

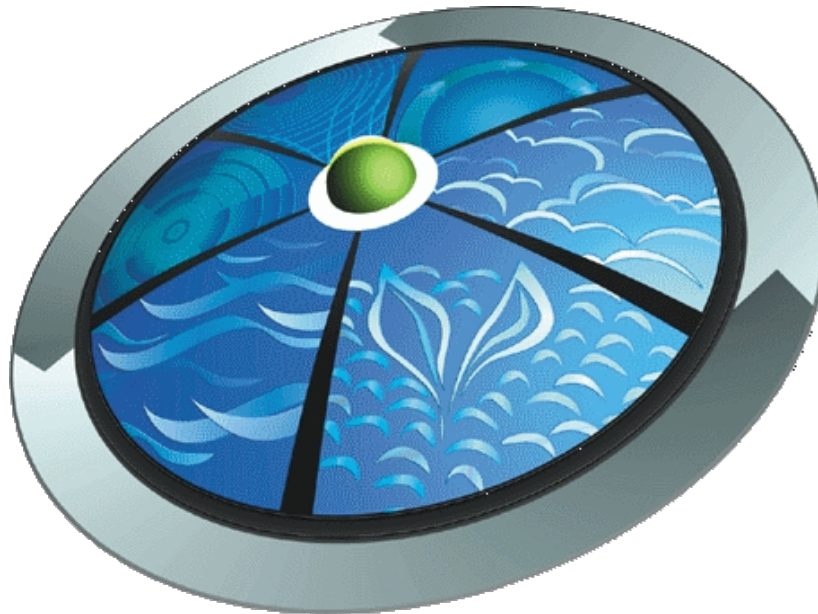


Az anyag a TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0089 téma keretében készült a Pannon Egyetemen.



SZÉCHENYI TERV

Környezetmérnöki Tudástár Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre



XXVII. kötet

Levegőtisztaság-védelem és klímakutatás

Dr. Domokos Endre

Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet



Környezetmérnöki Tudástár
Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre

XXVII. kötet

Levegőtisztaság-védelem és klímakutatás

Szerzők:

Almásyné Bartl Katalin

Domokos Endre

Fülöp Tamás

Kiss László

Lakó János

Rédey Ákos

Somogyi Viola Tatiana

Yuzhakova Zelovics

László

ISBN: 978-615-5044-94-6

2014

Veszprém

Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet

Környezetmérnöki Tudástár

eddig megjelent kötetei

01. Környezetföldtan
02. Környezetgazdálkodás
03. Talajvédelem, talajtan
04. Egészségvédelem
05. Környezeti analitika
06. Környezetvédelmi műszaki technológiák, technológiai rendszerek modellezése, ipari technológiák és szennyezéseik
07. Környezettan
08. Földünk állapota
09. Környezeti kémia
10. Vízgazdálkodás-szennyvíztisztítás
11. Levegőtisztaság-védelem
12. Hulladékgazdálkodás
13. Zaj- és rezgésvédelem
14. Sugárvédelem
15. Természet- és tájvédelem
16. Környezetinformatika
17. Környezetállapot-értékelés, Magyarország környezeti állapota, monitorozás
18. Környezetmenedzsment rendszerek
19. Hulladékgazdálkodás II.
20. Környezetmenedzsment és a környezetjog
21. Környezetvédelmi energetika
22. Transzportfolyamatok a környezetvédelemben
23. Környezetinformatika II.
24. Talajtan és talajökológia
25. Környezetvédelmi monitoring
26. Ivóvíztisztítás és víztisztaság-védelem
27. Levegőtisztaság-védelem és klímakutatás
28. Nukleáris mérési technológia környezetmérnököknek
29. Biztonságtudomány
30. Környezetállapot értékelés
31. Sugárvédelem II.
32. Szennyvíztisztítás korszerű módszerei
33. Környezetmérnökök katasztrófavédelmi feladatai
34. Környezetvédelmi analitika
35. Környezeti auditálás

Felhasználási feltételek:

Az anyag a Creative Commons „Nevezd meg!-Ne add el!-Így add tovább!” 2.5 Magyarország Licenc feltételeinek megfelelően szabadon felhasználható.



Nevezd meg! — A szerző vagy a jogosult által meghatározott módon fel kell tüntetned a műhöz kapcsolódó információkat (pl. a szerző nevét vagy álnevét, a Mű címét).



Ne add el! — Ezt a művet nem használhatod fel kereskedelmi célokra.



Így add tovább! — Ha megváltoztatod, átalakítod, feldolgozod ezt a művet, az így létrejött alkotást csak a jelenlegivel megegyező licenc alatt terjesztheted.

További felhasználás esetén feltétlenül hivatkozni kell arra, hogy

"Az anyag a TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0089 téma keretében készült a Pannon Egyetemen."

Részletes információk a következő címen találhatóak:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/hu/>

Tartalom

Ábrajegyzék	8
Táblázatjegyzék	12
1 Levegőtisztaság-védelmi folyamatok elméleti háttere	15
1.1 Kapcsolódó fogalmak	15
1.2 Kondenzáció a levegőtisztaság-védelemben	15
1.2.1 Kapcsolódó összefüggések	16
1.3 Koaguláció a levegőtisztaság védelemben	17
1.4 Hidrodinamikai ellenállás és nyomásvesztés	17
1.5 Diffúzió, termoforézis, diffúzióforézis	18
1.6 Katalitikus reakciókat befolyásoló folyamatok	18
2 Katalitikus reakciók kinetikájának számítása, kinetikai egyenletek konstansainak számítása	35
2.1 Az izobután 1-buténnel történő alkilezésének tanulmányozása zeolit katalizátoron	35
2.1.1 Az alkilezési reakció kinetikai vizsgálata	36
2.1.2 Az alkilezési reakció mechanizmusának vizsgálata (öt lépéses reakcióséma)	37
2.1.3 Az alkilezési reakció mechanizmusának vizsgálata (kétlépéses reakcióséma)	38
2.1.4 Kinetikai kísérletek	45
2.1.5 A kinetikai vizsgálat értékelése	45
2.2 Hidrogén előállítás szénhidrogén bázison	47
2.2.1 Steam reforming – vízgőzös bontás a katalitikus bontóban	48
2.2.2 CO konvertálása (shift conversion)	49
2.2.3 CO ₂ mosás	49
2.2.4 Finomtisztítás - metanizálás	49
2.2.5 Számítási gyakorlat. Példa	49
3 A folyamatok érvényesülése a leválasztási technológiákban	64
3.1 Szilárd szennyező leválasztása	65
3.1.1 Porleválasztás centrifugális erővel	68
3.1.2 Porleválasztás szűrővel	74
1.2. Nedves porleválasztás	77
3.2 Gázhalmazállapotú szennyezők	79
3.2.1 Szennyező anyag leválasztása	79

3.2.2	Szennyező anyag átalakítása	91
4	Mérőműszerek működésének fizikai-kémiai alapjai	94
4.1	Nitrogén-oxidok mérésének gyakorlata.....	95
4.1.1	Az Environnement AC-32M típusú készülék.....	96
4.1.2	NO _x Pontosságellenőrzés.....	97
4.2	Kén-dioxid mérése.....	98
4.2.1	Az Environnement AF 22M típusú készülék	99
4.2.2	SO ₂ pontosságellenőrzésének lépései	99
4.3	Szén-monoxid mérése.....	100
4.3.1	Ez Environnement AF 22M típusú készülék bemutatása	100
4.3.2	CO Pontosságellenőrzés lépései.....	102
4.4	Ózon mérése	102
4.4.1	Az Environnement O3 42M típusú készülék bemutatása	102
4.4.2	O ₃ Pontosságellenőrzés lépései.....	104
4.5	Szálló por mérése	104
4.5.1	Az Environnement MP 101M típusú készülék bemutatása.....	104
4.5.2	Pormérő kalibrálás	105
5	Légszennyező anyagok immisziós monitorozása.....	109
6	A levegőtisztaság-védelmi eljárások költség-haszon elemzése	116
6.1	Alaplépések	116
6.1.1	A kivizsgálás lépései.....	116
7	A klímavédelem jogi szabályozása.....	117
7.1	A NEMZETKÖZI EGYEZMÉNYEK, IRÁNYELVEK.....	118
7.1.1	A genfi egyezmény	118
7.1.2	2008/50/EK Európai Parlamenti és a Tanácsi irányelv.....	123
7.1.3	Tematikus stratégia a levegőszennyezésről	127
7.1.4	Nemzetközi klímavédelmi egyezmények	131
7.2	Kiotói Jegyzőkönyv	132
7.2.1	Rugalmissági mechanizmusok.....	134
7.3	Kiotó után.....	139
7.3.1	Koppenhága.....	139
7.3.2	Cancún	140
7.3.3	Dohai konferencia	141
7.3.4	A Kiotói Jegyzőkönyv folytatása	141

7.4	Hivatkozott rendeletek:.....	143
8	Esettanulmányok.....	144
8.1	Imissziós vizsgálat.....	144
8.1.1	Vizsgálat célja	144
8.1.2	A vizsgálat időpontja	144
8.1.3	Mérőrendszerek elhelyezése	145
8.1.4	Mérési/mintavételi körülmények.....	147
8.1.5	A mérés menete	148
8.1.6	Mérési eredmények	149
8.1.7	Értékelés.....	160
8.1.8	Hivatkozott jogszabályok.....	160
8.2	Városi körforgalom hatása	161
8.2.1	Számítás módja.....	161
8.2.2	Lámpás kereszteződés kibocsátásának számítása a körforgalom megépülése előtt..	162
8.2.3	Számolás bemutatása a CO példáján	164
8.2.4	A körforgalom építési fázisa alatt mért imisszió	165
8.2.5	A körforgalom üzemelési időszak alatt mért imisszió	168
8.2.6	A körforgalom üzemelési időszaka (becslés).....	169
8.2.7	Számolás bemutatása a CO példáján	170
8.2.8	Összehasonlítás	171
8.3	Dinitrogén-oxid emisszió csökkentése a pétfürdői Nitrogénművek Zrt. salétromsavüzemében 177	
8.3.1	Bevezetés.....	177
8.3.2	A dinitrogén-oxid.....	178
8.3.3	A salétromsav gyártása és felhasználása.....	182
8.3.4	Együttes végrehajtási projekt a Nitrogénművek Zrt. salétromsavüzemében.....	190
8.3.5	A projekt eredményei.....	196
8.3.6	Az EU ETS változásának következményei	197
8.3.7	Irodalomjegyzék	198
9	A N ₂ O üvegházgáz kibocsátás csökkentésének lehetősége egy elképzelt ipari technológiában, alpvonali, projektvonali kibocsátás számítása a salétromsav üzemi beruházás példáján keresztül.	200
9.1	Bevezetés	200
9.2	Előzmények, a példa projekt indokoltsága.....	202
9.3	A dinitrogén-oxid emisszió csökkentése	204
9.4	A jelenlegi salétromsavüzem dinitrogén-oxid emissziójának számítása.....	208

9.5	Homogén fázisú bontás az égetőben	212
9.6	Az esettanulmány új salétromsavüzemében keletkező N ₂ O mennyiségének számítása.....	214
9.7	Az N ₂ O és NO _x gázok emissziójának csökkentése	216
9.7.1	A véggáz előmelegítése a katalitikus reakciók aktiválási hőmérsékletének eléréséhez 216	
9.7.2	Katalitikus véggáztisztítás.....	220
9.8	A kibocsátás csökkentés számítása	223
9.8.1	Az alapvonal kibocsátás számítása	225
9.8.2	A kibocsátás csökkenés számítása.....	232
10	Modellezés	233
10.1	Numerikus matematikai módszerek alkalmazása a számításokban.	233
10.1.1	Levegőminőségi modellek bizonytalansági tényezői.	235
10.1.2	Statisztikai módszerek a modellek összevetésére.....	236
10.2	Levegőtisztaság-védelmi eljárások számítógépi modellezése.	237
10.2.1	EULER-szemléletű modellek.....	239
10.2.2	LAGRANGE-típusú modellek.....	239
10.2.3	Gauss-modell.....	241
10.3	Néhány szoftver bemutatása	261
10.3.1	Transzmisszió 1.1 használata.....	261
10.3.2	ALOHA szoftver alkalmazása	274
10.3.3	Példák matematikai modellezésre	282
10.4	Feladat.....	285
11	Irodalomjegyzék	310

Ábrajegyzék

1. ábra. A légszennyező anyagok – hőmérsékleti sajátságokon túl - a légnyomás legkisebb változására is más-más fizikai/kémiai formát ölthetnek.....	16
2. ábra A szűrő nyomásvesztése (1: tiszta szűrőszövet ellenállása, 2: visszamaradó ellenállás, 3: szűrőszövet+porréteg ellenállása, 4: két szűrőtisztítás közötti idő)	18
3. ábra. AB → A+B disszociáció idealizált energiasémája	19
4. ábra. A részlepésekkel kapcsolatos energetikai változások: A homogén, nem katalitikus reakció energia profilja (szaggatott vonal); katalitikus reakció energia profilja (kék vonal).	20
5. ábra. Arrhenius összefüggés.....	22

6. ábra. Koncentrációgradiens a felület közelében: I.-nincs diffúziós gátlás; II.-részleges diffúziós gátlás; III.- teljes diffúziós gátlás (Bond, 1990).....	25
7. ábra. Diffúzió fajtái a pórusátmérő függvényében (A-szilárdtest diffúzió; B - felületi diffúzió; C - Knudsen diffúzió, D - szabad diffúzió).	27
8. ábra. A diffúziós gátlást szemléltető Arrhenius-görbe: AA' sebességmeghatározó a felületi reakció; BB' a reakció diffúziógátolt (Bond, 1990).....	29
9. ábra. A katalizátor szemcse	30
10. ábra. A kiindulási anyagkoncentrációeloszlása az egydimenziós katalizátorszemcsén belül, különböző η modulusok esetében (Szabó, 1966)	32
11. ábra. A szemcse hatékonyság és a Thiele modulus közötti összefüggés: ha $\ln \eta = 0$, akkor a katalizátorszemcse hatékonysága teljes $\varphi=0.3$ értékig; ha $\ln \eta \geq 0.3$, akkor a Thiele modulus reciprokával egyenlő.	34
12. ábra. Y-zeolit: $\text{Na}_{56}(\text{AlO}_2)_{56}(\text{SiO}_2)_{136}$	46
13. ábra. Savas cetrumok kialakulása zeolitokon.....	46
14. ábra. A sebességi és egyensúlyi állandó változása a hőmérséklet függvényében.....	47
15. ábra. A hidrogén előállítása a szénhidrogének vízgőzös bontásával	47
16. ábra. A hidrogén gyártás mérlege CH_4 betáplálás esetén 100 mól H_2 előállításához.....	63
17. ábra. A hidrogén gyártás anyagmérlege bután betáplálás esetén: $P(\text{C}_4\text{H}_{10})= 5 \text{ atm}$; $P(\text{C}_4\text{H}_{10})= 58.5 \text{ atm}$	63
18. ábra A levegőszennyezés csökkentésének passzív módszerei.....	64
19. ábra A porkamra sebességviszonyai.....	66
20. ábra Irányváltós porleválasztó kamra.....	67
21. ábra Porleválasztás ciklonban és szabványos méretezésű porleválasztó ciklon mérete.....	71
22. ábra Leválasztási hatások a relatív méret függvényében	73
23. ábra Pulse-jet szűrő vázlata.....	75
24. ábra Az elektrosztatikus porleválasztó elvi vázlata (Kovács, 2003).....	77
25. ábra Nedves porleválasztó berendezések (Kovács, 2003).	78
26. ábra A gáz oldódása a folyadékban különböző hőmérsékleteken	80
27. ábra Áttörési görbe	83
28. ábra A mérési berendezés vázlata	84
29. ábra Az aceton gőznyomása a hőmérséklet függvényében.....	86
30. ábra Az anyagátadási zónák vizsgálata az adszorberben (az oszlop szakaszok szemléltetése)	87
31. ábra Hőmérséklet-eloszlás az adszorpciós oszlopban.....	88
32. ábra Aceton koncentráció ($\text{mg aceton}/\text{m}^3$ levegő) a kilépő levegőáramban az idő függvényében.	90
33. ábra A Pannon Egyetem mobil immisziós mérőlaboratóriuma.....	95
34. ábra A mérési helyszín kiválasztása sok esetben kompromisszumokat szül – reprezentatív eredményeket szeretnénk	109
35. ábra A kiemelt légszennyező anyagok mennyiségi és minőségi detektálása számítógép vezérelt módon történik	109
36. ábra Korszerű immisziós (mobil) laboratóriummal mérhető a tényleges légszennyezettség.....	110
37. ábra A légszennyező anyagok mennyiségi és minőségi műszeres meghatározása előtt tanúsított gázpalackokkal történő kalibráció szükséges.....	111
38. ábra Az ipari levegőtisztaság-védelmi monitoringot és adatszolgáltatást törvényi szabályozás szerint végzik.....	112

39. ábra A légszennyezőanyagok mérése mellett a meteorológiai paraméterek vizsgálata is szükséges	113
40. ábra Telepített immissziós mérőállomás Veszprémben – lakossági tájékoztatást szolgálja	114
41. ábra A jellemző szélirány és szélesség (m/s) adatok egy adott mérési időszakra vonatkozóan	115
42. ábra Immissziós mérőpont jelölése a térképen, (Forrás: Google Earth)	115
43. ábra. A WMO-GAW legújabb kutatóközpontja. (Forrás: http://www.antarctica.ac.uk/living_and_working/research_stations/halley/)	118
44. ábra. Európa talaj közeli ózonszennyezettség térképe a Copernicus honlapján.	119
45. ábra. Automata mérőállomások földrajzi eloszlása. (Forrás: OLM)	120
46. ábra. átrajzolni, forrás: http://www.greenfacts.org/glossary/pqrs/PM10-PM2.5-PM0.1.htm	124
47. ábra A nemzeti kibocsátási határértékekről szóló irányelv kibocsátási adatai	128
48. ábra A por halálózásra irányuló hatásai	129
49. ábra Együttes végrehajtás (EV).....	135
50. ábra A klímaváltozás 2050-től várható következményei	142
51. ábra. A műszeres nitrogén-oxidok vizsgálatának 24 órás átlagolásából kapott eredmények	150
52. ábra. A műszeres SO ₂ vizsgálat 24 órás átlagolásának eredményei.....	151
53. ábra. A műszeres SO ₂ vizsgálat órás átlagolása 7. napon	153
54. ábra. A műszeres nitrogén-oxidok vizsgálatának órás átlagolása 7. napon.....	153
55. ábra. A műszeres SO ₂ vizsgálat órás átlagolása 14. napon	154
56. ábra. A műszeres nitrogén-oxidok vizsgálatának órás átlagolása 14. napon.....	154
57. ábra. A műszeres SO ₂ vizsgálat órás átlagolása 22. napon	155
58. ábra. A műszeres nitrogén-oxidok vizsgálatának órás átlagolása 22. napon.....	155
59. ábra A 7. mérési nap szélrózsája	156
60. ábra A 14. mérési nap szélrózsája	156
61. ábra A 22. mérési nap szélrózsája	157
62. ábra. „A” mintavételi pont eredményei.....	158
63. ábra. „B” mintavételi pont eredményei	158
64. ábra. „C” mintavételi pont eredményei	159
65. ábra. „D” mintavételi pont eredményei.....	159
66. ábra A diffúziós mintavételi pontok eredményei.....	160
67. ábra. A szén-monoxid terjedése a korábbi, lámpás kereszteződésnél	173
68. ábra. A szén-monoxid terjedése a körforgalom megépülése után, magasabb forgalom mellett	174
69. ábra. A nitrogén-dioxid terjedése a korábbi, lámpás kereszteződésnél	174
70. ábra. A nitrogén-dioxid terjedése a körforgalom megépülése után, magasabb forgalom mellett	175
71. ábra. A kén-dioxid terjedése a korábbi, lámpás kereszteződésnél.....	175
72. ábra. A kén-dioxid terjedése a körforgalom megépülése után, magasabb forgalom mellett	176
73. ábra. A szálló por terjedése a korábbi, lámpás kereszteződésnél.....	176
74. ábra. A szálló por terjedése a körforgalom megépülése után, magasabb forgalom mellett.....	177
75. ábra A Nitrogénművek Zrt. fő termelési tevékenységei	178
76. ábra ÜHG és N ₂ O kibocsátás az Európai Unióban	180
77. ábra ÜHG és N ₂ O kibocsátás Magyarországon.....	180
78. ábra A N ₂ O emisszió szektoronkénti megoszlása az EU-ban.....	181
79. ábra A N ₂ O emisszió szektoronkénti megoszlása Magyarországon	182

