

VLIV POMOCNÝCH PŮDNÍCH LÁTEK NA TRANSPORT PESTICIDŮ DO PODZEMNÍCH VOD

The influence of soil conditioners on the transport of pesticides to the ground waters

Světlík R.¹, Smilek J.², Kalina M.², Punčochářová L.², Sedláček P.²

¹Evropský institut pro zadržování vody v krajině, z.ú., Hvozdec, Česká republika

²Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Brno, Česká republika

Abstrakt

Příspěvek se zaměřuje na využití půdních pomocných látek (alginit, lignit, zeolit) pro účely ovlivnění mobility modelového pesticidu – glyfosátu v půdě. Vstupní materiály byly podrobeny fyzikálně-chemické charakterizaci (termogravimetrie, elementární analýza, studium bobtnání, vyluhování látek do vodného roztoku, FTIR spektroskopie). Následně byly provedeny sorpční experimenty pesticidu na pomocné půdní látky a komplex pomocných půdních látek s půdou. Z výsledků práce vyplývá, že půdní pomocné látky vykazují rozdílnou vazebnou afinitu vůči studovanému pesticidu. Jejich synergické působení v půdě přispělo ke snížení obsahu modelového pesticidu v půdě téměř na polovinu a zároveň pozitivně ovlivnilo vybrané charakteristiky půdy (obsah organické hmoty, zádrž vody, výměnná kapacita).

Klíčová slova: alginit, lignit, zeolit, půda, pesticid

Abstract

This contribution is focused on the utilization of soil conditioners (alginite, lignite and zeolite) for the modification of the mobility of model pesticide (glyphosate) in soil. The feedstock materials were subjected to physico-chemical characterization (thermogravimetry, elemental analysis, study on swelling, leaching into the water, FTIR spectroscopy). Subsequently, the sorption experiments of model pesticide on soil conditioners and their complex with soil were performed. The results indicated that the soil conditioners have different affinity towards the model pesticide. On the other side, their synergic effect on soil contributed either on soil properties (content of organic matter, water retention, and exchange capacity) as well as on a decrease in a content of used model pesticide in soil almost in half.

Keywords: alginite, lignite, zeolite, soil, pesticide

Úvod

Moderní zemědělství se potýká s řadou problémů a výzev, z nichž zřejmě nejpalčivěji působí otázka racionálního a efektivního hospodaření s vodou. Klimatické změny, spojené s dramatickými výkyvy počasí, dlouhými obdobími sucha a zvyšováním průměrných teplot se projevují zvýšenou evapotranspirací a vysycháním půd. Absorpční kapacita půdy je navíc dlouhodobě redukována nevhodnými zemědělskými praktikami, jako je například nadužívání syntetických hnojiv a těžké mechanizace, které vedou ke změně fyzikálních a morfologických vlastností půd, ke ztrátě obsahu půdní organické hmoty, ke ztuhnutí půdních vrstev vedoucí ke snížené aeraci půd a ke ztrátě schopnosti vytvářet přirozené půdní agregáty. Jeden ze slibných nástrojů racionalizace zemědělské praxe, vedoucí k efektivizaci hospodaření s půdní vodou, představuje aplikace pomocných půdních látek (PPL).

Obecná funkce pomocných půdních látek je vyjádřena již v jejich sebevysvětlujícím názvu – cílem aplikace těchto látek je pomáhat půdě. To, v čem mají pomáhat, do určité míry konkretizuje legislativní definice, poskytnutá příslušným zákonem 156/1998 Sb. (Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd), podle níž je PPL „látka bez účinného množství živin, která půdu biologicky, chemicky nebo fyzikálně ovlivňuje, zlepšuje její stav nebo zvyšuje účinnost hnojiv, s výjimkou přípravků na ochranu rostlin“. Jak již tato stále vcelku obecná definice naznačuje, jedná se o širokou skupinu různorodých přípravků, zahrnující na jedné straně polymerní hydroabsorbenty syntetického původu, vedle toho substráty na bázi přírodních látek organické i minerální povahy, ale například také přípravky obsahující živé organismy jako jsou symbiotické bakterie nebo houby.

Předložená práce se zaměřuje na aplikační potenciál PPL minerální povahy. Jako modelový zástupce širokého spektra tohoto typu materiálů byl zvolen lignit, alginit a zeolit. Všechny tyto látky se shodně vyznačují vysokou porozitou a tím spojenou výbornou adsorpční kapacitou. Vysoká sorpční kapacita poskytuje těmto látkám schopnost ovlivňovat mobilitu látek rozpuštěných v půdním roztoku a díky tomu regulovat transport a bioabsorpci jak živin, tak také kontaminantů z půdního prostředí. Lignit navíc díky nízkému stupni prouhelnění obsahuje vysoký podíl organické hmoty, která je zahrnována do skupiny huminových látek a tvoří podstatnou součást i půdní organické hmoty (Novák a spol., 2017; Pekař a Klučáková, 2008, Stevenson, 1994). Díky tomu může být lignit využit jako zdroj organické hmoty v půdách vyznačujících se deficitem jejího obsahu. Alginit představuje přírodní minerální materiál vzniklý působením zelených řas (*Botryococcus braunii*) na organogenní sedimenty (Petersen, 2008). Materiál vykazuje vysokou přirozenou vlhkost, plasticitu a relativně nízkou hmotnost. Poslední látkou ze skupiny využitých PPL je zeolit. Jedná se o mikroporózní aluminosilikát, který nachází uplatnění nejčastěji jako adsorbent a katalyzátor (Torsheva, 2005).

