

**Segédlet a AERMOD view szoftver
használatához a légszennyező anyagok
terjedési modellezéséhez**



**Magyar Mérnöki Kamara
Kiadványsorozata 96.**

**Segédlet a AERMOD view szoftver használatához a
légszennyező anyagok terjedési modellezéséhez**

**MMK FAP azonosító:
2022/116-KVT**

Budapest, 2022. október

A sorozat szerkesztője:
WAGNER ERNŐ
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Környezetvédelmi Tagozatának gondozásában, a 2022. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

Szerzők:
Barna Sándor
Dr. Molnár Tibor

Lektorálta:
Mihics Dalma

Kiadó:
Magyar Mérnöki Kamara
1117 Budapest, Szerémi út 4.
info@mmk.hu, www.mmk.hu

TARTALOMJEGYZÉK

1. Vezetői összefoglaló	5
2. Bevezető.....	6
3. A modellezés alapjai, AERMOD számítási alapok.....	8
3.1. AERMOD által végzett számítások matematikai alapjai, adatigények.....	8
3.2. AMS/EPA szabályozó modell (AERMOD) működése.....	10
3.2.1. Az AERMOD egyensúlyi állapotú füstfáklya modell.....	10
3.2.2. Szennyezőanyagok a határrétegben	17
3.2.3. Közvetlen forrás hozzájárulása a CBL-beli koncentrációs számításokhoz	22
3.2.4. Közvetett forrás hozzájárulása a CBL-beli koncentrációs számításokhoz	24
3.2.5. AERMOD-ban számított koncentrációk az SBL-ben	25
3.2.6. Diszperziós együtthatók becslése.....	28
3.2.7. Környezeti turbulencia a diszperzió számításához	30
3.2.8. Környezeti turbulencia által okozott függőleges diszperzió	31
3.2.9. A leáramlás miatti diszperziós együttható.....	35
3.2.10. Az oldalirányú diszperziós együttható javítása a leáramlás figyelembevétele érdekében	37
3.2.11. Füstfáklya emelkedés számítások az AERMOD-ban	38
3.2.12. Füstfáklya emelkedés az SBL-ben.....	41
4. AERMOD modell ismertetése és felépítése	43
4.1. AERMOD modell alapjai.....	43
4.2. Meteorológiai előfeldolgozó (AERMET) működése	49
4.2.1. AERMET által generált adatok	49
4.2.2. Meteorológiai adatfájlok forrás	51
4.2.3. Új AERMET View projekt létrehozása – Meteorológiai adatsorok generálása.....	53
4.3. Terepi előfeldolgozó (AERMAP) működése	55
5. AERMOD modell gyakorlati példák.....	63
6. Irodalomjegyzék.....	90

1. Vezetői összefoglaló

A környezetvédelmi szakértői munka egyik kiemelt eleme a levegőtisztaság-védelmi hatások becslése, ellenőrzése. A környezetvédelmi hatásvizsgálati eljárások során a levegővédelmi modellek fejlődésével párhuzamosan hatósági oldalról is többször felmerül az igény, hogy a szakértő olyan modellszámításokat végezzen, mely a természetben lejátszódó környezeti folyamatokat a jól közelítve képes becsülni.

A szakértői gyakorlatban a levegővédelmi modellezés alapját képező magyar szabványok által javasolt számítási metódusok csak néhány fontos, a terjedést befolyásoló paramétert vesznek figyelembe, melyek nem adnak elég pontos eredményeket egy szakértői anyagok összeállításához.

A szakértői gyakorlatban az elmúlt évek tapasztalata alapján egy a korábbiaknál, vagyis a szabvány előírásainál, pontosabb és részletesebb számításokra van szükség. Ezeket a számításokat a legújabb fejlesztésű légszennyező anyag terjedési szoftverekkel képes elvégezni egy levegővédelmi szakértő, a tervezett segédanyag ehhez nyújthat szakmai segítséget.

A segédletben bemutatásra kerülő szoftver által alkalmazott AERMOD modell alapján a korábbi szabványok legfontosabb számítási metódusával megegyezők, de azoknál sokkal összetettebb és több terjedési tényezőt figyelembe vesznek a számításaik során, pl. a súrlódási sebesség (u^*), Monin-Obukhov hossz (L), a konvektív sebességskála (w^*), a hőmérsékleti skála (θ^*), a keveredési magasság (z_i) és a felületi hőáram (H), domborzat, felszíni borítottság. Az ismertetett AERMOD stationer füstfáklya modell használható a szakértői gyakorlat minden területén, mivel vidéki és városi, sík és összetett területeken, felületi és magaslati kibocsátásoknál és többféle forrás (beleértve a pont-, felületi és térfogati forrásokat) esetén is alkalmazható. Az AERMOD magában foglal egy új, egyszerű megközelítést, mellyel az áramlás és a diszperzió jelenlegi koncepcióit komplex terepen is alkalmazhatóvá teszi.

A segédanyag a levegővédelmi szakértők számára egy olyan sillabuszt ad, amely segítségével a mérnöki munka pontosabbá válhat. A légszennyező anyag terjedési modellezés beépülhet a szakértői anyagokba, a pontosabb modelleredmények az engedélyezési eljárások során a hatósági döntéseket is leegyszerűsíthetik. Elsődleges célunk a terjedési modell számítási módszereinek elméleti alapjának ismertetése volt, mely segítségével a számítógépes modell által kapott eredmények jól értelmezhetők. Másod, de nem utolsó sorban az AERMOD szoftver gyakorlati alkalmazásának bemutatására teszünk kísérletet a teljesség igénye nélkül.

2. Bevezető

A légszennyező anyagok terjedésének és a kibocsátások által eredményezett állapot (immisszió) meghatározására különböző szabványok, illetve matematikai modellek állnak rendelkezésre. Az egyes számításokhoz eltérő bemenő adatokra van szükség, és a számítások is különböző terjedést befolyásoló folyamatokat vesznek figyelembe.

A diszperziós modellek általános osztályozása alapján megkülönböztethetünk statisztikus és dinamikus modelleket. Az adott feladat, a rendelkezésre álló adatok és infrastruktúra, a megkívánt számítási idő és egy sor egyéb tényező függvényében más-más típusú és szemléletű légköri szennyezőanyag terjedési modell alkalmazására lehet szükség. A statisztikus modellek korábbi mérések statisztikai elemzésein alapulnak, melyek nem képesek az időben változó folyamatokat nyomon követni, így nem tudják figyelembe venni a szennyezőanyag kibocsátás mennyiségének, összetételének és területi eloszlásának évek során bekövetkezett változását, valamint a meteorológiai tényezők időbeli menetéből fakadó hatásokat. A légszennyezők terjedése pontosabban írható le a dinamikus modellekkel. (Leelőssy, 2016)

A gaussi terjedési modellek a szennyezőanyag koncentrációjának függőlegesen és szélirányra merőlegesen a forrás tengelyétől számított Gauss-eloszlását feltételezik, amelyhez hozzáadódik a szél irányába történő transzport. A terjedés mértékét – az eloszlás szélességét – a légköri stabilitás, illetve a kibocsátástól eltelt idő alapján számítják. Ez egyszerű matematikai kezelést tesz lehetővé, de csak álló forrás esetén, stacionárius és homogén áramlásban, valamint lassan ülepedő szennyezőanyagra ad jó közelítést. A modell egyszerűsége ellenére képes figyelembe venni a felszínről és a planetáris határrétegről való visszaverődést és egyszerű kémiai reakciókat is. (Mészáros, 2012)

A korábbi években készült levegővédelmi szakértői anyagokban a hatásterület meghatározására a szaghatások becslése esetében például a 10-es faktor módszert, illetve a VD 1 3782 szabványban előírt módszert alkalmaztuk. A szabvány csak a szélesebbség alapján számolja a szagkoncentrációt a forrástól mért x m távolságban. Az egyéb légszennyező anyagok terjedési vizsgálatainak alapja a légszennyező anyagok légköri terjedését leíró diszperziós modell. A folytonos pontforrás rövid átlagolási időtartamra vonatkozó szennyező hatásának meghatározásával az MSZ 21459/1-81, MSZ 21457/4-80 és MSZ 2159/1-81 számú szabványok foglalkoztak. A felsorolt szabványok segítségével egy analitikus, sokszor bonyolult számításokon keresztül kaptunk eredményeket, mely eredmények térképi ábrázolása csak egyszerű módon lehetett.

A levegőminőség-szabályozásra kifejlesztett és világviszonylatban is a legelterjedtebben használt modell az AERMOD, amelyet az Amerikai Meteorológiai Társaság (American Meteorological Society – AMS) és az USA Környezetvédelmi Hivatala (U.S. Environmental Protection Agency – EPA) együttműködésében fejlesztettek ki 1991-ben.

Az AERMOD alkalmazható vidéki és városi, sík és összetett területeken, felületi és magaslégtörzi kibocsátásoknál is, valamint többféle légszennyező forrás (beleértve a pont-, felületi és térfogati forrásokat) modellezésére is alkalmas. A modell kialakításakor a diszkontinuitásokat is figyelembe vették, ahol a számított koncentráció nagy változásait a bemeneti paraméterek kis változásai okozzák elkerülése érdekében.

Az AERMOD diszperziós modellel a különböző forrástípusokból származó szennyezőanyagok légköri kibocsátásának hatását lehet megbecsülni. A diszperziós módszerek mellett a határréteg hasonlósági elméletét alkalmazza, s figyelembe veszi az alapvető légkörfizikai folyamatokat, mindezek alapján finom koncentrációbecslések előállítását teszi lehetővé a meteorológiai- és terepviszonyok széles választékán.

A modell érvényességi területe a forrástól számított 50 km sugarú környezetre terjed ki. A számításokat gáznemű légszennyezőanyagokra és aeroszol részecskékre is képes elvégezni.

Az AERMOD képes a szennyezőanyagok szállítása során fellépő kikerülési mechanizmusok, így a száraz és a nedves ülepedés számítására is.

Az AERMOD lehetőséget nyújt a planetáris határréteg jellemzésére a felszín és a keveredési réteg skálázásán keresztül. A modell a szükséges meteorológiai elemek vertikális profiljait a mérések, illetve azok extrapolációja alapján állítja elő a hasonlósági elmélet összefüggéseinek felhasználásával. A szélesség, szélirány, turbulencia karakterisztikák, hőmérséklet és a hőmérsékleti gradiens vertikális profiljainak közelítése valamennyi rendelkezésre álló meteorológiai megfigyelés felhasználásával történik. A modellt úgy tervezték, hogy egy minimális mennyiségű meteorológiai megfigyelés felhasználásával is futtatható legyen. Az eddigi modellekkel ellentétben az AERMOD figyelembe veszi a planetáris határréteg vertikális inhomogenitását. Ennek megvalósítása az aktuális planetáris határréteg paramétereinek átlagolásával történik, melynek eredményeként egy ekvivalens, homogén planetáris határréteget kapunk.

3. A modellezés alapjai, AERMOD számítási alapok

3.1. AERMOD által végzett számítások matematikai alapjai, adatigények

Az AERMOD diszperziós modell alapvető működésének átfogó leírását tartalmazza ez a fejezet, beleértve az INTERFACE-t, az AERMET-et és az AERMAP-ot.

- az AERMET algoritmusok teljes leírása, amelyek mennyiségi óránkénti PBL paramétereket szolgáltatnak
- a koncentráció számítás egyenletei általános formája, a terepre vonatkozó igazításokkal;
- a konvektív és a stabil határrétegekre egyaránt alkalmazható füstfáklya emelkedési és terjedési algoritmusok.

Az AERMOD stacioner füstfáklya modell.

A stabil határrétegben (SBL) a koncentrációt Gauss-eloszlásúnak feltételezik, mind függőlegesen, mind vízszintesen.

A konvektív határrétegben (CBL) pedig vízszintes irányban Gauss-eloszlást, függőlegesen pedig kettős Gauss-eloszlást tételeznek fel (Willis, and Deardorff, 1981) és (Briggs, 1993) alapján. Ezen felül az AERMOD a CBL-ben kezeli a "füstfáklya lebegés" jelenséget, amikor a füstfáklya egy része (melyet lebegő forrás bocsát ki) a határréteg tetején marad, mielőtt keveredne a CBL-lel. Továbbá az AERMOD a felső stabil rétegbe jutó fáklyarészt is nyomon követi, és lehetővé teszi, hogy az visszaáramoljon a határrétegbe, amennyiben és amikor szükséges.

Az AERMOD magában foglal egy új, egyszerű megközelítést, mellyel az áramlás és a diszperzió jelenlegi koncepcióit komplex terepen is alkalmazhatóvá teszi. A füstfáklyát úgy modellezi, hogy az beleütközik és/vagy követi a terepet. Ezt a megközelítést úgy fejlesztették ki, hogy fizikailag valósághű és egyszerűen alkalmazható, illetve nincs szükség arra, hogy különbséget tegyen a felhasználó az egyszerű, közepesen bonyolult és összetett terepek között, ahogyan azt a jelenlegi modellek megkövetelik. Ennek eredményeként az AERMOD megszünteti a komplex tereprendszerek meghatározásának szükségességét; az összes terepet következetesen és folyamatosan kezeli.

Az AERMOD egyik fő fejlesztése az alkalmazott diszperziómodellezésben az, hogy a planetáris határréteget (PBL) felületi és vegyes rétegskálával is le tudja írni. Az AERMOD létrehozza a szükséges meteorológiai változók függőleges profiljait a mérések és a mérések hasonlósági (arányosítási) összefüggései alapján történő

extrapolációja szerint. A szélesség, szélirány, turbulencia, hőmérséklet és hőmérsékletgradiens függőleges profilját az összes rendelkezésre álló meteorológiai megfigyelés felhasználásával becsüli meg.

Az AERMOD-ot úgy tervezték, hogy minimális megfigyelt meteorológiai paraméterrel is működjön.

Az ISC3 modell helyett az AERMOD olyan adatok felhasználásával működik, amelyek egy NWS állomás segítségével könnyen elérhetők. Az AERMOD csak egy felületen (általában 10 m) igényli a szél sebességének (referencia szélesség (z_0 : 7 és 100 m között)), irányának és a környezet hőmérsékletének (referenciahőmérséklet) mérését. Az AERMOD-nál is figyelni kell a felhő borítottságot.

Az AERMOD megköveteli a teljes reggeli felső légréteg szondázását (RAWINSONDE). Ezen túlmenően az AERMOD-nak felületjellemzőkre (felületi érdesség, Bowen-arány és albedó) van szüksége a PBL profiljainak felépítéséhez.

A meglévő szabályozási modellektől eltérően az AERMOD a PBL függőleges inhomogenitását kezeli úgy, hogy a tényleges PBL paramétereit „átlagolja” egy ekvivalens homogén PBL „hatékony” paramétereivel.

Az információk áramlását és feldolgozását az AERMOD-ban az *1. ábra* szemlélteti.

A modellező rendszer egy fő programból (AERMOD) és két előfeldolgozóból (AERMET és AERMAP) áll. Az AERMET fő célja a határréteg paramétereinek kiszámítása az AERMOD számára.

Az AERMOD belső meteorológiai felülete ezeket a paramétereket használja a szükséges meteorológiai változók profiljának előállításához. Ezen felül az AERMET minden meteorológiai megfigyelést továbbít az AERMOD-nak.

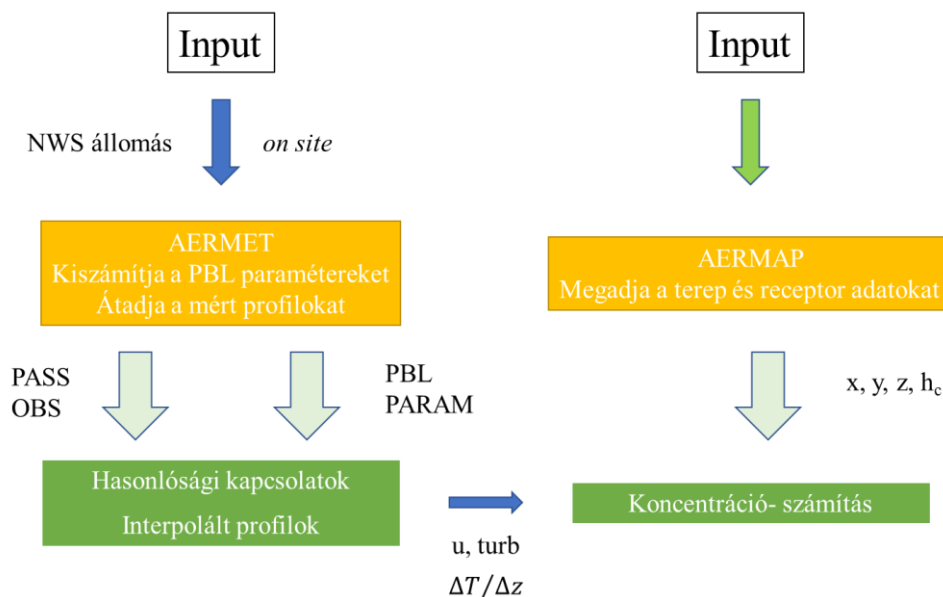
A felületi jellemzők albedó, felületi érdesség és Bowen-arány formájában, valamint a szokásos meteorológiai megfigyelések (szélesség, szélirány, hőmérséklet és felhőtakaró) bekerülnek az AERMET-be.

Az AERMET ezután kiszámítja a PBL paramétereket:

- súrlódási sebesség (u^*),
- Monin-Obukhov hossz (L),
- konvektív sebességskála (w^*),
- hőmérsékleti skála (θ^*),
- keveredési magasság (z_i) és
- felületi hőáram (H).

A paramétereket ezután az INTERFACE-hez (amely az AERMOD-on belül) továbbítja, ahol a hasonlósági kifejezéseket (a mérésekkel együtt) a szélesség (u), az oldalsó és a függőleges turbulens ingadozások (v , w), a potenciális hőmérsékletgradiens (d/dz), a potenciális hőmérsékletet és a vízszintes Lagrange-féle időskálát (TLy) számítódnak.

A modell legnagyobb előnye, hogy a legújabb elméleteket használva a felszíni és felszínközeli réteg hőtani és áramlástan paramétereinek kiszámításával lehetőséget nyújt planetáris határréteg dinamikájának jellemzésére.



1. ábra: Adatáramlás az AERMOD modellezési rendszerben

3.2. AMS/EPA szabályozó modell (AERMOD) működése

3.2.1. Az AERMOD egyensúlyi állapotú füstfáklya modell

Úgy tervezték, hogy alkalmazható legyen forráskibocsátásokra és olyan meteorológiai körülményekre, amelyek feltételezhetően egyenletesek az egyes modellezési időszakokban (általában egy óra vagy kevesebb). Az AERMOD-ot úgy tervezték, hogy a szennyezőanyagok hatásainak számítását mind sík, mind összetett terepen egyazon modellezési keretrendszerben tudja kezelni. Valójában az AERMOD-nál nincs szükség a terep típusának (sík, egyszerű vagy komplex) a kémény magasságához viszonyított meghatározására, mivel a különböző magasságban lévő receptorokat ugyanazzal az általános módszerrel kezeli.

Az AERMOD koncentráció egyenletek meghatározásával egyidejűleg a terep kezelését is definiálni kell. Az AERMOD egy egyszerű megközelítéssel beépíti az áramlás és a

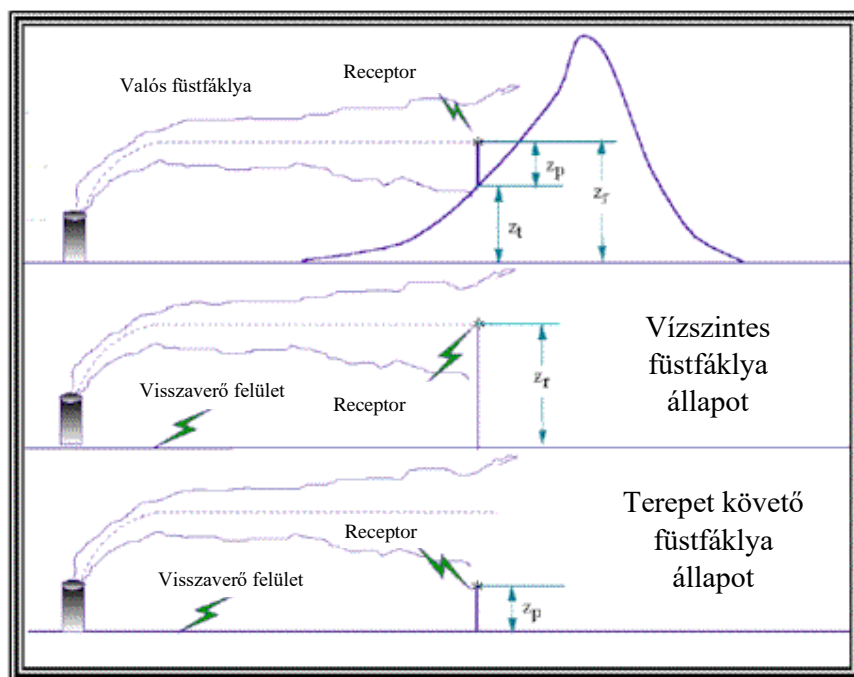
diszperzió jelenlegi koncepcióit komplex terepre. Stabil áramlások esetén általában kétrétegű szerkezet alakul ki, amelyben az alsó réteg vízszintes marad, míg a felső réteg hajlamos a terep fölé emelkedni. Ezt a kétrétegű koncepciót először Sheppard (1956) vetette fel, és laboratóriumi kísérletekkel bizonyították, Snyder et al. (1985). Ezeket a rétegeket a Hc-vel jelölt osztó áramlás választja el. Semleges és instabil körülmények között az alsó réteg eltűnik, és a teljes áramlás (a füstfáklyával) hajlamos felfelé és a terep fölé emelkedni. A Hc alatti áramlásban a füstfáklya vízszintes marad; lehetséges, hogy a domb körül halad el, vagy neki is ütközhet. A füstfáklya Hc feletti része a domb fölött halad. Ehhez társul az a tendencia, hogy a füstfáklya a terep felszíne felé nyomódik le, melynek következtében az áramlás felgyorsul, és a függőleges turbulencia erősödik.

Az AERMOD modellfejlesztési céljai között szerepel olyan módszerek kialakítása, amelyek az alapvető fizikai törvényszerűségeket rögzítik, megbízható koncentrációbecsléseket szolgáltatnak és ésszerű modellbemeneteket igényelnek, miközben a lehető legegyszerűbbek maradnak. Ezért az AERMIC az AERMOD terepkialakítását használja, amely figyelembe veszi az áramlás függőleges torzító hatásait a füstfáklyában. Az AERMOD nem veszi figyelembe a füstfáklya áramláscsatornáját oldalról érő hatásokat.

Az AERMOD a következőképpen kezeli a kétrétegű koncepciót:

- Feltételezi, hogy a dombon a koncentráció értéke a két lehetséges szélső állapothoz társított értékek között helyezkedik el. Ezen állapotok egyike a vízszintes hullám, amely nagyon stabil körülmények között fordul elő, amikor az áramlás a domb megkerülésére kényszerül.
- A másik szélső állapot az, amikor a füstfáklya függőlegesen követi a terepet (terepet követő állapot) úgy, hogy a középvonal magassága a terep fölött megegyezik a kezdeti füstfáklya magassággal.

Az AERMOD a két szélső becslés súlyozott összegeként kiszámítja a koncentrációt egy receptoron, melynek helyzete: (x_r, y_r, z_r) .



2. ábra: AERMOD 2 állapottal történő megközelítés

Az AERMOD által becsült teljes koncentráció a két lehetséges szélső állapot súlyozott összege.

A két állapot relatív súlya az alábbiaktól függ:

- 1) légköri stabilitás foka;
- 2) szélsébség;
- 3) füstfáklya magassága a terephez viszonyítva.

Stabil körülmények között a vízszintes füstfáklya a domináns, és nagyobb súlyt kap, míg semleges és instabil körülmények között a terep fölött áthaladó füstfáklya kap nagyobb súlyozást.

Domborzat jelenlétében az AERMOD által becsült koncentrációt a következő egyenlet adja:

$$C_T\{x_r, y_r, z_r\} = f \cdot C_{c.s}\{x_r, y_r, z_r\} + (1 - f) \cdot C_{c.s}\{x_r, y_r, z_p\} \quad (1)$$

ahol

$C_T\{x_r, y_r, z_r\}$ - teljes koncentráció

$C_{c.s}\{x_r, y_r, z_r\}$ - koncentráció a vízszintes füstfáklya állapotból

$C_{c.s}\{x_r, y_r, z_{rp}\}$ - koncentráció a terepet követő füstfáklya állapotból

f - füstfáklya állapot súlyozó függvény

z_p - receptor magassága (zászlórúd magasság)

A koncentráció indexei (c, s) az (1) egyenletben a konvektív (c) és stabil (s) körülmények közötti teljes koncentrációra vonatkoznak. Fontos megjegyezni, hogy koncentrációszámításkor minden magasságot (z) az alap referencia magasságához kell viszonyítani.

A súlyozó tényező meghatározása a H_c osztó áramlásmagasság fogalmára támaszkodik.

Az AERMAP h_c értékének felhasználásával a H_c receptor-specifikus magassági skála („dombmagasság”) ugyanazokkal az algoritmusokkal számítható, amelyeket a CTDMPPLUS-ban használnak (Perry, 1992).

$$1/2 \cdot u\{H_c\} = \int_{H_c}^{h_c} N^2(h_c - z) dz \quad (2)$$

ahol N - Brunt-Vaisala frekvencia

Ez a frekvencia egy brit és egy finn tudós nevét viseli, akik egymástól függetlenül tették használatossá e mennyiséget a rétegzettség jellemzésére

Először a ϕ_p értéket, a H_c alatti tömeg hányadát kell definiálni a következőképpen:

$$\phi_p = \frac{\int_0^{H_c} C_T\{x_r, y_r, z_r\} dz}{\int_0^{\infty} C_T\{x_r, y_r, z_r\} dz} \quad (3)$$

ahol $C_T\{x_r, y_r, z_r\}$ a koncentráció, ha nincsen domb. Ezután az f súlyozó tényezőt, amely a füstfáklya anyagának azon hányadát (ϕ_p) jelenti, amely a H_c osztó áramlás magassága alatt van, melyet a következő egyenlet adja meg:

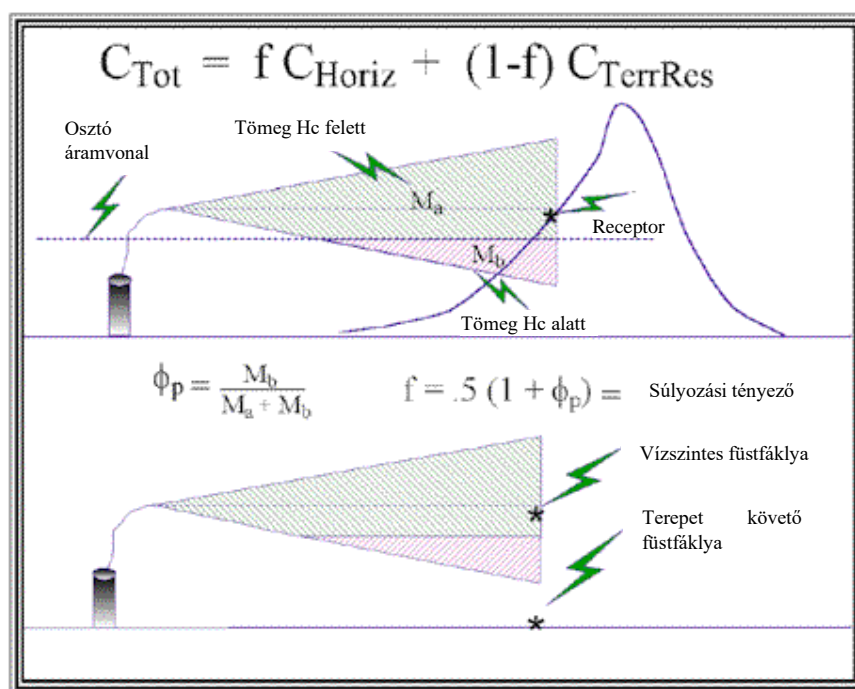
$$f = 0,5 (1 + \phi_p) \quad (4)$$

Ezen definíció szerint, amikor a füstfáklya teljesen a kritikus elválasztó áramvonal alatt van, akkor $\phi_p=1,0$ és $f = 1$, és a terepi koncentrációt csak a lapos füstfáklya befolyásolja. Másrészt, ha a füstfáklya teljes mértékben a kritikus osztó áramvonal magassága felett helyezkedik el, akkor $\phi_p=0$ és $f = 0,5$. Ez azt jelenti, hogy soha nem engedjük, hogy a füstfáklya teljes mértékben a terepet követő állapotba kerüljön. Vagyis még akkor is, amikor a füstfáklya a terepnek ütközik és felfelé emelkedik, hajlamos arra, hogy kis része oldalsó irányba szóródjon szét. Így tisztán semleges vagy instabil körülmények között a füstfáklya állapota a vízszintes és a terepet követő állapot között félúton található.

Az (1) egyenlet jobb oldalának első kifejezése a vízszintes füstfáklya állapot hozzájárulását jelenti.

A második kifejezés a terepet követő állapot hozzájárulása, amelyben a koncentrációt a receptor zászlórúd magasságán számolják, $z_p = z_r - z_t$, ahol z_r a receptor magassága (a kéményalap magassága felett) és z_t a terepmagasság (átlag tengerszint felett), így z_p a terep feletti magasság. Ha $z_t = 0,0$, akkor a terepet követő állapot a dombon lévő receptort talaj szintű receptornak tekinti. Noha a gyakorlatban valószínűleg nem fordul elő teljesen csak a terepet követő állapot, még nagyon instabil körülmények között sem, a hozzá tartozó koncentráció értéke meghatározza az egyik lehetséges határértéket. Amint azt a (4) egyenlet mutatja, nem engedjük, hogy a tényleges füstfáklya teljes mértékben elérje ezt az állapotot. Sík terepen (azaz $z_t = 0$) a koncentrációegyenlet (1) redukálódik a vízszintes füstfáklya állapotra.

A 3. ábra szemlélteti a súlyozási tényező összetételét és annak kapcsolatát a koncentráció becslésével, a két korlátozó füstfáklya állapot súlyozott összegeként.



3. ábra: Terep kezelése az AERMOD-ban. A súlyozási tényező összetétele a teljes koncentrációsámításhoz

Az (1) egyenlet minden koncentráció kifejezésének általános alakja mind CBL, mind SBL esetén a következőképpen adható meg:

$$C\{x, y, z\} = (Q/u)p_y\{y; z\}p_z\{z; x\} \quad (5)$$

ahol

Q a forráskibocsátási arány,
 u a tényleges szélesség és

p_y és p_z valószínűségi sűrűségfüggvények, amelyek az oldal irányú és függőleges koncentrációeloszlásokat írják le.

Az AERMOD hagyományos Gauss sűrűségfüggvényt feltételez az SBL-ben mind oldal irányban, mind függőlegesen, valamint a CBL-ben csak oldal irányban. A füstfáklya anyagának függőleges eloszlása a CBL-ben tükrözi a függőleges sebességeloszlás kifejezetten nem Gauss jellegét a konvektív módon keveredett rétegekben.

A CBL-ben a koncentráció eloszlásának speciális formáját a (13) egyenlet írja le, amely a $C_c \{x, y, z\}$ jelölést használja. Hasonlóképpen, az SBL-ben a koncentráció a (24) egyenletbeli formát veszi fel, és a $C_s \{x, y, z\}$ jelölést használja.

Az AERMOD a légköri stabilitástól és a határréteg feletti elhelyezkedéstől függően öt különféle füstfáklya típust szimulációját tudja elvégezni:

- 1) közvetlen,
- 2) közvetett,
- 3) behatolt,
- 4) injektált és
- 5) stabil.

Stabil körülmények között a füstfáklyákat a már ismert vízszintes és függőleges Gauss-függvényekkel modellezzük. Konvektív körülmények között ($L < 0$) a vízszintes eloszlás továbbra is Gauss típusú; a függőleges koncentrációeloszlás három füstfáklyatípus kombinációjából származtatható:

- 1) a keveredett rétegben található közvetlen füstfáklya anyag, amely kezdetben nem lép kölcsönhatásba a keveredett réteggel;
- 2) a keveredett rétegben lévő közvetett füstfáklya anyag, amely felfelé emelkedik és hajlamos kezdetben a keveredett réteg tetején lebegni; és
- 3) a behatolt füstfáklya anyag, amely a kevert rétegben szabadul fel, de felhajtóerő miatt behatol a felső stabil rétegbe.

Konvektív feltételek esetén az AERMOD az injektált forrásnak nevezett különleges esetet is kezeli, ahol a kémény teteje (vagy a kibocsátási magasság) nagyobb, mint a keveredési magasság. Az injektált forrásokat stabil füstfáklyával modellezzük, azonban a turbulencia és a keveredési rétegben levő szelek hatását figyelembe veszi az inhomogenitási számításokban, ahogy a füstfáklya anyag áthalad a keveredési rétegen, hogy elérje a receptorokat.

A CBL (konvektív határréteg) függőleges eloszlásának megadásához az AERMOD szakít a hagyományos Gauss-modell gyakorlatával. Mivel a leszálló áramlás inkább elterjedt

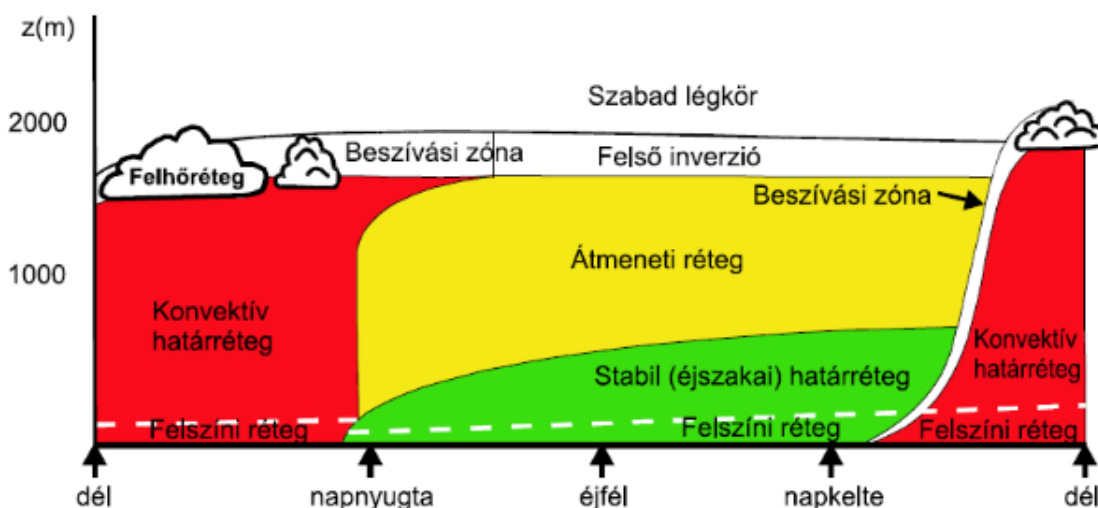
a CBL-ben, mint a felfelé áramlás, a megfigyelt függőleges koncentrációeloszlás nem Gauss-féle.