80. ábra A salétromsavüzem technológiai folyamatvázlata.....	184
81. ábra Szövött és kötött háló katalizátorok	186
82. ábra A véggáztisztító reaktor elhelyezkedése a technológiában	189
83. ábra Az ÜHG kibocsátás a projektből	191
84. ábra Üvegházhatású gázok leltára Magyarországon, 2012 (Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat)	200
85. ábra Zöld aktivista aszfaltrajza	201
86. ábra A műtrágya előállítása során tekintélyes mennyiségű N ₂ O képződik (Forrás: www.nitrogen.hu)	201
87. ábra A kibocsátott légszennyezőanyag térfogatáramának számításánál a pontforrás keresztmetszete meghatározó.....	203
88. ábra Az emissziós mérőműszerek közvetlenül a pontforrásra szeretlen végzik az adatgyűjtést..	204
89. ábra Ipari gyakorlatban több 100 bevallásra kötelezett pontforrás is helyet foglal egy csarnok tetején	205
90. ábra Kombinált N ₂ O és NO _x emisszió csökkentést megvalósító rendszer.....	206
91. ábra A régi technológia salétromsavüzemének blokkdiagramja	208
92. ábra Az ammóniaégetőbe belépő folyamatgáz térfogatszázalékos összetétele	209
93. ábra Az ammóniaégetőből kilépő folyamatgáz térfogatszázalékos összetétele.....	211
94. ábra Az ammónia oxidáció nitrogén mérlege	212
95. ábra Az ammónia égetés nitrogénmérlege	215
96. ábra A hőmérséklet és a nyomás hatása az NO oxidáció átalakulási fokára.....	216
97. ábra A dinitrogén-oxid fajhőjének hőmérséklet függése.....	218
98. ábra Az alapvonal kibocsátás évenkénti megoszlása	226
99. ábra A rendszer határai a gyártási folyamatában	228
100. ábra Teljes üvegházgáz emisszió (mCO _{2ekv,t})	232
101. ábra. Véges differencia módszer rácsháló kialakítására példa	234
102. ábra. Véges elem módszer esetén diszkretizáláshoz alkalmazható rácshálóra példa.	234
103. ábra. Véges térfogat módszer	235
104. ábra. Mérési sor alapján meghatározott RHC értékek különböző elemszám figyelembevételével.	236
105. ábra. Tömeg be- és kiáramlása egységnyi térfogatú levegőelembe. c _s a koncentráció, u a szélsősebesség, K _x x irányú turbulens diffúziós együttható.....	239
106. ábra. A Lagrange- és az Euler-modellek felfogásának összehasonlítása.....	240
107. ábra. EMEP PM _{2,5} koncentráció eloszlás térkép 2010-re az EU27 országokra (forrás: EMEP/MSC-W)	241
108. ábra. Pontforrásból származó szennyezőanyag terjedése a Gauss modell szerint.....	242
109. ábra. Nomogram az érdességi magasság, az Obukhov hossz és a Pasquill-kategóriák közti összefüggés megállapítására (Golder, 1972).....	249
110. ábra. AERMOD és CALPUFF modellek összevetése Q-Q teszt alapján (forrás: Dresser és Huizer, 2011).....	259
111. ábra. Füstfáklya formája magányos kémény és egyszerű domborzat mellett.....	260
112. ábra. Füstfáklya terjedését befolyásolják a kémény környezetében lévő épületek.	260
113. ábra. AERMOD és AUSTAL2000 modellek összevetése Q-Q teszt alapján leáramlás figyelembe vétele esetén. (Forrás: Langner és Klemm, 2011).....	261
114. ábra. Transzmisszió 1.1 főablak.....	262

115. ábra. Projekt editor ablak.....	262
116. ábra. Adat menüpont tartalma.	263
117. ábra. Szennyező forrásokról információk.....	263
118. ábra. Szennyezőanyagról információk – kén-dioxid.....	265
119. ábra. Adat/Sz.forrás környezete menüpont.....	266
120. ábra. Domborzat, érdeesség definiálása esetén kinyíló ablak.	267
121. ábra. Tesztfeladatok menüpontban különböző esetek adhatók meg.....	267
122. ábra. Modell menüpont által nyújtott számítási lehetőségek.	268
123. ábra. Eredmények ábrázolása	270
124. ábra. Rajzi opciók beállítása	271
125. ábra. OPEN GL kép 3D-s rajza a területről.....	272
126. ábra. Adatok kinyerésére lehetőségek a Vágóalap menüpontban található.	274
127. ábra. Első lépésként a helyszínrre vonatkozó adatokat kell megadni.	275
128. ábra. A veszély mértékét jelentősen befolyásolja, hogy a szennyezés mennyire juthat be a környező épületekbe. Előfordulhat, hogy az elzárás hatékonyabb védekezés lehet, mint az evakuáció.	276
129. ábra. Meteorológiai adatok megadása – első ablak.	276
130. ábra. A korábban megadott adatok befolyásolják, milyen stabilitási kategóriákat ajánl fel a program.....	277
131. ábra. Forrás definiálása: ha csak a maximálisan kijutó mennyiségről van információnk, akkor a közvetlen forrást kell választani.	277
132. ábra. A kifolyt veszélyes anyag először egy tócsát képez, majd innen jut a levegőbe.....	278
133. ábra. Tartály hasadását feltételezve meg kell határozni a vegyszer mennyiségét (a képen), a tartály és a hasadék alakját, illetve nagyságát.	278
134. ábra. Csőrepedés esete.	279
135. ábra. a modellezett esemény szöveges összefoglalása.....	280
136. ábra. Számítások grafikus ábrázolása az ALOHA szoftveren belül	281
137. ábra. Az előző számítás eredményei a Google Earthben megjelenítve.	282
138. ábra. Koncentráció-eloszlás a 10-500 m-es légrétegben 18 órával (bal) és 72 órával (jobb) a feltételezett kibocsátás után (2011. november 5-9. közötti meteorológiai viszonyok mellett) (OMSZ)	283
139. ábra. A feltételezett kibocsátást követő 96 óra során nedves (bal) és száraz (jobb) ülepedéssel a felszínre került anyagmennyiség földrajzi eloszlása (OMSZ)	283
140. ábra. Az AERMOD modellel számolt éves átlagos NOx koncentráció eloszlás Százhalombatta térségében (OMSZ)	284
141. ábra. 24 órás előrejelzés a nitrogén-dioxid koncentráció várható budapesti területi eloszlására (balra) és a nitrogén-dioxid koncentráció várható időbeli menete a Gilice téri mérőállomáson (jobbra)	285

Táblázatjegyzék

1. táblázat. Kinetikai egyenletek.	40
2. táblázat. Felületi borítottságok különböző kinetikai esetek esetén.....	40
3. táblázat .Az alkilezést leíró kinetikai egyenletek.....	42

4. táblázat. Az alkilezési reakciót leíró sebességi egyenletek	43
5. táblázat. Transzformált sebességi összefüggések	44
6. táblázat A termék gázelegy összetétele a hőmérséklet függvényében atmoszférikus nyomáson... ..	48
7. táblázat Hidrogén előállítás egyenletei	54
8. táblázat Hidrogén előállítás reakciói	54
9. táblázat. Az egyensúlyi összetétel	55
10. táblázat Egyensúlyi összetétel	57
11. táblázat. C ₄ H ₁₀ betáplálás esetén a bontót elhagyó gáz összetétele	60
12. táblázat A bontót elhagyó gáz (CH ₄ alapú) összetétele mól %-ban	60
13. táblázat A bontót elhagyó gáz (CH ₄ alapú) összetétele mól-ban	61
14. táblázat A betáplált gáz mol %-os összetétele	61
15. táblázat Aceton gőznyomása a hőmérséklet függvényében.....	85
16. táblázat Hőmérsékletelosztása az adszorber oszlopban.....	87
17. táblázat A gázkromatográfiai eredmények alapján számolt kilépő acetón koncentrációk.....	89
18. táblázat. Az OLM mérőhelyei (Forrás: OLM)	120
19. táblázat PM10 határértékek összehasonlítása.....	124
20. táblázat PM10 szennyezettség régióként kilógrammban. (Forrás: http://okir.kvvm.hu/lair/) ..	126
21. táblázat. Országos légszennyezettség adatok kilógrammban. (Forrás: http://okir.kvvm.hu/lair/)	128
22. táblázat A jegyzőkönyv által biztosított rugalmassági mechanizmusok (http://klima.kvvm.hu/index.php?id=29)	134
23. táblázat. Nem közlekedési eredetű CO ₂ kibocsátás ezer tonnában	137
24. táblázat A Green Climate Fund költségvetésének állapota 2012 végén (Forrás: GCF és saját gyűjtés).....	140
25. táblázat Forgalmatszámítási adatok	163
26. táblázat Forgalmatszámítási adatok	163
27. táblázat Szennyezőanyag kibocsátás.....	165
28. táblázat Mérési eredmények koncentráció táblázata.....	166
29. táblázat 2012. március 26. 0:00 mérési eredményei	167
30. táblázat A nitrogén-dioxid, a kén-dioxid és a 10 mikrométeres porkoncentráció átlagértékei és maximumai.....	167
31. táblázat. A szén-monoxid és az ózon 8 órás mozgó átlagainak maximumai és a szén-monoxid órás maximuma.....	168
32. táblázat A nitrogén-dioxid, a kén-dioxid és a 10 mikrométeres porkoncentráció átlagértékei és maximumai.....	168
33. táblázat. <i>A szén-monoxid és az ózon 8 órás mozgó átlagainak maximumai és a szén-monoxid órás maximuma</i>	169
34. táblázat Körforgalom forgalmatszámítási adatai.....	169
35. táblázat. <i>Becsült kibocsátás a körforgalom üzemelési fázisára</i>	171
36. táblázat Összehasonlító adatok.....	171
37. táblázat Üvegházhatású gázok légköri tartózkodási ideje és globális melegítő potenciálja.....	179
38. táblázat Ammónia konverzió és katalizátorvesztés a nyomás függvényében [20]	186
39. táblázat A projekt eredményeként elért kibocsátás csökkentés	196
40. táblázat N ₂ O kibocsátás a beruházást megelőző években a hígsav üzemből	204
41. táblázat Az ammóniaégetőbe belépő folyamatgáz térfogatszázalékos összetétele.....	209
42. táblázat A folyamatgáz komponenseinek mólláma	210

43. táblázat Az ammóniaégetőből kilépő folyamatgáz térfogatszázalékos összetétele, valamint az egyes komponensek mólárama	210
44. táblázat Az új savüzem ammónia égető reaktorába belépő gázáram összetétele	214
45. táblázat Az ammónia égetőből kilépő gázáram összetétele	214
46. táblázat Az abszorpciós tornyot elhagyó gázáram összetétele	217
47. táblázat A folyamatgáz komponenseinek fajhői különböző hőmérsékleteken	218
48. táblázat A gázkomponensek átlagos fajhője és móltörtje	219
49. táblázat Ammónia felesleg a második katalizátorrétegen az első rétegen történő N ₂ O átalakulás hatásfokának függvényében	221
50. táblázat A véggáztisztító reaktort elhagyó gáz összetétele	221
51. táblázat Az alapvonal kibocsátás	227
52. táblázat A projektvonal kibocsátás	231
53. táblázat Kibocsátás csökkenés a 2008-2012. közötti időszakban	232
54. táblázat. Léggöri mozgások hozzávetőleges tér- és időléptékei, szennyezőanyagok terjedési jellemzői (Bozó et al. 2006)	238
55. táblázat. Monin-Obukhov hossz (L) a léggöri stabilitás függvényében (Seinfeld, Pandis, 2006) ..	246
56. táblázat. A Pasquill-féle rétegződési kategóriákra vonatkozó Turner-féle (Turner, 1969) kritériumok. A szélesebbesség értékek 10 m-es magasságra vonatkoznak. A felszíntípus: gyepek érdeksége 10 cm	248
57. táblázat. A léggöri rétegződést jellemző Pasquill-féle kategóriák	248
58. táblázat. A szélprofilegyenlet kitevője 300 méteres rétegvastagságra vonatkozva	251
59. táblázat. k érték meghatározása (MSZ 21459/5)	252
60. táblázat. Érdekségi magasság különböző felületekre (McRae et al 1982)	254
61. táblázat. Davenport-féle érdekségi osztályok (Davenport et al, 2000)	254
62. táblázat. Az ülepedési sebesség értéke egyes frakciókra	264
63. táblázat. Transzmisszió 1.1-be épített modellek és információ róluk (Transzmisszió kézikönyv) ..	268

1 Levegőtisztaság-védelmi folyamatok elméleti háttere

1.1 Kapcsolódó fogalmak

Fenntartható fejlődés: a fenntartható fejlődés olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen szükségleteit, anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő nemzedékek esélyét arra, hogy ők is kielégíthessék szükségleteiket.

Kondenzáció a levegőtisztaság-védelemben: gázok és gőzök sűrítése és cseppfolyósítása nyomásváltoztatással és hűtéssel.

Koaguláció a levegőtisztaság-védelemben: a légköri aeroszolok (10^{-3} - $10^3 \mu m$) leválasztására alkalmas eljárás.

GWP (global warming potential) érték: az egyes üvegházgázok esetében alkalmazott dimenziómentes mérőszám, amely kifejezi a gáz üvegházhatáshoz való hozzájárulás mértékét. A CO_2 mérőszáma 1, ehhez viszonyított a többi.

Rugalmassági mechanizmus: A kiotói üvegházgáz kibocsátást csökkentést célzó jegyzőkönyvre épült 4 konkrét gyakorlati alkalmazás: együttes végrehajtás, tisztább termelés, EU buborékpolitika és nemzetközi kvótakereskedelem.

Emisszió: Az adott légszennyező forrásból időegység alatt kijutó szennyezőanyag mennyisége.

Immisszió: levegőterheltségi szint, a levegőben kialakult szennyezőanyag (gázok, aeroszol részecskék) koncentrációját jelenti, megadja a környezeti levegő minőségét.

1.2 Kondenzáció a levegőtisztaság-védelemben

Az illékony szerves vegyületek (VOC volatile organic compound) olyan szénhidrogéneket tartalmazó vegyületek, amelyek könnyen elpárolognak (illékonyak), ill. már alacsony hőmérsékleten (pl. szobahőmérsékleten) gáz halmazállapotban vannak jelen.

A technológiai véggázban lévő légszennyező oldószergőz jellemzően származhat lakozási vagy gyógyszergyártási eljárásokból. Ez utóbbi például a növény oldószeres extrakciója során a hatóanyag kihajtása céljából. A keletkező oldószergőzt ventilátorral történő elszívással rá lehet vezetni egy tisztítási technológiára.

Az oldószergőzök tisztítására alkalmas eljárások:

- kondenzáció
- adszorpció
- oxidáció (égetés): termikus vagy katalitikus
- biológiai oxidáció: mikroorganizmusok segítségével

Kondenzációval az illékony szerves vegyületek folyadékká alakíthatók. Ennek eléréséhez fontos ismerni az alábbi befolyásoló paramétereket és összefüggéseiket:

- Tisztítandó véggáz oldaláról a hőmérsékletet ($^{\circ}C$) és az össznyomást (atm).

- Az oldószergőz koncentrációját a móltörteteket. Jelölése: y , ha gőz ill. x , ha folyadék halmazállapotú.
- További jellemző az oldószergőz egyensúlyi gőznyomása (p_t^* ; atm), ami megmutatja, hogy adott hőmérsékleten mennyi lehet az oldószergőz parciális nyomása.

1.2.1 Kapcsolódó összefüggések

Dalton törvénye szerint egy gázelegy össznyomása egyenlő az egyes összetevőinek parciális nyomása összegével. Ezt az empirikus törvényt John Dalton 1801-ben állította fel mérései alapján és a tökéletes (ideális) gázokra érvényes.

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_i$$

A Dalton-törvényt a Boyle–Mariotte-törvénnyel és az Avogadro-törvénnyel összevetve, megállapítható, hogy a tökéletes gázok elegyeiben egy gáz parciális nyomásának és az össznyomásnak a viszonya egyenlő a móltörtjével.

$$p_i = p_o \cdot y_i$$

További kapcsolódó paraméter a relatív telítettség (φ)

$$\varphi = \frac{p_i}{p_t^*}$$

Amikor a parciális nyomás értéke eléri az egyensúlyi gőznyomás értékét, akkor több (oldószer)gőz már nem képes gázfázisba kerülni, bekövetkezik a kondenzáció.

Ekkor φ értéke 1, vagyis a relatív telítettség 100%. $p_t^* = p_i$.

Ez a kondenzáció feltétele.



1. ábra. A légszennyező anyagok – hőmérsékleti sajátságokon túl - a légnyomás legkisebb változására is más-más fizikai/kémiai formát ölthetnek.

