

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

ŠTANDARDNÉ METÓDY NA ZMIERNENIE DÔSLEDKOV ZNEČISTENIA OVZDUŠIA V OBLASTI PODPORY

Úvod

Monitoring kvality ovzdušia a zavádzanie metód na elimináciu škodlivých emisií znečisťujúcich látok sú mimoriadne dôležitými prvkami riadenia životného prostredia a ochrany verejného zdravia. Znečistenie ovzdušia predstavuje osobitný problém v priemyselných a vysoko urbanizovaných regiónoch. Sliezske a Malopoľské vojvodstvo patria medzi oblasti s najznečistenejším ovzduším v Poľsku, čo potvrdzujú správy napr. Hlavného inšpektorátu ochrany životného prostredia. Tento stav ovzdušia v týchto regiónoch je spôsobený spaľovaním tuhých palív v domácich vykurovacích zariadeniach a lokálnych uhoľných kotolniciach, činnosťou baní, hút a početných priemyselných podnikov, hustou dopravnou sieťou, ako aj horským reliéfom terénu a prítomnosťou mnohých kotlín, v ktorých sa v dôsledku slabej ventilácie vzduchu hromadia znečisťujúce látky. Topografia má význam aj pre kvalitu ovzdušia v Podkarpatskom vojvodstve, ktoré je tiež zahrnuté do tejto analýzy. Problém spaľovania tuhých palív v domácnostiach, ako aj používania nevyhovujúcich pecí a kotlov sa týka celej krajiny, avšak boli prijaté komplexné opatrenia zamerané na elimináciu tohto zdroja znečistenia. Všetkými tromi vojvodstvami prechádza dôležitý dopravný koridor, ktorý taktiež spôsobuje emisie znečisťujúcich látok analyzovaných v tejto štúdii.

Problémy emisií znečisťujúcich látok pochádzajúcich zo spaľovania tuhých palív v domácnostiach, dopravy, ako aj horského reliéfu a usadzovania škodlivých látok sa týkajú aj regiónov severného Slovenska: Žilinského, Prešovského a Košického kraja. Je potrebné zdôrazniť, že na Slovensku dominujú nízkoemisné zdroje energie pochádzajúce z jadrových elektrární (2/3 elektrickej energie krajiny) a vodných elektrární (20 %). V roku 2023 bola naplánovaná výstavba ďalšej jadrovej elektrárne. V tom istom roku bola uzatvorená posledná fungujúca elektráreň spaľujúca hnedé uhlie, čím sa ukončila éra uhoľnej energetiky na Slovensku. Na obmedzenie emisií znečisťujúcich látok z priemyselných podnikov, domácností a dopravy boli na Slovensku taktiež spustené početné ekologické projekty.

Cieľom meraní a hodnotenia kvality ovzdušia je získať informácie o úrovniach látok v ovzduší vo vzťahu k štandardom kvality ovzdušia, určiť oblasti vyžadujúce zlepšenie kvality ovzdušia a vyhodnotiť efektívnosť nápravných programov.

V poľskom právnom systéme existuje množstvo predpisov, ktoré tvoria základ monitoringu kvality ovzdušia, medzi ktoré patria:

- Zákon z 27. apríla 2001 – Zákon o ochrane životného prostredia (Dz.U. 2001 č. 62, položka 627 v znení neskorších predpisov). Stanovuje okrem iného zásady monitorovania kvality

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

ovzdušia, klasifikáciu zón z hľadiska úrovne znečistenia, ako aj povinnosť vykonávať monitoring a ročné hodnotenia kvality ovzdušia vrátane zverejňovania ich výsledkov. Tieto hodnotenia by mali byť základom pre vypracovanie programov ochrany ovzdušia vo vojvodstvách, kde boli prekročené normy kvality ovzdušia.

- Zákon z 3. októbra 2008 o sprístupňovaní informácií o životnom prostredí a jeho ochrane, účasti verejnosti na ochrane životného prostredia a o posudzovaní vplyvov na životné prostredie (Dz.U. 2008 č. 199, položka 1227 v znení neskorších predpisov).
- Programy ochrany ovzdušia – strategické dokumenty vypracúvané samosprávami vojvodstiev v Poľsku s cieľom zlepšiť kvalitu ovzdušia v oblastiach, kde dochádza k prekročovaniu limitov kvality ovzdušia stanovených právnymi predpismi. Vyžadujú sa na základe zákona z 27. apríla 2001 – Zákon o ochrane životného prostredia, ako aj smernice EÚ 2008/50/ES o kvalite ovzdušia a čistejšom ovzduší pre Európu.
- Nariadenie ministra klímy a životného prostredia z 15. februára 2023 o rozsahu a spôsobe poskytovania informácií týkajúcich sa znečistenia ovzdušia (Dz.U. 2023 položka 350).

Okrem toho boli do poľského práva implementované nasledujúce smernice Európskej únie:

- Smernica 2008/50/ES o kvalite ovzdušia a čistejšom ovzduší pre Európu.
- Smernica 2004/107/ES týkajúca sa arzenu, kadmia, ortuti, niklu a polycyklických aromatických uhlíkovodíkov v ovzduší.

Prispôbenie vnútroštátnych právnych predpisov smerniciam EÚ zabezpečuje integritu metód monitorovania a hodnotenia kvality ovzdušia na európskej úrovni.

Spôsoby eliminácie škodlivých emisií znečisťujúcich látok do ovzdušia sú upravené nasledujúcimi právnymi predpismi:

- Zákon zo 7. júla 1994 – Stavebný zákon (Dz.U. 1994 č. 89, položka 414 v znení neskorších predpisov) stanovuje povinnosť používania energeticky úsporných a nízkoemisných technológií v stavebníctve, ako aj požiadavky na vypracovanie energetických certifikátov budov, čo nepriamo podporuje znižovanie emisií.
- Zákon z 27. apríla 2001 – Zákon o ochrane životného prostredia (Dz.U. 2001 č. 62, položka 627 v znení neskorších predpisov). Tento dokument upravuje zásady prevencie emisií, stanovuje povinnosti súvisiace so znižovaním znečistenia, ukladá povinnosť obmedzovať emisie z priemyselných zariadení a dopravy a zavádza emisné normy a povinnosť používania najlepších dostupných techník.
- Zákon zo 16. apríla 2004 o ochrane prírody (Dz.U. 2004 č. 92, položka 880 v znení neskorších predpisov). Obsahuje ustanovenia týkajúce sa ochrany ekosystémov, ktoré môžu byť ohrozené znečistením ovzdušia, a podporuje opatrenia na znižovanie emisií v chránených oblastiach, ako sú národné parky a prírodné rezervácie.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

- Zákon zo 17. júla 2009 o systéme riadenia emisií skleníkových plynov a iných látok (Dz.U. 2009 č. 130, položka 1070 v znení neskorších predpisov). Okrem iného stanovuje zásady národného systému bilancovania a prognózovania emisií skleníkových plynov a iných látok.
- Zákon z 20. februára 2015 o obnoviteľných zdrojoch energie (Dz.U. 2015 položka 478 v znení neskorších predpisov). Podporuje využívanie obnoviteľných zdrojov energie ako alternatívy k fosílnym palivám a odporúča používanie technológií znižujúcich emisie CO₂ a iných skleníkových plynov.
- Zákon z 12. júna 2015 o systéme obchodovania s emisnými kvótami skleníkových plynov (Dz.U. 2015 položka 1223 v znení neskorších predpisov).
- Nariadenie ministra klímy z 24. septembra 2020 o emisných štandardoch pre niektoré typy zariadení, zdrojov spaľovania palív a zariadení na spaľovanie alebo spoluspaľovanie odpadov (Dz.U. 2020 položka 1860).
- Nariadenie ministra životného prostredia zo 14. júna 2019 o programoch ochrany ovzdušia a krátkodobých akčných plánoch (Dz.U. 2019 položka 1159).
- Program „Čisté ovzdušie“ (2018 –). Realizuje sa na základe ustanovení zákona o ochrane životného prostredia a Národného programu ochrany ovzdušia. V rámci tohto programu sa financuje výmena starých kotlov na tuhé palivá za ekologickejšie zdroje vykurovania, podporujú sa obnoviteľné zdroje energie, zateplovanie budov a znižovanie emisií z individuálnych zdrojov vykurovania.
- Protismogové uznesenia na úrovni vojvodstiev. Ide o regionálne právne predpisy prijímané krajskými zastupiteľstvami na základe článku 96 zákona z 27. apríla 2001 – Zákon o ochrane životného prostredia. Ich rozsah zahŕňa: druhy povolených palív na používanie vo vykurovacích zariadeniach vrátane zákazu používania nekvalitných palív, štandardy pre vykurovacie zariadenia, termíny výmeny starých zariadení a obmedzenia týkajúce sa nových inštalácií.
- Národný program ochrany ovzdušia (KPOP). Ide o strategický dokument určujúci opatrenia na ochranu kvality ovzdušia na národnej úrovni, ako sú obmedzovanie priemyselných emisií, rozvoj nízkoemisnej dopravy či podpora ekologického vykurovania.

V oblasti eliminácie škodlivých emisií sú v poľskom práve uplatňované aj smernice Európskej únie:

- Smernica 2010/75/EÚ o priemyselných emisiách (IED – Industrial Emissions Directive) – stanovuje zásady používania najlepších dostupných techník (BAT).
- Smernica 2008/50/ES o kvalite ovzdušia a čistejšom ovzduší pre Európu – určuje emisné normy s cieľom zlepšiť kvalitu ovzdušia.

Dodržiavanie uvedených predpisov zabezpečuje plnenie národných cieľov ochrany životného prostredia, ako aj záväzkov vyplývajúcich z členstva v Európskej únii.

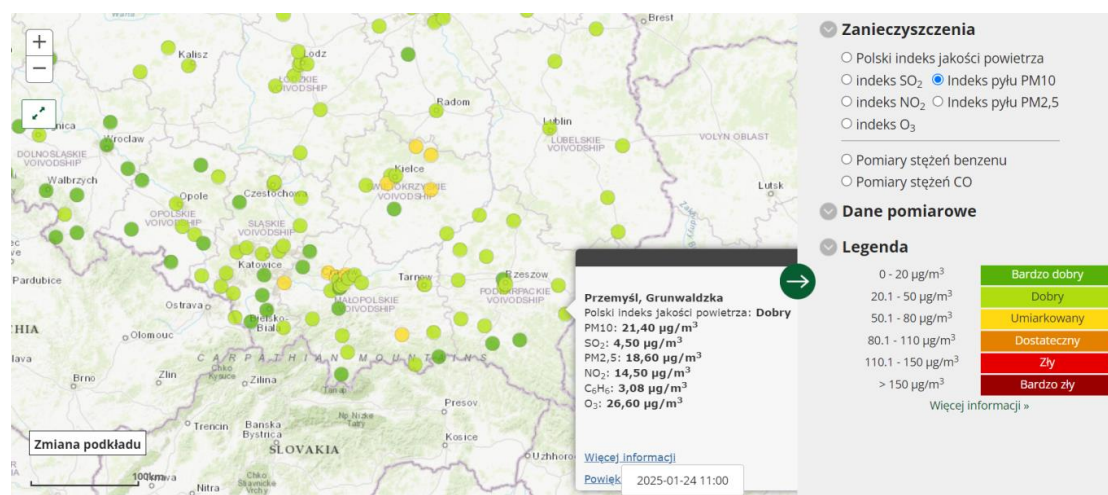
Na základe ustanovení zákona o ochrane životného prostredia a vykonávacích predpisov Hlavný inšpektorát ochrany životného prostredia vykonáva merania koncentrácií oxidu siričitého, oxidu

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

dusičitého, oxidov dusíka, benzénu, oxidu uhľnatého, ozónu, suspendovaných častíc PM10 a PM2,5, ako aj merania olova, arzenu, kadmia, niklu a benzo(a)pyrénu v časticiach PM10. Na niektorých mestských staniách sa meria aj zloženie prachových častíc PM10 z hľadiska obsahu šiestich polycyklických aromatických uhl'ovodíkov (PAU), okrem už spomenutého benzo(a)pyrénu.

