

Fürjes Zsuzsanna (NKJFD7)

környezetmérnök (MSc)

MISKAM

beadandó dolgozat

Tárgy: Áramlások modellezése a környezetvédelemben

Oktató: Lajos Tamás

A modellezésről

A környezeti modellezés célja az anyagi rendszerek, környezeti folyamatok jelenlegi és jövőbeli alakulásának számszerű meghatározása. Az anyagi rendszerek tudományos leírásának és vizsgálatának egyik legmegfelelőbb módja a matematikai összefüggések használata – ezeket matematikai modelleknek is nevezzük. Ez képezi a tudományos kutatás és megismerés egyik kiemelt módját. Elvi (ismerethiány) vagy gyakorlati (forráshiány, időkeret, hiányos adatellátottság, korlátos számítási kapacitás) okok miatt bizonyos elhanyagolásokra és egyszerűsített leírásmódra van szükség. Viszont a modellekkel szemben általános elvárás, hogy felépítésüktől függetlenül a leírt rendszer működését a vizsgálat céljának megfelelően, kielégítő pontossággal biztosítsák. Ezt megfelelően felépített modell segítségével tudjuk biztosítani. A modern mérnöki gyakorlatban előforduló problémák megoldása vagy valamely környezeti rendszer viselkedésének leírása olyan mennyiségű számolás elvégzését igényli, ami a megfelelő matematikai modellre alapuló hatékony számító algoritmusok nélkül elképzelhetetlen.

A matematikai modellek leegyszerűsítve a rendszert leíró változókból és a köztük kapcsolatot teremtő függvényekből állnak. A változók lehetnek független változók például a környezeti modellezés során jellemzően hely- és/vagy időkoordináták, ezen kívül léteznek input vagy bemenő változók, ezek az anyagi rendszert érő külső hatásokat, hajtóerőket adják meg. A megoldás szempontjából ezek jelentik többek között a kezdeti- és peremfeltételeket is. A paraméterek, vagy külső változók, a leíró függvényekben szereplő együtthatók és állandók, melyek az általánosan felírt függvénykapcsolatokat konkretizálják az adott anyagi rendszerre. A véletlen változók a vizsgált anyagi rendszer sokszor sztochasztikus jellegű viselkedését reprezentálják. Az állapotváltozók, a kérdéses anyagi rendszer állapotát adják meg. A

környezeti modellezés esetében ezek lehetnek az anyag vagy energia mennyiségét meghatározó extenzív (hossz, tömeg, térfogat, impulzus, hőmennyiség) és intenzív (sűrűség, koncentráció, sebesség, hőmérséklet, nyomás) jellemzők, valamint lehetnek a rendszer határain és belsejében kialakuló anyag- és energiamozgást vagy a megváltozást leíró jellemzők. A felhasználók számára a legfontosabbak pedig az output/kimenő változók, melyek az anyagi rendszerrel szemben támasztott céljainkat vagy elvárásainkat fejezik ki. Elvben az állapotváltozóktól függő mennyiségek, de gyakran nincsenek külön definiálva, hanem egyszerűen magukat az állapotváltozókat tekintik kimenő adatnak.

A modellépítés során ezeknek a változóknak a megfelelő helyre kell kerülniük. Kezdeti szakaszban az identifikáció során fel kell mérni a problémát, melyet modellezni szeretnénk. Céljainkra szabva kell megalkotni a modellt magát. Pontosan meg kell fogalmazni, hogy mit, miért és hogyan szeretnénk szimulálni és ehhez milyen modell lenne a legcélravezetőbb. A modellalkotás következő jelentősebb állomása a kalibráció. Leegyszerűsítve ennek során a modell paraméterek értékét változtatjuk úgy, hogy az állapotváltozók szimulált eredményei és azok valóságban ténylegesen megfigyelt értékei között optimális legyen az egyezés. Az optimalizációt követő, kötelezően végrehajtandó feladat a modell és a beállított paraméterek független mérési adatokra alapuló ellenőrzése. Tehát hasonlóan a kalibrációhoz, a modellszámítások „jóságát” ebben a lépésben is mért adatok segítségével határozzuk meg. Végül érzékenységvizsgálattal megállapíthatjuk, hogy a modell kimenő adatai mennyire érzékenyen reagálnak a bemenő adatok változtatására. [1]

