

Факултет Пољопривредни

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области
биотехничких наука

32/10-5.5.

(Број захтева)

28.09.2022.

(Датум)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

„Утврђивање прага токсичности никла за биљке применом ДТРА као средства за његову
екстракцију из земљишта”

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ

Управљање земљиштем и
водама

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

1.

Матија, Драган, Крповић

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета,
студијски програм):

Пољопривредни факултет, Пољопривреда

Универзитет у
Београду

3. Година завршетка

претходног нивоа студија: 2020.

4. Година уписа на докторске студије: 2020/2021.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Пољопривредне науке, модул Управљање земљиштем и
водама

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: др Светлана Антић - Младеновић,

Звање: ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације

1. Antić-Mladenović, S., Kresović, M., Čakmak, D., Perović, V., Saljnikov, E., Ličina, V., Rinklebe, J. (2019). Impact of a severe flood on large-scale contamination of arable soils by potentially toxic elements (Serbia). *Environmental Geochemistry and Health*, 41 (1), 249–266. doi.org/10.1007/s10653-018-0138-4 11
2. Saljnikov, E., Mrvić, V., Čakmak, D., Jaramaz, D., Perović, V., Antić-Mladenović, S., Pavlović, P. (2019). Pollution indices and sources appointment of heavy metal pollution of agricultural soils near the thermal power plant. *Environmental Geochemistry and Health*, 41 (5), 2265–2279. doi.org/10.1007/s10653-019-00281-y
3. Čakmak, D., Perović, V., Antić-Mladenović, S., Kresović, M., Saljnikov, E., Mitrović, M., Pavlović, P. (2018). Contamination, risk, and source apportionment of potentially toxic microelements in river sediments and soil after extreme flooding in the Kolubara River catchment in Western Serbia. *Journal of Soils and Sediments*, 18: 1981–1993. doi.org/10.1007/s11368-017-1904-0
4. Antić-Mladenović, S., Frohne, T., Kresović, M., Stärk, H.-J., Savić, D., Ličina, V., Rinklebe, J. (2017). Redox-controlled release dynamics of thallium in periodically flooded arable soil. *Chemosphere* 178: 268–276. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.060
5. Antić-Mladenović, S., Frohne, T., Kresović, M., Staerk, H.-J., Tomić, Z., Ličina, V., Rinklebe, J. (2017). Biogeochemistry of Ni and Pb in a periodically flooded arable soil: Fractionation and redox-induced (im)mobilization. *Journal of Environmental Management*, 186, 141-150. doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.005

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Пољопривредног факултета

на седници одржаној 28.09.2022. размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Душан Живковић

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије

Универзитет у Београду
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ
Број: 32/10-5.5.
Датум: 28.09.2022. године
БЕОГРАД-ЗЕМУН

На основу члана 51. и 52. Правилника о правилима докторских академских студија и члана 44. Статута Пољопривредног факултета, Наставно-научно веће факултета на седници одржаној 28.09.2022. године, донело је

О Д Л У К У

I ПРИХВАТА СЕ тема докторске дисертације коју је поднео **МАТИЈА КРПОВИЋ**, мастер и одобрава израда дисертације под насловом: **«УТВРЂИВАЊЕ ПРАГА ТОКСИЧНОСТИ НИКЛА ЗА БИЉКЕ ПРИМЕНОМ ДТРА КАО СРЕДСТВА ЗА ЊЕГОВУ ЕКСТРАКЦИЈУ ИЗ ЗЕМЉИШТА»**.

II За ментора се именује др Светлана Антић - Младеновић, ванредни професор Универзитета у Београду - Пољопривредног факултета.

III На одлуку о прихватању теме докторске дисертације и одређивању ментора сагласност даје одговарајуће Веће научних области Универзитета у Београду.

Образложење

Наставно-научно веће факултета разматрало је и усвојило Извештај о позитивној оцени научне заснованости теме докторске дисертације коју је поднео Матија Крповић, мастер.

Наставно-научно веће факултета је приликом доношења одлуке оцењивало да ли је реч о оригиналној идеји и да ли је тема од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

Сходно изнетом одлучено је као у диспозитиву.

**ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО-НАУЧНОГ ВЕЋА
ДЕКАН**

(Проф. др Душан Живковић)

Доставити: кандидату, ментору, Институту за земљиште и мелиорације, Студентској служби и архиви.

Универзитет у Београду
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

Број:12/290

Дана 21.06.2022. године

Београд - Земун

НАСТАВНО – НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА

Предмет: Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Матије Крповића, мастер инжењера пољопривреде

На основу члана 44. Став 1. Правилника о правилима докторских студија Пољопривредног факултета, а на предлог а на предлог Наставно-научног већа Катедре за агрохемију и физиологију биљака и мишљења Наставно-научног већа Института за земљиште и мелиорације, Наставно-научно веће факултета на седници одржаној 25.05.2022. године, донело је одлуку бр. 32/8-3.2. да се образује Комисија за оцену научне заснованости теме докторске кандидата Матије Крповића, мастер инжењера пољопривреде, под насловом „Утврђивање прага токсичности никла за биљке применом ДТРА као средства за његову екстракцију из земљишта“.

Кандидат је дана 07.06.2022. године одбранио пријављену тему докторске дисертације, а потписан записник достављен је Студентској служби дана 08.06.2022. године. Председник Комисије, др Мирјана Кресовић, редовни професор, (Одлука број 12/254, од 08.06.2022. године) подноси

ИЗВЕШТАЈ

1. Основни подаци о кандидату и дисертацији

1.1. Биографија кандидата

Матија Крповић, мастер инжењер, рођен је 21.3.1994. године у Пријепољу, где је завршио основни и средњу школу. Основне академске студије завршио је 2017. године, на Технолошко – металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Инжењерство материјала, са просечном оценом 9,00. Мастер академске студије завршио је 2018. године на Технолошко – металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Хемијско инжењерство, са просечном оценом 9,75. Друго звање мастер инжењера, Матија Крповић је стекао 2020. године на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Пољопривреда, модул Мелиорације земљишта, са просечном оценом током студија 9,57. Школске 2020/2021. године, уписао је докторске студије на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Пољопривредне науке, модул Управљање земљиштем и водама и на основним студијама, до сада, остварио 62 ЕСПБ.

