и јавно здравље. Године (и животна средина) пре тог периода биле су идиличне, без икаквих трагова загађења ТМ. Да ли је ово тачно схваћено? [1-49]

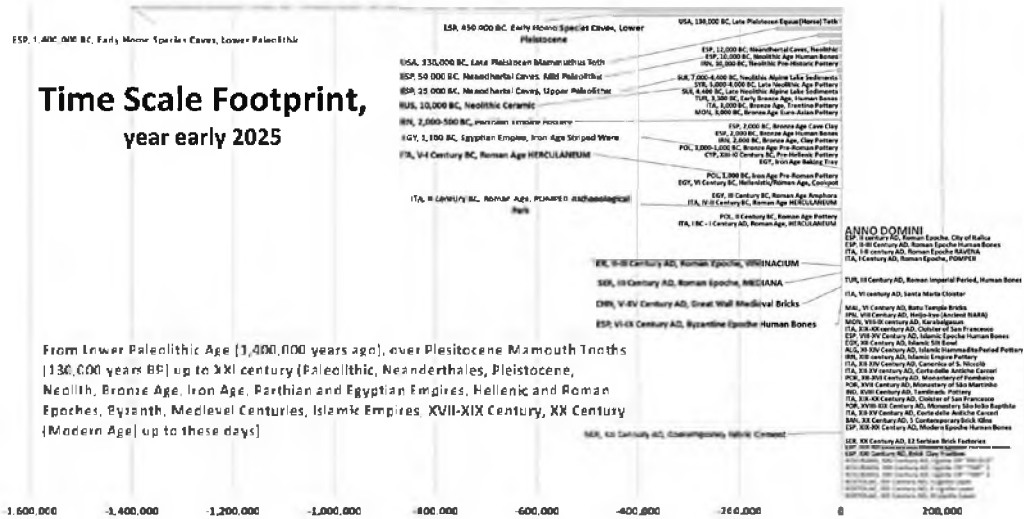
Thus, the ubiquitous popular, professional and scientific thinking holds that this presence of HM in our daily lives began immediately after the **First Industrial Revolution**, (which began in the 1780s in Great Britain; after 1830-1840s worldwide). Large-scale industrial and mining production has affected the environment and public health. The years (and the environment) before that period were idyllic, without any traces of HM pollution. Is this understood correctly? [1-49]

ВРЕМЕНСКА СКАЛА ХЕМИЈСКОГ ОТИСКА

CHEMICAL FOOTPRINT TIME SCALE

У овом раду гледамо много година уназад, почевши од раног настанка људске врсте (старости 1,4 М година) па све до почетка XXI века. Бројни објављени научни радови баве се овим питањем [1-40]. Посебну пажњу обраћају на укупан садржај ТМ у узорцима пећинског седимента, површинског слоја земље из тадашњих насеља, фрагмената грнчарије, животињских и људских костију из различитих временских периода и грађевинског материјала за изградњу стамбених и верских објеката. Пажња је посвећена узорцима раних људских врста који датирају 1,4 милиона година пре нове ере, затим зубу мамута старости 130.000 година, седиментима неандерталских пећина старости 50.000 до 25.000 година и фрагментима грнчарије људи из каменог неолитског доба. Такође, обухваћене су прве Хетитске и Египатске људске цивилизације, затим бакарно, бронзано и гвоздено доба, стари хеленски и римски период, рани византијски и исламски период, затим средњовековни период; који се протеже кроз XVII-XIX век, па све до XX века и коначно до почетка XXI века (слика 7).

In this paper we have looked back to see what it was like many years ago, starting from the origin of early human species (1,400,000 years ago) up to early XXI century. Numerous published scientific papers deal with this issue. They pay special attention to the total content of HM in samples of cave sediment, top soil from settlements, pottery fragments, animal and human bones from different time periods, and building materials for the construction of residential and religious buildings. Attention is paid to samples of early Human Species dating 1,4 My BP, and a Mammoth tooth dating back 130,000 years, Neanderthal cave sediments dating back 50,000 to 25,000 years, and fragments of pottery from Stone Age people. Also, the first Parthian and Egyptian human civilizations, Copper, Bronze and Iron Age, the old Hellenic and Roman periods, the early Byzantine and Islamic periods, then the Medieval period; going through the XVII-XIX centuries, up to the XX century and finally into the early XXI century (figure 7).