A szoftver működése

Láthattuk, hogy a modell nem univerzálisan használható dolog, hanem megfelelő célra van kifejlesztve, ahogyan a MISKAM is egy célszoftver. Mint a nevében is benne van, ez egy (Mikroskaliges Strömung-und Ausbreitungsmodell) mikroskálájú áramlás- és terjedésmodell. Alkalmazásait a német szabványokra igazították, számos hatósági intézményben elfogadják a vele számolt adatokat, miután kellően alapos verifikáláson esett már át sok esetben a szoftver. [3] Ez egy úgy nevezett CFD szoftver, mely a Computational Fluid Dynamics angol terminológia rövidítése, magyar megfelelője "áramlástan numerikus szimuláció". Az áramlástan problémákat többnyire csak bonyolult matematikai formában lehet leírni, melyeket leginkább numerikus módszerek segítségével lehet a leghatékonyabban megoldani, tipikusan számítógépek használatával. Egy modern tudományág, a CFD, vagyis az "Áramlástan Numerikus Szimuláció" hivatott erre a megközelítésre, vagyis hogy numerikus

módszereket és algoritmusokat használva megoldja és elemesse az áramlástannal kapcsolatos problémákat. [4]

Városi átszellőzés és szennyezőanyag-terjedés modellezésére használják. [3] Stacionárius szélesebbségű számítására képes sík területen, valamint épületek körül. Alkalmas nem reaktív, levegővel azonos sűrűségű anyagok terjedésének számítására, stabil és semleges légköri állapotra használható. Egyszerű kezelőfelülettel rendelkezik, véges pontosságú geometriát tud lekövetni, de a meteorológiai adatok, a járműforgalom és emissziók bevitele egyszerű a koncentrációk szélirányonként valamint átlagolva az éves koncentrációk és az átlépési valószínűségek adataiként. A program kémiai reakciókat nem vesz figyelembe, a szennyezőanyagokat passzív skalárként kezeli. Termodinamikai folyamatokat (besugárzás, páratartalom) nem vesz figyelembe, valamint instabil légköri állapotra sem használható. [2] De a maga korlátain belül helyesen megválasztott beállításokkal a tapasztalatok szerint jó számítási eredmény érhető el ezzel a modellel.

A tesztelendő helyzet modellben való felépítéséhez legelőször definiálni kell a számítási tartományt, melyet numerikus hálóként építünk fel. Ezen belül az egyes cellák hatszög alakúak és homogének, középpontjukban számolt eredmények vonatkoznak az egész cellára. Tehát minél több cella van az adott feladatban, annál hosszadalmasabb a szimuláció, mert minden egyes cellában kiszámolódnak a fellépő állapotváltozások egyenletei. De ha valósághoz hű eredményt szeretnénk kapni, muszáj egészen kis térrészeket is modellezni, mert bizonyos jelenségek esetén az egészen kis skálájú megnyilvánulásaiknak is jelentős hatása lehet. A cellaszámot azzal tudjuk csökkenteni, hogy a kevésbé lényeges peremi területeken kisebb felbontást alkalmazunk, és a lényegesebb térrészekeken pedig besűrítjük a cellafelosztást. A futtatás így is nagy számítási kapacitást igényel, mert 3D-ban kell számolni a programnak, mert a levegőben végbemenő áramlások esetén nem lehetséges dimenzionális egyszerűsítés.