Hlavním cílem práce bylo posoudit schopnost tří minerálních PPL pozitivně ovlivnit základních vlastností půdy jako absorpce vody, porosita, kompaktnost, obsah organické hmoty a dále také experimentálně otestovat jejich sorpční kapacitu k modelovému pesticidu. Jako modelový pesticid byl zvolen glyfosát ve formě komerčního produktu RoundUp (deklarovaná koncentrace glyfosátu je 360 g/dm³ produktu (Roundup Klasik-bezpečnostní list, 2012)). Tento pesticid byl zvolen jednak s ohledem na širší jeho využití a také s přihlédnutím k environmentálním a ekologickým otázkám, které jsou spojeny s jeho aplikací. V rámci experimentální části tak byla studována schopnost komplexu PPL a půdy snížit koncentraci volného glyfosátu ve studovaném systému prostřednictvím jeho sorpce a imobilizace na jednotlivé přítomné komponenty (jednotlivé PPL, půda). Experimenty byly nastaveny tak, aby výsledky napomohly posoudit schopnost připravené komplexní matrice (půda obohacená o PPL) snížit mobilitu zvoleného pesticidu a následně tak eliminovat jeho potenciální průnik do podzemních vod.

Materiál a metody

Alginit využitý v rámci experimentální části práce pocházel z dolu Gérece (Gérece, Maďarsko). Druhou studovanou půdní pomocnou látkou byl lignit, který byl získán z dnes již neprovozovaného dolu Mikulčice na Hodonínsku (Mikulčice, Česká republika). Zeolit, využitý v rámci práce, byl získán nákupem v maloobchodě. Jednotlivé studované půdní podpůrné látky byly nejprve podrobeny síťové analýze na sítích s velikostí ok 4 mm. Jemnější frakce byla následně používána na požadované experimenty. Po síťové analýze byla provedena následně homogenizace vzorku pomocí vibračního mlýnu (doba 30 s.). Takto předpřipravené vzorky byly následně přesušeny v laboratorní sušárně po dobu 8 hodin při teplotě 40 °C. Vzorek půdy byl odebrán ze svrchní vrstvy (0–10 cm) pokusného pozemku

projektu v lokalitě Hodonín (48.8771844°N, 17.1320397°E); bližší charakteristiky modelového vzorku půdy je možné nalézt v předchozích publikacích (Hybler a spol., 2014). Obdobně jako PPL byla půda před započítím experimentů předsušena v laboratorní sušárně po dobu 8 hodin při teplotě 40 °C. Derivatizační činidlo 9H-fluoren-9-yl-methylkarbonyl chlorid, použité pro určení koncentrace glyfosátu ve vzorcích, bylo zakoupeno ze Sigma-Aldrich.

Termogravimetrická analýza na TGA analyzátoru Q5000 (společnost TA Instruments) byla použita pro určení obsahu nespalitelného podílu (popel), obsahu organické hmoty a určení celkové vlhkosti jednotlivých vzorků PPL. Pro analýzu bylo naváženo 5 mg předupraveného vzorku. Měření probíhala vždy z laboratorní teploty (25 °C) na teplotu 1 000 °C rychlostí 10 °C/min. Každé měření bylo provedeno v triplicátu tak, aby byla zajištěna reprodukovatelnost a správnost měření.

Elementární analýza (EA) byla využita pro stanovení obsahu organických prvků ve vzorcích PPL. Pro tyto účely byl využit analyzátoru EA3000 od společnosti EuroVector. Každá z PPL byla proměřena třikrát z důvodu správnosti získaných výsledků.

Na každé z měření bylo použito množství vzorku o navážce 1–2 mg. Spalovací analýzou byl přímo stanoven relativní obsah (vyjádřeno v hmotnostních procentech) jednotlivých biogenních prvků (uhlík, vodík, dusík a síra) s výjimkou kyslíku, který byl stanoven dopočtem jako zbytková hmotnost vzorku v suchém stavu bez popela (po odečtení množství popela). Z hmotnostních procent biogenních prvků byl následně vypočten molární obsah.

Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací byla využita pro stanovení chemické struktury PPL. Tato měření byla realizována přístroji Nicolet iS50 (Termo FisherScientific) metodou ATR (AttenuatedTotalReflectance) na jednodrazovém diamantovém ATR nástavci. Parametry měření byly následující: počet skenů: 64, rozlišení: 1 cm⁻¹, pozadí: vzduch. Získaná spektra jsou uváděna v surovém stavu bez použití jakýchkoliv korekcí.

Stanovení pH vodných výluhů z PPL bylo využito jako jednoduchý experiment pro posouzení **vyluhování látek** z PPL a případného rozpouštění PPL ve vodě. Směs pomocných půdních látek byla vždy přelita vodou (použita byla jak destilovaná voda, tak také voda kohoutková) v poměru 1:5 (8 g PPL a 40 g destilované vody). Následně byla tato suspenze umístěna na rotační třepačku typu hlava-pata a třepána 24 hodin při rychlosti 10 ot./min. Pro každou PPL byla připravena tři opakování.

Nasákavost vody byla v případě jednotlivých materiálů studována jednoduchým přelitím navážky (cca 0,5 g PPL) předem vysušeného materiálu (předsušeno v sušárně na 40 °C a následně uloženo v exsikátoru se silikagelem) nadbytkem vody. Vzorky byly protřepány a následně nechány přes noc při laboratorní teplotě. Poté byl pevný vzorek separován od rozpouštědla filtrací. Nasákavost byla vypočtena podle vztahu.

$$Q = \frac{m_t - m_0}{m_0},$$

kde m_0 je počáteční hmotnost vzorku a m_t je konečná hmotnost pevného vzorku.

Pro studium interakce PPL s modelovým pesticidem a popisu vlivu přídatku PPL na mobilitu pesticidu v půdě byly využity **sorpční experimenty**. V této části práce byl připraven zásobní roztok glyfosátu (komerčního produktu RoundUp) o koncentraci 13,5 g/dm³, což je běžná koncentrace využívaná v zemědělství při jeho plošné aplikaci. Nejprve bylo nutné optimalizovat dávku jednotlivých PPL. Pro tyto účely byl volen koncentrační rozsah PPL následovně: 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 8,0 g. Jednotlivé navážky PPL byly přelity 20 cm³ zásobního roztoku pesticidu. Vzorky byly umístěny na třepačku typu hlava-pata a třepány po dobu 24 hodin při laboratorní teplotě (10 ot./min). Následně byly roztoky, obsahující zbylý nevázaný glyfosát, zfiltrány přes nylonový stříkačkový filtr (velikost pórů 0,45 mikrometrů). Následovala derivatizace zbylého glyfosátu pomocí 9H-fluoren-9-yl-

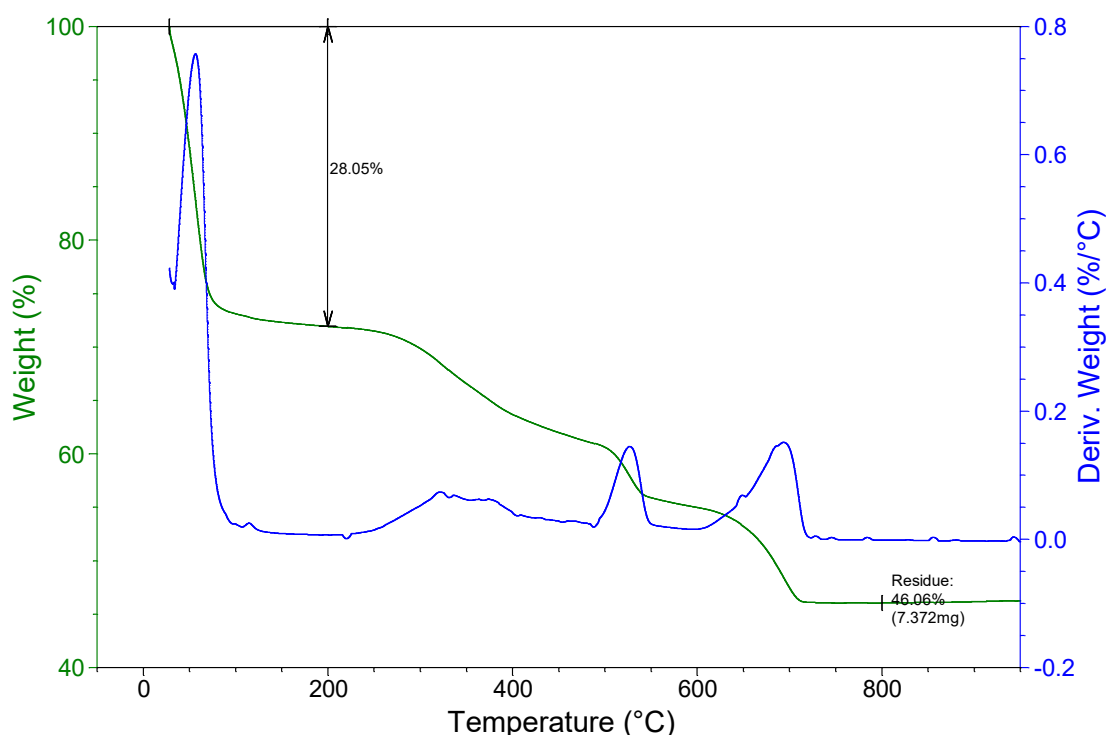
methylkarbonyl chloridu dle postupu blíže popsáném v předchozí publikaci (Qian a spol., 2009). Získaný derivatizovaný vzorek byl analyzován pomocí UV-VIS. Z charakteristické hodnoty absorbance při 260 nm byla následně metodou kalibrační křivky určena koncentrace glyfosátu ve vzorcích.