A planetáris határréteg a troposzféra alsó része, ahol a felszín által meghatározott kényszerek (mechanikus és termikus) hatnak jellemzően órás időskálán. A PHR kialakulásában és fejlődésében a kétféle mechanizmus által kialakított légköri turbulencia játszik szerepet (mechanikai és termikus).

Az elmúlt évtizedekben folyamatosan fejlődött a határréteg szerkezetéről alkotott elképzelésünk.

Sutton 1953-ban a PHR-t két különálló tartományra osztotta.

Az alsó, felszíni rétegben nagyjából állandó nyírófeszültség van, a szélprofil a felszíni súrlódás és a hőmérséklet vertikális gradiense által meghatározott. A fölötte levő rétegben a szelet a Föld forgása is befolyásolja. Ez a szélfordulási, vagy Ekman-réteg.



4. ábra: A PHR napi menete szárazföldek felett, Stull (1988)

A felszínközeli réteg (SL–surface layer angolul) felett nappal a szenzibilis hőáram pozitívvá válása után indul meg a konvektív határrétegfejlődése (CBL–convective boundary layer angolul), éjszaka stabil éjszakai határréteg (SBL–stable boundary layer angolul) hozzávetőlegesen 200-500 m magasságig és felette az átmeneti (RL–residual layer angolul, vagy maradék, tárolási) réteg van. Az Ekman-réteget, különösen a légszennyezés meteorológiában gyakran nevezik keveredési rétegnek is.

A felszínközeli réteg (belső határréteg, vagy Prandtl-réteg) a PHR alsó 5–10%-a. Az a réteg, ahol a turbulens fluxusok (hő, nedvesség, momentum) függőleges irányban

legfeljebb 10% változékonyságot mutatnak (Stull, 1988). A turbulens kicserélődési folyamatokat a Monin-Obukhov-féle hasonlósági elmélet írja le.

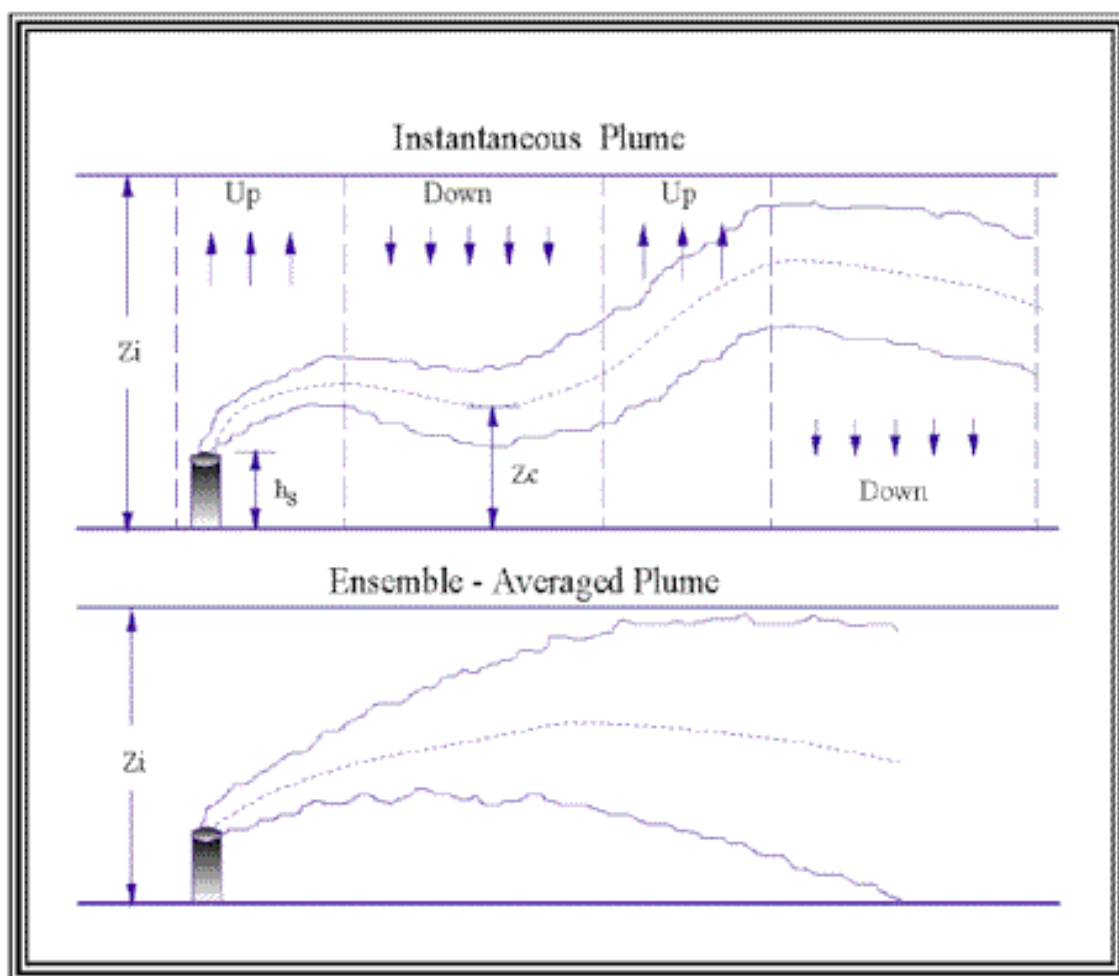
A CBL felső rétege a beszívási zóna, vagy bekeveredési réteg, ami a szabad légkör és a CBL közötti keveredés színtere. Természetesen a CBL fejlődésének kezdeti szakaszában a maradvány réteg levegője kerül a növekvő konvektív határrétegbe. Nyári napokon, tiszta időjárási helyzetben a légbeszívási zónafelső határa akár 3000 m körül is lehet.

3.2.2. Szennyezőanyagok a határrétegben

Elsősorban a turbulencia, a rétegződés labilis/stabilis volta, az inverzió jelenléte azok a határréteg-beli tulajdonságok, amik döntően befolyásolják a szennyezőanyagok eloszlást.

Labilis rétegződés feletti záró inverzió esetén (éjjel, városi környezetben) a füst csak lefelé képes terjedni, míg, ha az inverzió alapja kellőképp leereszkedik, csökken a szennyezőanyag talajközeli koncentrációja. A határrétegben az állapothatározók átlagos értékeinek napszak szerinti változása.

Már naplemente előtt kialakul a talajmenti kisugárzási inverzió, melynek vastagsága napfelkeltéig nő (a hosszúhullámú kisugárzás, így a felhőzet függvényében). Vastagsága kora este már 50–100 m. E réteg erősen stabilis, bármilyen légmozgás lefele irányuló hőszállítást eredményez. Napfelkelte után fejlődni kezd a keveredési réteg, fokozatosan megszűnik az inverzió. Reggel a felszíni evapotranszspiráció beindulása miatt a páratartalom hirtelen megnő az alsóbb rétegekben. Kora délután a legerősebb az evapotranszspiráció, ám a magasabb rétegekből leszállítódó szárazabb levegő, illetve az intenzív turbulens kicserélődés miatt a vízgőz-koncentráció kissé csökken. (A keveredési réteg tetején viszont a nedvesség erősen csökken, mivel a szabad légkörből száraz levegő keveredik be.) Késő délután ismét megnövekszik a páratartalom, ahogy hűlnek és stabilizálódnak az alsóbb légrétegek. Az 5. ábra egy konvektív határrétegben lévő pillanatnyi füstfáklyát és annak megfelelő együttes átlagolt füstfáklyát szemlélteti. Az AERMOD-ban a báziskoncentráció becslése egyórás átlagot szemléltet.



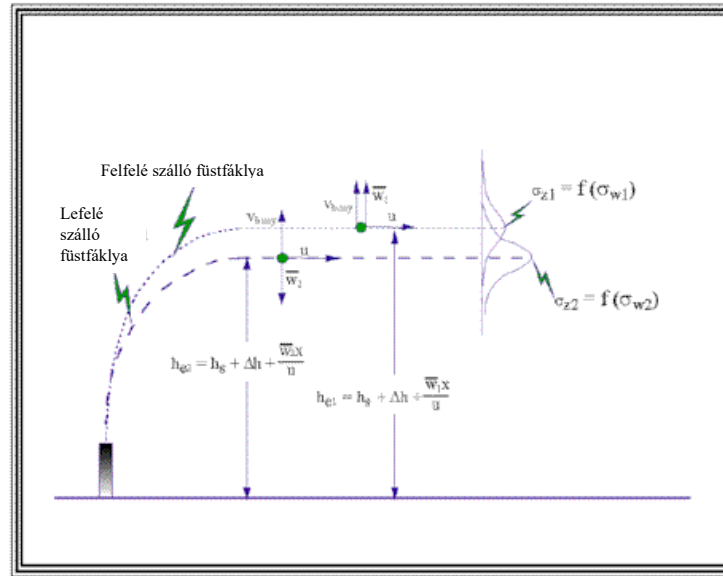
5. ábra: Pillanatnyi és annak megfelelő együttes átlagolt füstfáklya a CBL-ben

Mivel a pillanatnyi füstfáklya nagyobb százalékát lefelé szálló áramlás teszi ki, az együttes átlag általában lefelé szálló tendenciát mutat. Mivel a lefelé áramlás jellemzőbb, a lefelé áramlás átlagsebessége ennek megfelelően gyengébb, mint az átlagos felfelé irányuló sebesség, hogy a tömeg megmaradjon.

Feltételezzük, hogy a pillanatnyi füstfáklya Gauss-féle koncentráció-eloszlású a véletlenszerűen változó középvonala körül. Az átlagot vagy az átlagos koncentrációt az összes véletlenszerű középvonal-elmozdulás okozta koncentrációk összegzésével lehet meghatározni.

Ez az átlagoló eljárás egy aszimmetrikus eloszlást eredményez, amelyet az AERMOD bi-Gauss sűrűségfüggvényként ábrázol (egy a felfelé szálló, egy a lefelé szálló áramláshoz).

A 6. ábra a felfelé és lefelé áramló füstfáklya szuperpozícióját mutatja.



6. ábra: Az AERMOD sűrűségfüggvényt alkalmazó megközelítése a füstfáklya eloszlás CBL-ben történő modellezéséhez

Az AERMOD az aszimmetrikus eloszlást két Gauss-eloszlás, a felfelé és a lefelé szálló eloszlás szuperpozíciójával közelíti.

A konvektív határréteg (CBL) diszperziós algoritmusai Gifford (1959) kanyargó füstfáklya koncepcióján alapulnak, amelyben egy kis „pillanatnyi” füstfáklya vándorol a turbulens áramlásban lévő nagy örvények miatt. A specifikus modellforma egy valószínűségi sűrűségfüggvény megközelítés, amelyben a középvonalt-elmozdulás eloszlását p_w -ből és p_v -ből számolják, a CBL-beli véletlenszerű függőleges (w) és az oldalirányú (v) sebességek sűrűségfüggvényei segítségével. Ezt a megközelítést Misra (1982), Venkatram (1983) és Weil et al. (1988) is ismertetik. A füstfáklya középvonalaának teljes függőleges z_c elmozdulása a véletlenszerű és a füstfáklya emelkedése miatti elmozdulásoknak a szuperpozíciója Weil et al. (1986, 1997) szerint. Így az AERMOD megközelítése kiterjeszti Gifford modelljét a füstfáklya emelkedésére is. Ezenkívül magában foglalja a z_c aszimmetrikus eloszlását is, mivel a CBL-ben a p_w ismert módon aszimmetrikus; azonban az oldalirányú füstfáklya-elmozdulást Gauss-típusúnak feltételezi.

A füstfáklya középvonalaának z_c magasságát a sűrűségfüggvény (azaz p_w) adja meg, amint azt Weil (1988) is leírja, és z_c a füstfáklya emelkedésének (Δh) és a véletlenszerű konvektív sebesség miatti (w) elmozdulásának szuperpozíciójaként jellemezhető:

$$z_c = h_s + \Delta h + \frac{wx}{u} \quad (6)$$

ahol

h_s a kémény magassága (a kémény hegyéről történő leáramlással korrigálva),
 u az átlagos szélesség (függőleges átlag a konvektív határréteg felett)
 x a szélirányú távolság.

A Δh értéke magában foglalja a forrás lendületét és a felhajtóerő hatásait, amelyeket az (58) egyenlet ír majd le (lásd Briggs, 1984).

Többen megállapították, hogy a CBL-ben p_w -t jól közelíti két Gauss-eloszlás szuperpozíciója (például Baerentsen és Berkowicz, 1984; Weil, 1988), úgy mint:

$$p_w = \frac{\lambda_1}{\sqrt{2\pi\sigma_1}} \exp\left(-\frac{(w - \bar{w}_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) + \frac{\lambda_2}{\sqrt{2\pi\sigma_2}} \exp\left(-\frac{(w - \bar{w}_2)^2}{2\sigma_2^2}\right) \quad (7)$$

ahol

1 és 2 a két eloszlás súlyozási együtthatói (1 = felfelé, 2 = lefelé).

A w_i és σ_i ($i = 1, 2$) az átlagos függőleges sebesség és a szórás az adott eloszlás esetén, feltételezve, hogy arányos w -vel. A függőleges sebesség aszimmetriáját Weil (1990, 1997) adta meg.

Az itt alkalmazott sűrűségfüggvény megközelítés szerint (Weil et al., 1997) három primer forrás létezik, amelyek hatással vannak a modellezett koncentrációmezőre:

- 1) „közvetlen” vagy a valós forrás: a kéménynél,
- 2) „közvetett” forrás, amelyet a modell a CBL felett helyez el, és amely biztosítja a lebegő füstfáklya lassú, lefelé történő diszperzióját, amely lebeg a z_i közelében, de alatta marad,
- 3) „behatolt forrás”, amely tartalmazza a füstfáklya anyagának azon részét, amely behatolt a stabil rétegbe z_i felett.

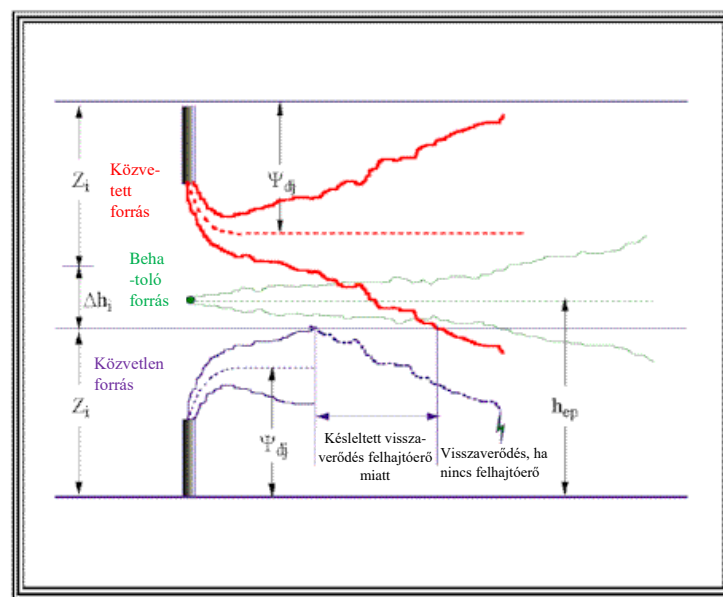
A közvetlen forrás leírja a füstfáklya anyagának azon diszperzióját, amely közvetlenül a forrásból érkezik a leszálló áramlás révén a talajhoz. A közvetett forrás a felfelé áramló füstfáklya inverzióval való első kölcsönhatásának kezelésére szolgál, azaz olyan füstfáklya szakaszokban, amelyek kezdetben felfelé, a CBL tetejére emelkednek és leszálló áramlatok révén visszatérnek a talajhoz.

Képzelt forrásokat adunk hozzá, hogy kezelni lehessen a füstfáklya későbbi kölcsönhatásait a talajjal és az inverziót, valamint, hogy megfeleljen a nulla fluxus feltételeknek $z = 0$ és $z = z_i$ esetén. Ez a forrás ugyanolyan szerepet játszik, mint a standard Gauss-modellben az első forrás, amely a z_i felett van, de különbözik a füstfáklya lebegésének kezelésében.

A közvetett forrás esetében módosított reflexiós megközelítést alkalmaznak, amelyben a függőleges sebesség $z = z_i$ -nél tükröződik, de egy „közvetett” forrás által generált emelkedést, h_i , is magában foglal, hogy késleltesse a füstfáklya anyagának lefelé történő eloszlását a CBL felső részéből indulva. Ennek célja a „lebegő” viselkedés utánozása.

A behatolt forrást azért kell figyelembe venni, hogy lehetővé tegye, hogy az anyag kezdetben áthatoljon a megemelkedett inverzió, de később visszatérhessen a CBL-be a tömeg turbulens keveredése által.

A 8. ábra szemlélteti ezt a három füstfáklya megközelítést; és ez az AERMOD konvektív modelljének alapvető jellemzője.



7. ábra: Az AERMOD három füstfáklya kezelési módja a CBL-ben

A CBL-beli vízszintes füstfáklya állapot teljes koncentrációja a következőképpen írható le:

$$C_c\{x_r, y_r, z_r\} = C_d\{x_r, y_r, z_r\} + C_r\{x_r, y_r, z_r\} + C_p\{x_r, y_r, z_r\} \quad (8)$$

ahol:

$C_c\{x_r, y_r, z_r\}$ - teljes koncentráció CBL-ben

$C_d\{x_r, y_r, z_r\}$ - közvetlen forrás koncentrációhoz történő hozzájárulása

$C_r\{x_r, y_r, z_r\}$ - közvetett forrás koncentrációhoz történő hozzájárulása

$C_p\{x_r, y_r, z_r\}$ - behatolt forrás koncentrációhoz történő hozzájárulása

A terepre reagáló állapot teljes koncentrációjának leírásakor a (8) egyenletben σ_{zr} helyébe σ_{zp} lép.

Behatolás figyelembevételkor a füstfáklya tömegének azon részét, amely a CBL-ben marad (f_p), a következőképpen (9) kell kiszámítani:

$$\begin{aligned} f_p &= 0 & \text{ha } \Delta h_h < 0,5\Delta h_{eq} \\ f_p &= 1 & \text{ha } \Delta h_h > 1,5\Delta h_{eq} \\ f_p &= 1 & \text{ha } \Delta h_h > 1,5\Delta h_{eq} \end{aligned}$$

ahol $\Delta h_h = z_i - h_s$ és Δh_{eq} az egyensúlyi füstfáklya-emelkedés stabil környezetben (Berkowicz et al., 1986), melyet az alábbiak szerint kell kiszámítani:

$$\Delta h_{eq} = (2,6^3 P_s + (2/3)^3)^{1/3} \Delta h_h \quad (10)$$

$$\text{ahol } P_s = \frac{F_b}{u_p N_h^2 \Delta h_h^3}; \quad N_h = \left[\frac{g}{\theta(z_i)} \frac{\partial \theta}{\partial z} \right]_{z > z_i}^{1/2}; \quad F_b = g w_s r_s^2 \frac{\Delta T_s}{T_s}$$

3.2.3. Közvetlen forrás hozzájárulása a CBL-beli koncentrációs számításokhoz

Weil et al. (1997) szerint a vízszintes állapothoz tartozó közvetlen füstfáklya koncentrációeloszlás az alábbi módon adható meg:

$$C_d\{x_r, y_r, z_r\} = \frac{Q f_p}{2\pi u \sigma_y} \cdot \exp\left(\frac{-y_r^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \left[\exp\left(-\frac{(z - \Psi_{dj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + \Psi_{dj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) \right] \quad (11)$$

ahol

Ψ_{dj} - közvetlen forrás magassága

Q - forrás kibocsátási sebesség

$$z = \begin{cases} z_r & \text{vízszintes füstfáklya állapot esetén} \\ z_p & \text{terepet követő füstfáklya állapot esetén} \end{cases}$$

Itt Ψ_{dj} és z_j a tényleges forrásmagasság és a függőleges diszperziós paraméter, a két eloszlásban külön-külön a (11) egyenlet szerint. A teljes turbulenciából származó diszperziós paraméterek (y , z_1 és z_2) a következő egyenletekkel számíthatók: (31) és (43) - (46). Az 1 és 2 alsó index a felfelé és lefelé áramló füstfáklyákra utal.

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{\overline{w_2}}{\overline{w_2} - \overline{w_1}} = \frac{a_2}{a_2 - a_1} \\ \lambda_2 &= \frac{\overline{w_1}}{\overline{w_2} - \overline{w_1}} = \frac{a_1}{a_2 - a_1} \quad (12) \end{aligned}$$

ahol az a_1 és a_2 a (14) egyenlettel adható meg.

A (11) egyenletnél egy „képzeletbeli” füstfáklya használunk a fluxusmentes állapot elérésre, azaz a képzeletbeli füstfáklya egy forrásból $z_r = -h_s$ értéknél, ami azt eredményezi, hogy az exponenciális kifejezések z_r -t és Ψ_{dj} -t tartalmazzanak a (15) egyenlet jobb oldalán. A képzeletbeli füstfáklya $z_r = -h_s$ esetén pozitív anyagáramot eredményez $z_r = z_i$ értéknél. A fluxusmentes feltétel kielégítésére egy képzeletbeli forrást $z_r = 2 z_i + h_s$ értékkel kell bevezetni, amely a képzeletbeli források sorozatát eredményezi $z_r = 2 z_i - h_s, 4z_i + h_s, -4z_i - h_s$ stb.

A közvetlen füstfáklya magasságát a következő kifejezés adja meg:

$$\Psi_{dj} = h_{ed} + \frac{\overline{w_j x}}{\underline{u}} \quad (13)$$

ahol

$\overline{w_j} = a_j w h_{ed} = h_s + \Delta h_d$ - füstfáklya magassága lebegés (felhajtóerő) miatt
 Δh_d - füstfáklya emelkedés közvetlen forrás esetén

A (13) második kifejezése a konvekció miatt bekövetkező füstfáklya emelkedés. h az (54) egyenlettel számítható.

$$a_1 = \frac{\sigma_{wT}}{w} \left(\frac{\alpha S}{2} + \frac{1}{2} \left(\alpha^2 S^2 + \frac{4}{\beta} \right)^{1/2} \right) \quad (14)$$

ahol σ_{wT} az effektív vertikális turbulenciakomponens. A (14) egyenletbeli paraméterek a következőképpen adhatók meg:

$$\alpha = \frac{1 + R^2}{1 + 3R^2}$$

$$\beta = 1 + R^2$$

$$S = \frac{\frac{\overline{w^3}}{\overline{w^3}}}{\left(\frac{\sigma_{wT}}{w} \right)^3} \quad (15)$$

ahol S – aszimmetria tényező

$$\frac{\overline{w^3}}{\overline{w^3}} = 0,125; H_p\{x\} > 0,1z; \frac{\overline{w^3}}{\overline{w^3}} = 1,25 \frac{H_p\{x\}}{z_i}; H_p\{x\} \leq 0,1z$$

R feltételezett értéke 2,0 (Weil és et al., 1997)

3.2.4. Közvetett forrás hozzájárulása a CBL-beli koncentrációs számításokhoz

A vízszintes állapotú közvetett forrás koncentrációs számításra gyakorolt hatása a következő:

$$C_y\{x_r, y_r, z_r\} = \frac{Qf_p}{2\pi u \sigma_y} \cdot \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \left[\exp\left(-\frac{(z_r - \Psi_{rj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z_r + \Psi_{rj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) \right] \quad (16)$$

ahol

Ψ_{rj} - közvetett forrású füstfáklya teljes magassága

Az Ψ_{rj} közvetett forrás magasságát a (17) egyenlet segítségével lehet kiszámítani.

A (13) második kifejezése a konvekció miatt bekövetkező füstfáklya emelkedés. h az (54) egyenlettel számítható.

$$\Psi_{rj} = h_s + \Delta h_r + \frac{\overline{w_j} x}{u} \quad (17)$$

ahol

$\overline{w_j} = a_j$; $\Delta h_r = \Delta h_d - \Delta h_i$ füstfáklya magassága lebegés (felhajtóerő) miatt és Δh_i - füstfáklya emelkedés közvetett forrás esetén

A h a (56) egyenletből számítható. A (13) egyenletbeli a_j értékek a (14) egyenletből számíthatók.

Behatolt forrás hozzájárulása a CBL-beli koncentrációs számításokhoz

A behatolt forrás koncepciója egyszerű Gauss típusú (mind vízszintes, mind függőleges füstfáklya eloszlásokhoz).

A vízszintes füstfáklya állapot hozzájárulását a következő egyenlet adja meg:

$$C_y\{x_r, y_r, z_r\} = \frac{Q(1 - f_p)}{2\pi\sigma_{yp}\sigma_{zp}} \cdot \exp\left(\frac{-y_r^2}{2\sigma_{yp}^2}\right) \cdot \sum_{j \rightarrow \infty} \left[\exp\left(-\frac{(z_r - h_{ep} - 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zp}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z_r + h_{ep} - 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zp}^2}\right) \right] \quad (18)$$

ahol

$C_p\{x_r, y_r, z_r\}$ = behatolt forrás koncentrációhoz történő hozzájárulása

h_{ep} = behatolt forrás magassága

z_{reff} = visszaverő felület magassága a stabil rétegben

A terepet követő állapot teljes koncentrációját a (18) egyenlet adja meg, ahol σ_{zr} helyett σ_{zp} -t kell használni. A teljes turbulenciából (környezeti, felhajtó erő és épület által okozott) származó diszperziós paraméterek (σ_{yp} és σ_{zp}) a (28) egyenlettel számíthatók.

3.2.5. AERMOD-ban számított koncentrációk az SBL-ben

Az AERMOD koncentráció számításhoz használt kifejezése hasonló az ICS3 által használthoz, stabil feltételek esetén ($L > 0$).

$$C_y\{x_r, y_r, z_r\} = \frac{Q(1 - f_p)}{\sqrt{2\pi}\sigma_{zs}} \cdot F_y \cdot \sum_{j \rightarrow \infty} \left[\exp\left(-\frac{(z_r - h_{es} - 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z_r + h_{es} - 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right) \right] \quad (19)$$

ahol

$C_s\{x_r, y_r, z_r\}$ = stabil forrás koncentrációhoz történő hozzájárulása

h_{es} = stabil forrás magassága

F_y = oldal irányú eloszlás függvény (kanyargással)

Stabil körülmények esetén ugyan nincs a CBL-hez hasonló határ a mechanikusan keveredett réteggel, az AERMOD mégis megakadályozza a füstfáklya anyagának nem valóságos elterjedését a keveredett réteg magassága fölötti régióba, ahol a turbulencia szintje várhatóan túl kicsi ahhoz, hogy támogassa ilyen fajta füstfáklya keveredést. Ha a végső effektív füstfáklya magasság jóval z_{im} alatt van, akkor feltételezzük, hogy a füstfáklya nem keveredik függőlegesen z_{im} felett, és a füstfáklya visszaverődik a keveredett rétegbe. Amikor a stabilizált füstfáklya széle eléri a z_{im} szintjét, akkor a magasságot, amelyen feltételezhetően a függőleges keveredés megszűnik, hagyjuk emelkedni, miközben a szóródó füstfáklya rész a füstfáklya felső széléhez közeli szinten

marad. Ilyen módon megengedett a füstfáklya visszaverődés, összhangban a függőleges turbulencia hiányával odafent, de nincs erős koncentráció-kettőző hatás, olyan, ami feltételezett kemény felületről történő visszaverődésnél fordul elő. Ezzel a kvázi-fedél megközelítéssel az AERMOD lehetővé teszi, hogy a füstfáklya lefelé szóródjon, de ahol a fenti turbulencia alacsony, a függőleges füstfáklya növekedését egy visszaverő felület korlátozza, amelyet a (24) egyenlet határoz meg. A lefelé történő szóródás w értékkel úgy határozható meg, hogy w -t a receptorról a tényleges füstfáklyára fajlagosítják. Ez azt jelenti, hogy ha az effektív füstfáklya-magasság meghaladja a keveredett réteg magasságát, a z_{im} értéket, akkor a w átlag kiszámítása olyan területeket is érint, amelyekben w alacsony. Ez azt eredményezi, hogy az effektív magasság növekedésével mind az átlagos w , mind pedig a lefelé történő füstfáklya terjedés csökken.

Amikor a füstfáklya felhajtóereje az emelkedő füstfáklyát a viszonylag nem turbulens rétegbe viszi z_{im} fölé, a visszaverő felületet továbbra is $2,15 z_s$ -re helyezzük az effektív füstfáklya-magasság fölött, mert a füstfáklya lebegés jelensége miatt is szóródik a füstfáklya, illetve a lefelé történő keveredés továbbra is fontos. Ezért feltételezzük, hogy az SBL-ben a füstfáklya anyag egy megemelt felületről verődik vissza, amelyet a következőképpen lehet definiálni:

$$z_{ieff} = \text{MAX}[(h_{es} + 2,15\sigma_{zs}\{h_{es}\})]; z_{im} \quad (20)$$

ahol σ_{zs} definiálása a (29) egyenletben w_m és u érték h_s -nél történő meghatározásával történik; nem effektív paraméterként. Fontos megjegyezni, hogy z_{ieff} függ a szélirányú távolságától, mivel σ_{zs} távolságfüggő. Valójában, mint azt a (20) egyenlet sugallja, ez az effektív visszaverő felület csak a felfelé irányuló eloszlás szélső végét hajlítja vissza. A behatolt és injektált források esetében a z_{ieff} a (20) egyenlettel számítható, ahol σ_{zs} és a h_{es} helyébe a σ_p és h_{ep} lép.

Az AERMOD magában foglalja azt a hatást, amelyet az alacsony frekvenciájú, nem diffundáló örvények (azaz a kanyargás) gyakorolnak a füstfáklya-koncentrációra. A kanyargás hatásait csak az SBL-ben vesszük figyelembe, mivel nem várható, hogy jelentős hatása lenne a CBL-re.

A kanyargás (vagy a modellezési periódus alatt a szélirány eltolódása miatt bekövetkező lassú füstfáklya oldalirányú tolódás) csökkenti annak valószínűségét, hogy a forrásoktól távol, hosszú utazási idő után koherens füstfáklyát lehessen észlelni. Ezt a hatást a füstfáklya-koncentrációra legjobban részecsketerjedési modellel lehet szemléltetni, mivel ezek a modellek úgy becsülik meg a koncentrációt egy receptoron, hogy megszámlálják, hogy hányszor látható az adott részecske a receptor térfogatában. Egyszerű egyensúlyi állapotú modellként azonban az AERMOD nem képes ilyen információkat előállítani. Az AERMOD a kanyarodást a vízszintes eloszlási függvény két

határa: a koherens és a véletlenszerű füstfáklya határa közti interpolációval számolja. A koherens füstfáklya esetében a vízszintes eloszlási függvénynek szokásos Gauss-alakja van:

$$F_{yC} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (21)$$

ahol

F_{yC} - vízszintes eloszlásfüggvény koherens füstfáklya esetén

Ha feltételezzük, hogy a füstfáklya eloszlása teljesen véletlenszerű, akkor a füstfáklya anyagának egyenletes eloszlása van. Ezért a véletlenszerű füstfáklya határértékhez a vízszintes eloszlásfüggvény a következőképpen írható fel:

$$F_{yR} = \frac{1}{2\pi x_r} \quad (22)$$

ahol

F_{yR} - vízszintes eloszlásfüggvény véletlenszerű füstfáklya esetén

Annak biztosítása érdekében, hogy az x_{r0} -t (egy olyan határ, ahol a véletlenszerű vagy a kanyargó komponensnek minimális súlyozásúnak kell lennie) az F_{yR} ne közelíthesse meg, nem engedhető meg, hogy F_{yR} nagyobb legyen, mint F_{yC} .

$$F_{yR} = \min\left[\frac{1}{2\pi x_r}; F_{yC}\right] \quad (23)$$

A két határ a (21) és (23) egyenletben történő meghatározása után interpolálhatunk közöttük, feltételezve, hogy a teljes vízszintes „energia” eloszlik a szél átlagos és turbulens összetevője között. Figyelembe véve, hogy a forráshoz közel vagyunk, tekinthetjük úgy, hogy a vízszintes szél átlagösszetevőből, valamint véletlenszerű u és v összetevőből áll. Ezután a teljes vízszintes szél „energiát” így lehet megadni:

$$\sigma_h = 2\sigma_v^2 + \bar{u}^2 \quad (24)$$

ha feltételezzük, hogy $u = v$. A véletlenszerű energiakomponens kezdetben $2\sigma_v^2$, de a forrástól nagy távolságra már más értéket vesz fel, amikortól a h forrásnál az átlagos szélre vonatkozó információ irreleváns lesz a füstfáklya helyzetének előrejelzésekor. A vízszintes szélergia véletlenszerű komponensének alakulása a következő egyenlet segítségével írható le:

$$\sigma_r^2 = 2\sigma_v^2 + \bar{u}^2 \left(1 - \exp\left(\frac{-x_r}{\bar{u}T_r}\right) \right); \bar{u} = \sqrt{\bar{u}^2 - 2\sigma_v^2} \quad (25)$$

ahol

σ_r^2 - véletlenszerű energia

\bar{u} - átlagos szél

T_r - 24 óra

T_r egy olyan időskála, amelynél az átlagos szélinformáció a forrásnál már nem korrelál a füstfáklya anyagának helyzetével a szélirányú receptorain. A szélstatistikák autokorrelációját magában foglaló elemzések, például Brett és Tuller (1991), valamint a fizikai intuíció azt sugallják, hogy egy teljes napi ciklus ($T_r = 24$ óra) periódusa után a füstfáklya transzportjának véletlenszerű, r állapota valósul meg. A (25) egyenletben láthatjuk, hogy kis utazási idők esetén $\sigma_r^2 = 2\sigma_v^2$, nagy utazási időnél (távolságnál) pedig $\sigma_r^2 = 2\sigma_v^2 + \bar{u}^2$, amely a közeg teljes vízszintes kinetikus energiája. A rendszerben található véletlenszerű energia arányában (σ_r^2/σ_h^2) hatékonyan súlyozható a koherens és a véletlenszerű vízszintes eloszlási függvények relatív hozzájárulása egy összetett eloszlási függvény kialakításához, az alábbiak szerint:

$$F_y = F_{yc} \left(1 - \frac{\sigma_r^2}{\sigma_h^2} \right) + F_{yr} \left(\frac{\sigma_r^2}{\sigma_h^2} \right) \quad (26)$$

A terepet követő állapot teljes koncentrációja a (23) egyenlet szerinti, melyben z_r helyébe z_p lép.

