



Получена: 31.12.2022 г.

Приета: 27.01.2023 г.

## МЕТОДИ ЗА ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА ТЕЖКИ МЕТАЛИ В СТРОИТЕЛНИТЕ МАТЕРИАЛИ

Я. Кънчева<sup>1</sup>, Р. Захариева<sup>2</sup>

*Ключови думи:* строителни материали, токсичност, тежки метали, идентификация

### РЕЗЮМЕ

Познаването на токсикологичните характеристики на строителните материали е от първостепенна важност за осигуряването на безопасни условия на труд, здравословна вътрешна среда на обитаване и устойчиво управление на строителните отпадъци. Настоящата статия разглежда токсичността на строителните материали, свързана с някои тежки метали – олово (Pb), хром (Cr) и кадмий (Cd), като същевременно прави обзор на съществуващите методи за тяхното идентифициране. Към днешна дата използването на тежки метали в строителните продукти се ограничава, но поради широкото им приложение в миналото много от сградите създават условия за експозиция на тежки метали. Статията предоставя обобщен анализ на публикувани изследвания за наличие на тежки метали при различни сградни елементи.

### 1. Въведение

В последните години нараства безпокойството за общественото здраве и опазването на околната среда, породено от замърсяванията с тежки метали [1]. Тежките метали са естествена част от земната кора, но в повечето случаи рискът от прекомерната експозиция на хората към тях е в резултат на замърсявания от антропогенни дейности – например от минно-добивната промишленост, металургията, други промишлени

---

<sup>1</sup> Яна Кънчева, гл. ас. д-р инж., кат. „Приложна геодезия“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: [kancheva\\_fgs@uacg.bg](mailto:kancheva_fgs@uacg.bg)

<sup>2</sup> Румяна Захариева, доц. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: [zaharieva\\_fce@uacg.bg](mailto:zaharieva_fce@uacg.bg)

производства и употреба на метали и метал-съдържащи съединения. Освен това, замърсяванията се разпространяват посредством корозията на металите, атмосферно отлагане, почвена ерозия с излужване на метални йони и чрез движение на вещества от водни басейни към почви и почвени води [2].

При много от строителните материали също е установено съдържание на токсични компоненти – например олово-съдържащи бои, лакове, покрития, уплътнители, изолационни материали и др. Паралелно със здравните рискове, това значително намалява възможностите за оползотворяване на такива отпадъци чрез рециклиране и/или повторна употреба.

Възможността строителните отпадъци да се използват като вторичен ресурс, в контекста на кръговата икономика, често е възпрепятствана именно от наличието на замърсявания, които придават опасни свойства на рециклираните материали. Понастоящем токсикологичните свойства на строителните продукти, които се влагат в строежите, се ограничават от редица регламенти, директиви и национални нормативни документи, като например REACH [3], CLP (за класификация и етиктиране на опасностите), BPR (за защита от биоциди), CAD и CMD (за минимални изисквания за защита на работещите съответно в среда с химични агенти и карциногени и мутагени), Рамковата директива за отпадъците (WFD) [4] и др. В Регламента за строителните продукти (CPR, Регламент ЕС 305/2011) [5] третото изискване към строежите се отнася именно до осигуряването на хигиена, здраве и околна среда през целия жизнен цикъл. Данни за опасните компоненти и свойства се декларират чрез т.нар. информационни листове за безопасност, както и чрез етикетите на самите продукти. Регламентът поставя ограничителни критерии, вземащи предвид и непреките неблагоприятни въздействия върху човешкото здраве и екосистемите вследствие на изпускането на опасни вещества в почвените и повърхностните води или почвите, от замърсяването на източниците на питейна вода, както и от неправилно депониране на отпадъците (вкл. строителни). Също така, няколко индикатора за деклариране на токсични свойства са включени в последната версия на EN 15804+A2:2019 за екологични декларации на строителни продукти (Environmental Product Declaration – EPD) [6]. Оценката на токсичността е задължителна част също от пилотните правила за сертификатите за екологичен отпечатък на продуктите (Product Environmental Footprint – PEF) [7].

Проблеми с токсичността на строителните материали могат да се очакват при по-стари сгради, при чието строителство не е имало подобни строги изисквания, а съставът на строителните продукти и методите за тяхното третиране не са били обект на токсикологичен контрол. Доста често при ремонт и реконструкция на стари сгради липсва и техническа документация, което допълнително затруднява идентифицирането на възможни опасни свойства при строителните материали.