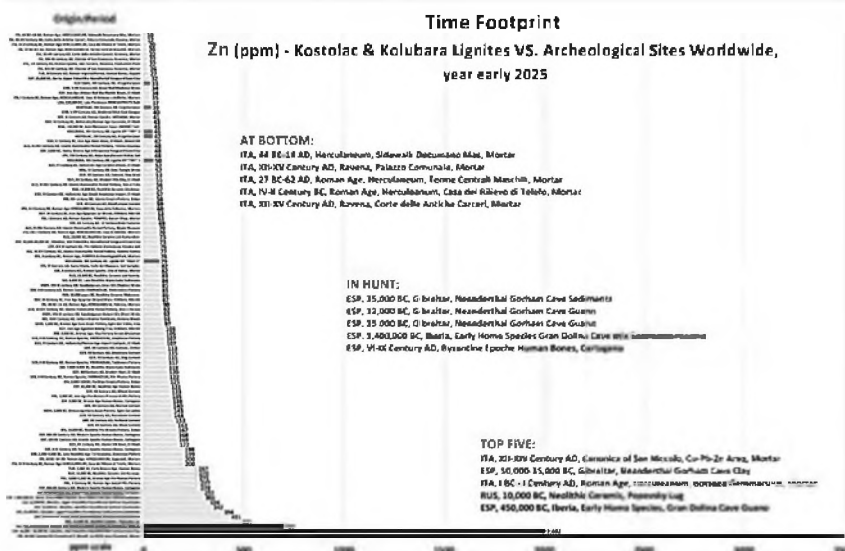


Слика 7, Временска скала; на дну светло сиво – године у којима је вршено узорковање
 Колубарских и Костолачких линитна (Вучковић, 2025.)

Figure 7, Time Scale Footprint; at bottom light gray – Kolubara and Kostolac Lignite sampling years (after Vučković, 2025)

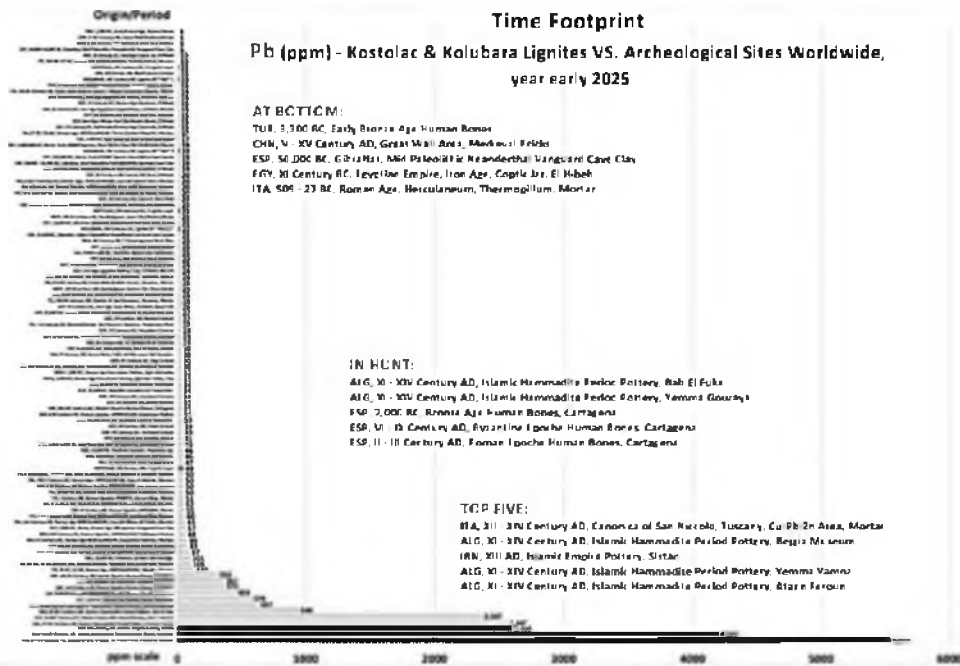
Као што видимо, временски распон је прилично широк. Пре почетка **I Индустријске Револуције** у Свету (1780. године) и пре наших светло сивих година (**ископавање и сагоревање лигнита** у РБ Колубара и ТЕ-КО Костолац), све би требало да буде апсолутно чисто од ТМ. Следећих неколико дијаграма ће приказати измерене (подаци из светске литературе и наше мерене вредности) концентрације ТМ и њихово упоређење са лигнитом (слике 8-13). Напомена, на дијаграмима је врх на дну.

As we can see, quite a wide range, lasting more than 1,400,000 years. Before light gray years (lignite excavation and combustion) at the very bottom of list, everything should be absolutely clean of HM. The next few diagrams show the specific HM measured total amount concentrations and its comparison with lignite's (figures 8-13). Note, on diagrams top is on bottom.