3.2.6. Diszperziós együtthatók becslése

Mind az oldalirányú, mind a függőleges koncentráció eloszlásának (σ_y , illetve σ_z) szórása a következők együttes hatásaiból származik: a környezeti turbulencia a); a füstfáklya felhajtóereje által indukált turbulencia (b); és az épület által keltett hullámok hatása (c).

A környezeti turbulencia által kiváltott diszperziónál (σ_{ya} , σ_{za}) ismert, hogy a magasság függvényében jelentősen változik, értéke a földfelszín közelében a legnagyobb. A jelenlegi modellektől eltérően az AERMOD-ot úgy tervezték, hogy figyelembe vegye ezt a magasságtól függő ingadozást.

Az AERMOD korábbi verzióiban az σ_{ys} és σ_{za} esetén megpróbálták figyelembe venni a függőleges homogenitás kezelésével a turbulencia függőleges ingadozását. Azonban a Prairie Grass adatokkal történt összehasonlítások azt mutatták, hogy ez a megközelítés nem megfelelő. Ezért σ_{za} jelenlegi kifejezése a felületi szóródás közvetlen kezelésének

és Taylor (1921) alapján a felfelé történő diszperzió hagyományosabb megközelítésének kombinációja. Ezzel jó eredmények érhetők el SBL összehasonlításokhoz. A CBL eredményei azonban azt mutatták, hogy a felület közelében az oldalirányú diszperzió kezelése problémás volt. Ezt teljes (CBL és SBL) Prairie Grass adatkészlettel korrigálták, empirikus összefüggést használva a felszín közelében. Ez a fejezet ismerteti azokat az σ_{ya} és σ_{za} egyenleteket, amelyek ezen empirikus elemzés alapján írhatók fel.

A CBL-ben, bár a közvetlen (direkt, D) és a közvetett (indirekt, I) források környezet által keltett szóródását másképp kezelik, mint behatolt (P) források esetében, a környezeti turbulencia, a felhajtóerő és az épületek miatti hatások kombinálásának általános megközelítése azonos. A közvetlen és közvetett források esetében az összes diszperziós együtthatót (σ_y vagy σ_z) a következő általános σ_{yz} kifejezés alapján számítják ki (Pasquill és Smith, 1983):

$$\sigma_{y,z}^2 = \sigma_{ya,zaj}^2 + \sigma_b^2 + \sigma_{y,d,zd}^2 \quad (27)$$

ahol

$\sigma_{yz} \equiv$ teljes diszperzió – közvetlen és közvetett (D, I)

$\sigma_{ya,zaj} \equiv$ környezeti turbulencia által keltett diszperzió – közvetlen és közvetett (D, I)

$\sigma_b \equiv$ felhajtóerő által keltett diszperzió – közvetlen és közvetett (D, I)

$\sigma_{y,d,zd} \equiv$ lefelé áramlás által keltett diszperzió – csak közvetlen forrás

Behatolt forrás esetén a teljes diszperzió a következőképpen számítható:

$$\sigma_{yp,zp}^2 = \sigma_{yaz,zap}^2 + \sigma_{bp}^2 \quad (28)$$

ahol

$\sigma_{yp,zp} \equiv$ teljes diszperzió – behatolt forrás (P)

$\sigma_{yap,zap} \equiv$ környezeti turbulencia által keltett diszperzió – behatolt forrás (P)

$\sigma_{bp} \equiv$ felhajtóerő által keltett diszperzió – behatolt forrás (P)

Az épület által keltett hatások kis mértékben befolyásolják az eredményt.

Injektált forrás esetén a (33) egyenlet adja meg a teljes diszperziót az SBL-ben:

$$\sigma_{ys,zs}^2 = \sigma_{yas,zas}^2 + \sigma_{bs}^2 + \sigma_{y,d,zd}^2 \quad (29)$$

ahol

$\sigma_{ys, zs} \equiv$ teljes diszperzió – stabil forrás (S)

$\sigma_{yas, zas} \equiv$ környezeti turbulencia által keltett diszperzió (SBL)

$\sigma_{bs} \equiv$ felhajtóerő által keltett diszperzió – stabil forrás (S)

$\sigma_{yd, zd} \equiv$ lefelé áramlás által keltett diszperzió – stabil forrás (S)

3.2.7. Környezeti turbulencia a diszperzió számításához

Környezeti turbulencia által okozott oldalirányú diszperzió

Közvetlen és közvetett források esetében a CBL-ben az oldalirányú diszperzió környezeti összetevője a következőképpen határozható meg:

$$\sigma_{ya} = \frac{\sigma_{yT} X}{u(1 + \alpha X)^p}; X = \frac{\sigma_{yT} X}{\underline{u} z_i}; \alpha = \frac{z_i}{h_{ed}} \quad (30)$$

$x \equiv$ szélirányú távolság, m

$h_{ed} \equiv$ közvetlen forrású füstfáklya magasság

A közvetlen forrású füstfáklya magasság, h_{ed} az (58) egyenlet segítségével számítható ki.

A (84) egyenlet, ha $a = 78$ és $p = 0,3$, követi az oldalirányú eloszlás elemzését, amelyet a Prairie Grass kísérletben mértek (Barad, 1985). A kibocsátási magasság ingadozásának figyelembevételéhez a Prairie Grass-nél alapján beállítható, hogy:

$$\alpha = \text{MAX} \left\{ 78 \left(\frac{z_{pg}}{h_s} \right); 0,7 \right\} \quad (31)$$

h_s értékét a (85) egyenletben a z_{pg} minimális értéke adja meg.

Az SBL-beli források esetén az oldalirányú diszperzió környezeti komponensét a következőképp kell meghatározni:

$$\sigma_{yas} = \frac{\frac{\sigma_{yT} x}{\underline{u}}}{\left(1 + \frac{x}{2 \underline{u} T_{1ys} \{h_{es}\}} \right)^{0,3}} \quad (32)$$

A (32) egyenletbeli Lagrange-féle idő skála a talajszinten mért koncentrációk Prairie Grass (Barad, 1958) kísérletekben végzett elemzéséből vezethető le (lásd a (30) és (31) egyenletet), melyet extrapoláltak magasabban elhelyezkedő forrásokra és/vagy füstfáklya magasságokra.

Ez az elemzés T_{Lys} - t eredményezett:

$$T_{Lys} = \frac{z_{im} z_{max}}{z_{PG} (156 \sigma_{ym})}; z_{max} = \text{MAX}[z; z_{PG}] \quad (33)$$

$T_{Lys} \equiv$ oldalirányú Lagrange-féle időskála (SBL)

$z_{PG} = 0,46$ m (PG kibocsátási magasság)

$z, z_{PG} \equiv$ szennyezőanyag-kibocsátási magasságok

A fentiekben z_{max} bevezetését a Prairie Grass forrásmagasságát (z_{PG}) meghaladó füstfáklya magasságok indokolják (figyelembe véve, hogy T_{Lys} növekszik a kibocsátási magassággal).

A (33) egyenlet behelyettesítése a (32) egyenletbe megadja az SBL-beli oldalirányú diszperzió olyan alakját, amely hasonló a CBL-belihez (30).

A behatolt forrás oldalirányú diszperziójának (y_{ap}) környezeti összetevője, amely kibocsátása z_i alatt történt, de behatolt feljebb, a (32) egyenlettel számolható oly módon, hogy h_{es} helyére h_{ep} -t (behatolt forrás magassága) kell behelyettesíteni. Injektált forrásnál, azaz z_i feletti kibocsátásnál azonban nincs szükség behelyettesítésre, mivel ezeket a forrásokat stabil forrásként modellezzük.

3.2.8. Környezeti turbulencia által okozott függőleges diszperzió

Az SBL-ben lévő források és az injektált források esetében a függőleges diszperzió környezeti része felső és felszíni részből áll. A kifejezések közötti zökkenőmentes átmenet létrehozásához az alábbi interpolációs képletet kell alkalmazni:

$$\sigma_{zas} = \left(1 - \frac{h_{es}}{z_i}\right) \sigma_{zss} + \left(\frac{h_{es}}{z_i}\right) \sigma_{zes} \quad (34)$$

ahol

$h_{es} \equiv$ stabil forrás füstfáklya föld feletti magassága - $h_{es} = h_s + \Delta h_s$

$\sigma_{zss} \equiv \sigma_{zas}$ felszíni része

$\sigma_{zes} \equiv \sigma_{zas}$ felső része

h_{es} a (62) egyenlet segítségével számítható.

A stabil forrás függőleges diszperziójának felső része az AERMOD-ban az ismert egyenlet formáját követi:

$$\sigma_{zes} = \frac{\sigma_{wT}t}{\left(1 + \frac{t}{2T_{1zs}}\right)^{1/2}}; t = \frac{x}{u} \quad (35)$$

A függőleges Lagrange-féle időskála (T_{Lz}) a (35) egyenletben Venkatram et al. (1982) -től származik.

Az l hosszúságskála interpolációval adható meg az l_n semleges és az l_s stabil hosszúságskála között:

$$\frac{1}{l} = \frac{1}{l_n} + \frac{1}{l_s}; l_n = 0,36h_{es}; l_s = 0,27 \frac{\sigma_{uT}}{N} \quad (36)$$

Nagyon stabil körülmények között vagy nagy magasságokban az összetett l hosszúságskála az l_s stabil értékhez tart. Ha a körülmények közel semlegesek, N nagyon kicsi, és l l_n -hez tart.

A (36) egyenlet (35) egyenletbe történő behelyettesítése a következő kifejezést eredményezi, amelyet az AERMOD stabil forrás esetén függőleges diszperzió felső részének számításához használ.

Most a stabil forrás függőleges diszperziójának felszíni részét adjuk meg (Venkatram, 1992 alapján).

SBL esetén:

$$\sigma_{zss} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{u, x}{u} \left(1 + 0,7 \frac{x}{L}\right)^{-\frac{1}{3}} \quad (37)$$

CBL-ben a függőleges diszperzió környezeti része, közvetlen és közvetett források esetén, szintén egy felső és egy felszíni részből áll. A behatolt forrásnál feltételezzük, hogy az alatta levő felület nem befolyásolja, mivel ezt a forrást z_i feletti helyzete feltételezhetően elválasztja a talaj felületétől. A függőleges diszperzió összes környezeti eleme közvetlen forrás esetére:

$$\sigma_{zes} = \frac{\sigma_{wT}t}{1 + 2\sigma_{wT} \left[\frac{1}{0,36h_{es}} + \frac{N}{0,27\sigma_{wT}} \right]^{1/2}} \quad (38); \sigma_{zaj}^2 = \sigma_{zej}^2 + \sigma_{zs}^2 \quad (39)$$

ahol

$\sigma_{zaj} \equiv$ környezeti függőleges diszperzió a felfelé és lefelé szálló füstfáklyák ($j=1,2$) és közvetett és közvetlen források esetén

$\sigma_{zej} \equiv \sigma_{zaj}$ felszíni része

$\sigma_{zs} \equiv \sigma_{zaj}$ felső része

A közvetett és közvetlen források függőleges diszperziójának felső részét a következő egyenlet adja meg:

$$\sigma_{zej} = \alpha_b \left[b_j \frac{w_* x}{u} \right]; \alpha_b = 0,6 + 0,4 \left(\frac{H_p}{0,1 z_i} \right) \quad H_p < 0,1 z_i; \alpha_b = 1,0 \quad H_p \geq 0,1 z_i \quad (40)$$

A (40) egyenletben szereplő b_j -ket a feltételezett kettős Gauss-sűrűségfüggvény (lásd Weil et al., 1997) adja meg:

$$\begin{aligned} b_1 &= Ra_1 \\ b_2 &= -Ra_2 \end{aligned} \quad (41)$$

és $R = 2$, a_j -t pedig a (14) egyenlet adja meg.

Az α_b kifejezés jobb oldalán levő első konstansnak (0,6) az a szerepe, hogy fenntartsa az állandóságot a semleges határérték σ_z alakjában a CBL és az SBL felszíni forrásánál. Ebben a határértékben, σ_{zs} a CBL-ben (42) nulla, és SBL esetében $T_s \sim 0,8u * x / u$.

Ezen felszínközeli, semlegesközeli folytonossági hiány elkerülése érdekében a σ_z a (44) egyenletben nem nulla, még akkor sem, ha $H_p = 0$. Azaz $\alpha_b (H_p = 0)$ a (39) és (40) egyenletet is figyelembe véve. illetve a w semleges határértékét tekintve ($= 1,3 u^*$) a CBL-ben a $z = 0,8u * x / u$ felületet eredményezi (összhangban a semleges határértékkel).

A közvetlen és közvetett források (CBL) esetében a függőleges diszperzió felszíni részét a következőképp kell kiszámítani:

$$\sigma_{zs} = b_c \left[1 - 10 \left(\frac{H_p}{z_i} \right) \right] \left(\frac{u_*}{u} \right)^2 \frac{x^2}{|L|}; \frac{H_p \{x\}}{z_i} < 0,1; \sigma_{zs} = 0,0; \frac{H_p}{z_i} \geq 0,1 \quad (42)$$

ahol $b_c = 0,5$.

A (42) egyenlet parametrizálása Venkatram (1992) σ_z eredményeire épül, az instabil felületi réteg z forrása miatt. A paraméterezés célja: 1) igazodni Venkatram

eredményeihez a felszíni kibocsátás határához (azaz $HP = 0$) 2) jó egyezést biztosítani a Prairie Grass kísérletből modellezett és megfigyelt koncentrációk között, és 3) csökkenteni a forrásmagasságot a felületi rétegben ($HP < 0,1 z_i$), és végül eltüntetni, ha $HP > 0,1 z_i$. A b_c állandót értékét úgy választották meg, hogy teljesüljön a fenti második követelmény.

Mint fentebb jeleztük, a behatolt forrás függőleges szórását a talaj felülete nem befolyásolja. Ezért a behatolt forrás függőleges eloszlását úgy számolják, mint egy stabil forrás felső részét ((38) egyenlet), ahol $N = 0$, és nincsen a felületi komponensnek hatása. A Brunt-Vaisala frekvencia, H , a nulla semleges határértéket veszi fel, mivel a behatolt füstfáklya a behatolás előtt átmegy a jól keveredett rétegben, majd vissza ezen a rétegben keresztül, szétszóródva a keveredett rétegben lévő receptorokba.

Mint mindig, az injektált forrás bármilyen forrásként modellezhető egy stabil rétegben.

σ és σ_{yz} felhajtóerővel indukált diszperzió (BID) komponense.

Weil alapján a CBL-beli közvetlen és közvetett források esetén a következőképpen számítható a felhajtóerővel indukált diszperzió (BID):

$$\sigma_b = \frac{0,4\Delta h_d}{\sqrt{2}} \quad (43)$$

ahol $\Delta h_d \equiv$ közvetlen forrás füstfáklya emelkedés.

A közvetlen forrás füstfáklya emelkedése a (58) egyenletből számítható.

Behatolt forrás esetén a felhajtóerővel indukált diszperzió (BID) a következőképpen számítható:

$$\sigma_b = \frac{0,4(1 - f_p)\Delta h_d}{\sqrt{2}} \quad (44)$$

ahol

$\Delta h_p \equiv$ behatolt forrás füstfáklya emelkedés = $h_{ep} - h_s$

$h_{ep} \equiv$ behatolt forrás magassága a kéményalaphoz képest

$h_s \equiv$ kémény magassága a kémény hegyéről történő leáramlással korrigálva

h_{ep} a (61) egyenletből számítható.

Stabil forrás esetén a felhajtóerővel indukált diszperzió (BID) a következőképpen számítható:

$$\sigma_b = \frac{0,4\Delta h_s}{\sqrt{2}} \quad (45)$$

ahol $\Delta h_s \equiv$ stabil forrás füstfáklya emelkedés.

A közvetlen forrás füstfáklya emelkedése Δh_s a (58) egyenletből számítható.

3.2.9. A leáramlás miatti diszperziós együttható

Az ISC3-ban az épületek leáramlásának elsődleges hatásai a füstfáklyát növelik (σ_y és σ_z) mind a Huber-Snyder (H-S) (Huber és Snyder, 1976 és 1982), mind a Schulman-Scire (S-S) (Schulman és Scire, 1980) algoritmusok esetén, és a füstfáklya emelkedését az S-S algoritmus írja le. Ezek a hatások az AERMOD-ban is megjelennek, néhány változtatással az alábbiakban ismertetett alapvető különbség miatt.

Az AERMOD-ban, mint az ISC3-ban, az dönti el, hogy a füstfáklyát befolyásolja-e a leáramlás, hogy összehasonlítták a füstfáklya magasságot a lendület növekedése miatt 2 épület magasságban szélirányban, a jó műszaki gyakorlatban (GEP) (Szövetségi Szabályzat, 1995) szereplő épületmagassággal. Az irány-specifikus épületméreteket az ISC3 és az AERMOD is ugyanúgy használják. Legalább $1,5 L_b$ kéménymagasság esetén (ahol L_b a kisebb épületmagasság és -szélesség a figyelembe vett konkrét irányban), a leáramlás hatásainak figyelembevételkor a H-S algoritmust kell alkalmazni. $1,5 L_b$ -nél kisebb kéménymagasságok esetén az S-S algoritmust kell használni.

Az ISC3 és az AERMOD sem végez koncentrációs számítást a forrástól $3 L_b$ -nél közelebb található receptorok esetén. Ezt az úgynevezett üregterületet veszi figyelembe a SCREEN3 modell (Környezetvédelmi Ügynökség, 1995). A szélirányban $3 L_b$ és $10 L_b$ közötti távolságú receptorok esetében az ISC3 és az AERMOD ugyanazt az épület által kiváltott σ_y és σ_z értéket számolja ki, és ezeket összehasonlítja azokkal az σ_y és σ_z értékekkel, melyeket kizárólag a környezeti turbulencia eredményezett (és ezek nem azonosak a két modellben, ezért eltérésekhez vezetnek a becslésekben). A koncentrációs számításhoz a σ_y és σ_z két értékkészlete közül a nagyobbakat kell kiválasztani. Az AERMOD egyik bonyolítása az, hogy konvektív körülmények között feltételezi, hogy csak a közvetlen füstfáklyára van hatással a leáramlás. Feltételezi, hogy a közvetett és behatolt füstfáklyák elkerülik a leáramlás hatásait. Az AERMOD-ban közvetlen füstfáklya esetén a füstfáklya y és z átlagértékét az épület leáramlás által kiváltott y és z értékével hasonlítja össze.

A szélirányban $10 L_b$ -nél távolabbi receptorok esetén az AERMOD-ban az épületek hatásai miatt bekövetkező σ_y és σ_z változás (ha pozitív) „megfagy” a $10 L_b$ -nél elért értéken, és hozzáadódnak a turbulencia, a füstfáklya felhajtóerő miatti stb. hatások,

kvadratúrában (a teljes szórás a környezeti turbulencia, a felhajtóerő és a leáramlás miatti többlet négyzeteinek összege, lásd a (27) egyenletet). Az ISC3-ban ennek kezelése abban különbözik, hogy az épület által kiváltott σ_y és σ_z értéknövekedés $10 L_b$ -nél a virtuális forrás helyének meghatározására szolgál, mintha a környezeti turbulencia volna az egyetlen tényező a füstfáklya növekedésében $10 L_b$ távolságig. Az AERMOD-ban a környezeti turbulencia számításának bonyolult jellege miatt a virtuális forrással történő kezelés nem lehetséges. Az S-S algoritmusban mindkét modellnél a felhajtóerő miatti füstfáklya emelkedés hatása csökkentett, mivel a környezeti levegő épületek által indukált turbulenciája fokozottan behatol a felhajtóerő által érintett füstfáklyába. Konvektív körülmények esetén az AERMOD-ban ez a feltétel csak a közvetlen füstfáklyát érinti. A következő fejezetek összefoglalják az AERMOD oldalirányú és függőleges diszperziós együtthatóinak mind az oldalsó, mind a függőleges diszperziós együtthatókra vonatkozó speciális javításait, melyekkel figyelembe veszi az épületek leáramlási hatásait.

A leáramlás alkalmazhatóságának meghatározására szolgáló lendületegyenletek a füstfáklya emelkedésére vonatkozóan

Az épület leáramlása miatti fokozott diszperzió úgy határozható meg, hogy összehasonlítják a füstfáklya magasságát a lendülnövekedés után (H_{em}) az épület magasságával. Az AERMOD által alkalmazott lendület miatti füstfáklya emelkedésre vonatkozó egyenletek a következők:

Konvektív feltételek esetén:

$$H_{em} = h_s + \left(\frac{3F_m x}{\beta_i^2 u_p^2} \right)^{1/3} \quad (46)$$

Stabil feltételek esetén:

$$H_{em} = h_s + \left(3F_m \frac{\sin(xN/u_p)}{\beta_i^2 u_s N} \right) \quad (47)$$

3.2.10. Az oldalirányú diszperziós együttható javítása a leáramlás figyelembevétele érdekében

A vízszintes füstfáklya terjedés fokozódását (σ_y) akkor kell feltételezni, ha a konvektív közvetlen füstfáklya-magasság $h_{ed} = 1,2 h_b$, vagy ha a stabil füstfáklya-magasság $h_{es} = 1,2 h_b$, ahol h_b az épület magassága.

Szélirányú távolság 3 és 10 épületmagasság között

x szélirányú távolságokhoz, ha $3L_b < x < 10L_b$,

$$\sigma_{yt} = 0,35 \text{MIN}\{L_b, 5h_b\} + 0,67(x - 3L_b) \quad (48)$$

Konvektív esetekben $\sigma_{ya} = \sigma_{yl}$ és σ_{yd} nem használt (lásd a (27) egyenletet). Vegye figyelembe, hogy csak a közvetlen füstfáklyát lehet így beállítani az épület miatti leáramláshoz. A közvetett és a behatolt füstfáklya nem változik. Az injektált füstfáklyát ugyanolyan módon kezeli, mint a stabil füstfáklyát az épület miatti leáramlás kiszámításához. Hasonlóképpen, stabil esetekben $\sigma_{ys} = \sigma_{yl}$ és σ_{yd} nem használt (lásd a (33) egyenletet).

Szélirányú távolság nagyobb, mint 10 épületmagasság

$x > 10L_b$ szélirányú távolságoknál feltételezzük, hogy az σ_{yl} állandó, értéke megegyezik $x = 10L_b$ esetén számolt értékével. Majd konvektív körülmények között σ_{yd} a (29) egyenletből így számítható:

$$\sigma_{yd} = \sqrt{\sigma_{yl}^2\{10L_b\} - \sigma_{ya}} \quad (49)$$

ahol σ_{ya} a (29) egyenletből számítható. Stabil esetekben σ_{yd} a (34) egyenlet alapján számítható:

$$\sigma_{yd} = \sqrt{\sigma_{yl}^2\{10L_b\} - \sigma_{yas}} \quad (50)$$

ahol σ_{yas} a (32) egyenletből számítható.

A függőleges diszperziós együttható javítása a leáramlás figyelembevétele érdekében.

A függőleges füstfáklya terjedés (σ_z) fokozódását feltételezzük, ha a H_e füstfáklya magasság, mely a fizikai kéménymagasság és a lendület miatti füstfáklya emelkedés összege, kisebb vagy egyenlő: $h_b + 1,5 L_b$ -vel.

Szélirányú távolság 3 és 10 épületmagasság között

x szélirányú távolságok esetén, ha $3L_b < x < 10L_b$, a környezeti turbulencia és az épület miatti leáramlás kombinált hatásaiból származó függőleges terjedést az ISC3 adja meg:

$$\sigma_{zl} = A(0,7L_b + 0,67(x - 3L_b)) \quad (51)$$

A tartományra, amelyre a Huber-Snyder algoritmusokat alkalmazzák (Huber és Snyder, 1982), azaz $(h_b + 0,5L_b) < H < (h_b + 1,5L_b)$, az A együttható értéke egyenlő 1-gyel az (51) egyenletben. Az effektív füstfáklya magasságoknál, amelyek kisebbek, mint $h_b + 0,5L_b$, a Schulmann-Scire (Schulmann és Scire, 1980) algoritmusokat kell alkalmazni, és az (51) egyenletbeli A együttható a következőképpen adódik:

$$A = 1,0; H_e \leq h_b$$

$$A = \frac{h_b - H_e}{2L_b} + 1; H_e \leq h_b$$

$$A = 0; H_e > h_b + 2L_b \quad (52)$$

Ezután konvektív körülmények között a (28) egyenletben a σ_{zaj} -t egyenlőnek kell tekinteni σ_{zl} -lel (51). Hasonlóképpen, stabil körülmények között a (30) egyenletben a σ_{zas} -t egyenlőnek kell tekinteni σ_{zl} -lel (51).

Szélirányú távolság nagyobb, mint 10 épületmagasság

Minden $10L_b$ -nél nagyobb szélirányú távolságnál először a $10L_b$ szélirányú távolságnál kell σ_{zl} -t kiszámítani. Ezután konvektív körülmények között a (28) egyenlet a következő alakot veszi fel:

$$\sigma_{zd} = \sqrt{\sigma_{zl}^2\{10L_b\} - \sigma_{zaj}^2} \quad (53)$$

Stabil körülmények között a σ_{zd} -t a (33) egyenletből kell számítani.

3.2.11. Füstfáklya emelkedés számítások az AERMOD-ban

A legtöbb diszperziós modell rendelkezik saját, a füstfáklya kezdeti emelkedését leíró számítási szubrutinnal, amely a kezdetben felfelé kilövellt füst széllel történő horizontális elmozdulását jellemzi. Az AERMOD ezen modulja a PRIME (Plume Rise Model Enhancements) nevet kapta, és Briggs (1975, 1984) módszerén alapszik. A PRIME algoritmus a füstfáklya emelkedését szimulálja különböző légköri viszonyok között és meghatározza a fáklya föld felé történő lemosódásának a mértékét.

A PRIME modul az épületek által keltett turbulencia számos további hatásának a figyelembevételét is lehetővé teszi (az épület sodorvonalában felerősödő diszperzió, a felerősödő turbulencia és a fáklya főáramlási vonalának eltérése miatti kisebb mértékű fáklyaemelkedés), valamint kisebb-nagyobb távolságokra képes nyomon követni a fáklya sodorvonalakat is.

A PRIME a füstfáklya emelkedést a tömeg, az energia és az impulzus megmaradási törvényéből numerikusan számítja ki. A modell alap jellemzője a vertikális szélnyírás hatásának figyelembevétele, ami az alacsony kéményekből történő füst feláramlásakor fontos lehet. Az épületek szélárnyékában tapasztalható szélesebbesség csökkenés megnövelheti a füstfáklya feláramlását, amely csak az alacsonyabb források esetén lehet jelentős – PRIME modell ezt a hatást is számszerűsíti.

Az AERMOD képes az ún. „plume lofting” figyelembevételére is. Ez a jelenség, akkor következik be, ha füst tömegének egy része inverziós réteg fölé kerül, s emiatt hosszabb ideig fent marad, hiszen az inverzió megakadályozza lekeveredését. A modellrendszer képes követni annak a füstfáklyának a helyzetét is, amely bekerült az emelt szintű stabil rétegbe és később onnan visszatér a határrétegbe. A szimuláció során lehetőség nyílik a fáklya meanderezése következtében fellépő oldalirányú diszperzió növekedés figyelembevételére is mind a konvektív, mind a stabil határrétegben.

Az AERMOD továbbá viszonylag egyszerű közelítés alkalmazásával képes az áramlás és a diszperzió összetett felszín feletti szimulálására is, amikor a füstfáklya vagy érinti, vagy követi a domborzatot.

Az AERMOD modell-rendszer eredménye (outputja) különböző átlagolási időre (órás, 8 órás, 24 órás, éves) számított szennyezőanyag koncentrációk lehetnek a források környezetében az általunk megadott receptor pontokban.

Lehetőség van a maximális koncentrációk meghatározására is.

Közvetlen forrás esetén Δh_d (Briggs, 1984) alapján a következőképpen számítható:

$$\Delta h_d = \left(\frac{3F_m x}{\beta_1^2 u_p^2} + \frac{3}{2\beta_1^2} \frac{F_b x^2}{u_p^3} \right)^{1/3} \quad (54)$$

ahol $u_p \equiv$ füstfáklya emelkedéshez használt szélesebbesség

$\beta_1 \equiv$ bevonási paraméter ($\beta_1 \equiv 0,6$)

és

$$F_m = \frac{T}{T_s} w_s^2 r_s^2; F_b = g w_s r_s^2 \frac{\Delta T}{T_s} \quad (55)$$

ahol $r_s \equiv$ kémény hegyéről történő leáramlással korrigált kéménysugár

és $\Delta T_s = (T_s - T)$

CBL-ben u_p értéke $u_{\{hs\}}$, míg SBL-ben az u_p kezdetben $u_{\{hs\}}$ -nek van beállítva, de végső értékét iterációval határozzák meg.

A közvetett forrás, amelybe beletartozik a fluxusmentes állapot $z = z_i$ -nél történő kezelése is, egy módosított visszaverődéses megközelítést alkalmaz, amelyben a visszavert függőleges sebességet úgy állítják be, hogy a füstfáklya emelkedés hozzáadódik, azért, hogy a füstfáklya lebegve maradjon (Weil et al., 1997), a következő módon:

$$\Delta h_i = \left(\frac{2F_b z_i}{\alpha u_p r_y r_z} \right)^{1/2} \frac{x}{u_p} \quad (56)$$

ahol

$$r_y r_z = r_h^2 + \frac{a_e \lambda_y^{3/2} w_*^2 x^2}{4 u_p^2}$$

$$r_h = \beta_2 (z_i - h_s)$$

$$\alpha = 1,4; \beta_2 = 0,4; \lambda_y = 2,3; a_e = 0,1$$

$r_y r_z \equiv$ ellipszisnek feltételezett füstfáklya keresztmetszet oldalirányú és függőleges méretei

$a_e =$ mértékegység nélküli bevonási paraméter

A behatolt forrás által elért magasságot, a z_i érték felett, az egyensúlyi füstfáklya rétegzett környezetben történő emelkedéseként kezeli, amelyet a forrás felhajtóerő-fluxusa, a z_i feletti stabil rétegződés és az átlagos szélesebbség határoz meg. Weil et al. (1997) szerint feltételezhető, hogy az I füstfáklya h magassága a füstfáklya anyagának középpontja az inverzió felett, és $h_{ep} = h_s + h_{eq}$ értékkel vesszük az $f_p = 0$ vagyis a teljes behatolást. A részleges behatoláshoz ($f_p > 0$) a h_{ep} értékét a felső füstfáklya szélek magasságának átlagaként tekintik, $h_s + 1,5 h_{eq}$ és z_i , vagy

$$h_{ep} = \frac{h_s + z_i}{2} + 0,75 \Delta h_{eq} \quad (57)$$

ahol Δh_{eq} -t a (14) egyenlet definiálja.

3.2.12. Füstfáklya emelkedés az SBL-ben

A füstfáklya emelkedését az SBL-ben Weil (1990) alapján számítja az AERMOD, amelyet egy iteratív megközelítéssel módosít, amely hasonló a Perry et al. (1989) által ismertetethez. Amikor egy füstfáklya egy olyan atmoszférában emelkedik, ahol pozitív a potenciális hőmérsékleti gradiens, akkor a felhajtóerő csökken, mivel a környezeti potenciális hőmérséklet nő, amikor a füstfáklya emelkedik; így csökken a felhajtóerő a füstfáklya környezetében. Ennek figyelembevételéhez módosítani kell a füstfáklya emelkedésére vonatkozó egyenleteket. Ez a módosítás (részletekért lásd Weil (1988)) a következő, AERMOD által használt füstfáklya emelkedést leíró egyenletet eredményezi:

$$\Delta h_s = 2,66 \left(\frac{F_b}{N^2 u_p} \right)^{1/3} \left[\frac{N' F_m}{F_b} \sin \left(\frac{N' x}{u_p} \right) + 1 - \cos \left(\frac{N' x}{u_p} \right) \right]^{1/3} \quad (58)$$

ahol $N' = 0,7N$

A sebességet, u_p -t és az N -et kezdetben a kémény magasságán értékeli. Miután ezekből a kémény felső értékekből kiszámította a füstfáklya emelkedését, a füstfáklya emelkedésének becsléseit iteratív módon úgy végzi, hogy a kémény felső u_p és N értékét átlagolja ezzel:

$$z = h_s + \frac{\Delta h_s}{2}$$

A (62) egyenlet csak akkor alkalmazandó, amíg a füstfáklya emelkedik.

A stabil füstfáklya maximális végső emelkedése $\Delta h_s\{x_f\}$ a következő redukált alakban írható fel:

$$\Delta h_s\{x_f\} = 2,66 \left(\frac{F_b}{u_p N^2} \right)^{1/3} \quad (59)$$

Mint a (62) egyenletben, az u_p -t és az N -et a (59) egyenletben kezdetben a kémény magasságában és P -n, majd iteratíván számítja.

Amikor a légkör közel van a semlegeshez, a Brunt Vaisala frekvencia, N , nullához közeli és a (58) egyenlet irreálisan nagy füstfáklya emelkedést eredményez. Ilyen körülmények között feltételezi, hogy a füstfáklya emelkedését korlátozza a légköri turbulencia.