## **2. Токсикологична характеристика на тежките метали**

Тежките метали се дефинират като метални елементи, които са с относително висока плътност от водата [8] и притежават токсични свойства. Елементите, които се включват в тази група са цинк (Zn), мед (Cu), олово (Pb), кадмий (Cd), хром (Cr), никел (Ni), кобалт (Co), манган (Mn), молибден (Mo), селен (Se) и живак (Hg). Към тях, заради високата си маса, обикновено се причислява и арсенът (As), макар той по принцип да се класифицира между металните и неметалните елементи.

Тежките метали имат неблагоприятни последици за здравето на хората. Според Световната здравна организация As, Pb, Hg, и Cd са от основна значимост, защото

причиняват сериозни увреждания дори при ниски нива на излагане, тъй като могат да се натрупват в организмите, което ги прави особено опасни. Cr, Ni, Zn, Cu, Fe са също токсични, но при по-високи нива на експозиция.

Основните механизми на експозиция са поглъщане, вдишване и чрез кожен контакт. Тежестта на уврежданията зависи от вида на метала, химическата му форма, продължителността на експозиция и големината на приетата доза.

Макар основният механизъм на приемане да е чрез вдишване, значителна част от тежкия метал може да постъпи в тялото и чрез кожата – например често срещаният дерматит при строителните работници е в резултат от контакта с хром, който присъства в цимента. Неблагоприятните ефекти от излагането на хром включват и бъбречни увреждания, алергии, астма и рак на дихателните пътища. Редица изследвания [9 – 13] разглеждат вредите върху човешкото здраве и екосистемите вследствие на използването на тежки метали в строителните материали и елементи. Токсикологичните характеристики на някои тежки метали са обобщени в таблица 1.

**Таблица 1. Токсикологични свойства на някои тежки метали [9 – 13]**

<b>Метал (означение)</b>	<b>Токсични свойства</b>
Арсен (As)	Токсичен при вдишване и поглъщане. Ракообразуващ при човека и токсичен за водните организми.
Кадмий (Cd)	Токсичен, ракообразуващ, натрупва се доживотно в организмите (основно в черния дроб и бъбреците). Причинява мулти-органни увреждания: бъбреци, черен дроб, бели дробове, мозък, сърце, централна нервна система.
Хром (Cr)	Някои съединения на хром са алергени, а други са ракообразуващи; опасен за водните екосистеми.
Мед (Cu)	Натрупва се в растения и животни; може да повлияе върху растежа на растенията, някои медни съединения са отровни за водните организми.
Олово (Pb)	Може да причини сериозни здравни последици (анемия, бъбречни увреждания), а при продължително излагане води до невротоксични и имунологични заболявания, нарушения във фертилитета и интелектуалното развитие. Нанася вреди върху биосинтеза на хемоглобин, метаболизма на витамин D, стомашно-чревни раздразнения, главоболие, мускулни болки, загуба на памет, енцефалопатия и др. Оловото може да се натрупва в костите и мастните тъкани и да се отдели по време на бременност.
Живак (Hg)	Силно токсичен: води до нарушения в централната нервна система, както и до алергични реакции.
Цинк (Zn)	Някои съединения са летливи и се разнасят по въздух. Hg е токсичен за нервната система, бъбреците, стомашно-чревната система.
Антимон (Sb)	Токсичен дори при малки концентрации: потенциално ракообразуващ, причинява раздразнения по кожата, увреждания на бъбреците и др.

### **3. Тежки метали в строителните материали**

#### **3.1. Източници**

Тежките метали намират разнообразни приложения в строителството, като най-честите от тях са систематизирани в таблица 2. Изясняването на токсичните свойства спрямо човека и екосистемите наложи редица забрани при използването на тежките метали. Ограниченията за оловото започват от 70-те години на 20-и век [14] и в днешно

време оловото в строителните продукти, ако изобщо присъства, е в много ниски концентрации. Сградите, обаче, в които някога са използвани олово-съдържащи материали, и в момента са потенциален източник на оловен прах от ронещи се стенни покрития, подкожурена боя по метални съоръжения и инсталации и др. п. Оловният прах може да се разпростре в почвите около сградата и да се стигне до вторично замърсяване на иначе чисти повърхности. Наредба 3 на МОСВ от 2008 г. дава представа за ориентировъчни прагове [15] за предохранителните, максимално допустимите и интервенционните концентрации на тежки метали в почвите. По официална статистика, най-големият източник на оловна експозиция при децата са именно ронещите се бои в сградите и детските площадки, където има отлагания на оловен прах [14].