Obdobně byly připraveny rovněž sorpční experimenty glyfosátu na směs PPL. Pro tyto účely byla využita směs PPL o celkové hmotnosti PPL 0,2 g a paralelně rovněž o hmotnosti 2 g. Tyto homogenizované směsi byly přelity 20 ml zásobního roztoku glyfosátu (ve formě naředěného komerčního přípravku RoundUP). Zbývající nastavení experimentu, úprava vzorků, derivatizace a stanovení koncentrace glyfosátu bylo shodné s předchozím postupem.

V závěrečné části práce byla studována sorpce glyfosátu na směs PPL (využity oba poměry popsané výše) a půdy (použita navážka 5 g). Opět zbylé zpracování vzorků, derivatizace i stanovení koncentrace glyfosátu bylo shodné s předchozím postupem.

Výsledky a diskuze

Cílem tohoto experimentu bylo stanovit základní fyzikálně-chemické charakterizace pomocných půdních látek, které jsou relevantní pro aplikace zemědělského charakteru. V první řadě se jednalo o termogravimetrickou analýzu (TGA) a elementární analýzu (EA). Chemická struktura pomocných půdních látek byla charakterizována pomocí infračervené spektroskopie (FTIR) a v poslední řadě bylo studováno také pH a vodivost vodných suspenzí PPL.



Obr. 1. Termogravimetrický záznam pro alginát (měřeno v atmosféře vzduchu)

Na Obr. 1 je zobrazen příklad získaného termogravimetrického záznamu pro alginát. Na základě takto získaných záznamů byla následně stanovena vlhkost (určena z úbytku hmotnosti vzorku při 200 °C); obsah popela (nеспalitelný podíl, určený ze zbytkové hmotnosti vzorku při obsah teplotě 1 000 °C) a obsah organické hmoty (z úbytku hmotnosti mezi 200 až 1000 °C). V předložené Tab. 1 jsou sumarizovány jednotlivé charakteristiky použitých PPL. Z těchto dat je zřejmé, že nejvyšší hodnotou obsahu popela disponuje vzorek zeolitu (cca 90 hm. %), což souvisí s anorganickou povahou tohoto materiálu s výraznými prvky křemičitanového skeletu. Co se týká obsahu organické hmoty, lignit vykazuje dle očekávání

nejvyšší zastoupení (42,4 hm. %). Nejvyšší vlhkost byla určena u alginitu, což vychází opět z jeho chemické struktury a přítomnosti hydrofilních –OH skupin.

Tab. 1. *Sumarizace výsledků získaných z termogravimetrické analýzy použitých PPL*

PPL	vlhkost (hm.%)	nespalitelný podíl (hm.%)	celk. org. hmota (hm.%)
Alginit	27,4 ± 1,0	46,1 ± 1,7	26,6 ± 0,9
Lignit	9,2 ± 0,4	48,5 ± 1,2	42,4 ± 1,1
Zeolit	7,5 ± 0,2	89,0 ± 2,5	3,45 ± 0,08

Z těchto výsledků tedy vyplývá, že každá z použitých látek má potenciál ovlivňovat půdních charakteristiky jiným způsobem. Lignit má potenciál sloužit v půdě jako zdroj organické hmoty, tolik potřebné pro zdravý vývoj rostlin a dále také poskytovat porézní strukturu a výměnné kapacitě vazebná centra pro interakce s rozmanitými aktivními látkami přítomnými v půdě. Alginit má naopak potenciál napomoci při hospodaření s vodou a obdobně jako lignit poskytovat vazebná místa pro aktivní látky v půdě. Zeolit, jakožto zástupce anorganického porézního materiálu, může přispívat ke zvýšení porozity půdy, její sorpční kapacity a rovněž při hospodaření s vodou.