Ez akkor fordul elő, amikor semleges körülmények között a füstfáklya emelkedése összehasonlítható w -vel. Ilyen körülmények között (semleges határ) a füstfáklya emelkedése így számítható:

$$\Delta h_n = 1,2L_n^{3/5}(h_s + 1,2L_n)^{2/5} \quad (60)$$

ahol

$\Delta h_n \equiv$ semleges füstfáklya emelkedés

$L_n \equiv$ semleges hosszskála

L_n a következőképpen számítható:

$$L_n = \frac{F_b}{u_p u_*} \quad (61)$$

Ezenkívül, ha a szél sebessége nullához közeli (nyugodt körülmények között) irreálisan nagy füstfáklya emelkedést eredményez a (58) egyenlet. Nyugodt, stabil légköri körülmények között a füstfáklya emelkedés így számítható:

$$\Delta h_{sc} = \frac{4F_b^{1/4}}{N^{3/4}} \quad (62)$$

ahol $\Delta h_{sc} \equiv$ füstfáklya emelkedés nyugodt, stabil körülmények közt.

A fenti határértékek mindegyikének alkalmazásával a végleges füstfáklya emelkedés stabil körülmények között:

$$\Delta h_s = \text{MIN}[\Delta h_s; \Delta h_s\{x_f\}; \Delta h_n; \Delta h_{sc}] \quad (63)$$

azaz a legkisebb érték a (58), (59), (60) vagy (61) egyenletbeliek közül; lásd például Hanna és Paine (1989). Ezen túlmenően az AERMOD megakadályozza, hogy a stabil füstfáklya emelkedés meghaladja a semleges vagy konvektív körülmények között várható emelkedést (vagyis a (Δh_s) a (63) egyenletben nem haladja meg az (54) egyenletből számított (Δh_s) emelkedést.

Megjegyzés: olyan helyzetekben, amikor $F_b = 0$, stabil körülmények között nem számítanak emelkedést. Ezért az SBL távolságtól függő emelkedést a következő kifejezés adja:

$$h_{es} = h_s + \Delta h_s \quad (64)$$

4. AERMOD modell ismertetése és felépítése

4.1. AERMOD modell alapjai

Az AERMOD modellező rendszer egy olyan steady-state állapotú füstfáklya modell, amely a planetáris határrétegben fellépő turbulencián alapuló légszennyező anyag keveredést tartalmaz, beleértve mind a felszíni, mind a magasban lévő források, valamint az egyszerű és összetett terepviszonyok kezelését.

Az AERMOD-feldolgozásnak a következő alapadatokra van szükséges a modell futtatásához, mint például:

- Meteorológiai adatok: Az AERMOD-nak kétféle meteorológiai adatfájltra van szüksége, amelyeket az AERMET meteorológiai előfeldolgozó program biztosít. Az egyik fájl a felszíni vektor paraméterekből, a másik fájl pedig a meteorológiai adatok függőleges profiljaiból áll.
- A terepviszonyok módosító hatásainak figyelembevételéhez a receptor- és terepadatokat az AERMAP terep előfeldolgozó programmal (EPA, 2018d) kell feldolgozni, mielőtt az AERMOD modellbe bevinnék.

Mivel az AERMOD modellt kifejezetten az EPA szabályozási modellezési programjainak támogatására tervezték, a modell alapértelmezett működési módja a szabályozási modellezési opciók lesznek.

Ezek az opciók magukban foglalják a stack-tip downwash használatát, valamint az átlagok feldolgozására szolgáló rutint szélcsend vagy hiányzó meteorológiai adatok esetén. A modell nem alapértelmezett opciókat is tartalmaz a stack-tip downwash használatának kikapcsolására, a kiülepedés modellezésére, az NO₂ átalakulására, a gyenge szélviszonyok okozta speciális feldolgozására.

A modell többféle forrást képes kezelni, beleértve a pont-, térfogat-, terület-, felületi, valamint lebegő vonalas forrástípusokat. Az AERMOD a vonalas forrásokat területi forrásként, vonalas forrásként vagy térfogati források sorozataként modellezi.

Ha vonalas területi forrásokról van szó, a forrás meghatározásához szükséges felhasználói bevitel egyszerűsödik a területforráshoz képest. A vonalforrás algoritmus a vonal- és pontforrás (BLP) modellből (Schulman és Scire, 1980) az 15181-es verzióval kezdődően beépült az AERMOD modellbe.

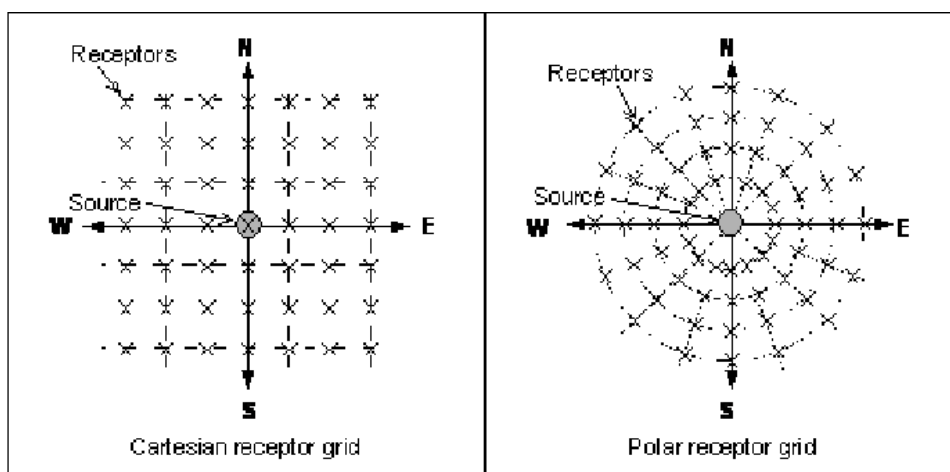
Egy futtatásban több forráscsoport is megadható, és a különböző források az emissziós állapothoz történő hozzájárulások elkülönítve is meghatározhatók.

A modell tartalmaz algoritmusokat a közeli épületek által okozott aerodinamikai leáramlásnak és a szilárd részecskék ülepedéséből eredő hatások modellezésére.

A források kibocsátási ráták (emisszió) a modellezési időszak alatt állandónak tekinthetők, vagy a hónapok, évszakok, napszakok vagy kisebb időintervallumok szerint változtathatók. Ezek a változó kibocsátási tényezőtényezők megadhatók egyetlen forrásra vagy a források egyes csoportjára. A felhasználó egy adott modellfuttatásban szereplő egyes vagy összes forráshoz külön fájlban is megadhatja az óránkénti kibocsátási értékeket.

Az AERMOD modell jelentős rugalmassággal rendelkezik a receptorok helyének kijelölése tekintetében. A felhasználó egyetlen futtatásban több receptorhálózatot is megadhat, és egy futtatásban keverheti a hagyományos négyzetrácsos (Cartesian receptor grid) és a sugárirányú rácsos receptor hálózatokat is.

A modellezett teret tetszőleges számú síkban tetszőleges darabszámú, de azonos eloszlású, egymással hézagmentesen érintkező, téglatest alakú elemekre bontjuk, egyenletes vagy változó osztású rácsháló segítségével. A sugárirányú receptorok esetében az x, y koordinátákban a (0,0) alapértelmezett origótól eltérő, rugalmasan megadható az origó helye is.



8. ábra: Receptorok elhelyezésének lehetőségei

A felhasználó megadhatja a receptorok magasságát a terep hatásának modellezése érdekében, és megadhatja a receptorok talajszint feletti magasságát is.

Az AERMOD modell a felszíni határréteg paramétereit tartalmazó fájlt és a szélesebséget, szélirányt és turbulenciaparamétereket tartalmazó profilváltozókat tartalmazó fájlt használja.

Ezt a kétféle meteorológiai bemenetet az AERMOD meteorológiai előfeldolgozója, az AERMET nevű program generálja. Mindkét meteorológiai bemeneti fájl szekvenciális ASCII fájl, és a modell automatikusan az AERMET által generált formátumot ismeri fel alapértelmezett formátumként.

A modell alapértelmezés szerint a megadott bemeneti fájlban lévő összes rendelkezésre álló meteorológiai adatot feldolgozza, de a felhasználó könnyen megadhatja a feldolgozandó napok vagy naptartományok kiválasztott napjait vagy tartományait.

Az AERMOD szoftver a szennyező anyagok terjedési modelljeinek elkészítéséhez sok input adatot igényel, ami kibocsátás térbeli és időbeli megvalósulására vonatkozik. A térbeli adatokat pontos koordinátákkal kell megadni, hisz a rendszer internet kapcsolat esetén a domborzati adatokat neten rendelkezésre álló adatbázisokból nyeri. A kibocsátási helyszínek pontos elhelyezkedésének rögzítése ezért elengedhetetlenül fontos. Legalább ilyen jelentőséggel bír a kibocsátás időbeliségére vonatkozó információk szoftverben történő előzetes rögzítése is.

Az adatok rögzítése előtt jelentős előkészítő munkát kellett végezni, annak érdekében, hogy a bevitelre alkalmas adatsorok rendelkezésre álljanak. A légszennyező források alapján a helyszíneket be kellett azonosítani és előállítani a források koordinátáit WGS84 vetületi rendszerben. Ezeket a koordinátákat a rendszer be tudja azonosítani, így biztosított a további használatuk.

Az források működési adatai konkrét dátumra óratól-ig formátumban álltak rendelkezésre általában. A szoftver a kibocsátás időbeliségét ebben a formában nem tudja kezelni, ezért a rendelkezésre álló adatokból egy adekvát adatsort kell készíteni. Például 2 éves időintervallumon belül - 142 forrás esetében – minden órához hozzá kellett rendelni a kibocsátott szennyezőanyag mennyiségét. Amennyiben számszerűsíteni akarjuk ezt az előkészítő munkát, úgy pontosan 2.487.840 db adatot ($142 \cdot 2 \cdot 365 \cdot 24$) kellett egy táblázatban megadni. A szoftver számára a nulla is érték, tehát azokhoz az órákhoz amikor nem működött az adott forrás ezt az értéket be kellett rögzíteni. Az adatokat megfelelő formátumban és részletességgel tartalmazó táblázatból az információkat már közvetlenül lehet beolvasni a modell elkészítéséhez.

A pontforrások beviteléhez szükséges adatok:

- X koordináta [m]
- Y koordináta [m]
- Kéménymagasság [m].

- Kémény átmérő[m]
- Füstgáz mért sebessége [m/s]
- Füstgáz hőmérséklete [K]
- Tömegáram [g/s]

A vonal és felületi források beviteléhez szükséges adatok:

- Koordináta helyes állomány (shp, dxf javasolt)]
- Kibocsátási magasság [m].
- Tömegáram [g/s vagy g/s/m vagy g/s/m²]

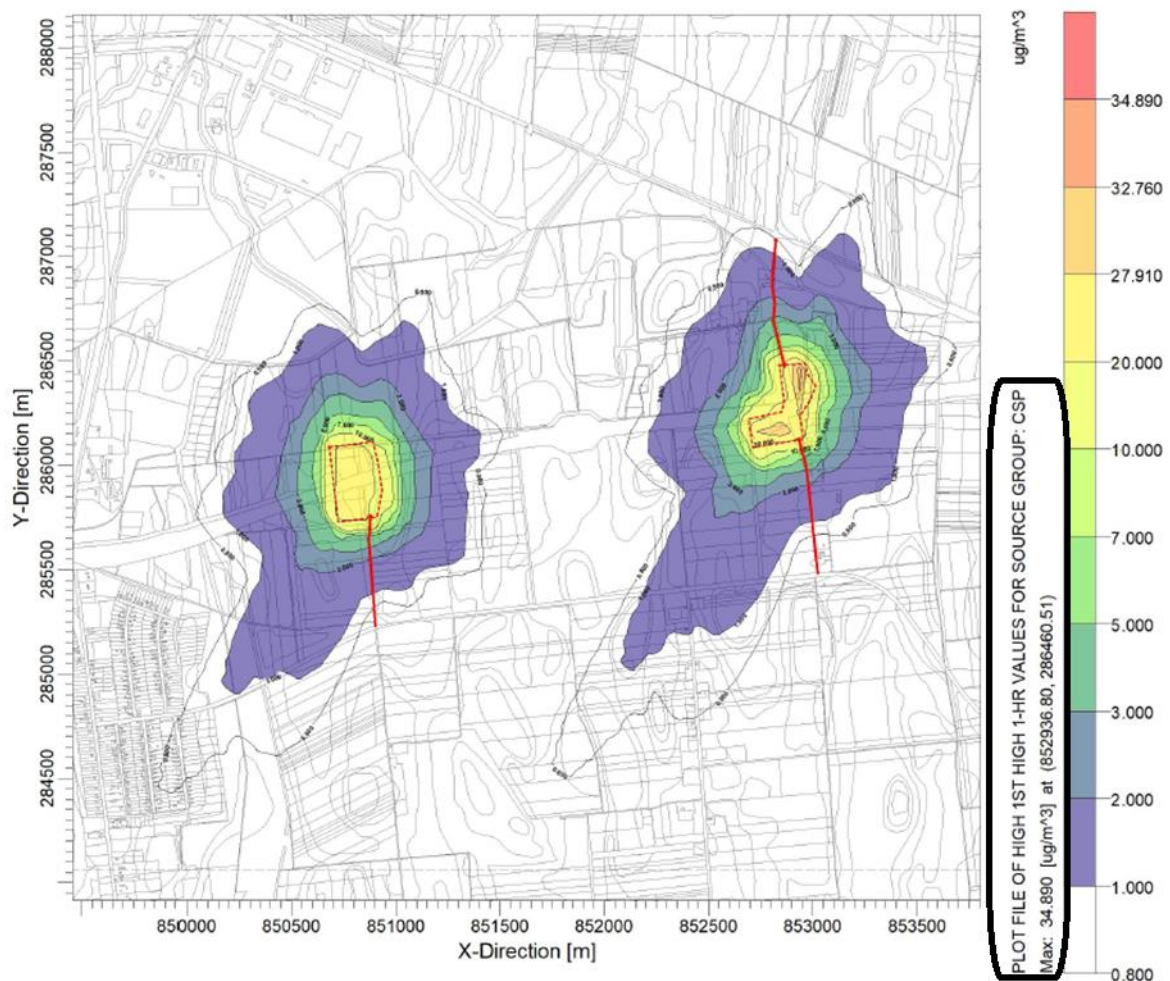
Az emissziók, a digitális terepmodellek és a meteorológiai tényezők figyelembevételével az AERMOD modell jelentős területek expozícióját jó közelítéssel adja meg. Előnyük, hogy változó állapotokat jó közelítéssel veszi figyelembe.

Az AERMOD segítségével számított eredmények az alábbi kérdésekre válaszolnak:

- adott kibocsátási források, üzemidők, légköri állapotok esetén milyen lesz a szennyező anyagok térbeli eloszlása,
- a légszennyező anyagok milyen magasságig hatolnak be a felsőlégkörbe,
- hogyan változik a levegőkörnyezet minősége források környezetében a legkedvezőtlenebb terjedési scenáriókat figyelembe véve,
- milyen szennyező anyag koncentráció várható a felszín közelében a pontforrások körül.

Az AERMOD output adatai a következők lehetnek:

- a magas értékek összefoglalása (legmagasabb, második legmagasabb stb.) receptoronkénti bontásban minden egyes átlagolási időszak és forráscsoport kombinációra;



9. ábra Példa Legmagasabb értékek alapján rajzolt izokoncentrációs görbéről

- az összesített maximális értékek összefoglalása (pl. a maximális 50) minden egyes átlagolási időszakra és forráscsoport-kombinációra; és
- az egyidejű értékek táblázatait receptoronként összefoglalva minden egyes átlagolási időszakra és forráscsoport-kombinációra a feldolgozott adatok minden egyes napjára. Ezek a "nyers" koncentrációértékek formázatlan (bináris) fájlokban is kinyerhetők,
- különböző terjedési paraméterek (pl. effektív kibocsátási magasság).

A receptoronkénti táblázatok és a maximális érték táblázatok a forráscsoport-értékekre vagy az egyes forrásértékekre, vagy mindkettőre vonatkozóan kiadhatók. Ezenkívül az egyes forrásokra vonatkozó maximális értékek kiadásakor a felhasználónak lehetősége van annak meghatározására, hogy a maximális forrásértékek az egyes források maximális értékei legyenek-e függetlenül, vagy az egyes források hozzájárulása a maximális csoportértékekhez, vagy mindkettő.


```

* AERMOD ( 18081): ÉSZAK-NYUGATI ZÓNA
* AERMET ( 18081):
* MODELING OPTIONS USED: RegDEFAULT CONC ELEV RURAL
* PLOT FILE OF HIGH 1ST HIGH 1-HR VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL
* FOR A TOTAL OF 651 RECEPTORS.
* FORMAT: (3(1X,F13.5),3(1X,F8.2),3X,A5,2X,A8,2X,A5,5X,A8,2X,I8)

*      X      Y      AVERAGE CONC      ZELEV      ZHILL      ZFLAG      AVE      GRP      RANK      NET ID      DATE(CONC)
*
201684.61000 5145167.51000      0.00277      181.70      181.70      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      12070522
204684.61000 5145167.51000      0.00317      162.40      162.40      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      11070221
207684.61000 5145167.51000      0.00543      135.00      143.00      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      17091618
210684.61000 5145167.51000      0.00191      165.10      165.10      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      9082303
213684.61000 5145167.51000      0.00170      181.60      181.60      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      10080624
216684.61000 5145167.51000      0.00371      156.80      156.80      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      9070320
219684.61000 5145167.51000      0.00272      150.00      150.00      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      9051221
222684.61000 5145167.51000      0.01014      154.00      154.00      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      17091618
225684.61000 5145167.51000      0.00317      149.70      149.70      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      17091618
228684.61000 5145167.51000      0.01108      152.10      152.10      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      17082721
231684.61000 5145167.51000      0.00455      156.90      156.90      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      16072806
234684.61000 5145167.51000      0.00259      158.70      158.70      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      12070522
237684.61000 5145167.51000      0.00397      157.80      157.80      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      17091618
240684.61000 5145167.51000      0.00461      172.20      172.20      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      17091618
243684.61000 5145167.51000      0.00414      170.80      170.80      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      9063020
246684.61000 5145167.51000      0.00964      147.60      147.60      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      17091618
249684.61000 5145167.51000      0.00761      157.20      157.20      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      17082721
252684.61000 5145167.51000      0.00694      164.70      164.70      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      17091618
255684.61000 5145167.51000      0.00662      143.30      143.30      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      9063021
258684.61000 5145167.51000      0.01282      124.10      124.10      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      9063021
261684.61000 5145167.51000      0.00438      155.00      155.00      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      9063020
264684.61000 5145167.51000      0.00296      126.80      126.80      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      9063021
267684.61000 5145167.51000      0.00437      143.70      143.70      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      9063021
270684.61000 5145167.51000      0.00839      143.50      143.50      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      9063021
273684.61000 5145167.51000      0.00225      136.20      136.20      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      10080604
276684.61000 5145167.51000      0.00174      139.80      139.80      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      11062920
279684.61000 5145167.51000      0.00308      125.00      125.00      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      9063021
282684.61000 5145167.51000      0.00559      137.90      137.90      0.00      1-HR      ALL      1ST      UCART1      9063021

```

10. ábra: Példa táblázatos eredmények

YR/MN/DY/HR: 19072611

Height assigned to midpoint of well-mixed layer for effective parameters = 957.0 meters.

For effective parameter calculations: "Final" plume rise = 6.76666 m;
Distance to final rise = 6.46244 m
Distance to well-mixed state = 2157.17 m;
"Effective" flow vector = 60.00

YR/MN/DY/HR: 19072611

<----- SOURCE INFORMATION -----> FINAL PLUME								
SOURCE #	QS (G/S)	TS (K)	VS (M/S)	DS (M)	BUOY FLUX (M4/S3)	MOM FLUX (M4/S2)	HS (M)	RISE (M)
1	0.0	449.4	1.60	0.18	0.0	0.0	1.1	6.8
VARIABLES AT STACK HEIGHT:								
		HEIGHT (M)	WDIR (DEG)	USCAL (M/S)	URISE (M/S)	SIGV (M/S)	SIGW (M/S)	DTHDZ (DEG/M)
		1.1	240.	0.28	0.28	1.56	0.44	0.0000

11. ábra: Példa effektív kibocsátási magasság meghatározására

4.2. Meteorológiai előfeldolgozó (AERMET) működése

4.2.1. AERMET által generált adatok

A diffúzióklimatológiai vizsgálataink célja a légszennyező anyagok terjedése, hígulása és felhalmozódása szempontjából döntő fontosságú meteorológiai elemek és tényezők meghatározása.

Az adatfeldolgozás három különálló szakaszban zajlik.

Az első szakasz a felszíni és a felső légkör adatait nyeri ki azokból a speciális formátumban rendelkezésre álló fájlokból. A második szakasz kombinálja vagy egyesíti a korábban kinyert adatokat a helyspecifikus adatokkal. A harmadik és utolsó szakasz beolvassa az egyesített adatfájlt, kiszámítja az AERMOD által megkövetelt határréteg-paramétereket, és létrehozza a modellhez szükséges meteorológiai adatállományokat.

Az AERMET alapvető célja, hogy meteorológiai méréseket használjon, és kiszámítson határréteg-paramétereket a szél, a turbulencia és a hőmérséklet profiljának becsléséhez. Ezeket a profilokat az AERMOD interfész becsüli meg.

Az AERMET felépítése egy meglévő szabályozási modell előfeldolgozón, a szabályozási modellek meteorológiai feldolgozóján (MPRM) alapul (Irwin, et al., 1988).

Az AERMET által biztosított felületi paraméterek:

- a Monin-Obukhov hosszúság, L ,
- a felületi súrlódási sebesség, u^* ,
- a felületi érdesség hossza, z_0 ,
- a felületi hőáram, H ,
- a konvektív skálázási sebesség, w^* .

Az AERMET a konvektív és a mechanikus keveredett rétegmagasságok becsléseit is megadja, z_{ic} és z_{im} .

Ugyan az AERMOD képes meteorológiai profilokat becsülni olyan adatokkal, amelyek egy mérési magasságból származnak, annyi adatot fog felhasználni, amennyit a felhasználó biztosítani tud a határréteg függőleges szerkezetének meghatározásához. A PBL paramétereken kívül az AERMET minden szél, hőmérséklet és turbulencia mérést az AERMOD igényeinek megfelelő formában átad.

A légköri határréteg növekedését és szerkezetét hő- és lendületáramok vezérlik, amelyek viszont a felületi hatásoktól függenek. Ennek a rétegnek a mélységét és a szennyező anyagok diszperzióját helyi szinten befolyásolják a felületi jellemzők,

például az alatta levő felület durvasága, a visszaverődés (albedó) és a felület nedvességtartalma. Az ISC3-tól eltérően, amelyben minden helyet nyílt terepnek feltételeztek, az AERMET által kiszámított PBL-állapot az alatta lévő felület jellemzőinek függvénye. Ezért a meteorológiai profilok és a környezeti koncentrációk változnak a helytől függően (miközben minden más állandó).

A modellrendszer felhasználójának először meteorológiai adatsorokat kell megadnia az AERMET preprocessor számára.

Az AERMET három típusú adatot képes feldolgozni:

- a meteorológiai szolgálatok által a felszíni szinoptikus meteorológiai mérőállomásokon mért és a felhasználó által a számítási területre reprezentatívnak tekintett adatok,
- magas légköri mérésekből kapott (lehetőség szerint reggeli felszállásokból nyert) szél, hőmérséklet, harmatpont adatok, és
- lehetséges a helyben végzett szél, hőmérséklet, turbulencia, légköri nyomás és sugárzási mérések adatainak a bevitel is.

A program elvégzi az adatok kiválogatását, a minőségellenőrzést, majd a megfigyelési adatok 24 órás periódusba való rendezése után egy köztes fájlt hoz létre, amelyből majd egyesített adatfájlt készít. Ezután előállítja a határréteg paramétereit.

Az AERMET-ben meghatározásra került egy minimális adatszükséglet is, ami feltétlenül szükséges az AERMOD futtatásához. Ilyenkor az egyéb, méréssel nem megadott paramétereit a program képes más mennyiségekből származtatni.

A minimális adatszükséglet:

- szélsébség (u),
- szélirány (D),
- felhőborítottság (n),
- léghőmérséklet (T) és a
- reggeli rádiószonda feláramlási adatok.

Ezen adatok egy része felhasználásra kerül az AERMOD egyéb moduljaiban is, így például a felhőborítottságra szükség van a száraz ülepedés meghatározásához is. Ha a felhőborítottság hiányzik, akkor a gradiens Richardson-számot használják fel a felhővel való borítottság meghatározására.

4.2.2. Meteorológiai adatfájlok forrás

Meteorológiai adatfájlok forrása: <https://www.weblakes.com/met-data/>

A felszíni meteorológiai mezők órás bontásban, míg a magaslégköri mezők napi bontásban állnak rendelkezésre, ez a Lakes Environmental Software (Kanada) adatbázisából kerül megvásárlásra.

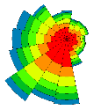
Lakes Environmental Consultants Inc.

170 Columbia St. W, Suite 1

Waterloo, Ontario

N2L 3L3 Canada

Magyarországi viszonylatban javasolt és jól alkalmazható adatok:



WRF AERMET-Ready Data

A Lakes Environmental a Weather Research and Forecasting (WRF) modellt használja a pontos szélmezők kiszámításához a világ bármely pontjára. A WRF kimenetének AERMET meteorológiai adatbeviteli formátumba történő konvertálásához a mezoskála modell interfészprogramot (MMIF) használják.

A Lakes Environmental cégtől kapott meteorológiai adatsor két meteorológiai adatfájlt tartalmaznak:

- AERMET-Ready Onsite (*.DAT) & Upper Air (*.FSL), és
- AERMOD-Ready Surface (*.SFC) és Profile (*.PFL).

Az AERMOD-Ready fájlokat az MMIF által kibocsátott AERMET-Ready adatfájlok feldolgozásával hozták létre az US EPA AERMET meteorológiai előfeldolgozójának legfrissebb verziójával (19191-es verzió). Ez magában foglalja az MMIF által generált AERSURFACE kimeneti fájl használatát a 3. szakasz felszíni jellemzőihez.

Az alábbi táblázat tartalmazza az AERMET-Ready fájlok leírását.

1. táblázat AERMET fájlok

#	Fájl név	Leírás
1	MET2118684_AERMET_2020-2020.IN1	AERMET 1. szakasz bemeneti fájl
2	MET2118684_AERMET_2020-2020.IN2	AERMET 2. szakasz bemeneti fájl
3	MET2118684_AERMET_2020-2020.IN3	AERMET 3. szakasz bemeneti fájl
4	MET2118684_AERMET_2020-2020.DAT	Helyszíni Met fájl
5	MET2118684_AERMET_2020-2020.FSL	FSL Upper Air Met fájl
6	MET2118684_MMIF-AERSURFACE.OUT	Felületi jellemzők fájl

Met Data Order Information:

Order #:	MET2016453
Ordered by:	
Company:	
Met Data Type:	AERMET-Ready (Surface & Upper Air Data)
Start-End Date:	Jan 01, 2019 - Dec 31, 2019
Latitude:	47.550831 N
Longitude:	19.053464 E
Datum:	WGS 84
UTM Zone:	34
Site Time Zone:	UTC+0100
Closest City & Country:	Budapest - Hungary

Calculated Pseudo Met Station Parameters:

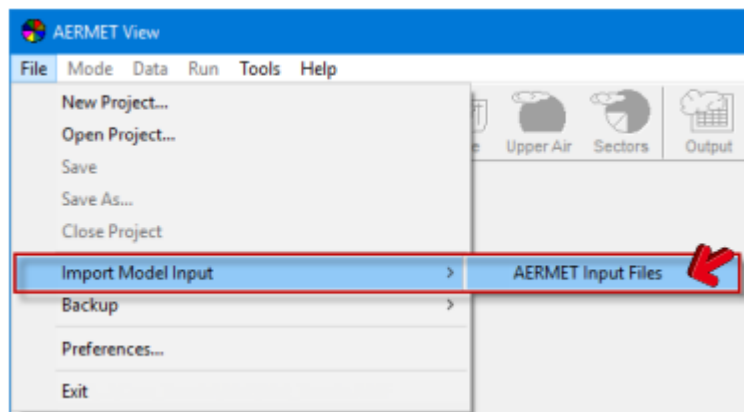
Anemometer Height:	14 m
Station Base Elevation:	200 m
Upper Air Adjustment:	-1 hour(s)



12. ábra Meteorológiai adatsor megrendeléséhez szükséges adatok

4.2.3.Új AERMET View projekt létrehozása – Meteorológiai adatsorok generálása

Az MMIF meteorológiai processzor kimenete 3 AERMET bemeneti fájlt tartalmaz (*.IN1, *.IN2 és *.IN3). Ezek a bemeneti fájlok felhasználhatók egy projekt létrehozásához a AERMET View-ben az alábbiak szerint.



13. ábra Import felület

Minden projektinformáció automatikusan importálásra kerül az AERMET View programba.

Az AERMET View különböző beviteli lapjain lehet meggyőződni arról, hogy az információk megfelelően lettek-e importálva.

- MET2118684_AERMET_2020-2020.DAT
- MET2118684_AERMET_2020-2020.FSL
- MET2118684_MMIF-AERSURFACE.OUT

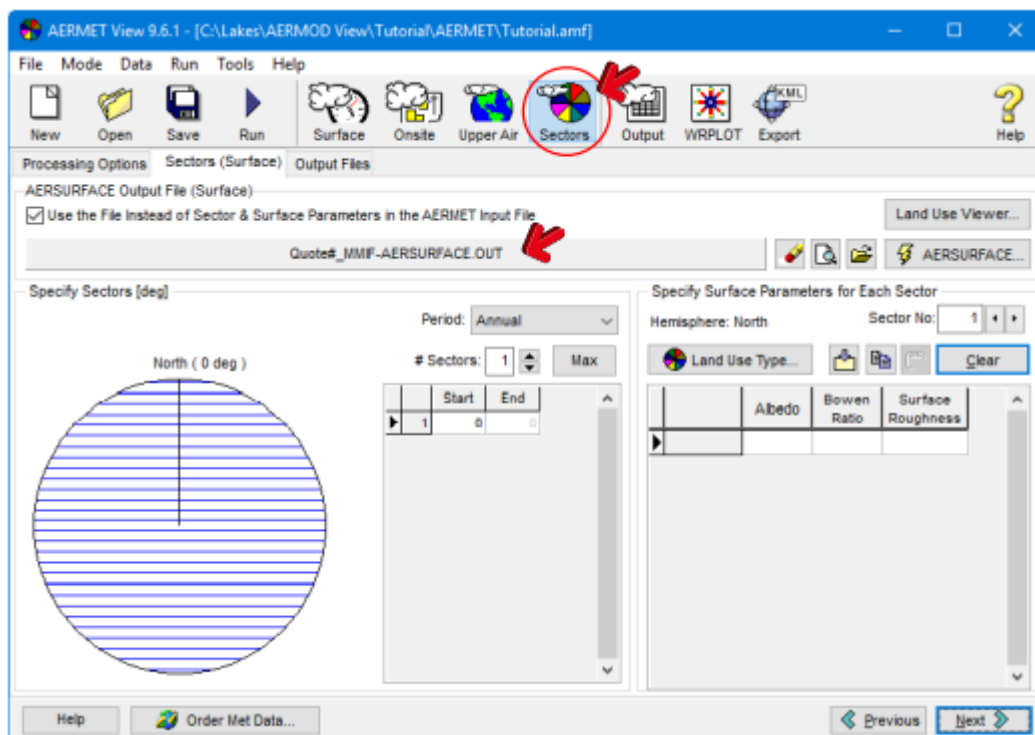
Az alábbi táblázatok a helyszíni mérési adatokat és a felső légkörrel kapcsolatos információkat mutatják be met adatfájlokról.

2. táblázat Óránkénti helyszíni mérési adatok

Paraméter	Érték
Fájl név	MET2118684_AERMET_2020-2020.DAT
Fájl formátum	Helyszíni (generated by MMIF)
Szélesség, hosszúság	47.825 N, 21.303 E
Alapmagasság	88.96 m
Helyi időhöz való igazítás	0 óra (az adatokat helyi idő szerint jelentik)

Szektorok és felszíni paraméterek:

Az AERMET View Sectors (Surface) lapján ellenőrizni kell, hogy az AERSURFACE Output fájlt az MMIF-ből helyesen olvasta-e be. Ez a fájl tartalmazza a megfelelő felszíni paramétereket a pszeudo-metróállomás körül.



14. ábra AERMET View Sectors

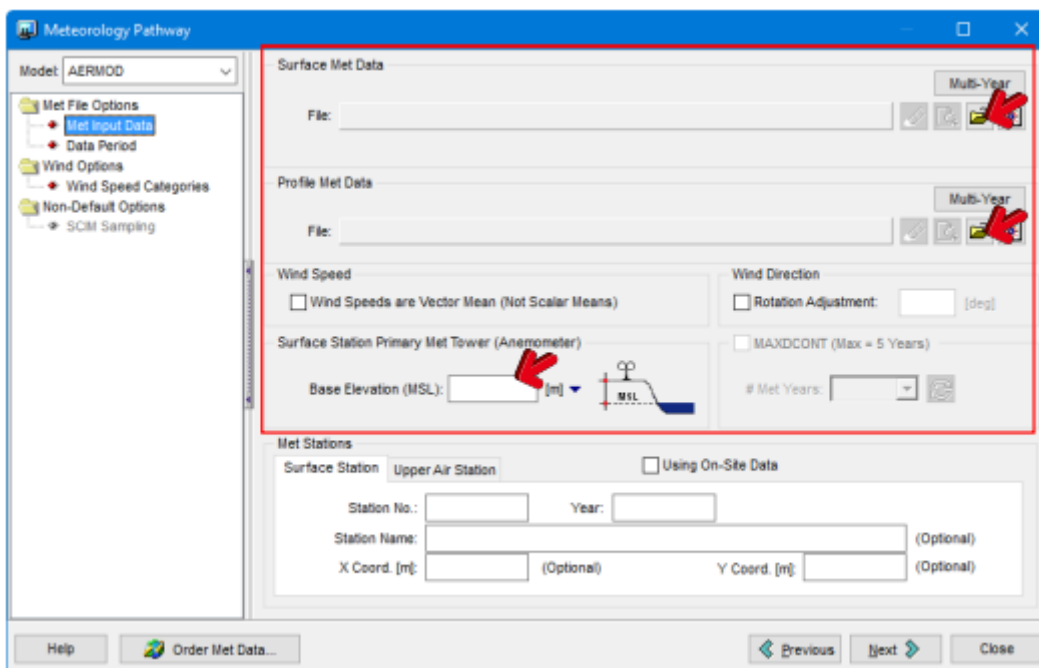
Miután az AERMET View segítségével előfeldolgozta a helyszíni metaadatokat (*.DAT) és a felső légköri metaadatokat (*.FSL), két (2) meteorológiai kimeneti fájl generálódik:

- Surface Met Data (*.SFC)
- Profile Met Data (*.PFL)

Az AERMOD View projekt indítása után a Meteorology Pathway – Met Input Data parancs segítségével lehet a generált szélmezőt beimportálni a modellünkbe.

