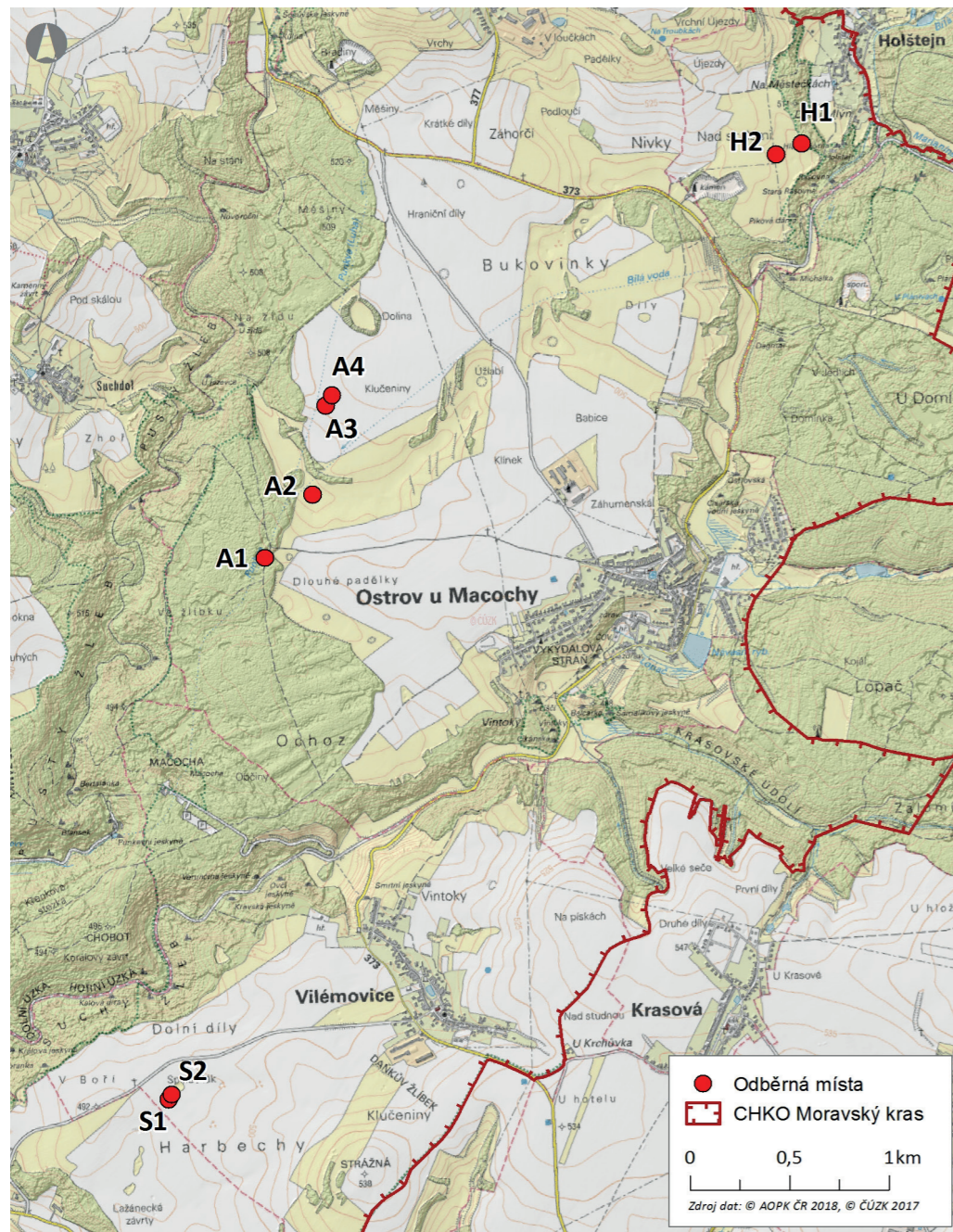


Tabulka č. 2: Seznam rizikových pesticidů v CHKO Moravský kras ve skapové vodě a půdě.
Zpracovala Taťána Halešová

Látka	Lokalita	půda [mg/kg]	skapová voda [mg/L]
terbuthylazin	S	0,009	1,36
terbuthylazin-desethyl	S	0,001	0,64
metazachlor	S	0,852	X
acetochlor esa	S	0,03	0,160
epoxikonazol	A3+A	0,590	X
tebukonazol	S	0,420	X
	A3+A4	0,540	X