V rámci Štátneho monitoringu životného prostredia (PMŚ) sa v oblastiach vzdialených od zdrojov emisií vykonávajú aj merania kationov (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+), aniónov (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-), organického a elementárneho uhlíka v časticiach PM2,5, ako aj merania celkovej plynnej ortuti.



Obr. 1 Mapa južného Poľska s vyznačenými bodmi zobrazujúcimi kvalitu ovzdušia z hľadiska indexu prachových častíc PM10 podľa stupnice uvedenej na pravej strane. Na mape sú tiež zobrazené výsledky meraní koncentrácií znečisťujúcich látok z jednej z automatických monitorovacích staníc (zdroj: powietrze.gios.gov.pl/).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obr. 2 Mapa severnej a východnej časti Slovenska s vyznačenými meracími stanicami a výsledkami meraní znečistenia z jednej zo staníc. Zvýraznená oblasť na mape (oranžovou farbou) a upozornenie v hornej časti stránky indikujú výskyt smogu v dôsledku prekročenia povolenej úrovne PM₁₀ v danom regióne (zdroj: www.shmu.sk).

Metodika

Analýza bola vypracovaná v písomnej forme a týka sa metód používaných v oblasti monitorovania kvality ovzdušia a spôsobov eliminácie škodlivých emisií znečisťujúcich látok do atmosféry, ktoré uplatňujú samosprávy nachádzajúce sa v tzv. oblasti podpory projektu (analýza č. 1). Oblasť podpory projektu zahŕňa nasledujúce okresy v Poľsku:

v Sliezskom vojvodstve: pszczyński, cieszyński, bielski, mesto s právami okresu Bielsko-Biała, żywiecki;

v Malopoľskom vojvodstve: olkuski, chrzanowski, oświęcimski, wadowicki, suski, myślenicki, tatrzański, nowotarski, limanowski, nowosądecki, mesto s právami okresu Nowy Sącz, gorlicki;

v Podkarpatskom vojvodstve: bieszczadzki, leski, sanocki, brzozowski, krośnieński, mesto s právami okresu Krosno, jasielski, rzeszowski, mesto s právami okresu Rzeszów, przeworski, przemyski, mesto s právami okresu Przemyśl, jarosławski, lubaczowski.

Na Slovensku:

v Žilinskom samosprávnom kraji: Čadca, Kysucké Nové Mesto, Bytča, Žilina, Martin, Turčianske Teplice, Ružomberok, Dolný Kubín, Námestovo, Tvrdošín, Liptovský Mikuláš;

v Prešovskom samosprávnom kraji: Poprad, Kežmarok, Stará Ľubovňa, Levoča, Sabinov, Bardejov, Svidník, Prešov, Vranov nad Topľou, Stropkov, Medzilaborce, Humenné, Snina;

v Košickom samosprávnom kraji: Spišská Nová Ves.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Analýza bola vykonaná na základe prehľadu dostupných vedeckých publikácií, odborných štúdií, materiálov a právnych predpisov. Zoznam literatúry je uvedený na konci dokumentu. Analýza je rozdelená do nasledujúcich kapitol:

1. Referenčné metódy merania kvality ovzdušia (s podkapitolami venovanými jednotlivým znečisťujúcim látkam)
2. Ostatné metódy
3. Spôsoby eliminácie znečistenia v oblasti podpory projektu – obnoviteľné zdroje energie (OZE)

Prvé dve kapitoly boli v súlade s usmerneniami pre túto analýzu spracované podľa nasledujúcej schémy:

- a) technický opis analyzovaných metód monitorovania kvality ovzdušia a spôsobov eliminácie škodlivých emisií znečisťujúcich látok do atmosféry spolu s teoretickými východiskami,
- b) opis výhod a nevýhod každej metódy,
- c) hodnotenie vhodnosti použitia jednotlivých metód,
- d) príklady využitia metód monitorovania kvality ovzdušia a spôsobov eliminácie škodlivých emisií znečisťujúcich látok do atmosféry z okресov nachádzajúcich sa v oblasti podpory projektu, a to tak z Poľska, ako aj zo Slovenska.

1) Referenčné metódy merania kvality ovzdušia

Meranie prachových častíc PM_{2,5} a PM₁₀ – gravimetrická metóda

Technický opis

Referenčnou metódou na meranie prachových častíc PM_{2,5} a PM₁₀ je gravimetrická metóda. Ide o manuálnu techniku, pričom metódy používané v automatických meracích staniciach sú na nej kalibrované. Podľa smerníc uvedených v normách musí byť vzduch pri meraní nasávaný do vzorkovačov cez separačnú hlavicu konštantnou nominálnou rýchlosťou 2,3 m³/h. Frakcia prachu sa zachytáva na filtri, ktorý je exponovaný počas 24 hodín. Na určenie hmotnosti prachu sa filter váži pred a po expozícii.

Pri meraniach sa zvyčajne používajú kremenné filtre. Na výpočet koncentrácie suspendovaných častíc je potrebné poznať aj objem vzduchu, ktorý prešiel filtrom. Prietok vo vzorkovači sa musí udržiavať na konštantnej úrovni 2,3 m³/h – okamžitá odchýlka od nominálnej hodnoty nesmie presiahnuť 5 %, čo je kľúčové pre správnu separáciu frakcie prachu.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Ďalším krokom je proces váženia filtrov, ktorý musí prebiehať v miestnosti spĺňajúcej prísne podmienky (teplota 19–21 °C, vlhkosť 45–50 %, rozlíšenie váhy $\leq 10 \mu\text{g}$ – všetky hodnoty merané ako hodinové priemery). Tieto podmienky musia byť neustále monitorované.

Pred odberom vzoriek musia byť filtre označené a kondicionované – ukladajú sa do váhovej miestnosti najmenej na 48 hodín a následne sa zvážia. Potom sa opätovne kondicionujú minimálne 12 hodín a znovu vážia. Rozdiel hmotností medzi prvým a druhým vážením nesmie presiahnuť 40 μg . Ak podmienka nie je splnená, filter sa vyradí alebo znovu kondicionuje minimálne 24 hodín a proces váženia sa opakuje. Ak ani potom podmienka nie je splnená, filter sa považuje za nevyhovujúci. Hmotnosť čistého filtra sa určuje ako priemer z dvoch vážení.

Po zvážení sa filtre zabalia a transportujú do miesta merania, kde sa umiestnia do vzorkovačov. Po expozícii sa prepravujú do laboratória za kontrolovaných podmienok, kde prebieha ich kondicionovanie minimálne 48 hodín. Následne sa vážia, znovu kondicionujú 24–48 hodín a opäť vážia. Rozdiel medzi prvým a druhým vážením nesmie presiahnuť 60 μg . V opačnom prípade sa postup opakuje alebo sa filtre vyradia. Konečná hmotnosť exponovaného filtra je priemerom z dvoch vážení.

Na výpočet koncentrácie prachu sa používa vzťah:

$$c = (m_1 - m_u) / (\varphi_a \cdot t)$$

kde:

c – koncentrácia [$\mu\text{g}/\text{m}^3$],

m_1 – hmotnosť filtra s prachom [μg],

m_u – hmotnosť čistého filtra [μg],

φ_a – prietok v reálnych podmienkach [m^3/h],

t – čas odberu [h].

Výhody a nevýhody

Gravimetrická metóda je štandardnou referenčnou metódou, ku ktorej sa kalibrujú ostatné techniky. Poskytuje veľmi presné výsledky merania rôznych frakcií prachu (PM10, PM2,5) a umožňuje aj

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

analýzu ďalších látok (napr. polycyklických aromatických uhl'ovodíkov alebo ťažkých kovov). Nevyžaduje nepretržité napájanie (iba počas váženia a sušenia) a zariadenia na odber vzoriek sú relatívne jednoduché a lacné.

Nevýhodou je časová náročnosť a nemožnosť získania výsledkov v reálnom čase, čo znemožňuje sledovanie krátkodobých zmien koncentrácií. Metóda si vyžaduje prísne podmienky prostredia, pravidelnú výmenu filtrov, kalibráciu zariadení a kvalifikovaný personál, čo zvyšuje prevádzkové náklady. Existuje aj riziko straty materiálu počas manipulácie, čo môže ovplyvniť presnosť výsledkov.

Hodnotenie použiteľnosti metódy

Gravimetrická technika je veľmi vhodná pre dlhodobý stacionárny monitoring, kde je potrebná vysoká presnosť meraní. Je nezastupiteľnou referenčnou metódou používanou na kalibráciu automatických meracích zariadení a mikrosenzorov (v súlade s normou PN-EN 12341:2014-07). Napriek časovej náročnosti a absencii údajov v reálnom čase ide o spoľahlivú a veľmi presnú metódu.

Príklady využitia metód monitorovania kvality ovzdušia a eliminácie emisji

Vzhľadom na rozsah problému znečistenia ovzdušia patria Sliezske a Malopoľské vojvodstvo medzi lídrov v implementácii riešení na znižovanie emisií. Realizuje sa najmä modernizácia vykurovacích systémov, spočívajúca vo výmene kotlov na tuhé palivá v rámci programu „Čisté ovzdušie“ a regionálnych dotačných programov.

Prvým mestom v Poľsku, kde bol zavedený zákaz používania uhlia a dreva v kotloch, peciach a krboch, bol Krakov (od roku 2019). Na základe protismogového uznesenia v Malopoľsku je potrebné vymeniť staré kotly 3. a 4. triedy do konca roka 2026. Ako alternatívne zdroje energie sa odporúčajú: centrálné zásobovanie teplom, elektrické vykurovanie, tepelné čerpadlá, plynové kotly, kotly na ľahký vykurovací olej alebo zariadenia spĺňajúce požiadavky ekodizajnu. Obyvatelia majú k dispozícii aj bezplatné energetické poradenstvo.

Výsledkom týchto opatrení bolo odstránenie viac ako 95-tisíc kotlov na tuhé palivá v Malopoľsku v rokoch 2017–2023. Nahradené boli najmä plynovými kotlami. Zároveň bolo zateplených viac ako 18-tisíc budov a v 65-tisíc objektoch boli nainštalované obnoviteľné zdroje energie. Tieto opatrenia umožnili zníženie emisií PM10 o viac ako 3737 ton a PM2,5 o 3550 ton.

Na Slovensku sú príkladom opatrení programy „Zelená domácnostiam“ a „Zelená solidarita“ realizované v rokoch 2015–2023. Poskytovali finančnú podporu na výmenu starých

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

kotlov za ekologické zdroje vykurovania. Vďaka nim bolo v domácnostiach nainštalovaných takmer 60-tisíc zariadení využívajúcich obnoviteľné zdroje energie, vrátane tepelných čerpadiel, fotovoltických systémov, solárnych kolektorov a kotlov na biomasu. Celková inštalovaná kapacita presiahla 460 MW.

Na obmedzenie emisií prachu zo spaľovania uhlia sa v rámci BAT (najlepších dostupných techník) využívajú napríklad elektrostatické odlučovače (ESP), tkaninové filtre, vstrekovanie sorbentov do kotla, suché a polosuché odsírenie spalín či mokré odsírenie spalín.

Uvedené opatrenia zároveň prispievajú k znižovaniu ďalších znečisťujúcich látok, ako sú oxid uhoľnatý, oxidy dusíka, oxid siričitý či ozón (prostredníctvom redukcie jeho prekursorov).

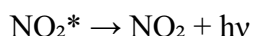
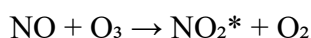
Meranie NO_x – chemiluminiscenčná metóda

a) Technický opis

Chemiluminiscenčná metóda sa používa na meranie oxidov dusíka (NO_x), vrátane oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂). Je založená na detekcii svetla emitovaného počas chemickej reakcie, čo umožňuje presné stanovenie koncentrácie NO_x.

Na začiatku sa vzorka vzduchu odoberá pomocou čerpadla a prechádza predbežnou filtráciou na odstránenie prachu a vlhkosti. Následne v reakčnej komore prebieha reakcia oxidu dusnatého (NO) s ozónom (O₃), pri ktorej vzniká excitovaná molekula oxidu dusičitého (NO₂*). Táto molekula sa vracia do základného stavu a zároveň emituje fotón vo viditeľnej alebo ultrafialovej oblasti spektra.

Reakcie možno zapísať nasledovne:



kde $h\nu$ predstavuje fotón (energiu svetla).

Emitované svetlo je zaznamenávané detektorom fotónov, zvyčajne fotonásobičom, ktorý premieňa svetelný signál na elektrický. Intenzita emitovaného svetla je úmerná množstvu NO v analyzovanej vzorke.

Na stanovenie celkovej koncentrácie NO_x je potrebné najprv redukovať NO₂ na NO v redukčnej komore pomocou katalyzátora. Následne sa celá zmes NO_x podrobí reakcii s ozónom a meria sa emitované svetlo. Koncentrácie NO a NO₂ sa určujú na základe rozdielu signálov pred a po redukcii.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

b) výhody a nevýhody

Táto metóda je veľmi citlivá a presná, umožňuje detekciu nízkych koncentrácií NO_x. Reakcie prebiehajú rýchlo, čo umožňuje meranie v reálnom čase. Automatizácia metódy umožňuje jej využitie v automatických monitorovacích staniciach.

Nevýhodou je citlivosť na interferujúce látky, ako sú ozón alebo amoniak, ktoré môžu ovplyvniť výsledky merania. Zariadenia sú pomerne nákladné na obstaranie aj údržbu a vyžadujú pravidelnú kalibráciu, ako aj výmenu generátora ozónu a katalyzátora.

c) hodnotenie vhodnosti použitia metódy

Podľa platných noriem (PN-EN 14211:2013-02 Ovzdušie – štandardná metóda merania koncentrácie oxidu dusičitého a oxidu dusnatého pomocou chemiluminiscencie) ide o referenčnú metódu merania NO_x. Používa sa v automatických staniciach monitorovania kvality ovzdušia, ako aj pri analýze priemyselných a dopravných emisií.

Metóda umožňuje presné meranie koncentrácií NO_x v ovzduší a výsledky sú dostupné okamžite po meraní. Dáta z automatických staníc sú priebežne zverejňované a využívajú sa na tvorbu prognóz znečistenia. Ide o najvýznamnejšiu metódu merania NO_x spomedzi dostupných techník.

d) príklady použitia metód monitorovania kvality ovzdušia a eliminácie emisji

Chemiluminiscenčná metóda merania NO_x sa bežne využíva v monitoringu kvality ovzdušia, napríklad v automatickej meracej stanici v obci Ganovce v Prešovskom kraji.

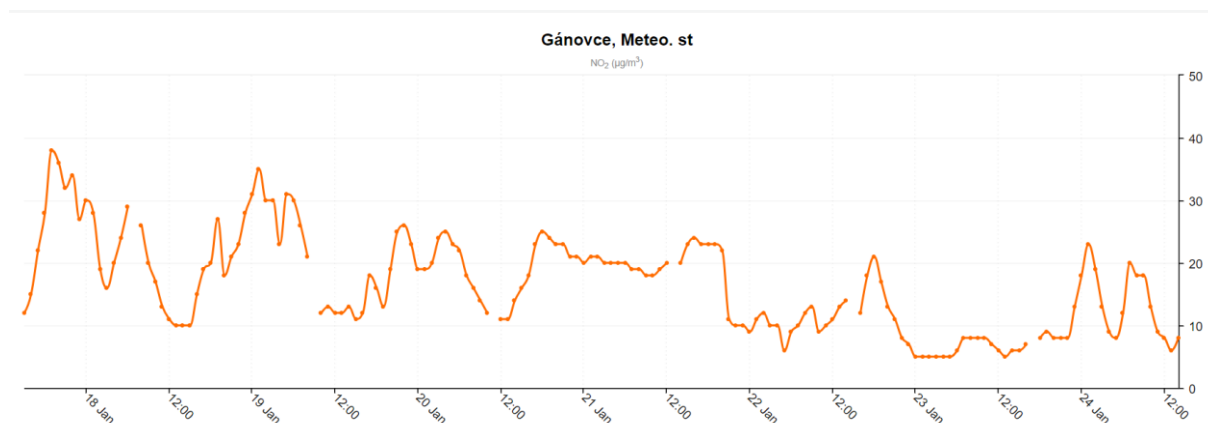
Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obr. 3 Automatická stanica na meranie kvality ovzdušia v obci Ganovce (zdroj: shmu.sk).

Výsledkom meraní je zverejňovanie aktuálnych informácií na stránke monitoringu životného prostredia spolu s aktuálnymi výsledkami, spracovanými prognózami na nasledujúce dni a archívnymi údajmi.



Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Dátum a čas merania	Hodnota ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
24.01.2025 14:00	8
24.01.2025 13:00	6
24.01.2025 12:00	8
24.01.2025 11:00	9
24.01.2025 10:00	13
24.01.2025 09:00	18
24.01.2025 08:00	18
24.01.2025 07:00	20
24.01.2025 06:00	12
24.01.2025 05:00	8
24.01.2025 04:00	9
24.01.2025 03:00	13
24.01.2025 02:00	19
24.01.2025 01:00	23
24.01.2025 00:00	18

Obr. 4 Údaje z merania NO_x chemiluminiscenčnou metódou v stanici Ganovce – vyššie graf s aktuálnymi výsledkami merania a údajmi z posledných dní, nižšie tabuľka s uvedenými číselnými hodnotami koncentrácie NO_x pre jednotlivé hodiny daného dňa (zdroj: shmu.sk).

Opatrenia na obmedzenie emisií NO_x sa vo veľkej miere prekrývajú s reguláciami zameranými na znižovanie prachových častíc, keďže tieto znečisťujúce látky majú spravidla spoločný zdroj. Patrí sem najmä obmedzovanie emisií z dopravy a používania starých vykurovacích zariadení a tuhých palív.

Na zníženie emisií NO_x je podľa záverov BAT pre veľké spaľovacie zariadenia potrebné použiť jednu z nasledujúcich techník alebo ich kombináciu: optimalizáciu spaľovania, kombináciu základných techník redukcie NO_x (napr. stupňované privádzanie vzduchu, stupňované dávkovanie paliva, recirkuláciu spalín, nízkoemisné horáky NO_x – LNB), selektívnu nekatalytickú redukciu (SNCR), selektívnu katalytickú redukciu (SCR) alebo kombinované techniky zamerané na zníženie emisií NO_x a SO_x.

Príkladom znižovania emisií NO_x je inštalácia fluidných kotlov v elektrárni v Jaworzne (Jaworzno II). Na začiatku 90. rokov bol vypracovaný viacstupňový plán modernizácie elektrárne, ktorý zahŕňal okrem iného výmenu práškových kotlov za fluidné kotly. V roku 1999 už boli uvedené do prevádzky prvé zariadenia tohto typu. Umožňujú zníženie emisií oxidov dusíka a síry priamo počas procesu spaľovania, čím odpadá potreba budovania dodatočných odsírovacích zariadení. V 2000-tych rokoch bola elektráreň prestavaná, čím vznikla tepláreň s novými kotlami a turbínami. V súčasnosti je Jaworzno II kondenzačná bloková tepláreň s uzavretým chladiacim okruhom a tromi energetickými blokmi s fluidnými kotlami a teplárenskými kondenzačnými turbínami s výkonom 190 MWe a 321 MWt.

V inej elektrárni v tomto regióne (Jaworzno III) bol vypracovaný dlhodobý komplexný ekologický plán s názvom „Program eliminácie environmentálnych rizík v Elektrárni Jaworzno III“. Zahŕňal okrem iného aj inštaláciu systému nízkych emisií NO_x. Redukcia emisií NO_x bola

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

dosiahnutá vďaka zariadeniam selektívnej katalytickej redukcie (SCR) s využitím amoniaku na troch energetických blokoch č. 1, 3 a 5. Pri metóde SCR dochádza k redukcii NO_x reakciou s amoniakom za prítomnosti katalyzátora. Oxidy dusíka sa rozkladajú na dusík a vodu, pričom proces prebieha pri teplotách spalín v rozmedzí 150 – 400 °C. V tomto intervale je amoniak účinným redukčným činidlom a zabezpečuje priebeh reakcie za prítomnosti kyslíka. Metóda SCR sa považuje za najúčinnjšiu metódu eliminácie oxidov dusíka – umožňuje zníženie emisií NO_x o 75 – 90 %.

