

Légszennyező anyagok terjedése a szabad légtérben

Napjaink levegőtisztaságvédelmi kérdései már jó ideje nem merülnek ki abban, hogy valamilyen tervezett vagy már működő technológia milyen levegő-tisztaságvédelmi kérdéseket vet fel, milyen légszennyező komponensek fognak a szabadba kerülni, ezek milyen mennyiséget jelentenek, hanem a várható vagy ténylegesen fellépő hatások milyen területet érintenek / hatásterület / , egyik-másik távolabbi település, vagy a település közelebbi és távolabbi területe milyen mértékben veszélyeztetett az adott telephely tevékenységéből adódóan a légtérbe kerülő légszennyező komponensektől.

Ha a fenti kérdésekre keressük a választ, először is nem szabad elfelejteni, hogy a légköri folyamatok bonyolult rendszere valamilyen módon kölcsönhatásban áll a természetes és mesterséges környezet számos elemével, azoktól kisebb-nagyobb mértékben függenek. A levegőminőséget befolyásoló elemek között kiemelten kell említeni a meteorológiai és földrajzi viszonyokat, valamint nem szabad megfeledkezni az országhatárokon áterjedő légszennyező hatásokról sem. Hazánk levegőminőségét befolyásolják a határokon túlról érkező légszennyező komponensek minősége, mennyisége, eloszlása, de ezzel párhuzamosan folyik a légszennyező anyagok " exportja " is, vagyis a légtérbe kerülő szennyezőanyagok nem maradéktalanul hazánk levegőminőségét befolyásolják, hanem a környező országok is kapnak e hatásokból.

A levegőtisztaságvédelem alapvető célja az ember és az emberiség megóvása a levegőszennyezés indokolatlanul súlyos következményeitől, de nem tűzhetjük magunk elé a levegőszennyezés teljes megszüntetését sem. Az emberi élet elképzelhetetlen ipari, mezőgazdasági termelés és szolgáltatások igénybevétele nélkül, ezek a tevékenységek viszont elkerülhetetlenül együtt járnak valamilyen mértékű levegőszennyezéssel. A reálisan megvalósítható cél tehát csupán a légszennyezések korlátozása lehet. E cél megvalósításához alkalmazható jogszabályi előírásokra, ezek gyakorlati megvalósítását lehetővé tevő tervezési módszerekre és műszaki megoldásokra van szükség.

A levegőszennyezés hatásait három fő csoportra oszthatjuk fel:

- Lokális hatások : a kibocsátó forrás, vagy források legfeljebb néhány tíz kilométeres körzetében jelennek meg a közvetlen hatások (egészségügyi hatások, korróziós és növénykárok).

- Kontinentális hatások: ez a lépték többszáz vagy néhány ezer kilométer kiterjedésű körzet összefüggő légszennyezettségét jelenti. Ilyen távolságban a transzmisszió során történő átalakulási folyamatok miatt már nem csak az eredetileg kibocsátott légszennyező anyagok, hanem ezek átalakulás termékei is kifejtik hatásukat. Ebben a pontban a savas esők miatti savasodást kell megnevezni. Tekintettel arra, hogy a savasodás mértékét döntően a szennyezett terület összes kibocsátása szabja meg, csak a kibocsátás korlátozása lehet célravezető. A kontinentális hatás léptéke miatt a kibocsátás korlátozása csak a körzet egészére kiterjedő nemzetközi egyezményekkel érhető el.

- Globális hatások: a földi légkör egészére kiterjedő hatás. Jelenleg két ilyen hatás ismert: az üvegházhatás és a sztratoszférikus ózon koncentrációjának csökkenése. A globális hatásokat a légkörben egyenletesen eloszolva az ún. hosszúéletű gázok hozzák létre, melyeket a Föld valamennyi országának összes kibocsátása határoz meg. A kedvezőtlen hatású gázok légköri koncentrációjának korlátozása tehát globális nemzetközi egyezmények keretében valósítható meg.

Röviden nézzük meg a légkör szerkezetét, ahol a szennyezőanyagok terjedése történik, illetve ahol a szennyező hatások kifejthetik károsító mivoltukat.