**Таблица 2. Източници на тежки метали в строителни приложения [9 – 12]**

Метал	Приложение
Арсен (As)	- Препарати за импрегниране на дървесина (хромиран меден арсенат).
Кадмий (Cd)	- Стабилизатор при поливинилхлорид; - Пигменти; - За повърхностна обработка на сградни елементи и метални листове; - Легиращ елемент; - Глазиращи покрития при керамични материали; - Батерии.
Хром (Cr)	- Легиращ елемент за стомана и други метали – защита от корозия и окисляване; - Пожароустойчиви приложения (леярски пясък); - Добавка при бои (хромови багрила и пигменти); - Препарати за импрегниране на дървесина; - Промислено заваряване на стоманени елементи; - Цименти.
Мед (Cu)	- Покривни плочи и фасадни елементи; - Тръби; - Сплави; - Електрически кабели; - Бои; - Препарати за импрегниране на дървесина.
Олово (Pb)	- Бои; - Покрития; - Разтвори; - Бетони; - ВиК елементи.
Живак (Hg)	- Електрическо оборудване; - Флуоресцентни крушки; - Консерванти в бои (в миналото).
Цинк (Zn)	- Покрития при желязо и стомана (галванизирание) за защита от корозия; - Бои; - Покривни и цинкови плоскости.
Антимон (Sb)	- Забавители на горенето; - Легиращ елемент; - Пигменти; - Керамични материали.

Понякога присъствието на тежки метали в строителните продукти може да се дължи и на косвени процеси, например от оползотворяването на промишлени отпадъци в циментопроизводството – от една страна, за замяна на конвенционалното гориво (природен газ) с алтернативно (гориво от отпадъци, т.нар. RDF), а от друга – за замяна на клинкера с летящи пепели, доменни шлаки и др. [16]. Установено е, че използването на вторични горива може да доведе до завишено съдържание на антимион и цинк в цимента, докато използването на минерални добавки води до леко завишено съдържание на кобалт, олово и кадмий. Този ефект се пренася съответно върху бетоните, разтворите, мазилките и другите цимент-съдържащи материали. В някои изследвани циментови разтвори е установено съдържание на олово над 3000 mg/kg [17], което се счита за доста високо и може да класифицира материала като токсичен съгласно Европейския списък на отпадъците (Решение 2000/532/ЕО) [18].

Косвена представа за съдържанието на тежки метали дават и забраните, заложи в системите за сертифициране на устойчиво строителство. Например в немската система DGNB, съгласно критерий ENV 1.2 „Рискове за местната околна среда“, не се допуска използване на съединения, съдържащи олово, кадмий или шествалентен хром за покрития на метални елементи при фасади или радиатори [19]. Въведено е ограничение от 0,1 % за съдържанието на олово и калай в продукти на полимерна основа (напр. подови покрития, тънки покривни слоеве или прозорци). Има ограничения за съдържанието на тежки метали и при облицовки от алуминий и неръждаема стомана, както и за покривни покрития, улуци и водосточни тръби.

Към REACH има добавен Анекс XVII, който дава пределни стойности за някои тежки метали [3]:

**Таблица 3. Допустими стойности по REACH за съдържание на някои тежки [3]**

Тежък метал	Праг
Арсен (As)	Не се разрешава.
Кадмий (Cd)	≤ 0,01 % (100 mg/kg) за бои, пластмаси.
Олово (Pb)	0,05 % (500 mg/kg) за изделия за широка употреба; < 0,009 % (90 mg/kg) за бои и подобни покрития при всякакви детски продукти и някои мебели.
Хром (Cr, разтворим VI валентен)	≤ 0,0002 % (2 mg/kg) за цимент и цимент-съдържащи смеси.

### 3.2. Механизми на замърсяване с тежки метали

Както беше споменато, тежките метали могат да присъстват в широк спектър строителни продукти. Много често те са изложени на външни въздействия от околната среда, които водят до стареене и корозия на материала – например при покривни и фасадни елементи, водопроводни инсталации и др. Това може да доведе до отделяне (разпрашаване, излужване) на тежки метали в околната среда. Освен самите метални елементи в сградите, източник на емисии на тежки метали могат да бъдат и други материали като бои, пластмаси и др. Някои изследвания [20] установяват изтичане на цинк от галванизирани стомана и бои, олово от ПВЦ елементи и бои, хром от бетонни плочки, никел от покривни битумни мембрани и стари бетонни плочки, както и на мед от

стари бетонни плочки. Други автори [21] проучват влиянието на различния състав на инфилтратата върху способността и интензитета на отделяне на тежки метали от различни бетонни състави. Оказва се, че излужването зависи от състава на бетона (водо-циментно отношение, респективно порьозност, наличие на минерални добавки в цимента и др.), както и от твърдостта на водата, респ. концентрацията на калциеви йони.