A Meteorology Pathway - Met Input Data ablakban az AERMET által generált Surface Met Data fájlt (*.SFC) és Profile Met Data fájlt (*.PFL), és legközelebbi mérőállomás tenderszintfeletti magasságát kell megadni.

Base Elevation (MSL) = 88.96 [m]



15. ábra Meteorológiai adatsorok bevitele az AERMOD programba

4.3. Terepi előfeldolgozó (AERMAP) működése

Az AERMAP egy előfeldolgozó, amelyet a terepadatok feldolgozására és a terep alapmagasságának kivonására fejlesztettek ki minden egyes receptor és forrás számára, valamint az AERMOD vezérlőfájlokban használandó dombmagassági skálaértéket minden egyes receptor számára.

A következő táblázat dióhéjban mutatja be az AERMAP bemeneti és kimeneti fájljait.

	Leírás
Bemeneti adatok	A terep magassági adatait tartalmazó számítógépes fájlok
Kimeneti adatok	A receptor és a forrás magassági adatai és egy dombmagassági skálaérték minden egyes receptorhoz, amelyet az AERMAP a légszennyezőanyag-tartalmak kiszámításakor használ fel

16. ábra: AERMAP bemeneti és kimeneti adatai

Az AERMAP-nak szabványosított számítógépes terepadat-fájlokra van szüksége. Az adatok több különböző formátumban állnak rendelkezésre.

Az első a National Elevation Dataset (NED) adat, a The National Map (USA) gyakran frissített, zökkenőmentes, csupasz földfelszín magassági rétege. Az AERMAP a NED-adatokat csak GeoTIFF formátumban olvassa.

A másik formátum a régebbi digitális magasságmodell (DEM) formátum, amely a régi USGS "Blue Book" szabványt követi. Eredetileg ez a formátum volt az AERMAP által

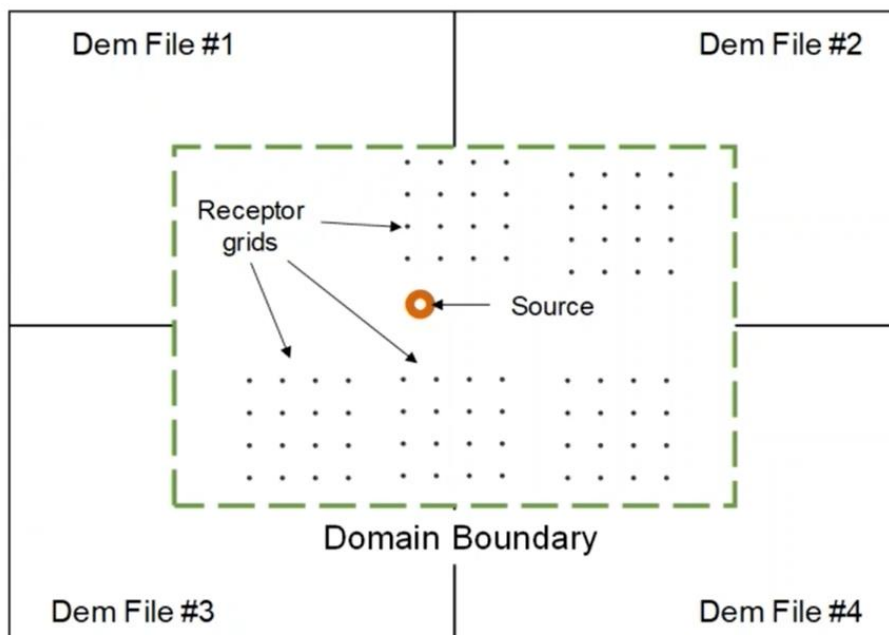
feldolgozott domborzati adatformátum. Az AERMAP továbbra is képes a DEM formátum feldolgozására.

Egy másik, a felhasználó számára elérhető formátum a vízszintes helyzet- és magassági adatok szöveges fájlja, amelyet ebben a felhasználói kézikönyvben XYZ formátumnak nevezünk. Az adatokat azonban először át kell konvertálni a "Blue Book" DEM formátumba. Az EPA Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (SCRAM) weboldalán található egy program az XYZ-adatoknak az AERMAP által olvasható megfelelő formátumba történő konvertálásához.

Az AERMAP a Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) adataiból származó domborzati magasságokat is fel tudja dolgozni, mivel azok ugyanabban a GeoTIFF formátumban állnak rendelkezésre, mint a USGS Seamless Data Server NED adatai. Az SRTM magassági adatok azonban a radarjelek "visszaverő felületének" magasságát jelentik, és ezért tartalmazzák az olyan akadályok magasságát, mint az épületek és a fák (USGS, 2009). A NED-adatok a talaj ("csupasz föld") magasságát képviselik, ami megfelelőbb bemeneti adat a receptorok magasságának és az AERMOD-ban használt dombmagassági skálák meghatározásához. Az AERMOD-felhasználóknak ezért kerülniük kell az SRTM-adatok használatát az AERMOD-ban használandó magasságok meghatározásához. Az SRTM-adatok azonban 3 ívmásodperces felbontásban is rendelkezésre állnak a Föld nagy részére, és az Egyesült Államokon kívüli alkalmazások esetében ez lehet az egyetlen praktikus alternatíva.

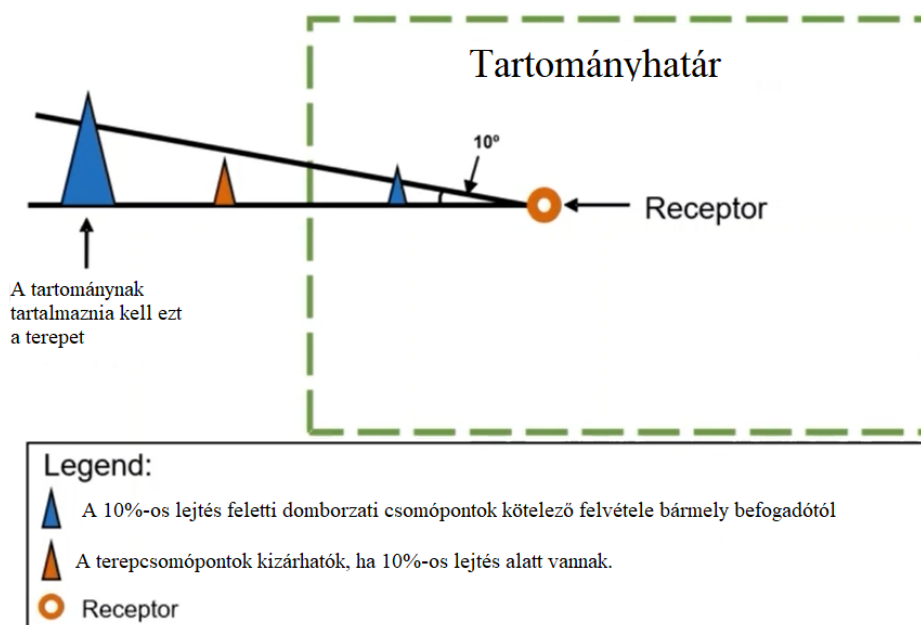
Az AERMAP az UTM (Universal Transverse Mercator) koordinátarendszerre támaszkodik a források és a befogadók helyének meghatározásához.

A modellezési tartomány az a földrajzi kiterjedés, amely magában foglalja az adott AERMAP-futtatásban meghatározott összes receptort és forrást. A tartomány határozza meg a jelentős terepmagasságok régióját is, amelyen belül a terepadatpontokat a dombsági magassági skálák kiszámításakor figyelembe veszik.



17. ábra: DEM-fájlok, tartomány, források és befogadók közötti kapcsolatok

A jelentős terepmagasságok közé tartozik minden olyan terep, amely minden egyes befogadótól 10%-os lejtőn vagy annál nagyobb lejtőn helyezkedik el.



18. ábra: A befogadó szalagvonal és a DEM terepcsomópontok, valamint a DEM és a tartomány határainak kapcsolata

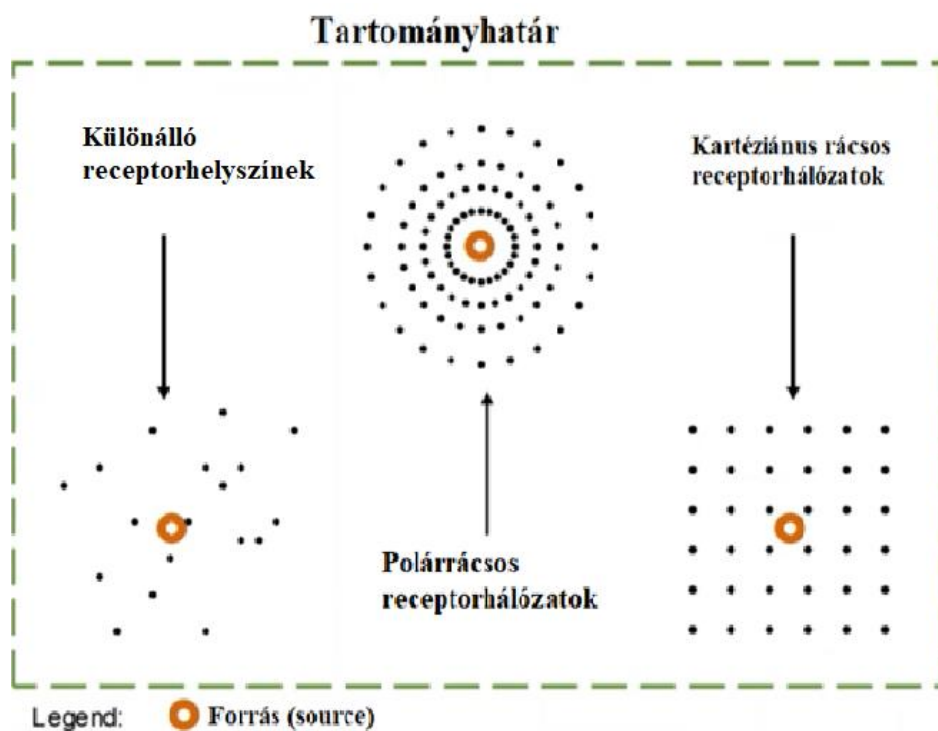
E számítások elvégzéséhez további DEM-fájlokra vagy a NED-fájl(ok) terjedelmének növelésére lehet szükség. A felhasználó feladata, hogy biztosítsa az összes ilyen terepcsomópont lefedettségét.

Az AERMAP többféleképpen is megadhatja a receptorok helyét, lehet használni:

- négyzetrácsos (cartesian) rácsos receptorhálózatok
- polárrácsos receptorhálózatok
- diszkrét (különálló) receptorhelyszínek

Mindegyik receptorhelytípusnak megvannak az előnyei. A rácsos receptorhálózatot egyszerű meghatározni, azonban a rácsos rendszerrel lehetetlen eltávolítani a létesítmény határain belüli receptorokat. Ez a folyamat a különálló receptorok esetében egyszerűbb.

A következő ábra a receptorok helyének megadására szolgáló különböző típusokat mutatja be.



19. ábra Különböző típusú receptorhelyszínek meghatározása

Az AERSURFACE modul a felszíni karakterisztikákat határozza meg az AERMET számára. Ez igen fontos lépés ahhoz, hogy a valóságot jobban közelítő felszíni jellemzőket - mint az albedó, a Bowen-arány és a felszíni érdességi magasság – is figyelembe vegyünk.

Jellemzők:

- Az albedó (α) a felszín által visszavert globálisugárzás és a felszínre beérkező globálisugárzás hányadosa. Értéke 0 és 1 között változik. Az egyes felszín-típusok jellemző albedó értékekkel rendelkeznek.
- A Bowen-arány (β) a szenzibilis hőáram (H) és a latens hőáram (LE) hányadosa. A nappali Bowen-arány a felszíni nedvesség mérőszáma, az albedó pedig más paraméterekkel együtt a konvektív planetáris határréteg magasságának a meghatározására szolgál.
- A felszín érdességi magassága (z_0) az a felszín feletti magasság, ahol a transzmissziós számítások során használt modellbeli szélesség-profil a felszíni súrlódás miatt nullává válik.

A számítási módszer érzékeny ezen felszíni paraméterek változására, ezért a felhasználóknak a valós környezethez legjobban illeszkedő paraméter értékeket kell kiválasztaniuk a modell futtatásakor.

Az AERMAP az adott területre jellemző felszíni tengerszint feletti magasságot számítja ki az egyes receptor pontokra a rácpontokban megadott felszíni adatokból. Ezen adatokat jelenleg kötött adatfájlban, a Digitális Magassági Térkép (Digital Elevation Map, DEM) által meghatározott formátumban kell megadni az AERMAP számára.

Az AERMIC terepi előfeldolgozó, az AERMAP a terepadatokat rácsrendszerben használja a reprezentatív terep-befolyási magasság (h_c) kiszámításához, amelyet terepmagassági skálának is neveznek.

A c terep h magassági skáláját, melyet az egyes receptor helyekre egyedileg határoz meg, használja a h_c osztó áramlásmagasság kiszámítására. Az AERMAP-hez szükséges rácsadatokat a Digitális Elevation Mapping (DEM) adatok közül választja ki. Az AERMAP-et receptorrácsok létrehozására is használja.

Az AERMAP minden egyes receptorra vonatkozóan a következő információkat továbbítja az AERMOD-nak:

- a receptor helyét (x_r, y_r),
- átlag tengerszint feletti magasságát (z_r) és
- a receptor-specifikus terepi magassági skálát (h_c).

A CTDMPLUS (Perry, 1992), az EPA szabályozási modellje bonyolult terepen az osztó áramvonalas koncepciót használja, amelyet egyedi idealizált terepi jellemzőkkel ír le.

A füstfáklya anyagának idealizált domborzattal való kölcsönhatását (azaz a tömeges megoszlást az osztó áramlási magasság, H_c felett és alatt) közvetlenül figyelembe veszi a koncentráció kiszámításánál a dombon lévő bármelyik receptor esetén. Mivel különösen nehéz a valós komplex terepet, mint idealizált terepjellemzők összességét ábrázolni, és az egyes receptorokat egyedi dombokhoz kapcsolni, az AERMAP (az AERMOD terepi előfeldolgozója) a receptor „szemszögéből” kiindulva működik, mintavételezéssel objektíven felméri a tájat az egyes receptorok körül, és így meghatározza az adott receptorhoz tartozó reprezentatív „dombmagasságot”.

A AERMAP-et úgy tervezték, hogy biztosítsa a H_c kiszámításához szükséges terepi információkat (az osztó áramlási magasságot). Az AERMAP módszer meghatároz egy „magassági skálát” (h_c), amely azt a terepet reprezentálja, amely a receptor közelében dominánsnak mondható az áramlás szempontjából (reprezentatív dombmagasság).

A h_c úgy tekinthető, mint a receptort körülvevő terep magassága, amely stabil körülmények között a legjobban befolyásolja az áramlást. Ez a magasság, h_c , nem feltétlenül a legnagyobb magasság a modellezési tartományban, és nem feltétlenül minden egyes terepi jellemző tényleges csúcsa.

A magassági skála használata H_c kiszámításához ésszerű és objektívebb módszert kínál az f súlyozó tényező kiszámításához.

A terepi magassági skálát (h_c) az egyes receptor helyekre (x_r, y_r) a következő eljárással kell meghatározni:

$$h_{eff}\{x_t, y_t\} = z_t f_t\{x_{rt}/r_0\}$$

$$x_{rt} = [(x_r - x_t)^2 + (y_r - y_t)^2]^{1/2}$$

$$f_t\{x_{rt}/r_0\} = (\exp(-x_{rt}/r_0) - \text{terep súly funkció})$$

ahol

r_0 - terep súlyozó faktor; $r_0 \approx 10\Delta h_{max}$

X_{rt} - vízszintes távolság a receptor és a terep között

$h_{eff}\{x_t, y_t\}$ - súlyozott effektív magasságú felület

Δh_{max} - minimum és maximum terepmagasság közötti különbség a teljes modellezési területen

Egy adott receptor esetén h_c meghatározásakor a felhasználó által definiált modellezési tartományon belüli összes terepi magasságot és ezen emelkedéseknek receptortól való távolságát vesszük figyelembe. Ezért minden receptornak egyedi magassági skálája van.

Egy területet és egy receptort (x_r, y_r, z_r), amelyhez egy kapcsolódó terepi magassági skála szükséges.

Az objektív sablonban lévő feltételezés az, hogy

- 1) a környező terep hatása a receptor közelében lévő áramlásra a távolság növekedésével csökken és
- 2) a hatás a terep magasságának növekedésével növekszik.

A környező terep „effektív magassága”, h_{eff} , a tényleges magasságának és a receptortól való távolságának függvénye.

Egy adott receptor esetében a h_{eff} -et kiszámítja a modellezési tartomány összes terepi pontjára, ezáltal létrehozva egy effektív magasságú felületet. Ezért nagyon fontos, hogy a terepi információk már digitalizáltak vagy rácsos formában legyenek. Az egyes receptorok magassági skáláját ezután összekapcsolja a maximális effektív értékkel.

A következő példát mutat arra, hogyan lehet meghatározni ezt az effektív magasságú felületet egy adott receptor esetén.

Az egyszerűség kedvéért ez az ábra csak egy irányt mutat a vizsgált tartományon belül. A tényleges tartomány h_c kiszámításához ezt az eljárást minden irányban végre kell hajtani a receptor esetén.

Miután az effektív magasságú felületet az (1) egyenlet meghatározta, egy adott receptor magassági skáláját a legnagyobb effektív magasságú terepi pont (a receptorra legnagyobb hatással lévő domborzat) definiálja. Vagyis h_c a terep effektív magassága a maximális h_{eff} -fel rendelkező helyen.

A h_c -t a két különféle esetben 1) egyetlen dombra és 2) enyhén lejtős terepre másképp kell kiszámítani.

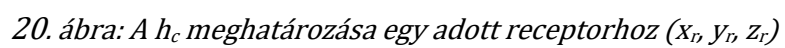
Ezek az esetek szemléltetik, hogy ez az eljárás olyan magassági skálát állít elő, amely összhangban van a kritikus osztó áramlásmagassággal. Egyetlen dombnál h_c a domb magassága, és pontosan erre is számítottunk. Egy enyhe lejtőn azt várnánk, hogy h_c közel van a receptor magasságához, és a modellben enyhe lejtőnél a magassági skála lényegében megegyezik a receptor magasságával.

A magassági skálát a korábbi egyenlet megoldásával lehet kiszámítani a maximális h_{eff} -hez kapcsolódó terepi ponton, oly módon, hogy:

$$h_c\{x_r, y_r\} = \frac{h_{eff}|_{\max}}{f_t\{x_{rt}/r_0\}}$$

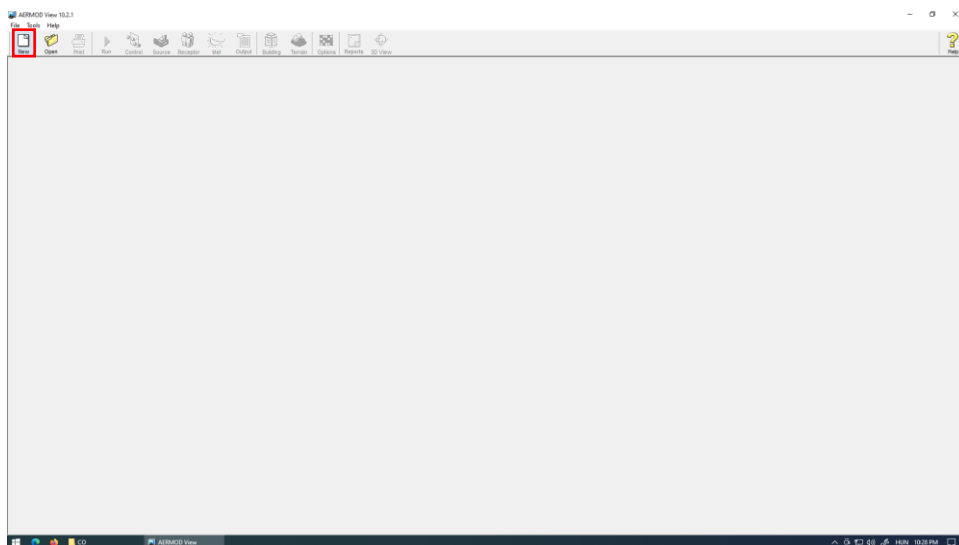
ahol

h_c - receptor-specifikus magassági skála



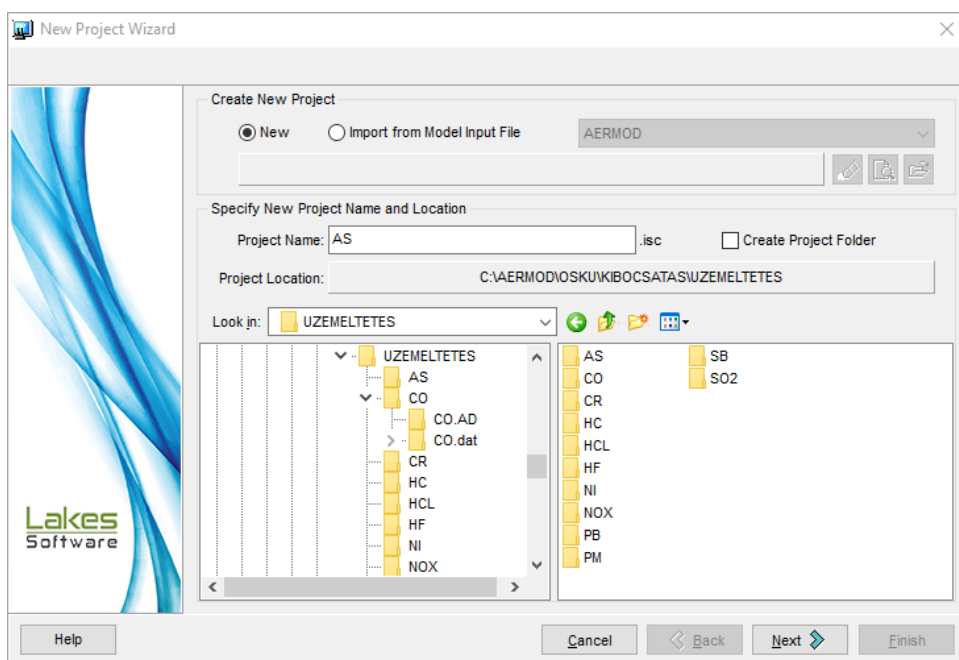
5. AERMOD modell gyakorlati példák

Az AERMOD megnyitása után a fő képernyőn, az ikonsorban található **New** ikonra klikkelve tudunk új projektet rögzíteni. A megjelenő panelen meg kell adni a tállózással az új projekt mentésének a helyét, illetve a nevét. Ezt követően a tovább **Next** gombra klikkelünk.



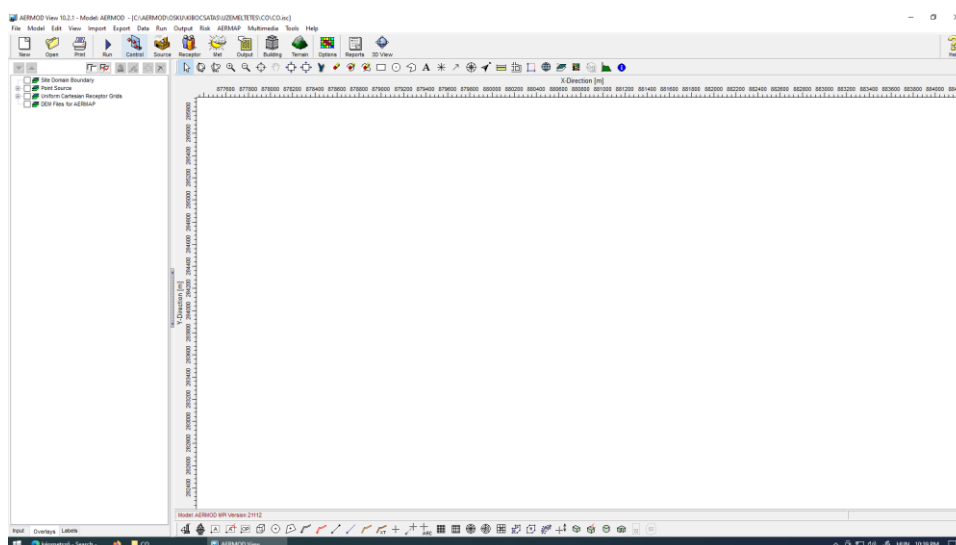
21. ábra: Gyakorlati példa – Új projekt megnyitása

A Következő lépés a projekt nevének és helyének megadása.



22. ábra: Gyakorlati példa – Projekt helye és neve

Ezután megnyílik a projekt üres felülete.



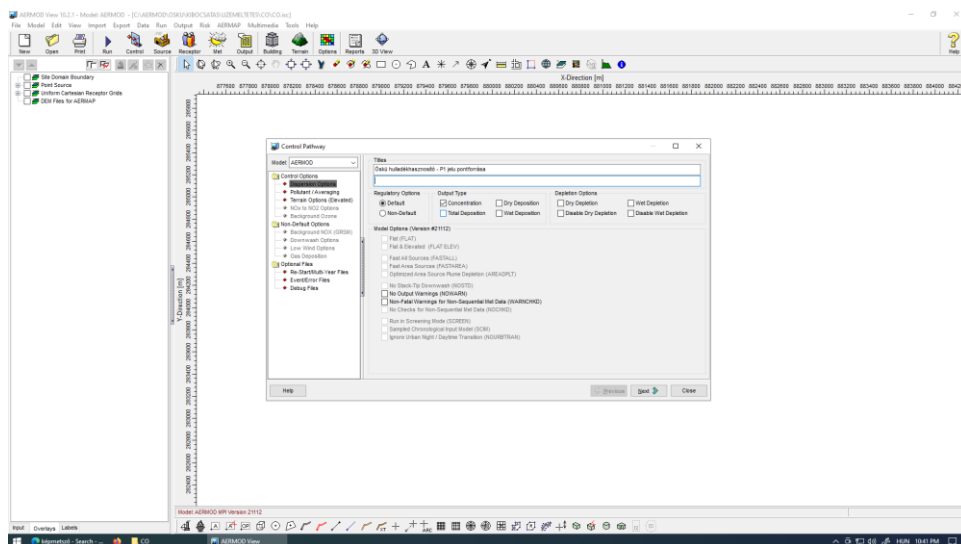
23. ábra: Gyakorlati példa - A projekt üres felülete

A modell készítése során érdemes egy logikai sort követni, bár ettől természetesen igény szerint el is lehet térni. Amennyiben igyekszünk az egyes projektjeink során hasonló lépésekben megadni a szükséges paramétereket és adatokat, úgy kisebb a lehetséges tévedéseknek. A szükséges adatok megadása vagy menükön, vagy az ikonokon keresztül elérhető felületeken történik.

Kezdetben inkább a menük, később az ikonok használata tűnik célszerűbbnek. A menük tematikus csoportokat képeznek, ahol az almenük is logikusan vannak felépítve. Ehhez képest az ikonok valamely funkció gyorsabb elérését teszik lehetővé.

Az adatokat meg lehet adni manuálisan vagy import funkció segítségével. Ez utóbbi módszer nem képezi jelen leírás részét, ez inkább a gyakorlottabb felhasználók részére jelent majd gyorsabb lehetőséget. A modell futtatásához szükséges paramétereket és adatokat a menüsoron lévő **Data** menüből kiválasztott almenük segítségével adhatjuk meg.

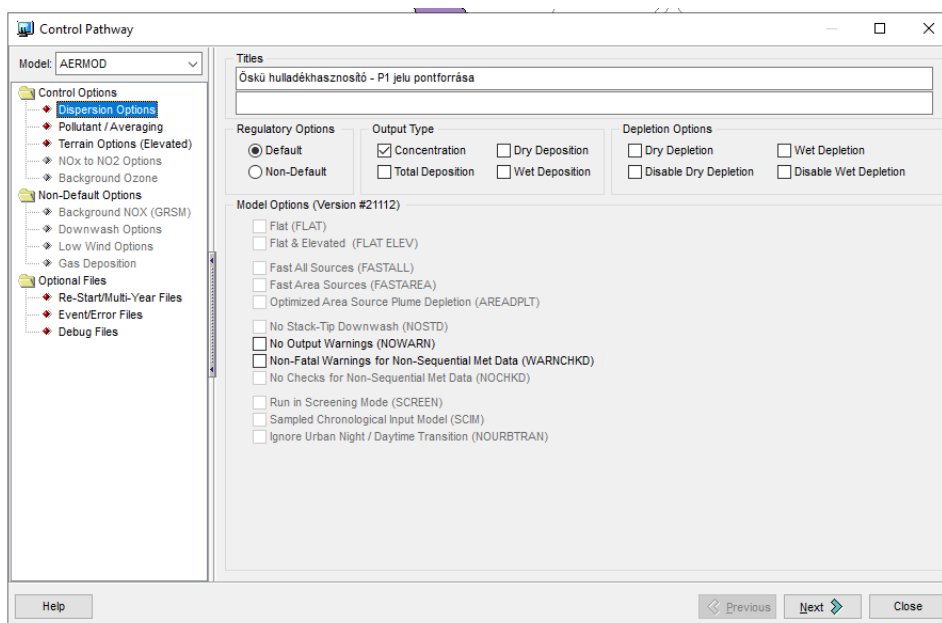
Első lépésben célszerű a modell fő paramétereit megadni. Ez a **Control Pathway** almenüre klikkelve megnyíló űrlapon történik.



24. ábra: Gyakorlati példa - Control Pathway almenü

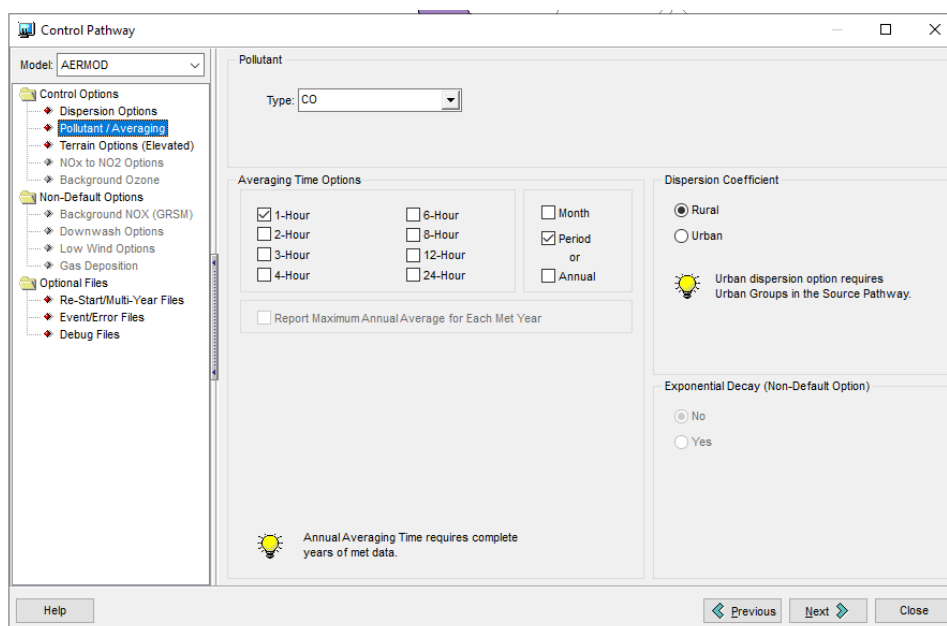
Itt tudjuk megadni a projekt címét, illetve a fontosabb szakmai paramétereket. Az űrlap bal oldalán található almenük kiválasztásával változik az űrlap tartalma. Az almenük megnevezése utal az űrlapon paraméterezhető tartalomra.

Az első almenü pl. A terjedésre vonatkozó paraméterek megadására szolgál



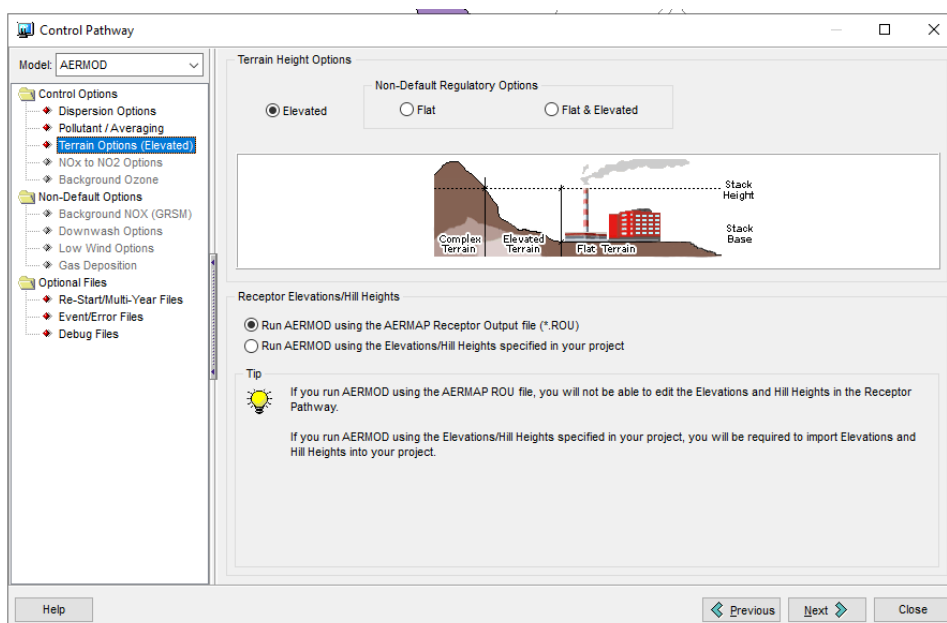
25. ábra: Gyakorlati példa - Dispersion Options

A második a szennyező típusának és az átlagolás módjának megadására stb. szolgál.



