



MASARYKOVA UNIVERZITA
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
NÁZEV ÚSTAVU



Rešerše k tématu bakalářské práce:

Environmentálně rizikové prvky na odkališti Brno-Hády

Zpracoval: Václav Hladík

Školitel: doc. RNDr. Jindřich Štelcl, CSc.

Obsah

I.	Přírodní poměry plochy odkaliště	3
1.	Geomorfologické vlastnosti	3
2.	Geologické poměry	3
3.	Hydrogeologie oblasti	5
II.	Průzkumné práce na lokalitě	6
1.	Historický vývoj odkaliště	6
2.	Vybrané výsledky provedených prací	9
III.	Popílký	12
1.	Vznik popílků.....	12
2.	Materiálový tok popílků	13
3.	Vstupní suroviny	14
4.	Morfologie popílků a jejich fyzikální vlastnosti	15
5.	Geochemie popílků	16
6.	Využití popílků.....	17
IV.	Zdroje	19

I. Přírodní poměry plochy odkaliště

1. Geomorfologické vlastnosti

Plochu odkaliště můžeme zařadit podle geomorfologického členění do oblasti jihozápadní části Západních Vněkarpatských sníženin, a to do celku zvaném Dyjsko-svratecký úval. Okraje tohoto celku, kde leží zájmová lokalita, tvoří nížinné pahorkatiny se stolovými vrchy a kryogenními tvary. Lokalizaci plochy odkaliště můžeme dále specifikovat jako část Pracké pahorkatiny – podcelku, již zmíněného Dyjsko-svrateckého úvalu, jejíž severovýchodní část tvoří okrsek Šlapanická pahorkatina. Tu tvoří převážně neogenní usazeniny a výstupy brněnského plutonu, kulmu Dražanské vrchoviny a jurských vápenců. Podstatný vliv na geomorfologii pahorkatiny mají rovněž sedimenty říčních teras Svitavy. Vegetace je tvořená zejména poli, nepříliš velkými lesy, zastoupenými listnatými porosty (Demek J., Havlíček, M., Vašátko J., Cibulková P. 2014).

Zájmová oblast je umístěna v údolní depresi, jejíž dříve značně členitý terén je dnes zarovnan naplavenými popílky či částečně překryt navezeným materiálem po ukončení provozu odkaliště. V prostředí spraší, sprašových hlín a svahových uloženin jsou splachem vytvořeny relativně hluboké strže, převážně kolmým směrem na údolní depresi (Ondráček P., 2009).

2. Geologické poměry

Území odkaliště je budováno krystalickými horninami brněnského masívu brunovistulika. Dle horizontálního členění brněnského masívu, náleží zájmová oblast do granitoidní východní zóny. Ta je tvořena biotitickými granodiority, zde označovanými jako typ Královo Pole (Štelcl J., Weiss J., 1986).

Granodiority typu Králova pole vystupují v okolí města Brna a jejich průměrné modální složení tvoří z 53 % plagioklas, 24,9 % křemene, 11,1 % K – živce, 6,1 % biotitu a 2,2 % jsou tvořena akcesorickými a opákními minerály. Vyznačují se typickou narůžovělou barvou, místy obsahují krystaly až 1 cm velké euhedrálně omezené biotity. Vějířové uspořádání rovin magnetické foliace u tohoto typu granodioritu napovídá o jejich deformačním postižení v geologické minulosti (Štelcl J., Weiss J., 1986).

Na ploše odkaliště přechází granodiorit do eluvia charakteru písků až štěrků s úlomky nezvětralé horniny. Mocnost zvětralé zóny granodioritů může dosahovat 6 až 10 m, na svazích pak méně zhruba 1 m. Granodiority a jejich eluvium vystupuje na povrch především ve východní části zájmové lokality a dále pak v prostoru mezi ulicemi Pod Hády a Jedovnická (Ondráček P., 2009).

V západní části odkaliště tvoří nadloží granodioritů především kvartérní sedimenty českého masívu, které můžeme přiřadit ke kvartéru extraglaciální oblasti do celku nížinné oblasti moravských úvalů. Tuto oblast charakterizují eolické sedimenty – spraše, které mnohdy dosahují mocnosti několika metrů. Částečně jsou zastoupeny i říční uloženiny – terasy tvořeny štěrkopískovým materiálem a svahoviny. (Mísař Z. et al. 1982).

Jak poznamenal Ondráček ve své práci z roku 2009, fluviální sedimenty jsou na místě odkaliště zastoupeny hrubozrnnými štěrky vyšší terasy řeky Svitavy. Mocnost této terasy může v údolí dosahovat až 16 m. Výplňový materiál mezi jednotlivými valouny je tvořen převážně hlinitými písky. (Ondráček P., 2009)

Eolický materiál je na zájmové lokalitě zastoupen komplexem spraší a sprašových hlín, tuhé až pevné konzistence. Jejich mocnost značně kolísá a pohybuje se od několika decimetrů po metry (Staněk, 1969).