Mapa č. 1: Zkoumané lokality v rámci studie PPK na výskyt pesticidních látek v CHKO Moravský kras (S – Harbešská jeskyně – závrt Společňák, A – Amatérská jeskyně, H – Holštejská jeskyně). Zpracoval: Zdeněk Hejkal

srovnání dopadu těchto látek na necílové organismy žijící v jeskynních systémech. Z uvedených pozitivních nálezů a zjištěných chronických toxicit vyplývá, že nejrizikovějšími pesticidními látkami v CHKO Moravský kras jsou triazinové pesticidy atrazin a terbuthylazin. RAC (mg/L) dle cílového organismu (bezobratlé, řasy a vodní organismy) pro atrazin je 2,2–4 mg/L, pro terbuthylazin 1,28–1,9 mg/L. I když koncentrace samotného atrazinu v rámci studie nedosáhla RAC koncentrace, vzhledem k faktu, že jeho používání bylo zakázáno v roce 2005, jde pravděpodobně o historickou zátěž, kdy působení atrazinu a jeho metabolitů jsou necílové organismy vystavovány již dlouhou dobu.

Další látky, které by mohly negativně ovlivňovat necílové organismy v CHKO Moravský kras, jsou účinné látky a metabolity (tabulka č. 2)

Nejvyšší obsahy těchto rizikových pesticidních látek ve skapových vodách měla lokalita Harbešská jeskyně závrt Společňák – orná půda. Dalším rizikem je, že dosud nebylo zjišťováno, jak tyto látky na organismy působí v kombinacích.

Závěr

Výsledky studie dokládají, že aplikace pesticidů je v současné době velmi rozšířená i v oblastech zvláště chráněných území, jako je CHKO Moravský kras. V důsledku dlouhodobého hospodaření s pesticidy dochází ke kontaminaci podzemních vod rezidui a především metabolity pesticidů, které mají podobné vlastnosti jako výchozí látky. Z uvedených výsledků je důležité upozornit také na nutnost sledování rozkladných produktů, které umožňují zkoumat historickou zátěž lokality, jelikož většina nalezených látek pochází z historické aplikace – atrazin zakázán od roku 2005, acetochlor od roku 2013. Ukazuje se, že největší riziko v CHKO Moravský kras představují triazinové pesticidy – již zakázaný atrazin a stále používaný terbuthylazin.

Výsledky studie slouží jako podklad pro plánovaná opatření v souvislosti s novým vymezením zonace a také jako důležitý zdroj informací pro zemědělce hospodařící na území CHKO Moravský kras.

Rtuť v prostředí lesních ekosystémů CHKO Brdy

Tereza Nováková, Tomáš Navrátil, Jan Rohovec

Rtuť a její sloučeniny patří mezi velmi toxické látky, jež jsou často neobyčejně mobilní a vykazují vysokou schopnost akumulace. Celoplošné mapování území České republiky prokázalo zvýšenou úroveň kontaminace životního prostředí rtuť. Z mapování se poněkud vymykala oblast dnešní CHKO Brdy, do nedávné doby pro výzkum obtížně přístupná. Lesní ekosystémy zde nabí-

zejí pohled na rozsah zasažení rtuť průmyslově nevyužívaného území, vstupu rtuť do ekosystému, distribuci rtuť v různých složkách lesního ekosystému, vyhodnocení průchodu rtuť biosférou, vstupu do pedosféry a hydrosféry. Právě proto bylo jednou z úvodních studií nově vzniklé CHKO zjištění aktuální distribuce rtuť v lesních ekosystémech.