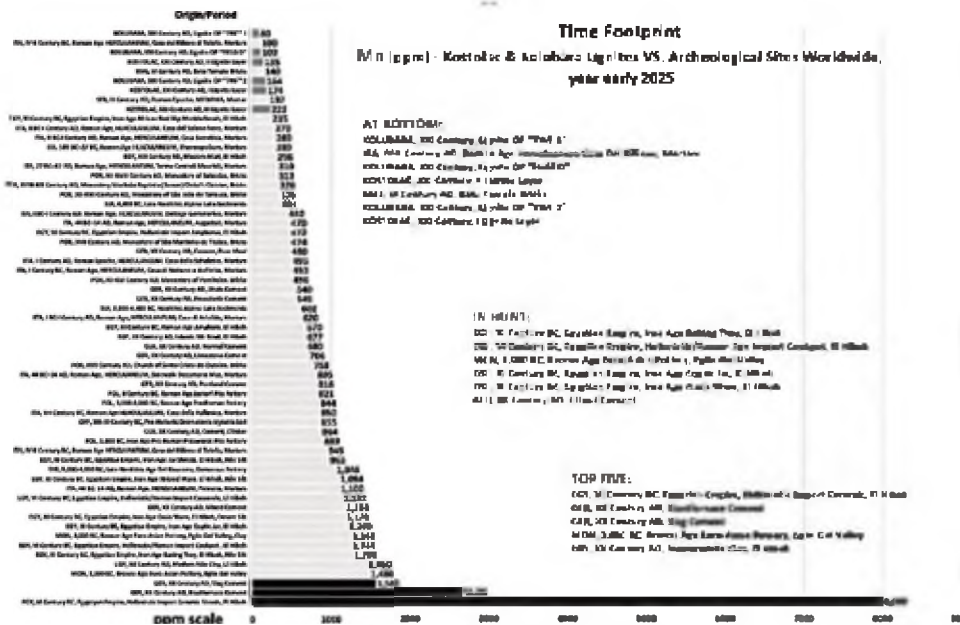
Слика 8, Zn Временски отисак; светло сиве колоне – садржаји ТМ у одређеним узорцима,
 црне колоне – највише концентрације ТМ у узорцима, сиве колоне – садржај ТМ у узорцима
 Колубарских и Костолачких линитна (Вучковић, 2025.)

Figure 8, Zn Time Footprint; light gray bars – assayed HM concentration at specific items, black bars – extremely high levels of HM, gray bars – Kolubara and Kostolac Lignite HM levels (Vučković, 2025)



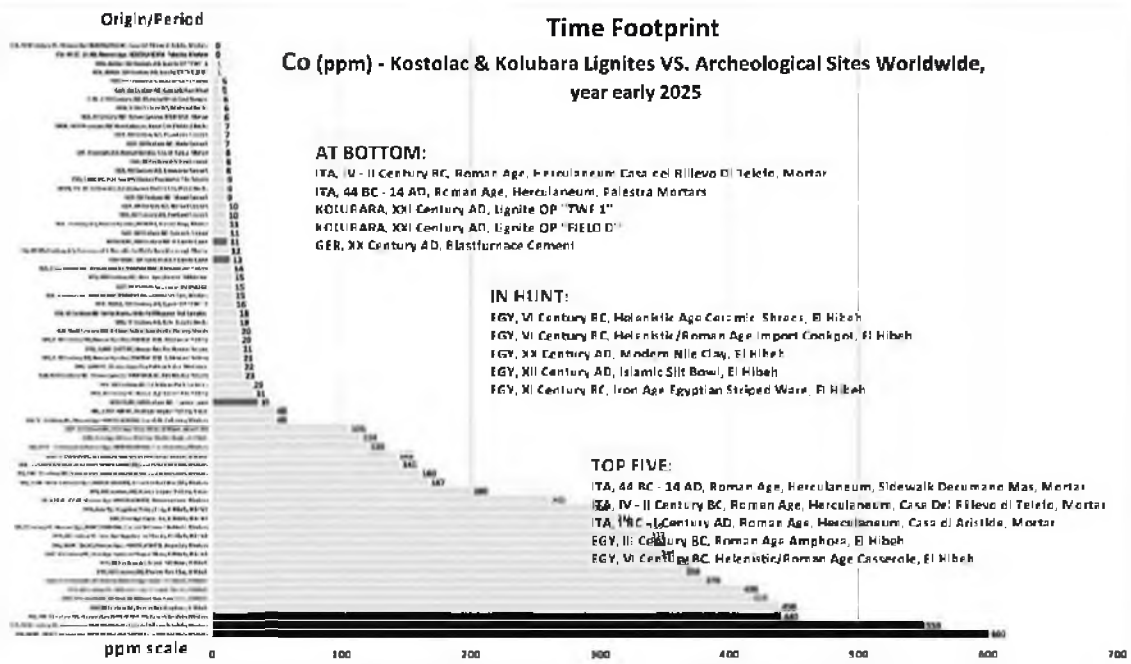
Слика 9, Pb Временски отисак; светло сиве колоне – садржаји ТМ у одређеним узорцима, црне колоне – највише концентрације ТМ у узорцима, сиве колоне – садржај ТМ у узорцима Колубарских и Косјолачких линија (Вучковић, 2025.)