У току мастер студија на Технолошко – металуршком факултету, Матија Крповић је радио као демонстратор на вежбама на Катедри за општу и неорганску хемију. Такође, током мастер студија на Технолошко – металуршком факултету, као и по њиховом завршетку, радио је и као волонтер на Институту за јавно здравље Србије „др Милан Јовановић Батут“, све до заснивања радног односа на Пољопривредном

факултету Универзитета у Београду 2019. године, након избора у звање сарадника у настави за ужу научну област Агрохемија. У звање асистента за исту ужу научну област, Матија Крповић изабран је 2021. године.

Од избора у сарадничка звања, Матија Крповић активно учествује у наставном, истраживачком и стручном раду који се, у оквиру области Агрохемија, одвија на Катедри за агрохемију и физиологију биљака Пољопривредног факултета Универзитета у Београду. У наставној делатности, Матија Крповић изводи практичну наставу и колоквијуме из предмета: Хемија земљишта, Агрохемија и Фертилизације. У истраживачком раду, као аутор или коаутор, саопштио је пет научних радова на међународним и националним научним скуповима (Прилог 1). Саопштени резултати односе се, једним делом, на хемију никла у земљишту, са посебним акцентом на његову приступачност за биљке, а другим делом на својства и могућности практичне примене природних зеолита у различитим областима.

Матија Крповић поседује активно знање енглеског језика, као и рада на рачунару (Microsoft Office, MatLab i Origin pro). Члан је Српског друштва за проучавање земљишта.

1.2. Предлог теме докторске дисертације

Предложени наслов теме докторске дисертације “Утврђивање прага токсичности никла за биљке применом ДТРА као средства за његову екстракцију из земљишта” у потпуности одговара предвиђеним циљевима дисертације, програму, предмету и плану истраживања.

2. Предмет и циљ дисертације

2.1. Предмет и програм истраживања

Предмет ове дисертације је коришћење раствора ДТРА (диетилентриаминопентасирћетна киселина), као агенса за екстракцију оног дела никла из земљишта који се сматра приступачним и потенцијално приступачним за биљке, као и могућност примене овог екстракционог средства у одређивању прага токсичности никла за биљке.

Кандидат наводи да се никл у земљишту јавља из природних и антропогених извора. Примарни минерали магматских стена, које чине матични супстрат на коме је земљиште образовано представљају основни природни (геохемијски) извор никла у земљишту. Највеће концентрације никла утврђене су у ултрабазичним магматским стенама, односно у стенама са малим садржајем SiO_2 , као што су перидотит, дунит и пироксенит. Садржај никла у овим стенама креће се у интервалу 140 - 2000 mg/kg (McGrath и 1995), пре свега, због октаедарке координације никла у феро-магнезијским минералима, као што су: оливин, хорнбленда, биотит и аугит. Секундарни минерали, природни носиоци никла су: хидроксиди Fe и Mn (и могуће Ti и Al), као и филосиликати триоктаедарске грађе – серпентин (1:1), сапонит, смектити и вермикулит (2:1) (Decarreau et al., 1987). Никл се налази и у секундарним минералима латеритима (Plant and Raiswell, 1983), који настају продуженим распадањем ултрабазичног перидотита.

Најзначајнији антропогени извор никла у земљишту су топионице бакра и никла, док је сагоревање фосилних горива на другом месту по емисији никла у животну средину. Такође, у значајне антропогене изворе никла убрајају се и металуршка индустрија и отпадни муљеви из различитих извора (Kabata-Pendias and

Mukhejee, 2007).

Процене ризика у животној средини које се односе на земљишта са високим садржајима тешких метала се често заснивају на њиховим укупним садржајима у земљишту (Antoniadis et al., 2019). У Србији, карактеризација стања загађености земљишта појединим опасним и штетним материјама, спроводи се на основу Уредбе о програму системског праћења квалитета земљишта, индикаторима за оцену ризика од деградације земљишта и методологији за израду ремедијационих програма ("Службени гласник РС", бр. 88/2010 и 30/2018.). Према тој Уредби, гранична вредност садржаја никла која може да укаже на значајну контаминацију земљишта, без корекције према садржају глине и органске материје, износи 35 mg/kg, док гранична вредност садржаја изнад које се јавља потреба за ремедијацијом земљишта 210 mg Ni/kg.

Међутим, од свих хемијских облика налажења у земљишту, који у збиру представљају укупни садржај одређеног елемента (елементи у земљишном раствору, изменљиво и специфично адсорбовани елементи, елементи везани за карбонате, елементи оклудовани са оксидима мангана и гвожђа, елементи везани у органској материји, елементи у кристалној структури примарних и секундарних минерала), приступачним се сматрају само количине у течной фази земљишта, као и количине које се налазе везане за чврсту фазу земљишта по принципу разменљиве адсорпције (Krishnamurti, 2008). Те количине никла (као и других потенцијално токсичних елемената), најчешће, износе мање од 10 % од његовог укупног садржаја у земљишту. Због тога, укупни садржаји метала, најчешће, нису добри показатељи њихове приступачности за биљке, па, самим тим, нису ни адекватни параметри за процену ризика у животној средини. Јаснији увид у могућу појаву токсичних ефеката метала за биљке постиже се одређивањем њихових садржаја који се сматрају приступачним и потенцијално приступачним (Zhu et al, 2018).