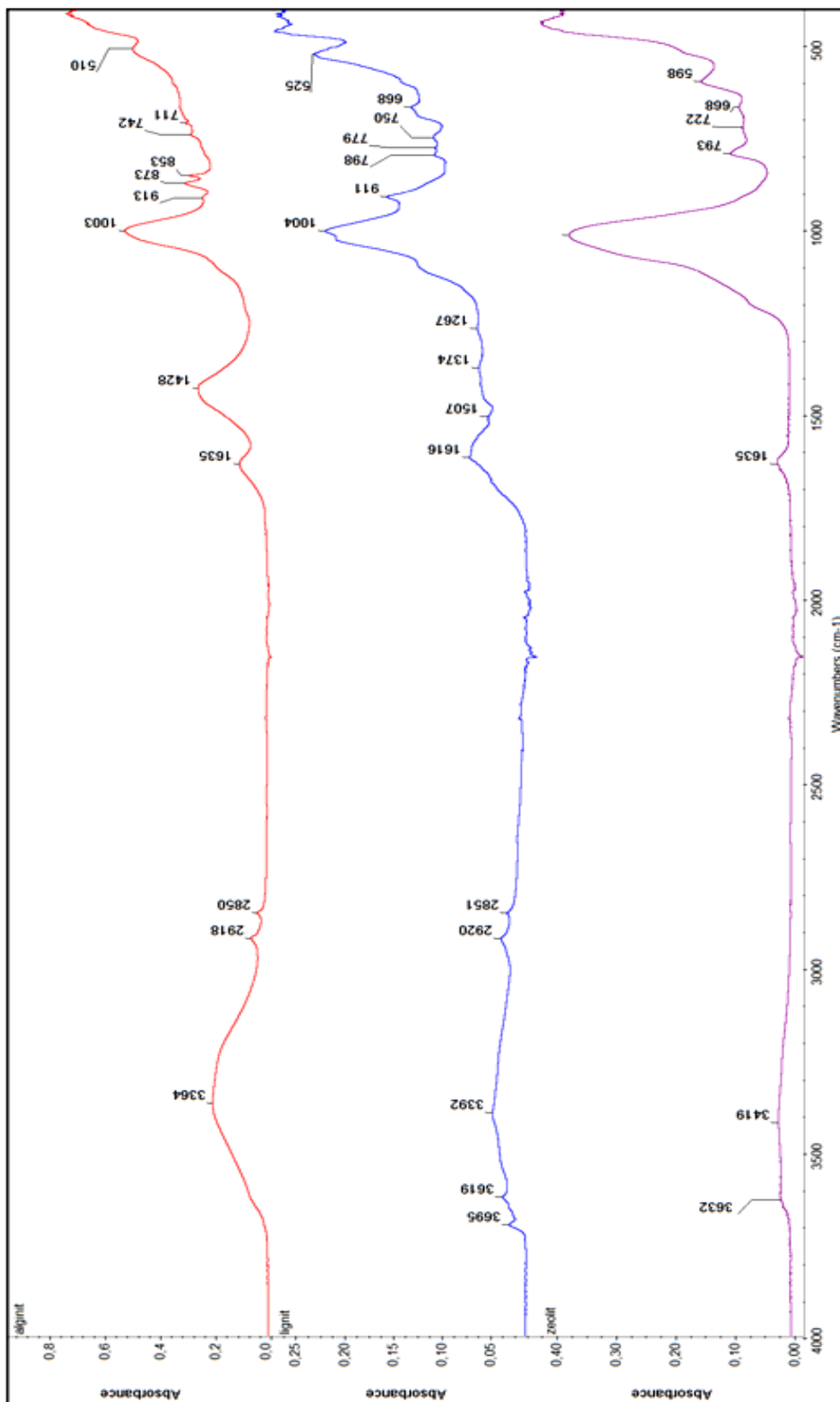
Další provedenou analýzou PPL byla elementární analýza. Získané výsledky jsou uvedeny v Tab. 2. Tyto výsledky jsou v souladu s předchozími výsledky elementární analýzy. V případě lignitu, obsahujícího poměrně velké množství organické hmoty, bylo dle očekávání naměřeno vysoké zastoupení organického uhlíku. Na druhou stranu, v případě anorganické matrice zeolitu, bylo naměřeno jen stopové množství uhlíku a naopak vysoké zastoupení kyslíku a vodíku. Síra byla detekována pouze v případě alginitu, což souvisí s faktem, že tato látka obsahuje ve své chemické struktuře hydrofilní sulfonové skupiny (–SO₃H).

Tab. 2. *Zastoupení základních organických prvků (CHNSO) ve studovaných PPL (uváděno v hmotnostních procentech vztahených na suchý vzorek bez popela)*

PPL	dusík (hm.%)	uhlík (hm.%)	vodík (hm.%)	síra (hm.%)	kyslík (hm.%)
Alginit	1,6 ± 0,1	39,2 ± 0,2	2,9 ± 0,1	21,9 ± 0,4	34,4 ± 0,6
Lignit	1,6 ± 0,1	70,7 ± 1,2	9,9 ± 0,2	0,0 ± 0,0	17,8 ± 1,5
Zeolit	0,7 ± 0,1	1,0 ± 0,1	44,7 ± 2,7	0,0 ± 0,0	53,6 ± 2,5