Figure 9, Pb Time Footprint; light gray bars – assayed HM concentration at specific items, black bars – extremely high levels of HM, gray bars – Kolubara and Kostolac Lignite HM levels (Vučkovic, 2025)



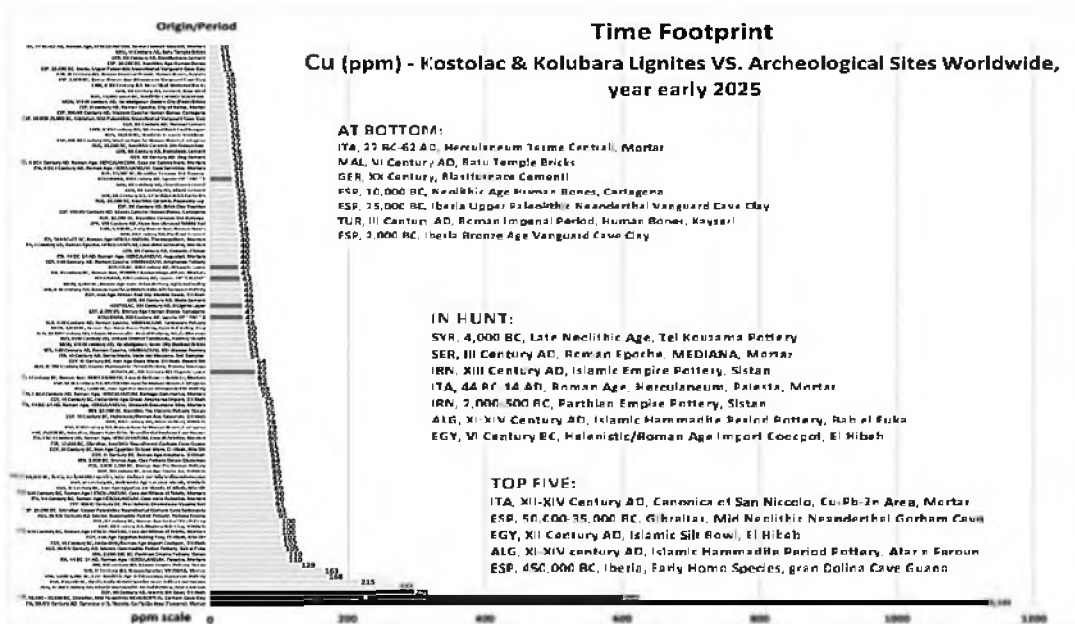
Слика 10, Mn Временски отисак; светло сиве колоне – садржаји ТМ у одређеним узорцима, црне колоне – највише концентрације ТМ у узорцима, сиве колоне – садржај ТМ у узорцима Колубарских и Косјолачких линија (Вучковић, 2025.)

Figure 10, Mn Time Footprint; light gray bars – assayed HM concentration at specific items, black bars – extremely high levels of HM, gray bars – Kolubara and Kostolac Lignite HM levels (Vučkovic, 2025)



Слика 12, Co Временски описак; светло сиве колоне – садржаји ТМ у одређеним узорцима, црне колоне – највише концентрације ТМ у узорцима, сиве колоне – садржај ТМ у узорцима Колубарских и Костолачких линија (Вучковић, 2025.)

Figure 12, Co Time Footprint; light gray bars – assayed HM concentration at specific items, black bars – extremely high levels of HM, gray bars – Kolubara and Kostolac Lignite HM levels (Vučković, 2025)



Слика 13, Cu Временски описак; светло сиве колоне – садржаји ТМ у одређеним узорцима, црне колоне – највише концентрације ТМ у узорцима, сиве колоне – садржај ТМ у узорцима Колубарских и Костолачких линија (Вучковић, 2025.)

Figure 13, Cu Time Footprint; light gray bars – assayed HM concentration at specific items, black bars – extremely high levels of HM, gray bars – Kolubara and Kostolac Lignite HM levels (Vučković, 2025)

Као што можемо видети на горње две слике (слике 12, 13), постоји тренд да сиве колумне буду на средини скале. Неке мерене ствари скачу до изузетно високих нивоа (*нпр. Co је више од 50 x већи у малтеру Херкуланеума из староримској доба него у нашем линије, али и у Старојегипатској увозној Хеленско/Римској грнчарији; Cu је 15-20 x већи у Гуано узорцима из њеине са раним људским врстама старим око 450.000 година, али и у седиментима Неандерталске њеине у Шпанији старој око 50.000 година*).