За одређивање приступачних садржаја никла и других потенцијално токсичних елемената у земљишту користе се екстракциона средства различите јачине или механизма екстракције: разблажени раствори киселина (нпр. 0,43 mol/dm³ HNO₃), раствори соли (0,01 mol/ dm³ CaCl₂, 1 mol/ dm³ NH₄NO₃), као и снажни хелатни агенси, као што су диетилентриаминопентасирћетна киселина (DTPA) у концентрацији 0,005 mol/ dm³ и етилендиаминотетрасирћетна киселина (EDTA) у концентрацији 0,05 mol/ dm³. Процена ризика заснована на резултатима ових екстракција, најчешће се заснива на утврђивању фактора трансфера метала из земљишта у биљке (Antoniadis et al., 2019) или на одређивању прагова токсичности, односно ефективних концентрација (EC_x) које инхибирају пораст подземне или надземне масе биљака у одређеном проценту (на пример: EC₁₀ представља ефективну концентрацију никла при којој је пораст смањен за 10 % у односу на незагађено земљиште) (Rooney et al., 2007). Међутим, од свих наведених екстракционих средстава, гранична вредност приступачних количина никла изнад којих су потребна додатна испитивања којима би било утврђено да ли постоје штетни ефекти, односно загађење земљишта, дефинисана је само за екстракцију са 1 mol/dm³ NH₄NO₃ (DIN 19730, 1993) и та вредност износи 1,5 mg Ni/kg.

Према томе, на основу постојећих истраживања и литературних извора, тренутно, приликом процене ризика у животној средини и одређивања приступачних количина никла у земљишту постоји више недостатака и слабих места. Једно од њих се односи на немогућност сагледавања степена ризика на основу укупних садржаја никла у земљишту, а друго се односи на тумачење резултата добијених применом различитих екстракционих средстава, односно да ли при одређеном садржају екстрахованог никла постоји и у којој мери или не постоји ризик по раст и развиће биљака, односно ризик за постизање оптималног и здравствено безбедног приноса гајених биљака.

Из претходно наведеног, за предмет ове дисертације одабрано да се испита да ли праг токсичности никла за биљке може да се одреди применом ДТРА раствора, који се често користи као екстракционо средство за одређивање приступачних количина никла у земљишту (Bani et al., 2013). Избор овог екстракционог средства заснива се на томе што би његова примена могла да има више предности, у поређењу са другим агенсима за екстракцију, посебно у поређењу са раствором NH_4NO_3 концентрације 1 mol/dm^3 , за који, тренутно, једино постоје граничне вредности за тумачење добијених резултата. Те предности, између осталог, су следеће: а) количине никла екстраховане ДТРА раствором су вишеструко веће од концентрација екстрахованих раствором NH_4NO_3 , што би омогућило да се читавања лако обављају на инструментима ниже осетљивости (на пример: читавања методом атомске апсорпционе спектрофотометрије (AAS), чија осетљивост је 1000 нижа од осетљивости знатно скупљих инструмената/метода, као што су: атомска емисиона спектроскопија индуктивно спрегнуте плазме (ICP-AS) и масена спектрометрија индуктивно спрегнуте плазме (ICP-MS), б) елиминисање ефеката високе концентрације соли у 1 mol/dm^3 NH_4NO_3 приликом мерења концентрације Ni у раствору, која се јавља на свим инструментима, ц) раствор ДТРА се у многим испитивачким лабораторијама на глобалном нивоу већ користи као основно екстракционо средство за процену приступачних садржаја неопходних микроелемената (Fe, Mn, Cu, Zn, Co), па би употреба овог раствора и за процену приступачних количина никла у земљишту поједноставила аналитичке поступке и умањила трошкове испитивања, јер би омогућила да се, на основу само једног екстракционог поступка, изврши процена приступачних садржаја већег броја елемената.

Истовремено, треба нагласити да правилно тумачење вредности приступачних количина никла има изузетан значај, јер се, према савременим сазнањима, Ni сврстава у групу елемената неопходних за биљке (Wenzel et al., 2018). Међутим, биолошки значај никла још није у потпуности разјашњен. Насупрот томе, токсичност никла за биљке је добро позната, а најчешћи симптоми токсичности су инхибиција раста, индукција хлорозе, некрозе, дехидратације и увенућа биљака. Повећана акумулација Ni може да инхибира деобу мерситемских ћелија корена код нетолерантних генотипова, чиме директно утиче на поремећај у расту биљака. Такође, при високим садржајима Ni долази до поремећаја у усвајању воде код монокотиледоних и дикотиледоних врста, а то је повезано са негативним ефектима на процес фотосинтезе и дисања, као и на синтезу хлорофила и протеина. Затим, код појединих врста, Ni има способност да генерише реактивне врсте кисеоника (РОС), које могу да изазову оксидативни стрес, што индукује промену активности антиоксидативних ензима, као што су супероксид дисмутаза, аскорбат пероксиди и каталаза (Hassan et al., 2019).

Високе концентрације никла у исхрани људи и животиња могу да проузрокују појаву малигних обољења (Flessel et al., 1980), као резултат промене активности неких ензима и поремећаја у раду имунолошког система. Храна биљног порекла коју карактерише садржај никла виши од уобичајених вредности ($0,05 - 5 \text{ mg/kg}$, Wenzel et al., 2018) представља један од основних начина уношења никла у људске и животињске организме.

У Србији, високи укупни садржаји никла у пољопривредним и шумским земљиштима утврђени су бројним истраживањима. Како се западним и југозападним деловима Србије протеже источни крај Динаридског офиолотског појаса са великом масом ултрабазичних магматских стена (Димитријевић, 1992), извори никла у тим земљиштима су доминантно геохемијски. У земљиштима са разних локација у долини реке Западна Морава, Antić Mladenović et al. (2019) су утврдили укупан садржај никла

у интервалу 32 - 468 mg/kg. У земљиштима под шумском вегетацијом, која су формирана на серпентиниту са територије Гоча, Belanović et al. (2001) забележили су садржај укупног никла у интервалу 925 - 2650 mg/kg. На појединим локацијама са планине Рудник, земљишта формирана на серпентинским минералима садрже и до 1065 mg Ni/kg, а алувијуми у долини реке Јасеница, која извире на Руднику, а улива се у реку Велика Морава и до 1085 mg Ni/kg (Антић Младеновић, 2004). Алувијално-делувијалним процесима, минерали носиоци никла доспевају и у нижа подручја, па је тако у земљиштима из долине реке Велика Морава утврђен укупни садржај никла у интервалу 100 – 200 mg/kg (Антић Младеновић, 2004).