Údolní svahy obsahují svahové sedimenty, které můžeme označit jako písčité hlíny s vložkami jílu. Ondráčkův i Staňkův popis lokality, tak plně koresponduje s Mísařovou charakteristikou kvartérní oblasti.

Nejsvrchnější vrstvu odkaliště tvoří deponovaný materiál, který je tvořen popílky, v menší míře vápenatými kaly a navážkou, která pokrývá převážně jižní oblast odkaliště.

3. Hydrogeologie oblasti

Plocha odkaliště leží dle rozdělení podle Olmera v rajónu 6570 – Krystalinikum Brněnské jednotky. (Olmer, 1990)

Skalní horniny krystalinika tvoří hydrogeologický masiv, který obsahuje hloubkově omezený puklinový oběh podzemní vody. Horniny krystalinika představují většinou slabě propustné prostředí. Koeficient filtrace nabývá řádů v rozmezí od $x \cdot 10^{-6}$ po $x \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$. (Ondráček, 2009)

Naopak dobře propustnou vrstvou a z hlediska oběhu a akumulace podzemní vody významnějším prostředím jsou fluvialní štěrky terasy řeky Svitavy. Podle Sloupa dosahuje jejich koeficient filtrace hodnot v rozmezí $6,4 \cdot 10^{-4}$ až $7,6 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$. (Sloup, 1972)

Deponovaný materiál, tvořen v drtivé většině popílky, má výrazné horizontální zvrstvení, a tedy nižší propustnost ve směru vertikálním než horizontálním. Koeficient popílků kolísá v rozmezí $x \cdot 10^{-5}$ – $x \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$. (Ondráček P., 2009)

Oblast odkaliště nenáleží k žádnému ochrannému pásmu jímací podzemní vody ani neleží v jakémkoli chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV).

II. Průzkumné práce na lokalitě

1. Historický vývoj odkaliště

Výstavbu odkaliště Brno–Hády iniciovala společnost Teplárny Brno a. s., a to již v 60. letech 20. století. Do provozu pak bylo odkaliště uvedeno v roce 1967. Provoz odkaliště trval po dobu 30 let a ukončen byl v roce 1997. (Ondráček, 2009)

Na odkaliště byly dopravovány popílky z tepláren Červený mlýn a Špitálka. Popílky z těchto elektráren můžeme rozlišit podle způsobu ukládání:

- a) Popílky z teplárny Špitálka. Vedené takzvaně mokrou cestou, kdy byly popílky naplavovány spolu s vodou.
- b) Popílky z teplárny Červený mlýn, jež byly přiváženy a sypáním uloženy na ploše odkaliště.

Mimo popílky, byly na lokalitu v menší míře deponovány i vápenné a vápenoželezité kaly z chemických úpraven vod. Rovněž zde byly likvidovány slévárenské kaly z podniku Feramo Brno (Ondráček, 2009).

Plochu odkaliště omezuje základní hráz I/1 a tři navyšovací hráze, vybudované postupně v letech 1971, 1975 a 1983. Zprvu plánované další navýšení hrázového systému nebylo uskutečněno z důvodu ukončení provozu uhelných zdrojů (Ondráček, 2009). Oba provozy podniku Teplárny Brno a. s. nyní využívají jako palivo zemní plyn.

Hráz I/1 byla vybudována ze sprašových hlín. Dle tehdejšího průzkumu dosahovala vrstva spraše, zhutněná v tělesu hráze, propustnosti jílu. Těleso bylo tedy označeno za nepropustné. Rovněž navyšovací hráze bylo doporučeno budovat ze stejného materiálu. Hladina podzemní vody nebyla zastižena v žádném z vrtů pro založení základní hráze (Staněk, 1969).

V roce 1972 je již patrné nerovnoměrné zastoupení jednotlivých frakcí popílků rozprostřených na území odkaliště. Popílký dovážené nákladními automobily mají po stránce granulometrické charakter hlinitého písku. Popílký naplavované do nádrže pomocí potrubí se vlivem systému naplavování, respektive střídáním výtoku rozdělují na dvě frakce. V blízkosti výtoku, tj. poblíž návodního líce hráze se ukládá hrubší frakce, kterou můžeme označit jako štěrk s příměsí písku. Zatímco jemnější frakce, která potřebuje delší čas k sedimentaci a nižší rychlost proudění sedimentuje až dále v nádrži a odpovídá prachovitému písku. Mocnost navážky dosahovala z kraje roku 1972 mocnosti cca. 3 až 5 metrů (Sloup, 1972).