A celláknak a légáramlást akadályozó objektumokat is le kell írniuk, tehát a hálógenerálás után a következő feladata a felhasználónak a térképek alapján az épületek és az utak beillesztése, mely utóbbi egyet jelent a szennyezőforrás definiálásával. Természetesen nem csupán vonalforrások lehetnek szennyezőanyag források, hanem pontforrásokat, sőt felületforrásokat is meg lehet adni. A kibocsátott szennyezőanyag esetén meg kell adni annak a terjedési sebességét és koncentrációját. Ezután következnek a futtatási paraméterek beállításai. Itt kell megadni a modellnek a kezdeti feltételeket, melyek a szimulált térrész

számítás kezdetén tapasztalt állapotjellemzői, ide tartozik a termikus rétegződés, vagy éppen a feltételezett szélesség és szélirány. [3] Peremfeltételként megadhatóak az áramlási tér határain számszerűen az egyes változók értékei például a belépő szélesség és a turbulencia profilja, vagy az, hogy a házak és a földfelszín felületén 0 a sebesség, valamint azokban a cellákban, ahol források vannak, megadhatjuk a tömegáramot. Külön feltételeket kell megadni a szélmező számításához, és a terjedés számításához. Ezután futtathatjuk a programot, mely során a következő egyenletek megoldásait közelítjük.

Kontinuitás egyenlet:

$$\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} = 0$$

Mozgásegyenlet (súrlódásos közegre, turbulens áramlásra)

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_k u_i}{\partial x_k} = -\frac{1}{p_0} \frac{\partial p'}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_k} \left[K_m \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) \right]$$

ahol $x_i = x, y, z$ koordináták, $u_i = u, v, w$ a szélességek x, y, z irányú komponense, t az idő, p_0 az állandó referenciasűrűség az atmoszférában, p' a nyomás és K_m pedig az impulzuscsere tényező.

Turbulenciamodell K- ε

$$K_m = c_\mu \frac{E^2}{\varepsilon}$$

ahol E a turbulens kinetikus energia, ε a turbulens energiadisszipáció és $c_\mu = 0,09$ empirikus állandó.

Íly módon 7 egyenlet adódik 7 ismeretlennel minden cellára, tehát megoldható a feladat, viszont ezek a differenciálegyenletek nagy mennyiségű cellára nagyon sok idő alatt számolódnak ki, ezért jelentős egyszerűsítésekre van szükség. A folytonos függvényértékeket diszkrét értékké kell átalakítani, ezt numerikus úton oldjuk meg, tehát az egyes ismeretlen tagokat és azok deriváltjait azok közelítő értékével helyettesítjük, majd iterációval közelítjük a helyes végeredményt. A lépéseket addig folytatjuk, amíg a hiba elég kicsi nem lesz. A számítás akkor lesz sikeres nyilvánvalóan, ha az egymást követő lépések közelítenek a helyes

értékhez. Előfordulhat, hogy az értékek nem konvergálnak, ekkor változtatni kell a beállításokon.

A szimuláció végeredményeképpen megjeleníthetőek a koncentráció és szélesség adatok, függőleges és vízszintes metszeteik, valamint a számítási tartomány perspektivikus látképe. A futtatás után fontos feladat a kapott adatok helyes értelmezése, és összevetése mért eredményekkel, ugyanis a numerikus szimulációk sem nélkülözhetik a valósággal való folyamatos összevetést, lehet ez helyszínen mért adatokkal, vagy szélcsatorna-szimuláció során kapott eredményekkel történő validálás. [2]

Szélcsatorna vagy szoftver?