Szerkezetét tekintve a légkör két fő rétegre a homoszférára és a heteroszférra osztható. A légkör teljes vastagsága mintegy 1500 km. A homoszféra az az alsó kb. 85 km vastagságú réteg amelyben a levegő relatív összetétele állandó. A homoszféra hőmérsékleti rétegződés alapján további három részre osztható, megkülönböztethető a troposzféra, a sztratoszféra és a mezoszféra.

A troposzféra az egyenlítő fölött 15-17 km, a pólusokon 7-9 km magasságig terjed. Hazánk feletti vastagsága 15 km-re tehető. A troposzférában játszódnak le azok a fizikai jelenségek, amelyek e légrétegre jellemző, helyenkénti és időnkénti átkeveredésből erednek:

- felhő és csapadék képződés,
- a hőmérséklet csökkenés felfelé,
- a szennyezettség változó, de felfelé általában csökkenő mértéke.

A troposzféra további négy rétegre osztható, a felosztás alapjául az egyes rétegekben lejátszódó jelenségek jellegzetességei szolgálhatnak:

- az 1 - 20 m vastagságú határréteg közvetlenül a Föld felszínéhez tapad, ez a talajmenti réteg,
- az alacsony földközeli réteg kb. 260 m magasságig tart,
- 260-750 méterig terjed a magas földközeli réteg,
- a konvekciós réteg helyenként a troposzféra határáig terjedő legvastagabb légköri réteg.

A troposzférában a hőmérséklet a magassággal csökken, az átlagos hőmérsékleti gradiens $6,5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$. Az itt jelenlévő légmozgások szerepe a helyi légszennyezés koncentrációjának keveredésében, hígításában, a szennyezőanyagok szállításában mutatkozik meg. A természetes és mesterséges hatások következtében a légkörbe kerülő szennyezőanyagok a troposzféra összetételét állandóan változtatják. A légköri levegő a víz és a talaj mellett az élet nélkülözhetetlen feltétele. A Földünket körülvevő levegő tiszta állapotban színtelen, szagtalan gázkeverék, melynek fő alkotórésze az oxigén és a nitrogén, melyeken túl tartalmaz még szén-dioxidot, argont és egyéb nemesgázokat. A levegő összetételét évszázadokon keresztül állandónak tekintették. Az utóbbi 30 évben a pontosabb méréseknek is köszönhetően az állandó összetevők mellett a természetes és mesterséges tevékenység együtt számos nyomgázkomponenst állandóan mérhető, változó összetevővé változtatott. Állandó komponensek a nitrogén, az oxigén, az argon, a neon, a hélium, a kripton, a xenon. Változó komponensek a szén-dioxid, a metán, a hidrogén, a dinitrogén-oxid, az ózon. Erősen változó összetevők a víz-vízgőz, a szén-monoxid, a nitrogén-oxidok, az ammónia, a kén-dioxid, a kén-hidrogén.

Nyomgázkomponenseknek azokat a részecskéket nevezzük, amelyek csupán a levegő 0,1 %-át alkotják. A nyomanyagok fontos szerepet játszanak számos légköri folyamat / felhőképződés, sugárzások elnyelése/ lejátszódásában. A nyomgázok fontos jellemzője a légkörben való tartózkodási idejük, melynek értéke a szennyezőanyag anyagi minőségétől függően néhány naptól évekig terjedhet.

Csak az érdekesség kedvéért nevesítem a kén-dioxid 5 napos és a szén-dioxid 4 éves tartózkodási idejét.

A nyomgázok tartózkodási ideje az idő, aminek letelte után az adott anyag a légkörben megszűnne, azaz felhígulás után talajon, felszíni vizeken leülepedne, ha utánpótlás nem lenne. Tekintettel arra azonban, hogy a levegő szennyeződése folyamatosan történik ez egy örök körforgásnak fogható fel.

Egyebekben a légkör különböző anyagokból álló komplex rendszer, amely ha csak a fő komponenseket tekintjük is, mintegy 50 kémiai vegyületet tartalmaz. Ezeket több száz reakcióegyensúly kapcsolja össze. Az atmoszféra viselkedésére jellemző, hogy a részecsk koncentráció itt lényegesen kisebb, mint a kondenzált szférákban, továbbá a koncentráció a földfelülettől való távolság növekedésével erősen csökken. További jellemző a Nap sugárzó energiája miatt a gerjesztett állapotok számos reakciójának

lehetősége, valamint a rendelkezésre álló nagy oxigénkoncentráció miatt az oxidáló reakciókörülmények uralkodása.