26. ábra: Gyakorlati példa - Pollutant / Averaging

Az almenük közül csak azok nyithatók meg, amelyek sötétebb színnel jelennek meg az űrlap bal oldalán. Jellemzően csak a **Control Options** almenüvel kell foglalkozni, ezek közül mindhármat meg kell nyitni és a megjelenő űrlapot ki kell tölteni.



27. ábra: Gyakorlati példa – Terrain Options (Elevated)

Miután megadtuk a projekt fontosabb alap paramétereit, célszerű a forrás rögzítése.

programban szükség van a forrás típusára, a geo-, és műszaki paramétereire, valamint a fajlagos kibocsátási értékre (ezt előtte természetesen ki kell számolni).

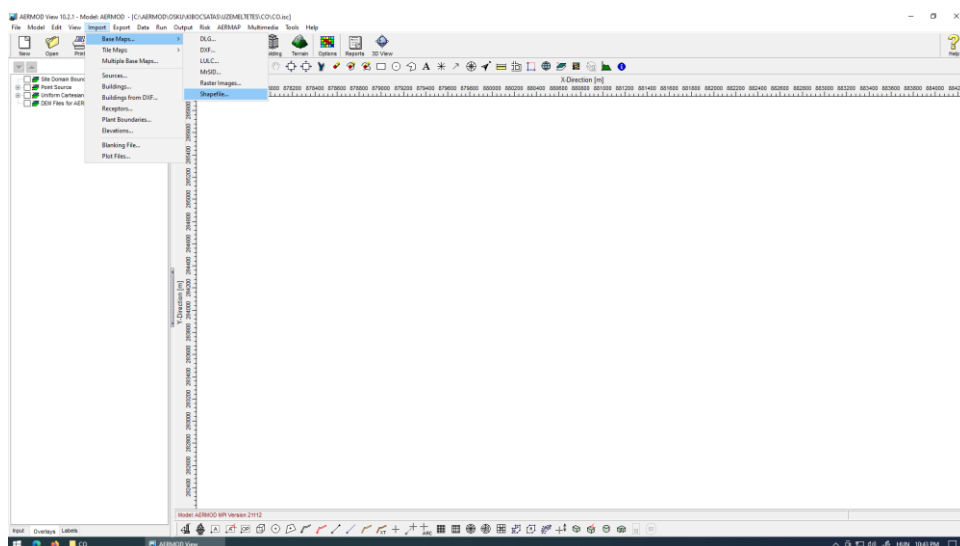
A modell térben, a domborzati és klimatikus viszonyok figyelembevételével jeleníti meg az adott szennyező terjedését, ezért fontos a forrás elhelyezkedésének konkrét meghatározása. Ez történhet koordináták rögzítésével úrlapon keresztül, illetve rajzolással. Pontforrás esetében a manuális bevitel is megoldás lehet, de a felületi és vonal források esetében egyértelműen a rajzolás lehet hatékonyabb megoldás. A szoftver beépített rajzeszközökkel rendelkezik, amit a főképernyő alsó részén találunk.



28. ábra: Rajzeszközök

A forrás rajzolásához a programba be kell importálni valamilyen georeferált állományt (pl. geotiff, shape). Arra is van lehetőség, hogy a Google – vagy más hasonló szolgáltató - térképeit, műholdképét importáljuk a képernyőre.

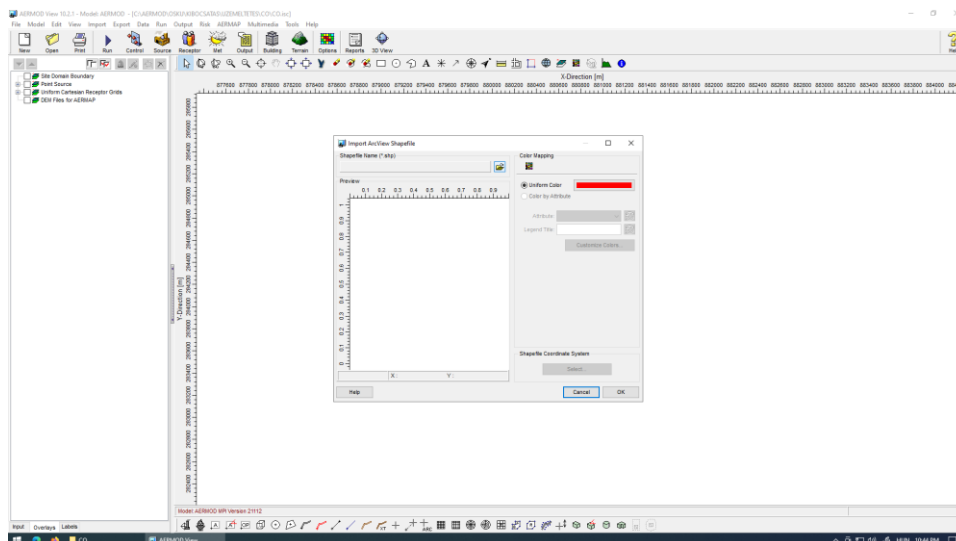
A georeferált kép megjelenítése a forrásrajz eszközzel egyszerűen körbe rajzolható az adott forrás képe. A programban használt rétegek a főképernyő bal szélén láthatóak. Itt jelennek meg az importált raszteres vagy vektoros állományok is. Az egyes rétegek láthatóságát a mellettük lévő jelölőnégyzet segítségével tudjuk szabályozni.



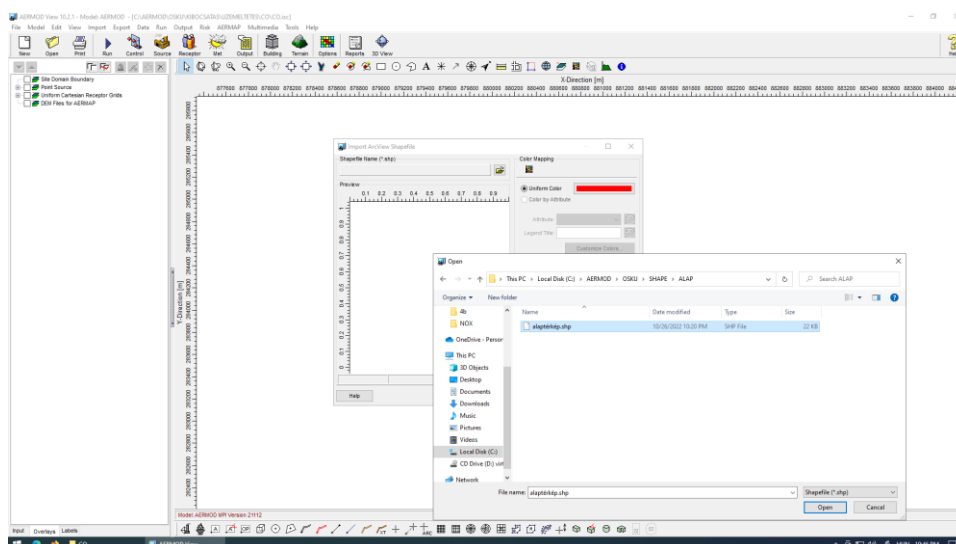
29. ábra: Gyakorlati példa – Import > Base Maps > Shape file

A file-k importálásakor meg kell adni az adott állomány helyét, majd a megjelenő úrlapon egyéb jellemzőket tudunk rögzíteni (pl. vonal színe, vastagsága stb.) Fontos, hogy a program alap vetületi rendszere a WGS84. Amennyiben az importálni kívánt

állomány nem ebben a vetületi rendszerben készült, úgy meg kell feleltetni a vetületeket egymásnak!

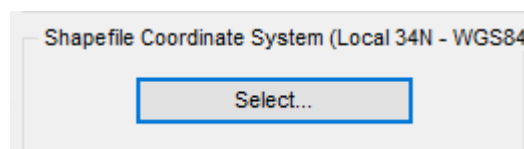


30. ábra: Gyakorlati példa – Import ArcView Shape file



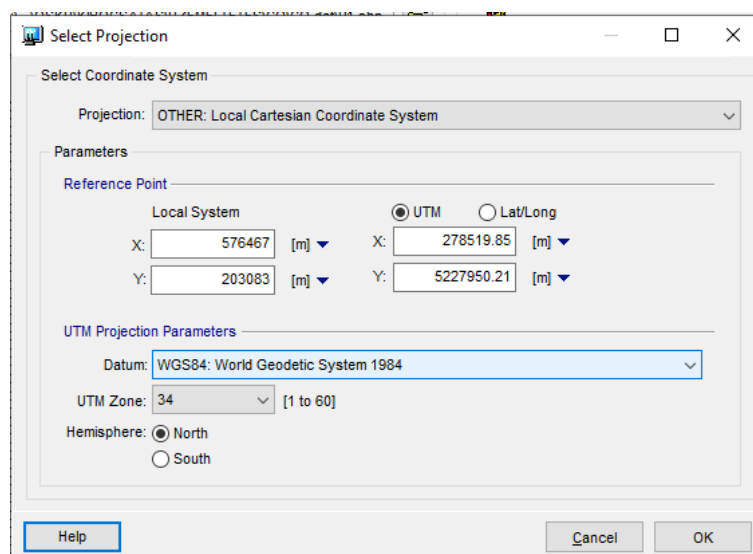
31. ábra: Gyakorlati példa – Import ArcView Shape file > Open

Eltérő vetületi rendszer alkalmazása esetén az űrlapon található nyomógomb segítségével tudjuk meghívni a paraméterező felületet.

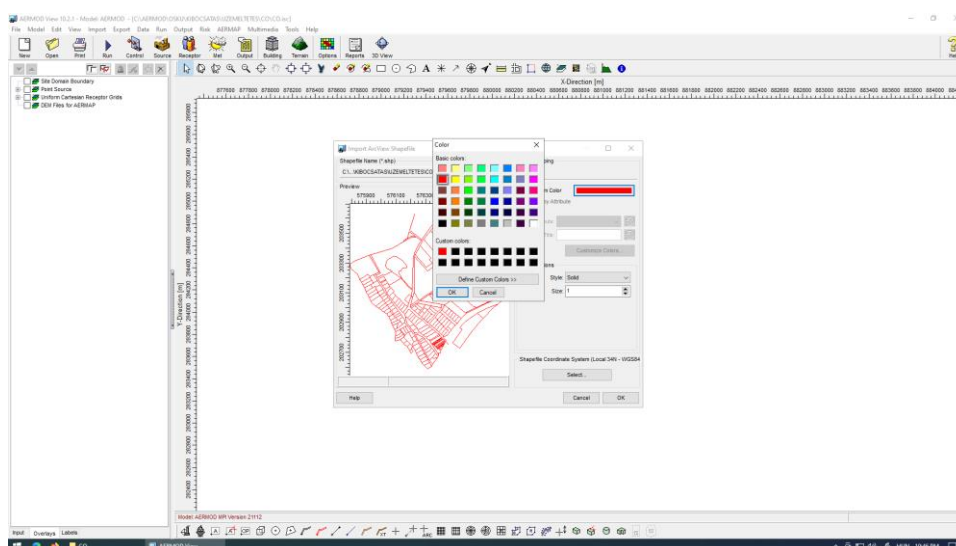


32. ábra: Vetületi rendszer megadása

Az űrlapon meg kell adnunk egy adott pont lokális vetületi rendszerbeli koordinátáit, illetve ugyanazt WGS84-ben ábrázolva.

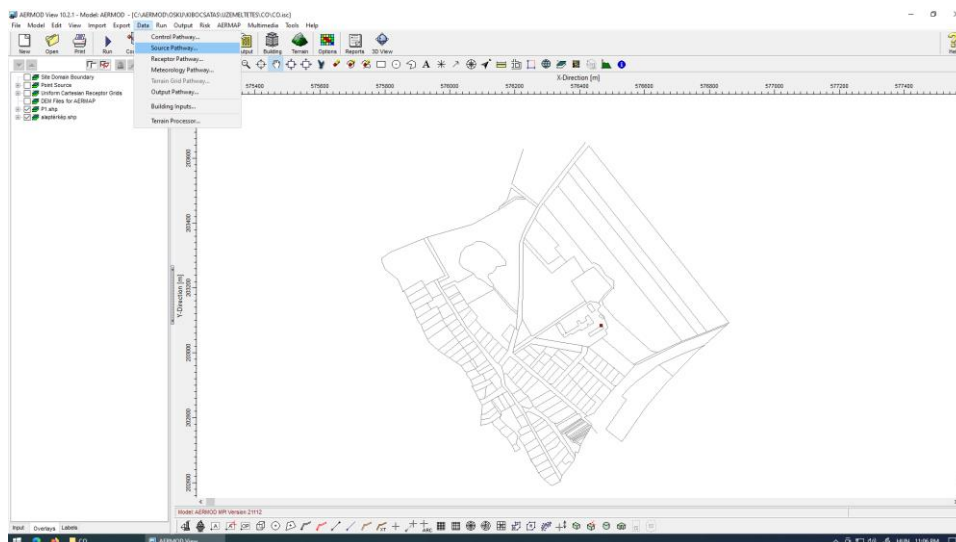


33. ábra: Gyakorlati példa – Select Project > Select Coordinate System



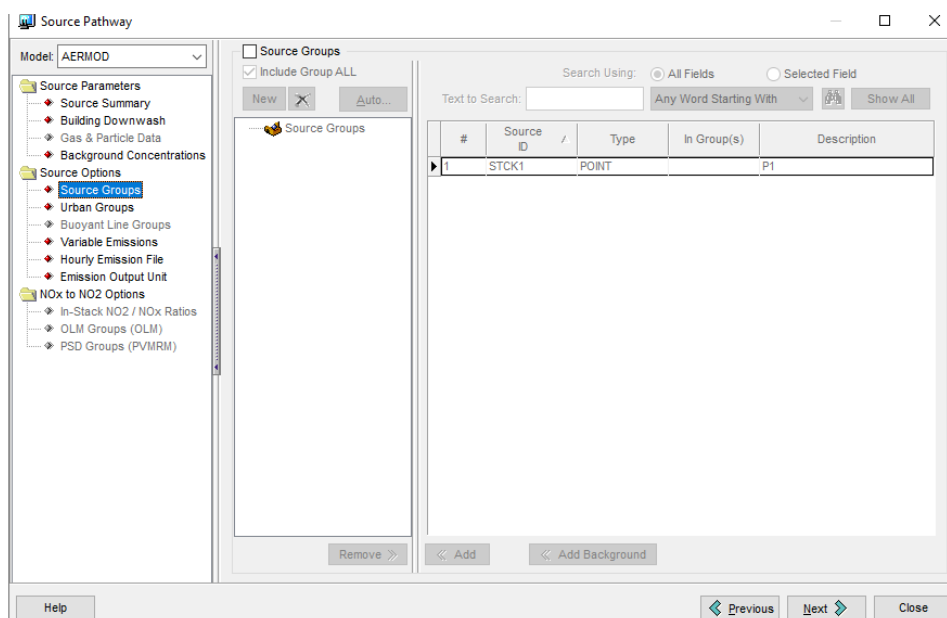
34. ábra: Gyakorlati példa – Import ArcView Shape file > Color

Természetesen a forrás koordinátáinak importálására is van lehetőség, de ez a lehetőség szintén inkább a haladó felhasználóknak ajánlott. Az importálás során kötött formátumú Excel táblázatba kell rögzíteni szükséges információkat és ezt lehet beolvasni a szoftverbe.



35. ábra: Gyakorlati példa – Data > Source Pathway

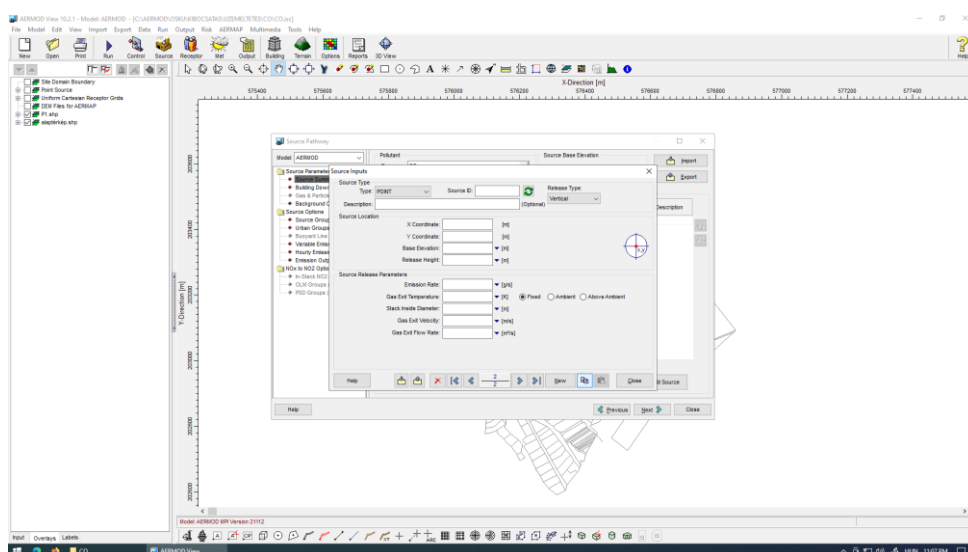
Az egyes ikonok a különböző típusú források rögzítését teszik lehetővé. A rajz befejezése után megnyílik a forrás űrlapja, ahol a töréspontok koordinátái automatikusan megjelennek. Így az űrlapon csak a többi szükséges adatot kell megadni manuálisan. Ha több forrás is van a modellben, úgy az űrlap alján lévő vezérlőkkel tudunk ugrálni az egyes források között. A középen lévő számláló mutatja a források számát és azt, hogy ezek közül éppen melyiknek az adatai vannak megjelenítve. A felületen keresztül lehetőség van a források kötött formátumú külső állományokból történő importálására vagy hasonló állományokba exportálására is.



36. ábra: Gyakorlati példa – Source Pathway > Source Options > Source Group

Amennyiben több forrást is rögzítünk a modellbe, úgy tudjuk őket csoportosan is kezelni. Ez azt jelenti, hogy forráscsoportot hozunk létre és az adott csoportba

felvesszünk néhányat a rögzített forrásaink közül (típustól függetlenül). A modell futtatásakor ilyenkor az egyes források által kibocsátott koncentrációk mellett a csoportba fogott források összesített koncentrációi is számításra kerülnek. A forráscsoport létrehozása a Source Groups jelölő segítségével történik. Alkalmazása után aktívvá válik a felület és lehetővé válik új (New) csoport megadására. Ha megjelent a csoport, a képernyő jobb oldalán található források közül az **Add** gomb segítségével tudjuk az adott forrást a csoporthoz rendelni. Természetesen több csoport létrehozására is van lehetőség. Egy forrást viszont csak egy csoporthoz lehet hozzárendelni!



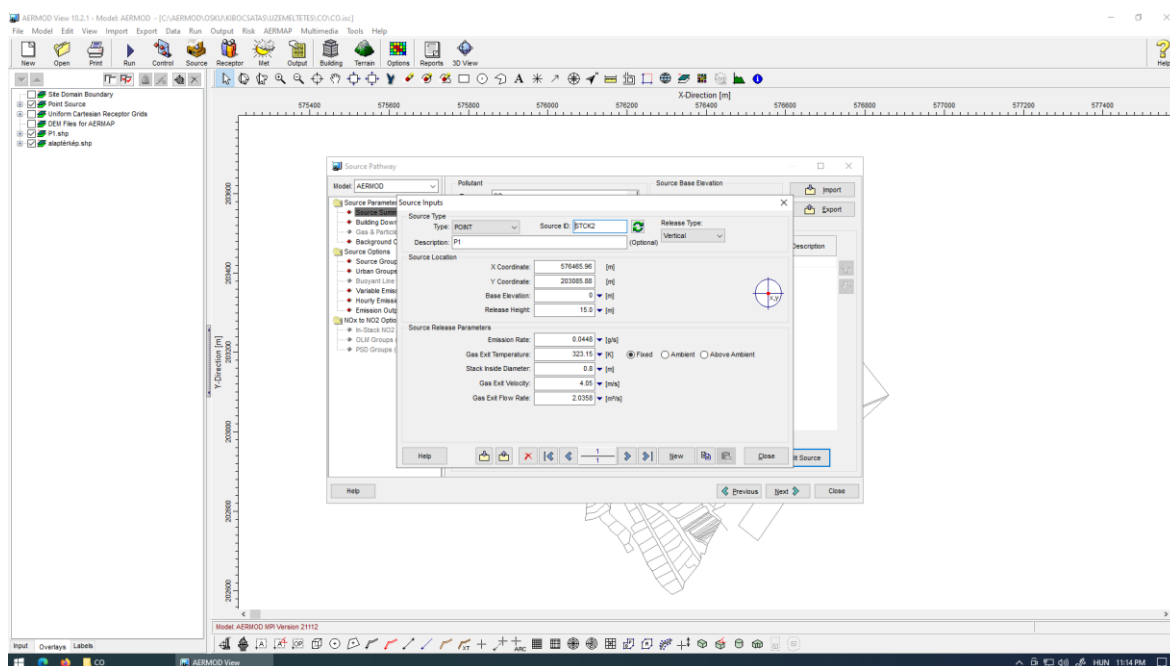
37. ábra: Gyakorlati példa – Source Pathway > Parameters > Source Inputs

A kibocsátási értékek meghatározása megfelelő levegővédelmi szakértői gyakorlatot igényel. A pontforrások esetében viszonylag egyszerű dolgunk van. A modell csak a pontforrás terepszinthez viszonyított magasságát, a füstgázok sebességének meghatározásához szükséges alapvető paramétereket és a véggázok hőmérsékletét igényli.

3. táblázat Pontforrások beillesztéséhez szükséges minimális adatigény (példa)

Paraméterek	P1
Pontforrás magassága (m)	15,0
Hidraulikai átmérő (m)	0,8
Keresztmetszet (m²)	0,503
Véggáz normál térfogatárama (m ³ /h)	7326
Véggáz sebessége (m/s)	4,05
Véggáz hőmérséklete (K)	323,15

4. táblázat: Gyakorlati példa - Paraméterek



38. ábra: Gyakorlati példa – Source Pathway > Parameters > Source Inputs kitöltése

A felületi források emissziójának meghatározása bonyolultabb feladat. A modell a forrást egy nagy kibocsátási felületként értelmezi, tehát a forrás valamennyi pontja ugyanazt a szennyező anyagot bocsátja ki.

Egy egyszerű példán keresztül mutatjuk be a kibocsátás meghatározását.

Tételezzük fel, hogy egy 1 ha-os munkaterületen egyszerre az alábbi munkagépek mozognak: 1 db gréder, 2 db forgórakodó, 1 db dózer, 2 db tehergépkocsi és 2 db tömörítő gép.

5. táblázat Fajlagos légszennyező anyag kibocsátás meghatározása (példa)

Munkagép megnevezése	Munkagépek száma (db)	Teljesítmény (kWh)	Fajlagos légszennyező anyag kibocsátás (g/h)				üzemidő (h)
			CO	HC	NO _x	PM ₁₀	
Gréder	1	120	600	22,80	48,0	1,80	4
Forgórakodó	2	125	625	23,75	50,0	1,88	4
Dózer	1	325	1138	61,75	130,0	4,88	2
Tehergépkocsi	2	295	1033	56,05	118,0	4,43	0,1
Tömörítő gép	2	36	180	6,84	14,4	0,54	4

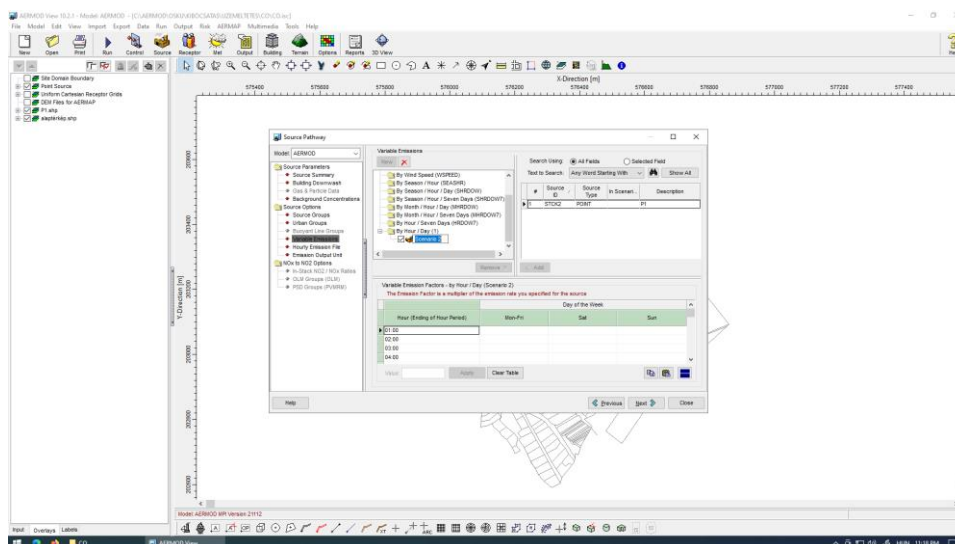
6. táblázat Emisszió meghatározása (g/s)

Felületi forrás	CO	HC	NO _x	PM ₁₀
Munkagépek	0,393	0,016	0,034	0,001

A munkagépek üzemórájának figyelembevételével átlagosan a 8 db munkagép nitrogén-oxid (NO_x) kibocsátása 0,034 g/s. A szakértői gyakorlatban a forrás területének függvényében a kibocsátás már számolható esetünkben ez NO_x tekintetében 3,44E-06 g/s.

A korábban megadott jellemzők mellett szükség van még a működési időtartam megadására. A szoftver nagyon jól paramétrezhető, szinte minden időintervallum beállítható. A példában feltételezzük, hogy a pontforrásunk egész évben minden hétköznap 8-16 óra között működik.

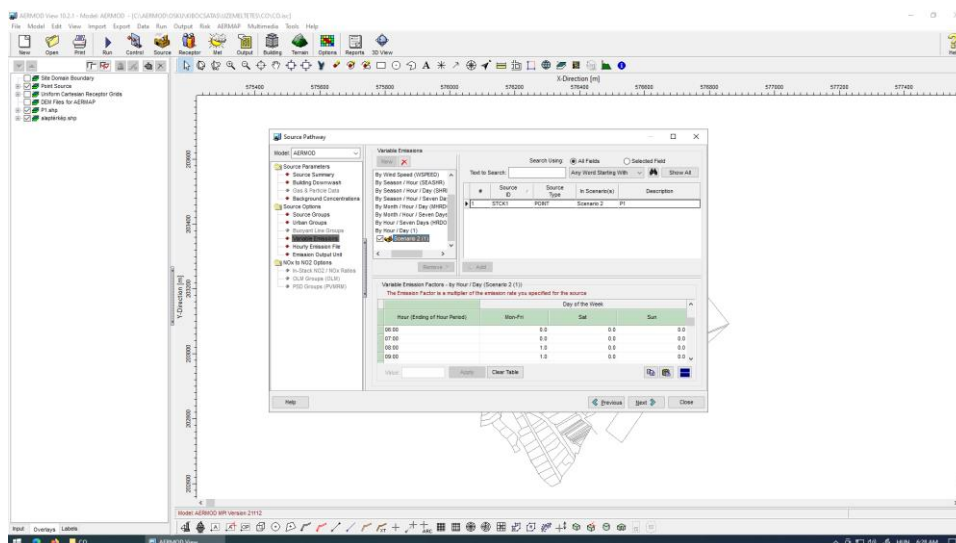
A forrás űrlap bal oldalán lévő menüben kiválasztjuk a **Variable Emissions** almenüt, itt tudunk egy új időváltozatot létrehozni, illetve paramétrezni. A példánál maradva a nap és óra (By Hour/Day) alapot választjuk ki, majd az űrlap alsó részén megadjuk, hogy munkanapokon, szombaton és vasárnap pontosan mikortól meddig van kibocsátás. Nulla értéket kapnak azok az órák, amikor nincs kibocsátás.



39. ábra: Gyakorlati példa – Source Pathway > Variable Emissions

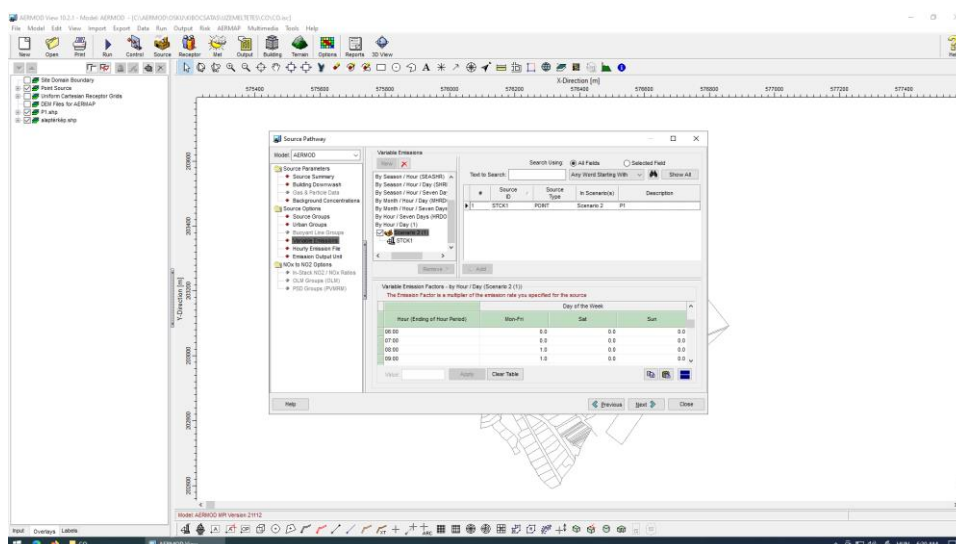
Amennyiben van kibocsátás, úgy max 1 értéket írunk az adott órához. Az 1 százszázalékos kibocsátást jelent. Értelemszerűen van lehetőség töredék kibocsátási kapacitások bevitelére is. Ha például adott forrás nem teljes kapacitással kezd a

működését, úgy itt lehetőség van ezt figyelembe venni. Ilyenkor valamilyen 0-1 közötti, tört értéket rendelhetünk az adott órához.



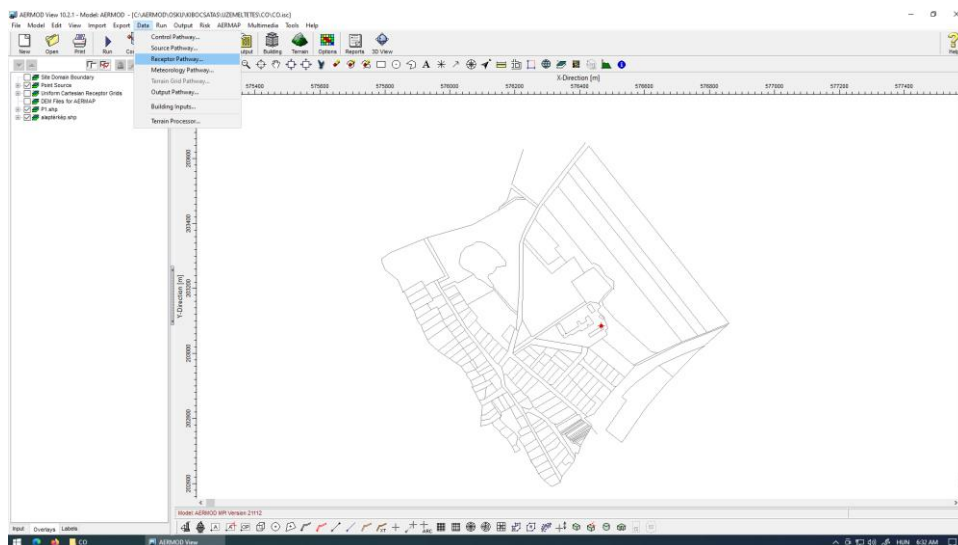
40. ábra: Gyakorlati példa – Source Pathway > Scenario

Miután végeztünk az adott időváltozó rögzítésével, ne felejtsük el a megfelelő forrást hozzárendelni! Elképzelhető, hogy több forrásunk van a modellben, amik eltérő napokon teljesen más időszakban működnek. Ilyen esetben több időváltozót kell létrehozni. Egy időváltozóhoz több forrás is hozzárendelhető. Más sablonok alkalmazásával választhatunk évszak, hónap, de akár dátum specifikus lehetőségek között.



41. ábra: Gyakorlati példa – Source Pathway > Scenario > STCK1

A források rögzítése után célszerű a receptorokat bevinni a modellbe. Ezek létrehozása a forrásokhoz hasonlóan történik. Van lehetőség úrlapon keresztül történő rögzítésre, ilyenkor a **Data – Receptor pathway** menüt használjuk.



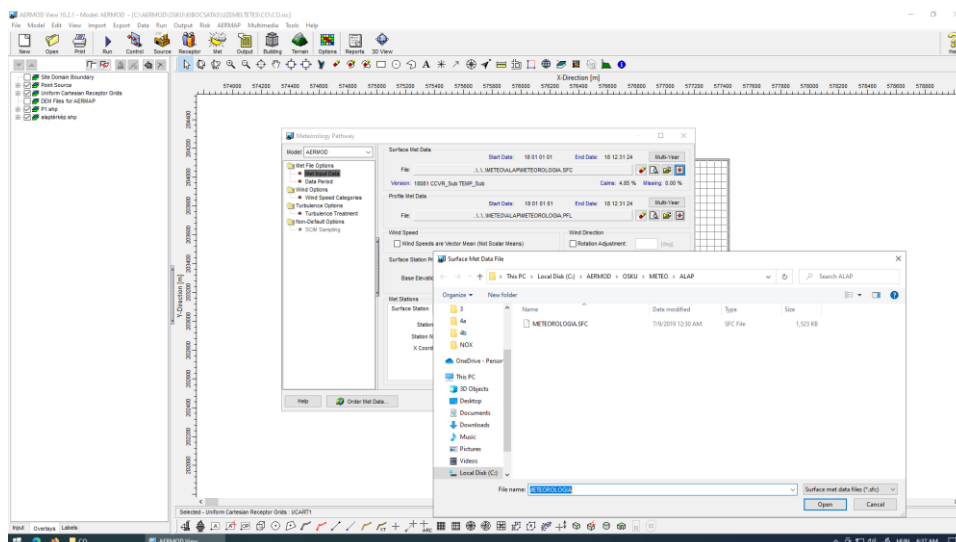
42. ábra: Gyakorlati példa – Data > Receptor Pathway

Abban az esetben, ha nem pontszerű receptort alkalmazunk, úgy könnyebb a rendelkezésre álló rajzeszközöket alkalmazni a háló területre történő illesztése céljából. A főképernyő alján találhatóak a különféle receptortípusok rajzolását lehetővé tevő ikonok.