Процесът на замърсяване с тежки метали, вследствие на стареене и корозия на материалите, е сложен процес и зависи от множество фактори: разрушителни въздействия от агресивни среди, реактивност на различни химични съединения, промени в температурата, рН, замърсяване на въздуха, интензитет и химически състав на дъждовните води, наклон и ориентация на повърхностите, възраст на самия материал и продължителността на експлоатация [20, 22]. Механизмът на отделяне на емисиите може да бъде различен в зависимост от формата и размерите на строителния елемент – при монолитни елементи излужването е в резултат на повърхностно отмиване, дифузия и процес на разтваряне [22].

Понякога наличието на тежки метали в материалите се дължи на специфичното предназначение и режим на експлоатация на сградата. При обследване на някои промишлени сгради е установено, че проникването на разтвори, съдържащи тежки метали, може да достигне до дълбочина от 2 cm и да доведе до значителни замърсявания на строителните отпадъци впоследствие; при липса на защита или при недостатъчни защитни мерки замърсяването може да достигне и по-големи размери [23]. В такива случаи е важно да се направи предварително проучване на потенциално замърсени участъци и да се предприемат подходящи действия по селективно разрушаване и разделно събиране на отпадъците, за да се избегне разпространение на замърсяването при ремонт, реконструкция или премахване на сградата.

## **4. Методи за идентифициране на тежки метали в строителните материали**

### **4.1. Безразрушителни методи (in-situ)**

Обследването in-situ включва предварително запознаване с проектната документация, експлоатационния режим на сградата, разположението на различните помещения, апаратура, складове и др. Безразрушителните методи се използват основно с цел идентифициране на потенциално замърсени участъци при сгради, за които са планирани ремонтни дейности, обновяване или пък промяна в предназначението. На пазара са налични различни преносими уреди за изследване на съдържанието на тежки метали, като например портативните рентгено-флуоресцентни (XRF) анализатори. XRF спектрометрията представлява аналитичен метод, който се базира на принципа, че когато отделните атоми са възбудени от външен източник на енергия, те излъчват рентгенови фотони със специфична енергия и дължина на вълната [23].

Предимство на безразрушителните методи е, че не се налага предварителна подготовка на пробата и времетраенето на изследването е кратко. Недостатък е обаче, че резултатите силно зависят от състоянието на пробата (твърдо, прахообразно), което определя и дълбочината на проникване на лъча. Освен това не винаги вградените калибровки отговарят на средата, в която протича изпитването на място. За да се получат достоверни резултати, често са необходими допълнителни изчисления [24].

## 4.2. Лабораторни методи

Различни лабораторни методи могат да се използват за идентифицирането на тежки метали. Обикновено пълният количествен анализ се съпътства и от изпитване за излужване. Количественият анализ може да се направи с микровълново разлагане, смесено киселинно разлагане, индуктивно-свързана плазма (Inductive Coupled Plasma – ICP) или с лабораторен XRF уред [23].

При микровълновото разлагане тежките метали се разтварят най-често в силна киселина в затворен съд, при повишена температура и налягане и под действието на микровълново лъчение [25]. Тази процедура обикновено предшества количественото измерване на съдържанието на тежки метали с някой от другите известни методи. Подобно е приложението и на смесеното киселинно разлагане. Киселинните атаки с азотна, перхлорна или флуороводородна киселина водят до разпадането на много минерали, включително силикати. Изследването позволява почти напълно идентифициране на повечето елементи, присъстващи в ниски или много ниски концентрации.

ICP е аналитичен метод, който се използва за измерване и идентифициране на елемент, като причинява пълен разпад на дадена проба до съставните ѝ елементи чрез гореща плазма, превръщайки ги в йони [26]. Обикновено ICP се прилага в комбинация с т.нар. масспектрометър (MS), който разделя йоните въз основа на отношението маса:заряд, след като преминат през ICP. ICP-MS системите позволяват откриване на елементи в малки концентрации в малки проби от материала.