A kondenzációs technológiákban e feltétel elérése a cél, amíg az érték alatta van ($p_i < p_t^*$) két alternatíva kínálkozik:

- p_i értékének növelése p_i^* értékéig
- p_i^* értékének lecsökkentése P_i értékére

Az előbbi eset nyomásnöveléssel oldható meg: komprimálással növelhető a gáz (össz)nyomása. Mivel az oldószergőz mennyisége változatlan – Dalton törvény alapján – az össznyomás fog nagyobb értéket öltetni. Amint a P_i értéke eléri a P_i^* értékét, megindul a kondenzáció.

A második eset hűtéssel, a hőmérséklet csökkentésével valósulhat meg, de csak kondenzációért nem szokás ezt az alternatívát választani. Technológiai megvalósítása a kondenzátorral történik, amely kialakítás tekintetében lehet közvetlen, vagy közvetett. Közvetlennél (direkt) a hűtendőbe vezetjük a hűtőközeget. Ez az egyszerűbb, sokszor olcsóbb megoldás, de utána a fázisátváltásról gondoskodni kell. A közvetett (indirekt) kiépítésnél falon keresztüli hőcserélőkről beszélünk.

Mivel a hűtőközeg - a levegőtisztaság-védelemben - levegő, vagy víz, ezért ez az eljárás csak bizonyos hőmérsékletig (max. 10-15 °C) képes hűteni. Így többnyire marad még a rendszerben oldószergőz. A kondenzáció csak előtisztításként szolgálhat, önmagában - többnyire - nem képes az oldószergőzt határérték alá vinni.

Mégis hasznos eljárás, mert jelentősen csökkenti azt az oldószergőz mennyiséget, amit utána katalitikus égetéssel, vagy aktívszenes adszorpcióval teljesen leválasztunk. Ha a teljes oldószergőzt katalitikusan kezelnénk az eljárás során képződő hő (exoterm folyamat) könnyen dezaktivációt, a katalizátor tönkretételét okozhatná. Aktívszenes kezelésnél pedig lassúbb az adszorbens kimerülése, ha egy kondenzáció megelőzi, ráadásul a hőmérséklet csökkentés kedvez az adszorpciónak is.

1.3 Koaguláció a levegőtisztaság védelemben

A levegőtisztaság-védelemben a szűréssel történő porleválasztás során diffúziós hatás is lejátszódik. Minél kisebbek a leválasztandó részecskék, Brown féle mozgásuk annál intenzívebb, ezzel növekszik a szűrőszállal valamint egymással való találkozási lehetőségük.

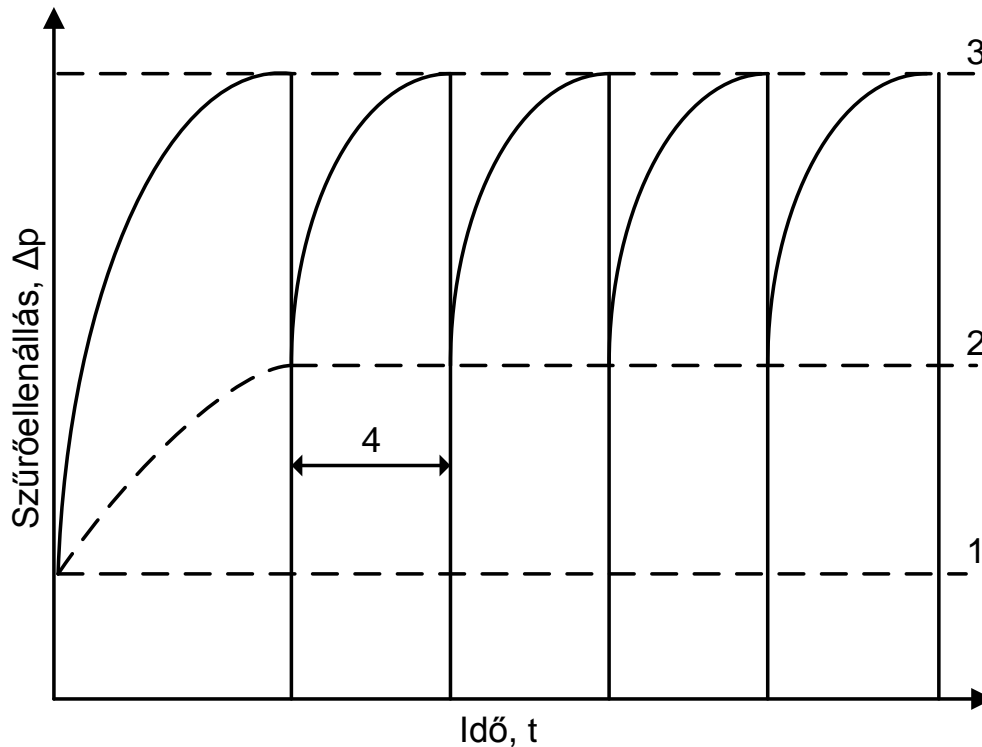
Nedves ülepedés esetében az 1 mikrométernél kisebb részecskék oldódását elősegítheti az a mechanizmus, hogy minél apróbb méretű a részecske, annál nagyobb a Brown-féle (állandó, véletlenszerű) hőmozgása amely megnöveli a részecskék egymással való találkozásának lehetőségét: egymásnak ütköznek, koagulálódnak. Ennek eredményeképpen a légköri részecskék darabszáma az idő előrehaladtával fokozatosan csökken.

Szemcseméret növelő eljárás a gravitációs koaguláció, ami azt jelenti, hogy az atmoszféra állandó mozgásban lévő felhőelemei útjuk során ütköznek egymással, összeolvadnak és az így képződött részecske mérete nagyobb, mint az eredeti cseppeké.

1.4 Hidrodinamikai ellenállás és nyomásvesztés

Porleválasztáshoz használt szűrő méretezésének alapja a nyomásvesztés. Pl. zsákos porszűrőnél adott nyomásvesztés érték elérése esetén a folyamatot leállítják és a port vibráltatott levegővel leválasztják.

A nyomásvesztés másként gáz áramlással szembeni ellenállása.



2. ábra A szűrő nyomásvesztése (1: tiszta szűrőszövet ellenállása, 2: visszamaradó ellenállás, 3: szűrőszövet+porréteg ellenállása, 4: két szűrőtisztítás közötti idő)

1.5 Diffúzió, termoforézis, diffúzióforézis

Egy szennyezett gázáramban a diffúzió, termoforézis és diffúzióforézis jelensége egyaránt hatékonyan segítheti a nedves porleválasztást levegőtisztaság-védelmi eljárások terén.

Nedves porleválasztás mechanizmusánál a legjobb hatékonyság eléréséhez tulajdonképpen a leválasztandó szemcse és a folyadék-felület minél nagyobb felületen történő érintkeztetése a kívánatos cél, amelyre a következő mechanizmusok jöhetnek számításba:

- az $1\ \mu\text{m}$ -nél nagyobb szemcsékre a tehetetlenségi ütközés a jellemző.
- az $1\ \mu\text{m}$ -nél kisebb szemcséknél fontos szerepet játszik a Brown-féle mozgás, amely a $0,1\ \mu\text{m}$ alatti átmérőjű szemcsék esetében döntővé válik,
- a kis átmérőjű szemcsék leválasztásában szerepet játszik a termoforézis és a diffúzióforézis is: gőz kondenzációjakor a szemcsék kondenzációs magként szerepelnek, amelynek hatására a szemcse tömeg- és méretnövekedése következik be, amely a tehetetlenségi ütközés valószínűségét erőteljesen megnöveli.

1.6 Katalitikus reakciókat befolyásoló folyamatok

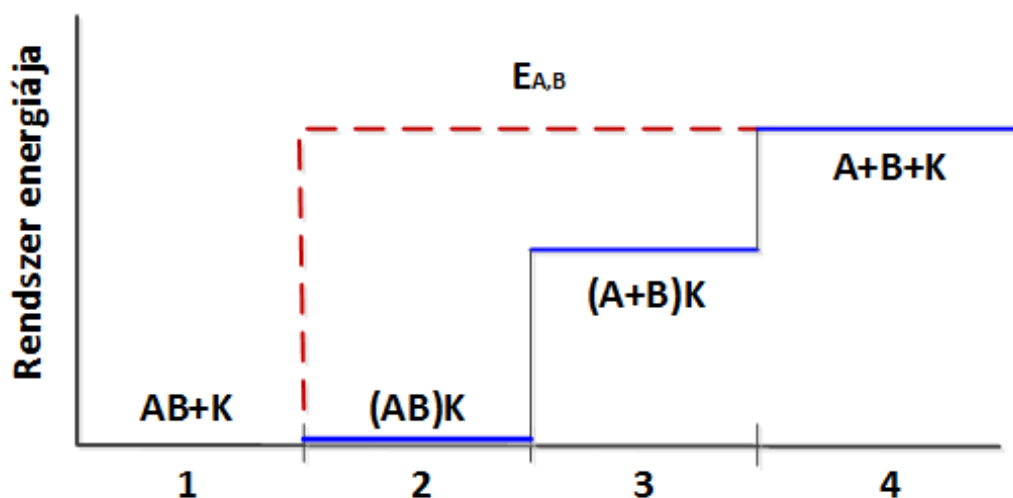
A **kémiai reakció** anyagi változás, amelyben egy- vagy több reaktáns vesz részt és amelyek során egy vagy több termék keletkezik. A **kémiai átalakulások** során molekulán belüli ill. molekulák közötti kötéstrendeződések mennek végbe. Az átalakulásnak, azaz a kémiai reakciónak a sebessége függ az

átrendeződő kötések természetétől (a kötéserősségtől), továbbá a külső körülményektől, a hőmérséklettől, a reagáló anyagok koncentrációjától (Kalló, 1999).

A reakció lejátszódhat gyorsan vagy lassan, ezt a körülményt a reakciósebességi állandó, k , fejezi ki. A folyamat lehet **hőtermelő (exoterm)** vagy **hőfogyasztó (endoterm)**. Általában az alábbi reakciófajtákat szokták megkülönböztetni (Moser et al., 1988):

- **Megfordítható (reverzibilis)** reakciók aszerint, hogy a reakció egyensúlyra vezet (pl.: SO_2 oxidációja, ammónia szintézis);
- **Nem megfordítható (irreverzibilis)** reakciók aszerint, hogy reagáló anyagok teljesen átalakulnak (pl. : közömbösítés);
- **Egyszerű és összetett** reakciók aszerint, hogy a reakció egy vagy több lépésben játszódik le;
- Az összetett reakciók pl. **konzekutív reakciók**, amelyeknél közbeeső termék után további reakció következhet be (szénhidrogének oxidációja savakkal, majd folytatólag teljes oxidációjuk);
- Az összetett reakciók pl. **szimultán reakciók is**, amelyeknél több reakció párhuzamosan játszódik le (pl. CO_2 és H_2S egyidejű abszorpciója alkalikus oldatban);
- Katalizált és nem katalizált reakciók.

Az 3. ábra felvázolja nem katalitikus és katalitikus esetben az AB molekula disszociációját kísérő energia változást. A reagáló rendszert, ami reaktánsból vagy reaktánsokból áll, érintkezésbe / kölcsönhatásba hozzuk egy harmadik anyaggal az átalakulást elősegítő anyaggal, a katalizátorral (K). A reagáló anyagok több lépésben alakulnak át. Bár a reakcióút hosszabb, mégis lényegesen rövidebb idő alatt tehető meg a reakcióút vagyis a reakciósebesség lényegesen nagyobb lesz (Kalló, 1999). A katalízis a kémiai folyamatok sebességének megváltoztatása olyan anyagok, **katalizátorok** által, amelyek a reakció folyamán nem változnak maradandóan. Reagáló molekulák és a katalizátor között specifikus kölcsönhatásnak kell létrejönnie, hogy a megkívánt kötésátrendeződés következzen be, vagyis az átalakulást szelektívvé teszi.



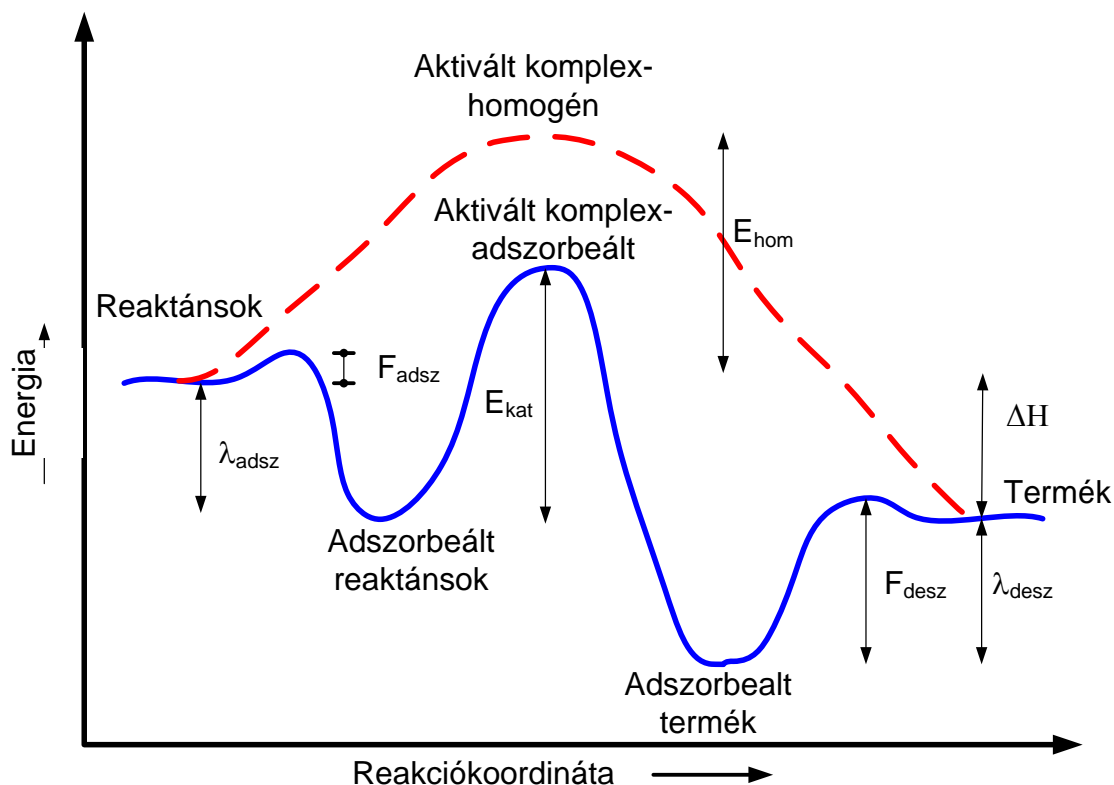
3. ábra. $\text{AB} \rightarrow \text{A+B}$ disszociáció idealizált energiasémája

A 3. ábra jelölései:

- I. A homogén, nem katalitikus reakció energia profilja (szaggatott vonal);
- II. katalitikus reakció energia profilja (kék vonal):

1. $AB + K$ - Alapállapot, nulla energiaszint;
2. $(AB)K$ - molekula megkötődik katalizátoron. Feltételezzük, hogy az adszorpció nem jár energiaváltozással;
3. $(A+B)K$ – az adszorpció után felszakad az A-B-kötés, $E_{AB,K}$;
4. $A+B+K$ - a felületi disszociáció után végbemegy a deszorpció, $E_{AK} + E_{BK}$

A katalizátor hatása azon alapszik, hogy csökkenti az aktiválási energiát, E , amely szükséges ahhoz, hogy a reakcióban részvevő molekulák hatékonyan ütközessenek (3. ábra és 4. ábra). A katalizátor felületének aktív centrumain kisebb aktiválási energiával megy végbe a kémiai reakció. A katalizátor szerepe az, hogy megnöveli a reakció sebességét, vagy több lehetséges reakció közül szelektíven csak az egyik lejátszódását segíti elő.



4. ábra. A részlepekkel kapcsolatos energetikai változások: A homogén, nem katalitikus reakció energia profilja (szaggatott vonal); katalitikus reakció energia profilja (kék vonal).

A reakció végeztével, vagyis a makroszkopikusan észlelhető átalakulás befejeztével a katalizátor elkülönítendő a reagáló elegytől. Szükséges a továbbiakhoz néhány alapvető jellemzőnek a pontosítása. Ha viszont mind a katalizátor, mind a reaktánsok és a termékek ugyanabban a homogén fázisban, pl. ugyanabban az oldatban vannak jelen, akkor az elválasztás igen körülményes (**homogén katalízis**). Éppen ezért a gyakorlatban, az esetek döntő többségénél, a katalizátor egy másik, heterogén

fázisban van jelen, mint a reagáló elegy (**heterogén katalízis**). A katalizátor ilyenkor jóformán mindig szilárd, a reakcióelegy cseppfolyós vagy gáznemű s így egymástól igen könnyen, mechanikusan elkülöníthetők. Ebben az esetben a folyamat (reakció) a katalizátor felületével érintkezésben megy végbe (**kontakt katalizátor**).

A jó katalizátorok többségének a felülete nem egységes, hanem különböző fizikai állapotú és esetleg eltérő kémiai összetételű részekből áll, amelyek közül csak egyesek (az aktív helyek, aktív centrumok) hatékonyak a vizsgált folyamat meggyorsítására ([Erdey-Grúz, 1972](#)).

A katalizátoroknak azokat az atomjai, melyek a gázmolekulákkal kötéseket létesítenek, **aktív centrumnak** vagy aktív fázisnak nevezik. A **katalizátor aktivitása (hatékonysága)**: egy adott reakcióban időegység alatt, egységnyi tömegű katalizátoron, azonos körülmények között (hőmérséklet, nyomás, koncentráció) átalakuló anyag teljes mennyisége. A **szелеktivitás**, megadja, hogy az átalakult anyag mekkora hányadából képződik a kívánt céltermék. A **hozam**, megadja, hogy a betáplált anyag mekkora hányadából képződött a kívánt termék ([Kalló, 1999](#)).