1.3 Meranie CO – NDIR (nedisperzný infračervený senzor)

Technický opis

Infračervená absorpčná spektroskopia (NDIR) sa používa na meranie oxidu uhoľnatého (CO) na princípe absorpcie infračerveného žiarenia molekulami CO pri určitej vlnovej dĺžke. Pri meraní sa emituje infračervené žiarenie v širokom rozsahu vlnových dĺžok, ktoré prechádza cez komoru, do ktorej je privádzaná analyzovaná vzorka vzduchu. Pomocou optického filtra sa obmedzí žiarenie na úzky rozsah vlnových dĺžok charakteristických pre daný plyn (v tomto prípade CO). Následne detektor zaznamenáva množstvo žiarenia, ktoré k nemu dopadlo po prechode komorou. Čím vyššia je koncentrácia CO vo vzorke, tým viac žiarenia sa absorbuje, a tým menej svetla dopadá na detektor. Výsledok merania sa vyjadruje v ppm alebo mg/m³. Fungovanie metódy NDIR je založené na Beerovom-Lambertovom zákone, podľa ktorého (za predpokladu nulového absorpčného koeficientu rozpúšťadla) je absorbanca žiarenia po prechode roztokom priamo úmerná koncentrácii látky a hrúbke absorbujúcej vrstvy. Metóda je neinvazívna – nevyžaduje chemickú transformáciu plynov ani použitie chemických činidiel. Je zároveň veľmi citlivá a selektívna, umožňuje presné meranie plynov v širokom rozsahu koncentrácií. Zariadenie na meranie metódou NDIR sa vyznačuje odolnosťou a spoľahlivosťou a pracuje rýchlo, čo umožňuje získanie výsledkov v reálnom čase. Charakteristická je aj pomerne vysoká odolnosť voči vplyvom atmosférických podmienok. Nevýhodou je však pomerne vysoká cena v porovnaní so zariadeniami využívajúcimi iné metódy. Vyžaduje tiež pravidelnú kalibráciu a údržbu, najmä optických komponentov. Existuje aj riziko interferencií, keď iné plyny absorbujúce žiarenie v podobnom spektre môžu ovplyvniť presnosť merania.

Hodnotenie vhodnosti použitia metódy

Metóda NDIR má široké využitie nielen v monitorovaní kvality ovzdušia a testovaní emisií spalín, ale aj v medicíne. Spomedzi všetkých známych metód merania CO je najčastejšie používanou metódou v automatických stanicích monitorovania kvality ovzdušia, v priemyselných prevádzkach aj pri automobilových kontrolách.

Polska – Słowacja

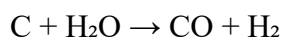
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Iné metódy, ako elektrochemické alebo oxidovo-polovodičové senzory CO, sú menej presné než NDIR, no využívajú sa v alarmových systémoch alebo prenosných zariadeniach. Chemiluminiscencia, opísaná v predchádzajúcej kapitole, môže byť tiež využitá na meranie CO, avšak vzhľadom na potrebu chemickej konverzie sa v praxi oveľa častejšie používa metóda NDIR. FTIR metóda, ktorá je taktiež veľmi presná, je technologicky oveľa náročnejšia a jej zariadenia sú výrazne drahšie než NDIR.

Podľa normy PN-EN 14626:2013-02 (Ovzdušie – štandardná metóda merania koncentrácie oxidu uhoľnatého pomocou nedisperznej infračervenej spektroskopie) je metóda NDIR uznávaná ako referenčná metóda na meranie koncentrácie CO v atmosférickom vzduchu.

Príklady použitia a spôsoby eliminácie

CO vzniká pri neúplnom spaľovaní fosílnych palív. Pri nedostatku vzduchu na spaľovanie vzniká CO v spalinách v dôsledku reakcie:



Neúplné spaľovanie môže byť spôsobené:

- nedostatočným premiešaním paliva a vzduchu, čo vedie k vzniku príliš bohatých alebo príliš chudobných zmesí, pričom v oboch prípadoch klesá rýchlosť spaľovania,

alebo

- príliš rýchlym ochladením spalín v studenej priľahlej vrstve v zariadeniach s vysokým pomerom povrchu spaľovacej komory k jej objemu.

Opatrenia zamerané na zníženie obsahu CO v spalinách smerujú k podpore jeho oxidácie na CO₂. Zníženie emisií CO možno dosiahnuť prostredníctvom:

- dodania správneho množstva vzduchu,
- zvýšenia prívodu kyslíka,
- predhriatia substrátov,
- predĺženia času pobytu spalín v oblasti vysokých teplôt.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Znižovanie emisií CO sa dosahuje najmä zlepšením spaľovacieho procesu, ktoré súvisí aj s opatreniami na znižovanie emisií oxidov dusíka. Podľa záverov BAT pre veľké spaľovacie zariadenia je na obmedzenie emisií CO potrebné zabezpečiť optimálne spaľovanie a použiť niektoré z odporúčaných techník, napr. miešanie paliva alebo údržbu spaľovacieho systému.

1.3 Meranie SO₂ – UV fluorescencia

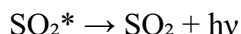
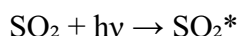
a) technický opis

Pri tejto metóde sa využíva schopnosť molekúl oxidu siričitého (SO₂) emitovať svetlo určitej vlnovej dĺžky po excitácii ultrafialovým (UV) žiarením. Na excitáciu molekúl SO₂ vo vzorke vzduchu sa používa UV žiarenie s vlnovou dĺžkou približne 214 nm, ktoré je nimi absorbované.

Tento jav spôsobí prechod molekúl SO₂ do vyššieho energetického stavu, pričom pri návrate do základného stavu emitujú fluorescenčné žiarenie s vlnovou dĺžkou 240–420 nm. Fluorescenčné svetlo prechádza optickým filtrom, ktorý odstraňuje rušivé žiarenie a vyberá spektrum charakteristické pre SO₂. Následne je signál vedený do detektora, ktorý premieňa intenzitu svetla na elektrický signál.

Získané údaje sú spracované počítačovým systémom a výsledok je vyjadrený v hmotnostných alebo objemových jednotkách. Koncentrácia SO₂ je priamo úmerná intenzite fluorescenčného žiarenia a teda aj elektrickému signálu.

Princíp možno vyjadriť rovnicami:



kde $h\nu$ predstavuje intenzitu fluorescenčného žiarenia, ktorá je úmerná koncentrácii SO₂:

$$F = k \cdot C_{\text{SO}_2}$$

kde:

F – intenzita fluorescenčného žiarenia

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

k – konštanta proporcionality

$C(\text{SO}_2)$ – koncentrácia SO_2

b) výhody a nevýhody

Metóda UV fluorescencie na meranie SO_2 je veľmi presná, pretože umožňuje detekciu koncentrácií na úrovni ppb. Výsledky sú poskytované okamžite, čo umožňuje nepretržité monitorovanie koncentrácie SO_2 . Vďaka použitiu optických filtrov a vysokej selektivite detektorov nie je táto metóda výrazne ovplyvňovaná inými plynmi.

Medzi nevýhody patrí najmä vysoká cena prístrojového vybavenia. Nevyhnutná je aj pravidelná kalibrácia, ako aj údržba a udržiavanie čistoty optických komponentov.

a) hodnotenie vhodnosti

V automatických staniciach monitorovania kvality ovzdušia, vrátane staníc fungujúcich v rámci Štátneho monitoringu životného prostredia (PMŠ), sa používa UV fluorescencia ako štandardná metóda na meranie SO_2 v súlade s platnými poľskými a európskymi normami (PN-EN 14212:2013-02 Ovzdušie – štandardná metóda merania koncentrácie oxidu siričitého pomocou ultrafialovej fluorescencie).

Metóda sa vyznačuje vysokou presnosťou, rýchlosťou a spoľahlivosťou. Ostatné metódy sa využívajú skôr zriedkavo, najmä vo vedeckom výskume, pričom techniky ako FTIR sa používajú v pokročilých výskumných laboratóriách.

UV fluorescencia sa často používa aj v priemyselných prevádzkach emitujúcich SO_2 (elektrárne, hutnícke závody, koksovne) v systémoch monitorovania emisií, ako aj na kontrolu účinnosti procesov, ako je odsírovanie spalín. Napriek vysokým obstarávacím nákladom je investícia do zariadenia výhodná vzhľadom na spoľahlivosť metódy a relatívne nízke prevádzkové náklady.

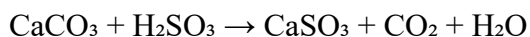
b) príklady použitia a spôsoby eliminácie

Hlavnou metódou znižovania emisií SO_2 v priemyselných zariadeniach je odsírovanie spalín. Tento proces spočíva v absorpcii SO_2 pomocou oxidu vápenatého alebo oxidu horečnatého, čo možno vyjadriť nasledujúcimi reakciami:

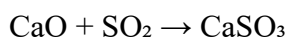
Reakcia s použitím vápenca:

Polska – Słowacja

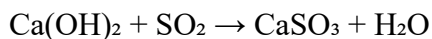
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Reakcia s použitím páleného vápna:



Reakcia s použitím hydroxidu vápenatého:

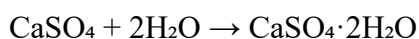


Následne prebieha oxidácia siričitanu vápenatého (CaSO_3) na síran vápenatý (CaSO_4):
$$2\text{CaSO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CaSO}_4$$

Analogické reakcie prebiehajú aj pri použití MgO .

Rozlišujú sa tieto metódy odsírovania:

- **suchá metóda** – používa sa pri spaľovaní paliva v spaľovacej komore. Do ohniska sa privádza sorbent, pričom dochádza k rozkladu CaCO_3 alebo dehydratácii $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a viazaniu SO_2 . Proces prebieha pri teplotách nad $750\text{ }^\circ\text{C}$, pričom teplota musí byť zároveň v tzv. teplotnom okne. Sorbent je potrebné rovnomerne rozptýliť v spaľovacej komore, čo býva technicky náročné a nesprávna aplikácia môže výrazne znížiť účinnosť metódy. Medzi výhody patrí nízka investičná náročnosť a jednoduchá konštrukcia zariadenia.
- **polo-suchá metóda** – v tomto variante odsírovania sa používa sorbent vo forme vodnej suspenzie, ktorý sa rozprašuje do prúdu spalín. Pri zvlhčovaní spalín dochádza k znižovaniu ich teploty – so znižovaním teploty spalín sa zvyšuje účinnosť odsírovania. Rozlišuje sa niekoľko metód tejto verzie odsírovania, pričom každá z nich je založená na rovnakom jave adsorpcie – plynné znečisťujúce látky sa zachytávajú na vonkajších aj vnútorných povrchoch absorbentu. Po ukončení procesu odsírovania spaliny smerujú do odlučovačov prachu a následne vo forme vedľajšieho produktu (popol a časť nezreagovaného sorbentu) do reaktora, kde prebieha ich recirkulácia.
- **mokrú metódu** – za najúčinnnejšiu metódu sa považuje mokré vápenato-vápencové odsírovanie spalín (účinnosť 90–95 %). Pri tejto metóde sa spaliny čistia hydroxidom vápenatým, pričom prebiehajú vyššie uvedené reakcie. Konečným produktom je sadra:



Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Tento produkt možno využiť napríklad v stavebníctve. Na rozdiel od predchádzajúcich metód má táto metóda vyššiu spotrebu vody a vysoké investičné náklady, avšak prevádzkové náklady sú relatívne nízke.

Inovatívnu metódou odsírovania spalín je magnéziové odsírovanie. Používajú sa v ňom zlúčeniny horčíka, ktoré sa vyznačujú vysokou reaktivitou a rozpustnosťou, vďaka čomu účinnejšie absorbujú SO₂. Na prípravu sorpčnej suspenzie sa používa pražený magnezit (obsahujúci približne 85 % MgO). Účinnosť tejto metódy sa považuje za približne o 30 % vyššiu než pri vápenatých metódach.