Међутим, иако су високи укупни садржаји никла утврђени на великом делу територије наше земље, реална процена ризика никла за биљке, заснована на његовим приступачним количинама у тим земљиштима није била предмет истраживања. Предложени метод за утврђивање прага токсичности никла за биљке представља нови, до сада неиспитани приступ овом проблему. Како је већ навео, екстракција никла из земљишта ДТРА раствором је често у примени, а да, при томе, не постоје граничне вредности за тумачење добијених резултата. Истовремено, ова екстракција има многе предности у односу на екстракцију раствором NH_4NO_3 , за коју постоје граничне вредности за тумачење добијених резултата. Према томе, утврђивање прага токсичности никла за биљке његовом екстракцијом из земљишта ДТРА раствором представљао би значајан научни, али и практични допринос у развоју метода и поступака за процену ризика за биљке које расту или се гаје на земљиштима са високим укупним садржајима никла. Притом, како је екстракција никла ДТРА раствором у широкој примени, не само у Србији него и у другим земљама, научни и практични допринос ове дисертације не може да се локализује само за земљишта Србије, већ може да се окарактерише као значајан допринос глобалног карактера.

2.2. Научни циљ истраживања

Циљеви ове докторске дисертације су:

- Да се утврди праг токсичности никла за биљке употребом $0,005 \text{ mol/dm}^3$ раствора ДТРА на земљиштима чија је реакција у интервалу од слабо киселе до слабо алкалне, што одговара интервалу реакције земљишта на којима се, изворно, ово екстракционо средство користи за одређивање приступачних садржаја неопходних микроелемената (Fe, Mn, Cu, Zn) у земљишту,
- Да се за дефинисање прага токсичности никла за биљке употребом $0,005 \text{ mol/dm}^3$ раствора ДТРА утврди математичка функција/модел који одговара највишем степену међусобне зависности између количина никла екстрахованих 1 mol/dm^3 раствором NH_4NO_3 као независне променљиве и $0,005 \text{ mol/dm}^3$ ДТРА раствором, као зависне променљиве,
- Да се поузданост употребе ДТРА раствора за одређивање прага токсичности никла за биљке испита биотестом са две културе: кукурузом (*Zea mays*), као представником С4 биљака и овсем (*Ovena sativa*), као представником С3 биљака и мерењем оних метаболичких и физиолошких параметара ових биљака на којима могу да се испоље симптоми токсичности никла (пораст корена, пораст надземне масе, проводљивост стома, укупна лисна површина, укупан водни потенцијал, садржаји: хлорофила, епидермалних флавонола и антоцијанина, активности ензима гвајакол пероксидазе, укупни садржаја: N, P, K, Ca, Mg, Fe и Zn у надземној маси биљака).

3. Основне хипотезе од којих се полази у истраживању

У реализацији истраживања у овој докторској дисертацији полази се од следећих претпоставки:

- Праг токсичности никла за биљке, осим са $1 \text{ mol/dm}^3 \text{ NH}_4\text{NO}_3$, може да буде дефинисан коришћењем и другог екстракционог средства (DTPA),
- Екстракцијом никла DTPA раствором може да се одреди поуздан праг његове токсичности за биљке,
- Гранична вредност приступачних садржаја никла, која је већ дефинисана екстракцијом са $1 \text{ mol/dm}^3 \text{ NH}_4\text{NO}_3$, може да буде ефикасна основа за израду математичке функције/модела за одређивање прага токсичности никла за биљке коришћењем DTPA раствора,
- Између садржаја никла у надземном делу биљака и садржаја одређеног екстракцијом никла из земљишта применом DTPA раствора постоји статистички значајна корелативна зависност,
- Биолошки тест (праћење основних метаболичких и физиолошких параметара и процеса чији поремећаји указују на појаву токсичности никла за биљке) може да буде поуздан начин за проверу утврђеног прага токсичности никла за биљке применом DTPA раствора за екстракцију његових приступачних количина из земљишта.

4. Методе који ће се применити у истраживањима

Истраживања у овој докторској дисертацији обавиће се у три дела:

- I. Први део истраживања односи се формирање колекције узорака земљишта слабо киселе до слабо алкалне реакције, из којих ће се изводити упоредне екстракције никла растворима $1 \text{ mol/dm}^3 \text{ NH}_4\text{NO}_3$ и $0,005 \text{ mol/dm}^3 \text{ DTPA}$. Предвиђено је да се колекција формира узорковањем земљишта са различитих локалитета у Србији, која се одликују различитим садржајима укупног никла. Узорци земљишта биће сакупљени из слоја 0 – 20 cm, по принципу формирања просечног узорка, на основу пет појединачних узорака.

У лабораторији, узорци земљишта из овако формиране колекције биће припремљени за извођење хемијских анализа сушењем до ваздушно сувог стања и уситњавањем до величине честица мање од 2 mm. У овако припремљеним узорцима, прво ће бити утврђена реакција земљишта, у циљу елиминације оних узорака чија је pH вредност ван интервала 6,55 – 7,45.

- II. У другом делу истраживања, у претходно одабраним узорцима земљишта (најмање 100), биће одређени псеудо-укупни садржаји никла по методи US EPA 3050B, а затим и приступачни садржаји никла уз примену два екстракциона средства - $1 \text{ mol/dm}^3 \text{ NH}_4\text{NO}_3$ (DIN, 19730 (1993)) и $0,005 \text{ mol/dm}^3 \text{ DTPA}$ (Lindsay and Norwell, 1978). Садржај никла у добијеним екстрактима биће одређен методом атомске апсорпционе спектрофотометрије (AAS), читавањем у пламену ацетилен/ваздух.