A katalizátor aktivitását legegyszerűbben fokozhatjuk a hőmérsékletnek vagy a reaktáns koncentrációjának nyomásának növelésével. A reakció sebességi állandó, k , hőmérséklet függését az Arrhenius egyenlet írja le:

$$k = A \cdot e^{\frac{-E^*}{RT}}$$

ahol :

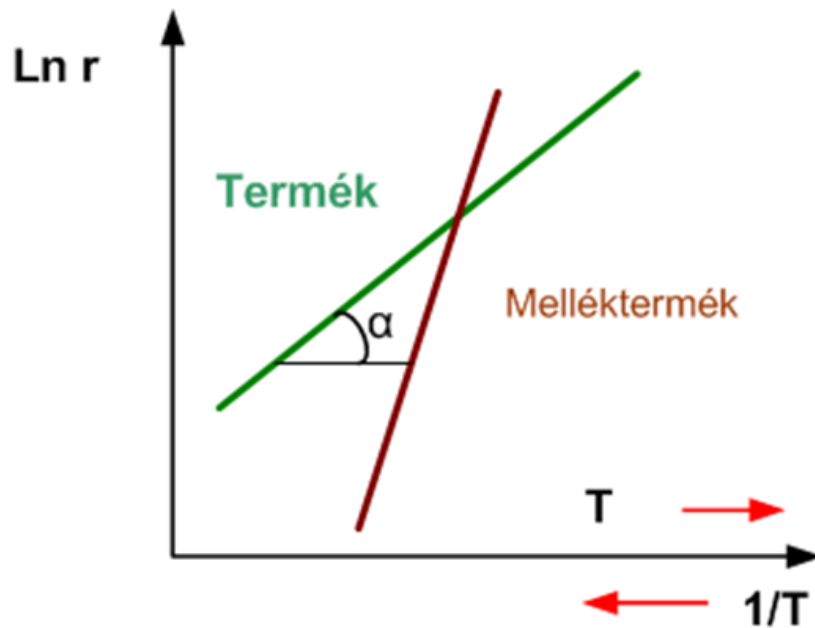
A : preexponenciális tényező, dimenziója megegyezik a reakció sebesség állandó dimenziójával;

E^* : aktivítási energia;

R : az gázállandó;

T : az abszolút hőmérséklet, K.

Bár a hőmérséklet emelése meggyorsítja a reakciót, azonban ez a megoldás nem minden esetben használható. Exoterm reakciók esetében a hőmérséklet növelése ellentétes hatású. A hőmérséklet emelésével a nem kívánt mellékreakciók is gyorsulhatnak, gyakran jobban, mint a kívánt reakció (5. ábra). Más esetben a keletkezett termékek elbomlanak magasabb hőmérsékleten. Ilyen esetekben a hőmérséklet növelése helyett katalizátort használunk. Exoterm reakciónál a katalizátor tehát a maximális konverzióhoz szükséges hőmérsékletet tolja el az alacsonyabb hőmérséklet tartományba és nagyobb konverziók elérését teszi lehetővé.



5. ábra. Arrhenius összefüggés

A katalizátor aktivitását lehet változtatni a nyomás növelésével. Minél nagyobb a reaktánsok parciális nyomása annál nagyobb a koncentráció, annál gyorsabb az reakció. De ezzel a módszerrel is felmerülhetnek problémák:

- jóval drágább berendezésekre van szükség;
- szerkezeti anyagok károsodása: például szénacélból a szén hidrogénnel reagálva metánként eltávozik, csökkentve a szénacél szilárdságát;
- nyomás növelésével nem-kívánt irányt vesz a reakció: például, ha a hidrogén parciális nyomása megnő, akkor a könnyű paraffin szénhidrogének izomerizációja átmehet hidrokrakkolásba, amikor az értékes izo-paraffinok helyett kevésbé értékes könnyű szénhidrogének képződnek;
- csak egy határáig lehet növelni a nyomást, utána a nyomás növelése már hatástalan.

Az aktivált adszorpció. Mivel a kontakt katalízis felületi folyamat, szoros összefüggésben van az adszorpcióval. Az adszorpció gázok vagy oldott anyagok molekuláinak megkötése fázisok határfelületén, miáltal itt koncentrációjuk nagyobb, mint a fázis belsejében. Régebben azt hitték, hogy a reakciógyorsító hatás egyszerűen a felületi rétegek nagyobb koncentrációjának a következménye. A jelenségek kvantitatív vizsgálata alapján azonban megállapítható, hogy a kontakt katalizátorok okozta sebességnövekedés sokkal nagyobb, mint ami az adszorpciótól származó koncentrációnövekedés alapján várható volna. A kontakt katalitikus hatásban az adszorpció okozta koncentrációnövekedésnek közvetlenül csak kis szerepe van, a jelenség főleg a reakció aktiválási energiájának a csökkentésére vezethető vissza.

A heterogén katalitikus reakciókban legalább az egyik résztvevő úgy adszorbeálódik, hogy a katalizátor felületi atomjai által az adszorbeált molekulákra kifejtett erő deformálja, lényegesen fellazítja, esetleg fel is bontja a molekulát (kemiszorpció). A katalizátorfelület és a hatóanyag között tehát tulajdonképpen felületi vegyület jön létre, amely- úgy, mint homogén katalízis átmeneti komplexuma — kis aktiválási energiával képződik és bomlik el. Felületi vegyületek képződése vagyis a kemiszorpció, csak akkor jár számottevő katalitikus hatással, ha eléggé fellazítja a molekulát ahhoz, hogy a kémiai reakció bekövetkezéséhez csak kis aktiválási energiára legyen szükség, viszont mégsem hoz létre olyan erős felületi kötést, hogy megakadályozza az elszakadást a reakció bekövetkeztével. Az ilyen jellegű adszorpció az aktivált adszorpció. A katalízist tehát az aktivált felületi komplexum képződésének és elbontásának gyors ciklikus ismétlődése idézi elő (Langmuir, Hinshelwood, Taylor, Roginskij, Zeidovics). Pl. Pt-nak a H₂ reakcióira gyakorolt katalizáló hatása arra vezethető vissza, hogy a platinán a H₂-molekula atomjaira bomlik, s a H-atomok sokkal reakcióképesebbek, mint a H₂-molekulák. A H₂-gáz homogén reakcióiban ui. a H₂-molekulát előbb fel kell bontani atomokra (vagy legalábbis fel kell lazítani a molekulán belüli kötéseket), s ehhez aktiválási energia gyanánt a disszociációhőnek megfelelő energiát (vagy nem sokkal kevesebbet) kell befektetni. Ez igen nagy energia (mintegy 100 kcal/mól), a H₂ reakciói tehát nagy aktiválási energiát igényelnek, ezért kevésbé reakcióképes a hidrogén közönséges hőmérsékleten. A Pt-katalizátor disszociálja a H₂ molekulát (aminek energiaszükségletét az adszorpcióhő fedezi), és laza Pt—H felületi vegyületet hoz létre, amely könnyen (azaz kis aktiválási energiával) reagál tovább (Erdey-Grúz,1972).

A teljes heterogén katalitikus folyamatot a következő öt lépésre oszthatjuk fel, amelyek bármelyike lehet sebességmeghatározó:

1. A reaktáns(ok) anyagtranszportja a katalizátor felületéhez– transzportfolyamatok, fizikai lépés;
2. A reaktáns(ok) adszorpciója (kemiszorpciója) a katalizátor felületén;
3. Felületi reakció;
4. A termék(ek) deszorpciója;
5. A deszorbeált termék(ek) anyagtranszportja– transzportfolyamatok, fizikai lépés.

A 2., 3. és 4. lépés kémiai természetű (tényleges katalitikus részfolyamatok), és úgy tekinthetjük, hogy együttesen ezek alkotják a katalitikus reakciót: a sebességmeghatározó lépés megállapítása adott esetben, mint ahogy korábban említettük, nem mindig egyértelmű a megfigyelt kinetika alapján. Az 1. és 5. lépés viszont nem jelent kémiai reakciót. Az 1. lépés az a fizikai folyamat, amelyben a reakció komponensek keresztüljutnak a szilárd katalizátort körülvevő gáz- vagy folyadékfázison a felület aktív helyeihez kerülnek. Ez a diffúziós folyamat, és a jelenséget a transzport folyamatnak nevezzük. Az 5. lépés a felület közeléből a termékek eltávolításának megfelelő folyamata. Ha ezek bármelyike lassúbb, mint maga a katalitikus átalakulás sebessége, akkor a sebességet a reakció komponensek érkezési sebessége (vagy a termékek távozási sebessége) határozza meg: ekkor azt mondjuk, hogy a sebesség diffúzió gátolt vagy anyagtranszport gátolt (Bond, 1990). 10 °C hőmérséklet-emelkedés a kémiai reakciók sebességét 2-4-szeresére, a diffúzióét viszont csak mintegy 1.2-szeresére növeli (Erdey-Grúz, 1972).

A gyakorlatban a legfontosabb a diffúziós gátlás felismerése, mert ez azt jelenti, hogy a katalizátort nem használjuk ki teljesen. Előfordul olyan eset, amikor előnyösebb a diffúziós gátlás, pl. ha nagy hozammal szeretnénk egy köztiterméket előállítani, de legtöbbször jobb, ha elkerüljük a katalizátor jobb kihasználása végett. A diffúziós folyamatok a katalizátorszemcsék külső felületén a következő jellemzők alapján ismerhetők fel:

- a reakciósebesség arányos a katalizátor tömegének (vagy az aktív komponens koncentrációjának) egynél kisebb hatványával, a kitevő szélsőséges esetben nulla is lehet;
- a reakciósebesség nő, ha a gáz vagy folyadék mozgását gyorsítjuk a katalizátorhoz képest;
- a hőmérsékleti együttható kicsi, és a látszólagos aktiválási energia egészen kicsi, $10-15 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ lehet; a gázdifúziós folyamatok ugyanis nem az Arrhenius-egyenletnek engedelmeskednek, sebességük $T^{1/2}$ -nel arányos.

Azoknak a reakcióknak, amelyek sebességét a valódi kémiai lépés határozza meg, a következők a sajátosságai:

- a reakció sebesség pontosan arányos a katalizátor tömegével vagy az aktív komponens koncentrációjával;
- a reakciósebességet nem befolyásolja az erősebb áramlás, rázás vagy keverés;
- a látszólagos aktiválási energia rendszerint meghaladja az $25 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ -t.

Azok a reakciók, amelyekben folyadékfázis is jelen van, könnyebben válnak diffúziógátolttá, mint ahol csak gázállapotú reakció komponensek szerepelnek. Ez azért van, mert a diffúziós együttható folyadékokban sokkal kisebb, mint gázokban. Diffúzió csak koncentráció gradiens jelenlétében megy végbe, és a D diffúziós együtthatót Fick első diffúziós törvénye szerint a következőképp értelmezzük:

$$-\frac{1}{A} \cdot \frac{dn_A}{dt} = D \frac{dc}{dx}$$

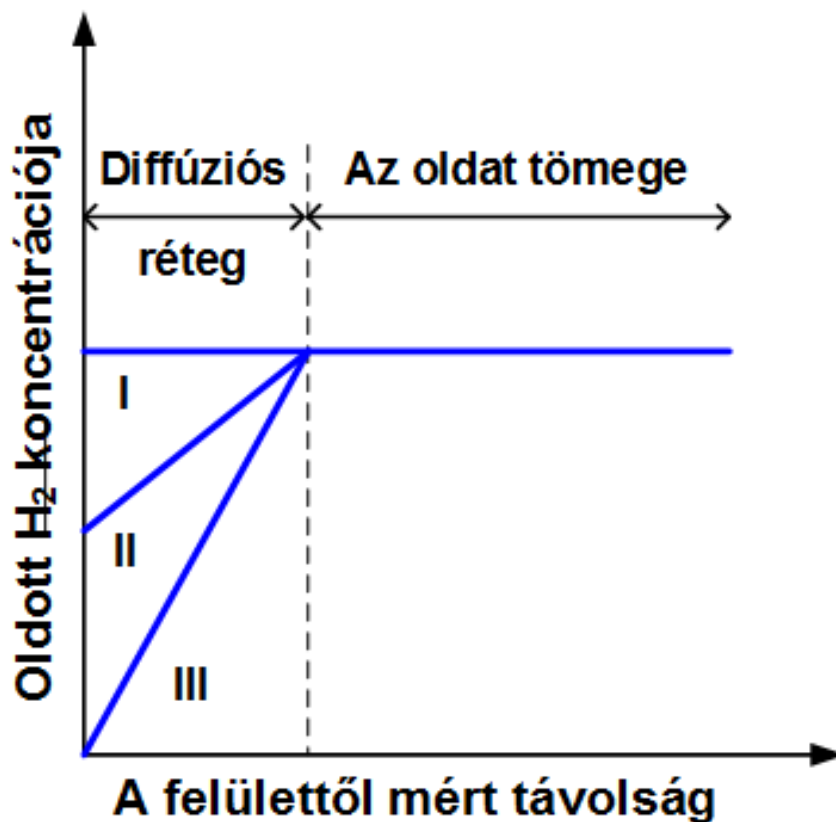
ahol $-\frac{dn_A}{dt}$ az A felületen áthaladó molekulaáram (fluxus),

dc/dx koncentráció gradiens esetén.

Diffúziós kérdések különösen gázok és folyadékok együttes jelenlétében fordulnak elő, pl. folyadékfázisú benzol katalitikus hidrogénezése során. A hidrogén benzolban való kis oldhatósága miatt a katalizátor felülete és a folyadék között soha nem lesz nagy a koncentrációgradiens, és amint ezt Fick első törvényéből látjuk, ez határozza meg a diffúziósebességet. Ezért mindig keverést kell biztosítani az ilyen rendszerekben. A keverés hatására:

- megnő a folyadék-gáz érintkezési felület, ami növeli a hidrogénoldódási sebességét, és így maximálja az oldott hidrogén koncentrációját, és
- minimálisra csökken az a távolság, amelyet a hidrogénmolekulának folyadékfázison keresztüli diffúzióval kell megtennie, hogy a katalizátor felületéhez eljusson.

A diffúziós gátlást a felület mellett keletkező koncentrációgradiens jelzi (6. ábra). A kétfázisú reakció felgyorsításának további lehetősége atmoszférikust meghaladó gáznyomás alkalmazása, mivel Henry törvénye értelmében az oldott gáz koncentrációja nyomásával arányos lesz. Így ha 5 vagy 10 bar (0,5-1 MPa) nyomáson dolgozunk, az is jelentős javulást eredményez az 1 bar-hoz képest, de ez nem érvényes arányos a nagyobb nyomások felé haladva. Nem ritka azonban a 100 bar (10 MPa) nagyságrendű nyomások használata sem.



6. ábra. Koncentrációgradiens a felület közelében: I.-nincs diffúziós gátlás; II.-részleges diffúziós gátlás; III.- teljes diffúziós gátlás (Bond, 1990)

Diffúziós gátlás előfordulhat a porózus katalizátorszemcsék belsejében is, a tünetek ilyenkor nagyon hasonlítanak a külső diffúziós gátlás előbbieken említett jellemzőihez. Lényeges különbség azonban, hogy a pórusok belsejében a folyadékfázis mozgásának felgyorsítása a katalizátorhoz képest nincs hatással a pórusdiffúzió sebességére (Bond, 1990).

Anyagtranszport a katalizátor szemcsén belül. A kontakt katalitikus reakciók részfolyamatainak ismertetésekor látjuk, hogy az átalakulás több lépésen keresztül megy végbe; így számolnunk kell a szemcsék közötti, a szemcsén belüli anyagátadási folyamatokkal, valamint az adszorpcióval, felületi reakcióval és deszorpcióval.

A szemcsén belüli anyagátadás az egymás utáni lépésekből álló bruttó katalitikus átalakulás részfolyamata; ugyanolyan értelemben lehet sebességmeghatározó az egyetlen katalizátorszemcsén bekövetkező átalakulás során, mint az adszorpció, a felületi reakció és (vagy) a deszorpció. A katalitikus aktivitásnak - mint gyakorlatilag egyik legfontosabb kinetikai paraméternek-számértékét tehát az ún. szemcsén belüli anyagtranszport is befolyásolhatja. Ismeretes, hogy a katalitikus gyakorlatban a pórozus kontaktok használata terjedt el. Ennek az a magyarázata, hogy ily módon a reaktor 1 cm^3 -nyi térfogatára akár néhány 100 m^2 aktív katalizátorfelület is juthat, ami igen nagy teljesítménynövekedést eredményez (Szabó, 1966).

A pórozus szerkezetű katalizátorok fajlagos felülete $30\text{-}300 \text{ m}^2/\text{g}$ között változik, a katalizátorok szemcsemérete mm-es nagyságrendű. A katalitikus átalakulások döntő részben a katalizátor szemcsék belül játszódnak le diffúziós anyagtranszport révén. A transzport folyamat hatóereje a gázhalmazállapotú i komponens koncentrációkülönbsége.

Ahhoz, hogy egy pórozus szilárd anyag és egy fluidum között tartós, stacionárius kölcsönhatás jöhessen létre, a pórusokban anyagtranszportnak kell végbemennie. Kontakt katalitikus reakciók folyamán is ez a helyzet.

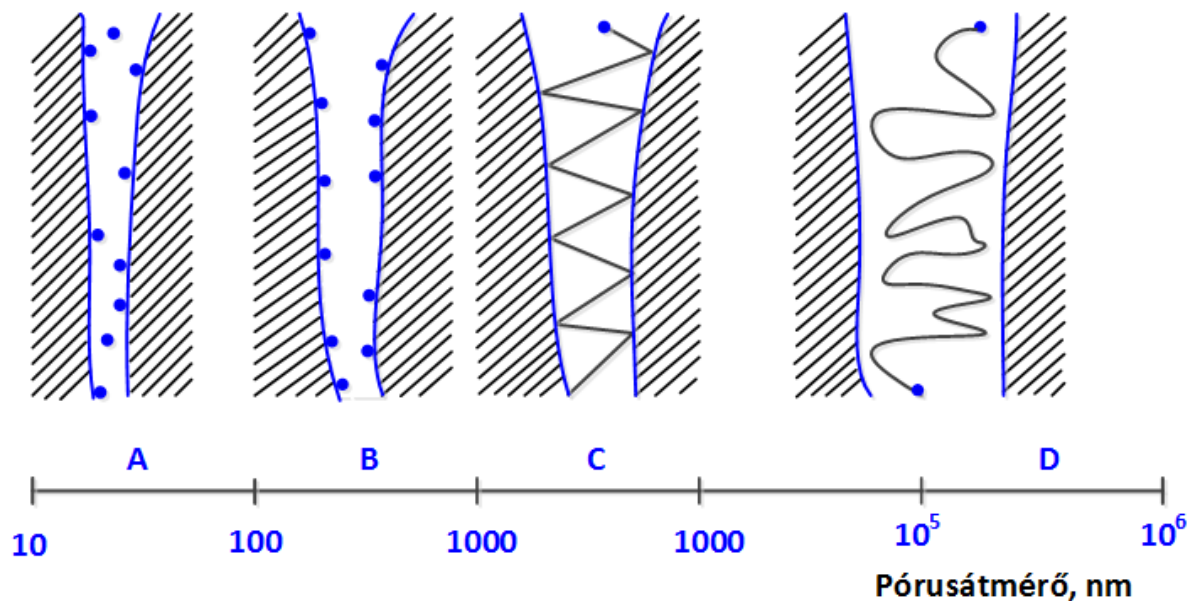
Egy működő katalizátorszemcsébe kívülről lépnek a reaktánsok, és belőle távoznak a termékek. Ha a reakció nyomásváltozást eredményez, a pórusokban fellép a konvektív áramlás. Emellett még előfordul, hogy a szemcse belsejében nagyobb lesz a termékek koncentrációja, mint a szemcsét körülvevő térben, miközben a szemcse közepe felé haladva, a kiindulási anyagokra nézve egyre szegényedik a katalizátor. Koncentrációgradiens lép tehát fel a katalizátor közepe és külső szemcsefelülete között, ami diffúziós anyagtranszportot eredményez. Ez azután a körülményektől, a pórus méretétől, a nyomástól, a hőmérséklettől, a szóban forgó anyag fajtájától függően vagy közönséges gázdifúzió, vagy Knudsen-difúzió. Esetenként fizikai adszorpció is kísérheti a katalitikus átalakulást; a koncentrációkülönbség a gázfázisban az adszorpció egyensúlyának megfelelő koncentrációkülönbséget eredményez az adszorbeált fázisban is. Felületi migrációra nyílik így lehetőség, ami újabb anyagtranszporthoz vezet (Szabó, 1966).