Rovněž došlo vlivem naplavování popílků ke zvýšení hladiny podzemní vody. Série pozorovacích vrtů provedená v roce 1960 v prostorách koruny hráze 1. a 2. etapy a prostoru pod hrází, při svém zabudování do hloubky 16 m nezachytila hladinu podzemní vody. Zatímco již v roce 1971 je pozorována satureovaná zóna štěrků v hloubce 11 m p. t. Došlo tedy k dotaci vody z bazénu odkaliště. To bylo potvrzeno i chemickými rozbory podzemní a povrchové vody (Sloup, 1972).

A naopak po ukončení naplavování došlo k poklesu hladiny podzemní vody, jak dokládá její naměřená hladina ve vrtu P11 v hloubce 22,6 m pod terénem (Moric, 1997).

Naplavování popílků bylo ukončeno v květnu roku 1996 a v říjnu téhož roku bylo ukončeno i veškeré čerpání vody do zátopy odkaliště. Provoz byl ukončen v prosinci následujícího roku, kdy se zde přestaly uskládat i vápenné a vápenoželezité kaly. (Ondráček, 2009)

Mezi roky 1993 až 1997 probíhala první fáze útlumového programu. Došlo k odstranění a likvidaci nepotřebných děl a zařízení v areálu odkaliště.

Druhá fáze programu probíhala mezi roky 1997 až 1997. Ta se skládala z překrytí svahů a dna nedoplaveného prostoru navážkou, a to k zabránění prašnosti. Rovněž došlo k vybudování vsakovacího prostoru. Vsakovací prostor měl zamezit případnému rozšíření přívalových nebo povodňových vod z povodí odkaliště.

Cílem fáze třetí, která započala roku 1998 a ukončena byla o čtyři roky později, byla rekultivace krajiny, a to úpravou strží; likvidací náletových dřevin a překrytím prostoru zeminou. Rovněž došlo k osetí povrchu travním semenem tak, aby byl prostor odkaliště co nejrychleji začleněn do okolní krajiny (Ondráček, 2009).

Celkové množství uskladněného materiálu odhadl Ondráček na 1 540 000 m³, a to dle objemu odkaliště, jenž činí 140 000 m² a průměrné mocnosti popílků, ověřené vrtnými pracemi a stanovenou na 11 m. Objem vápenných a vápenoželezitých kalů uložených v prostorách I a II strže Ondráček stanovil na 136 800 m³, rovněž dle plochy čítající 17 100 m² a mocnosti zhruba 8 m (Ondráček, 2009).

K roku 2009 bylo odkaliště řazeno do IV. Kategorie vodních děl a sloužilo pouze k zachycování povrchových vod (Ondráček, 2009).

Dnes je oblast bývalého odkaliště plně pokryta dřevinami. A v dohledné době je plánováno rekreační využití lokality v podobě parku.

2. Vybrané výsledky provedených prací

Naměřené hodnoty popílků, které tvoří podloží pro vybudování hráze I/3 dle průzkumu Ing. Sloupa:

Naměřené parametry	Hrubé popílký	Jemné popílký	Navážené popílký
Hustota sušiny [g*cm ⁻³]	1,37	0,91	0,68
Pevnost ve smyku [°]	36	33	35

(Tab. 1)

Na základě měření z roku 1993 je pozorováno vyšší zastoupení síranových a vápenatých iontů a floridů. V roce 1997 je patrný také nárůst koncentrace iontů sodných a chloridových. (Moric, 1997)

Po ukončení činnosti odkaliště v roce 1997 provedl doktor Moric environmentální hodnocení odkaliště se zaměřením na podzemní vodu a deponované popeloviny. Zhodnocení vody proběhlo pomocí vzorků z již zabudovaného vrtu P11 a z drenážní vody. Dle Kurlovovy klasifikace je drenážní voda označena jako vápenato – sodno – (hořečnato) – hydrogenuhličitano – síranového typu, zatímco voda vzatá z vrtu P11 je označena jako vápenato – sodno – (hořečnato) – hydrogenuhličitanovo – sírano – (chloridového) typu. Celkově vzato jsou vody dosti tvrdé až tvrdé, přičemž tvrdost je vyšší u drenážní vody. Vody se vyznačují nízkým obsahem organických látek a jsou středně mineralizované, podobně jako v případě tvrdosti, je i u drenážní vody pozorováno vyšší zastoupení minerálních látek. Hodnoty pH poukazují na neutrální charakter vod. (Moric, 1997)

Ve výše uvedené práci doktor Moric rovněž stanovuje stupeň anorganického a organického mikroznečištění, a to podle obsahů vybraných stopových kovů, PAU (polycyklické aromatické uhlovodíky) a PCB (polychlorované bifenoly). Stupeň environmentální závadnosti je určen dle tehdejších kritérií Metodického pokynu MŽP ČR – Kritéria znečištění zemin a podzemních vod, kde:

A = přírodní pozadí nebo mez citlivosti analytické metody

B = mezní koncentrace, která může mít negativní na zdraví a životní prostředí a jejíž dosažení vyžaduje průzkumu s cílem vysvětlit původ znečištění

C = mezní koncentrace, která může znamenat významné ohrožení zdraví a životního prostředí

Hodnocení jakosti vod

	Drenáž	P11
Fyzikálně chemické složení	mírně ovlivněno	mírně ovlivněno
Cl⁻	<B	<B
F⁻	<B	<B
NH₄⁺	<A	<A
NO₂⁻	<A	<A
As, Be, Cd, Co, Cu, Mo, Pb, V, Zn	<A	<A
Ba, Cr₆⁺, Cr, Hg, Ni	<B	<B
B	<B	<B
PAU	<B	<B
PCB	<B	<B

Hodnocení složení popelovin

Jakostní ukazatele	1,0 m	4,0 m	7,0 m	13,0 m
As	<A	<A	>C	>C
Ba, Be, Cd, Cr, Hg, Sn, V	<A	<A	<A	<A
Co	<A	<A	<A	<B
Cu, Pb, Zn	<B	<A	<A	<A
Mo, Ni	<B	<B	<B	<B
PAU	<B	<A	<A	<A
PCB	<A	<A	<A	<A

(Tab. 2,3)

Z naměřených hodnot koncentrace kontaminantů z vodních zdrojů je patrné, že ani jednou nebyla překročena hodnota B. Můžeme tedy konstatovat, že místní podzemní vody nejsou postiženy sledovanými kontaminanty.

U hodnocení složení popelovin je patrné riziko, způsobené zvýšenou koncentrací arsenu rostoucí úměrně s hloubkou. Vzhledem k tomu, že u hodnocení jakosti vod nebylo detekováno zvýšené množství tohoto prvku a pro nízkou mobilitu těžkých kovů nelze nález u popelovin hodnotit jako ohrožení životního prostředí (Moric, 1997).

Ještě v roce 1997 byl proveden doplňkový průzkum (Merta S) zaměřený na jihozápadní plochu odkaliště, kde se až do roku 1975 ukládal popílek suchou cestou. Průzkum spočíval v provedení jedenácti nevystrojených vrtů (ZT-1 až ZT-11), které dosahovaly hloubky v rozmezí 2 až 5 metrů a odběru sušiny, jako i stanovení hodnot obsahů polycyklických aromatických uhlovodíků a nepolárních extrahovatelných látek (NEL). Kritéria hodnocení NEL přitom přesáhla hodnotu C. Byly nařízeny sanační práce, jež zahrnovaly vytěžení kontaminované vrstvy v rozsahu 410 t a následnou rekultivaci oblasti (Ondráček, 2009).

Na základě rešeršní zprávy z roku 2007 provedené Moricem, Ondráček konstatuje:

- a) podzemní vody nejsou postiženy znečištěním pramenícím z plochy odkaliště
- b) ve vzorcích popílků z měření roku 1997 jsou překročeny hodnoty kritéria B MP MŽP pouze v případě arsenu
- c) doplňkový průzkum téhož roku prokázal znečištění podloží ropnými látkami v jihozápadním prostoru odkaliště
- d) vodní dílo odkaliště není po ukončení provozu ohrožením pro okolní krajinu, a naopak slouží coby zásobárna podzemních vod při zvýšeném výskytu srážek

Průzkumné práce z roku 2009 zahrnují čtyři nevystrojené sondy (MS-1 až MS-4) ve východní části lokality na pomezí komunikací Jedovnická a Pod Hády, sloužící ke zhodnocení kontaminace uložených popílků, saturované zóny a ke zhodnocení povrchových vod. Přičemž došlo k potvrzení nadlimitní koncentrace As, překračující hodnotní parametr C určeným pro území s rekreačním a průmyslovým využitím až 2,75násobně (Ondráček, 2009).

Znečištění vlivem As lze dle Ondráčka předpokládat v celé ploše odkaliště, a to až do úrovně 21 m p. t. Naopak koncentrace arsenu v podzemní vodě je nízká – podlimitní a neukazuje tak na možný transport tohoto prvku do saturované zóny. Rovněž kvalita drenážní vody z ulice Jarní nenaznačuje možné šíření tohoto kontaminantu do přilehlého prostoru. V popílcích As tvoří těkavé sloučeniny a v půdním podloží se vyskytuje v podobě arsenidů, arsenitanů a arseničnanů. Tvoří kovalentní vazby s kovovými i nekovovými prvky, přičemž se vytváří stabilní organické sloučeniny. Nebyla jím prokázána kontaminace, ani podložních zemin, ani podzemní vody. Nic tak nenasvědčuje k transportu polutantu nesaturovanou zónou do zóny saturované a do podložních hornin (Ondráček, 2009).