Olvastam egy cikket, miszerint a US EPA által szélcsatornában kimért adatait használták fel különböző áramlási modellekben, többek között a MISKAM-ban is. A szélcsatornabeli adatok a derékszögű épületek mögött kialakuló áramlásokra vonatkoztak, melyekből egy Épületerősítő faktort (Building Amplification Factor) becsültek. Az adatok szisztematikusan leírták a különböző alakú épületek esetén végbemenő eloszlást, ezt vizsgálták meg több különböző, légköri áramlásokat szimuláló modellel, hogy ez a becsült érték elég kifinomultabb megközelítést adja-e az épülethatásnak, vagy sem. Ebben a vizsgálatban az egyik modell a MISKAM volt. Rajta kívül tesztelték még a dán modellt, az OML-t, és az UK-ADMS-t is. A vizsgálat kimutatta, hogy a szélcsatorna adatokból megállapított faktor koncepciói hasznosak arra, hogy áttekintést kapjunk az eredményekről, de a tényező önmagában nem elegendő arra, hogy az eredmények adekvát szintézisét nyújtsa, nem elegendő a körülmények leírására. Az ember sokat tanulhat ilyen ábrák tanulmányozásából, de döntéseket nem alapozhatunk rájuk. [5] Ez sikerült bebizonyítani az áramlási szoftverekkel. Tehát a szélcsatorna eredmények ugyan önmagukban megbízhatóak, de az eredmények a valóságban sok paramétertől függenek, melyeket különböző súllyal figyelembe kell venni a szimuláció, illetve kísérlet során. A bevett gyakorlat is azt mutatja, hogy a numerikus számítások nem nélkülözhetik a szélcsatorna szimulációkat és viszont. A BME Áramlástan Tanszékén folyó kutatások is ezt támasztják alá.

A Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő Zrt. megbízásából az M0 tervezett, 9 km-es szakaszának hatását vizsgálták szélcsatornában és numerikus szimulációval. Az útgűrű szakaszt és annak mindkét oldalán kb. 1,5-1,5 km széles sávban modellezték a területet. A vizsgált terület 3 csomópontjában 5-5 domináns széliránynál (amelyek az év legalább 80%-át

kiteszik) 262 koncentráció méréssorozatot végeztek, amelynél egyenként 10-22 mintavételi pontban mértük a nyomgáz koncentrációt. A szennyező terjedés szimulálására széles körben alkalmazott MISKAM szoftverrel is modellezték a szennyező terjedési folyamatokat. szélcsatorna mérések és a numerikus szimuláció eredményeinek összevetésével megállapították, hogy a számítással kapott eredmények alkalmasak arra, hogy környezetvédelmi, műszaki döntéseket alapozzanak meg.

Sokan azt gondolják, hogy a szélcsatorna-szimulációk időigényesebbek, mint a numerikusak, mert a szélcsatornához fel kell építeni egy arányos makettet, sok időt és energiát, valamint pontosságra törekvést igényel a modellezés. A számítógépes futtatások pedig csupán néhány óráig tartanak. Mivel én dolgoztam a BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszékén integrált hidrológiai modellel, ezért tudom, hogy egy igazán jó, valóság-hű modell felépítéséhez kell legalább annyi idő, mint egy valóban jó makett megépítéséhez, és a megfelelő beállítások megtalálása, hibák kijavítása is elvesz annyi energiát, mint a szélcsatornabeli precíz mérések. A két módszer kimenő adatait tekintve pedig egymás kiegészítőinek tekinthetőek, tehát együttes alkalmazásuk ajánlott.

Irodalomjegyzék

1. Dr. Koncsos László, Jolánkai Zsolt, Koncsos Tamás, Kozma Zsolt, Környezeti rendszerek modellezése (BME készülőben lévő jegyzet)
2. BME Áramlástan Tanszék, 2004: Numerikus szimuláció a városklíma vizsgálatokban
BME Áramlástan Tanszék: MISKAM alapok – oktatási segédanyag
https://www.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BMEGEATMKK2+MKK4/2011-2012-I/labor_laboratory/Miskam%20gyakorlat_km.pdf
3. Rákai Anikó, Szennyezőanyagok terjedésének numerikus szimulációja városi környezetben
https://www.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BMEGEATMKK2+MKK4/2011-2012-I/ea_lecture/varosi-szennyezo-cfd-rakai.pdf
4. www.cfd.hu
5. Helge Rordam Olesem, Ruwim Berkovicz, Matthias Kettzel, Validation of OML, AERMOD/PRIME and MISKAM using the Thompson wind tunnel data set for simple stack-building configuration, National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark