

KTI Tudomány a Gyakorlatban

Dízelüzemű gépjárművek károsanyag-kibocsátásának csökkentése

A Részecskeszűrők Szerepe

A dízeljárművek térnyerésével az utóbbi években megnőtt a városi levegőben az ultrafinom részecskék mennyisége, amely nem teljesen azonos a jól látható dizelfüsttel, sőt annál több szempontból is sokkal alattomosabb légszennyező. Mit tehet a modern gépjárműipar, valamint az ezt szabályozó gazdaság és politika ennek visszafogására?

A részecskeszennyezettség közegészségügyi szempontból

A nagyvárosok és a sűrűn beépített területeken átvezető főforgalmi utak levegőjének emberi eredetű szennyezettsége, ezek között a most tárgyalandó lebegő szilárd aeroszol részecskék (PM – particulate matter) közegészségügyileg speciális problémát jelentenek.

E légszennyezőnek kémiai összetételén kívül másik meghatározó tulajdonsága a szemcsék jellemző mérete. A szilárd szemcsék felület/térfogat aránya – így a rá ható közeg-ellenállási erő és a saját súly vagy tehetetlenségi erő aránya – a méretük csökkenésével nő, így minél kisebb egy porszemcse, annál inkább együtt mozog a légárammal, annál kevésbé képes abból kiüledni.

Így a kisebb, úgynevezett ultrafinom részecskék (körülbelül 1 mikrométer alatt) tovább tartózkodnak a légkörben, mint nagyobb társaik: jellemzően csak a csapadékkal (nedves ülepedéssel) képesek onnan távozni, míg a nagyobbak (főleg 10 mikrométer fölött) saját súlyuknál fogva hamar leszállnak a földfelszínre.

A természetes porlódási folyamatok során, de még a szokványos tüzeknél sem keletkeznek nagy számban ultrafinom részecskék. Az élővilágban az evolúció során a légzőrendszer úgy fejlődött, hogy a nagyobb porszemcséket a légutak egyre finomabb ágakra oszló rendszere kiszűri és folyamatosan eltávolítja a külvilág felé, így

azok nem érik el a légzőfelületet jelentő léghólyagocskákat. A kis részecskék jelentős hányada azonban – fent említett tulajdonságuk miatt – eljut a léghólyagokig, ahol megrekedve károsítják azokat, csökkentik a hatásos légzőfelületet és a véráramba felszívódva toxikus hatást fejtenek ki.

Az ultrafinom részecskék jelentős hányada a dízelmotorokban lezajló égésből származik. Az olajcseppek tökéletes égése következtében kémiaiilag instabil, reakcióképes szénláncok maradnak vissza, változatos összetételben tartalmazva aldehid-, dioxin- és furáncsoportokat. A légszennyezettségben szerepet játszó legkisebb részecskékkel szemben tehát nemcsak hogy védtelenek vagyunk, de egyben azok bírnak a leginkább rákkeltő hatással is. Kimutatott tény, hogy a dohányzás után a városi légszennyezettség az egyik legnagyobb rizikófaktor a tüdőrákos megbetegedéseket illetően. Sőt, a nagyvárosokban statisztikailag több életév veszik el a légszennyezettség miatt, mint közlekedési balesetekből kifolyólag!

A dízelmotorok részecskemisztiója és a részecskék megkötése

Miért éppen a dízelmotorok termelik e részecskéket? Ismert, hogy a tüzelőanyag-takarékosságért vívott harcban a motorhatásfok növelésének egyik legkézenfekvőbb módja a nagyobb kompresszióviszony elérése. A motor kopogásos