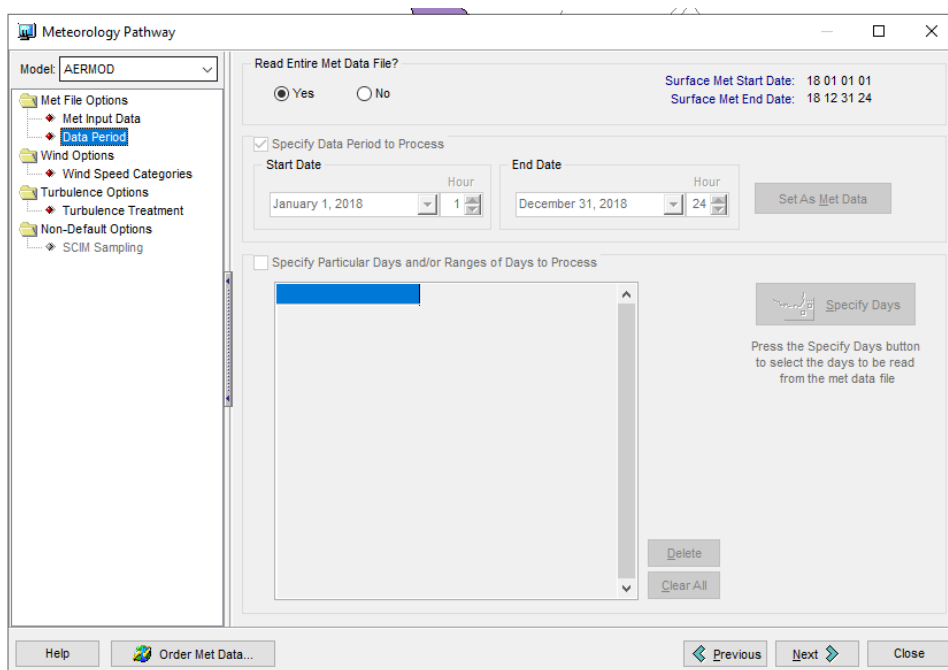
43. ábra: Rajzeszközök receptortípusok rajzolásához

A megfelelő ikon kiválasztása után a képernyőre rajzolhatjuk a lefedni kívánt területet. A rajz befejezése után automatikusan megnyílik a létrehozott receptor adatlapja, ahol megadhatjuk a még hiányzó adatokat, illetve módosíthatjuk a rajzhoz automata módon rögzített paramétereket is.



48. ábra: Gyakorlati példa – Meteorology Pathway > Surface Met Data File

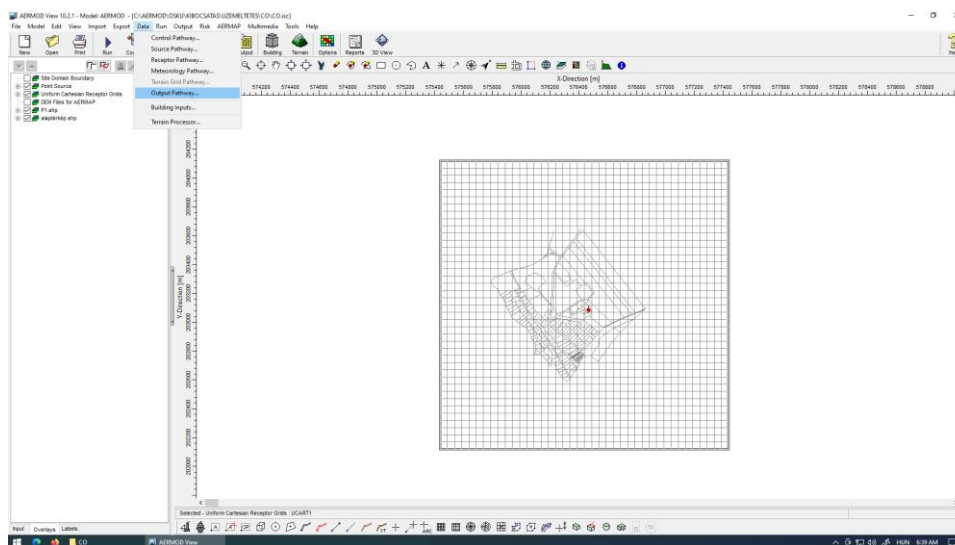
A meteorológia űrlap bal oldalán található almenük között lehet kiválasztani az időszak paraméterezésére szolgáló felületet. A Data Period linkre klikkelve megnyílik a megfelelő űrlap, ahol be lehet állítani a rendelkezésre álló meteorológiai adatok keletkezésének időszakát. Ez fontos, mivel az itt megadott időszakra nézve kerül meghatározásra a terjedési modell.



49. ábra: Gyakorlati példa – Meteorology Pathway > Data Period

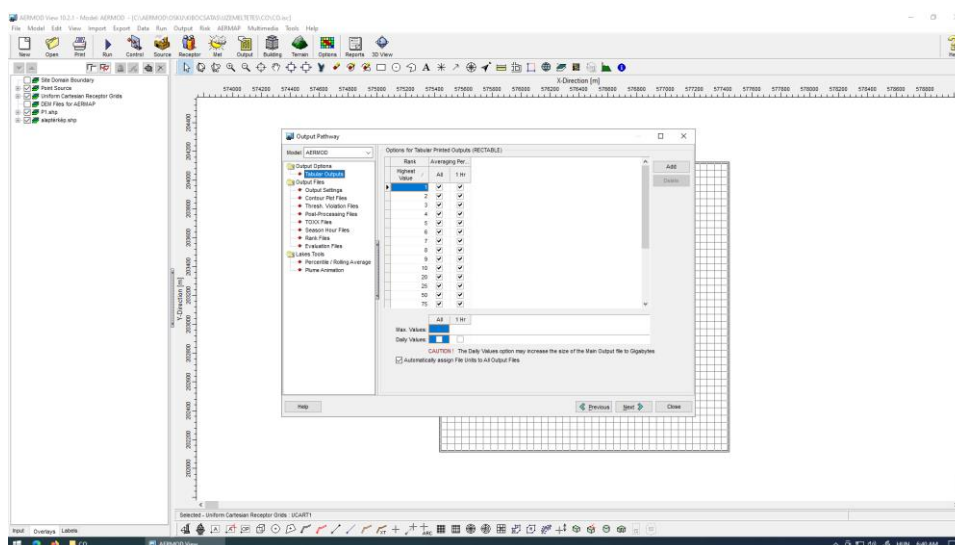
A modell készítésének maximális időszaka tehát a meteorológiai űrlapon beállított periódus lesz. Ezen belül azonban a szoftver csak azokat a napokat fogja futtatni, amikor volt kibocsátás.

A következő lépésben a kimeneti paramétereket kell megadni. A beviteli felület a **Data – Output pathway** almenü segítségével hívható meg.



50. ábra: Gyakorlati példa – Data > Output Pathway

A kimeneti állományok beállítása a kezdő felhasználók számára nem szükséges.

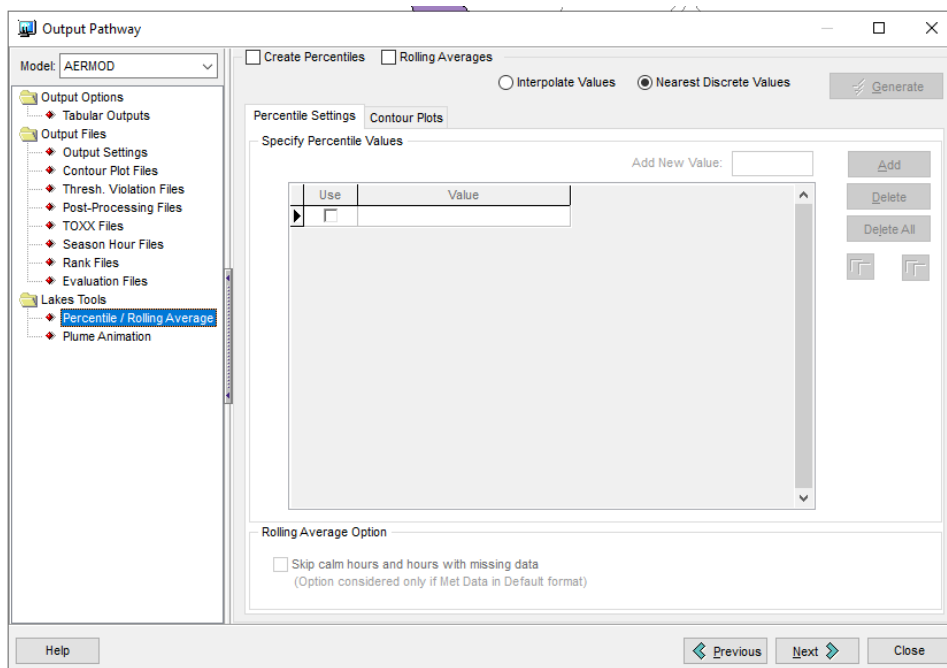


51. ábra: Gyakorlati példa – Output Pathway > Output Options > Tabular Outputs

Az űrlap bal oldalán található menüből csak a Tabular Outputs-al szükséges foglalkozni. Itt tudjuk beállítani, hogy a legrosszabb állapot (maximális koncentráció) számítása során a szoftver milyen számítási módszert alkalmazzon. Gyakorlatilag az átlagolásba vont értékek számát tudjuk beállítani. Alapérték az 1, ami azt jelenti, hogy a teljes vizsgált periódus során számított legmagasabb koncentráció értéke lesz a maximum. Amennyiben a beállítás értéke 2 úgy a két legmagasabb érték átlaga lesz a maximális koncentráció. Az átlagolandó értékek száma 1 és 1000 között lehet. Amennyiben a listában valamely érték szerepel és be van pipálva, úgy a szoftver kiszámítja a

beállításnak megfelelő maximális koncentrációt és az ahhoz képest kialakuló terjedési távolságokat.

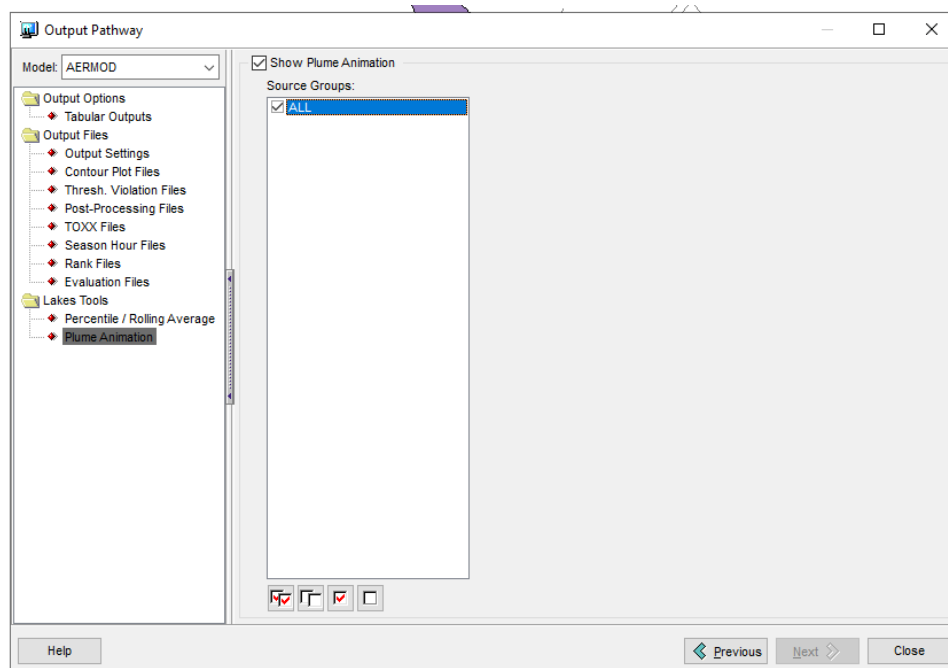
A kimenetek megadása során lehetőség van a percentilisek figyelembevételére, valamint terjedési szimuláció elkészíttetésére. A jobb oldalon található **Lakes Tools** menüben a **Percentile / Rolling Average** és a **Plume Animation** almenüket aktiválva tudjuk ezt a két funkciót elérni.



52. ábra: Gyakorlati példa – Output Pathway > Lakes Tools > Percentile / Rolling Average

A percentilisekre pl. az NO₂ szennyező modellezésénél lehet szükség. Itt az elv nem kerül ismertetésre, csak szoftverben történő használati lehetőségének említése a cél.

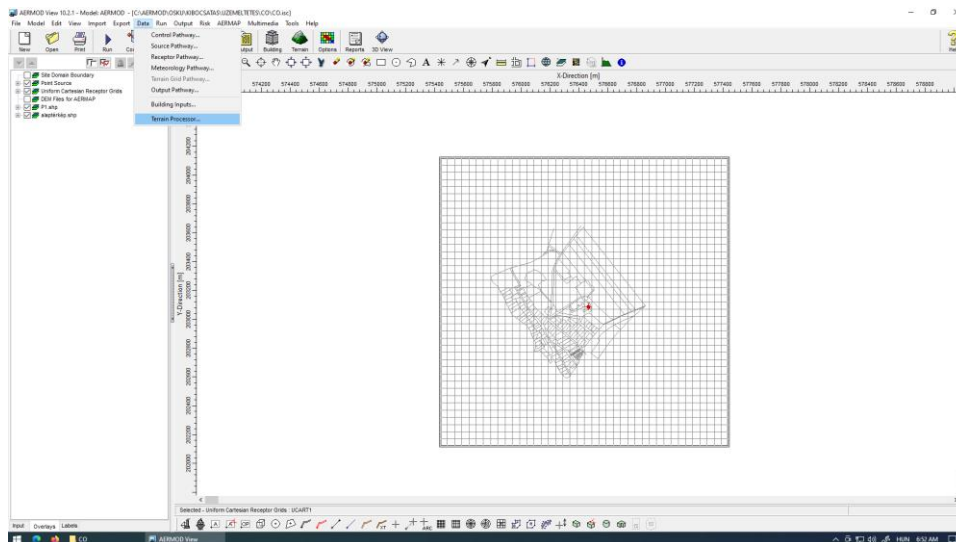
A megfelelő jelölő négyzet kiválasztása után aktívvá válik alul a beviteli felület. Ott a szándékunk szerinti értéket be tudjuk rögzíteni. A 98-as percentiliséknél (a nagyság szerint sorba rendezett adatokból felül és alul 1-1 % kihagyásra kerül) 98-as értéket kell rögzíteni az **Add New Value** mezőbe és az **Add** gombra klikkelve az érték automatikusan megjelenik az alkalmazásra kerülő percentilisek listájában. Egy modellben több percentilist is lehet alkalmazni, ilyenkor futtatás után minden percentilissel számított maximum és terjedés kiszámításra kerül.



53. ábra: Gyakorlati példa – Output Pathway > Lakes Tools > Plume Animation

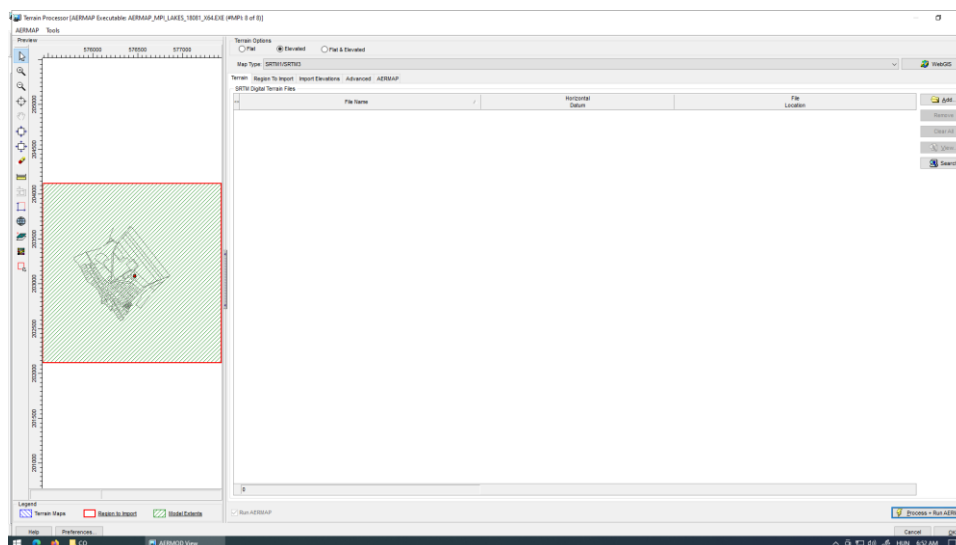
A szoftver képes terjedési szimulációt készíteni, amit video formátumban el is lehet menteni. A funkció kiválasztása után egy űrlapot kapunk, ahol aktiválni tudjuk az animáció elkészítését. Az animáció készítése során a program – alapértelmezés szerint - az átlagos állapotot veszi figyelembe. Ha ettől eltérő animációt akarunk készíteni, akkor forrás csoportokat kell létrehozni, mivel egy-egy csoport által okozott szennyezés térbeli terjedésének megjelenítésére van lehetőség. Ha több forrás közül csak egynek a szennyezését akarjuk szimulálni, akkor létrehozunk egy forráscsoportot, amihez összesen egy forrást rendelünk hozzá.

A szoftver a modellek készítése során a meteorológiai információk mellett a domborzati jellemzőket is figyelembe veszi. A források környezetére automatikusan el tudja készíteni a domborzati modellt. Természetesen van lehetőség külső forrásból származó – akár részletesebb – domborzati modellek importálására is, de a tapasztalatok szerint a felkínált automata lehetőség (SRTM1 alapú DTM) is megfelel szakmailag.




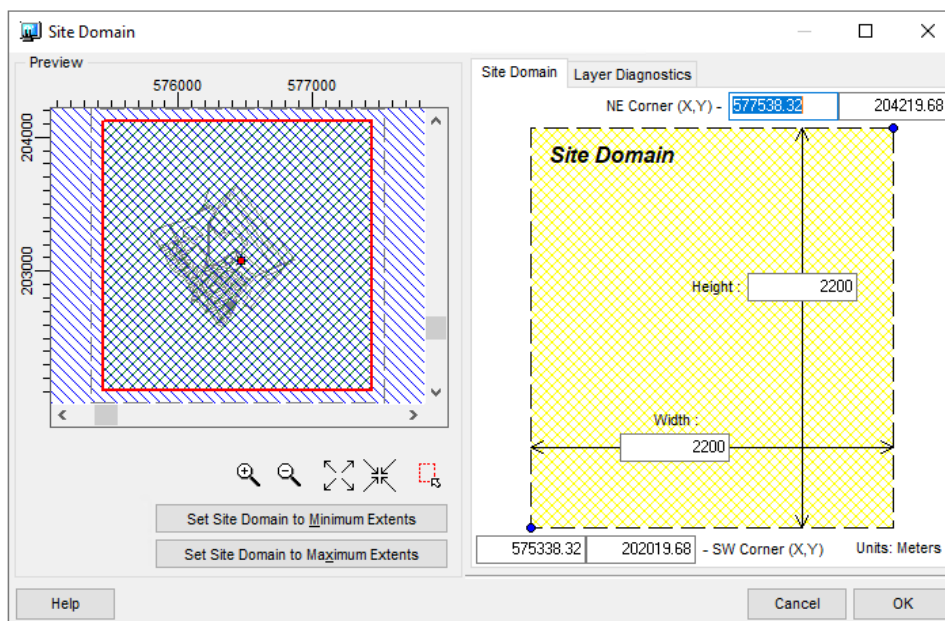
54. ábra: Gyakorlati példa – Data > Terrain Processor

A **Data** menü **Terrain Processor** almenüje segítségével tudjuk meghívni a szükséges űrlapot, ahol a célterülethez hozzá tudjuk adni a megfelelő domborzati modellt.



55. ábra: Gyakorlati példa – Terrain Processor

A főképernyő bal oldalán található ikonok közül a  klikkelve megnyílik egy űrlap, ahol pontosítani tudjuk a célterületünket.



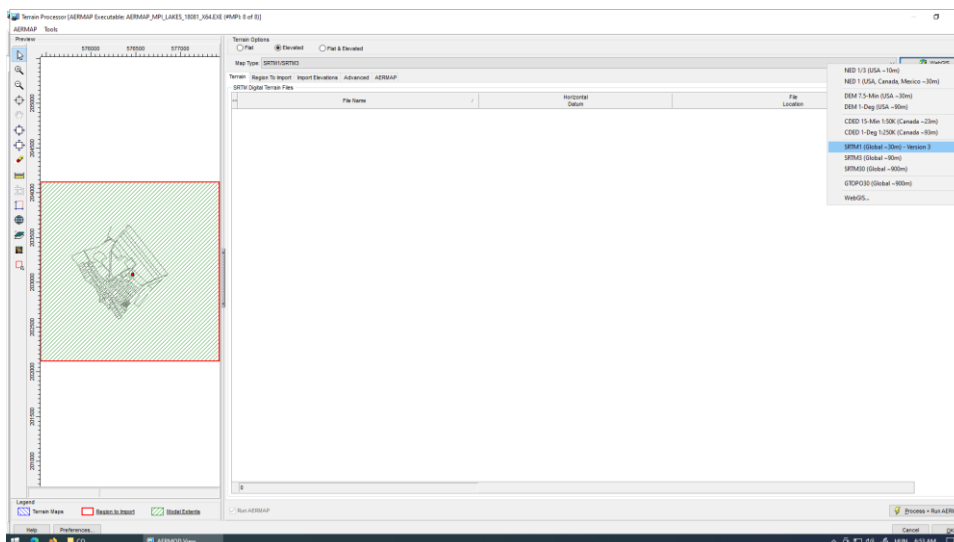
56. ábra: Gyakorlati példa – Site Domain

Az űrlapon érdemes a Set Site Domain to Minimum Extents feliratú nyomógombra klikkelni. Ebben az esetben a korábban definiált receptorhálónak megfelelő területet láthatjuk. A rendszer automata módon a pirossal jelölt területre fogja letölteni a digitális terepmodellt.

Amennyiben a receptorhálónál nagyobb területre kívánjuk letölteni a DTM-et, akkor a

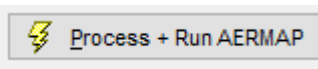


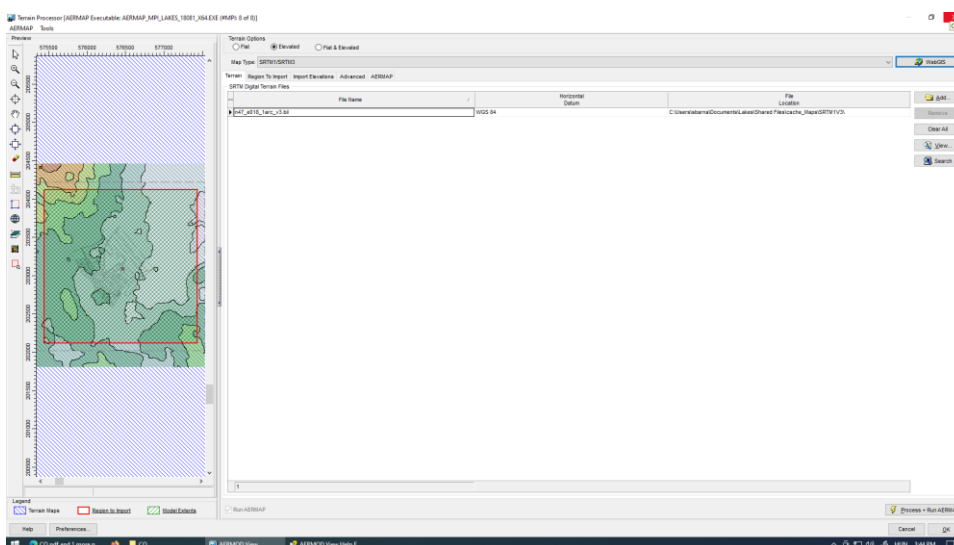
ikonra klikkelve a képen új területet jelölhetünk ki. (A kicsinyítés/nagyítás stb. a szokásos ikonokkal történik.) A célterület megadása után bezárjuk az űrlapot az **OK** gombbal és a listából kiválasztjuk a számunkra megfelelő DTM-szolgáltatót. A rendelkezésre álló domborzati modellek országonként változnak. Hazánkban a már említett SRTM1 radarral készített, 30m-es felbontású DTM-ek érhetők el ingyenesen.



57. ábra: Gyakorlati példa – WebGIS > SRTM1 (Global ~ 30m) – Version 3

A főképernyő jobb felső részén található WebGIS feliratú gombra klikkelve lenyílik egy lista, ahol ki tudjuk választani a számunkra megfelelő SRTM1-modellt. A kiválasztás után a célterületnek megfelelő DTM file megjelenik az űrlapon. Az űrlap bezárása előtt el kell indítani a AERMAP névre hallgató alkalmazást, ami a jobb alsó sarokban

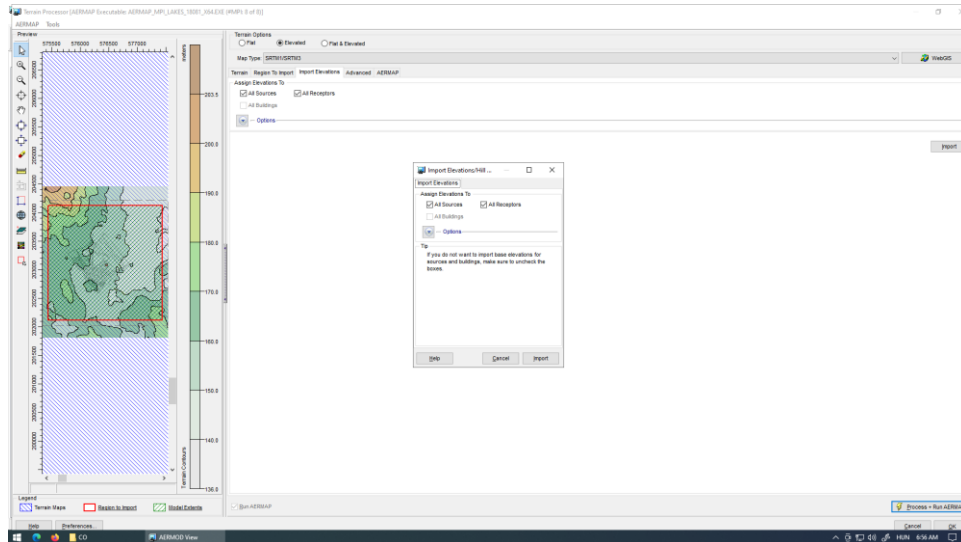
található  gombbal lehetséges.



58. ábra: Gyakorlati példa – Terrain Processor

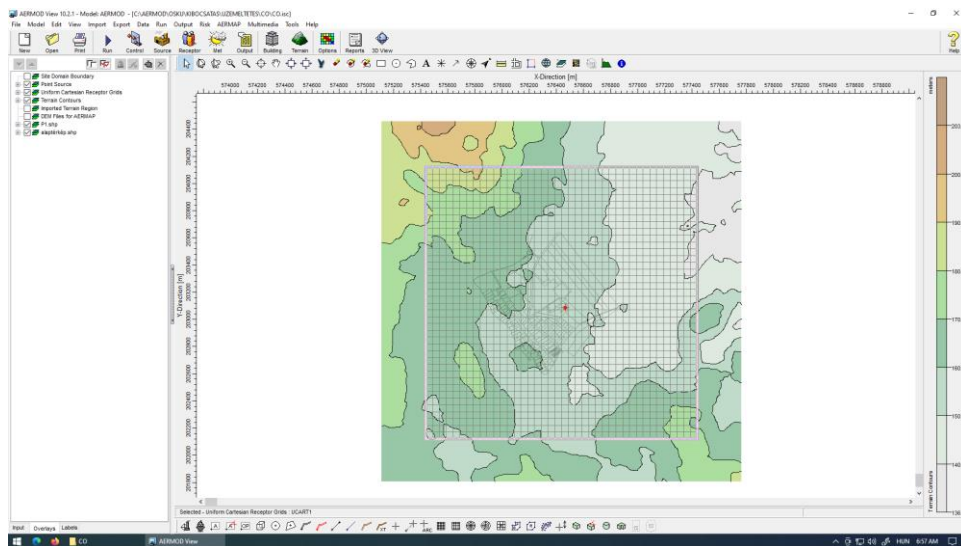
A folyamat elindítása után a képernyőn különböző algoritmusok stb. jelennek meg, majd a végén ismét egy űrlapot kapunk, ahol be kell jelölnünk, hogy a domborzat megjelenítése mellett milyen magassági pontok letöltésére van szükség. A programba korábban rögzített források, receptorok (esetleg épületek...erre nem tértünk ki) jellemző pontjait tudja az AERMOD átvenni az AERMAP-től. A választó négyzetek aktiválásával lehet nyilatkozni az átvenni kívánt adatokról. Amennyiben a források és

a receptorok rögzítése során pontos adatokat tudunk megadni manuális rögzítéssel, akkor nem szükséges az adatok automatikus átvétele. Ha nem rendelkezünk magassági adatokkal, úgy mindenképpen aktiválni kell legalább a források és a receptorok pontjainak átvételét (All sources, All receptors). Az **Import** gombbal indíthatjuk el az adatok átvételét.



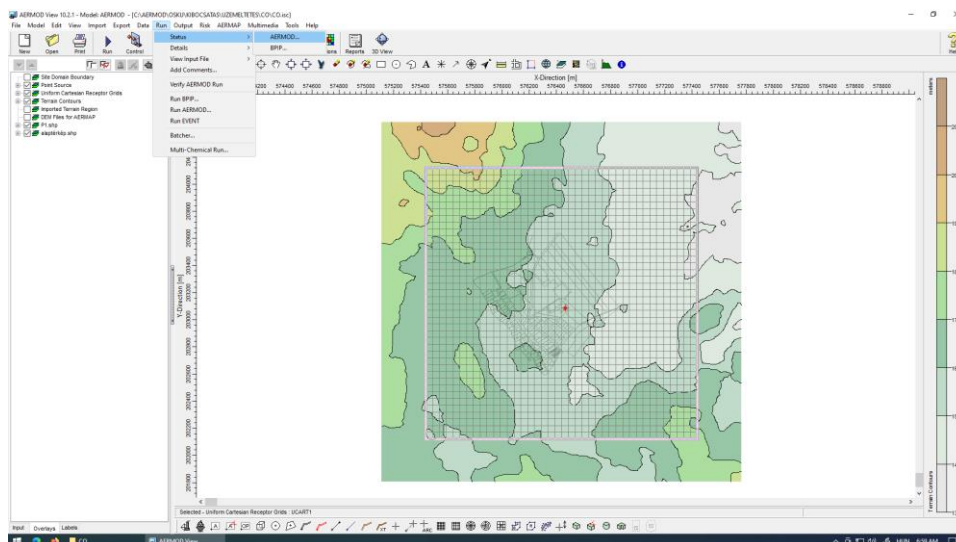
59. ábra: Gyakorlati példa – Terrain Options > Import Elevations

Az ArcMap felület bezárása, **OK** gomb megnyomása után visszatérünk szoftver fő képernyőjére, ahol új réteggént megjelent a domborzat. A képernyő jobb oldalán látjuk a színekhez tartozó skálát. A réteg megjelenítése/eltüntetése a már korábban ismertetett módon történik.



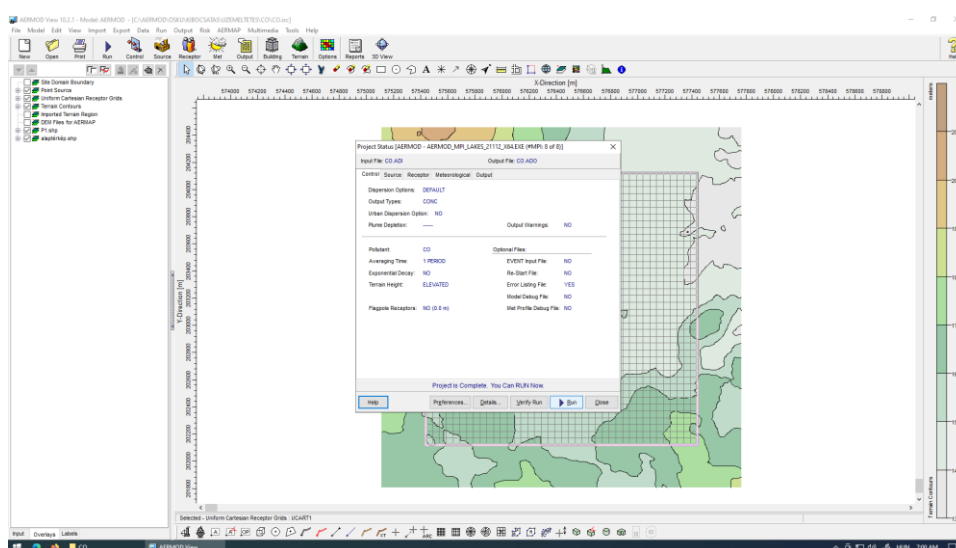
60. ábra: Gyakorlati példa – Réteg megjelenítése

Miután a szükséges összes paramétert (általános beállítás, forrás, receptorok, meteorológia, kimenetek, domborzat...) megadtuk futtatnunk kell a modellt. Ezt a **Run** menüben tudjuk megtenni, ahol az **AERMOD**-ot kell választani.