A diffúzió különböző típusai. Amint korábban említettük, a katalizátorszemcsén belül a diffúzióknak különböző típusai fordulhatnak elő gázfázisú kontakt katalitikus reakciók esetén: a közönséges gázdifúzió (szabad difúzió), a Knudsen difúzió, a felületi vándorlás (felületi difúzió). Meg kell említeni a szilárd testben végbemenő difúziót (7. ábra) is.

Azokban a pórusokban, melyeknek nagy az átmérője az adszorptívum molekulák (reaktánsok) szabad úthosszához képest az anyagtranszport konvekcióval nyomáskülönbség hatására vagy szabad difúzióval koncentrációgradiens hatására megy végbe. Ez a folyamat a 10^5 nm (10^6 Å) átmérőjű pórusokra jellemző.

A $10^3\text{-}10^4 \text{ nm}$ ($10^4\text{-}10^5 \text{ Å}$) tartományba eső pórusok átmérője kisebb a molekulák szabad úthosszánál, ezért a molekulák gyakran a pórusfalba ütköznek. Ezekre a pórusokra a Knudsen difúzió jellemző. A $10^1\text{-}10^2 \text{ nm}$ ($10^2\text{-}10^3 \text{ Å}$) közötti pórusokban a molekulák mozgása erősen korlátozott, az anyagátmenet az adszorbeált rétegben felületi difúzióval játszódik le. A $40\text{-}50 \text{ nm}$ ($400\text{-}500 \text{ Å}$) közötti, ill. az alatti méretű pórusokban az adszorptívum molekulák mozgása az aktív centrumok közötti „ugrásokkal” megy végbe. Ez az aktivált résdifúzió/ szilárd test difúzió.

A gyakorlatban használt katalizátorok előállításánál nagy figyelmet kell fordítani arra, hogy a pórusméret-eloszlás az adott alkalmazásnak megfelelő legyen. A közös gázdifúzió, a Knudsen difúzió és a felületi vándorlás az alábbiakban kerül ismertetésre.



7. ábra. Diffúzió fajtái a pórusátmérő függvényében (A-szilárdtest difúzió; B - felületi difúzió; C - Knudsen difúzió, D - szabad difúzió).

A közös gázdifúzió olyan pórusokban lép fel, melyek átmérője a molekulák közepes szabad úthosszához képest viszonylag nagy, ami atmoszférikus nyomáson mintegy 100 nm. A 100 nm -nél nagyobb átmérőjű pórusokat általában azok a katalizátorszemcsék tartalmazzák, melyeket porokból préseléssel vagy zsugorítással állítanak elő. A közös gázdifúzió független a pórusátmérőtől, ugyanúgy az adszorpciós viszonyoktól is. Az *i*-edik komponens gázdifúziós állandója, $D_{i,G}$, függhet a jelenlevő komponensek számától és a koncentrációviszonyoktól (Szabó, 1966).

Ha egyetlen komponens van csak jelen (pl. izomerizáció esetén, azonos molekulák közötti jelzett atom kicserélődése alkalmával) az illető anyag öndifúziós állandóját közelítően a következő összefüggés alapján becsülhetjük:

$$D_{i,G} = \frac{1}{3} \bar{c}_1 \lambda_1$$

ahol $\bar{c}_1 = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M_1}}$: a molekula átlagsebessége, cm s⁻¹,

M_1 : a mólsúly,

$$\lambda_1 = 3.065 \cdot 10^{-23} \frac{T}{p_1 \cdot d_1^2}$$
 : a közepes szabad úthossz, cm,

p_1 : a gáz nyomása, atm,

d_1 : a molekula gázkinetikus átmérője, cm.

A diffúziós állandó tehát nő a hőmérséklettel, $T^{1.5}$ -tel arányosan; a nyomással viszont fordított arányban csökken. Számértéke pl. benzolnál 200°C -on 1 atm nyomáson

$0.103\text{ cm}^2\text{ s}^{-1}$; ugyanakkor $\lambda_1 = 863\text{ \AA}$ -nek adódik.

Knudsen-diffúzió olyan pórusokban lép fel, melyek átmérője kisebb a közepes szabad úthossznál:

$$2 r_p < \lambda \approx 1000\text{ \AA}$$

Mivel a gázmolekulák egymás közötti ütközéseinek a szerepe elhanyagolható, ezért az egyes komponensek diffúziós állandója független a nyomástól, a gázelegy összetételétől, a többi komponens jelenlététől:

$$D_{i,K} = \frac{2}{3} \bar{c}_i \bar{r}_{1p}$$

ahol: \bar{c}_i : a molekula átlagsebessége,

\bar{r}_p : az átlagos pórusugár, cm.

$$D_G > D_K,$$

a $2r_p < \lambda$ kritérium értelmében. Nagyon fontos ez a megállapítás, mert rávilágít arra, hogy a nagy felületű, mikropórusos katalizátorszemcsében a makropórusok jelenléte, milyen messzemenően lényeges a belső felületek hozzáférhetősége szempontjából. D_K értéke például benzolra 200°C -on 50 \AA átmérőjű pórusokban $0.006\text{ cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$, 1000 \AA átmérőjű pórusokban $0.12\text{ cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$.

A felületi vándorlás az előzőekben ismertetett kétféle diffúziótól függetlenül, de velük párhuzamosan lejátszódó anyagtranszport. Mértéke kizárólag az adszorbeált fázisban kialakuló koncentrációgradienstől függ. Ez csak akkor helyettesíthető egyszerűen a gázfázisban fennálló koncentráció-gradienssel, ha a felületi koncentráció és a nyomás között lineáris az összefüggés (pl. beállt adszorpció egyensúly esetén, ha lineáris az adszorpció izoterma).

Mint ismeretes, beállt adszorpció egyensúly esetén a felületi koncentráció Q adszorpció hő mellett $\exp\left(\frac{Q}{RT}\right)$

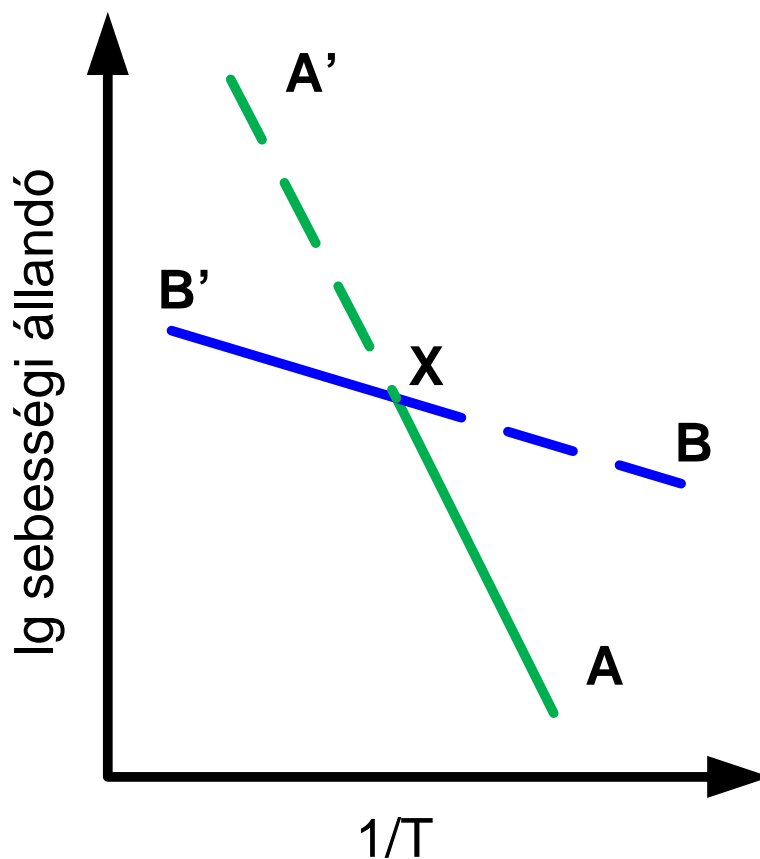
szerint csökken a hőmérséklettel; a felületi vándorlás sebessége pedig $\exp\left(-\frac{E_V^\Psi}{RT}\right)$

értelmében nő. A migráció aktiválási energiája: $E_v^\Psi \approx \frac{1}{2} Q$

A felületi vándorlás okozta anyagtranszport sebessége tehát $\exp\left(\frac{1}{2} \frac{Q}{RT}\right)$ -nek

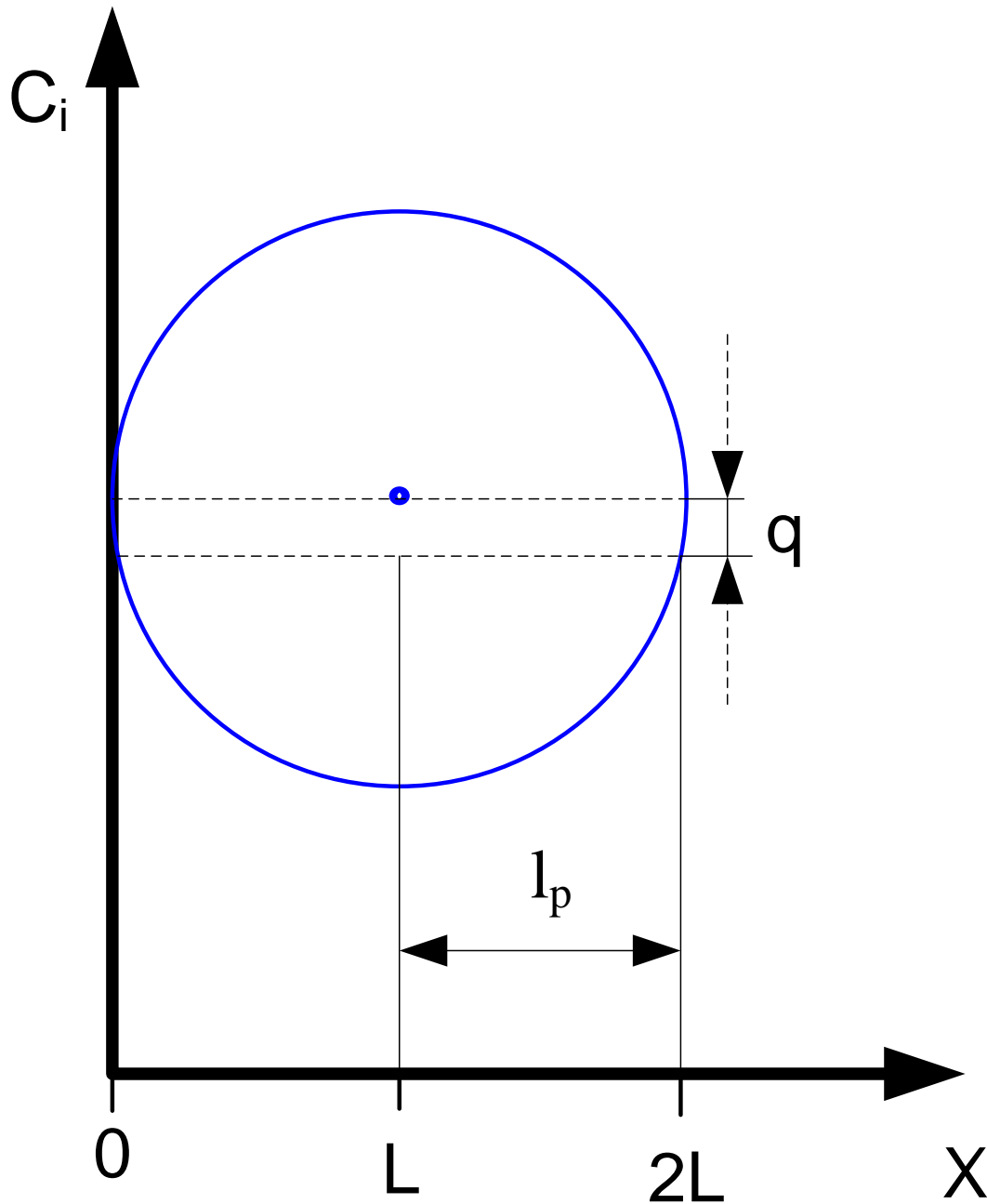
megfelelően a hőmérséklet emelkedésével exponenciálisan csökken (Szabó, 1966).

Végül ki kell emelnünk a diffúzió hőmérséklet-függésének egy fontos következményét. Egy reakció lehet kis hőmérsékleten diffúziógátlástól mentes (8. ábra), bár a meredekség változása rendszerint nem olyan éles, mint ahogy az ábrán szemléltetjük. Gyakrabban fokozatos változás következik be abban a tartományban ahol a diffúzió és a felületi reakció sebessége egymással összemérhető nagyságrendbe kerül. Általában minden, ami a kémiai lépés sebességét csökkenti (kisebb hőmérséklet, kevesebb katalizátor, kevesebb aktív komponens), csökkenti a diffúziós gátlás valószínűségét (Bond, 1990).



8. ábra. A diffúziós gátlást szemléltető Arrhenius-görbe: AA' sebességmeghatározó a felületi reakció; BB' a reakció diffúziógátlott (Bond, 1990).

Kinetikai viszonyok a katalizátor szemcsében. A katalizátorszemcsén belül a diffúziós transzportnak kell fedezni a reakció anyagszükségletét. A működő katalizátorszemcsén belül forrási, illetve nyelési effektus jelentkezik a reakció következtében, amivel egyidejűleg megy végbe a megfelelő anyagtranszport. Vizsgálatainkat ún. egydimenziós katalizátorszemcsére korlátozzuk, amely akkor áll elő, ha egy véges keresztmetszetű kontaktból hasábot, illetve hengert készítünk, melynek palástját a reakció komponensei számára áthatolhatatlanná tesszük; pl. szorosan illeszkedő alul-felül nyitott tokba zárjuk, vagy alap- és fedőlapjainak, ún. homloklapjainak méreteihez képest elhanyagolhatóan kis vastagságú katalizátorlapot készítünk (9. ábra) (Szabó, 1966).



9. ábra. A katalizátor szemcse

x : homloklapra, mérőleges távolság, cm

l_p : pórus hosszúság, cm

C_i : i . gázkomponens koncentrációja a katalizátor szemcse „bulk” térfogatára (a szemcse egészére) vonatkoztatva, $\text{mól}/\text{cm}^3$

q : pórus keresztmetszet a katalizátor felületén, cm^2

A konvekciós anyagtranszporttal egyidejűen végbemegy diffúziós anyagtranszport is, mely az i -edik komponensre nézve arányos a koncentráció-gradienssel:

$$\dot{N}_{d,i} = -D_i \frac{dc_1}{dl_p}$$

ahol : $\dot{N}_{d,i}$: az i -edik komponens diffúziós anyagtranszportja, mól $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$,

D_i : az i -edik komponens összesített diffúziós állandója, $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$.

Stacionárius körülmények között egy ilyen szemcse:

$q \, dx$

térfogatelemében valamennyi komponens mennyiségének reakció okozta változása megegyezik az illető komponensnek x irányban vett anyagtranszport-változásával, azaz a végbemenő átalakulás sebessége megegyezik a transzport folyamat sebességének a megváltozásával

$$w_i q dx = q \frac{\dot{N}_i^+}{dx} dx$$

ahol : w_i : az i -edik komponens átalakulásának sebessége a katalizátor térfogategységére vonatkoztatva, mól $\text{cm}^{-3} \text{s}^{-1}$,

\dot{N}_i^+ : az i -edik komponens anyagtranszportja az x -irányban, a katalizátor egységnyi keresztmetszetére vonatkoztatva, mól $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

A szükséges helyettesítések elvégzése után az alábbi összefüggést kapjuk:

$$w_i q dx = D'_{eff,i} \cdot q \frac{dc_i}{dx^2} dx$$

A differenciálegyenlet összefüggést szolgáltat a reakciósebesség és az anyagtranszport között egydimenziós katalizátorszemcse esetén.

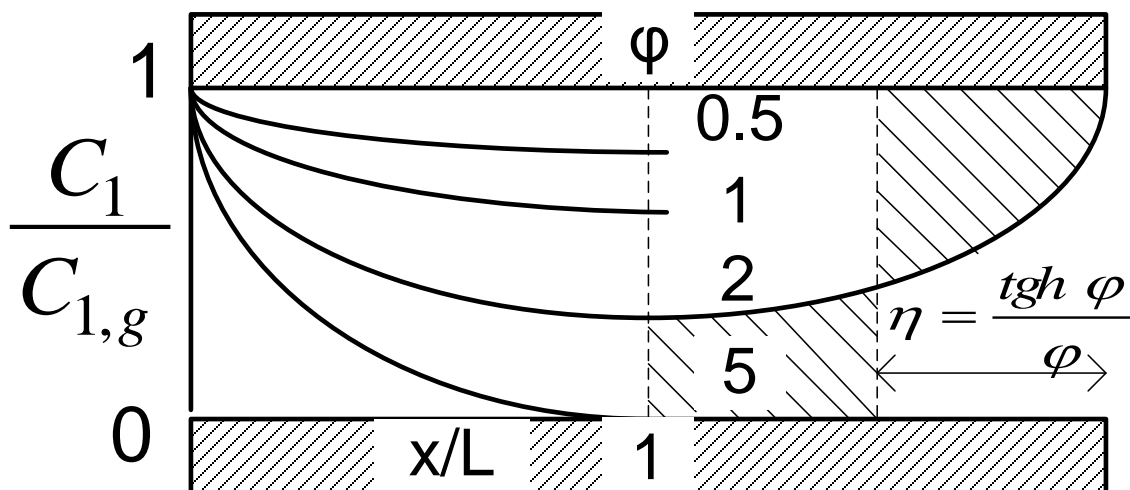
Koncentrációeloszlás a katalizátorszemcsén belül. Az egyszerűség kedvéért tekintsünk egy elsőrendű, irreverzibilis reakciót, melyet a

$$w_i = kc_i$$

ahol k : sebességi állandó, s^{-1}

Az $A \rightarrow B$ reakcióra vonatkozóan tekintsünk egy közös diffúziós állandót, D_{eff} .

