

Problematika stanovení emisního faktoru metanu z hnědých uhlí

The issue of determining the emission factor of methane from brown coal / Probleme bei der Bestimmung des Methanemissionsfaktors aus Braunkohle

ING. LUKÁŠ ANDĚL
VUHU a.s.

Přijato: 30. 1. 2025, bez recenze

ABSTRAKT

Dne 15. 7. 2024 vyšlo Nařízení Evropského parlamentu a rady EU 2024/1787 o snižování emisí metanu v odvětví energetiky. Toto nařízení se, krom jiného, týká stanovení emisního faktoru z hnědých uhlí těžených v České republice v otevřených lomech. Emisní faktor je vyjádřen jako množství uvolněného metanu na jednotku hmotnosti uhlí, obvykle se udává v kilogramech na tunu, popř. v gramech či litrech na tunu. V současné době není legislativně ani normativně dán jednotný postup pro stanovení emisí metanu a lze proto využít různých postupů, které využívají stávající technologie.

1 | POŽADAVKY VYPLÝVAJÍCÍ Z NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY EU 2024/1787

Dne 15. 7. 2024 vyšlo Nařízení Evropského parlamentu a rady EU č. 2024/1787 ze dne 13. 6. 2024 o snižování emisí metanu v odvětví energetiky a o změně nařízení 2019/9421 (dále jen „nařízení“). V důvodové zprávě nařízení se uvádí, že metan je druhým nejvýznamnějším skleníkovým plynem po oxidu uhličitým (CO_2) a jeho množství v atmosféře za posledních deset let prudce vzrostlo. Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC) zdůrazňuje, že snížení antropogenních emisí metanu je klíčové pro omezení globálního oteplování na 1,5 °C, protože metan má ve dvacetiletém horizontu více než 80krát vyšší skleníkový účinek než CO_2 . Emise metanu přispívají k tvorbě přízemního ozonu a znečištění ovzduší, což má negativní dopady na lidské zdraví. Snížení emisí metanu o 45 % do roku 2030 by mohlo zabránit nárůstu globálního oteplování o 0,3 °C do roku 2045. Evropská unie, jako největší světový dovozce energie z fosilních zdrojů, významně přispívá k celosvětovým emisím metanu a přijala strategii ke snížení těchto emisí v rámci Zelené dohody pro Evropu, která má za cíl dosáhnout klimatické neutrality do roku 2050.

Emise metanu z neaktivních a trvale zlikvidovaných vrtů představují riziko a měly by být monitorovány a vykazovány. Členské státy by měly vypracovat soupisy těchto vrtů a zajistit jejich bezpečnou likvidaci. Emise metanu z uhelných dolů jsou významným zdrojem a měly by být monitorovány a vykazovány, přičemž mitigační opatření by měla být zaměřena na snížení emisí z aktivních i opuštěných dolů.

Členské státy by měly mít možnost zavést pobídky ke snižování emisí metanu z aktivních uhelných dolů, například investicemi do zachycování metanu a jeho případné využití. Komise by měla zřídit nástroj pro celosvětové monitorování metanu

a mechanismus rychlé reakce. Transparentní informace by měly motivovat třetí země k přijetí mezinárodních norem pro měření a vykazování emisí metanu, přičemž nově uzavírané smlouvy na dodávky fosilních paliv by již měly zahrnovat pravidla pro monitorování emisí metanu. Komise by měla stanovit metodiku pro výpočet intenzity úniků metanu a povinné hodnoty maximální přípustné koncentrace metanu. Členské státy by měly stanovit sankce za porušení tohoto nařízení, které by měly být účinné, přiměřené a odrazující.

Pro aktivní hlubinné doly pak platí, že provozovatelé hlubinných uhelných dolů musí nepřetržitě měřit a kvantifikovat emise metanu ve ventilačních šachtách a vykazovat je příslušným orgánům. Pro výpočet emisního faktoru z povrchových uhelných lomů se používají emisní faktory metanu, které jsou charakteristické pro odpovídající ložiska. Měření a kvantifikace se mají provádět podle platných norem a technických předpisů s ohledem na nejmodernější technické a vědecké poznatky. Provozovatelé dolů musí předkládat roční výkazy o emisích metanu, které musí být ověřeny nezávislým ověřovatelem, kterého má určit odpovídající státní orgán. Od 1. 1. 2027 bude zakázáno vypouštění metanu větracími šachtami, které vede k emisím více než pěti tun metanu na kilotunu vytěženého uhlí a od 1. 1. 2031 více než tří tun metanu na kilotunu vytěženého uhlí.