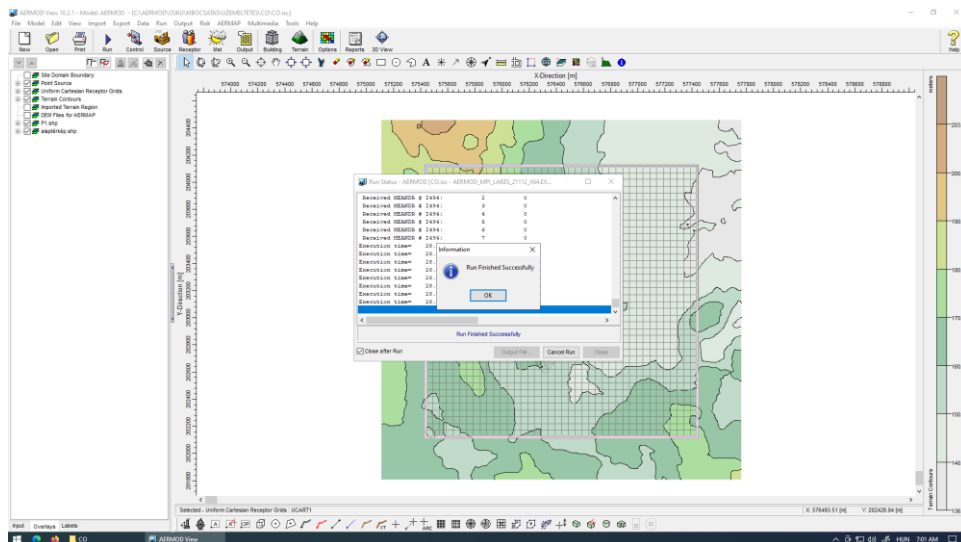
61. ábra: Gyakorlati példa – Run > AERMOD

A szoftver előbb csinál egy összefoglalót a beállított paraméterekről, amit érdemes áttekinteni. Itt még észrevehetjük, ha valami hiányzik. Az összefoglaló mellett a program azt is ellenőrzi, hogy a modell futtatásához minden szükséges információ rendelkezésre áll, beállítás megtörtént. Ha valami problémát talál, azt jelzi és annak megszüntetéséig nem tudjuk a modellt futtatni. Ha ez a helyzet áll fenn, akkor alul a **Details** gombra klikkelve tudunk információt kérni a konkrét hibáról.



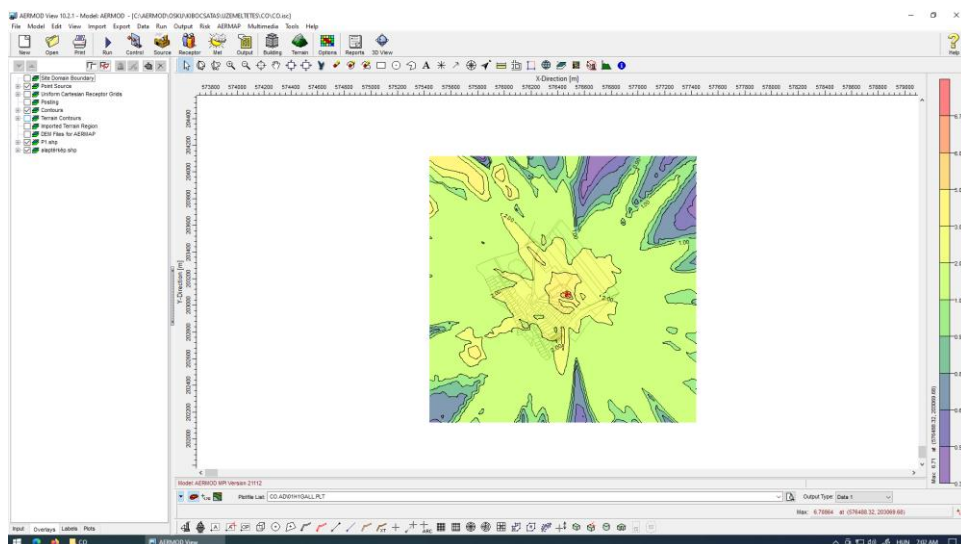
62. ábra: Gyakorlati példa – Project Status

Ha minden rendben van, akkor elkészül a modell, a sikeres futásról egy úrlapon keresztül kapunk tájékoztatást.



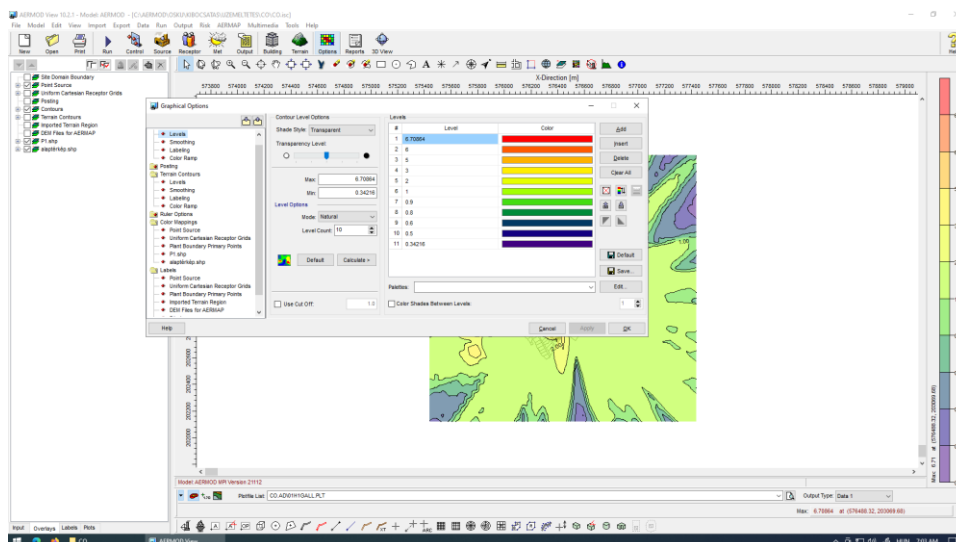
63. ábra: Gyakorlati példa – Run Status

A képen megjelennek a legrosszabb állapothoz tartozó szennyezőanyag koncentrációk.



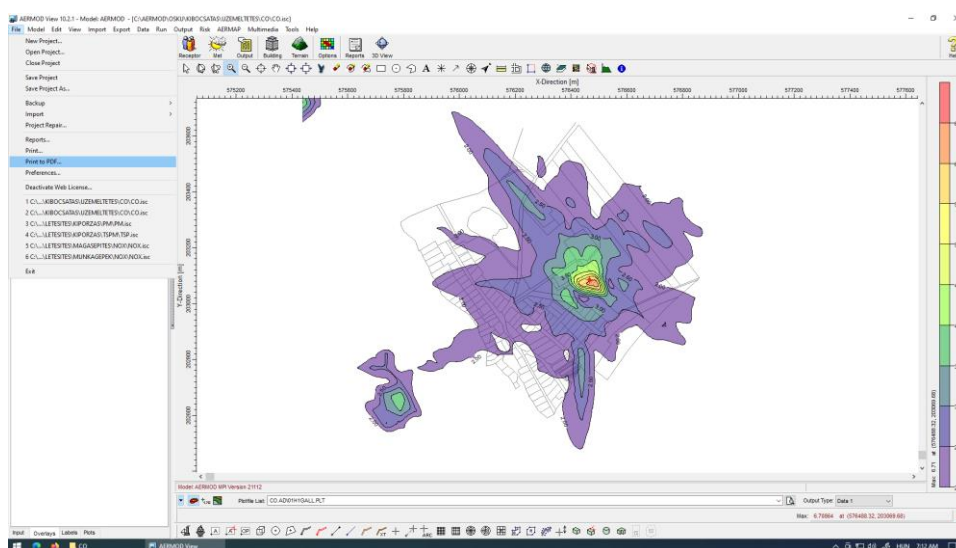
64. ábra: Gyakorlati példa – A legrosszabb állapothoz tartozó szennyezőanyag koncentrációk

A felületen a színeket, megjelenítendő koncentrációkat, betűméretet stb. úgy tudjuk személyre szabni, hogy a kép megfelelő részére klikkelünk kétszer és a megnyíló űrlapon beállítjuk a kívánt paramétert.

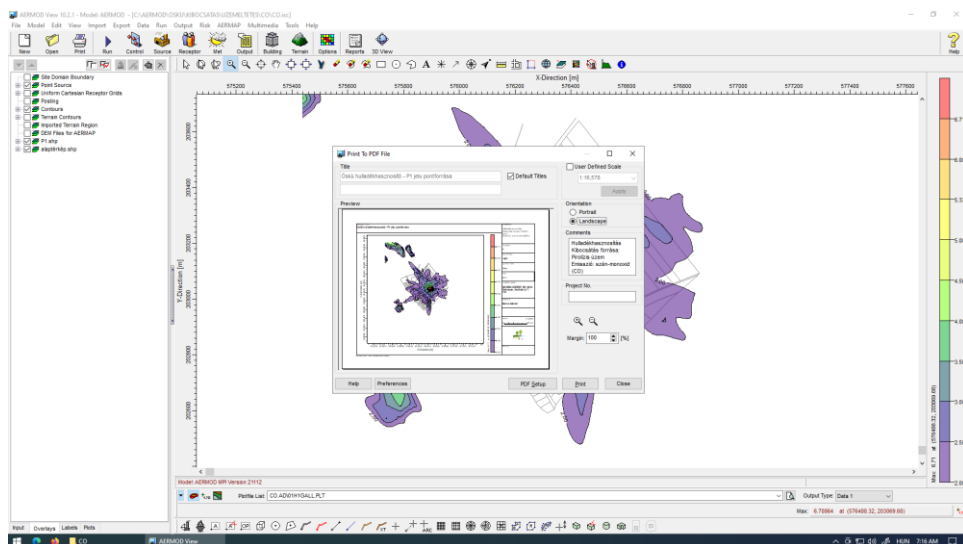


65. ábra: Gyakorlati példa - Graphical options

Lehetőség van az elkészített ábra beépített sablon szerinti megjelenítésére és pdf formátumban történő mentésére is. Ehhez a **File** menü **Print to Pdf** almenüjét kell használni.

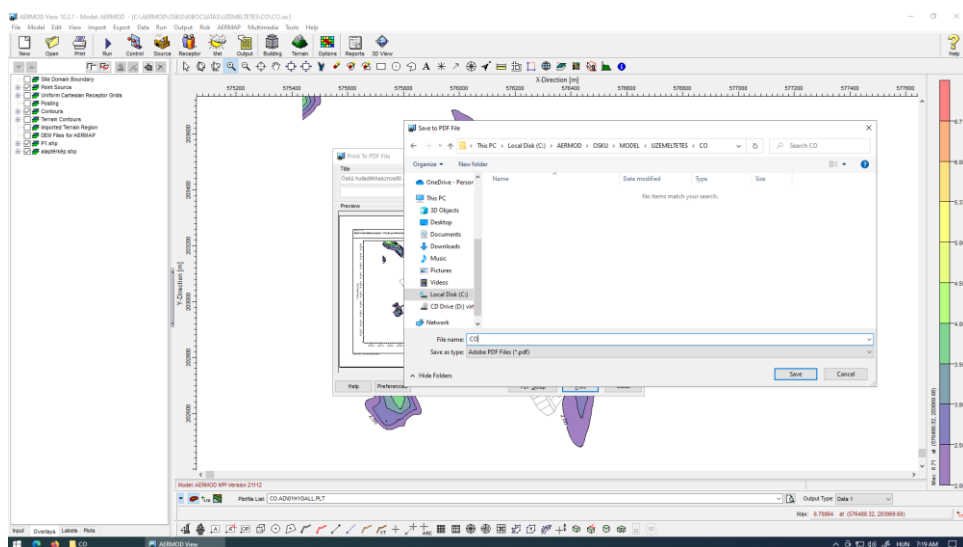


66. ábra: Gyakorlati példa – File > Print to PDF



67. ábra: Gyakorlati példa – Print to PDF File

A pdf készítéshez használt űrlapon megjelenik az alapértelmezett cím, de ezt akár változtatni is tudjuk (előtte a Default titles jelölőt inaktívválni kell). Be lehet állítani, a kép irányát, betűméreteket stb. és egyéb információkat is megadhatunk a **Comments** mezőben. A preferences nyomógombra klikkelve akár logót stb. helyezhetünk el.



68. ábra: Gyakorlati példa – Save to PDF File

6. Irodalomjegyzék

Bærentsen, J. H., & Berkowicz, R. (1984). Monte Carlo simulation of plume dispersion in the convective boundary layer. *Atmospheric Environment* (1967), 18(4), 701-712.

Barad, M. L. (1958). Project Prairie Grass, a Field Program in Diffusion. Volume 1. Air Force Cambridge Research Labs Hanscom Afb MA.

Berkowicz, R., Olesen, H. R., & Torp, U. (1986). The Danish Gaussian air pollution model (OML): Description, test and sensitivity analysis in view of regulatory applications. In *Air Pollution Modeling and Its Application V* (pp. 453-481). Springer, Boston, MA.

Brett, A. C., & Tuller, S. E. (1991). The autocorrelation of hourly wind speed observations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 30(6), 823-833.

Briggs, G. A. (1984). Plume rise and buoyancy effects. *Atmospheric science and power production*, 327, 366.

Environmental management with AERMOD Air Pollution Model by EPA – előadássorozat (www.udemy.com)

Gifford Jr, F. (1959). Statistical properties of a fluctuating plume dispersion model. In *Advances in geophysics* (Vol. 6, pp. 117-137). Elsevier.

Hanna, S. R., & Paine, R. J. (1989). Hybrid plume dispersion model (HPDM) development and evaluation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 28(3), 206-224.

HEPPARD, P. A., H. CHARNOCK, and J. R. D. FRANCIS, 1956: An investigation of the lower atmosphere in the trades.

Huber, A. H. (1984). Evaluation of a method for estimating pollution concentrations downwind of influencing buildings. *Atmospheric Environment* (1967), 18(11), 2313-2338.

Leelőssy, Á., Mészáros, R., Kovács, A., & Lagzi, I. L. (2016). Légtörzi diszperzió modellezése különböző skálákon.

Mészáros, R., Leelőssy, Á., Vincze, C., Szűcs, M., Kovács, T., & Lagzi, I. (2012). Estimation of the dispersion of an accidental release of radionuclides and toxic materials based on weather type classification. *Theoretical and Applied Climatology*, 107(3), 375-387.

- Misra, P. K. (1982). Dispersion of non-buoyant particles inside a convective boundary layer. *Atmospheric Environment* (1967), 16(2), 239-243.
- Pasquill, F., & Smith, F. B. (1983). *Atmospheric diffusion* (Vol. 437). Chichester: Ellis Horwood.
- Perry, S. G. (1992). CTDMPLUS: A dispersion model for sources near complex topography. Part I: Technical formulations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 31(7), 633-645.
- Snyder, J. K., & Woolhiser, D. A. (1985). Effects of infiltration on chemical transport into overland flow. *Transactions of the ASAE*, 28(5), 1450-1457.
- User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD) (2019). EPA-454/B-19-027
- Venkatram, A. (1984). The uncertainty in estimating dispersion in the convective boundary layer. *Atmospheric Environment* (1967), 18(2), 307-310.
- Weil, J. C. (1988). Dispersion in the convective boundary layer. In *Lectures on Air Pollution Modeling* (pp. 167-227). American Meteorological Society, Boston, MA.
- Weil, J. C., Corio, L. A., & Brower, R. P. (1997). A PDF dispersion model for buoyant plumes in the convective boundary layer. *Journal of Applied Meteorology*, 36(8), 982-1003.
- Willis, G. E., & Deardorff, J. W. (1981). A laboratory study of dispersion from a source in the middle of the convectively mixed layer. *Atmospheric Environment* (1967), 15(2), 109-117.

A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

2017.

1.	NÉMETH András, MILÁVE CZ Richárd	Iparban használatos vízminőségek
2.	SZILÁGYI Zsombor Dr, SZUNYOG István Dr.	Mérések a gáziparban
3.	BARNA Lajos Dr., EÖRDÖGHNÉ MIKLÓS Mária Dr., SZÁNTHÓ Zoltán, BALLA József Dr.	A biztonságos ívóvízellátás megteremtésének tervezési eszközei
4.	BORBÁS Lajos Dr.	Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben
5.	BERENCSI Miklós, BERE CZKY Ákos, HORVÁTH László, KOVÁCS Gergely, MIHÁLFFY Krisztina	Kerékpárosbarát közlekedéstervezés
6.	TÜDŐS Tibor, VARJÚ György Dr., PETRI Kornél Dr., GÁBOR András	A csillagpontkezelés legújabb külföldi és hazai eredményei (Útmutató és tervezési segédlet)
7.	GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., VÁRADI András	Fűtési és használati melegvíz-igények kockázati elvű méretezése példákkal
8.	KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint, LÁSZLÓ Csaba Tibor, JAKKEL Ottó	A közúti vasutak (villamos) tervezésével kapcsolatos kézikönyv

2018.

9.	BLAZSOVSZKY László	A gázfogyasztó készülékek égéstermék elvezetésével kapcsolatos szabályozások hiányosságai és ellentmondásai
10.	CSORDÁS Szilveszter, FORGÁCS Lajos Dr., PÓLYA Endre ifj., RÉV Zoltán, UDVARDY Péter	Orvostechnológiai továbbképzés ismeretanyaga
11.	NÁDASDY Tamás, EGYHÁZY Zita, KOVÁCS Ákos Sándor, SZECSŐ Dániel Géza	A közúti biztonsági audit (KBA) jelentések elkészítésének alkalmazási segédlete – A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezeléséről szóló jogszabályhoz és utóggyi műszaki előíráshoz kapcsolódó értelmezési, kidolgozási és elfogadtatási javaslatrendszer
12.	SZILÁGYI Zsombor Dr., HORÁNSZKY Beáta	Földgáz kereskedelem (mérnöki segédlet)
13.	SZILÁGYI Zsombor Dr.	Az energiahordozók jövője – kőolaj, földgáz, megújulók
14.	S. VÍGH Judit, DOHÁNY Máté	Magános közlekedők baleseti súlyosságának csökkentése mobil applikáció segítségével
15.	BALIKÓ Sándor Dr., CSŰRÖK Tibor Dr., NOVÁK Dániel, ORBÁN Tibor, ZSEBIK Albin Dr.	Ötletlapok I. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
16.	DARABOS Zoltán, KOLTAI Henrik, SZABÓ Tamás, SZÁSZ Béla, VAJDA Sándor	Felvonók felújítása és átalakítása – Műszaki segédlet
17.	TÜDŐS Tibor, KRUPPA Attila	Alapozásföldelők új tervezési elvei és kivitelezési módszerei – Tervezési segédlet és kivitelezési útmutató
18.	FENYVESI Zsolt	Tűzvédelmi tervek tartalmi szabályainak átdolgozása

- | | | |
|-----|--|---|
| 19. | GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás | Nagyméretű informatikai beruházásoknál (fejlesztéseknél) ajánlott szoftveroldali tervdokumentációk tartalmi elemeinek meghatározása (I. – II. kötet) |
| 20. | DIVÓS Ferenc Dr. | Az élő fák stabilitása – mérnöki megközelítés – Élő fák, mint teherhordó faszerkezetek |
| 21. | KARÁCSONYI Zsolt Dr. | Faanyagok tartós szilárdsága |
| 22. | BARNA Lajos Dr., ERDEI István, JASPER Andor Dr., TAKÁCS Gyula | Segédlet épületek csatorna-berendezéseinek tervezéséhez |
| 23. | ANTÓK Péter István, FÜZÉR Ferenc, SÁRKÖZI András | Fényvezető kábelszakaszok műszaki-minőségi ajánlás gyűjteménye |
| 24. | JANCSÓ Béla, KULCSÁR Alexandra Dr., NÉMETH Gábor, VÍMI Zoltán Dr., DÉRI Lajos, SZIMANDEL Dezső | Vízjogi engedélyezési eljárással kapcsolatos dokumentációk és engedélyeztetéssel kapcsolatos követelmények a 2018.01.01-én hatályba lépett 41/2017. (XII.29.) BM rendelet alapján |
| 25. | TAKÁCS Bence Dr., SIKI Zoltán Dr., ÉGETŐ Csaba Dr., BÉNYI László | Mérnökgeodéziában alkalmazott alapponthálózatok – A jó gyakorlat bemutatása mintapéldákkal |
| 26. | MÓCZÁR Balázs Dr., LAUFER Imre, TÓTH Gergő, WOLF Ákos | Korszerű támszerkezetek tervezése |
| 27. | HALÁSZ Györgyné Dr., CSERVENYÁK Gábor, TUCZAI Attila, VIRÁG Zoltán | Különböző funkciójú épületek klimatechnikája II. |
| 28. | KÁDI Ottó, JÓZSA Bálint | Kerékpáros balesetek létesítmények szerinti vizsgálata |
| 29. | GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., PELLER József Bendegúz | Hőteljesítményátviteli tényező alkalmazása távhőrendszerek optimális szabályozásának modelljében |
| 30. | GARBAI László Dr., SÁNTA Róbert Dr., JASPER Andor Dr. | A kompresszoros hőszivattyúk optimalizálása – Tervezés és üzemeltetés |
| 31. | LADÁNYI Gábor Dr. | Diagnosztika a karbantartásban |
| 32. | MÉSZÁROS János, MOLNÁR Tibor, RITZL András | KIÜRÍTÉSI ÉS MENEKÜLÉSI ÚTVONALBA ÉPÍTETT AJTÓK tervezési segédlet (2018) |

2019.

- | | | |
|-----|---|---|
| 33. | BLAZSOVSZKY László | Földgáz elosztóvezetékek üzemeltetése |
| 34. | DR. SZILÁGYI Zsombor | A megújuló energiahordozók jövője Magyarországon |
| 35. | FORGÁCS Lajos Dr., HAIDEGGER Tamás Dr., PÓLYA Endre ifj. | Új fejlesztések, innovatív megoldások az orvostechnológia terén |
| 36. | VARRÓ Beáta, KIS András Dr. | Magyarországon előforduló, épületekbe beépített faanyagokat károsító gombák vizsgálata és azonosítása DNS diagnosztikával |
| 37. | MANNINGER Marcell, SZEPESHÁZI Attila, SCHEURING Ferenc, MOLNÁR György | Munkatér határoló szerkezetek |
| 38. | KORSÓS András, RÁDULY Zsolt | A közterületi és belterületi térfigyelő kamerarendszerek tervezési irányelvei |
| 39. | GERGELY Edit, BEZEGH András Dr. | Módszertani útmutató az üvegházhatású gázok közvetlen és közvetett kibocsátásának számítására |

- | | | |
|--------------|---|---|
| 40. | BEZEGH András Dr., BITE Pálné Dr.,
GERGELY Edit | Városi környezetvédelem (Fenntartható és okos városok) |
| 41. | GÓDOR Balázs, KÁSA László Dr.,
SZÉKELY Bence | Híddaruk méretezési segédlete (2019.) |
| 42. | FÜRJES Andor Tamás, KOTSCHY
András, NAGY Attila Balázs, CSOTT
Róbert | Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló
szituációkban |
| 43. | KARÁCSONYI Zsolt Dr. | Faanyagok tartós szilárdsága
Faanyagok szilárdságának változása az idő függvényében |
| 44. | BALIKÓ Sándor Dr., ORBÁN Tibor,
VARGA Péter, ZSEBIK Albin Dr. | Ötletlapok II. – Energiahatékonyság növelő ötletek
egyszerű energetikai és gazdasági számításai |
| 45. | PRIMUSZ Péter, PhD. | Hajlékony útpályaszerkezetek méretezése
talajstabilizációk figyelembevételével |
| 46. | NÉMETH Balázs, HÁMORI Sándor,
KOSTYÁK Attila, VÍGH Gellért | Különböző funkciójú épületek klímatechnikája III.
Segédlet ipari épületek lég- és klímatechnikai
rendszerének tervezése |
| 47. | JANCSÓ Béla, KAVECZKI Gergely,
KÓCZÁN Gábor, LABORCZI Tamás,
KNOLMÁR Marcell, RAUM László | Csapadékvízgazdálkodás tervezési követelményei
Hogyan tervezzünk városi csapadékelvezető
rendszereket |
| 48. | DOHÁNY Máté, SCHVANNER Norbert | Kerékpárosok sebességének felülvizsgálata jelzőlámpás
csomópontokban |
| 49. | JÓZSA Bálint, S. VÍGH Judit | Sebességcsökkentés hatásainak vizsgálata gyorsforgalmi
utakon |
| 50. | ZSEBIK Albin Dr., NOVÁK Dániel | Projektlapok I. – Energiahatékonyság növelő javaslatok
projektlapjai |
| 51. | MÓGA István Dr. | Beruházási projektek szabályozási és szabvány
környezete, Tervezési követelmények meghatározása |
| 52. | GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH
József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY
Tamás | Informatikai Tervező szakmai minősítő rendszere
(Informatikai szakmai terület illesztése a Mérnök
Kamarai működési rendbe és rendszerekbe)

I. kötet: Konceptió és modell
II. kötet: Modell illesztése
III. kötet: Tudástár |
| 53. | VIRÁG Zoltán, GYURKOVICS Zoltán,
SZAKÁL Szilárd, VIRÁG Zsolt, ORCSI
Attila | Országos Tűzvédelmi Szabályzat épületgépész
értelmezése a szakmai gyakorlatban
Segédlet a gyakorló épületgépész mérnökök számára I. |
| 2020. | | |
| 54. | KISS Jenő Dr., CSERMELY Gábor | JAVASLAT az egyszerű bejelentésű lakóépület
megvalósításának – tervezés építés – módszerére |

- | | | |
|-----|---|---|
| 55. | SZILÁGYI Zsombor Dr. | A hidrogén a környezetbarát energiahordozó, Hidrogén az energetikában |
| 56. | VARGA Tamás, SZEDENIK Norbert Dr., KOVÁCS Károly Dr., KRUPPA Attila, KULCSÁR Lajos, KAPITOR György, TURI Ádám | A nem norma szerinti villámvédelem egységes műszaki követelményrendszerének kialakítása és javaslat a teljes villámvédelmi szabályrendszer jövőbeli egységesítésére |
| 57. | KÁDI Ottó | A gyalogosközlekedés közúti keresztezései |
| 58. | MOLNÁR Szabolcs | „Hulladékból konnektorba” A települési szilárd hulladék energetikai hasznosításának lehetőségei |
| 59. | VÁRDAI Attila | Segédlet szabadidős létesítmények tartószerkezeti tervezéséhez |
| 60. | BEJÓ László Dr. | Szénlábnyom-elemzés készítése a faiparban |
| 61. | JANCSÓ Béla, NÉMETH Gábor, SZIMANDEL Dezső | Szakmai útmutató vízellátási tervvezetők számára a 2020 január 1-én hatályba lépett „VIZEK keretrendszer” használatához |
| 62. | FELLEGI Zsóka, KARAFI Balázs, KOCH Edina, KOVÁCS Gábor, MURINKÓ Gergő, TÓTH Gergely József | Munkagödrök és földművek víztelenítése |
| 63. | HOLÉCZY Ernő, OLÁH Róbert, SIKI Zoltán Dr., TAKÁCS Bence Dr., TÓTH Zoltán Dr., VARGA Tibor | Módszertani útmutató az elavult ingatlan-nyilvántartási térképek korszerű technológiákkal végzett felújításához |
| 64. | DR. GÁBORI László, DR. MOLNÁR Bálint, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás | Az Informatikai Tervező tervezési segédlete |
| 65. | NÁDASDY Tamás, TOMASCHEK Tamás, PALÁSTY István, SZECSŐ Dániel Géza | Dinamikus forgalomirányítás tervezői segédlete gyorsforgalmi úthálózat esetén |
| 66. | LENGYEL István | Szakmai útmutató szolgalmi jogok alapításához (mérnöki segédlet) |
| 67. | NÉMETH Balázs, SZLOVÁK Krisztián, VÍGH Gellért | Épületgépészeti tervezéshez praktikus, gyakorlati adatbázis |
| 68. | FÜRJES Andor Tamás, BORSINÉ Arató Éva, NAGY Attila Balázs, ILLYÉS László, BORSI Gergely | Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban (példatár) |
| 69. | BORBÁS Lajos Dr., GONDA Zoltán | Optikai feszültségvizsgálat – Kísérleti eljárás a konstrukció fejlesztésére, szerkezetek anyagfelhasználásának és teherviselésének optimalizálására |

2021.

- | | | |
|-----|---|---|
| 70. | BLAZSOVSZKY László | A gázipar és a kéményseprő-ipar határterületeinek szabályozási anomáliái a szakmagyakorlók és a felhasználók szemszögéből |
| 71. | FORGÁCS Lajos Dr., NAGY Gábor, RÉV Zoltán | Kórháztervezés új szempontjai a 21. században - Korszerű kórházak infrastrukturális egységei |
| 72. | HOLÉCZY Ernő, KISS Albert Miklós, KOVÁCS István, TAKÁCS Bence Géza Dr., TÓTH Zoltán Dr. | M.2.-2021. Mérnökgeodéziai tervezési segédlet |
| 73. | BEJÓ László Dr. | Az ipar 4.0 alkalmazási lehetőségei a faipar területén |

- | | | |
|-----|---|--|
| 74. | BORBÉLY Dániel, HUDACSEK Péter, KARNER Balázs, KOVÁCS László, SÁNDOR Csaba | Monitoring, a geotechnikai kockázatkezelés eszköze |
| 75. | FELFÖLDI Krisztina, JÁMBOR András, TÓTH Sándor, BÜKI Gábor, GÓDOR Balázs | Emelőgépek időszakos vizsgálatának eljárásrendje |
| 76. | GYURKOVICS Zoltán, RÉBAY Lajos, NAGY Bernát | Szakmai útmutató az épületgépész felelős műszaki vezetők és műszaki ellenőrök számára |
| 77. | ZSEBIK Albin Dr., NOVÁK Dániel, PAPP Ábrahám | Hulladék hő hasznosítás - hűtés és fűtés összekapcsolása
Segédlet az elemzéshez és gyakorlati példák bemutatása |
| 78. | CZINE Ferenc, HIRKÓ György | Elektromos meghajtású mikromobilitási eszközök -
Jellemző paraméterek |
| 79. | KALMÁR Tamás, LÁNYI Péter Dr., HÓZ Erzsébet | Kerékpárút hálózatok vizsgálata a fejlesztések és úthasználók tapasztalatai alapján |
| 80. | VARGA Tamás, FARKAS Péter János, TOKODY Dániel Dr., ZSARNOVSZKI Attila, MÉSZÁROS Tamás, VERESS Árpád | Építmény villamossági tervezés robbanásveszélyes környezetben |
| 81. | VONA Márton Dr., BALATONYI László Dr., TÉCSŐY István | Dombvidéki víz visszatartás, kisvízfolyások szabályozása természet közeli megoldásokkal
Kisléptékű víz visszatartás, kistelepülés-léptékű víz megtartó megoldások |
| 82. | ZANATHY Valéria, BUZÁS Györgyi, TÓTH László | Acélszerkezetek korrózió elleni védelme -
Acélszerkezetek korrózió elleni védelmére vonatkozó szabványok, előírások, szakmai tapasztalatok összefoglalása |
| 83. | JÓZSA Bálint, DOHÁNY Máté | DDI, avagy a fordított gyémánt csomópontok vizsgálata és magyarországi alkalmazhatósága |
| 84. | SZÉPSZÓ Gabriella, ALLAGA-ZSEBEHÁZI Gabriella, LAKATOS Mónika, SZENTES Olivér, TAKSZ Lilla, SELMECZI János Pál, CZIRA Tamás Dr., CSÓKA Gergely, BAKA György | Éghajlatvédelmi vizsgálatok módszertana és az azt megalapozó adatbázisok alkalmazása |
| 85. | ZSIGMONDI András, MARIÁN Gábor, WÉBER László | A műszaki egyenértékűség és helyettesítő termék egyenértékűségének megállapítási módjai |
| 86. | NAGY János, HORVÁTH Rita, KAPITOR György, MERTLI Ferenc, PAPP Ábrahám, SITKU György, ZSEBIK Albin Dr. | Világítástechnika - segédlet az EKR dokumentáció készítéséhez - Alapismeretek és mintapéldák |
| 87. | CSENDES János, VELLER Tamás | Épületautomatika – Összefüggésben az
Energiahatékonysági Kötelezettségi Rendszerrel |

2022.

- | | | |
|-----|--|---|
| 88. | FÖLDI László József Dr., BERENCSEI Bence | Ipari gépek CE jelölése és biztonsága az EU-s és hazai szabályozás tükrében |
| 89. | SZILÁGYI Zsombor Dr., VADÁSZI Marianna Dr. | Irányelv új földgáz- és villamos energia szerződéskötéshez |

- | | | |
|------|--|---|
| 90. | MÓCZÁR Balázs Dr., CSORBA Gábor, GRITSCH Ákos, KRISTON Gábor, MIHUCZ Tibor, SZENDEFY János Dr., SZILÁGYI Katalin | Segédlet ipari padlók geotechnikai és statikai tervezéséhez, kivitelezéséhez |
| 91. | FELFÖLDI Krisztina, GÓDOR Balázs, NAGY Pál, RADVÁNYI G. Levente | G-D-36 Tanúsítvány kiadásához kompetencia-követelmények kidolgozása |
| 92. | BUZÁS Zoltán, KÁLMÁN Miklós, BÖLSEI Tamás, LUKÁCS Tamás | A tervdokumentációk tartalmi és formai követelményeinek átdolgozása, különös tekintettel a Hír-Közmű bevezetésére. A Tervezés, Engedélyezés, Kivitelezés segédlet módosítása (92./1-2-3.) |
| 93. | SIKI Zoltán Dr., CSEMNICZKY László, HOLÉCZYNÉ KAJTÁR Dóra, LEHOCZKY Máté, RÉPÁS Zoltán, TÓTH István | Szakmai útmutató digitális tervezési alaptérképek készítéséhez. A minőségi mérnöki munka segítése, a jó gyakorlat bemutatása, javaslat a térképek rétegszerkezetére és az alkalmazandó jelkulcsokra |
| 94. | CSERMELY Gábor, TÓTH Péter | Szakmai útmutató a magasépítési kivitelezési munkák minőségellenőrzésére |
| 95. | MARIÁN Gábor, ZSIGMONDI András | Az építési beruházások műszaki átadás-átvételi eljárása – Szakmai ajánlás az építési beruházások műszaki átadás-átvételi eljárására |
| 96. | BARNA Sándor, MOLNÁR Tibor Dr. | Segédlet az AERMOD view szoftver használatához a légszennyező anyagok terjedési modellezéséhez |
| 97. | BAKA György | A talajnak, mint természeti erőforrásnak a védelme a beruházások megvalósítása során |
| 98. | BLAZSOVSZKY László | A gázipari szakmagyakorlók megváltozott felelőssége, hatásköre és a mindennapok gyakorlatának anomáliái a megváltozott jogszabályi környezetben |
| 99. | FÜRJES Andor Tamás | Elektroakusztika elméleti és gyakorlati áttekintés |
| 100. | RÁCZ Tibor, KUN Csaba, BALATONYI László Dr. | ITVT Integrált Települési Vízgazdálkodási Terv tervezési segédlet |