Tekintsük a kiindulási anyag koncentráció eloszlását a katalizátor szemcsén belül (10. ábra).



10. ábra. A kiindulási anyagkoncentrációeloszlása az egydimenziós katalizátorszemcsén belül, különböző η modulusok esetében (Szabó, 1966)

Az elsőrendű sebességi összefüggés a differenciál egyenletbe történő behelyettesítés után az alábbi összefüggést kapjuk:

$$D_{eff}q \frac{d^2 c_1}{dx^2} = kc_1$$

ami a szemcsén belüli koncentrációeloszlásra közöséges másodrendű differenciálegyenlet. Ha az egydimenziós szemcse hosszúsága $2L$, úgy L helyen, a szemcse közepén

$$\left(\frac{dc_1}{dx}\right)_L = 0$$

a szemcse homlokfalán, $x=0$ helyen, $c_1=c_{1,g}$ ($c_{1,g}$: az A komponens koncentrációja a szemcsét körülvevő térben). Ezekkel a peremfeltételekkel a megoldás:

$$\frac{c_1}{c_{1,g}} = \frac{ch\left[\varphi\left(1-\frac{x}{L}\right)\right]}{ch\varphi},$$

$$\varphi \equiv L \sqrt{\frac{k}{D_{eff}}}$$

A φ -t, jelen esetben dimenzió nélküli, **Thiele**-modulusnak szokás nevezni. Mint a 7. ábrából látható, annál jobban csökken a szemcse belseje felé haladva a kiindulási anyag koncentrációja, annál jobban „szegényedik el” a katalizátor a reaktánsra nézve, mennél nagyobb φ értéke; ha $\varphi \geq 3$, a katalizátor közepén gyakorlatilag nullává válik ez a koncentráció. Azaz ha φ kifejezését tekintjük, annál nagyobb lesz az „elszegényedés” a katalizátorszemcsén belül, mennél nagyobb a szemcse vastagsága, L , mennél nagyobb k , vagyis mennél gyorsabb a reakció, és végül mennél kisebb a diffúziós állandó, D_{eff} .

A katalizátorszemcse hatékonysága. A katalizátorszemcsén belüli koncentrációeloszlás közvetlenül még nem ad pontos értéket arra nézve, hogy mekkora egyetlen szemcsén az átalakulás észlelhető sebessége, és ez esetenként hogyan viszonylik ahhoz a maximális sebességhez, melyet „végtelenül gyors” anyagtranszport esetében érhetnék el. Az alábbi

$$D_{eff} \frac{d^2 c_1}{dx^2} = k c_1$$

összefüggés megadja, hogy a szemcsének valamely x helyén mekkora a diffúziós anyagtranszport változása és a hatása reakció sebességére. A teljes szemcsére vonatkozó érték felét kapjuk, ha az integrálást az alábbiak szerint elvégezzük:

$$\int_0^L D_{eff} \left(\frac{d^2 c_1}{dx^2}\right) dx = \int_0^L k c_1 dx$$

azaz

$$-D_{eff} \left(\frac{d^2 c_1}{dx^2}\right)_{x=0} = k c_{1,g} \int_0^L \frac{c_1}{c_{1,g}} dx = W_1$$

ugyanis : $\left(\frac{dc_1}{dx}\right)_{x=L} = 0$

(W_1 : a $2L$ hosszúságú egydimenziós katalizátorszemcsén észlelhető átalakulás sebességének fele az egységnyi keresztmetszetre vonatkoztatva, $\text{mól cm}^{-2} \text{s}^{-1}$).

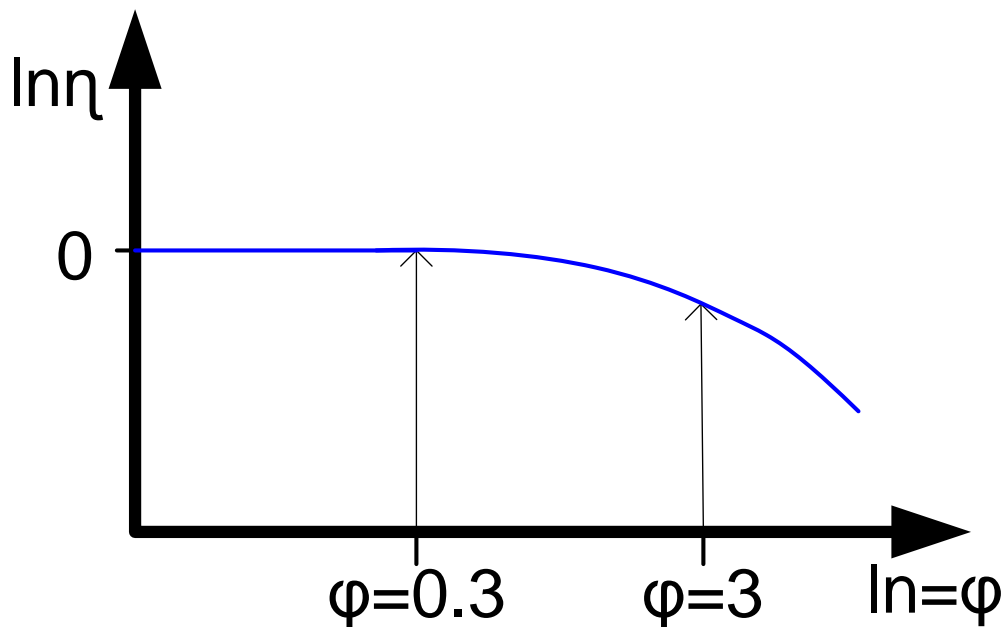
A W_1 -re kapott egyenlet azt fejezi ki, hogy a szemcse homlokfalán a diffúzió révén szállított anyag mennyisége megegyezik az egész szemcsében végbemenő átalakulás sebességével. A tényleges reakciósebesség, W_1 és a maximális, $W_{1,max}$, hányadosát nevezzük a katalizátorszemcse hatékonyságának, és η -val jelöljük,

$$\eta \equiv \frac{W_1}{W_{1,max}}$$

A behelyettesítések és a maximális reakciósebességgel történő elosztást követően az alábbi összefüggést kapjuk:

$$\eta = \frac{1}{L} \int_0^L \frac{c_1}{c_{1,g}} dx = \frac{th\varphi}{\varphi}$$

A hatékonyság és a Thiele modulus között az alábbi összefüggés adható meg (11. ábra):



11. ábra. A szemcse hatékonyság és a Thiele modulus közötti összefüggés: ha $\ln \eta = 0$, akkor a katalizátorszemcse hatékonysága teljes $\varphi=0.3$ értékig; ha $\ln \eta \geq 0.3$, akkor a Thiele modulus reciprokával egyenlő.

A sebességi állandó, a hatékonyság és az effektív diffúziós állandó meghatározása. Kísérletileg közvetlenül akkor határozhatjuk meg a sebességi állandót, ha diffúziós gátlás nem jelentkezik, vagyis

$$k_{\text{eff}}=k, \text{ azaz } \eta=1$$

Ez a feltétel, mint láttuk, φ kis értékeinél teljesül. φ -t, a definíció értelmében, adott reakcióparaméterek (szubsztrátum, katalizátor, nyomás, hőmérséklet — tehát adott k és D_{eff}) mellett csak úgy csökkenthetjük, ha L -et, a katalizátor méretét vesszük rendre kisebbnek. Miután egy bizonyos szemcseméret alatt, a további aprítás ellenére, már a meghatározott k_{eff} értéke ugyanaz marad, elértük a teljes hatékonyságot, meghatároztuk k -t. Felmerülhet ezután az a kérdés, hogy miért nem használunk mindig ilyen szemcseméretű katalizátort. Reakciókinetikai vizsgálatoknál valóban erre törekszünk is, mert a diffúziós gátlás nemcsak egyszerűen a mérhető sebességre lehet hatással, hanem az egész reakciókinetikai képet is meg változtathatja. Ipari reaktoroknál azonban a nagy hatékonyságú, de kis méretű katalizátor nem mindig alkalmazható a katalizátorágy nagy rétegellenállása miatt. Ilyenkor meg kell elégedni a kisebb hatékonysággal a kisebb katalizátor ágy ellenállás érdekében. Ennek mérlegelésekor tehát ismernünk kell η -t.

Kísérleti úton történő meghatározására a definíció nyújt lehetőséget. Olyan mértékig aprított katalizátorokon, amelyekben η már 1, megmérjük a reakciósebességet (vagy a sebességi állandót), és azonos körülmények között ugyanezt tesszük a vizsgálandó katalizátorszemcse esetében is. A két mennyiség aránya a katalizátor szemcse hatékonysága. A k és η meghatározására ezek a kísérleti módszerek mindenkor alkalmazhatók, amennyiben az átalakulás egyetlen sebességi egyenlettel írható le (tehát nem komplex reakciók esetében).

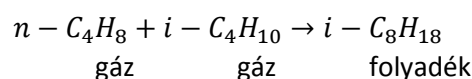
2 Katalitikus reakciók kinetikájának számítása, kinetikai egyenletek konstansainak számítása

2.1 Az izobután 1-buténnel történő alkilezésének tanulmányozása zeolit katalizátoron

A kísérleti adatok alapján meghatározható:

- a katalitikus alkilezési reakció kinetikai részfolyamatai, a sebességmeghatározó és az irreverzibilis lépés;
- az alkilezési reakciót leíró kinetikai és sebességi egyenletek;
- a reakció mechanizmusa.

Az alkilezés a kőolajfeldolgozó iparban széles körben alkalmazott eljárás, általa telített és telítetlen kis molekulású szénhidrogénekből nehezebb, jó oktánszámú szénhidrogéneket állítanak elő. Buténnel használva az alkileződés az alábbiak szerint játszódik le:

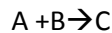


2.1.1 Az alkilezési reakció kinetikai vizsgálata

A katalitikus alkilezés kinetikai vizsgálatához szükséges kísérletek stacionárius, visszakeveredés nélküli, ún. integrális csőreaktorban kerültek elvégzésre. A reakcióelegy összetételének a meghatározására alkalmazott módszer pontossága kielégítette a sebességi egyenlet megállapításához szükséges feltételeket.

A sebességi egyenlet a kísérletileg meghatározott sebességi értékeket adott pontosságon belül írja le és függvényyszerű kapcsolatot jelent a komponensek parciális nyomásai és a reakciósebesség között. A kinetikai egyenlet viszont a mechanizmus (elemi részfolyamatok) alapján levezethető sebességi összefüggés; megállapításához a sebességi egyenlet nyújt segítséget.

A sebességi összefüggések linearizált alakjaiba a kísérleti adatokat behelyettesítve vizsgáltuk azok érvényességét. Az ábrázolás eredményeképpen kapott egyenes bizonyítja az adott összefüggés alkalmazhatóságát. Az egyenes iránytangenséből és tengelymetszetéből kiszámíthatók a sebességi összefüggés állandói. Az izobután 1-buténnel lejátszódó alkilezése



típusú reakció.

Integrális csőreaktor használata esetén a reakciósebesség az alábbi összefüggés szerint adható meg:

$$r = B \cdot \frac{dn'_A}{dm_k}$$

ahol: r : a reakciósebesség, $\text{mol g}^{-1}_{\text{kat}} \cdot \text{s}^{-1}$;
 B : a betáplált A anyag mennyisége, $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$;
 n'_A : az átalakult A anyag mennyisége, $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$;
 m_k : a katalizátor tömege, g .

még a reciprok térsebesség és a reakciósebesség közötti összefüggés a következő módon fejezhető ki:

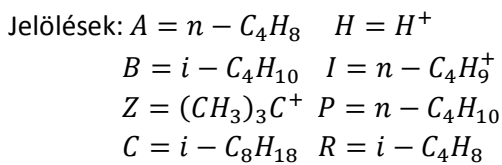
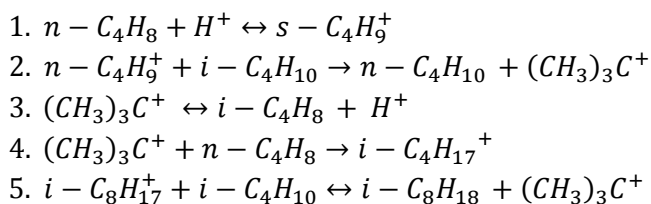
$$\frac{1}{S} = -\frac{1}{v_A} \int_{\gamma_{A/0}}^{\gamma_{A/t}} \frac{d\gamma_A}{r} = -\frac{1}{v_B} \int_{\gamma_{B/0}}^{\gamma_{B/t}} \frac{d\gamma_B}{r} = -\frac{1}{v_C} \int_{\gamma_{C/0}}^{\gamma_{C/t}} \frac{d\gamma_C}{r}$$

ahol: S : a térsebesség, $\text{g}_{\text{betáp}} \cdot \text{g}_{\text{kat}}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;
 $\gamma_{A/0}$: az 1-butén A kezdeti koncentrációja, $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$;
 $\gamma_{A/t}$: az 1-butén A koncentrációja t időpontban, $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$;
 $\gamma_{B/0}$: az izobután B kezdeti koncentrációja, $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$;
 $\gamma_{B/t}$: az izobután B koncentrációja t időpontban, $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$;
 $\gamma_{C/0}$: az izobután C kezdeti koncentrációja, $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$;
 $\gamma_{C/t}$: az izobután C koncentrációja t időpontban, $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$;
 v_A, v_B, v_C : a komponensek sztoichiometriai együtthatói.

2.1.2 Az alkilezési reakció mechanizmusának vizsgálata (öt lépéses reakcióséma)

A vázolt típusú katalitikus reakció mechanizmusa aszerint vizsgálható, hogy a reakció milyen részlépéseken keresztül játszódik le. Feltételezhető, hogy az alkileződési reakció a n-butén protonálódásával indul, mely reakció eredményeképpen szekunder-butil-karbénium ion keletkezik (lásd alábbiakban az 1. lépést). A szekunder-butil-karbéniumion izobutánnal reagálva 1-butánt és tercier-butil-karbénium iont eredményez (2. lépés). A tercier-butil-karbéniumion protonleadással izobutilénné alakulhat (3. lépés), vagy n-buténnel reagálva izooktil-karbénium ion keletkezik (4. lépés). Az izooktil-karbénium ion és az izobután reakciója izooktánt és tercier-butil-karbéniumionot szolgáltat (5. lépés).

Az alkilezési reakció feltételezett mechanizmusainak a lépései tehát az alábbiak szerint írhatók fel:



1. $A + H \leftrightarrow (I)$ absz.
2. (I) absz. + $B \leftrightarrow P + Z$
3. $Z \leftrightarrow R + H$
4. $Z + A \leftrightarrow (A)$ absz.
5. (A) absz. + $B \leftrightarrow C + Z$

A felületi borítottság:

$$\Theta = \frac{N\sigma}{s}$$

ahol :

N : 1 g hordozón levő katalizátor atomok száma, g^{-1} ;

σ : egyetlen katalizátor atom felületigénye monomolekuláris borítottságnál, cm^2 ;

s : a hordozó fajlagos felülete, $\frac{cm^2}{g}$.

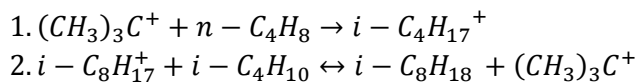
A vizsgált esetben a borítottságokat az alábbiak szerint definiáljuk:

$$\begin{aligned} H^+ & : \Theta_0 \\ n - C_4H_9^+ & : \Theta_L \\ (CH_3)_3C^+ & : \Theta_Z \\ i - C_8H_{17}^+ & : \Theta_A \\ \Theta_0 + \Theta_L + \Theta_Z + \Theta_A & = 1 \end{aligned}$$

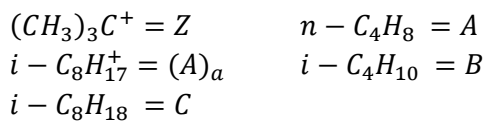
A részfolyamatok sebességi egyenleteinek a felírása után annak alapján, hogy a felületi borítottságok, Θ_i , időben nem változnak, valamint azt felhasználva, hogy a felületi borítottságok összege 1-gyel egyenlő, a felületi borítottságok a sebességi állandók és a parciális nyomások függvényében kifejezhetők. A felületi borítottságokat a részfolyamatok sebességi összefüggéseibe visszahelyettesítve meghatározható az általános érvényű kinetikai egyenletet. Ezután a sebességhatározó és irreverzibilis lépésekre vonatkozó premisszákkal alkalmazásával megállapíthatók a partikuláris kinetikai összefüggések, és ezek érvényességé.

2.1.3 Az alkilezési reakció mechanizmusának vizsgálata (kétlépéses reakcióséma)

A kinetikai és sebességi összefüggéseket abban az esetben is tanulmányoztuk, amikor a tercier-karbéniumion tekinthető az aktív alakulatként. A tercier-karbéniumion kialakulását leíró reakciólépések figyelmen kívül hagyhatók, mivel az alkilezési reakció során az izooktánnal egyenértékű mennyiségben tercier-butil-karbéniumion is keletkezik, amely a reakció további lejátsszódását biztosítja. A reakció az alábbiak szerint írható le:



A reprezentálás céljából az alábbi jelöléseket alkalmazzuk:



Borítottságok:



ahol: $(A)_a$: A komponens az abszorpciós fázisban

A részfolyamatok sebessége, r , az alábbiak szerint fejezhető ki:

$$\begin{aligned} r_1 &= k_1 \Theta_Z p_A - k_{-1} \Theta_A \\ r_2 &= k_2 \Theta_A p_B - k_{-2} \Theta_Z p_C \end{aligned}$$

ahol: k_1, k_{-1} : az első reakció oda illetve vissza irányuló sebességi állandója;

k_2, k_{-2} : második reakció oda illetve vissza irányuló sebességi állandója;

Θ_Z, Θ_A : a tercier-karbénium ion és tercier-butil-karbénium ion felületi borítottsága;

p_A, p_B, p_C : 1-butén, izobután és trimetil-pentán komponensek parciális nyomása.

A részfolyamatok sebességét leíró összefüggések értelemszerűen megegyeznek az ötlépéses reakcióséma esetében a 4. és 5. részlépésre vonatkozó sebességi kifejezésekkel. Stacioner állapotban

a katalizátor felületén nincs anyag felhalmozódás, azaz a felületi borítottság a kontakt idő függvényében való változása zérus. Az alábbi összefüggések írhatók fel:

$$k_1 \Theta_Z p_A + k_{-1} p_A - k_2 \Theta_A p_B + k_{-2} \Theta_Z p_C = 0$$

valamint: $\Theta_A + \Theta_Z = 1$

$$\Theta_Z = \frac{k_{-1} + k_2 p_B}{p} \quad \Theta_A = \frac{k_1 p_A + k_{-2} p_C}{p}$$

ahol:

$$p = k_1 p_A + k_{-1} + k_2 p_B + k_{-2} p_C$$

A borítottságokat a sebességi egyenletekbe behelyettesítve azonos kifejezéseket nyertünk az alkilezési reakció sebességére:

$$r = \frac{k_1 k_2 p_A p_B - k_{-1} k_{-2} p_C}{k_1 p_A + k_{-1} + k_2 p_B + k_{-2} p_C}$$

A továbbiakban az alábbi jelölések vezetjük be:

$$\begin{aligned} k_1^* &= k_1 p_A & k_{-1}^* &= k_{-1} \\ k_2^* &= k_2 p_B & k_{-2}^* &= k_{-2} p_C \end{aligned}$$

Az irreverzibilis és sebességmeghatározó lépéseknek megfelelő kinetikai egyenleteket 1. táblázatban foglaltuk össze. A felületi borítottságokat különböző kinetikai esetekre vonatkozóan a 2. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Kinetikai egyenletek.