V případě uzavřených hlubinných dolů musí členské státy do 5. 8. 2025 vypracovat a zveřejnit soupis uzavřených a opuštěných hlubinných uhelných dolů, jejichž provoz byl ukončen po 3. 8. 1954. Od 5. 5. 2026 musí být u těchto dolů měřeny emise metanu, pokud uvolňují více než 0,5 tuny metanu ročně. Pokud emise klesnou pod jednu tunu metanu ročně po dobu šesti let u zaplavených dolů nebo 12 let u nezatopených dolů, monitorování se zastaví. Členské státy mohou osvobodit doly zaplavené po

dobu nejméně 10 let od těchto požadavků. Výkazy o emisích metanu musí být předloženy příslušným orgánům do 5. 8. 2026, a poté každoročně do 31. 5. Členské státy musí vypracovat plán na zmírňování emisí metanu z uzavřených a opuštěných dolů do 5. 2. 2027. Od 1. 1. 2030 je zakázáno vypouštění a flérování metanu, pokud není jiné využití technicky proveditelné nebo bezpečné.

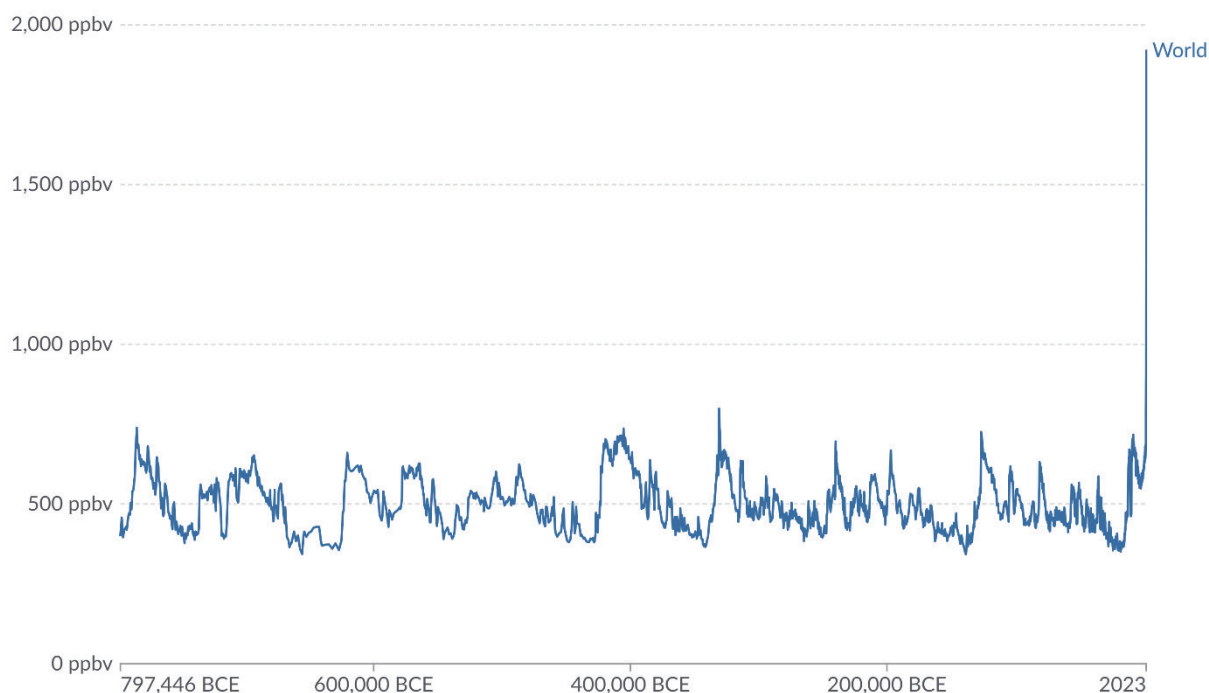
V případě hnědouhelných povrchových lomů nařízení předpokládá, že emise metanu z těchto lomů jsou výrazně nižší než emise z těžby černého uhlí, zemního plynu a ropy. Podle inventury skleníkových plynů v Unii uniklo v roce 2019 z aktivních povrchových dolů celkem 166 kilotun metanu, zatímco emise metanu z hlubinných uhelných dolů představovaly 828 kilotun. Měření emisí metanu z povrchových uhelných dolů je náročné, jelikož metan má tendenci rozptylovat se na velkém území. Emise metanu z povrchových uhelných dolů lze odvodit podle emisních faktorů uhlí specifických pro danou pánev a s větší přesností pomocí emisních faktorů specifických pro daný důl nebo ložisko, neboť uhelné pánve mají ložiska s různou plynodajností. Emisní faktory lze odvodit z měření plynodajnosti slojí zjištěných ze vzorků z průzkumných vrtů. Provozovatelé dolů by proto měli kvantifikovat emise metanu v povrchových uhelných dolech za použití těchto emisních faktorů. Emise metanu z plně zaplavených hlubinných uhelných dolů mají tendenci v průběhu času výrazně klesat, neboť hydrogeologické podmínky se po uzavření uhelného dolu a po dokončení jeho zaplavení stabilizují. Proto by mělo být v řádně

odůvodněných případech možné tyto uhelné doly od povinné kvantifikace osvobodit.