V roce 2013 provedla slečna Doležalová v rámci své bakalářské práce 20 mělkých, asi 20 cm hlubokých kopaných sond v severní části odkaliště. Provedená zrnitostní analýza potvrdila zařazení popílků do kategorie písčitého prachu, přičemž jeho fázové složení odpovídá zejména křemenu a z něj vysokoteplotně přeměněnému mullitu. Po provedení srovnání naměřených obsahů jednotlivých kontaminantů s průměrnými obsahy těchto prvků v zemské kůře, je patrný pouze nadlimitní obsah, již detekovaného arsenu (Doležalová, 2013).

III. Popílký

1. Vznik popílků

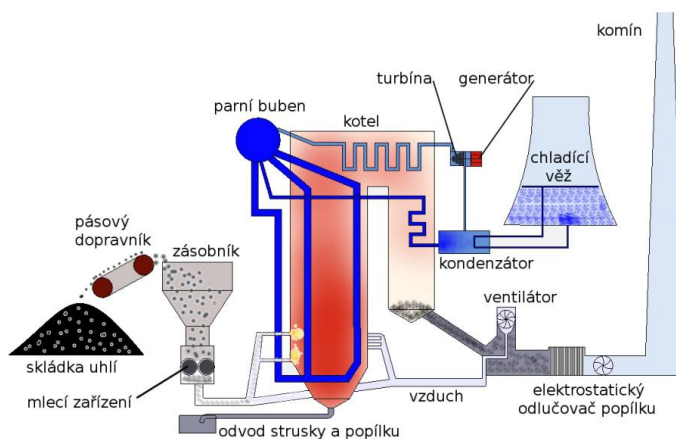
Popílek je heterogenní materiál, který vzniká jako vedlejší produkt při spalování uhlí. Jedná se o materiál, jehož velikost se pohybuje v rozmezí do 1 mm. Je to tedy nejjemnější komponenta vznikající při spalovacím procesu (Fečko, 2003)

Užitým palivem je tedy uhlí, které před vlastním spalováním prochází procesem drcení v drtiči uhlí na požadovanou frakci. Palivo je ze zásobníku přiváděno v surovém a očištěném stavu přes podavač. Ten reguluje množství, které je dodáváno do mlýna. V mlýně dochází k mletí na danou zrnitost. Při tomto procesu zároveň dochází k sušení paliva, a to za přispění proudu horkého vzduchu nebo spalin. Jemné částičky paliva jsou unášeny za pomoci nosného média. Směs nosného média a velmi jemného uhelného prášku se označuje jako takzvané brýdy. Ty jsou nadále spalovány v brýdovém hořáku. Větší částice, které nejsou odloučeny nosným médiem, se přivádějí potrubím primárního vzduchu do hořáků (Brázda, 2013).

Při vlastním spalování fosilních paliv a výrobě energie vzniká řada vedlejší energetických produktu (VEP). VEP rovněž vznikají v průběhu odsíření kouřových plynů. Tyto produkty se mohou později využít jako druhotné suroviny (Brázda 2013).

Hlavní komponenty VEP: Popílek; Škvára a struska – produkt z roštového, resp. konvenčního kotle; Energosádrovec – produkt mokré vápencové vypírky kouřových plynů, která se používá zejména při odsíření velkých elektráren a tepláren. Objem vyprodukovaných VEP se rok od roku zvyšuje a nyní se v České republice pohybuje okolo 15 milionů tun za rok (Brázda 2013).

Schéma vzniku popílků



(Obr. 1)

2. Materiálový tok popílků

Zbytky po hořícím prachu, který byl veden do hořáků, se buď to hned usadí ve formě strusky, anebo jsou nadále unášeny spaliny jako popílek. Spaliny jsou směřovány do komína a z něj následně do ovzduší. Aby se předešlo k tvorbě emisí a dodávání polutantů do ovzduší, prochází spaliny přes gravitační odlučovače. Lehčí část popílků, která není zachycena v těchto odlučovačích pokračuje přibližnou rychlostí 1 až 2 m.s⁻¹ soustavou elektrostatických odlučovačů. Částice popílku jsou nejprve záporně nabity okolními sršícími (nabíječícími) elektrodami do kterých je přiváděn stejnosměrný proud o napětí 40 – 70 kW. Načež jsou tyto částice přitahovány sběrnými deskovými elektrodami, které vykazují kladně nabitý charakter. Posléze jsou popílků mechanicky odstraněny ze sběrných elektrod do výsypek (Brázda 2013).

Výkonost odlučovačů dosahuje až 99 %, a to i díky systému elektrodových soustav. Ty se staví v řadě za sebou tak, aby se dosáhlo maximálního sběru potencionálně uniklých škodlivin do ovzduší. Zároveň je však elektrická energie vydaná na funkci elektrostatických odlučovačů takřka zanedbatelná, neboť přestože mají odlučovače vysoké napětí, dodávaný proud se pohybuje v rozmezí setin ampéru (Fečko, 2005).