1. $Z + A \Leftrightarrow (A)_a$ 2. $(A)_a + B \Leftrightarrow C + Z$ reakciót leíró kinetikai egyenletek		Kinetikai összefüggés		
		$r = \frac{k_1 k_2 p_A p_B - k_{-1} k_{-2} p_C}{k_1 p_A + k_{-1} + k_2 p_B + k_{-2} p_C}$		
		Irreverzibilis lépés		
		$k_{-1} \approx 0$	$k_{-2} \approx 0$	
		$r = \frac{k_1 k_2 p_A p_B}{k_1 p_A + k_2 p_B + k_{-2} p_C}$	$\bar{r} = \frac{k_1 k_2 p_A p_B}{k_1 p_A + k_{-1} + k_2 p_C}$	
Sebesség meghatározó lépés	1.	$r = \frac{k_1 p_A}{k_2 p_B + k_{-2} p_C}$ $r = \frac{k_1 k_2 p_A p_B}{k_2 p_B + k_{-2} p_C}$	$k_1^* \ll k_2^*, k_{-2}^*$ $r = \frac{k_1 p_A}{k_2 p_B + k_{-2} p_C}$ $r = \frac{k_1 k_2 p_A p_B}{k_2 p_B + k_{-2} p_C}$ <p style="text-align: right;">2/1-1</p>	$k_1^*, k_{-1}^* \ll k_2^*$ $r = \frac{k_1 p_A}{k_2 p_B}$ $r = k_1 p_A$ <p style="text-align: right;">2/1-2</p>
	2.	$r = \frac{k_2 p_B}{k_1 p_A + k_{-1}}$ $r = \frac{k_1 k_2 p_A p_B}{k_1 p_A + k_{-1}}$	$k_2^*, k_{-2}^* \ll k_1^*$ $r = \frac{k_2 p_B}{k_1 p_A + k_{-1}}$ $r = \frac{k_2 p_B}{k_1 p_A + k_{-1}}$ <p style="text-align: right;">2/2-1</p>	$k_2^* \ll k_1^*, k_{-1}^*$ $r = \frac{k_2 p_B}{k_1 p_A + k_{-1}}$ $r = \frac{k_1 k_2 p_A p_B}{k_1 p_A + k_{-1}}$ <p style="text-align: right;">2/2-2</p>

2. táblázat. Felületi borítottságok különböző kinetikai esetek esetén

Kinetikai eset	Az irreverzibilis	A seb. meghatározó	θ_A		θ_Z	
	lépés kritériuma					
2/1-1	$k_{-1} \approx 0$	$k_1^* \ll k_2^*, k_{-2}^*$	$\frac{k_{-2}^*}{k_2^* + k_{-2}^*}$	>0 <1	$\frac{k_2^*}{k_2^* + k_{-2}^*}$	>0 <1
2/1-2	$k_{-1} \approx 0$	$k_2^*, k_{-2}^* \ll k_1^*$	$\frac{k_1^*}{k_1^*}$	≈ 1	$\frac{0}{k_1^*}$	≈ 0
2/2-1	$k_{-2} \approx 0$	$k_1^*, k_{-1}^* \ll k_2^*$	$\frac{0}{k_2^*}$	≈ 0	$\frac{k_2^*}{k_2^*}$	≈ 1
2/2-2	$k_{-2} \approx 0$	$k_2^* \ll k_1^*, k_{-1}^*$	$\frac{k_{-1}^*}{k_1^* + k_{-1}^*}$	>0 <1	$\frac{k_1^*}{k_1^* + k_{-1}^*}$	>0 <1

A két lépésben lejátszódó reakcióra vonatkozóan a kinetikai egyenletet Nagy Ferenc által ajánlott módszer szerint levezettem, és a kapott kinetikai összefüggéseket az előző, a 1. táblázatban megadott egyenletekkel összevettem.

$$r_1 = F[k_1 p_A(Z) - k_{-1}(A)_a]$$

$$r_2 = F[k_2 (A)_a p_B - k_{-2}(Z)p_C]$$

ahol F : katalizátorfelület, m²

Az anyagmegmaradás törvénye alapján és abból kiindulva, hogy az abszorpciós fázisban a komponensek időbeni változása a nullához közelit, az adszorbeált komponensek felületi koncentrációját kifejeztem és azokat a sebességmeghatározó lépést leíró kinetikai egyenletbe behelyettesítettem.

$$(Z)_0 = (Z) + (A)_a$$

A. Ha az 1. reakció a sebességmeghatározó lépés:

$$k_1 \ll k_2$$

$$(Z) = \frac{K_2 p_B}{K_2 p_B + p_C} (Z)_0; \quad (A)_a = \frac{p_C}{K_2 p_B + p_C} (Z)_0$$

ahol: $K_2 = \frac{k_2}{k_{-2}}$ második reakció egyensúlyi állandója

$$r = F k_1 (Z)_0 \left[\frac{K_1 K_2 p_A p_B - p_C}{K_1 (K_2 p_B + p_C)} \right];$$

Ha az 1. a reakció az irreverzibilis lépés:

$$K_1 \gg 1$$

akkor: $r = F k_1 (Z)_0 \frac{K_2 p_A p_B}{K_2 p_B + p_C};$

Ha az 2. a reakció az irreverzibilis lépés:

$$K_2 \gg 1$$

akkor: $r = F k_1 (Z)_0 p_A;$

B. Ha a 2. reakció a sebességmeghatározó lépés:

$$k_1 \gg k_2$$

$$(Z) = \frac{1}{1 + K_1 p_A} (Z)_0; \quad (A)_a = \frac{K_1 p_A}{1 + K_1 p_A} (Z)_0;$$

ahol: $K_1 = \frac{k_1}{k_{-1}}$

$$r = F k_2 (Z)_0 \left[\frac{K_1 K_2 p_A p_B - p_C}{K_2 + K_1 K_2 p_A} \right];$$

Ha az 1. a reakció az irreverzibilis lépés:

$$K_1 \gg 1$$

akkor: $r = F k_2 (Z)_0 p_B;$

Ha az 2. a reakció az irreverzibilis lépés:

$$K_2 \gg 1$$

akkor: $r = F k_2 (Z)_0 \frac{K_1 p_A p_B}{1 + K_1 p_A};$

A különböző sebességmeghatározó és irreverzibilis lépésekhez tartozó kinetikai egyenletek a 3. táblázatban tekinthetők át. A 3. táblázatban szereplő kinetikai egyenletek a 1. táblázatban megadott összefüggésekkel megegyeznek, természetesen más alakban vannak kifejezve.

3. táblázat .Az alkilezést leíró kinetikai egyenletek.

Kinetikai egyenlet			
Sebességmeghatározó lépés		irreverzibilis lépés	
		1. $K_1 \gg 1$	2. $K_2 \gg 1$
1. $k_1 \ll k_2$	$r = Fk_1(Z)_0 \left[\frac{K_1 K_2 p_A p_B - p_C}{K_1 K_2 p_B + K_1 p_C} \right]$	$r = Fk_1(Z)_0 \frac{K_2 p_A p_B}{K_2 p_B + p_C}$ 2/1-1	$r = Fk_1(Z)_0 p_A$ 2/1-2
2. $k_2 \ll k_1$	$r = Fk_2(Z)_0 \left[\frac{K_1 K_2 p_A p_B - p_C}{K_2 + K_1 K_2 p_A} \right]$	$r = Fk_2(Z)_0 p_B$ 2/2-1	$r = Fk_2(Z)_0 \frac{K_1 p_A p_B}{1 + K_1 p_A}$ 2/2-2

A 1. táblázatban feltüntetett kinetikai egyenletekhez sebességi egyenleteket különböző érvényességi feltételek esetén is levezettük. A sebességi egyenletek és a sebességi állandók jelentését a 4. táblázat tartalmazza. A sebességi egyenletek átalakításával, a móltörtek bevezetésével a sebességi egyenletek transzformált alakjait meghatároztuk (5. táblázat). A mérési eredmények alapján és a transzformált sebességi összefüggések alkalmazásával most már a kinetikai értékelés is elvégezhető.

4. táblázat. Az alkilezési reakciót leíró sebességi egyenletek

Kinetikai eset	Kinetikai egyenlet	Sebességi egyenlet		Érvényességi feltétel	a	b	c	d	g
2/1-1	$r = \frac{k_1 k_2 p_A p_B}{k_2 p_B + k_{-2} p_C}$	$r = f(p_A, p_B, p_C)$	$\frac{p_A}{r} = a + g \frac{p_C}{p_B}$	$k_2 p_B \approx k_{-2} p_C$	$\frac{1}{k_1}$	0	0	0	$\frac{k_{-2}}{k_1 k_2}$
	$r = \frac{k_1 p_A}{k_2 p_B + k_{-2} p_C}$	$r = f(p_A, p_B, p_C)$	$\frac{p_A}{r} = c p_B + d p_C$	$k_2 p_B \approx k_{-2} p_C$	0	0	$\frac{k_1}{k_2}$	$\frac{k_{-2}}{k_1}$	0
	$r = k_1 p_A$	$r = f(p_A)$	$\frac{p_A}{r} = a$	$k_2 p_B \gg k_{-2} p_C$	$\frac{1}{k_1}$	0	0	0	0
	$r = \frac{k_1 k_2 p_A p_B}{k_{-2} p_C}$	$r = f(p_A, p_B)$	$\frac{p_A}{r} = g \frac{p_C}{p_B}$	$k_2 p_B \ll k_{-2} p_C$	0	0	0	0	$\frac{k_{-2}}{k_1 k_2}$
2/1-2	$r = k_1 p_A$	$r = f(p_A)$	$\frac{p_A}{r} = a$	-	$\frac{1}{k_1}$	0	0	0	0
	$r = \frac{k_1 p_A}{k_2 p_B}$	$r = f(p_A, p_B)$	$\frac{p_A}{r} = c p_B$	-	0	0	$\frac{k_1}{k_2}$	0	0
2/2-1	$r = k_2 p_B$	$r = f(p_B)$	$\frac{p_B}{r} = a$	-	$\frac{1}{k_2}$	$\frac{1}{k_2}$	0	0	0
	$r = \frac{k_2 p_B}{k_1 p_B}$	$r = f(p_A, p_B)$	$\frac{p_B}{r} = b p_A$	-	0	0	0	0	0
2/2-2	$r = \frac{k_1 k_2 p_A p_B}{k_1 p_A + k_{-1}}$	$r = f(p_A, p_B)$	$\frac{p_A}{r} = \frac{a}{p_B} + g \frac{p_A}{p_B}$	$k_1 p_A \approx k_{-1}$	0	0	0	0	$\frac{1}{k_2}$
	$r = \frac{k_2 p_B}{k_1 p_A + k_{-1}}$	$r = f(p_A, p_B)$	$\frac{p_B}{r} = a + d p_A$	$k_1 p_A \approx k_{-1}$	$\frac{k_{-1}}{k_2}$	$\frac{k_1}{k_2}$	0	0	0
	$r = k_2 p_B$	$r = f(p_B)$	$\frac{p_B}{r} = a$	$k_1 p_A \gg k_{-1}$	$\frac{1}{k_2}$	0	0	0	0
	$r = \frac{k_1 k_2 p_A p_B}{k_{-1}}$	$r = f(p_A, p_B)$	$\frac{p_A}{r} = \frac{p_C}{p_B}$	$k_1 p_A \ll k_{-1}$	0	0	0	0	0

5. táblázat. Transzformált sebességi összefüggések

A sebességi egyenlet		A transzformált sebességi összefüggés állandói				
Matematikai alakja	Transzformált alakja	λ	β	γ	δ	ε
$\frac{p_A}{r} = a + g \frac{p_C}{p_B}$	$\frac{x}{r} = \lambda + \varepsilon \frac{z}{y}$	$\frac{a}{P}$	0	0	0	$\frac{g}{P}$
$\frac{p_A}{r} = c p_B + d p_C$	$\frac{x}{r} = \gamma y + \delta z$	0	0	c	d	0
$\frac{p_A}{r} = a$	$\frac{x}{r} = \lambda$	$\frac{a}{P}$	0	0	0	0
$\frac{p_A}{r} = g \frac{p_C}{p_B}$	$\frac{x}{r} = \varepsilon \frac{z}{y}$	0	0	0	0	$\frac{g}{P}$
$\frac{p_A}{r} = c p_B$	$\frac{x}{r} = \gamma y$	0	0	c	0	0
$\frac{p_A}{r} = a$	$\frac{y}{r} = \lambda$	$\frac{a}{P}$	0	0	0	0
$\frac{p_A}{r} = \frac{c}{p_B} + g \frac{p_A}{p_B}$	$\frac{x}{r} = \gamma \frac{1}{y} + \varepsilon \frac{x}{y}$	0	0	$\frac{c}{P^2}$	$\frac{c}{P}$	0
$\frac{p_B}{r} = a + d p_A$	$\frac{y}{r} = \lambda + \beta x$	$\frac{a}{P}$	b	0	0	0
$\frac{p_A}{r} = c \frac{1}{p_B}$	$\frac{x}{r} = \gamma \frac{1}{y}$	0	0	$\frac{c}{P^2}$	0	0
Jelölések:	$\frac{p_A}{P} \equiv x$	$\frac{p_B}{P} \equiv y$	$\frac{p_C}{P} \equiv z$			

Az A+B→C típusú reakció esetében felírható

$$(\gamma_A)_0 - (\gamma_A)_t = (\gamma_B)_0 - (\gamma_B)_t = (\gamma_C)_t$$

Az anyagmérleg egyenlet alapján a komponensek parciális nyomása számítható:

$$p_A = \frac{(\gamma_A)_t}{(\gamma_B)_0 + (\gamma_A)_t} \cdot P$$

$$p_B = \frac{(\gamma_B)_0 - (\gamma_A)_0 + (\gamma_A)_t}{(\gamma_B)_0 + (\gamma_A)_t} \cdot P$$

$$p_C = \frac{(\gamma_A)_0 - (\gamma_A)_t}{(\gamma_B)_0 + (\gamma_A)_t} \cdot P$$

2.1.4 Kinetikai kísérletek

Az izobután 1-buténnel lejátszódó alkilezési reakcióját NH_4LaY zeolit katalizátoron vizsgáltuk folyamatos üzemmódban, mikroreaktorban. A kísérleteket a kinetikai kép egyértelmű tisztázása miatt az eddigiektől eltérően gőzfázisban végeztük. A butén átalakulását a $0,2-4,0 \text{ cm}^3 \text{ butén}/\text{cm}^3 \text{ kat}$ s folyadékterhelés-tartományban tanulmányoztuk. Az alkalmazott izobután-1-butén elegy mólaránya 8:1 volt. A reakciót $120-160^\circ\text{C}$ hőmérséklet-tartományban és 5 bar nyomáson tanulmányoztuk.

2.1.5 A kinetikai vizsgálat értékelése

A bemutatott kísérleti eredmények azt igazolták, hogy az alkilezés az

$$\frac{x}{r} = \lambda + \varepsilon \frac{Z}{y}$$

alakú linearizált sebességi egyenlettel írható le. A linearizált sebességi egyenlethez a

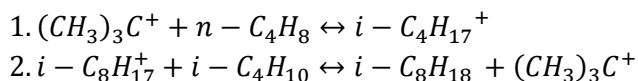
$$\frac{p_A}{r} = a + g \frac{p_C}{p_B}$$

sebességi és az

$$r_1 = \frac{k_1 k_2 p_A p_B}{k_2 p_B + k_{-2} p_C}$$

alakú kinetikai összefüggés rendelhető.