Vzhľadom na vysoké investičné a prevádzkové náklady sa magnéziová metóda odsírovania spalín používa zriedkavo. Príkladom jej implementácie v oblasti podpory projektu je spoločnosť Grupa Azoty (chemicko-hnojivársky závod). V roku 2022 bola uvedená do prevádzky odsírovacia jednotka pre kotol K-5 využívajúca tento typ technológie. Tým boli splnené projektové ciele v súlade s požiadavkami BAT v oblasti emisií do ovzdušia. Metóda spočíva v absorpcii SO₂ v suspenzii praženého magnezitu (85 % MgO).

V dôsledku procesu odsírovania vzniká heptahydrát síranu horečnatého, ktorý možno použiť v poľnohospodárstve ako horečnaté hnojivo alebo ako zložku viaczložkových hnojív. Získavanie takejto látky v procese odsírovania spalín je v súlade s cieľmi činnosti závodu. V rámci prispôsobenia odsírovacej inštalácie požiadavkám BAT sa okrem iného zvýšila účinnosť absorbéra, vybudovala sa dodatočná cirkulačná nádrž, nové čerpadlové stanovište, systém čistenia odpadových vôd a zlepšila sa výkonnosť pomocných technologických celkov.

1.5 Meranie O₃ – UV fotometria

a) technický opis

Pri tejto metóde sa využíva schopnosť ozónu absorbovať UV žiarenie s vlnovou dĺžkou 253,7 nm. Na základe Lambertovho-Beerovho zákona je stupeň absorpcie UV žiarenia úmerný koncentrácii ozónu. Tento vzťah je opísaný rovnicou:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-Klc}$$

kde:

I – intenzita UV žiarenia po prechode cez analyzovanú vzorku

I₀ – intenzita UV žiarenia po prechode vzorkou bez ozónu

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

K – koeficient absorpcie

l – dĺžka optickej dráhy

c – koncentrácia ozónu

Koncentrácia ozónu vo vzorke sa určuje porovnaním absorpcie rovnakej vzorky bez ozónu. V jednej z fáz merania sa ozón zo vzorky odstraňuje, pretože viaceré iné látky v nej taktiež absorbujú UV žiarenie. Jeho odstránenie umožňuje získanie spoľahlivého výsledku. Tento proces prebieha pomocou špeciálnych filtrov, ktoré sú dôležitou súčasťou analyzátorov ozónu. So zvyšujúcou sa dĺžkou optickej dráhy (absorpčných komôr) sa zvyšuje citlivosť zariadenia.

Analyzátory ozónu sa vyrábajú v dvoch základných verziách: s jednou meracou komorou a jedným detektorom, kde sa meranie vzorky a referenčnej vzorky vykonáva striedavo, a s dvoma komorami a dvoma detektormi, kde prebieha súčasne. Vzduch na analýzu sa odoberá z nasávacích bodov umiestnených vo výške 2,5 až 4 m nad zemou. Analyzátory ozónu musia byť umiestnené v klimatizovaných kontajneroch s teplotou približne 20–23 °C.

Merania znečistenia ozónom majú najväčší význam v letnom období, pretože pri slnečnom žiarení, vysokej teplote a zvýšených koncentráciách ďalších znečisťujúcich látok vzniká najviac ozónu. Preto sa merania vykonávajú od 1. apríla do 30. septembra a v tomto období GIOŠ denne ráno zverejňuje trojdňové predpovede znečistenia ozónom.



Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

**Ryc. 5 Analizátor O₃ pracujący na principie UV fotometrie (zdroj:
<https://powietrze.gios.gov.pl/>)**

b) výhody a nevýhody

Metóda je všeobecne uznávaná ako štandardná a používaná v mnohých výskumných laboratóriách. Umožňuje detekciu ozónu aj pri nízkych koncentráciách a je odolná voči rušivým vplyvom viacerých faktorov. Meranie touto metódou prebieha v reálnom čase.

Zariadenie však vyžaduje pravidelnú kalibráciu a periodickú výmenu UV lúčov. Je tiež pomerne drahé. Presnosť merania môže byť ovplyvnená faktormi, ako je vysoká vlhkosť vzduchu alebo prítomnosť prachu.

c) hodnotenie vhodnosti

UV fotometria je štandardnou referenčnou metódou v súlade s poľskými a európskymi normami (PN-EN 14625:2013-02 O vzdušie – štandardná metóda merania koncentrácie ozónu pomocou ultrafialovej fotometrie). Je široko využívaná v automatických meracích staniciach.

Okrem toho sa používa v priemyselných prevádzkach, ako sú elektrárne, teplárne a hutnícke závody, na kontrolu emisií vrátane O₃ s cieľom zabezpečiť súlad s environmentálnymi predpismi. Využíva sa aj pri kontrole kvality ovzdušia v výrobných halách chemických závodov a pri monitorovaní technologických procesov pri analýze koncentrácií chemických látok. Merania UV fotometriou pomáhajú aj pri optimalizácii procesov čistenia spalín v priemyselných zariadeniach.

d) spôsoby eliminácie

Keďže troposférický ozón je sekundárne znečistenie vznikajúce najmä fotochemickými reakciami oxidov dusíka a prchavých organických zlúčenín, opatrenia na jeho zníženie sa zhodujú so spôsobmi eliminácie týchto prekursorov.

1. Pozostatné metódy

2.1 FTIR – Fourierova transformovaná infračervená spektroskopia

Technický opis

FTIR (Fourierova transformovaná infračervená spektroskopia) je univerzálna metóda na meranie plynov v ovzduší, ako sú NO_x, SO₂, CO, CO₂ či CH₄. Je založená na absorpcii infračerveného žiarenia molekulami plynov, čo vedie k excitácii ich vibračných a rotačných stavov. Každý plyn má jedinečné absorpčné spektrum.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Pri meraní sa emituje široké spektrum infračerveného žiarenia. Lúč sa rozdelí na dve časti, ktoré interferujú v závislosti od rozdielu optických dráh, čím vzniká charakteristický signál – interferogram. Vzorka vzduchu prechádza meracou komorou, kde infračervené žiarenie čiastočne absorbujú molekuly plynov. Intenzita žiarenia sa zaznamenáva po prechode komorou. Interferogram sa následne pomocou Fourierovej transformácie premieňa na absorpčné spektrum.

Získané spektrum sa porovnáva s referenčnými spektrami jednotlivých plynov. Intenzita absorpčných pásov je úmerná koncentrácii analyzovaných plynov.

Zariadenie na FTIR meranie pozostáva zo zdroja infračerveného žiarenia (zvyčajne v rozsahu 2,5 μm až 25 μm), Michelsonovho interferometra, meracej komory, detektora žiarenia (často chladiaceho, kryogénne) a systému spracovania dát.

Citlivosť systému je vysoká a umožňuje detekciu plynov v koncentráciách na úrovni ppb alebo ppm. Spektrálne rozlíšenie sa pohybuje približne v rozmedzí 0,5–1 cm^{-1} , čo umožňuje rozlíšiť absorpčné línie viacerých plynov. Výsledky merania sa získavajú veľmi rýchlo – od niekoľkých sekúnd do niekoľkých minút.

výhody a nevýhody

Pri použití tejto metódy možno vďaka širokému rozsahu vlnových dĺžok súčasne merať koncentrácie viacerých plynov a absorpčné spektrá umožňujú presné rozlíšenie plynov s podobnými vlastnosťami. Metóda poskytuje výsledky analýzy okamžite po vykonaní merania, a preto je vhodná na automatické a kontinuálne monitorovanie kvality ovzdušia. Je založená výlučne na meraní infračerveného žiarenia, takže nie sú potrebné chemické činidlá. Metóda je tiež odolná voči rušeniu spôsobenému inými zložkami vzorky vzduchu. Zariadenia používané v tejto metóde, ako aj ich servis, sú však veľmi nákladné. Vyplýva to z vysoko pokročilej technológie a zložitosti optických a elektronických systémov. Na zachovanie vysokej presnosti výsledkov je potrebná pravidelná kalibrácia zariadení a používanie referenčných plynov.

hodnotenie využiteľnosti metódy

Nespornou výhodou tejto metódy oproti iným technikám je možnosť súčasného merania viacerých plynov vo vzorke vzduchu. Avšak vzhľadom na nákladnosť a technologickú zložitosť sa táto metóda nepoužíva vo veľkom rozsahu na bežné meranie koncentrácií plynov.

príklady použitia metódy

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Vzhľadom na jej univerzálnosť a možnosť využitia v rôznych typoch výskumu je prístroj na meranie metódou FTIR súčasťou vybavenia viacerých výskumných pracovísk, napr. Akadémie baníctva a hutníctva AGH v Krakove alebo Univerzity v Rzeszowe.

2.2 Nízkonákladové senzory (Low-Cost Sensors)

a) technický opis

Senzor je zariadenie, ktoré premieňa chemickú informáciu na analyticky využiteľný signál. Medzi podnety, na ktoré môžu senzory reagovať, patria zmeny odrazu svetla, pohyb, vznik chemickej látky, zmena hmotnosti, zmena magnetického alebo elektrického poľa, zmena farby a pod. Z hľadiska mechanizmu detekcie sa senzory delia na elektrochemické, elektrické, gravimetrické, termometrické, magnetické, biologické, optické a iné.

Nízkonákladové senzorové zariadenia sú lacné, prenosné prístroje na meranie parametrov kvality ovzdušia, ako sú koncentrácie PM_{2,5}, PM₁₀, O₃, NO₂ alebo CO. Senzory na meranie tuhých častíc môžu byť optické alebo laserové, zatiaľ čo plynové senzory sú najčastejšie elektrochemické. Meranie prachových častíc prebieha pomocou laserového lúča prechádzajúceho vzorkou vzduchu a detekcie rozptýleného svetla fotodetektorom. Koncentrácia častíc sa vypočítava na základe intenzity a uhla rozptylu svetla. Plyny reagujúce na elektródy v elektrochemickom senzore generujú elektrický prúd úmerný ich koncentrácii.

Polovodičový plynový senzor sa používa na detekciu prchavých organických zlúčenín. Dodatočný modul na meranie vlhkosti a teploty umožňuje korekciu vplyvu atmosférických podmienok na meranie. Na spracovanie údajov a riadenie zariadenia sa používa mikroelektronický procesor. Prenos dát prebieha napr. cez Wi-Fi modul. Zariadenie môže byť napájané zo siete alebo vstavanou batériou. Výsledky merania sa automaticky analyzujú a poskytujú v reálnom čase.

b) výhody a nevýhody

Názov „nízkonákladový senzor“ nie je náhodný – nízka cena je jeho najväčšou výhodou a pohybuje sa približne od niekoľkých stoviek do niekoľkých tisíc zlotých. Vďaka tomu sú senzory široko dostupné a využívajú ich miestne komunity alebo mimovládne organizácie na nezávislé meranie kvality ovzdušia. Poskytujú dáta v reálnom čase a umožňujú vytvárať husté meracie siete. Senzory sú malé a prenosné, môžu byť inštalované na rôznych miestach, napr. na budovách alebo pouličných lampách. Možná je aj integrácia do IoT siete (Internet of Things), čo umožňuje automatický zber, analýzu a publikovanie dát.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Objavuje sa však viacero pochybností týkajúcich sa ich spoľahlivosti. Merania nízkonákladových senzorov sú menej presné než údaje z referenčných staníc. Výsledky môžu byť menej presné a zaťažené vyššou chybou.