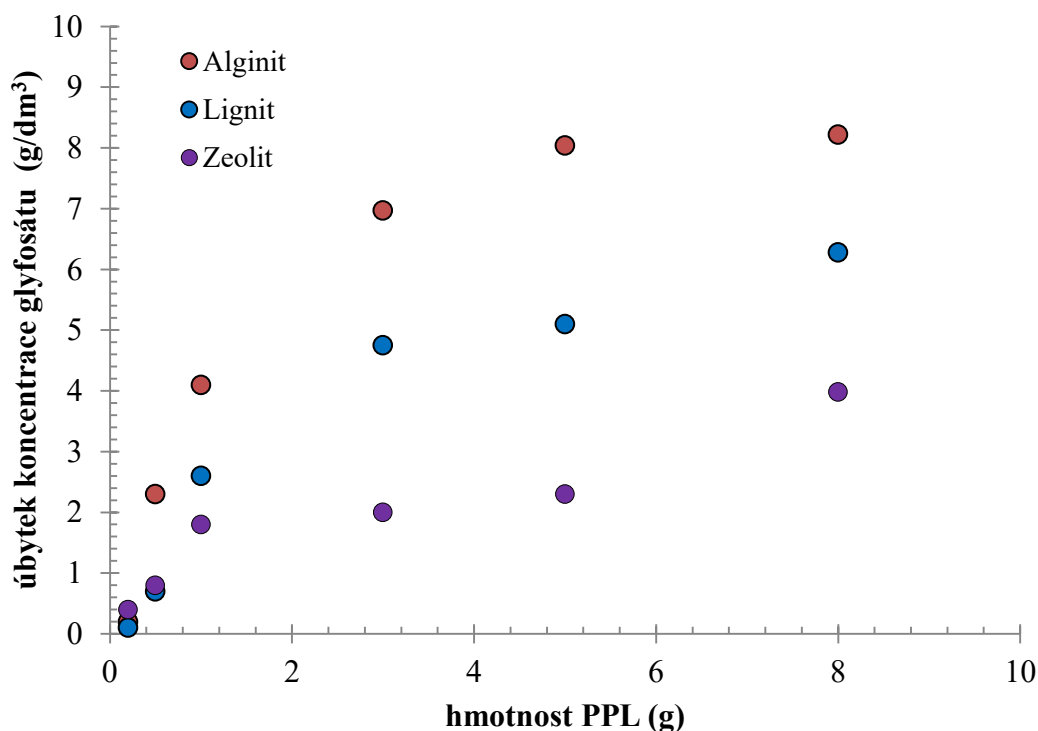
Základní motivy chemické struktury použitých PPL byly studovány pomocí FTIR spektroskopie. Získaná spektra uvedena v surovém stavu bez použití jakýchkoliv korekcí jsou sumarizována na Obr. 3. Ve spektrální oblasti 3800–3000 cm⁻¹ vykazují všechny tři PPL charakteristickou absorpci –OH skupin, a to v oblasti 3800–3600 cm⁻¹ volných –OH (např. přítomných v minerálních složkách), při nižších frekvencích se jedná o –OH asociované vodíkovými vazbami. K absorpci v této oblasti přispívá zbytková vlhkost i organická hmota obsažená v PPL. Charakteristická vibrace v oblasti 2920 a 2850 cm⁻¹ je známkou obsahu alifatických uhlovodíkových motivů (vibrace –CH₂ skupin) ve struktuře organických PPL (alginit, lignit), přičemž ve struktuře zeolitu tyto charakteristické organické pásy chybí. V oblasti kolem 1630 cm⁻¹ jsou spektra všech vzorků zatížena absorpcí zbytkové vlhkosti, v případě lignitu se v této oblasti projevují také absorpce aromatických funkčních skupin (absorpční pásy u 1600, 1500 cm⁻¹). U alginitu se pásem při 1430 cm⁻¹ opět projevuje vysoký obsah –OH skupin a charakteristická vibrace –SO₃H. Intenzivní pás při 1000 cm⁻¹ je u všech PPL způsobem přítomností anorganických složek (Si–O). Přítomnost křemičitanových komponent se projevuje i ve spektrální oblasti fingerprintu (1000–400 cm⁻¹, např. absorpce při 910, 790, 770 cm⁻¹). Závěrem lze shrnout, že spektrum zeolitu vykazuje pouze charakteristické vibrace Si–O křemičitanového skeletu a zbytkové vlhkosti, zatímco ve spektrech organických PPL (lignit a alginit) se dle očekávání projevuje charakteristické

spektrální znaky organické hmoty (alifatické a aromatické uhlovodíky, asociované OH skupiny).



Obr. 3. FTIR spektra PPL (červeně – alginit, modře – lignit, fialově – zeolit).