Nashromážděný popílek z elektro odlučovačů se nejprve uskladňuje ve výsypkách, načež je pomocí turniketových podavačů transportován do fluidních žlabů. Ty dopravují popílků do systému pneumatické dopravy, a to buďto do kontinuální anebo do diskontinuální s použitím takzvaných komorových podavačů, této varianty se využívá častěji. Tímto způsobem je popílek dopravován do mezizásobníku popílků, ze kterého je již možné tuto surovinu odebrat k opětovnému využití. Soustava fluidních žlabů, pneumatické dopravy a mezizásobníků umožňuje skladování popílků o různé frakci podle potřeb následného využití materiálu (Brázda 2013).

V závěrečné etapě je materiál pomocí komorového podavače transportován do popílkového sila, odkud se dávkuje společně s vodou do mixéru. Aby se předešlo zhutnění a vzrůstu viskozity u uskladněného popílku v silu, je nade dnem sila zabudován vyprazdňovací kužel. Samotné vyprazdňování je umožněno systémem pneumatických žlabů na dně sila. Současně s popílkem je do mixéru dodávána také voda. Zde se připravuje stabilizát, deponát či aglomerát (Brázda 2013).

3. Vstupní suroviny

Jak již bylo zmíněno výše, hlavním materiálem, který se lidskou činností využívá a v konečném důsledku způsobuje vznik popílků je uhlí, tj. *nehomogenní, koloidní tuhá přírodní hornina, která vznikla přeměnou organických látek převážně dřevnatého rostlinného materiálu*.¹ Uhlí se řadí mezi fosilní paliva – kaustobiolitovou řadu.

Počátek tvorby uhlí se datuje již od siluru. K prouhelňování je krom klimatických a tektonických podmínek, důležitá rovněž přítomnost nahromaděných rostlinných zbytků se silným pletivem. Důležitým faktorem umožňujícím tvorbu uhlí, tak byl nárůst teploty a rozšíření suchozemské květeny v kambriu (Bouška, 1977).

Chemické složení a termické vlastnosti uhlí závisí na intenzitě a délce karbonifikace. V průběhu karbonifikace stoupá v uhlí zastoupení uhlíku. Dle procentuálního zastoupení C, je, možno rozlišit uhlí na nejstarší antracit (<90 % C), černé uhlí (80-90 % C) a nejmladší hnědé uhlí, kde se obsah uhlíku pohybuje v rozmezí od 70 do 80 %. Od 60% obsahu C se uvažuje lignit a nad 50 % také rašelina (Fečko, 2003).

Na kvalitě uhlí se podílí zejména tři hlavní faktory, a to obsahy hořlaviny, popelovin a vody. Hořlaviny reprezentují organický podíl uhlí. Popeloviny jsou naopak minerální příměs v uhelné struktuře, přičemž až 95 % z nich je tvořena z jílových minerálů (kaolinit, halloysit, illit, montmorillonit), sulfidů (pyrit a markazit, pyrhotin) a uhličitánů (kalcit, dolomit, ankerit, siderit). Přítomny jsou rovněž halogenní minerály (halit, sylvín) a akcesorické minerály (křemen, sádrovec, ortoklas, biotit aj.) (Fečko, 2003).

Krom procentuálního zastoupení uhlíku je z environmentálního hlediska důležité rozdělení uhlí na základě jeho výhřevnosti a spalného tepla. Uhlí je tak možno rozlišit na uhlí tvrdé, to jest antracit a černé uhlí s výhřevností nad 23,9 MJ.kg⁻¹ a nízkohodnotné uhlí, kam se řadí hnědé uhlí a lignit. (Frýzová, 2012).

¹ Fečko, P. (2003): Popílky – Vysoká škola báňská - Technická univerzita. Ostrava.

4. Morfologie popílků a jejich fyzikální vlastnosti

Popílký jsou heterogenní materiál, skládající se z prachových částic sférického tvaru, ze sklovitých amorfních částic a z uhlíkaté složky nabývající podoby hranatých částic. Jejich morfologie je odvislá od teploty spalování. Popílký vzešlé z vysokoteplotního spalování (granulační a výtavné ohniště) mají částice zaoblenější až kulovitého tvaru. Naproti tomu částice popílků, které byly utvořeny na fluidních ohništích o nižší teplotě si zanechávají původní uhlíkatý tvar (Frýzová, 2012).

Důležitým prvkem morfologie popílků je přítomnost mikrosfér. Ty mají často oválný tvar a vznikají v rozmezí teplot od 1200 do 1500 °C. Jejich povrch může být hrubý, což umožňuje vznik jemnozrnných povlaků s příměsí kontaminantů, jako je například arsen, či beryllium obsažené i na zkoumaném odkališti (Fečko, 2003).