За одређивање односа/зависности између добијених приступачних садржаја никла биће израчуната математичка функција/модел која одговара највишем степену њихове међусобне зависности, при чему ће вредности добијене 1 mol/dm^3 раствором NH_4NO_3 бити приказане као независна променљива, а вредности добијене $0,005 \text{ mol/dm}^3$ раствором DTPA као зависна променљива. Праг токсичности никла за биљке применом DTPA раствора биће израчунат из добијене математичке функције/модела као она непозната („у“) вредност која одговара граничном садржају од $1,5 \text{ mg Ni/kg}$ као

познатој („х“) вредности.

III. У трећем делу истраживања, биће изведен биотест, у циљу процене поузданости добијеног прага токсичности никла на кукурузу (*Zea mays*), као представнику С4 биљака и овсу (*Ovena sativa*) као представнику С3 биљака. Биотест ће бити изведен као оглед у судовима, у контролисаним условима, у фитотрону Катедре за агрохемију и физиологију биљака, Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду. Кукуруз и овас биће гајени на безкарбонатном земљишту одабраном из колекције формиране у првој фази истраживања, а критеријум за одабир земљишта за извођење огледа су следећа својства: реакција земљишта и садржај органске материје. За оглед ће бити изабрано земљиште чија се реакција налази у интервалу неутралне до слабо алкалне (pH: 6,95 - 7,35) и чији се садржај органске материје одговара најчешћим вредностима у земљиштима у Србији (2,5 - 3,2 %).

Методологија постављања огледа

Оглед ће бити изведен у судовима са 3 kg земље, у три понављања, са додатком NiSO_4 у количинама које одговарају следећим садржајима никла у земљишту:

1. контрола (без додатка никла)
2. 10 mg Ni/kg
3. 50 mg Ni/kg
4. 100 mg Ni/kg
5. 150 mg Ni/kg и
6. 200 mg Ni/kg.

Предвиђени период за успостављање динамичке равнотеже у земљишту након додатка никла, а пре садње биљака за извођење биолошког теста је 30 дана, током којих ће земљиште бити одржавано у стању влажности на нивоу 60 % ретенционог водног капацитета (WHC). Након тог периода, у сваки суд биће посејано по пет претходно наклијалих семена са коренчићем чија дужина максимално износи 2 mm. У циљу оптималне обезбеђености биљака хранивима током огледа, у сваки суд ће се, 7 дана пре садње, додати NPK ђубриво формулације 20-20-20, у количини која одговара дози од 250 kg ђубрива/ha. Током извођења огледа, стање влажности земљишта биће одржавано на нивоу 60 % WHC. Биљке ће се гајити у следећем режиму светлости: 16 сати дан и 8 сати ноћ. Током периода који одговара дневном, температура ваздуха биће одржавана на 25 °C, а током ноћног периода на 17 °C. Током дневног периода интензитет светлости ће бити 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Релативна влажност ваздуха (RH) ће бити одржавана на 50 %. Оглед ће трајати најмање тридесет дана.

Хемијске анализе земљишта након изведеног огледа

По завршетку огледа, извршиће се узорковање земљишта за хемијске анализе по принципу формирања просечног узорка из сваког суда. Узорци земљишта ће бити осушени до ваздушно сувог стања и уситњени до величине честица мање од 2 mm. У овако припремљеним узорцима биће одређена општа хемијска својства земљишта, по следећим методама:

- реакција земљишта, односно pH вредност одредиће се потенцијометриском методом са стакленом електродом (Benton, 2001),
- садржај CaCO_3 ће се утврђивати волуметријском методом по Scheibler-y,
- органски угљеник и садржај хумус ће се одређивати дихроматном методом (Tjurin modifikacija Simakov-a, 1957),

- садржај укупног N одредиће се модификацијом Kjeldahl-ове методе (Bremmner, 1965),
- однос C/N (садржај органског угљеника и укупног азота) ће се одредити рачунским путем,
- садржај приступачног азота ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) одредиће се дестилационом методом (Bremmner and Keeney, 1965),
- садржај лакоприступачног фосфора и калијума одредиће се Al методом (Egner et al., 1960),
- садржаји приступачног калцијума и магнезијума одредиће се AAS методом (Benton, 2001),
- приступачни садржаји: Fe, Mn, Cu и Zn одредиће се AAS методом (Benton, 2001), након екстракције у DTPA раствору,
- капацитет за адсорпцију катјона (CEC) биће одређен засићавањем адсорптивног комплекса земљишта са $1 \text{ mol/dm}^3 \text{ NH}_4\text{OAc}$ (pH 7,0) (Benton, 2001).

Осим општих хемијских својстава, у узорцима земљишта по завршетку огледа, биће одређени и приступачни садржаји никла применом NH_4NO_3 - и DTPA-екстракционих раствора, по претходно наведеним методама.

Анализа биљног материјала из огледа

По завршетку огледа, надземна маса биљака ће бити одвојена од корена, опрана дејонизованом водом и измерена, а затим осушена на 80°C , такође измерена и, потом, уситњена за даље аналитичке поступке.

У осушеној надземној маси биљака из огледа, биће одређен укупни садржај никла AAS методом, након мокрог спаљивања у смеши $\text{HNO}_3 + 30 \% \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HClO}_4$ (Benton, 2001).

Процена токсичности никла на биљке извршиће се анализирањем пораста корена и надземне масе, затим оних физиолошких и метаболичких процеса за које је познато да су изразито осетљиви на деловање никла и на којима се испољавају симптоми токсичности овог метала, као и одређивањем садржаја хранљивих елемената чије усвајање може да буде под директним утицајем усвојених количина никла.

Пораст кореновог система биће одређен извођењем теста издуживања корена, по стандардној методи ISO 11269-1. Издуживање корена при различитим вредностима DTPA екстрахованог никла биће приказано у процентима, према контролној варијанти (100 %).

Пораст надземне масе одредиће се извођењем теста пораста надземне масе, по стандардној методи ISO 11269-2. Интензитет пораста надземне масе гајених биљака биће изражен у процентима према контролној варијанти (100 %).