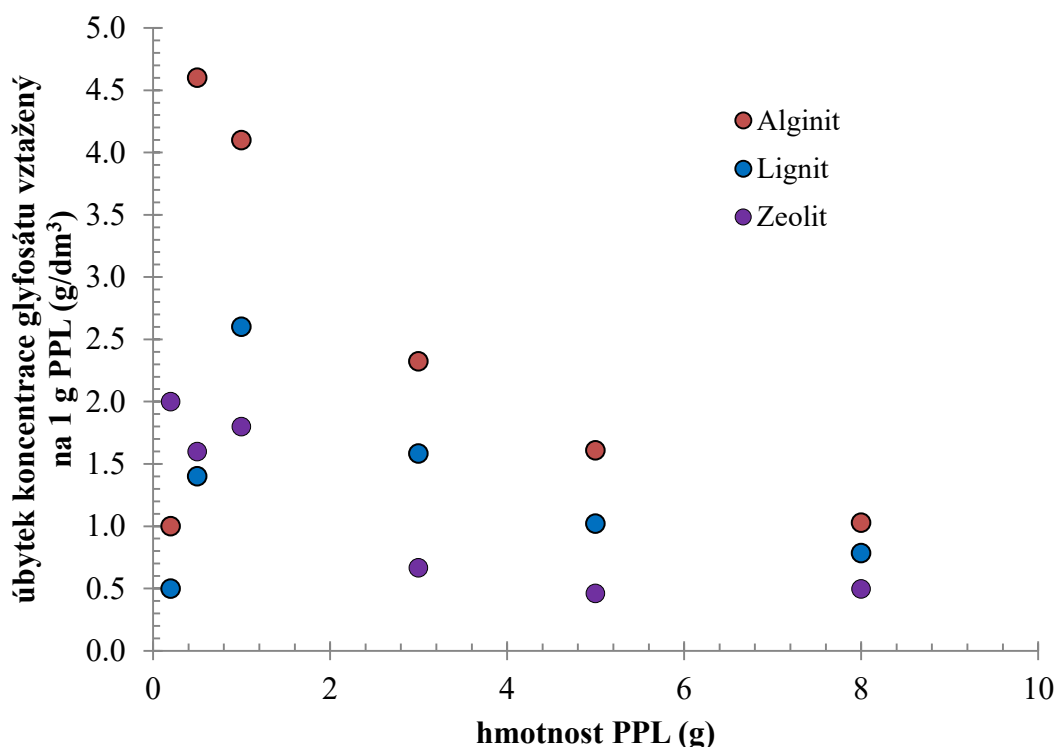
Hlavní náplní experimentální části práce bylo studium sorpce a s ní spojené imobilizace modelového pesticidu–glyfosátu (ve formě komerčního produktu RoundUp) v matricích obsahujících jednak jednotlivé PPL, směs PPL a komplex směsi PPL a půdy. Pro ověření sorpční kapacity PPL vůči glyfosátu byly nejprve realizovány sorpce tohoto pesticidu na jednotlivé PPL. Získaná experimentální data znázorňující nasorbované množství glyfosátu na definované množství PPL jsou znázorněna na Obr. 4.



Obr. 4. Stanovené úbytky koncentrace glyfosátu v závislosti na hmotnosti jednotlivých PPL použitých na sorpční experimenty

Zobrazené závislosti naznačují, že s rostoucí koncentrací všech pomocných půdních látek narůstá nasorbované množství glyfosátu. Ve všech případech dochází nejprve k výraznému nárůstu koncentrace nasorbovaného množství glyfosátu s rostoucí koncentrací (vysoká hodnota směrnice nárůstu). Po dosažení určité mezní koncentrace dochází k poklesu rychlosti nárůstu trendu závislosti. Z těchto výsledků je tedy patrné, že vyšší množství pomocných půdních látek je v tomto případě kontraproduktivní. Pro maximální nasorbované množství stačí pouze určitá mezní koncentrace. Tyto mezní koncentrace je možné odečíst z Obr. 5, který zobrazuje závislosti nasorbovaného množství glyfosátu vztažené na 1 g sorbentu (pomocných půdních látek). Zde je zřejmé, že maximální účinnost sorbentu (PPL) se zpočátku s rostoucí hmotností zvyšuje, poměrně rychle dochází k dosažení maxima a následně dochází k poklesu nasorbovaného množství vztaženého na 1 g PPL.

Další část sorpčních experimentů byla zaměřena na studium vzájemného působení směsi PPL a komplexu tvořeného homogenní směsí PPL a modelové půdy. V rámci těchto experimentů byla využita málo úrodná půda z aridních oblastí České republiky (jižní Morava, lokalita Pánov), která se vyznačuje nízkým obsahem humusových složek a proto tvoří ideální modelovou půdu, kde lze studovat vliv a působení zvolených pomocných látek. Výsledky této části sorpčních experimentů jsou sumarizovány v Tab. 3.