A levegő pillanatnyi állapotainak változását időjárásnak nevezzük, ez a meteorológia tárgyköre. Jellemzői a levegő hőmérséklete, nyomása, nedvességtartalma, a felhőzet mennyisége, a szélsébség és szélirány. A légszennyező anyagok koncentrációjának csökkenése szempontjából a 8 - 10 m/s szélsébség a legkedvezőbb. Mindezt összefoglalva modhatjuk tehát, hogy a légköri jelenségeket végső soron a következők alakítják:

- a légkör gáz alakú anyagainak összenyomhatósága, kis súrlódása, könnyű keverhetősége,
- a földfelszín felől érkezett hőenergia,
- a levegőben lévő vízgőz és ezek sugárzási hatásai,
- a földfelszín egyenetlenségei.

A levegő összetételének vizsgálatakor meg kell különböztetnünk természetes és mesterséges eredetű légszennyeződést. Légszennyező anyagok mind azok az anyagok, amelyek a környezeti levegőbe kerülve megváltoztatják a levegő összetételét, valamint a környezetet különböző módon és mértékben károsítják. A légkörbe jutó szennyező anyagok jelentős része természetes eredetű, azaz természeti folyamatok lejátszódásának eredménye. A Föld felületének nagyobb hányadát borító hidroszféra nagy mennyiségű aeroszolt termel. A hullámverések során a levegőbe került vízcseppek beszáradva különféle ionokat / Na⁺, K⁺, klorid-, szulfid-- ill. ezek vegyületeit/ juttatnak a légtérbe. A nagy felületű vízborítások /óceánok, tengerek/ élővilága szintén hatalmas mennyiségű anyagcsereterméket juttat a szabad légtérbe. Ezen anyagok egy része jól-rosszul oldódik a vízben, másik része pedig távozik a légkörbe, a legjelentősebb ilyen szennyező a széndioxid.

Természetes eredetű szennyezők a kozmikus , a sivatagi és a vulkanikus porok, gázok, gőzök. Meg kell említeni az erdőtüzeket is, mint a korom és a karcinogén szénhidrogének levegőbe juttató forrását. További szennyezőanyagok az élőlények anyagcsere termékei, valamint a talajok, kőzetek pora, melyek ásványokból, karbonátokból, szulfátokból, oxidokból áll.

A mesterséges szennyezőhatások között a közlekedés, az ipar, a mezőgazdaság és a lakosság által okozott szennyező hatásokat kell számba venni. Meg kell említeni ezek arányánál, hogy a közlekedés okozta légszennyezés hatása jelentősebb, mint az ipar és a háztartások együttes hatása, ezen belül pedig, ha nem is elenyésző, de nagyságrenddel kisebb a háztartások légszennyező hatása, mint az ipari eredetű légszennyezés.

A légszennyezést okozó anyagok száma igen nagy, mintegy 1500-ra tehető. Ezen anyagokat két csoportra lehet osztani, mint elsődleges, vagy közvetlen légszennyező anyagok és másodlagos vagy közvetett légszennyezést okozó anyagok. Az elsődleges légszennyezők természetes úton , vagy technikai berendezésekből kerülnek a szabad légtérbe, a másodlagos légszennyező anyagok a légkörben keletkeznek a primer légszennyező anyagok levegővel és egymás között lejátszódó reakciókból.

A levegőtisztaságvédelmi hatósági szabályozás nyilvánvalóan a mesterséges szennyeződésekkel igyekszik kordában tartani, azonban, olyan módon, hogy minden mesterséges szennyezőszféra /közlekedés, ipari termékek előállítás, szolgáltatási tevékenység / külön-külön elsőfokú hatósági szabályozás alá esik. A közlekedés okozta szennyezés, mint a mozgó pontforrások által okozott emisszió a közlekedési felügyelethez tartozik, az ipari és mezőgazdasági termelési tevékenységhez kapcsolódó légszennyező anyagok emissziójának ellenőrzése feletti elsőfokú hatósági jogkört a területileg illetékes környezetvédelmi felügyelőségek gyakorolják, míg a szolgáltatásokhoz kapcsolódó szennyeződések emissziójának ellenőrzése a területileg illetékes önkormányzat jogköre. Az emittálás alatt az a folyamat, amelynek során a szennyező anyagok kerülnek a légkörbe, az emisszió pedig az a szennyezőanyag mennyiség, amelyet a szennyezőforrás