Утицај никла на минералну исхрану биљака процениће се одређивањем садржаја: N, P, K, Ca, Mg, Fe и Zn у сувој надземној маси биљака. Садржаји азота, фосфора и калијума ће бити одређени из заједничког раствора, после разарања са H_2SO_4 и HClO_4 (азот - дестилационом методом, фосфор - колориметријском методом и калијум – методом пламенфотометрије) (Cresser and Parsons, 1979). Садржаји: Ca, Mg, Fe и Zn биће одређени AAS методом, након мокрог спаљивања у смеши $\text{HNO}_3 + 30 \% \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HClO}_4$ (Benton, 2001).

Утицај никла на физиолошке и метаболичке процесе у биљкама биће процењен одређивањем:

- проводљивости стома (Gs) на најмлађим, потпуно развијеним листовима, директним читавањем $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ помоћу порометра (AP4 Leaf Porometer, Delta-T Device, Ltd, UK), чији рад се заснива на принципу утврђивања стоматерне дифузионе

проводљивости водене паре, током процеса транспирације,

- укупног водног потенцијала, истискивањем ксилемског сока из листова биљака под притиском гаса азота (Scholander et al., 1965),

- садржаја хлорофила (Chl), епидермалних флавонола (Flav), антоцијанина (Ant) и индекса баланса азота (NBI) уз примену *Dualox Scientific* сензора (*Force-A, France*). Детектовање ових параметара обавиће се *in vivo* неdestructивном методом, мерењем апсорбанце епидермиса листа у VIS (видљивом делу спектра, 650 nm), NIR (блиско инфрацрвеном делу спектра, 710 nm) и UV-A (ултраљубичастом делу спектра, 375 nm) (Cеровић et al., 2012).

- активности ензима гвајакол пероксидазе, према методи која се заснива на спектрофотометријским мерењима настанка тетрагвајакола у реакцији гвајакола и H₂O₂. Реакциона смеша за мерење активности гвајакол пероксидазе садржаће 50 mM калијум– фосфатног пуфера (pH 7,0), 18 mM гвајакола и 4,5 μM H₂O₂. Реакциона смеша се меша са два пута разблаженим протеинским екстрактом у односу 49 : 1 и врши се мерење апсорбације на таласној дужини од 470 nm, 10 пута сваких 15 секунди. Активност гвајакол пероксидазе се израчунава на основу средње вредност промене апсорбације током 15 секунди и изражава у mmol гвајакола по min по mg протеина. Протеински екстракт за мерење укупне активности гвајакол пероксидазе добија се хомогенизацијом листова у хладном авану уз додатак око 50 mg поливинилполипиролитона (PVPP) и 1,5 ml екстракционог пуфера (100 mM калијум– фосфатног пуфера (pH 7,0) и 0,1 mM EDTA), а затим центрифугирањем у трајању од 30 min на 20 000 g и 4 °C, при чему се протеински екстракт издваја у супернатанту и

- укупне лисне површине, која ће бити измерена у cm² помоћу уређаја LI-3100 area meter (LI-COR, Lincoln, NE, USA).

Статистичка обрада података

Математичка функција/модел за одређивање прага токсичности никла применом ДТРА раствора, затим, дескриптивна статистика, као и коефицијенти корелације између садржаја никла у надземној маси биљака и ДТРА екстрахованог никла, као и између свих посматраних параметара у огледу биће одређени применом online статистичког калкулатора Statistics Kingdom 2017, доступног на web страници http://www.statskingdom.com/170median_mann_whitney.html.

5. Очекивани резултати и научни допринос

Резултати ове дисертације омогућиће да се на земљиштима чија је реакција слабо кисела до слабо алкална, на основу ДТРА-екстрахованих количина никла, изврши процена ризика од токсичности никла за биљке, као и уласка никла у ланац исхране специфична за одређену локацију. Ови резултати су од посебног научног и практичног значаја за земљишта са високим садржајима никла из различитих извора, а посебно за земљишта широм света, као и за земљишта у Србији, која се одликују високим садржајима никла из природних извора и која се, због утицаја серпентинских минерала на њихова општа хемијска својства, управо налазе у наведеном интервалу киселости. На земљиштима таквих карактеристика, резултати ове дисертације ће омогућити да се изврши релативно брза и једноставна процена потенцијалног ризика од токсичног деловања никла на биљке. Осим тога, добијени резултати могу да се искористе за предлагање праваца додатних испитивања, као и за предлагање мелиоративних мера, као и начина коришћења земљишта у циљу смањења утврђеног степена ризика. Такође, научни и практични допринос ове дисертације садржан је и у

могућности да се, на основу ових истраживања, одреде ефективне концентрације приступачног никла које утичу на смањење раста и развића биљака (Есх, где је $x=10$, 20 и/или 50), по принципу доза – одговор. Посебан научни допринос и оригиналност ових истраживања заснива се на томе што би се праг токсичности никла за биљке, по први пут у научној литератури, према нашим сазнањима, дефинисао на основу приступачних количина никла екстрахованих из земљишта ДТРА раствором.

6. Закључак

На основу анализе поднете пријаве, одржане јавне одбране научне заснованости теме, предложеног програма и научног циља докторске дисертације мастер инжењера пољопривреде Матије Крповића под насловом „Утврђивање прага токсичности никла за биљке применом ДТРА као средства за његову екстракцију из земљишта“, Комисија сматра да изабрана тема има изузетан значај за науку и праксу у ужој научној области Агрохемија. Изабрана тема је актуелна, оригинална и значајна, како за земљишта у Србији, тако и за земљишта широм света која се одликују високим садржајима никла, посебно из геохемијских извора. Предложени програм и циљеви истраживања су научно засновани, а полазне хипотезе су правилно изабране. Методе које ће се користити у изради ове дисертације су савремене, а редослед истраживања је усмерен у правцу остваривања постављених циљева. На основу очекиваних резултата може се закључити да ће ова теза пружити значајан научни и практични допринос у унапређењу начина процене оних приступачних количина никла у земљишту које могу имати токсичне ефекте на биљке и који се манифестују на њихов раст и развиће, физиолошке и метаболичке процесе и минералну исхрану, као и допринос у унапређењу мера за смањење потенцијалних ризика. Посебан научни допринос и оригиналност ових истраживања заснива се на томе што би се праг токсичности никла за биљке, по први пут, дефинисао на основу приступачних количина никла екстрахованих из земљишта ДТРА раствором.