Sú tiež veľmi citlivé na environmentálne podmienky, napr. teplotu, vlhkosť či tlak, čo môže viesť k nesprávnym výsledkom. Majú kratšiu životnosť než profesionálne prístroje a vyžadujú častú výmenu filtrov. Aby sa predišlo nepresnostiam, je nevyhnutná pravidelná kalibrácia voči referenčným metódam v definovaných časových intervaloch. Zariadenia majú zvyčajne úzke meracie rozsahy a merajú len znečistenia špecifikované výrobcom. Na prevádzku musia byť pripojené k zdroju energie, čo obmedzuje ich použitie v odľahlých oblastiach bez infraštruktúry. Dáta môžu byť ťažko porovnateľné s referenčnými meraniami, najmä ak nebola vykonaná kalibrácia. Kvôli nedostatku štandardizácie je porovnávanie rôznych modelov senzorov problematické.

c) hodnotenie využiteľnosti

Nízkonákladové senzory sú užitočným nástrojom na monitorovanie kvality ovzdušia v situáciách, keď je potrebné rýchlo získať údaje alebo existuje riziko prekročenia limitov a potreba rýchlej reakcie. Na zabezpečenie správnosti meraní je však nevyhnutná pravidelná kalibrácia.

Pri potrebe vysokej presnosti a súladu s normami (napr. v štátnych inštitúciách alebo vo vedeckom výskume) sa musia uprednostňovať referenčné merania – údaje zo senzorov môžu slúžiť len ako doplnkové informácie. Keďže kalibrácia môže byť vykonaná výrobcom v iných podmienkach, je potrebné ju po inštalácii opätovne vykonať v konkrétnom prostredí merania.

2.3 LiDAR (Light Detection and Ranging)

a) technický opis

Meracie dáta LiDAR sa získavajú z leteckého laserového skenovania ALS (Airborne Laser Scanning). Zobrazujú terén vo forme mračna bodov s priestorovými súradnicami XYZ. Súbor obsahujúce LiDAR dáta zahŕňajú tieto súradnice, ako aj informácie o klasifikácii bodov a intenzite odrazu signálu.

V prípade merania kvality ovzdušia je laserový lúč odrážaný časticami prachu alebo plynov. Odrazený signál je zaznamenaný detektorom. Analýza tohto signálu umožňuje mapovanie rozloženia suspendovaných častíc, plyných znečisťujúcich látok a taktiež dynamiky ich rozptylu. Technológia využíva rôzne vlnové dĺžky na analýzu absorpcie a rozptylu svetla, vďaka čomu je možné súčasne skúmať viacero typov znečistenia a zároveň analyzovať meteorologické podmienky.

b) výhody a nevýhody

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Medzi hlavné výhody technológie LiDAR patrí presné priestorové mapovanie vo veľkom rozsahu, čo okrem určovania koncentrácie jednotlivých prachových častíc alebo plynov umožňuje aj analýzu ich šírenia. Merania sa vykonávajú v reálnom čase a je možné analyzovať aj meteorologické podmienky. Nie je potrebný odber vzoriek vzduchu, čím sa eliminuje riziko ich kontaminácie.

Nevýhodou je veľmi vysoká cena zariadení a potreba odbornej obsluhy. Pri meraniach treba zohľadniť meteorologické podmienky, keďže výsledky môžu byť ovplyvnené napr. hmlou alebo zrážkami, ktoré rozptyľujú laserový lúč. Meranie plynov si vyžaduje presné prispôbenie vlnovej dĺžky konkrétnej znečisťujúcej látky, čo je technologicky veľmi zložitý proces. Nevyhnutná je aj kalibrácia zariadenia a použitie komplexných matematických modelov pri interpretácii dát. LiDAR systémy sú zvyčajne fixne umiestnené, pričom mobilný monitoring je výrazne drahší a menej častý. Zariadenia vyžadujú aj vysoký energetický príkon na prevádzku laserov.

c) hodnotenie využiteľnosti metódy

LiDAR je veľmi užitočný nástroj na presné a rýchle priestorové monitorovanie kvality ovzdušia. Vzhľadom na veľmi vysoké náklady sa však využíva najmä vo vedeckom výskume a vo vysokorozpočtových projektoch. Pri jeho použití je potrebné zohľadniť meteorologické podmienky, ktoré môžu ovplyvniť meranie, ako aj nutnosť kalibrácie zariadenia.

d) príklady použitia

Technológia LiDAR sa využíva najmä na tvorbu Digitálnych modelov reliéfu (DMR) a Digitálnych modelov povrchu (DMP) a ich aktualizáciu zo strany Hlavného úradu geodézie a kartografie. Dáta sú dostupné na stránke geoportal.gov.pl.

2.4 Satelitná technológia

a) technický opis

Použitie tejto technológie v monitoringu kvality ovzdušia spočíva vo využití teledetekčných senzorov umiestnených na satelitoch na meranie koncentrácií znečisťujúcich látok. Meranie prebieha formou diaľkového globálneho a lokálneho monitorovania rozloženia atmosférických znečistení a poskytuje údaje vo veľkom priestorovom rozsahu.

Dáta sa získavajú meraním elektromagnetického žiarenia, ktoré je pohlcované, rozptyľované alebo vyžarované časticami a plynmi. Satelitná technológia pracuje na princípe merania elektromagnetického žiarenia v rôznych vlnových dĺžkach: ultrafialové žiarenie – na detekciu

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

plynov ako SO₂ alebo O₃, viditeľné svetlo – na detekciu aerosólov a prachu, infračervené žiarenie – na detekciu skleníkových plynov a mikrovlny – na analýzu znečistenia pri oblačnosti.

Na meranie sa používajú spektrometre, spektrofotometre, rádiometre a satelitný LiDAR. Táto technológia umožňuje merať koncentrácie viacerých typov znečistenia vrátane plynov (CO, CO₂, SO₂, NO₂ a ďalších), suspendovaných častíc, ako aj určovať meteorologické parametre.

b) výhody a nevýhody

Táto technológia je mimoriadne užitočná pri získavaní údajov pre celú planétu, vrátane oblastí s obmedzenou dostupnosťou (napr. polárne oblasti). Umožňuje tiež dlhodobé analýzy kvality ovzdušia a takmer reálne časové merania rôznych znečisťujúcich látok a ich transportu. Údaje získané touto technológiou sa využívajú pri kalibrácii niektorých prognostických modelov kvality ovzdušia. Merania sa vykonávajú úplne diaľkovo.

Medzi nevýhody patrí nemožnosť poskytnúť detailné informácie na lokálnej úrovni (napr. v hustej mestskej zástavbe). Dôležitú úlohu zohrávajú aj meteorologické podmienky počas merania – oblačnosť, hmla alebo vysoká koncentrácia prachových častíc môžu brániť získavaniu dát. Ďalším nedostatkom sú veľmi vysoké investičné náklady. Nevyhnutná je aj kalibrácia voči referenčným metódam na zabezpečenie presnosti meraní. Satelitné merania majú obmedzený výškový rozsah a pri monitorovaní kvality ovzdušia sú presnejšie pre znečistenia vo vyšších vrstvách atmosféry. V prípade chýbajúcich satelitných údajov môže byť potrebná interpolácia pri spracovaní dát.

c) hodnotenie využiteľnosti

Satelitná technológia je mimoriadne cennou metódou globálneho monitoringu, ktorá poskytuje rozsiahly súbor dát. Uplatňuje sa pri globálnej analýze kvality ovzdušia, napr. pri sledovaní prenosu znečistenia medzi kontinentmi alebo pri analýze dosahu veľkých zdrojov emisií, ako sú sopečné erupcie. Táto technológia však nie je vhodná na lokálne monitorovanie a identifikáciu bodových zdrojov znečistenia. V takých prípadoch je potrebné doplniť údaje o merania zo zemných staníc.

d) príklad použitia

Národný program spolupráce služby monitorovania atmosféry Copernicus (CAMS), ktorého súčasťou je aj Inštitút ochrany životného prostredia – Národný výskumný inštitút (IOŚ-PIB), zabezpečuje integráciu satelitných dát s modelmi kvality ovzdušia. Výsledkom je súbor údajov o koncentráciách znečisťujúcich látok v celom štáte, ako aj v Európe. V rámci programu funguje napr.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

geoportál, na ktorom sa priebežne zobrazujú koncentrácie znečisťujúcich látok a dvojdňové prognózy (https://cams.ios.edu.pl/geoportal/jakosc_powietrza/). Medzi sledované látky patria: SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2,5}.

2.5 Systém IoT (Internet of Things)

a) technický opis

Technológie založené na Internet of Things (IoT) v monitoringu kvality ovzdušia sú založené na sieti prepojených senzorov, ktoré zbierajú, spracúvajú a poskytujú údaje o znečistení ovzdušia v reálnom čase. Distribuovaná infraštruktúra a diaľková komunikácia zabezpečujú efektívny monitoring na lokálnej aj regionálnej úrovni.

Systém IoT pozostáva z:

- nízkonákladových senzorov merajúcich koncentrácie znečisťujúcich látok,
- komunikačných platforiem umožňujúcich prepojenie senzorov so servermi a spoluprácu zariadení, vďaka čomu vzniká mapa kvality ovzdušia,
- cloudového výpočtového systému, do ktorého sa prenášajú dáta a následne sa analyzujú pomocou algoritmov spracovania dát a strojového učenia,
- používateľského rozhrania – výsledky meraní sú následne sprístupňované používateľom prostredníctvom mobilných aplikácií alebo webových stránok.

Systém agreguje a koreluje údaje z rôznych lokalít s cieľom identifikovať zdroje znečistenia a vytvárať predpovede. Využíva aj big data a algoritmy strojového učenia na generovanie predpovedí a v prípade potreby aj varovaní v reálnom čase. Sensory môžu vytvárať hustú sieť, čo umožňuje detailné monitorovanie konkrétnej oblasti (napr. sídliska).

b) výhody a nevýhody

Medzi výhody tohto systému patrí nízka cena senzorov a možnosť vytvárania hustej monitorovacej siete. Výsledky meraní poskytujú detailný obraz o kvalite ovzdušia v danej oblasti a sú dostupné v reálnom čase, čo umožňuje rýchlu reakciu pri prekročení limitov. Sensory sa dajú jednoducho inštalovať aj v odľahlejších lokalitách a sú prenosné. Systém môže byť prepojený s ďalšími technológiami, napr. GIS.

Vzhľadom na použitie nízkonákladových senzorov patrí medzi nevýhody nižšia presnosť meraní v porovnaní s referenčnými metódami, ako aj riziko ovplyvnenia výsledkov vonkajšími faktormi,

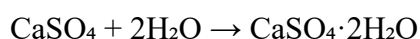
Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

napr. vlhkosťou či elektromagnetickým rušením. Životnosť senzorov je krátka a vyžadujú pravidelnú kalibráciu. Nevyhnutné sú aj nástroje na spracovanie a uchovávanie veľkého množstva dát a vhodné zabezpečenie systému. Sensory musia mať nepretržitý prístup k sieti a napájaniu. Pri niektorých zariadeniach môže byť detekcia nízkych koncentrácií znečistenia obmedzená.