időegység alatt a légkörbe juttat. Emisszió határérték alatt az adott telephely, adott légszennyező forrására, adott légszennyező komponensére vonatkozó azon kibocsátási határértéket értjük, melyet jogszabály alapján az illetékes hatóság határoz meg. Az emisszióból transzmisszió /légköri terjedés/ útján kerülnek a légszennyező anyagok a környezeti levegőbe, amelynek állapotát az immisszióval jellemezhetjük. Az immisszió a környezeti levegőben kialakult szennyezőanyag koncentráció. Az immisszió határérték az egyes szennyezőanyagok megengedett legnagyobb koncentrációja a környezeti levegőben, melyet országos szabvány határoz meg. A környezeti levegő állapotáért felelős hatóság a tisztiorvosi szolgálat. Természetesen az emisszió és immisszió hatósági szabályozása sem képzelhető el egymástól függetlenül, mint ahogyan a gyakorlatban is szoros összefüggésben állnak egymással, ez a köztes a transzmissziós folyamat. A légszennyeződés folyamatában tehát három, jól definiáltan elkülöníthető fázist különböztethetünk meg:

- szennyező anyagok kibocsátása a forrásból (emisszió)
- elszállítódás a légkörben és diffúzió (transzmisszió)
- csökkent koncentrációban távolabb megjelenő szennyező anyagok (immisszió) hatása az emberekre, növényekre, állatokra és tárgyakra.

A gyakorlatban az emissziós terület egyrészt nagyon sok technológiához kapcsolódva matematikai módszerekkel jól prognosztizálható, másrészt mintavételezéssel végzett mérésekkel a technológia változatlanságáig jó mérési eredményt kapunk. Szintén mérhető az immisszió, mint a környezeti levegő állapota, a mérési adatok megfelelő kiértékelése és a hozzá kapcsolódó emissziós mérési eredmények segítségével modellek állíthatók fel a környezeti levegő állapotára készíthető prognózisokhoz.

Sorra véve a légszennyeződést befolyásoló tényezőket, a következőkhöz jutunk:

- az emissziót (kibocsátást) maga a termelési-szolgáltatási tevékenység határozza meg, vagyis a felhasznált anyagok minőségével, a körültekintően megválasztott technológiai eljárások alkalmazásával, esetleg a termelési volumen korlátozásával jól kézben tartható a légszennyezés első és alapvető fázisa. A leírtakon túl ennek kézben tartása és szabályozása nemcsak ezen első fázisban meghatározó jellegű, hanem az egész légszennyeződési folyamatot is alapjaiban határozza meg. Nyilvánvalóan nem lehet káros mértékű a légszennyezés a kibocsátás forrásától távolabb eső területen, ha az eleve már kibocsátáskor is alatta marad a káros mennyiségnek.

A transzmissziót, s ilyenformán közvetetten az immissziót meghatározó tényezők között elsőként kell említeni

- az emissziót, azaz a tényleges kibocsátást és
- a meteorológiai és egyéb hatásokat a légszennyeződés terjedése során. Meghatározó tényező lehet a szél iránya, a szél sebessége, a levegő hőmérsékletének rétegződése, a szél fluktuációja és a turbulencia.

A szél irány a a magassággal változik, ezért a szélirányt úgy kell vizsgálni, hogy az valóban reprezentálja a szennyező anyagok mozgásának tényleges irányát. Ezért a szél irányát a földfelszíntől 1,5 - 2 m magasságban célszerű mérni.

A szél sebessége kettős hatással befolyásolja a transzmissziót, egyrészt minél nagyobb a sebessége, annál gyorsabban szállítja a légszennyező anyagokat az emisszió helyéről a kérdéses helyre, másrészt jelentős szerepe van a szél irányában bekövetkező hígulásnak, azaz a légszennyező anyag koncentrációja fordított arányban van a szélesebséggel.