üzemének elkerülése viszont kikényszeríti, hogy az Otto-motoroknál megszokott előkevert láng helyett az égés közvetlenül a befecskendezésre épüljön. Többek közt ez indokolja a dízelmotorok, valamint a közvetlen befecskendezésű benzinmotorok térnyerését. A befecskendezett tüzelőanyagcseppek tökéletes elpárolgásából és hőbomlásából visszamaradó részecskék (PM) és a nem egyenletes keverékképződésből előálló nitrogén-oxidok (NO_x) jelentik a dízelek fő károsanyag-kibocsátását. (1. ábra) Ráadásul ez a két emisszió csak egymás rovására csökkenthető. Megfelelően szabályozott kipufogógáz-visszavezetéssel (EGR – exhaust gas recirculation) számottevően leszorítható a NO_x mennyisége, de ez rontja az égés tökéletességét, azaz megnöveli a kibocsátott részecskék tömegét. Tökéletesebb égés elérése érdekében a fejlesztők mind nagyobb (2000 bar fölötti) befecskendezési nyomásokat alkalmaznak. Ezzel ugyan eltűnnek az össztömeg jó részét kitevő nagyobb részecskék, de közel ugyanannyi vagy még több egészen kis részecske keletkezik (századmikrométer méretűek is), amelyekről láttuk, hogy még veszélyesebbek!

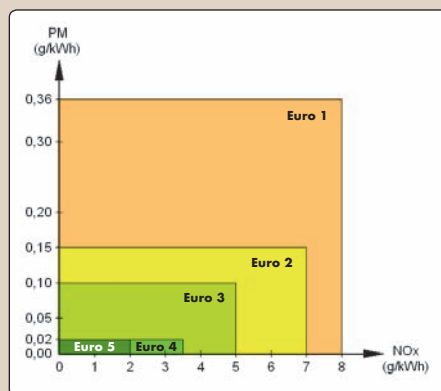
A motorfejlesztők egyre hatósabb módszereket dolgoznak ki, hogy a részecskék eleve minél kevésbé állhassanak elő, de az eddigi problémafelvetésből is látszik, hogy a jelenlegi technológiai állás melletti fő megoldás a keletkezett részecskék leválasztása a kipufogógáz-áramból.

A benzinmotorok katalizátor-technológiája dízeleknél nem volna alkalmas a gázárammal

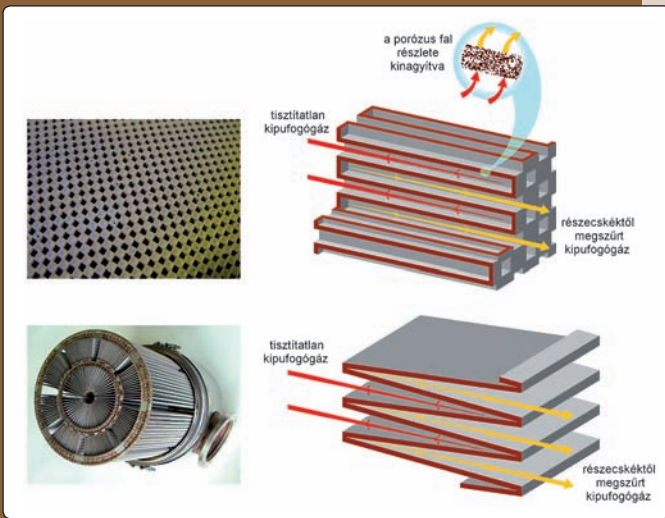
együtt haladó részecskék utóégetésére, mivel azok a méhsejtszerkezet csatornáin akadálytalanul átrepülnek, így a katalitikus bevonattal nem érintkeznek. A megoldás tehát a szilárd szemcsék visszatartása egészen addig, amíg azok el nem oxidálódnak, és így gáznemű égésterméként el nem hagyják a kipufogórendszert. A célnak megfelelően a részecskeszűrők (DPF – diesel particle filter) a kipufogógázt egy finom porózus falon engedik át, amely a szilárd szemcséket megkötöi. A gyakorlatban a porózus mérete jellemzően néhány mikrométer, tehát nagyobb, mint a leválasztandó szemcsék. Az erősen zezugos porusokban haladva a nagyobb részecskék tehetetlenségük miatt fogva (kitérnek a gázáramból), a kisebbek diffúziós mozgásuk révén (a gázmolekulák ide-oda lökdörik őket) mégiscsak beleütköznek a porusfalba – ott már az adhéziós erő a részecskéket mindaddig a helyükön tartja, míg el nem égnek. Ily módon a részecskék igen jó (90%-nál nagyobb) hatásfokkal leválaszthatók, és ez a hatásfok a részecskeméretskála minden tartományában érvényes!