Každý členský stát je do 5. 2. 2025 povinen oznámit Komisi názvy a kontaktní údaje orgánů odpovědných za monitorování a vymáhání Nařízení. Do 5. 8. 2025 a poté každoročně do 31. 5. předloží provozovatelé dolů příslušným orgánům výkaz obsahující údaje o ročních emisích metanu na úrovni zdrojů. Emisní faktory mají být stanovovány čtvrtletně v souladu s příslušnými vědeckými standardy.

2 | METAN V ATMOSFÉŘE

Metan (CH_4), jakožto nejjednodušší molekula organické chemie, je významný skleníkový plyn, který má výrazný vliv na globální oteplování. Jeho koncentrace v atmosféře se v průběhu tisíciletí výrazně měnila v závislosti na přírodních procesech a lidské činnosti. Historické koncentrace metanu v atmosféře byly zjišťovány pomocí analýzy vzduchových bublin zachycených v ledovcových jádrech [2]. Tyto analýzy ukazují, že během posledních 800 000 let se koncentrace metanu pohybovaly mezi 350 a 800 ppb v závislosti na klimatických cyklech. Během poslední doby ledové byly koncentrace metanu nižší, zatímco v teplejších obdobích, jako je současná doba meziledová, byly vyšší. S nástupem průmyslové revoluce v 18. století začaly koncentrace metanu v atmosféře dramaticky stoupat v souvislosti s lidskou činností a zvyšujícím se využíváním fosilních paliv, především zemního plynu a ropy. Před průmyslovou revolucí byla koncentrace metanu při-



Data source: NOAA Global Monitoring Laboratory - Trends in Atmospheric Methane (2025); EPA based on various sources (2022)
OurWorldinData.org/climate-change | CC BY

Obr. 1: Vývoj koncentrace methanu v čase, měřená v objemových ppb, tj. $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

bližně 700 ppb. V roce 2024 dosáhla koncentrace metanu přibližně 1 922 ppb. Tento nárůst je přičítán především lidským aktivitám, jako je těžba fosilních paliv, zemědělství (zejména chov dobytka) a rozklad organického odpadu na skládkách.

Metan v atmosféře pochází z přírodních i antropogenních zdrojů. Přírodní zdroje zahrnují mokřady, které jsou největším přirozeným zdrojem metanu, a také uvolňování metanu z permafrostu a oceánských hydrátů. Lidské aktivity, které přispívají k emisím metanu, zahrnují těžbu a spalování fosilních paliv, zemědělství (zejména chov přežvýkavců) a rozklad organického odpadu na skládkách. Obrázek č. 2 ukazuje podíl jednotlivých složek, které přispívají k emisím metanu [3].

Metan má relativně krátkou životnost v atmosféře, přibližně 12 let, než je rozložen chemickými reakcemi, zejména reakcí s hydroxylovými radikály. Přestože má metan kratší životnost než oxid uhličitý (CO₂), jeho schopnost zachycovat teplo je mnohem vyšší, což z něj činí velmi účinný skleníkový plyn. V posledních desetiletích se koncentrace metanu v atmosféře nadále zvyšují. Tento trend je znepo-