Тако да на основу неколико претходних дијаграма и крајње поједностављених појашњења, можемо закључити да су садржаји наведених и анализираних/упоређиваних тешких метала редовно значајно већи од оних које савременим лабораторијским испитивањима региструјемо у лигнитима. Из тога прозилази и закључак скромног геолога (аутора рада) који се бави овом проблематиком већ двадесет година, да су садржаји тешких метала у ближој или даљој прошлости били далеко већи од савремених у лигнитима које откопавамо. Наши преци нажалост нису ни били свесни тога шта их окружује у њиховом свакодневном животу. У сваком случају били су живи и здрави.

Нажалост, један од ограничавајућих фактора за даља поређења јесте то што су лабораторијска одређивања на поменути локацијама/узорцима вршена у мањем обиму (тек по неколико ТМ), што је генерално много мањи обим одређивања од оног који ЕПС практикује. Ми смо одређивали по 20 хемијских елемената (ТМ) у узорцима лигнита у лабораторији, али су стручни тимови са бројних локација широм света одређивали тек по око 4-5 елемената, а само неколико пута и више од тога, онако како је објављено.

ЗАКЉУЧАК

Лигнити Костолачко-Ковинског и Колубарског лигнитског басена генерално имају ниске концентрације тешких метала, у поређењу са одабраним Српским, регионалним, Европским и Светским археолошким

As we can see from above two pictures (figures 12, 13), there is trend for yellow bars to be at the middle of scale. Some measured things jump to extremely high levels, (e.g. *Co is more than 50 x higher in Herculaneum mortar from Old Roman Age than in our lignite, or in old Egyptian Hellenic/Roman imported pottery; Cu is 15-20 x higher than in 450,000 years old Early Homo species cave Guano samples; or in Neanderthal Cave Sediments old 50,000 years ago*).

So, based on several previous diagrams and extremely simplified explanations, we can conclude that the contents of the mentioned and analyzed/compared heavy metals are regularly significantly higher than those that we register in lignites with modern laboratory tests. From this, the conclusion of a modest geologist (the author of the paper) who has been dealing with this problem for twenty years, that the contents of heavy metals in the recent or distant past were far higher than the current ones in the lignites we are excavating. Unfortunately, our ancestors were not even aware of what was surrounding them in their everyday life. They were alive and well anyway.

Unfortunately, one of the limiting factors for further comparisons is that the laboratory determinations at the mentioned locations/samples were performed on a smaller scale (only a few ТМ), which is generally a much smaller scale of determination than ours. We determined 20 chemical elements (HM) in lignite samples in the laboratory; but expert teams from numerous locations worldwide determined about 4-5 elements, only a few times even more than that. At least that's how it's been published. The conclusions are up to you.

CONCLUSION

The lignite's of the Kostolac-Kovin and Kolubara Lignite Basins generally has low total amounts of concentrations of heavy metals, compared to selected Serbian, regional, European and Worldwide archeological, anthropological samples, as well as ancient settlements constructions and sediments or top soils. In this work, special attention is paid to the total content of HM as pollutants in Time Footprint

и антрополошким узорцима, али и са узорцима грађевинских амтеријала седимената и тла из насеља или пећина старих времена. У овом раду, посебна пажња је посвећена укупном садржају тешких метала као загађивача на скали временског отиска. На основу тога, може се закључити да су укупне концентрације неколико одабраних и анализираних тешких метала (Mn, Zn, Pb, Cu, Hg, Cd, Ni, As) значајно веће у старим, па чак и прастарим, узорцима приказаним на скали временског отиска него што су у савременом српском лигниту.

Scale. Based on this, it can be concluded that the total concentrations of a few HM (Mn, Zn, Pb, Cu, Hg, Cd, Ni, As) which were compared are significantly higher in the Time Footprint Scale, than in Serbian contemporary lignite.

ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE

- [1] Achternbosch M., Brautigam K.R., Hartlieb N., Kupsch C., Richers U., Stemmerman P.: Heavy Metals in Cement and Concrete Resulting from the Co-incineration of Wastes in Cement Kilns with Regard to the Legitimacy of Waste Utilization, Institute fur Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Institut fur Technische Chemie, Karlsruhe, 2003.
- [2] Arsenovic M., Zivancevic B., Radojevic Z.: Research on heavy metal content in clay brick products, Research Gate, Conference: 4th Symposium «Recycling technologies and sustainable development» At: Kladovo, Serbia, 2009, pp 320-324.
- [3] Bakraji E.H., Romeié M., Issa H.: Radioisotope X-Ray Fluorescence Analysis of Ancient Pottery from Tel Kouzama Site in Damascus, Syria; *Annali di Chimica*, 96, 2006, by Società Chimica Italiana.
- [4] Бркушанин И., Јовановић Г.: Извештај о испитивању земљишта РБ Колубара, Заштита на раду и заштита животне средине Београд, Лабораторија за заштиту на раду и животне средине, 2016.
- [5] Chiarelli N., Miriello D., Bianchi G., Fichera G., Giamello M., Turbanti Memmi I.: Characterization of ancient mortars from the S. Niccolò archaeological complex in Montieri (Tuscany – Italy), 2015, Research Gate, Construction and Building Materials, Elsevier BV.
- [6] Chuncai Z, Guijian L., Siwei C., Ting F., Paul K. S. Lam: The Environmental Geochemistry of Trace Elements and Naturally Radionuclides in a Coal Gangue Brick-Making Plant, Scientific Reports volume 4, Article number: 6221, 2014.
- [7] De Luca R., Miriello D., Pecci A., Dominguez-Bella S., Bernal-Casasola D., Cottica D., Bloise A., Mirocle Crisci D.: Archaeometric Study of Mortars from the Garum Shop at Pompeii, Campania, Italy, *Geoarchaeology: An International Journal* 30, 2015, pp. 330–351.
- [8] Franken C., Tengis S., Ulambayar E., Tumur-Ochir B.: Multi-method (XRF, FTIR, TGA) analysis of ancient bricks from Karabalgasun: A preliminary study, *Proceedings of the Mongolian Academy of Science*, VOL 60, No 01 (233), 2020, DOI: 10.5564/pmas.v60i1.1331.
- [9] Garcia-Martinez M.J., Moreno J.M., Moreno-Clavel J., Vegrara N., Garcia-Sanches A., Guillamon A., Porti M., Moreno-Grau S.: Heavy metals in human bones in different historical epochs; *Science of the Total Environment* 348, 2005, pp. 51–72.
- [10] Guler H., Hilal K., Guclu E.: Heavy metals in human bones from the Roman Imperial Period; *Journal of Surgery & Medicine (JOSAM)*, 2023, Vol 7, Issue 8, pp 463-467, ISSN:2602-2079.
- [11] Guner C., Aliyev V., Atamturk D., Duyar I., Soylemezoglu T.: Retention of Zn, Cu, Cd, Pb and As on human bones unearthed at a Central Anatolian Early Bronze Age excavation site (Resuloglu, Turkey); *Eurasian J. Anthropol.* 2(1): pp. 27–39, 2011.
- [12] Hafez I., Sorrentino G., Faka M., Cuenca-García C., Makarona C., Charalambous A., Nys K., Hermon S.: Geochemical survey of soil samples from the archaeological site Dromolaxia-Vyzakia (Cyprus), by means of micro-XRF and statistical approaches; *Journal of Archaeological Science: Reports* 11, 2017, pp. 447–462