Obr. 4. Stanovené úbytky koncentrace glyfosátu vztažené na jednotkovou hmotnost PPL

Z Tab. 3 je patrné, že pro všechny studované systémy obsahující PPL respektive směs půdy a PPL došlo k poklesu koncentrace glyfosátu ve studovaných vzorcích. V případě navýšení obsahu PPL došlo rovněž k výraznému úbytku detekované koncentrace ve zdrojovém roztoku. Zároveň také přítomnost modelové půdy zvýšila schopnost imobilizace glyfosátu ve studovaných vzorcích.

Tab. 3. Výsledky ze sorpčních experimentů glyfosátu na směs PPL a komplex PPL + půda

PPL	Souhrnná dávka PPL (g)	Detekovaná koncentrace v roztoku (g/dm ³)	Úbytek koncentrace glyfosátu(g/dm ³)
Směs PPL	0,2	12,9 ± 0,3	0,6
bez půdy	2,0	8,2 ± 0,2	5,3
Směs PPL + půda	0,2	12,3 ± 0,4	1,2
	2,0	7,2 ± 0,1	6,3

Výsledky tedy naznačují, že použitá množství PPL v kombinaci s modelovou půdou dokáže snížit koncentraci modelového pesticidu až o 47 % oproti jeho původní koncentraci v sorpčním roztoku. Tyto závěry jednoznačně indikují výrazný potenciál studovaných PPL napomoci imobilizovat glyfosát, jakožto modelový pesticid v přírodních systémech.

Závěr

Hlavním cílem této práce bylo posoudit vliv alginitu, lignitu a zeolitu, jakožto půdních pomocných látek, na vybranou modelovou půdu ve dvou specifických ohledech. V první řadě to bylo působení na základní charakteristiky půdy jako je její schopnost absorbovat vodu, porosita, kompaktnost, obsah organické hmoty na základě výsledků získaných z důkladné fyzikálně-chemické charakterizace. Druhým, a z hlediska této práce významnějším aspektem,

pak bylo ovlivnění mobility modelového pesticidu v půdě. Pro tyto účely byla v rámci experimentální části práce vyvinuta analytická metoda pro stanovení glyfosátu v přítomnosti pomocných půdních látek a také v systému obsahujícím modelovou půdu.

Základní výzkum v rámci projektu potvrdil původní předpoklad vhodnosti využití vlastností PPL pro revitalizaci zemědělské půdy s dopadem na eliminaci budoucího ovlivnění kvality podzemních vod. Pro jasné stanovení dopadů použití PPL na ochranu podzemních vod je nutné ověřit jejich vlastnosti v minimálně tříletém experimentu, založeném na uvedeném základním výzkumu.

Dedikace

Výzkum byl realizován s podporou Ministerstva průmyslu a obchodu jakožto Řídícího orgánu, konkrétně formou Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost 2014-2020. Název programu Inovační vouchery (Výzva III.), který si klade za cíl zvýšit intenzitu a účinnost spolupráce ve výzkumu, vývoji a inovacích.

Použitá literatura

Hybler, V., Jandák, J., Pospíšilová, L., Vlček, V. *Vliv půdních pomocných látek na fyzikální a chemické vlastnosti půdy*. Folia Univ. Agric. et Silv. Mendel. Brun. 7(1), 1-89. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN: 978-80-7375-986-5, 2014.

Roundup Klasik: Bezpečnostní list, MOSANTO Europe S.A. [online]. 2.4.2012 [cit. 2019-10-02]. Dostupné z: <https://www.sdslibrary.monsanto.com>.

Novák, F., Machovič, V., Hrabalová, H., Novotná, M. Kvantitativní FTIR spektrometrie huminových látek. *Chem. listy* 111(6), 363-373 (2017).

Pekař, M., Klučáková, M. Comparison of Copper Sorption on Lignite and on Soils of Different Types and Their Humic Acids. *Environ. Eng. Sci.* 25(8), 1123-1128 (2008).

Petersen, H. I., Rosenberg, P., Nytoft, H.P. Oxygen groups in coals and alginite-rich kerogen revisited. *Int. J. Coal Geol.* 74(2), 93-113 (2008).

Qian, K., Tang, T., Shi, T., Li, J., Cao, Y. Residue determination of glyphosate in environmental water samples with high-performance liquid chromatography and UV detection after derivatization with 4-chloro-3,5-dinitrobenzotrifluoride. *Analytica Chimica Acta* 635(2), 222-226 (2009).

Stevenson, F. J., *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction*, 2nd edition. John Wiley & Sons, 1994.

Torsheva, L., Valtchev, V.P. Nanozeolites: Synthesis, Crystallization Mechanism, and Applications. *Chemistry of Materials*. 17(10), 2494-2513 (2005).

Kontaktní adresa 1. autora:

Ing. Radim Světlík, Evropský institut pro zadržování vody v krajině, z.ú., Hvozdec 101, 664 71 Hvozdec, r.svetlik@elwri.com