На основу свега изнетог, Комисија сматра да предложена тема задовољава све научне принципе за израду оригиналне и квалитетне докторске дисертације, па позитивно оцењује поднету пријаву и предлаже Наставно-научном већу Пољопривредног факултета Универзитета у Београду да је прихвати и одобри израду докторске дисертације Матије Крповића, мастер инжењера, под насловом „Утврђивање прага токсичности никла за биљке применом ДТРА као средства за његову екстракцију из земљишта“.

За ментора ове докторске дисертације Комисија предлаже др Светлану Антић-Младеновић, ванредног професора на Универзитету у Београду - Пољопривредни факултет.

7. Име и референце предложеног ментора

Име и презиме ментора: др Светлана Антић-Младеновић

Звање: ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Antić-Mladenović, S.**, Kresović, M., Čakmak, D., Perović, V., Saljnikov, E., Ličina, V., Rinklebe, J. (2019). Impact of a severe flood on large-scale contamination of arable soils by potentially toxic elements (Serbia). *Environmental Geochemistry and Health*, 41 (1), 249–266. doi.org/10.1007/s10653-018-0138-4

2. Saljnikov, E., Mrvić, V., Čakmak, D., Jaramaz, D., Perović, V., **Antić-Mladenović, S.**, Pavlović, P. (2019). Pollution indices and sources appointment of heavy metal pollution of agricultural soils near the thermal power plant. *Environmental Geochemistry and Health*, 41 (5), 2265–2279. doi.org/10.1007/s10653-019-00281-y
3. Čakmak, D., Perović, V., **Antić-Mladenović, S.**, Kresović, M., Saljnikov, E., Mitrović, M., Pavlović, P. (2018). Contamination, risk, and source apportionment of potentially toxic microelements in river sediments and soil after extreme flooding in the Kolubara River catchment in Western Serbia. *Journal of Soils and Sediments*, 18: 1981–1993. doi.org/10.1007/s11368-017-1904-0
4. **Antić-Mladenović, S.**, Frohne, T., Kresović, M., Stärk, H.-J., Savić, D., Ličina, V., Rinklebe, J. (2017). Redox-controlled release dynamics of thallium in periodically flooded arable soil. *Chemosphere* 178: 268–276. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.060
5. **Antić-Mladenović, S.**, Frohne, T., Kresović, M., Staerk, H.-J., Tomić, Z., Ličina, V., Rinklebe, J. (2017). Biogeochemistry of Ni and Pb in a periodically flooded arable soil: Fractionation and redox-induced (im)mobilization. *Journal of Environmental Management*, 186, 141-150. doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.005

У Београду,
21.06.2022. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Мирјана Кресовић, редовни професор, председник Комисије
Универзитет у Београду - Пољопривредни факултет,
ужа научна област: Агрохемија

др Светлана Антић Младеновић, ванредни професор,
Универзитет у Београду Пољопривредни факултет,
ужа научна област: Агрохемија

др Љиљана Прокић, ванредни професор,
Универзитет у Београду Пољопривредни факултет,
ужа научна област: Физиологија гајених биљака

др Ранко Чабиловски, ванредни професор
Пољопривредни факултет, Универзитет у Новом Саду,
ужа научна област: Агрохемија

др Драгоја Радановић, редовни професор
Пољопривредни факултет, Универзитет у Бања Луци
ужа научна област: Исхрана биљака

Прилози:

Прилог 1. Списак саопштених и објављених научних и стручних радова кандидата

Прилог 2. Списак литературе која ће се користити

Прилог 1. Списак саопштених и објављених научних и стручних радова кандидата

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34=0,5)

Krpović, M., Simović, Đ, Jevtić, S., Dikić, J., Čosović, V., Rajić, N (2019). Synthesis and characterization of the adsorbents obtained by mechanochemical modification of natural clinoptilolite. 8th Serbian-Croatian-Slovenian Symposium on Zeolites, 3-5 October 2019. Belgrade, Serbia, Proceedings, p.113.

Antić Mladenović, S., Kresović, M., Wenzel, W., **Krpović, M.**, Ličina V. (2021). Dissolved organic carbon as a controlling factor of nickel availability in reclamation of barren soil. 3rd International and 15th National Congress Serbian Society of Soil Science, 21-24 September 2021. Sokobanja, Serbia, Book of abstracts, p.74.

Саопштење са националног скупа штампаног у изводу (M64=0,2)

Antić Mladenović, S., Kresović, M., **Krpović, M.**, Jovanović, M., Ličina, V. (2019). Mogući rizici od akumulacije nikla i olova u ranom povrću. Simpozijum Srpskog društva za proučavanje zemljišta, „Zemljište-osnovno prirodno dobro-ugroženost i opasnosti“, 19-21. jun, Goč, Srbija, knjiga apstrakata, s.9.

Kresović, M., Antić Mladenović, S., Ličina, V., **Krpović, M.** (2019). Biološka rekultivacija termoelektrane Kostolac primenom rečnog nanosa iz kanala za hlađenje postrojenja. Simpozijum Srpskog društva za proučavanje zemljišta. „Zemljište-osnovno prirodno dobro-ugroženost i opasnosti“, 19-21. jun, Goč, Srbija, knjiga apstrakata, s.15.

Jevtić, S., **Krpović, M.**, Nikšić, M., Matijašević, D., Rajić, N. (2019). Prirodni zeolit kao suplement za uzgoj gljive *pleurotus ostreatus* (Bukovača). Simpozijum Srpskog društva za proučavanje zemljišta, „Zemljište-osnovno prirodno dobro-ugroženost i opasnosti“, 19-21. jun, Goč, Srbija, knjiga apstrakata, s.33.