- [13] Hall M., Amraatuvshin Ch., Erdenbat E.: X-ray fluorescence analysis of pottery from Northern Mongolia; *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 240, No. 3, 1999, pp. 763-773.
- [14] Han C., Hwanh H., Kang J.H., Hong S.B., Han Y., Lee K., Hur S.D., Hong S.: Reliable Ultra Trace Analysis of Cd, U and Zn Concentrations in Greenland Snow and Ice by Using Ultraclean Methods for Contamination Control, *Molecules*, 2020, 25 (11), 2519.
- [15] Hill C.L.: The Merrell Locality (24BE1659) and Centennial Valley, Southwest Montana: Pleistocene Geology, Paleontology and Prehistoric Archaeology; Technical Report to the Dillon Resource Office, Pleistocene Geology, Paleontology & Prehistoric Archaeology, DOI:10.13140/2.1.5049.6643, Bureau of Land Management, 2005, ISBN: 0-615-13043-7.
- [16] Idjouadiene L., Mostefaoui T.A., Djermoune H., Bonizzoni L.: Application of X-ray fluorescence spectroscopy to provenance studies of Algerian archaeological pottery; X-RAY SPECTROSCOPY; Volume 48, Issue 5, SPECIAL ISSUE ARTICLE, DOI: 10.1002/xrs.3020, 2019.
- [17] Kawaha H., Yamashita S., Yamaoka K., Okai T., Shimoda G., Imai N.: Heavy metal pollution in Ancient Nara, Japan, during the eighth century; *Progress in Earth and Planetary Science*, Volume 1, article number 15, 2014.
- [18] Koinig K., Shotyk W., Lotter A., Ohlendorf C., Sturm M.: 9000 Years of geochemical evolution of lithogenic major and trace elements in the sediment of an alpine lake - The role of climate, vegetation, and land-use history; *Journal of Paleolimnology* 30,2003, pp. 307-320.
- [19] Kumar S., Zhao M., Zhang H., Md Rahman A., Luo C., Rahman M. M.: Distribution, contamination status and source of trace elements in the soil around brick kilns, *Chemosphere*, Volume 263, 2021, 127882.
- [20] Leone G., De Vita A., Magnani A., Rossi C.: Characterization of archaeological mortars from Herculaneum; *Thermochimica Acta* 624, 2016, pp. 86-94, DOI: 10.1016/j.tca.2015.12.003.
- [21] Maltsev A.S., Umarova N.N., Pashkova G.V., Mukhamedova M.M., Shergin D.L., Panchuk V.V., Kirsanov D.O., Elena I. Demonterova E.I.: Combination of Total-Reflection X-Ray Fluorescence Method and Chemometric Techniques for Provenance Study of Archaeological Ceramics, *Molecules*, 2023, 28(3), 1099; DOI: 10.3390/molecules28031099.
- [22] Maresse G., Tucci P., Raickovic Savic A.: Roman Pottery from Viminacium (Serbia 2nd - 3rd Centuries AD): Compositional Characteristics, Production and Technological Aspects, *Archaeology and Science* 10, 2014, 904:738.6(497.11)^{01/02} COBISS.SR-ID 219283468.
- [23] Marrocchino E., Telloi C., Novara P., Vaccaro C.: Petro-archaeometry characterization of historical mortars in the city of Ravenna (Italy), 2020 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage Trento, Italy, 2020, pp. 32-37.
- [24] Marrocchino E., Telloi C., Cesarano M., Montuori M.: Geochemical and Petrographic Characterization of Bricks and Mortars of the Parish Church SANTA Maria in Padovetere (Comacchio, Ferrara, Italy), *Minerals*, 2021, 11, 530. DOI: 10.3390/min11050530
- [25] Michalowski A., Niedzielski P., Kozak L., Teska M., Jakubowski K., Zólkiewski M.: Archaeometrical studies of prehistoric pottery using portable ED-XRF; *Measurement* 159, 2020, 107758.
- [26] Miriello D., Bloise A., Crisci G., De Luca R., De Nigris B., Martellone A., Osanna M., Pace R., Pecci A., Ruggieri N.: New compositional data on ancient mortars and plasters from Pompeii (Campania – Southern Italy): Archaeometric results and considerations about their time evolution, *Materials Characterization* 146, 2018, pp. 189-203.
- [27] Merkel S.: The smelting of copper in the third millennium BC in Trentino, north-eastern Italy; *Archaeological and Anthropological Sciences*, Volume: 14, 10, Publication Date: 2022.
- [28] Meybeck M., Lestel L., Bonté P., Moilleron R., Colin J.L., Rousselot O., Hervé D., de Pontevès C., Grosbois C., Thévenot D.R.: Historical perspective of heavy metals contamination (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) in the Seine River basin (France) following a DPSIR approach (1950-2005); *Sci Total Environ*, 2007; 375 (1-3): pp. 204-31.
- [29] Monge G., Jimenez-Espejo F., Garcia-Alix A., Martinez-Ruiz F., Matielli N., et al.: Earliest evidence of pollution by heavy metals in archaeological sites; *National Library of Medicine, Sci Rep.* 2015; 5:14252. DOI: 10.1038/srep14252.
- [30] Morgenstein M., Redmount C.A.: Using portable energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) analysis for on-site study of ceramic sherds at El Hibeh, Egypt; *Journal of Archaeological Science* 32, 2005, pp. 1613-1623.