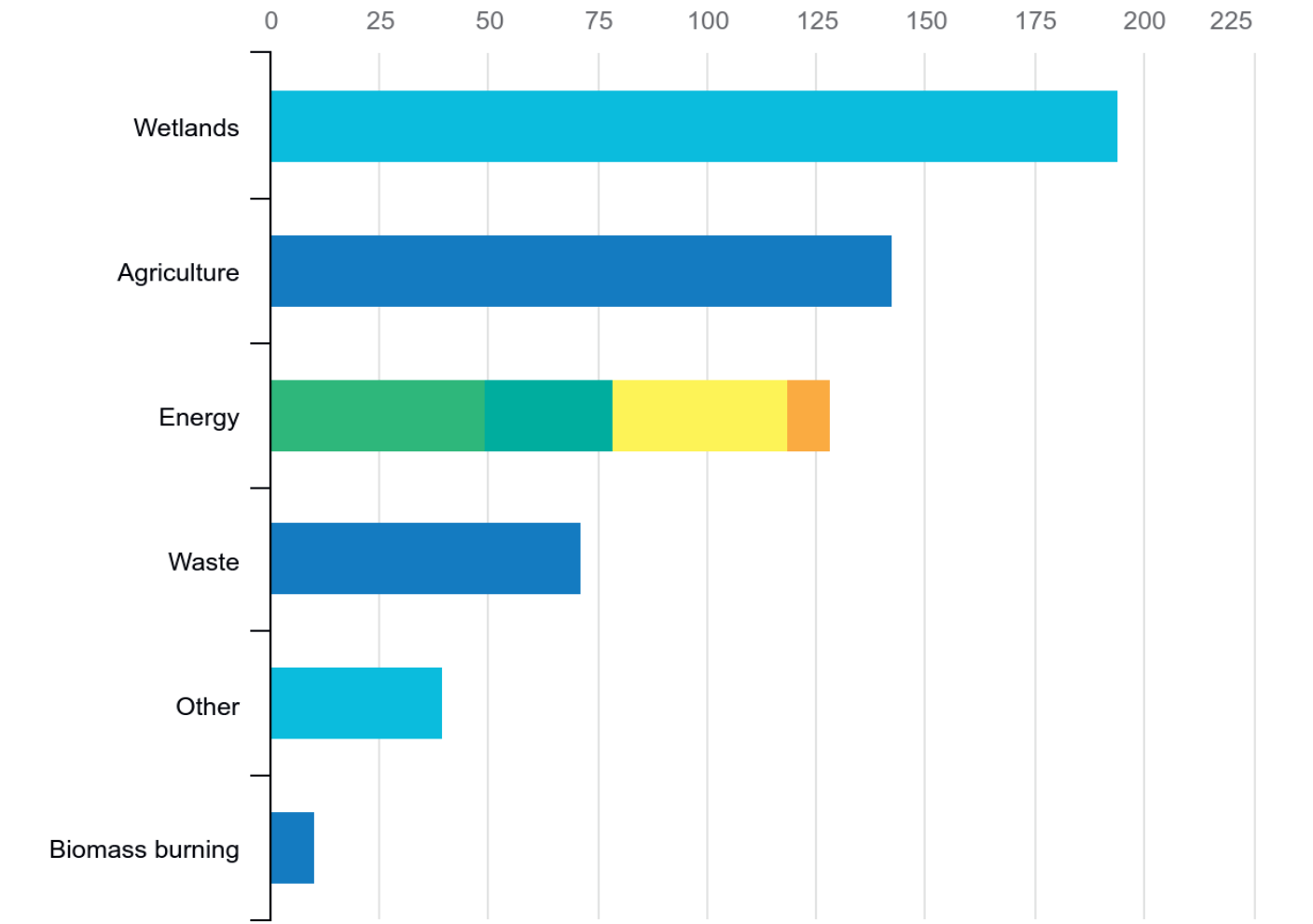
kojivý vzhledem k jeho významnému příspěvku ke globálnímu oteplování. Snižování emisí metanu je proto klíčové pro zmírnění změny klimatu a dosažení cílů Pařížské dohody.

3 | VZNIK PÓRÉZNÍ STRUKTURY V UHLÍ, ADSORPCE A METAN

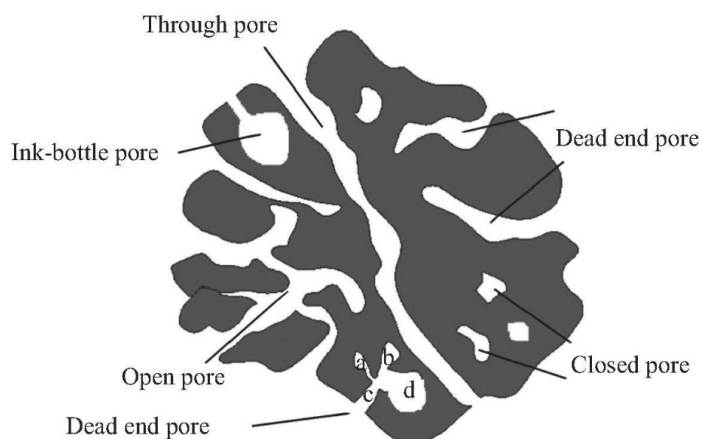
Póry v uhlí vznikají během procesu jeho formování, který zahrnuje několik geologických a chemických procesů. Uhlí se tvoří z organického materiálu, který je vystaven tlaku a teplotě po miliony let. Tento proces, označovaný jako prouhelnění neboli karbonizace, vede k postupnému odstraňování vody a těkavých látek, což způsobuje tvorbu pórů v uhlí [4]. Póry v uhlí mohou být klasifikovány podle jejich velikosti [5]:

- Mikropóry: póry s průměrem menším než 2 nm.
- Mezopóry: póry s průměrem mezi 2 a 50 nm.
- Makropóry: póry s průměrem větším než 50 nm.