Прилог 2. Списак литературе која ће се користити

1. Антић-Младеновић, С. (2004). Хемија никла и хрома у земљиштима са њиховим природно високим садржајима. Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду. Докторска дисертација.
2. Antić-Mladenović, S., Kresović, M., Čakmak, D., Perović, V., Saljnikov, E., Ličina, V., Rinklebe, J. (2019). Impact of a severe flood on large-scale contamination of arable soils by potentially toxic elements (Serbia). *Environmental geochemistry and health*, 41(1), 249-266.
3. Antoniadis, V., Shaheen, S. M., Levizou, E., Shahid, M., Niazi, N. K., Vithanage, M., Ok, Y.S., Bolan, N., Rinklebe, J. (2019). A critical prospective analysis of the potential toxicity of trace element regulation limits in soils worldwide: Are they protective concerning health risk assessment? - A review. *Environment international*, 127, 819-847.
4. Bani, A., Imeri, A., Echevarria, G., Pavlova, D., Reeves, R. D., Morel, J. L., & Sulçe, S. (2013). Nickel hyperaccumulation in the serpentine flora of Albania. *Fresenius Environ Bull*, 22(6), 1792-1801.
5. Belanović, S., Knežević, M., Katović, R. (2001). Određivanje porekla teških metala u zemljištima metodom indikatorske vrednosti. X Kongres JDPZ, CD Radovi, rad br. 60.
6. Jones, J. B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis (No. BOOK). CRC press
7. Bremner, J. M., & Keeney, D. R. (1965). Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Analytica chimica acta*, 32, 485-495.
8. Bremner, J. M. (1965). Total nitrogen. *Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 1149-1178.
9. Cerovic, Z. G., Masdoumier, G., Ghozlen, N. B., & Latouche, G. (2012). A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiologia plantarum*, 146(3), 251-260.
10. Cresser, M. S., & Parsons, J. W. (1979). Sulphuric—Perchloric acid digestion of plant material for the determination of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium. *Analytica Chimica Acta*, 109(2), 431-436.
11. Decarreau, A., Colin, F., Herbillon, A., Manceau, A., Nahon, D., Paquet, H., Trauth-Badaud, D., Trescases, J. J. (1987). Domain segregation in Ni-Fe-Mg-smectites. *Clays and Clay Minerals*, 35(1), 1-10.
12. Dimitrijević, M. (1995). *Geologija Jugoslavije*. Geoinstitut
13. DIN, 19730. (1993). Deutsches Institut für Normung, Bodenbeschaffenheit. Extraktion von Spurenelemente mit Ammonium-nitratlösung, Vornorm DINV 19730, DIN (ed.) Boden-Chemische Bodenuntersuchungsverfahren, Berlin, Germany
14. Egnér, H. A. N. S., Riehm, H., & Domingo, W. R. (1960). Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor-und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler*, 26, 199-215.
15. Haanstra, L., Doelman, P., & Voshaar, J. H. (1985). The use of sigmoidal dose response curves in soil ecotoxicological research. *Plant and Soil*, 84(2), 293-297.
16. Hassan, M. U., Chattha, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Aamer, M., Nawaz, M., Khan, M., Khan, T. A. (2019). Nickel toxicity in plants: reasons, toxic effects, tolerance mechanisms, and remediation possibilities—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(13), 12673-12688.

17. International Organisation for Standardisation (ISO). (1993). Soil Quality - Determination of the Effects of Pollutants on Soil Flora - Part 1: Method for the Measurement of Inhibition of Root Growth. No. 11269e1. International Organization for Standardization.
18. International Organisation for Standardisation (ISO). (1995). Soil Quality - Determination of the Effects of Pollutants on Soil Flora - Part 2: Effects of Chemicals on the Emergence and Growth of Higher Plants. No. 11269-2. International Organization for Standardization.
19. Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A. B. (2007). Trace elements from soils to Humans. Springer Berlin Heidelberg.
20. Krishnamurti, G. S. (2008). Chemical methods for assessing contaminant bioavailability in soils. *Developments in soil science*, 32, 495-520.
21. Lindsay, W. L., Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3), 421-428.
22. Massoura, S. T., Echevarria, G., Becquer, T., Ghanbaja, J., Leclerc-Cessac, E., & Morel, J. L. (2006). Control of nickel availability by nickel bearing minerals in natural and anthropogenic soils. *Geoderma*, 136(1-2), 28-37.
23. McGrath, S. P., Smith, S. (1995). Chromium and nickel. In: B.J. (Ed.) *Heavy metals in soils*, Blackie Academic & Professional, 152-178.
24. Plant, J. A., Raiswell, R. (1983). Principles of Environmental Geochemistry. In: I. Thornton, I. (Ed.). *Applied Environmental Geochemistry*. Academic Press, London.
25. Rooney, C. P., Zhao, F. J., McGrath, S. P. (2007). Phytotoxicity of nickel in a range of European soils: Influence of soil properties, Ni solubility and speciation. *Environmental pollution*, 145 (2), 596-605.
26. Scholander, P. F., Bradstreet, E. D., Hemmingsen, E. A., Hammel, H. T. (1965). Sap Pressure in Vascular Plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*, 148 (3668), 339-346.
27. Simakov, V. N. (1957). The use of phenylanthranilic acid in the determination of humus by Tyurin's method. *Pochvovedenie*, 8, 72-73.
28. Uren, N. C. (1992). Forms, reactions, and availability of nickel in soils. *Advances in agronomy*, 48, 141-203.
29. Wenzel, W. W., Kidd, P. S., Puschenreiter, M., Rosenkranz, T. (2018). Nickel Biogeochemistry at the Soil-Plant Interface. In *Nickel in Soils and Plants*, CRC Press, 21-50.
30. Zhu, G., Jiang, B., Yang, G., Li, J., Ma, Y. (2018). Toxicity thresholds based on EDTA extractable nickel and barley root elongation in Chinese soils. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4), 669.