Mindehhez elegendő, ha a porózus fal a gázáramlás irányában alig milliméteres vastagságú. A fal keresztmetszete az áramlásra merőlegesen pedig akkora, hogy a gáz néhány cm/s sebességgel, elfogadhatóan kicsi nyomáseséssel (max. 100-150 mbar) átszivároghat rajta. A kellő keresztmetszet elérésére a gyártók által gyakran alkalmazott kialakításokat mutatja az 2. ábra.

Az ábrán látható szűrőtestek egyike a katalizátorokhoz hasonló extrudált kerámia méhsejtszerkezet, itt azonban a csatornák végei saktáblaszerűen, a két végen ellentétesen válto-



1. ábra
Emissziós paraméterek
Euro 1-től Euro 5-ig



2. ábra Gyakori részecskeszűrő-kialakítások

kozva le vannak zárva. A kipufogógáznak így át kell jutnia a porózus falon. A másik elrendezés V alakú, porkohászati úton előállított szinteracél tasakok harmonikaszerű összeépítéséből alakul ki.

Természetesen a bemutatottak nem zárják ki a tőlük jelentősen eltérő kialakítások létjogosultságát: például egyetlen habosított tömbből álló kerámiaszivacsból is készítenek részecskeszűrőt.

A tokozattal ellátott szűrő közel akkora, mint a hangtompító dob; a kedvező helykihasználás végett a kettőt gyakran egymásba integrálják.

A részecskeszűrő regenerálása

Ahogy a szűrő megtelik részecskékkel, úgy nő a kipufogógáz áramlásával szembeni ellennyomása. Érthető, hogy a szűrőt időben meg kell szabadítani a lerakódástól, különben leromlik a motor (főleg a turbófeltöltős motor) hatásfoka. Ezt hívjuk regenerálásnak. E nélkül már néhány ezer kilométeres út megtétele után használhatatlanná válna a rendszer. További problémát azzal okozza a túlzott eltömődés, hogy egyszerre nagy mennyiségű korom lobbanna be, és az ebből fejlődő hő – hozzáadódva az amúgy is meleg kipufogógázhoz – a filtert károsítaná.

Szemben néhány kezdeti kísérlettel, amikor a szűrőt rendszeresen ki kellett szerelni és kemencében kiégetni belőle a

kormot, vagy amikor a gépkocsin e célra külső villamos csatlakozást alakítottak ki és konnektorból történt a szűrő kiiztítása, ma már elfogadhatatlan lenne, ha a jármű használatát valamennyire is korlátozná ez a folyamat. Szerencsére a technika e téren is nagy léptekkel fejlődött.

Legegyszerűbb, ha normál járműhasználat mellett a motorból érkező kipufogógáz üzem közben folyamatosan elvégzi a korom leégetését (nyilván a tartósan nagyobb terhelésű üzemállapotokban intenzívebben, mint például alapjáraton). Ezt hívjuk passzív regenerálásnak, mivel semmiféle alkalmi beavatkozást nem igényel a motor vagy a tüzelőanyag-ellátó rendszer működése részéről.

A leégetéshez elegendő mennyiségű oxidálószer és aktiválási energia kell. Oxidálószerből nem is lenne hiány, mivel a légszivattyúval működő dízelmotor kipufogógáza mindig tartalmaz több-kevesebb oxigént. A baj az, hogy a korom 500-550 °C alatt nemigen gyullad meg. Ekkora hőmérséklet pedig egyáltalán nem biztos, hogy rendszeresen fellép a kipufogóban. Ezért egyes gyártók a korom égéséhez szükséges aktiválási energiát csökkentik úgy, hogy a szűrőtest porusait katalitikus nemesfém réteggel vonják be, vagy a tüzelőanyaghoz adagolnak olyan vegyületeket, amelyek elősegítik a korom égését (ez utóbbi eljárás persze kihatással van a tüzelő-

anyag-ellátó rendszerre, a motorban lezajló égési, sőt a kenési folyamatokra is).