Ezen túlmenően a különböző irányokban más és más sebességi komponensek léphetnek fel, melyek a szennyezőanyagok vertikális és horizontális elmozdulását okozzák. Ezek a különböző méretű és periódusú véletlen mozgások okozzák a szennyezőanyagok átlagos szélirányra merőleges szóródását, illetve diffúzióját. Ezeket a mozgásokat tekinthetjük légköri turbulenciának. A mechanikus turbulencia keletkezése a talajfelszín érdességére vezethető vissza. A talajfelszín felett áthaladó levegőben a felszín érdessége, mint az áramlást zavaró hatás örvényes szerkezetű légmozgást kelt, minél magasabbak az

érdességi elemek, annál intenzívebb az általuk keltett mechanikus turbulencia. A szél sebessége szintén növeli a mechanikus turbulenciát. A termikus turbulencia kialakulásában döntő szerepe a levegő hőmérsékleti rétegződésének jut. A szennyezőanyagok terjedését befolyásoló tényezők után tekintsük át a gyakorlatban használatos terjedési modelleket:

- Az egyszerű determinisztikus modellek kísérleti adatok feldolgozásával nyert egyszerű algebrai összefüggések meghatározására alkalmasak. Ezekben a modellekben a befolyásoló tényezőket empirikus úton a kísérletek során vehetjük figyelembe.
- A statisztikus modellek, a levegőminőség mérőhálózat adatait dolgozzák fel statisztikai úton.
- A helyi füstszázló modellek a turbulens diffúzió egyenletét alkalmazzák állandószélsebesség és hőmérsékleti állapot feltételezésére.
- A cella és több cella modellek a diffúziós egyenlet térfogati integrál formáját használják, a teret elemi cellákra bontva vizsgálják.
- A rács és végesdifferencia modellek a diffúziós és transzport egyenleteket numerikusan oldják meg. Ahhoz, hogy a gyakorlatban ezt a módszert jól használhassuk a szélmező és a domborzat részletes ismerete szükséges.
- A részecske modellekben a teret elemi cellákra osztják és a légszennyező anyagot állandó tömegű részecskéknek tekintjük, amelyek a valódi szélsebességből és a turbulens szélsebességből képzett elméleti sebességgel vándorolnak egyik cellából a másikba. A valóságos helyzet közelítésére egy-egy cellában sok részecskét kell figyelembe venni.
- A fizikai modellek szélcsatorna kísérletekben kapott eredményeket dolgoznak fel.
- A regionális modellek több száz kilométeres vízszintes tengelyt használnak, többnyire differencia, illetve részecske típusú modellek.

Valamennyi modellhez szükséges kiindulási adatokat, vagy számítási paramétereket két csoportra oszthatjuk:

- a szennyező forrást jellemző adatokra és
- a meteorológiai adatokra. A szennyező forrás adatai függenek a vizsgált modell típusától, hiszen más és más a szennyező forrást jellemző paramétersor egy nukleáris baleset, egy ipari baleset, vagy egy vegyi támadás esetén. A meteorológiai adatok azonban minden esetben azonosak. A meteorológiai adatok egyik forrása lehet az Országos Meteorológiai Szolgálat által üzemeltetett mérőhálózat mérési adatai. Az adatok másik forrása lehet a közvetlen mérés, azonban a modellekkel kapott eredményeknél célszerű feltüntetni az adatok származási helyét, egyrészt az ellenőrizhetőség, másrészt a reprodukálhatóság miatt.

Felhasznált irodalom:

Bede Gábor- Gács Iván : Szennyezőanyagok terjedése a légkörben - Budapesti Műszaki Egyetem Mérnöktoábbképző Intézete Budapest, 1980.

Halász László: Vegyi katasztrófák terjedési modelljei.

Vegyvédelmi meteorológiai biztosítás: Megvalósítási Tanulmány- GuBo Műszaki terjesztő és Szolgáltató BT. Budapest, 1997.

Gács Iván - Katona Zoltán: Környezetvédelem. (Energetika és levegőkörnyezet) Műegyetemi Kiadó, Budapest 1998.

Szepesi Dezső: Levegőkörnyezeti Kézikönyv - MTA Levegőkörnyezeti Albizottság által 1995. okt. 19-én rendezett Szimposiumon elhangzott előadás.

Dr. Gács Iván: Energtikai levegőszennyezés matematikai modellezése (Kandidátusi értekezés) Budapest , 1988.

Vajda György: Kockázat és biztonság Akadémiai Kiadó, Budapest 1998.

Dr.Bubonyi Mária : Százhalombatta levegőtisztaságvédelmi kérdései Szakmérnöki Diplomadolgozat Gödöllői Agrártudományi Egyetem, Gödöllő 1998.