- [31] Ontiveros-Ortega E., Rodríguez-Gutiérrez O., Navarro A.D.: Mineralogical and physical-chemical characterization of Roman mortars used for monumental substructures on the Hill of San Antonio, in the Roman city of Italica (prov. Baetica, Santiponce, Seville, Spain); *Journal of Archeological Sciences*, Volume 7, 2016, pp. 205-223, DOI: 10.1016/j.jasrep.2016.03.043.
- [32] Ravisankar R., Naseerutheen A., Chandrasekaran A., Bramha S.N., Kanagasabapathy K.V., Prasad M.V.R., Satpathy K.K.: Energy dispersive X-ray fluorescence analysis of ancient potteries from Vellore District Tamilnadu, India with statistical approach; *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 7, 2014, 44 e54.
- [33] Saiano F., Scalenghe R., Barello F., Ferrara E., Fonataine C., Caner L., Olivetti E., Boni I., Petit S.: Material sources of the Roman brick-making industry in the I and II century A.D. from IX 1 XI and Alpes Cottiae Regiones, Elsevier BV, *Quaternary International*, 2015.
- [34] Sarhaddi-Dadian H., Ramli Z., Shuhaimi N.H., Rahman A., Mehrafarin R.: X-Ray Diffraction and X-Ray Fluorescence Analysis of Pottery Shards from New Archaeological Survey in South Region of Sistan, Iran; *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 15, No 3, 2015, pp. 45-56.
- [35] Stanković M., Krstić N., Đorđević D., Anastasijević N., Mitić V., Topličić-Ćurčić G., Momčilović-Petronijević A.: Chemical Analysis of Mortars of Archaeological Samples From Mediana Locality, Serbia, *Science of Sintering*, 51, 2019, pp. 233-242, DOI: 10.2298/SOS1902233S, UDK: 902.03; 033.2
- [36] Стефановић П., Радовановић П., Перковић Б., и др.: Лабораторијске анализе угља репрезентативних узорака угља Колубарског басена, Извештај NIV-ITE 369, Институт за нуклеарне науке Винча, Београд, 2008.
- [37] Тепић М., Пергал М.: Извештај о испитивању бр. 24.1-0603/18-03 РБ Колубара, Заштита на раду и заштита животне средине Београд, Лабораторија за заштиту на раду и животне средине, 2018.
- [38] Yousufi R., El Ouear Z., Dahri N., Ouddane B., Rigane H.: Evaluating the Heavy Metals-Associated Ecological Risks in Soil and Sediments of a Decommissioned Tunisian Mine; *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 28, No. 4, 2019, pp. 2981-2993.
- [39] Zuliskandar R., Nik Hassan S., Nik Abdul R., Abdul Latif S., Muhammad R., Sharifah Z., Syed Z., Hossein S. D.: X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) analysis of ancient bricks from Sungai Batu Temple (site SB1), Bujang Valley, Kedah, Malaysia, *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol.12 (3&4), 2014, pp. 360-364.
- [40] Вучковић Б., Радовановић Б., Животић Д.: Микроелементи у квартарним седиментима и лигниту Костолачко-Ковинског угљоносног басена, источна Србија – одабрани примери, XVIII Конгрес Геолога Србије 2022, књига извода.
- [41] Вучковић Б., Радовановић Б., Матић В., Гламочанин Л., Радић Б., Ераковић К., Животић Д.: Резултати геолошких истраживања лигнита костолачко-ковинског угљоносног басена – геолошке и морфоструктурне карактеристике - XVIII Конгрес Геолога Србије 2022, књига извода.
- [42] Vučković B., Milinković I.: Horizontal and Vertical Distribution of Heavy Metals (Cu, Pb, Zn) in Lignites of Kostolac-Kovin Lignite Basin, Eastern Serbia - XIV Simpozijum sa međunarodnim učešćem Rudarstvo 2023, June, Zlatibor, Serbia, 2023, pp. 124-133, ISBN 978-86-80420-27-1, COBISS.SR-ID116330505.
- [43] Vučković B., Dimitrijević B.: Heavy Metals in Lignite and Soil of Kostolac-Kovin Lignite Basin, Eastern Serbia - Comparative Analysis with Selected Examples – 9th International Conference MEP 23, Soko Banja, Serbia, 2023 pp. 24-27.
- [44] Vučković B., Dimitrijević B.: Beyond 2020 - Geology Explorations and Open Pit Activities Affection in Reclamation Designing in Kolubara Lignite Mines (KCM) Serbia, New Considerations – XVII International Conference of the Open and Underwater Mining of Minerals, Varna, Bulgaria, 2023.
- [45] Vučković B., Krgovic R.: Strategic Metals in Lignite of the Kostolac-Kovin and Kolubara Coal-Bearing Basins, Serbia - Big Numbers Game – XV Simpozijum sa međunarodnim učešćem Rudarstvo 2024, Vrnjačka Banja, Serbia, 2024.
- [46] Vučković B.: Heavy Metals in Lignite of the Kostolac-Kovin and Kolubara Basins, Serbia – Analyze with Unexpected, Section: Serbian River Sediments and Fishes' Tissue – XVI Međunarodna konferencija OMC 2024, Zlatibor, Serbia, 2024.
- [47] Вучковић Б.: Хемијски отисак лигнита Србије у простору и времену – дали постоји? (скраћени водич кроз време и простор) –

- XVI Симпозијум са међународним учешће,
„Рударство 2025“, 2025, Врњачка Бања,
Србија, 2025, стр. 18-35, ISBN 978-86-80420-
29-5, COBISS.SR-ID 169159177
- [48] Живковић Г., Маринковић А.: Извештај
о испитивањима Институт за нуклеране
науке Винча, Лабораторија за термотехнику
и енергетику, 2018.
- [49] Životić D., Cvetković O., Vulić P., Gržetić I., Si-
mić V., Ilijević K., Dojčinović B., Erić S., Radić
B., Stojadinović S., Trifunović S.: Distribution
of major and trace elements in the Kovin ligni-
te (Serbia), *Geologia Croatica*, 2019, 72/1, pp.
51–79.
- [50] JOURNALS, WWW, DOCUMENTATION
CENTER
- [51] EPS, Kolubara Coal Mines, Technical & Desi-
gning Documents
- [52] EPS, Designing Division "Project", Technical &
Designing Documents
- [53] www.EPS.co.rs