Egyetlen szempontból kivételes szerencse, hogy a dízelmotor kipufogógáza a koromhoz képest számottevően sok nitrogén-oxidot tartalmaz. A korom ugyanis nitrogén-dioxiddal már 200 °C körül jól reagál, ily módon a korom leégethető. Az már kevésbé kedvező, hogy a motorból származó nitrogén-oxidok több mint 90%-a nitrogén-monoxid. Erre az a megoldás, hogy a részecskeszűrő elé (gyakran vele közös házba) úgynevezett dízel oxidációs katalizátort (DOC) építenek, amely a nitrogén-monoxidot oxigénnel nitrogén-dioxiddá alakítja.

Ezen passzív módszerek valamelyikével elvben fenntartható a szűrő kellően alacsony koromtartalma. Mindazonáltal a szűrőt és az említett katalitikus kiegészítőket jelentősen túl kell méretezni, hogy biztosan ellássák feladatukat – ez a magas költség és a többlettömeg miatt ellentétes a járműtechnika szempontjaival. És még így is műszeresen jelezni kell a kipufogási ellennyomás túlzott megnövekedését a vezető részére, hogy végszükség esetén megtegye a szükséges intézkedéseket, mielőtt a szűrő vagy akár a motor károsodna.

Ezért léteznek a szűrők üzemálatának fenntartására úgynevezett aktív regenerálási módszerek, amelyek üzem közben, de a vezetési módtól függetlenül esetleg elvégzik a korom leégetését, mielőtt az ellennyomás adott körülmények között elér egy bizonyos értéket. Egyik módszer szerint a motorban az égésfolyamat lezajlása után, a kipufogószelep nyitása előtt a befecskendező újból tüzelőanyagot juttat a hengerekbe, amely a szűrő felé haladva meggyullad, így növeli a filterben a hőmérsékletet. Ennek különös hátránya, hogy a hengerfalra elégetlenül jutó gázolaj rontja a kenést, sőt felhigítja a motorolajat, így gyakori olajcsere válik szükségessé. Ezért az utólag befecskendezendő gázolajmennyiséget gyakran a

kipufogócsőbe épített külön fűvókával juttatják a gázáramba, ami így külön tüzelőanyag-szállító egység beépítését teszi szükségessé. Mindezek mellett az említett aktív módszerek a regenerálási periódusban számottevően többlettüzelőanyag-felhasználással járnak, ami az átlagos gázolajfogyasztást néhány százalékkal megnöveli. (Megjegyzendő, hogy a szűrőnek a kipufogási ellennyomást fokozó hatása mindegyik szűrő esetében okoz valamekkora fogyasztásnövekedést, de ez jó esetben 1% alatti.)

A járművek részecskeszűrővel való utólagos ellátására alkalmazták az úgynevezett rész-áramú vagy nyitott szűrőket (szemben az eddig tárgyalt megoldásokkal, melyeket teljes áramú vagy zárt szűrőként említ az irodalom). Ezek a kipufogógáz-áram számára nyitva hagynak egy megkerülő utat, hogy az esetleges eltömődés esetén se emelkedhessen az ellennyomás a nem kívánt tartományba. Mivel e megkerülő csatornák állandóan nyitva vannak, a gáz egy része (nagy-ságrendileg a fele) ezen keresztül szűrőtenül távozik, emiatt a hatásfok csak 50% körüli (és ez is csak addig érvényes, amíg a szűrő regenerálódása kielégítően megtörténik, eltömődött szűrőben ugyanis a gáz egyre nagyobb része a megkerülő vezetékben halad). Itt tehát a szűrőt nem kell túlméretezni, sem nyomásérzékelőkkel ellátni, de mindennek ára a kisebb hatásfok.

Végül szükséges megemlíteni, hogy a szűrőben idővel felhalmozódik a motorolajból származó, szervesen sókból álló, ezért nem éghető hamumennyiség, továbbá fém alkatrész kopási maradványai, amely néhány százezer kilométeres út megtétele után mégiscsak a szűrő kiszerezését és speciális berendezéssel történő „nagyta- karítását” teszi szükségessé; bár a jelenlegi motorteknikai fejlesztések abba az irányba mutatnak, hogy a szűrő ilyen „akció” nélkül kiszolgálja a jármű teljes élettartamát.

Bodor Péter