Jezířka na bývalé cílové ploše Tok v CHKO Brdy. Foto Archiv AOPK ČR

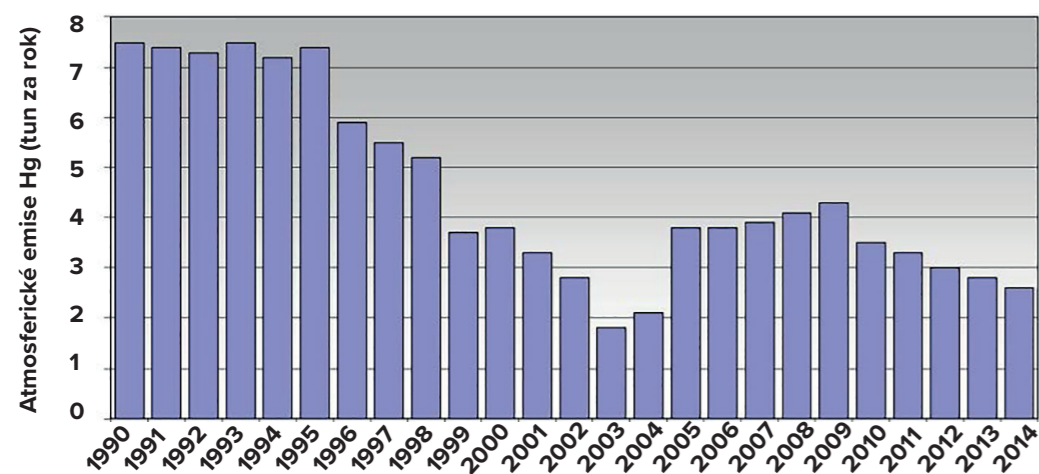


Kde se ta rtuť vlastně bere?

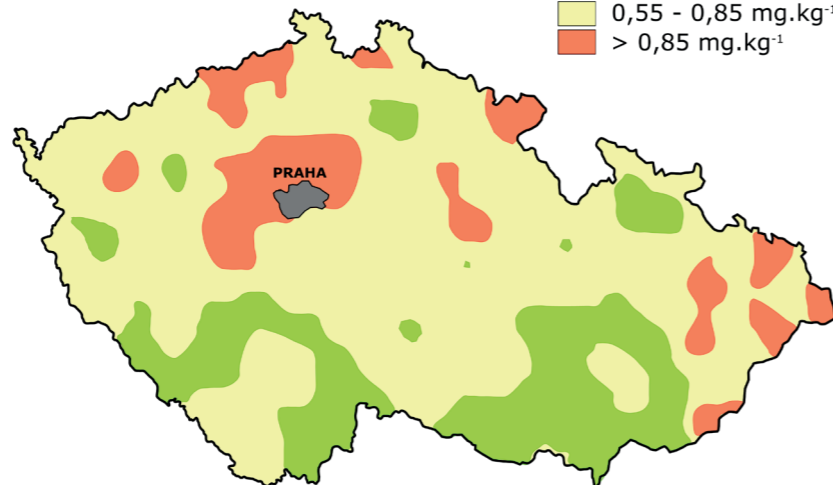
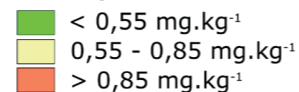
Rtuť se do prostředí, stejně jako jiné prvky a sloučeniny, dostává primárně ve formě emisí do atmosféry. Hlavní formou rtuti v atmosféře je její málo reaktivní podoba, totiž plynná elementární rtuť Hg^0 , což napomáhá jejímu šíření na velké vzdálenosti. Nejvýznamnějšími globálními zdroji rtuti pro atmosféru jsou spalování fosilních paliv, těžba zlata s využitím amalgamace, výroba cementu, spalování a zpracování odpadů nebo výroba louhů procesem elektrolyzy. Ze jmenovaných zdrojů nacházíme v současnosti ve Středočeském kraji elektrolytickou výrobu alkalických louhů (Neratovice), cementárny (Berounsko) a zdroje využívající fosilní paliva (od tepláren, průmyslových podniků až po domácnosti), do poloviny minulého století byly v provozu i těžební a zpracovatelské rudní provozy, využívající jak pražení a redukci rud tak i amalgamací zlata. Naopak přirozenými zdroji emisí rtuti pro životní prostředí jsou emanace rtuti z oceánů, lesní požáry, ložiska rud nebo vulkanická činnost. Ve Středočeském kraji nacházíme významné zdroje emisí rtuti v podobě opuštěných lokalit těžby rumělky a zbytků po těžbě, jako je Jedová hora na hranici CHKO Brdy.