Основният принцип на XRF изпитването е представен в т. 4.1. Лабораторните XRF уреди предоставят по-широки възможности за приложение и по-висока точност поради контролираните параметри на средата, в която протича изследването. Рентгено-флуоресцентният анализ може успешно да се използва за идентифициране на сплави и отделни елементи, също и за определяне на дебелините на покритията (напр. бои, лакове, галванизационни покрития и др.). XRF може да се използва както при твърди, така и при прахообразни материали, но и в двата случая е желателно те да са оформени с плоска повърхност и да са достатъчно плътни, за да могат да абсорбират лъчението. Уредът за измерване трябва да се намира в директен контакт с изпитвания образец, за да се осигури непрекъснатост (повторяемост) на рентгеновите лъчи. XRF не е достатъчно надежден, ако средата е нехомогенна и ако търсеното вещество е в малки концентрации.

Съществуват и други охарактеризиращи методи за откриване на тежки метали. Например Cd и Hg могат да се идентифицират с атомно-абсорбционна спектроскопия (Atomic Absorption Spectroscopy – AAS) след топлинна обработка [27]. Предимство на този метод е ниската граница на откриване и високата чувствителност, а основен недостатък е, че топлинната обработка може да повреди пробата и да промени физико-механичните ѝ свойства. AAS е предпочитан пред XRF при обследването на летящите пепели именно заради високата чувствителност на уреда и неравномерното разпределение на замърсителите.

Друг подходящ метод за тежки метали е атомната флуоресцентна спектроскопия (Atomic Fluorescence Spectrometry – AFS). AFS използва дължината на вълната и интензитета на спектралните линии на атомната флуоресценция. Атомите се възбуждат до по-високи енергийни нива и след това се дезактивират чрез радиация. При прехода от по-високи към по-ниски енергийни нива се излъчва светлина (флуоресценция) и интензитетът на този сигнал е линейно свързан със съдържанието на елемента, който трябва да се измери в пробата [28]. AFS може да се използва за откриване на As, Sb, Bi, Hg, Ge, Pb, Sn, Se, Te, Zn, Cd и Cu с много ниска граница на откриване (ppb). Подобно на AAS, AFS също изисква предварителна подготовка на пробата.

Атомно-емисионният спектрален анализ (Atomic Emission Spectrometry – AES) е метод за установяване на елементния състав на пробите. Отличава се с високата чувствителност и възможното едновременно възбуждане на около 70 елемента. AES е подходящ за бърз обзорен анализ на елементното съдържание на малки проби при нива от около 10 µg/g и дори по-ниски [29]. Този метод може да се използва успешно при определянето на елементи с високо, средно и ниско съдържание. Ограничението на уреда се състои в това, че достоверността на резултатите зависи силно от калибровката. Разликите в стойностите между различните калибровки могат да достигнат 2 – 5 пъти [27]. Съответно, при несъответствие между калибровката и реалния диапазон в пробата, могат да се получат доста неточни резултати.

## 5. Лабораторни изследвания и резултати

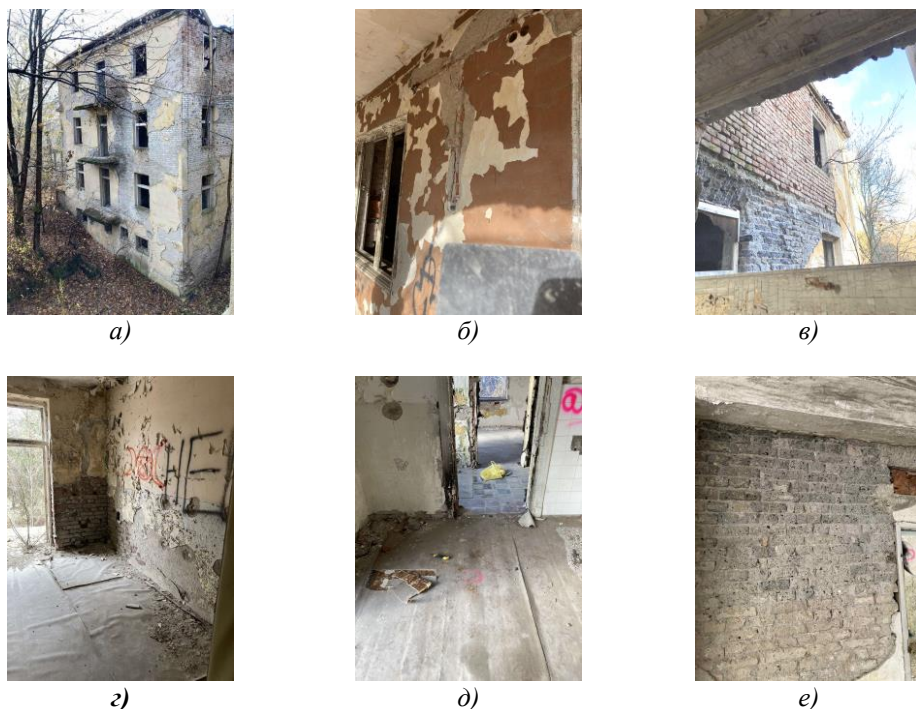
В рамките на работната програма по проект БН 260-22 към ЦНИП при УАСГ бе извършено обследване на обществена сграда в гр. Баня – Кооперативна палата „Царевец“, строена в началото на XX век – фиг. 1. Понастоящем сградата е изоставена, ограбена и се руши – фиг. 2. Направено е пробовзимане от няколко материала – фасадна мазилка, боя по дограма, вътрешни мазилки, подови покрития и зидарийни тела със сгуропепелина – фиг. 3. Част от пробите са изследвани за наличие на някои тежки метали: As, Cd, Pb, Cr (общ). Пробите са изпитани в акредитирана лаборатория „Евротест-контрол“ ЕАД, с приложение на стандартни методи и високотехнологично лабораторно оборудване (ICP–AES, IC, XRF).