Uhelná hmota uvnitř pórů poskytuje velký aktivní povrch, který je klíčový pro adsorpční vlastnosti uhlí.



Obr. 2: Zdroje emisí methanu v atmosféře (Wetlands – mokřady, Agriculture – zemědělství, Energy – energie, Waste – odpady, Other – ostatní, Biomass burning – spalování biomasy). (Zdroj: IEA (2024), Sources of methane emissions, 2023, IEA, Paris: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/sources-of-methane-emissions-2023-2>)



Obr. 3: Ukázka vnitřního systému pórů v uhlí.

Tento povrch se může u neaktivovaných uhlí pohybovat v řádech jednotek až desítek metrů a tvoří tak významný podíl možné adsorpční kapacity v uhelné hmotě. Póry dále ve svém objemu poskytují další prostor, kde mohou být uzavřeny přítomné molekuly, včetně metanu.

Adsorpce je proces, při kterém se molekuly plynu nebo kapaliny vážou na povrch pevného materiálu. V případě uhlí je adsorpce klíčová pro zachycování různých plynů, včetně metanu. Adsorpce v uhlí je ovlivněna několika faktory, včetně velikosti a distribuce pórů, chemického složení uhlí a teploty. Metan v uhlí vzniká během procesu karbonizace a je přítomen ve formě adsorbovaného plynu na aktivním povrchu uhelných částic. Tento metan může být uvolněn (desorbován) při změně tlaku nebo teploty, což je důležité pro těžbu a bezpečnostní opatření v dolech. Je důležité si však uvědomit, že metan není hlavní složkou směsi plynů, která se uvolňuje z uhelné hmoty.

4 | MOŽNÉ ZPŮSOBY STANOVENÍ METANU

4.1 | PLYNOVÁ CHROMATOGRAFIE

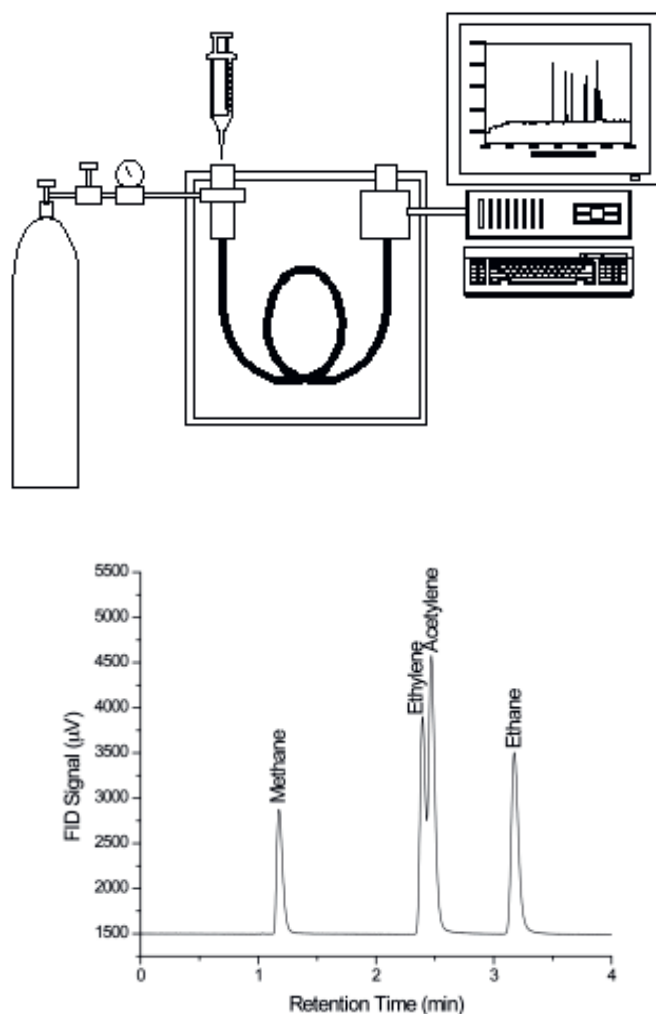
Plynová chromatografie (GC) [6] je široce používaná analytická technika pro stanovení metanu v různých vzorcích, včetně vzduchu, zemního plynu a bioplynu. Tato metoda je ceněna pro svou přesnost, citlivost a schopnost analyzovat složité směsi plynů. Plynová chromatografie funguje na principu separace složek směsi na základě jejich rozdílné afinity k mobilní a stacionární fázi. V případě stanovení metanu se vzorek plynu vstříkne do chromatografického systému, kde je nesen inertním nosným plynem (např. heliem nebo dusíkem) přes kolonu naplněnou stacionární fází. Různé složky vzorku interagují se stacionární fází různě intenzivně, což způsobuje jejich separaci v čase. Pro detekci metanu se nejčastěji používají dva typy detektorů:

- Plamenový ionizační detektor (FID): Tento detektor je velmi citlivý na uhlovodíky, včetně metanu. FID pracuje na principu detekce iontů

uhlovodíků vznikajících při spalování organických látek v plameni vzniklém při spalování vodíku, což generuje elektrický signál úměrný koncentraci sledovaných látek, včetně metanu.