Odhaduje se, že světové antropogenní emise rtuti do atmosféry dosahují téměř 2000 tun za rok z čehož Evropa je zodpovědná přibližně za 10%. Nejvyšší emise rtuti byly hlášeny z asijského kontinentu, s předpokladem dalšího růstu. Naopak v Evropě emise rtuti od devadesátých let poklesly až o 80%. Tento pokles byl způsoben poklesem spotřeby energie získávané z fosilních paliv, změnou průmyslových technologií a v neposlední řadě také zákazem používání rtuti v mnoha odvětvích průmyslu. Dle údajů z databáze evropského monitorovacího programu (EMEP) je Česká republika

Graf 1 Historický vývoj antropogenních emisí Hg na území ČR. Zdroj EMEP



koncentrace Hg v lesním humusu



Obr. 1 Mapa obsahu rtuti v lesním humusu v roce 1995 byla vytvořena z měření na 192 místech – zjednodušeno. Zdroj: Suchara I., Sucharová J., Acta Průhoniana 69, 1–178, 2000.

vzhledem k výši antropogenních emisí rtuti do atmosféry na 12. místě v Evropě. Od devadesátých let došlo v České republice k výraznému snížení emisí rtuti do atmosféry ze 7,5 tuny v roce 1990 na 2,6 tuny v roce 2014 (viz graf 1). Otázkou však je, na kolik jsou údaje v databázích přesné a do jaké míry a v jakém časovém horizontu se takový pokles emisí skutečně odrazí v životním prostředí.

Jak se rtuť dostane do lesa?

Rtuť uvolněná z některého zdroje může být v atmosféře přenesena do lesního ekosystému. Vzhledem k mimořádným chemickým vlastnostem, jako je mimořádná adsorpční schopnost rtuti v podobě prvku, liší se mechanismus vstupu, zachytu a uložení (depozice) rtuti v lesním ekosystému od jiných prvků. Mokrá depozice s dešťovou vodou, která

je u většiny prvků hlavním cestou vstupu, je u rtuti méně důležitou cestou a čítá maximálně asi 20% z celkové depozice. Hlavním způsobem je v lesním ekosystému záchyt rtuti na jehličí či listech stromů. Plynná elementární rtuť se totiž zachycuje při dýchání rostlin v listech či jehlicích nebo může být prostě zachycena na povrchu biomasy spolu s prachovými částicemi, na které je rtuť někdy v průběhu transportu vázána. V lesním ekosystému tedy dominuje suchá depozice rtuti tvořící až 80% z depozice celkové. Většina rtuti je v lesním prostředí ukládána spolu s biomasou ze stromů, typicky s listy, jehlicemi, větvemi, kůrou, lišejníky apod. V zalesněných, nepřilíš znečištěných částech středních Čech dosahuje celková roční depozice úrovně 20–30 $\mu\text{g}/\text{m}^2$.

Lesní půdy a rtuť

Biologický materiál – odpad nesoucí rtuť, který končí na půdním povrchu – se procesy tlení a humifikace přeměňuje na hrabanku a dává vzniknout lesnímu humusu. Humus nebo půdní organická hmota obecně jsou hlavními nositeli rtuti v půdě. Proto se nejvíce rtuti obvykle nachází ve svrchních humusových horizontech lesních půd. Proces rozkladu organické hmoty je závislý na teplotě a vlhkosti a působení organismů. Jedná se o proces pomalý, který může trvat ve střední Evropě desítky let, avšak v chladných oblastech až stovky let. Z tohoto důvodu záznam o kontaminaci humusu vypovídá o znečištění během posledních nejméně několika dekád. Uložení rtuti v půdním humusu není trvalé. Určité, velmi malé množství rtuti z půd uniká přirozeně působením ultrafialového záření a část rtuti



Obr. 2 Bývalá cílová plocha Jordán. Foto Tomáš Navrátil

je také z pevné fáze humusu uvolněna do půdní vody, kde je vázána na rozpuštěné organické látky. Obecně jsou obsahy rtuti ve vodách velmi malé, na úrovni nanogramů na litr (ng/l). Nicméně i tyto nízké koncentrace zasluhují pozornost právě s ohledem na dříve zmíněnou schopnost akumulace rtuti. Zde se otvírá cesta rtuti do potravního řetězce, kdy přes kontaminované mikroorganismy a plankton rtuť stoupá potravním řetězcem a koncentruje se v tělech organismů, zvláště v podobě velmi toxické methylrtuti.