Фиг. 1. Кооперативна палата „Царевец“, гр. Баня, началото на XX век [30]



Фиг. 2. Бившата Кооперативна палата „Царевец“, гр. Баня, началото на XXI век (снимка: ноември 2022г.)



**Фиг. 3. Места на пробовзимане**

*а) външна мазилка, б) вътрешна мазилка, в) прозоречна дограма, г) линолеум,  
д) подови пластмасови плочи, е) зидарийни тела със сгуропелина*

**Таблица 4. Резултати от обследването за тежки метали на старата сграда в гр. Баня**

Метал	Мерна единица	Съдържание				
		Фасадна мазилка	Вътрешна мазилка	Зидарийни тела	Боя по дограма	Подови пластмасови плочи
As	mg/kg	53 ± 8	7 ± 1	67 ± 10	23 ± 3	51 ± 8
Cd	mg/kg	< 1,0	27 ± 4	1,4 ± 0.2	11 ± 2	< 1,0
Pb	mg/kg	791 ± 79	3034 ± 152	40 ± 6	6884 ± 344	13 ± 2
Cr (общ)	mg/kg	47 ± 7	304 ± 30	23 ± 3	613 ± 61	203 ± 20

Резултатите са представени в табл. 4. И при петте проби са открити тежки метали, но в различна концентрация. Забраненият понастоящем арсен [3] е в най-голямо количество при зидарийните тела, фасадната мазилка и пластмасовите подови плочи. Кадмият е значим при вътрешната мазилка и боята по дограмата, но е под прага съгласно [3]. Най-сериозно е замърсяването с олово, особено в боята по дограмата и вътрешната мазилка, където прагът по REACH е надвишен съответно близо 70 и 30 пъти. Следва да се отбележи, че ограничението може да варира в различните държави. За разлика от страните от ЕС, в някои страни от Южна Америка и Африка допустимото съдържание на олово в боята не трябва да надвишава 600 ppm, а на други места границата е дори още по-

висока – 1000 ppm [31]. Фасадната мазилка също е с повишено съдържание на Pb. Високият порядък на съдържанието на олово при вътрешната мазилка и боята от дограма се дължат вероятно на използваните оцветяващи пигменти в тях.

По отношение на хрома, определено е общото количество, включващо III- и VI-валентен хром, докато при REACH ограниченията засягат само VI-валентния Cr, тъй като е канцерогенен. Съдържанието на общ Cr се ограничава от наредбите, свързани със замърсяванията на почвите [15] и с депонирането на отпадъци [32]. Според Наредба № 6 за депата [32], за да бъдат депонирани като инертни, съдържанието на общ Cr не бива да надвишава 0,2 – 0,5 mg/kg, в зависимост от метода на изпитване, а за да се считат за неопасни, то трябва да е по-ниско от 4 – 10 mg/kg. Следователно, въпреки различията в методите на изпитване, може обосновано да се предположи, че съдържанието на общ Cr също е доста високо.

При отчитане на степента на разрушаване и разпрашаване на мазилките и боите, става ясно, че вероятно голяма част от съдържащите се в тях тежки метали са попаднали в почвата около сградата, а оттам са излужени към почвените води. Това изследване е илюстрация на проблемите, свързани с тежките метали, които би следвало да се решават при извършване на строително-ремонтни дейности и разрушаване на стари сгради. У нас, за съжаление, тези проблеми са напълно negliжирани.