Měrný povrch popílků se pohybuje v rozmezí 170 až 1000 m².kg⁻¹, ten má vliv na vyluhovatelnost popílků. Dalším důležitým faktorem pro sypké a pórovité látky je jejich hustota – *měrná hmotnost*. Ta se u popílků pohybuje od 2,1 do 3 kg.m⁻³ (Frýzová, 2012).

Granulometrie popílků, jako i měrný povrch jejich částic je dán společnými součiniteli, jimiž jsou obsah nespáleného podílu, jemnost mletí uhelného prachu a rychlostí tvorby cenosfér. Zrnitost popílků se pohybuje v rozmezí od 0,001 – 0,1 mm, přičemž platí, že čím větší je procentuální obsah malých zrn, tím větší je v popílkách koncentrace stopových prvků (Frýzová, 2012).

Neméně důležitá je také *nasákavost* popílků. Popílký jsou vysoce hydrofilní, čehož se využívá v průmyslu a pedologii. Také jsou zcela mikrobiologicky sterilní (Frýzová, 2012).

Barva popílků je typicky šedá až černá či hnědá. Sytost barvy je odvislá od příměsí v původním uhlí. Vyšší koncentrace pyritu způsobují tmavou barvu, zatímco břidlice konečný produkt spalování zesvětluje (Fečko, 2003).

5. Geochemie popílků

Rozmanité chemické složení popílků je dáno postupnými přeměnami částic v průběhu spalování namletého materiálu. Přičemž mohou procházet jak oxidačním, tak redukčním prostředím a posléze jsou vystaveny tavicím, spékacím a kondenzačním či sublimačním procesům. Chemismus popílků je do značné míry dán vstupním materiálem a typem spalovacího procesu, tím pádem také chemické složení popílků částečně vypovídá o typu a kvalitě uhlí, jež bylo ke spalování použito (Fečko, 2003).

Popílků jsou tvořeny zejména z SiO_2 , a to zhruba z 40 až 60 %, další podstatnou složkou popílků je Al_2O_3 . Procentuální zastoupení oxidu hlinitého se průměrně pohybuje v rozmezí od 19 do 34 %, přitom platí, že poměr oxidu křemičitého k oxidu hlinitému je přibližně 2:1. Poslední výraznou složkou jsou oxidy železa jež mohou dosahovat až 10 % z celkového množství popílků. V menší míře tu jsou zastoupeny alkalické a vápenato-hořečnaté složky (Fečko, 2003).

Amorfní alumosilikáty tvoří až 80 % obsahu popílků a do značné míry se podílí na hydraulických a pucolánových vlastnostech popílků. Obsah hlavních prvků (Si, O, Fe, Al, Na, Mg, Ca, K, Ti) je dán zejména měrným odporem částic, naproti tomu není pozorován rozdíl v zastoupení majoritních prvků v různých zrnitostních třídách. Vyšší hodnoty měrného prachového odporu jsou způsobeny oxidem hlinitým a oxidem křemičitým ve skelné fázi, naproti tomu alkalické složky (K_2O a Na_2O) hodnoty měrného prachového odporu snižují (Fečko, 2003).

Patrná je rovněž závislost prvků na přednostním tvoření vazeb s částicemi o různé velikosti. Colles je rozděluje do tří skupin:

1. Prvky litofilní (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Ti), které se přednostně koncentrují v malých částicích.
2. Prvky chalkofilní (As, Cd, Zn, Mo, Pb, Se), jejichž koncentrace stoupá se zmenšováním částic.
3. Třetí skupinu tvoří zbylé prvky (Be, Co, Cu, Ni, REEs prvky) nevykazující žádnou přednostní orientaci (Fečko, 2003).

6. Využití popílků

Roční produkce popílků v České republice se pohybuje okolo 8 000 000 t, čímž tvoří až dvě třetiny roční produkce VEP (Brázda, 2013).

Popílký obsahují mnoho užitečných složek, kterých se využívá zejména ve stavebnictví, popřípadě i v zemědělství či v energetice. Fečko (Fečko, 2003) rozlišil užitečné složky popílků do několika skupin:

Složka	Způsob získávání	Způsob využití
Nedopal	Třídění, flotace	Výroba energie
Cenosféry	Třídění	Plniva
Fe minerály magnetit, maghemit, hematit	Elektromagnetická separace	Výroba Fe a Fe – sloučenin, zatěžkávadla pro gravitační úpravu
Ti minerály perovskit, rutil, ilmenit, ilmenorutil	Elektromagnetická separace, flotace, biohydrometalurgie	Výroba Ti a Ti pigmentu
Al minerály böhmit, hydrargillit	Hydrometalurgický, biohydrometalurgický	Výroba Al
Al-Si minerály zeolitové skupiny, mordenit, philipsit, klinoptilolit	Neuvádí se	Přírodní sorbenty, hnojiva, detergenty
Si minerály křemen, cristobalit, wolastonit, analcin, richterit, cuspidin,	Neuvádí se	Teoreticky na výrobu Si
Ca minerály, anhydrit, sádrovec	Neuvádí se	Ve výrobě stavebních hmot
Al Si amorfní fáze	Částečná koncentrace, gravitační úpravou	Výroba syntetického zeolitu, stavebních materiálů
Stopové, vzácné prvky	hydrometalurgický	Výroba Ge