Hrabankové a humusové horizonty lesních půd mohou být v lesním ekosystému vystaveny působení vnějších faktorů, které vedou k jejich poškození či destrukci, současně spojených s náhlým uvolněním části či celého množství po léta akumulované rtuti. Při lesním požáru většího rozsahu většina hrabanky



Obr. 3 Smrčina u Horního Padrtského rybníka. Foto Archiv AOPK ČR

shoří a při vysokých teplotách dojde k rychlému úniku rtuti do atmosféry. Při odstranění lesního porostu těžbou nebo při kůrovcové kalamitě dojde sice následně ke snížení depozice rtuti, ale změny v půdním prostředí urychlí rozpad humusové vrstvy a eskalují odnos organických látek do vod. Absence porostu na daném území totiž zvýší zamokření půd na daném území, protože z korun stromů nedochází k odpařování srážek a nedochází ke stínění, což způsobí zvýšení půdní teploty a urychlený rozklad humusu.

Kontaminace lesních půd toxickými prvky na území České republiky byla několikrát mapována, avšak rtuť nepatří mezi kontaminanty, kterým je věnována velká pozornost. Dle studie z roku 1995 (viz obr. 1) byl průměrný obsah rtuti v lesním humusu 0,66 mg/kg, ale v dnešní době, díky poklesu emisí, je průměrná koncentrace pravděpodobně nižší. Lze

tak usuzovat z klesajícího trendu koncentrace rtuti v půdách podrobně sledovaných lokalit na území České republiky. Mapování v roce 1995 prokázalo zvýšené obsahy rtuti v oblasti středních Čech, konkrétně na území mezi Mělníkem, Rakovníkem, Rokycany, Příbramí, Prahou a Mladou Boleslaví. Výskyt zvýšených obsahů rtuti lze přičíst historické i současné akumulaci průmyslových center – např. elektrochemická výroba, výroba cementu v oblasti Českého krasu, metalurgie (Plzeňsko, Rokycany) – či historické těžbě a zpracování rud (Příbram).

Jak je to v brdských lesích...

Výsledky předchozích prací zabývajících se znečištěním životního prostředí toxickými prvky v blízkosti CHKO Brdy, stejně jako úvodní studie pro CHKO Brdy, ve shodě ukazují, že aktuální distribuce je podmíněna historicky a spojena s provozem příbramské hutě. Ačkoliv hlavním objektem zájmu bylo olovo a stříbro, docházelo v procesu výroby při pražných a redukčních pochodech za vysokých teplot i k emisím rtuti, jež je přítomna jako stopová nečistota v těžené rudě. Údaje o emisích rtuti nejsou známy, avšak z geochemických archivů, jako jsou profily rašeliny či letokruhy stromů, víme, že maxima dosahovaly emise v 50–70. letech 20. století. Tento trend, pozorovaný při studiu obsahu rtuti v letokruzích jehličnanů v CHKO Brdy, kopíruje těsně emise olova, které jsou známy a doloženy. Neméně důležitým faktorem je již dávno opuštěné ložisko železné rudy na Jedové hoře, spojené též s výskytem sulfidu rtuťnatého – rumělky (HgS). Na tomto místě se od počátku 19. století až do roku 1871 těžila železná ruda a jako vedlejší produkt zde bylo vytěženo několik tun rumělky. Dodnes je zde zachována těžební šachta a mnoho výsypek hlušiny se zbytky cinabaritu. Není vyloučeno, že na území CHKO Brdy mohou být i další, dosud nenalezená ložiska rudních surovin, která mohou působit jako lokální zdroje kontaminace rtuti.



Obr. 4 Červený potok. Foto Tomáš Navrátil

Při podrobném mapování kontaminace lesního humusu na území CHKO Brdy dosáhla průměrná koncentrace rtuti 0,51 mg/kg. Zvýšené koncentrace byly nalezeny ve vzorcích humusu odebraných z okolí Jedové hory. Rtuť se zde nachází přirozeně v horninovém podloží, další cestu šíření mohou představovat přirozené emanace plynů z ložiska nebo prašnost z cest. Materiál z výsypek hlušiny byl nejednou použit při opravách lesních cest a v suchých obdobích může při provozu docházet k šíření rtuťí bohatého prachu. Několik vzorků, potvrzujících vliv hutního průmyslu poblíž Příbrami, rovněž vykazovalo nadprůměrné koncentrace rtuťi.

Další neočekávané zvýšené obsahy rtuťi v lesním humusu se vyskytly v okolí Padrťských rybníků. K jejich vysvětlení bylo nutné zjistit více informací o obsazích rtuťi v místních horninách. Některé karbonové horniny, jako jsou uhelné lupky či černé uhlí, těžené a koksovány v minulosti v okolí Mirošova, obsahují vysoké koncentrace až v řádu prvních jednotek mg/kg, stejně jako třeba některé typy slepenců spodního paleozoika Brd. Složitost geologických podmínek Brd je velká, takže detailní objasnění některých anomálií by vyžadovalo podrobnější studii.