## 6. Заключение

Много от строителни материали са източници на тежки метали. Тежките метали са били използвани в миналото като стабилизиращи вещества, пигменти, защитни и антикорозионни покрития, легиращи елементи, в импрегнатори за дървесина и др. След установяването на тяхната висока токсичност за човешкото здраве и за екосистемите, някои от металите са забранени за употреба, а за други са въведени ограничения при използването. Въпреки това, при по-стари сгради, които подлежат на ремонт, рехабилитация или разрушаване, е доста вероятно да бъде установено наличие на тежки метали в големи концентрации. Изпитаните образци от различни строителни материали, вложени в сградата, строена в началото на XX век, показват високо съдържание на As, Cd, Pb и Cr. Въпреки тяхната ограниченост, тези резултати са добра илюстрация на проблемите, свързани с тежките метали, които би следвало да се решават при извършване на строително-ремонтни дейности и разрушаване на стари сгради.

Понастоящем науката предоставя различни методи за идентификация на тежките метали и за количественото им определяне, както *in situ*, така и в лабораторни условия. Комбинираното използване на двата подхода позволява предварително да се очертаят проблемните зони в такива сгради, както и да се предприемат адекватни мерки за третиране на потенциално опасните сградни елементи с цел превенция на замърсяването на сградната и околната среда, максимално оползотворяване на строителни отпадъци и безопасни условия на труд.

Представеният анализ и резултати обосновават необходимостта от провеждане на по-нататъшни изследвания по темата, систематизиране на данните за строителните материали, използвани в България, и разработването на национални предписания.

## Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН 260/2022 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Bradl, H.* Heavy metals in the environment: origin, interaction and remediation, Vol. 6. Academic Press, 2005.
2. *Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., Sutton, D. J.* Heavy Metal Toxicity and the Environment, 2012, pp. 133–164. doi: 10.1007/978-3-7643-8340-4\_6.
3. ECHA, Annex XVII to REACH – Conditions of restriction: Restrictions on the manufacture, placing on the market and use of certain dangerous substances, mixtures and articles, Entry 63.
4. European Commission, Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste, 2018.
5. European Commission, Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC, Brussels, Belgium, 2011.
6. BDS EN 15804:2012+A2:2020 Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products.
7. European Commission, PEFCR Guidance document, Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3, Brussels, Belgium, 2017.
8. *Chaney, R. L.* The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact, and Health Effects, *J Environ Qual*, vol. 20, no. 4, pp. 876–876, Oct. 1991, doi: 10.2134/jeq1991.00472425002000040028x.
9. *Wahlström, M., Teittinen, T., Kaartinen, T., van Cauwenberghe, L.* Hazardous substances in construction products and materials: PARADE. Best practices for Pre-demolition Audits ensuring high quality RAW materials, 2019.
10. *Pacheco-Torgal, F., Jalali, S., Fucic, A., Editors.* Toxicity of building materials. Woodhead Publishing Limited, 2012.
11. *Habib, Md. A., Bahadur, N. M., Mahmood, A. J., Islam, Md. A.* Immobilization of heavy metals in cementitious matrices, *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 16, no. 3, pp. 263–269, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.jscs.2011.01.008.
12. *Rivera-Utrilla, J., Sánchez-Polo, M.* Adsorption of Cr(III) on ozonised activated carbon. Importance of  $C\pi$ -cation interactions, *Water Res*, vol. 37, no. 14, pp. 3335–3340, Aug. 2003, doi: 10.1016/S0043-1354(03)00177-5.
13. *Oteyola, A. O., Ola-Oladimeji, F. A.* Heavy Metal Contamination from Construction Materials, in *Ecological and Health Effects of Building Materials*, Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 113–131. doi: 10.1007/978-3-030-76073-1\_7.
14. EPA 2003/4, Managing Lead Contamination in Home Maintenance, Renovation and Demolition Practices. A Guide for Councils., Sydney, Australia, 2003. [Online]. Available: <https://www.environment.nsw.gov.au/resources/pesticides/03004managinglead.pdf>.
15. Ministry of environment and water, Ordinance No. 3 of 1 August 2008 on the norms for permissible content of harmful substances in soil, last amendment: State Gazette, issue 71 of 12 August 2008, 2008.

16. Achternbosch, M., Bräutigam, K.-R., Hartlieb, N., Kupsch, C., Richers, U., Stemmermann, P. Heavy Metals in Cement and Concrete Resulting from the Co-incineration of Wastes in Cement Kilns with Regard to the Legitimacy of Waste Utilisation, 2003.

17. Prieto-Taboada, N., Ibarrondo, I., Gómez-Laserna, O., Martínez-Arkarazo, I., Olazabal, M. A., Madariaga, J. M. Buildings as repositories of hazardous pollutants of anthropogenic origin, *J Hazard Mater*, vol. 248–249, pp. 451–460, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.jhazmat.2013.01.008.