- Tepelně vodivostní detektor (TCD): Tento detektor měří změny tepelné vodivosti plynu při průchodu vzorku přes detektor. Metan má odlišnou tepelnou vodivost než nosný plyn, což umožňuje jeho detekci. Na obrázku č. 4 je vyobrazeno schéma plynového chromatografu – zásobní láhev s nosným plynem, nástřikové zařízení, náplňová kolona, detektor a PC, na kterém je prováděn sběr a vyhodnocení dat. Dále je zde uveden příklad výstupu – chromatogram, který zaznamenává změnu intenzity signálu na detektoru. Poloha signálu, tzv. eluční čas, je pak charakteristický pro danou sledovanou látku, plocha signálu sledované složky je pak přes kalibrační křivku úměrná koncentraci sledované látky.

Pro zajištění přesnosti a spolehlivosti výsledků je důležitá pravidelná kalibrace chromatografického systému. Kalibrace se provádí pomocí standardních vzorků, tzv. kalibračních plynů se známou koncentrací.



Obr. 4: Schéma plynového chromatografu a typický výstup – chromatogram.

rací sledovaných látek, krom metanu to mohou být další uhlovodíky, jako je ethan, ethylen, propan, propylen apod. Tyto standardy slouží k vytvoření kalibrační křivky, která se používá k určení koncentrace sledovaných látek v analyzovaných vzorcích. Plynová chromatografie nabízí několik výhod při stanovení metanu, především vysokou citlivost a přesnost, kdy tato metoda umožňuje detekci metanu v nízkých koncentracích, často až na úrovni jednotek ppm. Dále je velkou předností této metody také rychlost analýzy, což umožňuje efektivní měření. Proto se tato metoda využívá zejména při monitorování kvality ovzduší, analýzy zemního plynu a bioplynu, a v průmyslových procesech.

4.2 | MĚŘENÍ METANU KONTINUÁLNÍMI SYSTÉMY

Měření metanu je klíčové pro přímé monitorování a řízení emisí skleníkových plynů, stejně jako pro optimalizaci procesů v průmyslových aplikacích. Kontinuální měřicí systémy poskytují nepřetržitý přehled o koncentracích metanu v reálném čase, což je zásadní pro zajištění souladu s environmentálními předpisy a pro zlepšení provozní efektivity. Kontinuální měření metanu se obvykle provádí pomocí několika technologií [7]:

- Plamenová ionizační detekce (FID): Tato metoda využívá plamenový ionizační detektor, který měří koncentraci metanu na základě ionizace uhlovodíků ve vzorku plynu, procházejícího kontinuálním systémem. FID je vysoce citlivý a specifický pro uhlovodíky, což z něj činí ideální volbu pro měření metanu. Nevýhodou tohoto měření je náročnost na spotřebu pomocných plynů – kyslíku a vodíku, a také potenciální nebezpečí, neboť v systému stále hoří plamen. Nevýhodou tohoto detektoru je

to, že zahrnuje všechny organické látky přítomné ve vzorku. Pro omezení stanovení pouze na metan je třeba před detektor zařadit katalytické odstranění vyšších uhlovodíků.