A co z Brd odtéká aneb rtuť v brdských potocích a potůčcích

Stanovení rtuťi v povrchových vodách je vzhledem k velmi nízkým obsahům metodicky obtížné a finančně nákladné. Není proto divu, že podrobné informace o rtuťi v povrchových vodách, týkající se oblasti CHKO Brdy, či obecně území České republiky, v podstatě neexistují. Dle několika studií se koncentrace Hg ve vodách malých lesních toků v ČR pohybují v rozmezí od 1 do 20 ng/l. Podobně jako v atmosféře se rtuť ve vodách vy-

skytuje převážně vázaná na vhodný nosič. V přírodních vodách jsou to rozpuštěné organické látky nebo suspendované částice. Zvýšené koncentrace rtuťi proto v případě lesních ekosystémů na neznečištěných územích zaznamenáváme zejména tam, kde je voda bohatá rozpuštěnými organickými látkami. Prvními, vizuálně patrnými, indiciemi pro očekávání vyšší koncentrace rtuťi ve vodě jsou typické, nápadně hnědé zbarvení, zvýšená pěnovitost a někdy i zákal. Koncentrace rozpuštěného organického uhlíku ve vodě potoků i podíl suspendovaných částic humusu a dalších organických látek se zvyšují při vysokém průtoku, ke kterému může docházet při jarním tání nebo za přívalových dešťů.

Na území CHKO Brdy se koncentrace rtuťi v povrchových vodách za normálních průtokových podmínek pohybují v rozmezí od 1,3 do 8,5 ng/l, ale v období tání vzrůstají až na úroveň od 2,3 do 19,7 ng/l. Nejedná se však o nikterak extrémní či nebezpečné hodnoty. Nejvyšší obsahy rtuťi se vyskytovaly ve vodách v okolí Jedové hory v důsledku rumělkového zrudnění a starých výsypek hlušiny. Zvýšené obsahy rtuťi byly i v některých potocích v okolí Padrti. Že se zde nejedná o náhodný výkyv, potvrdil podobný výsledek v případě bahnitých sedimentů na dně potoků a lesního humusu.

Znalost chemismu a zejména změn v koncentracích toxických látek v oblasti Padrti je důležitá, neboť se zde nachází evropsky chráněná lokalita výskytu raka kamenáče. Několikrát v historii zde již došlo k hromadnému vymření populace raka z dosud ne přesně objasněných příčin, ale podrobný výzkum tohoto typu by mohl v budoucnu přispět k objasnění.



Obr. 6 Bahnitě sedimenty v Padrťských rybnících. Foto Archiv AOPK ČR

Závěrem...

O dynamice rtuťi v lesních ekosystémech na území České republiky není příliš mnoho informací, pilotní studie z území CHKO Brdy posunuje poznání této problematiky. Nyní existují poměrně značné experimentální podklady a povědomí o distribuci rtuťi v lesních ekosystémech této oblasti. Výsledky z Brd poslouží jako výchozí srovnávací prostor pro další výzkumy, ať již ve středních Čechách, nebo jinde. Mezi nespornými výhodami CHKO Brdy je fakt, že v důsledku přítomnosti armády zde nejsou větší obydlená území, není zde průmyslová výroba a jedná se o unikátní území pro studium všech složek lesních ekosystémů uprostřed Čech. Složky lesních ekosystémů, jako je humusová

vrstva lesních půd, bahnitě sedimenty vodních toků nebo přímo jejich vody, indikují výrazný vliv geologického podloží, těžby a zpracování rud v okolí Jedové hory, ale také příbramského těžebního a zpracovatelského průmyslu. Distribuce a mobilita rtuťi v lesním prostředí zasluhují zájem s ohledem na její toxicitu nebo možnost akumulace v plodnicích hub či rybím mase.

Výzkum v oblasti dynamiky rtuťi v životním prostředí je dlouhodobě podporován z institucionálních zdrojů Geologického ústavu Akademie věd ČR v. v. i. RVO67985831. Studie na území CHKO Brdy byla podporována z projektu financovaného Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR.

Obr. 5 Pohled z vrchu Tok v CHKO Brdy. Foto Tomáš Navrátil