(Tab. 4)

Popílký se mimo jiné využívají v keramickém průmyslu. V České republice to je zejména využití při výrobě cihel. Popílková příměs se využívá k dosažení nižší citlivosti k sušení, dále jako lehčivo k vylehčení střepe, a také pro snížení nevratné vlhkostní roztažnosti (Sokolář, 2010).

Dále se popílký používají ve stavebnictví, kde se využívá jejich vlastností, které napomáhají ke zvýšení vodotěsnosti a trvanlivosti betonů a zpracovatelnost betonových směsí. Rovněž se popílků využívá při výrobě umělého kameniva, kde napomáhá snížení negativních výluhů. Fluidní popílký se pak dají využít jako reaktivní mikrokamenivo (Frýzová, 2012).

Ve výrobě stavebních materiálů se popílků využívá k výrobě umělých lehčených, lehkých a hutních kameniv. Dále se mohou využít při výrobě betonu, ač už litého nebo vibrovaného lehkého. Často se přidávají do betonových směsí a tmelů či při výrobě sádry a sádrových výrobků (Fečko, 2003)

Případně se jejich vlastností využívá ke zkvalitnění podloží cest, kde se z popílků vyrábí solidifikáty a stabilizátory, jež se přidávají zejména do násypů či aktivní zóny podloží vozovky (Fečko, 2003).

IV. Zdroje

Bouška V. (1977): Geochemie uhlí. – Academia. Praha.

Brázda R., Vyletělek J., Skácel K., Günther P., Grabec J., Žalčík J. (2013): Dopravní komplexy. – Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Ostrava

Demek J., Mackovčín P. eds. et al. (2014): Zeměpisný lexikon ČR, hory a nížiny 1. díl – Mendelova univerzita v Brně. Brno

Demek J., Mackovčín P. eds. et al. (2014): Zeměpisný lexikon ČR, hory a nížiny 2. díl – Mendelova univerzita v Brně. Brno

Doležalová, S. (2013): Odkaliště sypkých průmyslových odpadů jako specifický druh ekologických zátěží. – MS, bakalářská práce. Katedra biologie, Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity. Brno.

Fečko, P. (2005): Fly ash – Vysoká škola báňská - Technická univerzita. Ostrava.

Fečko, P. (2003): Popílky – Vysoká škola báňská - Technická univerzita. Ostrava.

Frýzová, R. (2012): Fázové složení elektrárenských popílků: kvantitativní stanovení vybraných minerálů. – MS, diplomová práce. Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity. Brno

Moric P. (1997): Odkaliště Hády doplňkový inženýrskogeologický a hydrogeochemický průzkum. – MS, doplňkový průzkum. Aquatis a. s. Brno

Olmer M., Kessler J. (1990): Hydrogeologické rajóny. - Výzkumný ústav vodohospodářský ve spolupráci s Českým hydrometeorologickým ústavem ve Státním zemědělském nakladatelství. Praha

Ondráček, P. (2009): Odkaliště Hády-analýza rizika. – MS, závěrečná práce. Envi Aqua,s.r.o. Brno.

Sloup (1972): Brno-Hády hydrogeologický průzkum prostoru podhrází složiště popílků. – MS, závěrečná zpráva. Geotest. Brno.

Sokolář R. (2010): Vedlejší energetické produkty ve výrobě stavební keramiky. - Odpadové fórum 11, 4, 16-17. Praha.

Staněk (1969): Odstruskovací nádrž Brno-Hády. – MS, závěrečná zpráva. Energoprojekt. Praha

Štelcl J., Weiss J. et. al. (1986): Brněnský masív. – Přírodovědecká fakulta, Universita J. E. Purkyně v Brně. Brno.

Obr. 1 - Brázda R., Vyletělek J., Skácel K., Günther P., Grabec J., Žalčík J. (2013): Dopravní komplexy. – Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Ostrava

Tab. 1 - Sloup (1972): Brno-Hády hydrogeologický průzkum prostoru podhrází složiště popílků. – MS, závěrečná zpráva. Geotest. Brno.

Tab. 2, 3 - Moric P. (1997): Odkaliště Hády doplňkový inženýrskogeologický a hydrogeochemický průzkum. – MS, doplňkový průzkum. Aquatis a. s. Brno

Tab. 4 - Fečko, P. (2003): Popílký – Vysoká škola báňská - Technická univerzita. Ostrava.