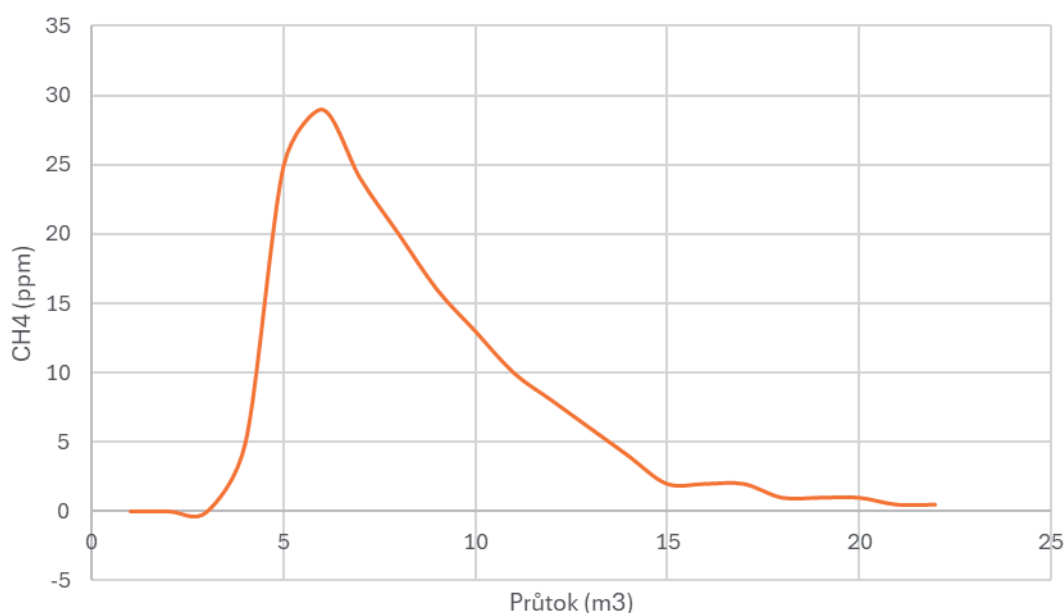
- Infračervená spektroskopie (IR): Tato nedestruktivní metoda využívá absorpci infračerveného záření metanem. Infračervené senzory mohou být kalibrovány pro specifické koncentrace metanu a poskytují rychlé a přesné měření. Jejich citlivost je však ve srovnání s FID nižší, a proto se hodí pro měření v prostředí s vyššími koncentracemi metanu.

Kontinuální měřicí systémy poskytují kontinuální data, což umožňuje okamžitou reakci na změny v koncentracích metanu. Tyto systémy jsou též spolehlivé, což zajišťují konzistentní a přesná data. Je též možná jejich integrace s IoT (internetem věcí), což je velmi výhodné pro měření velkého množství dat z různých míst, jejich dálkový přenos a vyhodnocení v reálném čase.

Výhodou kontinuálních systémů je možnost zaznamenávání změn koncentrací v čase, dá se tak z nich pochopit mechanismus uvolňování metanu v závislosti na různých parametrech, jako je teplota, čas, velikost částic apod. Na obrázku č. 5 je zobrazen typický průběh signálu, který v čase klesá. Z plochy pod křivkou je pak možné stanovit celkový obsah metanu ve vzorku, z průtoku pak lze určit, po jaké době je uvolněna převážná část sledované látky.

5 | ODBĚR A PŘÍPRAVA VZORKŮ

Zvolení správných parametrů vzorkování je pro stanovení emisního faktoru z hnědých uhlí klíčové. Důležité je při procesu odběru vzorku minimalizovat ztráty metanu a zajistit, stejně jako u všech typů



Obr. 5: Typický průběh signálu odpovídajícímu sledované látce při kontinuálním měření.

vzorkování, reprezentativnost vzorku odběrem čerstvého vzorku uhlí z nepoškozené sloje v dostatečné hloubce, kde nedochází k ovlivnění stability materiálu a k předčasnému uvolnění metanu. Jako dostatečná hloubka se ukazuje hloubka od 50 cm níže. Jako nejvhodnější metoda vzorkování se ukazuje kopaná sonda, která nenarušuje celistvost uhelné hmoty.

Vzhledem k předpokládaným rozdílným podmínkám v rámci jednoho lomu lze předpokládat jistou variabilitu výsledků a s tím související nutnost odběru většího množství vzorků, avšak s ohledem na technickou proveditelnost, bezpečnost a v neposlední řadě na náklady.

V současné době neexistuje shoda na množství vzorků, které je třeba zpracovat pro jeden lom.

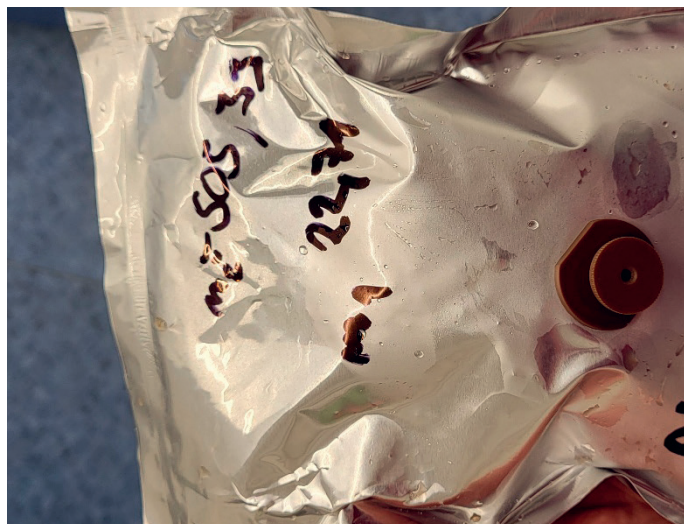
Co se týče transportu vzorků, zde je třeba v první řadě zajistit rychlost transportu do laboratoře spolu s využitím antidifuzních vaků za současného chlazení vzorku těsně nad 0 °C, přičemž podchlazení vzorku a fázová přeměna obsažené vody může způsobit snížení obsahu metanu.