-polo-mokrou – v tomto variante odsírenia sa používa sorbent vo forme vodnej suspenzie, ktorý sa rozprašuje do prúdu spalín. Pri zvlhčení spaliny znižujú svoju teplotu – so znižovaním teploty spalín sa zvyšuje účinnosť odsírenia. Rozlišuje sa niekoľko metód tejto verzie odsírenia, pričom každá z nich je založená na rovnakom jave adsorpcie – plynné znečisťujúce látky sú zachytávané na vonkajších a vnútorných povrchoch absorbentu. Po ukončení procesu odsírenia spaliny prechádzajú do odlučovačov prachu a následne vo forme produktov po procese (popol a časť nezreagovaného sorbentu) do reaktora (kde prebieha recirkulácia),

-mokrou – za najúčinnjšiu metódu sa považuje odsírenie spalín mokrou vápenno-vápencovou metódou (účinnosť 90–95 %). Pri tejto metóde sa spaliny čistia hydroxidom vápenatým, v dôsledku čoho prebiehajú vyššie uvedené reakcie. V konečnom dôsledku vzniká viazaním molekúl vody finálny produkt – sadrovec:



Konečný produkt tejto reakcie sa môže využiť napr. v stavebníctve. Na rozdiel od vyššie uvedených metód má táto metóda vyššiu spotrebu vody a investičné náklady sú vysoké, avšak prevádzka je relatívne lacná.

Inovatívnu metódou odsírenia spalín je magnéziové odsírenie. Používajú sa v ňom zlúčeniny horčíka, ktoré sa vyznačujú vysokou reaktivitou a rozpustnosťou, vďaka čomu účinnejšie absorbujú SO_2 . Na vytvorenie sorpčnej suspenzie sa používa pražený magnezit (obsahujúci 85 % MgO). Predpokladá sa, že účinnosť tejto metódy je približne o 30 % vyššia ako pri vápenatých metódach.

Vzhľadom na vysoké investičné náklady a prevádzkové nároky sa magnéziová metóda odsírenia spalín využíva len zriedkavo. Podnikom, ktorý ju zaviedol v rámci projektovej podpory, je skupina Grupa Azoty (hnojivovo-chemický závod). V roku 2022 bola spustená inštalácia odsírenia spalín pre kotol K-5 s využitím tejto technológie. Týmto boli splnené projektové ciele v súlade s požiadavkami BAT v oblasti emisií do ovzdušia. Metóda spočíva v absorpcii SO_2 v suspenzii praženého magnezitu (85 % MgO). V procese odsírenia vzniká heptahydrát síranu horečnatého, ktorý sa môže používať v poľnohospodárstve ako horečnaté hnojivo alebo ako zložka viaczložkových hnojív. Získavanie tejto látky sa zhoduje s cieľmi činnosti podniku. V rámci prispôsobenia zariadenia požiadavkám BAT sa okrem iného zvýšila účinnosť absorbéra,

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

vybudovala sa dodatočná cirkulačná nádrž, nové čerpadlové stanovište, systém čistenia odpadových vôd a zlepšila sa aj výkonnosť pomocných častí zariadenia.

1.5 Meranie O₃ – UV fotometria

a) opis technický

Pri tejto metóde sa využíva schopnosť ozónu absorbovať UV žiarenie s vlnovou dĺžkou 253,7 nm. Na základe Lambert-Beerovho zákona je stupeň absorpcie UV žiarenia priamo úmerný koncentrácii ozónu. Tento vzťah je opísaný rovnicou:

$$I/I_0 = e^{(-Klc)}$$

kde:

I – intenzita UV žiarenia po prechode cez skúmanú vzorku,

I₀ – intenzita UV žiarenia po prechode vzorkou bez ozónu,

K – koeficient absorpcie,

l – optická dráha,

c – koncentrácia ozónu.

Koncentrácia ozónu v skúmanej vzorke sa určuje v porovnaní s absorpciou tej istej vzorky bez ozónu. V jednej z etáp merania musí byť ozón zo vzorky odstránený, pretože viaceré iné látky v nej taktiež absorbujú UV žiarenie. Odstránenie ozónu umožňuje získať spoľahlivý výsledok. Tento proces prebieha pomocou špeciálnych filtrov, ktoré sú dôležitou súčasťou analyzátorov ozónu. So zvyšujúcou sa dĺžkou optickej dráhy (absorpčných komôr) sa zvyšuje citlivosť zariadenia.

Analyzátory ozónu sa konštruujú v dvoch základných verziách: s jednou meracou komorou a jedným detektorom, kde sa merania striedajú, a s dvoma komorami a dvoma detektormi, kde prebiehajú paralelne. Vzduch na analýzu sa odoberá vo výške 2,5 až 4 m nad zemou. Analyzátory musia byť umiestnené v klimatizovaných kontajneroch s teplotou približne 20–23 °C.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Meranie ozónu má najväčší význam v letnom období, pretože vplyvom slnečného žiarenia, vysokej teploty a vysokých koncentrácií iných znečisťujúcich látok vzniká najviac ozónu. Preto sa merania vykonávajú od 1. apríla do 30. septembra a v tomto období sa na portáli GIOŚ každé ráno zverejňujú trojdňové prognózy znečistenia ozónom.

Ryc. 5 Analyzátor O₃ pracujúci na základe metódy UV fotometrie (zdroj: <https://powietrze.gios.gov.pl/>)

b) nevýhody a výhody

Metóda je všeobecne považovaná za štandardnú a používa sa v mnohých výskumných laboratóriách. Umožňuje detekciu ozónu aj pri veľmi nízkych koncentráciách a je odolná voči vplyvu viacerých rušivých faktorov. Meranie prebieha v reálnom čase. Zariadenie však vyžaduje pravidelnú kalibráciu a periodickú výmenu UV lámp. Je tiež pomerne drahé. Presnosť merania môžu ovplyvniť faktory ako vysoká vlhkosť alebo prítomnosť prachu.

c) hodnotenie využiteľnosti

UV fotometria je referenčná metóda podľa poľských a európskych noriem (PN-EN 14625:2013-02 Atmosférický vzduch – štandardná metóda merania koncentrácie ozónu pomocou ultrafialovej fotometrie). Bežne sa používa v automatických monitorovacích staniciach. Využíva sa aj v priemyselných prevádzkach, ako sú elektrárne, teplárne a hutnícke závody, na kontrolu emisií a dodržiavanie environmentálnych predpisov. Služi tiež na kontrolu kvality ovzdušia vo výrobných halách chemických závodov a na monitoring technologických procesov. Pomáha aj pri optimalizácii procesov čistenia spalín.

2.6. Biomonitoring

a) opis technický

Biomonitoring je metóda hodnotenia stavu životného prostredia založená na pozorovaní výskytu alebo analýze reakcií živých organizmov (bioindikátorov) žijúcich v danom území. Pri takomto výskume sa sleduje reakcia rastlín, živočíchov alebo húb na prítomnosť a koncentráciu

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

znečišťujúcich látok. Biomonitoring môže byť pasívny, keď sa sledujú prirodzene sa vyskytujúce organizmy v danom území, alebo aktívny, pri ktorom sa bioindikátory prenášajú na skúmané miesto.

Bioindikátormi pri meraní kvality ovzdušia sú najčastejšie lišajníky rastúce na stromoch (epifyty). Ide o lišajníky (symbióza húb a rias), ktoré nemajú korene, a preto prijímajú potrebné látky priamo zo vzduchu. Sú veľmi citlivé na znečistenie ovzdušia, najmä na SO₂, ktorého vysoké koncentrácie spôsobujú úbytok chlorofylu. V silne znečistenom prostredí sa vyskytujú len kôrovité lišajníky, zatiaľ čo v čistom prostredí prevažujú kríčkovité formy.

Biomonitoring sa najčastejšie vykonáva hodnotením druhovej rozmanitosti a početnosti lišajníkov. Chemická analýza lišajníkov umožňuje určiť aj pôvod znečistenia na základe izotopového zloženia síry a olova obsiahnutých v atmosférickom aerosóle.

Nové vedecké výskumy ukazujú, že veľmi dobrými indikátormi znečistenia sú aj pavučiny pavúkov z čeľade lievikovitých, ktoré sa vyskytujú bežne a sú aktívne počas celého roka. V čase vypracovania tejto práce sa však v biomonitoringu stále najčastejšie využívajú rastliny, čo je upravené v nasledujúcich normách:

EN 16413:2014 Vonkajší vzduch – biomonitoring s lišajníkmi – hodnotenie diverzity epifytických lišajníkov

EN 16414:2014 Atmosférický vzduch – biomonitoring s machmi – akumulácia znečišťujúcich látok v machoch in situ: od odberu po prípravu vzoriek

EN 16789:2016 Atmosférický vzduch – biomonitoring s vyššími rastlinami – metóda štandardizovanej expozície tabaku

b) výhody a nevýhody

Pri biomonitoringu nie je potrebná žiadna technológia, pretože úlohu senzorov plnia živé organizmy. Kvalitu ovzdušia možno touto metódou sledovať aj v odľahlých oblastiach bez infraštruktúry. Niektoré technológie nemusia zachytiť malé zmeny chemického zloženia vzduchu, ktoré však môžu ovplyvniť živé organizmy. Biomonitoring zároveň umožňuje hodnotiť dlhodobý vplyv znečistenia, keďže látky sa môžu v bioindikátoroch akumulovať. Metóda je aj finančne nenáročná.

Výstupom biomonitoringu sú však prevažne kvalitatívne a lokálne údaje – na kvantitatívne určenie koncentrácií na väčšom území sú potrebné iné metódy. Okrem znečistenia je potrebné zohľadniť aj ďalšie faktory ovplyvňujúce živé organizmy. Pozorovanie je časovo náročné, a preto sú výsledky dostupné s oneskorením.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

c) hodnotenie využiteľnosti

Biomonitoring je veľmi užitočná metóda vzhľadom na svoje špecifické výhody. Predstavuje cenný zdroj informácií najmä v ťažko prístupných oblastiach. Povinnosť vypracovávania správ založených na biomonitoringu vyplýva z požiadaviek ochrany národných parkov, chránených krajinných oblastí a prípravy hodnotení vplyvov na životné prostredie. V správach o kvalite ovzdušia je biomonitoring doplnkovou metódou k presnejším technikám, no zároveň dôležitým indikátorom, ktorý je vhodné zohľadniť.

d) príklady použitia

Príkladom pasívneho biomonitoringu je výskum slovenského vedeckého tímu, ktorý použil niekoľko druhov machov a lišajníkov na hodnotenie kvality ovzdušia v podzemnom parkovisku v Prešove (Demková a kol., 2018). V štúdiu boli použité machy: *Pleurosium spp.*, *Rhytidiadelphus spp.*, *Polytrichum spp.* a lišajník *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf.