18. European Commission, Commission Decision of 3 May 2000 replacing Decision 94/3/EC establishing a list of wastes pursuant to Article 1(a) of Council Directive 75/442/EEC on waste and Council Decision 94/904/EC establishing a list of hazardous waste pursuant to Article 1(4) of Council Directive 91/689/EEC on hazardous waste, 2000.

19. greenbuildingproducts.eu, Heavy metals in building products – requirements in the DGNB system, 2017. <https://www.greenbuildingproducts.eu/heavy-metals-in-building-products-requirements-in-the-dgnb-system/?lang=en>.

20. Persson, D., Kučera, V. Release and flows of metals from building materials due to corrosion and degradation., Stockholm, Sweden, 1998.

21. Hartwich, P., Vollpracht, A. Influence of leachate composition on the leaching behaviour of concrete, *Cem Concr Res*, vol. 100, pp. 423–434, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.cemconres.2017.07.002.

22. Krol, A. Problems of assessment of heavy metals leaching from construction materials to the environment, *Architecture, Civil Engineering, Environment*, vol. 4, no. 3/2011, pp. 71–76, 2011.

23. Youcai, Z., Sheng, H. Sampling Techniques and Equipment for Construction and Demolition Waste, in *Pollution Control and Resource Recovery*, Elsevier, 2017, pp. 15–33. doi: 10.1016/B978-0-12-811754-5.00002-6.

24. Zaharieva, R., Kancheva, Y., Kamenov, K., Tomov, V., Lyubomirova, V. Challenges in Using Handheld XRFs for In Situ Estimation of Lead Contamination in Buildings, *Processes*, vol. 10, no. 5, p. 839, Apr. 2022, doi: 10.3390/pr10050839.

25. Liebezeit, S., Mueller, A., Leydolph, B., Palzer, U. Microwave-induced interfacial failure to enable debonding of composite materials for recycling, *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 14, pp. 29–36, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.susmat.2017.08.002.

26. Wilschefski, S., Baxter, M. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: Introduction to Analytical Aspects, *Clinical Biochemist Reviews*, vol. 40, no. 3, pp. 115–133, Aug. 2019, doi: 10.33176/AACB-19-00024.

27. Huang, Z., Liu, K., Duan, J., Wang, Q. A review of waste-containing building materials: Characterization of the heavy metal, *Constr Build Mater*, vol. 309, p. 125107, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125107.

28. Antitek, Atomic Fluorescence Spectrometry <https://antiteck.com/bg/атомна-флуоресцентна-спектроскопия-2/> (last accessed on 29.12.2022).

29. University of Chemical Technology and Metallurgy – Central Research Laboratory. <https://uctm.edu/bg/component/sppagebuilder/?view=page&id=295> (last accessed on 29.12.2022).

30. Old Sofia. <http://stara-sofia.com/bankya.html> (accessed Dec. 30, 2022).

31. United Nations Environment Programme, Update on the Global Status of Legal Limits on Lead in Paint: September 2017, 2017.

32. Ordinance No. 6 of 27.08.2013 on the conditions and requirements for the construction and operation of landfills and other facilities and installations for the recovery and disposal of waste, last amendment: State Gazette, issue 13 of 7.02.2017, 2013.

## METHODS FOR IDENTIFICATION OF HEAVY METALS IN CONSTRUCTION MATERIALS

**Y. Kancheva<sup>1</sup>, R. Zaharieva**

*Keywords: construction materials, toxicity, heavy metals, identification*

### ABSTRACT

Understanding the toxicological characteristics of construction materials is of prime importance for ensuring safe labour conditions, healthy indoor environment for inhabitants and sustainable construction waste management. This paper describes the toxicological properties of construction materials in terms of lead (Pb), chromium (Cr) and cadmium (Cd) and presents an overview of the existing methods for their identification. Use of heavy metals is currently prohibited, but, due to their wide application in the past, buildings containing such materials are at the moment a source of exposure to heavy metals. The paper also makes an overview of published case studies investigating the presence of heavy metals in building elements.

---

<sup>1</sup> Yana Kancheva, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Applied Geodesy", UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: [kancheva\\_fgs@uacg.bg](mailto:kancheva_fgs@uacg.bg)

<sup>2</sup> Roumiana Zaharieva, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Building Materials and Insulations", UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: [zaharieva\\_fce@uacg.bg](mailto:zaharieva_fce@uacg.bg)