Vzorek dále musí být nadrcen co nejšetrnější metodou na velikost částic od 0 do 10 až 30 mm tak, aby bylo možné vzorek co nejdříve uzavřít do předem zvážených antidifuzních vaků a připravit na uvolnění plynů. Na obrázku č. 6 je fotografie antidifuzního vaku, naplněného cca 500 g vzorku po zahřátí a uvolnění plynu z uhlí. Antidifuzní vak je sestaven z fólie, vyrobené z několika vrstev polyethylenu a hliníku, se zatavenými okraji a s odběrovým zařízením, které je uzavřeno silikonovou zátkou umožňující odběr vzorku pomocí injekční stříkačky.

Uvolnění plynů obsažených v uhelné hmotě může probíhat za sníženého tlaku nebo zvýšením teploty. Vzhledem k požadavku zjistit množství metanu uvolnitelného při důlních procesech, tj. těžbě, úpravě, zpracování a transportu uhlí, je vhodnější využívat teplotní uvolnění metanu. Zde je pak otázkou volba vhodné kombinace teploty a doby uvolňování metanu. Teplota může reprezentovat maximální možnou teplotu, kterou za normálních podmínek může uhlí dosáhnout. Rozmezí využitelných teplot může ležet od 45 °C do cca 80 °C, přičemž doba uvolňování bude touto teplotou ovlivněna a bude muset být stanovena experimentálně, tedy vývin plynu z uhlí musí být za dané teploty ukončen.

6 | ZÁVĚR

Nařízení Evropského parlamentu a Rady EU 2024/1787 přineslo pro původce emisí metanu z oblasti energetiky mnohé povinnosti, mezi něž patří pravidelné čtvrtletní stanovení emisního faktoru z hnědouhelných lomů. Emisní faktor je vyjádřen jako množství metanu uvolněného z jedné tuny a obvykle se udává v kilogramech či litrech na jednu tunu. V současné době neexistuje jednotný postup pro stano-



Obr. 6: Vzorkem naplněný antidifuzní vak s uvolněným plynem.

vení emisního faktoru, v Nařízení je pouze povinnost využívat metody dle příslušných vědeckých standardů. V současné době se pro stanovení metanu běžně využívají dvě metodiky, a to plynová chromatografie a kontinuální měřicí systémy. Vzhledem k tomu, že plynová chromatografie je běžnou součástí laboratorní praxe a pro stanovení reprezentativního emisního faktoru bude třeba změřit v relativně krátkém čase větší množství vzorků, jeví se tato metoda jako vhodnější, ačkoliv kontinuální systémy mohou poskytovat komplexnější informace o podmínkách, které ovlivňují dynamiku uvolňování metanu.

LITERATURA

- [1] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2024/1787 ze dne 13. června 2024 o snižování emisí metanu v odvětví energetiky a o změně nařízení (EU) 2019/942, Dostupné online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32024R1787>.
- [2] Our world in data, Mathane concentration in atmosphere, data k 21. 1. 2025, Dostupné online: <https://ourworldindata.org/grapher/long-run-methane-concentration>.
- [3] IEA (2024), Global Metane Tracker 2024, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2024>, Licence: CC BY 4.0, Dostupné online: Understanding methane emissions – Global Metane Tracker 2024 – Analysis - IEA.
- [4] LINGLING, QI, XU, TANG, ZHAOFENG, WANG, XINSHAN, PENG: Pore characterization of different types of coal from coal and gas outburst disaster sites using low temperature nitrogen adsorption approach, International Journal of Mining Science and Technology, Volume 27, Issue 2, pp. 371-377, 2017, ISSN 2095-2686.
- [5] SING, K.S.W., EVERETT, D.H., HAUL, R.A.W., MOSCOU, L., PIEROTTI, R.A. (USA), ROUQUEROL, J., SIEMIENIEWSKA, T.: Reporting physisorption data for gas/solid systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity (Recommendations 1984), Pure and Applied Chemistry (1985), Vol. 57, No. 4, pp. 603-619.
- [6] ČSN EN ISO 25139: Stacionární zdroje emisí – Manuální metoda stanovení metanu pomocí plynové chromatografie, 2011.
- [7] ČSN EN ISO 25140: Stacionární zdroje emisí – Automatizovaná metoda pro stanovení koncentrací metanu za použití plamenného ionizačního detektoru (FID), 2011.