V takýchto výskumoch sa určuje relatívny akumulčný faktor, ktorý vyjadruje úroveň znečistenia látkami nahromadenými v machoch a lišajníkoch:

$$RAF = (C_{\text{exposed}} - C_{\text{initial}}) / C_{\text{initial}}$$

kde:

C_{exposed} – koncentrácia po expozícii
 C_{initial} – počiatočná koncentrácia

Laboratórna analýza exponovaných bioindikátorov poskytuje komplexný obraz o znečistení daného územia.

3. Spôsoby eliminácie znečistenia v oblasti projektu – obnoviteľné zdroje energie (OZE)

Okrem spôsobov eliminácie jednotlivých znečisťujúcich látok opísaných v predchádzajúcich kapitolách je nižšie uvedený príklad mimoriadne významného OZE – geotermálnej energie. Jej využívanie eliminuje emisie všetkých druhov znečisťujúcich látok do atmosféry.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Geotermálna energia je tepelná energia Zeme uložená v horninách a vo vode v póroch a puklinách rôznych hĺbok. Považuje sa za jedno z najčistejších obnoviteľných zdrojov energie s prakticky nevyčerpatelnými zásobami. Medzi jej výhody patrí ekonomická efektívnosť, absencia emisií a odpadov, nezávislosť od počasia a stabilná dostupnosť. Využívanie geotermálnych vôd je bezpečné, spoločensky akceptované a nenaruša krajinu.

Podľa viacerých vedeckých štúdií má Poľsko veľký potenciál využitia geotermálnej energie. Jej využitie je však rentabilné len v určitých lokalitách. Potenciál geotermálnej energie sa využíva aj na Slovensku, kde fungujú dve geotermálne elektrárne (v oblasti projektu: Žiar nad Hronom a Prešov).

Medzi regióny s najlepšimi podmienkami na rozvoj geotermálnej energetiky v Poľsku patrí napr. Podkarpatsko. Na Podhalí sa nachádzajú najväčšie exploatované geotermálne zdroje v krajine. V minulosti Národný fond ochrany životného prostredia a vodného hospodárstva podporoval dotácie na geotermálne projekty a ich pokračovanie sa plánuje. Napriek tomu je využitie geotermálnej energie v Poľsku stále obmedzené.

V oblasti projektu na poľskej strane pôsobí PEC Geotermia Podhalańska S.A., ktorá využíva geotermálnu energiu na vykurovanie, prípravu teplej vody, klimatizáciu a rekreáciu a balneológiu. Do jej siete sa postupne pripájajú ďalšie objekty, čo vedie k výraznému zníženiu spotreby tuhých palív. Na Podhalí to má osobitný význam vzhľadom na vysoké prírodné hodnoty regiónu. Odhaduje sa, že geotermálny projekt znížil emisie SO₂ približne o 68 % a emisie CO₂ na úroveň približne 51 tisíc ton ročne (2023).

Spis literatury

Adamski, M., Dąbrowska, A., Dąbrowski A. & Konieczka, A. (2022) Analytics of air samples collected with an apparatus coupled to UAV in air quality monitoring. *Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA)*, Poznan, Poland, 141-145.

Berner, B.& Chojnacki J. (2017) Monitorowanie zanieczyszczeń środowiska za pomocą dronów. *Autobusy (7-8)* 57-60.

Bielawska, M. (2023) Analiza przestrzennego rozkładu stężeń zanieczyszczeń powietrza w aglomeracji gdańskiej z wykorzystaniem geograficznych systemów informacji. Praca doktorska, Politechnika Gdańska.

Chwistek, Z. & M., Dąbrowski M.W. (2023) Testy laboratoryjnego układu do badania katalizatorów przeznaczonych do redukcji emisji tlenków azotu. Praca inżynierska, Akademia Górniczo-Hutnicza

Demková, L., Árvay, J., Bobul'ská, L. & Oboňa, J. (2018) The risk elements biomonitoring in the ambient air of an underground parking lot. *Polish Journal of Natural Sciences* 33 (4) 545–559.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Dubey, R., Telles, A., Nikkel, J., Cao, C., Gewirtzman, J., Raymond, P. A., & Lee, X. (2024) Low-Cost CO₂ NDIR Sensors: Performance Evaluation and Calibration Using Machine Learning Techniques. *Sensors* 24 (17) 5675.

Fontijn A. (1976) Chemiluminescence Techniques in Air Pollutant Monitoring. In: Wehry, E.L. (eds) Modern Fluorescence Spectroscopy. Modern Analytical Chemistry, vol 1. *Springer, Boston, MA*.

Frączkowski T. (2017) Monitoring pyłu zawieszonego w atmosferze (cz. I) *Lab* 22 (2) 32-36.

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (2025) Portal Jakość Powietrza <https://powietrze.gios.gov.pl/> (dostęp: 24.01.2025)

Grupa Azoty (2022) Uruchomienie instalacji odsiarczania spalin w Grupie Azoty S.A. <https://grupaazoty.com/>

Jakowiuk A., Urbański P., Świstowski E., Machaj B., Pieńkos J., Kowalska E. (2008) Metrological features of a beta absorption particulate air monitor operating with wireless communication system. *NUKLEONIKA*, 53 (Supplement 2), 37–42.

Kapuściński, J. & Rodzoch, A. (2010) Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie. Stan aktualny i perspektywy rozwoju. Uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.

Kępińska, B. (2011) Energia geotermalna w Polsce – stan wykorzystania, perspektywy rozwoju. Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój (1–2), 7-17.

Komisja Europejska (2021) Decyzja wykonawcza Komisji (UE) 2021/2326 z dnia 30 listopada 2021 r. ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w odniesieniu do dużych obiektów energetycznego spalania zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej.

Kowalewicz A. (2000) Podstawy procesów spalania. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa

Kowalik M., Zajemska M. (2013) Spalanie węgla kamiennego w powietrzu wzbogaconym tlenem a zanieczyszczenia. *Polityka Energetyczna*. 16 (2) 85-101.

Krajowy program współpracy - Monitoring Atmosfery Copernicus, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy (2025) Geoportal. Jakość powietrza. https://cams.ios.edu.pl/geoportal/jakosc_powietrza/ (dostęp: 20.01.2025)

Łączek, A. (2008) Budowa i zastosowanie dronów. W: *Zastosowania nauki* 4, 112–114. Politechnika Rzeszowska.

Małopolska w zdrowej atmosferze. Jakość powietrza. <https://powietrze.malopolska.pl/jakosc-powietrza/> (dostęp: 20.01.2025)

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Mendes, L.B.; Ogink, N.W.M.; Edouard, N.; Van Dooren, H.J.C.; Tinôco, I.D.F.F.; Mosquera, J. (2015) NDIR Gas Sensor for Spatial Monitoring of Carbon Dioxide Concentrations in Naturally Ventilated Livestock Buildings. *Sensors*, 15, 11239-11257.

Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky. Slovenský hydrometeorologický ústav (2025) Spravodajstvo kvality ovzdušja.

Oil Sands Monitoring Program. 2020. Standard Operating Procedure for Measurement of SO₂ by Ultraviolet Fluorescence SO₂ Analyzer. <https://open.alberta.ca/publications/sop-measurement-so2-by-ultravioletfluorescence-so2-analyzer>

Państwowy Instytut Geologiczny Państwowy Instytut Badawczy. Nowy program NFOŚiGW dla samorządów. 300 mln zł na odwierty geotermalne. <https://www.pgi.gov.pl/geotermia/wm-aktualnosc/12331-nowy-program-nfosigw-dla-samorzadow-300-mln-zl-na-odwierty-geotermalne.html> (dostęp: 20.01.2025)

Parrish D. D., Holloway J. S., Fehsenfeld F. C. (1994) Routine, continuous measurement of carbon monoxide with parts per billion precision *Environmental Science & Technology*, 28, 1615-1618.

PEC Geotermia Podhalańska S.A. (2025) Geotermia Podhalańska. Ekologia <https://www.geotermia.pl/ekologia.html> (dostęp: 20.01.2025)

Platforma Przemysłu Przyszłości. Internet Rzeczy. Smart-Sensory. <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/technologie/cyfrowe/internet-rzeczy/smart-sensory-czujniki-inteligentne/> (dostęp: 20.01.2025)

Polski Fundusz Rozwoju. Baza miejskich innowacji. Dronem w dym - Górnośląskie innowacje antysmogowe. <https://pfr.pl/baza-miejskich-innowacji/dronem-w-dym-gornoslaskie-innowacje-antysmogowe> (dostęp: 20.01.2025)

Robotto, A., Bargerò, C., Marchesi, L., Racca, E., & Brizio, E. (2024) Innovative Tools to Contrast Traffic Pollution in Urban Areas: A Review of the Use of Artificial Intelligence. *Air* 2 (4) 402-418

Romero C. E., Wang X. (2019) Key technologies for ultra-low emissions from coal-fired power plants. *Woodhead Publishing Series in Energy*, 39-79.

Rybak, J. (2012) Zastosowanie sieci pajęczych do oceny zawartości wybranych metali ciężkich w powietrzu na przykładzie Wrocławia. *OCHRONA ŚRODOWISKA* 34 (4) 47-50.

Sala R., Dzida J., Krasowski J. (2017) Selektywna redukcja katalityczna tlenków azotu w pojazdach spełniających normę emisji Euro VI. *Autobusy* 6/2017 Eksploatacja i testy, 1052-1056.

Slovanské elektrárne. Mapa elektrární. <https://www.seas.sk/o-nas/nase-elektrarne/mapa-elektrarni/> (dostęp: 24.01.2025)

Stepnowski, P., Synak, E., Szafranek, B. & Kaczyński, Z. (2011) Monitoring i analityka zanieczyszczeń w środowisku. *Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego*

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Sówka, I., Kazimierz Gaj, K. & Miller, U. (red.). (2020). Aktualne trendy w ochronie powietrza i klimatu – kontrola, monitoring, prognozowanie i ograniczanie emisji. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*.

TAURON Wytwarzanie Spółka Akcyjna – Oddział Elektrownia Jaworzno w Jaworznie
<https://www.tauron-wytwarzanie.pl/oddzialy/oddzial-jaworzno> (dostęp: 20.01.2025)

Uniwersytet Wrocławski. Zespół LIFE MAPPINGAIR/PL (2019) „Czy wiesz czym oddychasz?” – kampania edukacyjno-informacyjna na rzecz czystszeo powietrza. Czy można ufać budżetowym czujnikom pyłu zawieszonego? <https://mappingair.meteo.uni.wroc.pl/2019/08/czy-mozna-ufac-budzetowym-czujnikom-pylu-zawieszonego/> (dostęp: 20.01.2025)

Urząd Miasta Katowice. Ekologia. Jakość powietrza. <https://powietrze.katowice.eu/> (dostęp: 20.01.2025)

Wilk R.K. (2000) Podstawy niskoemisyjnego spalania. Wyd. Gnome, Katowice

Wong J. Y., Anderson R. L. (2012) Non-Dispersive Infrared Gas Measurement. *International Frequency Sensor Association Publishing*.

Interreg



Współfinansowany przez
UNIE EUROPEJSKĄ

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien