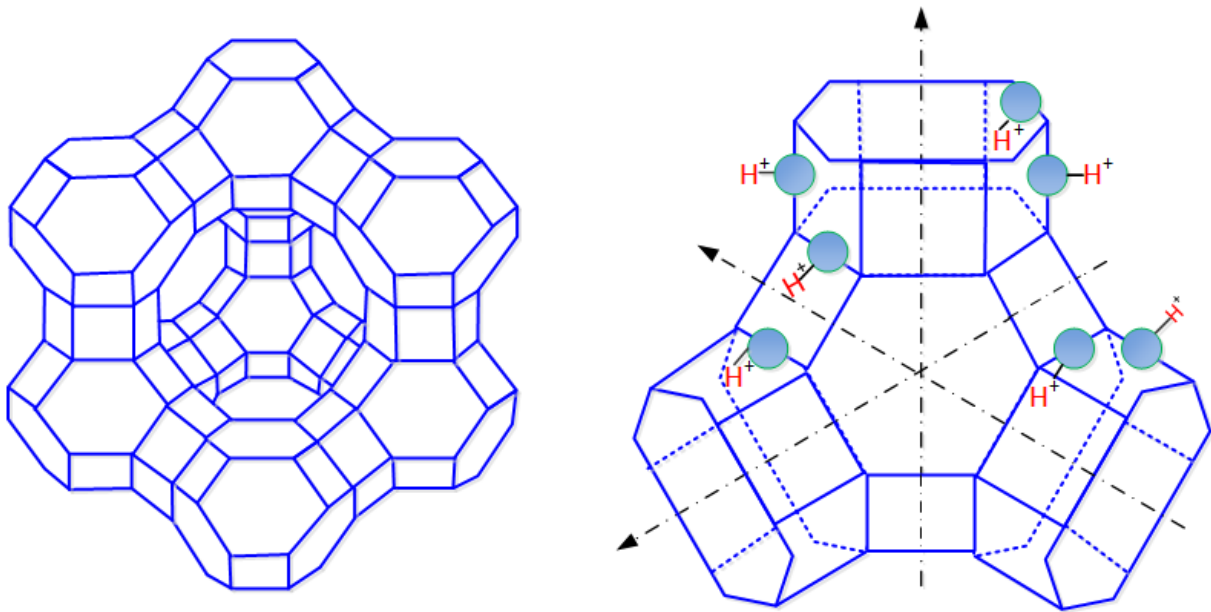
A kinetikai egyenlet szerint a reakciósebesség az izobután, a butén és az izooktán parciális nyomásoktól függ. Eszerint az alkilezési reakció lejátszódása az alábbi két lépésen keresztül valószínűsíthető:



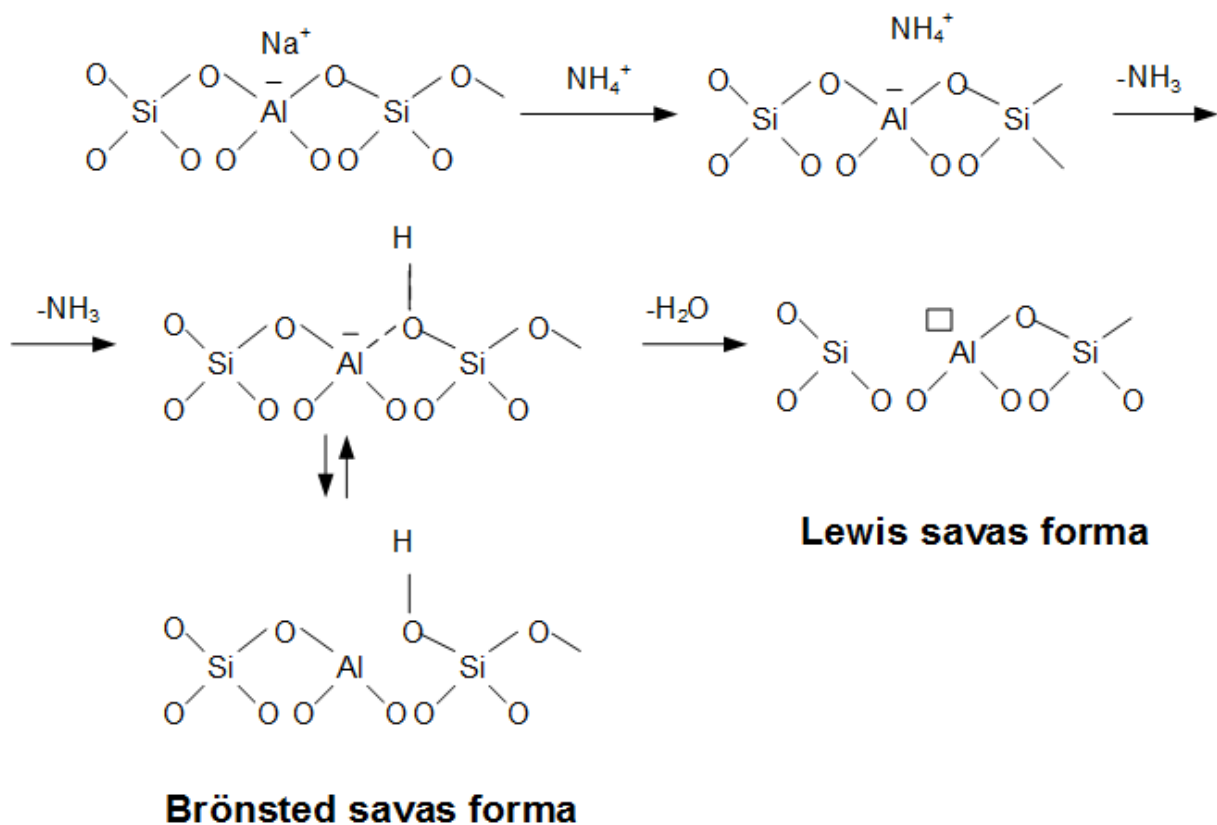
A fenti reakciósémában az NH_4LaY zeolit katalizátor (1. ábra) Brønsted savas helyén szorbeálódott tercier-butil-karbéniumion tekinthető az aktív speciesinek (26. ábra).

Az aktív alakulaton lejátszódó n-butén kemiszorpció a sebesség meghatározó és az irreverzibilis lépés. A képződött oktil-karbéniumion izobutánal reagálva izooktánt és tercier-butil-karbéniumiont eredményez, mely a reakció további lejátszódását biztosítja. Az 1. táblázat az irreverzibilis és a sebességmeghatározó lépésre vonatkozóan megadott kritériumok figyelembevételével megállapítható, hogy ezen esetben (2/1-1) az izooktil-karbéniumion felületi borítottsága és a borítatlan felülethányad (tercier-butil-karbéniumion borítottsága) nulla és egy között változik.

A megállapított kinetikai egyenlet ellenőrzésére végeztem megvizsgáltam a sebességi egyenlet állandóinak hőmérsékletfüggését.



12. ábra. Y-zeolit: $\text{Na}_{56}(\text{AlO}_2)_{56}(\text{SiO}_2)_{136}$



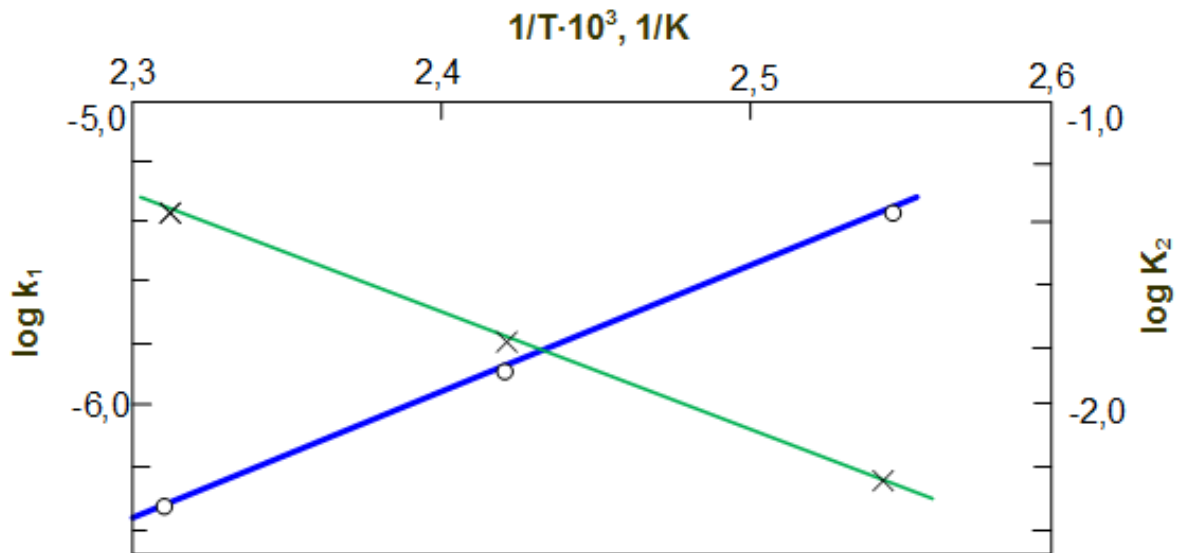
13. ábra. Savas centrumok kialakulása zeolitokon

A sebességi állandó, k_1 , és az egyensúlyi állandó, K_2 , változását a hőmérséklet függvényében a 14. ábra szemléltetem. Ezt a diagramot használtam fel a valódi aktiválási energia E_A és Q a reakcióhő számítására:

$$E_A = 78,7 \text{ kJ/mol (17,6 kcal/mol)}$$

$$Q = -79,9 \text{ kJ/mol (-19,1 kcal/mol)}$$

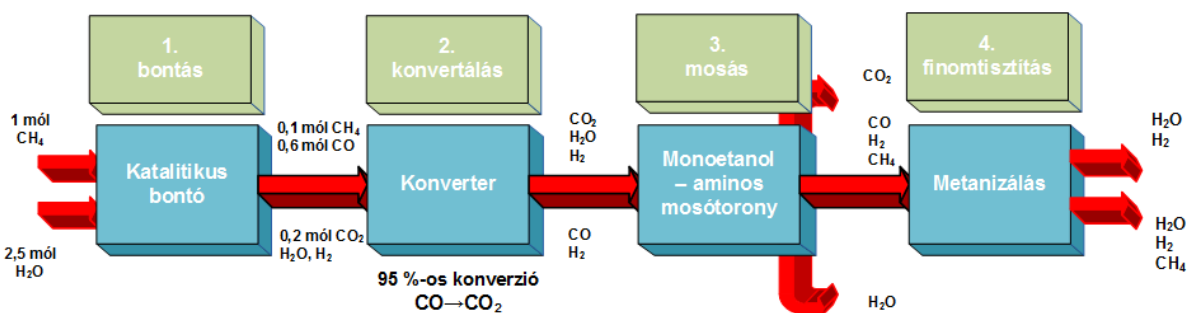
A sebességi állandó, k_1 , és az egyensúlyi állandó, K_2 , a hőmérséklet függvényében mutatott változása (a sebességi állandók hőmérsékletfüggéséből adódóan) szintén alátámasztja a már megállapított reakciómechanizmust, amely szerint az izobutil-karbéniumion és a n-butén reakciója a sebességmeghatározó és az irreverzibilis lépés.



14. ábra. A sebességi és egyensúlyi állandó változása a hőmérséklet függvényében.

2.2 Hidrogén előállítás szénhidrogén bázison

A hidrogén előállítása a szénhidrogének vízgőzös bontásával történik 760°C-on, Ni katalizátor jelenlétében (15. ábra). H, CO és CO₂ keletkezik, valamint CH₄ és H₂O van jelen. A konverter-ben a CO-t CO₂-dá alakítjuk 425°C-on, majd a CO₂-ot monoetanol-aminos mosással eltávolítjuk. A CO és CO₂ nyomokat metanizáljuk.



15. ábra. A hidrogén előállítása a szénhidrogének vízgőzös bontásával

Lejátszódo reakciók a hidrogén előállítása során:

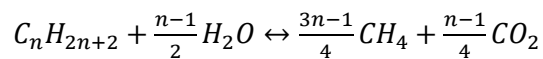
1. $CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2$
2. $CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$
3. $CH_4 + 2H_2O \leftrightarrow CO_2 + 4H_2$
4. $CH_4 \leftrightarrow C + 2H_2$
5. $2CO \leftrightarrow C + CO_2$
6. $C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$
7. $CH_4 + 2CO_2 \leftrightarrow 2CO + 2H_2$
8. $CH_4 + \frac{3}{2}O_2 \leftrightarrow CO + 2H_2O$

$$(3) = (1) + (2)$$

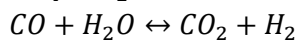
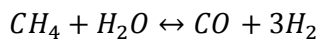
$$(5) = (4) + (2) - (1)$$

$$(6) = (1) - (4)$$

2.2.1 Steam reforming – vízgőzös bontás a katalitikus bontóban



Ni katalizátort alkalmaznak külső fűtésű reaktorokban:



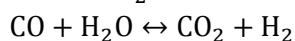
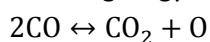
Reakciót elősegítő tényezők:

- kis nyomás, magas hőmérséklet, nagy gőz/gáz arány (6. táblázat).
- a rendelkezésre álló földgáz nagynyomású, emiatt az expandáltatás és a bontás utáni újrakomprimálás költségigényes

6. táblázat A termék gázelegy összetétele a hőmérséklet függvényében atmoszférikus nyomáson.

T, °C	CH ₄ , mol %	H ₂ O, mol %	CO, mol %	H ₂ , mol %
427	42.6	42.6	3.7	11.1
527	30.0	30.0	10.0	30.0
627	14.5	14.5	17.5	52.5
727	5.55	5.55	22.2	66.7
827	1.8	1.8	24.1	72.3
927	0.5	0.5	24.5	74.5

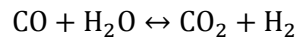
Steam reforming – egyéb reakciók:



2.2.2 CO konvertálása (shift conversion)

A nyersgáz a választott technológiától függően 10-15% CO-t tartalmaz. A CO az ammóniaszintézis üzemben veszélyes katalizátor mérreg: megszünteti az ammónia szintézis folyamatát és ezzel súlyos üzemzavarokat okoz. Ezért a nyersgázt meg kell tisztítani a bontás során keletkezett CO-tól.

A szintézisgáz gyártás következő lépcsője tehát a CO „konverziója” (15. ábra). A CO-t vízgőzzel katalizátoron hidrogénné konvertálják:



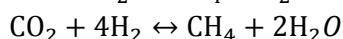
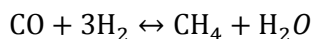
Korábban alkalmazott hőmérséklet 450-500 °C volt, jelenleg 250 °C. A gázban minden CO egy H₂ molekulával azonos értékű, hiszen a CO konverzióban ugyanannyi H₂-t nyerünk, amennyi a gáz CO tartalma. Korábban a konvertálás utáni CO tartalom 3 tf % volt, újabban 0-0.4 tf %. Az alkalmazott ZnO, korábban Fe₂O₃-Cr₂O₃ volt.

2.2.3 CO₂ mosás

Lehet vizes-szénsavas mosást is alkalmazni. Az energiaigény csökkentése miatt etanol-aminos mosást alkalmaznak. A CO₂-t jobban oldja, mint a víz, ugyanakkor a H₂ és N₂ oldhatósága etanol-aminban kisebb, mint vízben. 15-20%-os vizes etanol-amint alkalmaznak ellenáramban. Abszorpciós elnyeletés módszer használnak. Az oldatot melegítéssel regenerálják. A mosási folyamat az atmoszférikus nyomáson megvalósítható. Újabban kálium-karbonátos mosást is végeznek.

2.2.4 Finomtisztítás - metanizálás

A gázban maradt CO-t a jelenlévő hidrogénnel az egyenletnek megfelelően metánná alakítják:



2.2.5 Számítási gyakorlat. Példa

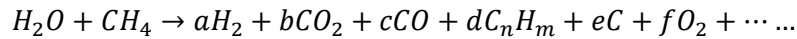
Egy vállalat az előzőekben ábrázolt folyamatábrát ajánlotta a hidrogén előállítására. A hidrogén 350-500 atm nyomáson üzemelő ammónia üzemhez szükséges.

Feladatok

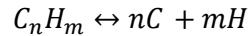
- Igazoljuk a folyamatábra érvényességét!
- Lehetséges-e butánnal helyettesíteni a metánt?

a) Megoldás

- termodinamikai adatok számítása
- metán és vízgőz reakciója

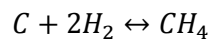


Ha megvizsgáljuk a képződési szabadenergiákat, akkor azt találjuk, hogy 760 °C-on a



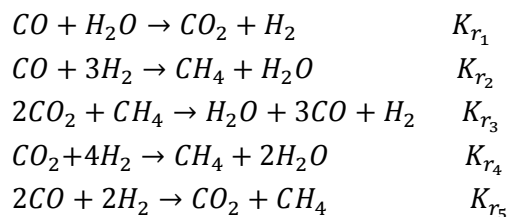
típusú reakció nem valószínű következképpen : $d \approx 0$. Hasonlóan: $f \approx 0$ mivel 760 °C-on hidrogén jelenlétében szabad oxigén nincs jelen.

Feltétezzük, hogy $e \approx 0$ ezt a későbbiekben igazoljuk, a



reakció egyensúlyi állandóját, akkor nincs szabad karbon jelen, mivel ha lenne, akkor az reagálna a hidrogénnel és metán képződne.

A komponensek közötti lehetséges reakciók az alábbiak:



Az egyenletek nem mind lineárisan függetlenek. Ha megfelelő módszerrel megvizsgáljuk, hogy a reakciók közül melyek függetlenek, akkor azt állapíthatjuk meg, hogy csak két független egyenlet van közöttük, feltéve, hogy azokban az összes komponens szerepel. Ha az első két egyenletet vesszük figyelembe, akkor felírhatjuk azok egyensúlyi állandóit, K_{r_i} :

$$K_{r_1} = \frac{p_{CO_2} \cdot p_{H_2}}{p_{CO} \cdot p_{H_2O}}$$

$$K_{r_2} = \frac{p_{CH_4} \cdot p_{H_2O}}{p_{CO} \cdot p_{H_2}^3}$$

ahol p_i : reakció komponensek parciális nyomásai

Ezeknek az állandóknak a meghatározása viszonylag könnyen megtehető, ha ismerjük az egyes komponensek, i , képződéshőit, képződési szabad entalpiát, és mólhőinek hőmérséklet függését.

A szabadentalpia csökkenés

$$\Delta G = \Delta \sum r_i \mu_i$$

$$\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln a_i$$

$$\Delta G = \Delta \sum r_i \mu_i^\circ + RT \Delta \sum r_i \ln a_i$$

ahol:

A kémiai egyensúly feltétele: $\Delta \sum r_i \mu_i = 0$

$$-\frac{\Delta \sum r_i \mu_i^\circ}{RT} = \ln K_a = \ln \frac{\bar{a}_K^{r_K} \cdot \bar{a}_C^{r_C}}{\bar{a}_A^{r_A} \cdot \bar{a}_B^{r_B}}$$

$$K_a = \frac{\prod \bar{a}_K^{r_K}}{\prod \bar{a}_A^{r_A}}$$

Ha az egyensúlyi rendszer ideális elegyként viselkedik akkor az aktivitások a móltörttel (N_i) helyettesíthetők

$$K_a = \frac{\bar{N}_K^{r_K} \cdot \bar{N}_C^{r_C}}{\bar{N}_A^{r_A} \cdot \bar{N}_B^{r_B}} = K_N$$

$$N_i = \frac{p_i}{p} \quad \text{így}$$

$$K_p = \frac{\bar{p}_K^{r_K} \cdot \bar{p}_C^{r_C}}{\bar{p}_A^{r_A} \cdot \bar{p}_B^{r_B}} = K_N p^{\Delta r}$$

$\Delta G = RT \Delta \sum r_i \ln a_i - RT \ln K_a =$ az egyensúlytól való távolság

Normál affinitás az a maximális munka, amit a folyamat akkor termel, ha a kiindulási anyagok és végtermékek koncentrációja egységnyi (C_A=C_B=C_K=C_L=1 mól/l)

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_a = \Delta \sum r_i \mu_i^\circ$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_p$$

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

$$G = H + T \left(\frac{d\Delta G_r}{dT} \right)_p$$

A → B

$$\Delta G = \Delta G_r = G_B - G_A$$

$$\Delta H = \Delta H_r = H_B - H_A$$

$$\left(\frac{d\Delta G_r}{dT} \right)_p = \frac{\Delta G_r - \Delta H_r}{T} \quad / \frac{1}{T}$$

$$\frac{1}{T} \left(\frac{d\Delta G_r}{dT} \right)_p = \frac{\Delta G_r}{T^2} - \frac{\Delta H_r}{T^2}$$

$$\left(\frac{d\left(\frac{\Delta G_r}{T}\right)}{dT} \right)_p - \frac{\Delta G_r}{T^2} = -\frac{\Delta H_r}{T^2}$$

$$\int d\left(\frac{\Delta G_r}{T}\right)_p = -\int \frac{\Delta H_r}{T^2} dT + I$$

$$\frac{\Delta G_r}{T} = -\int \frac{\Delta H_r}{T^2} dT + I; \quad I = \frac{\Delta G_r}{T^2}$$

$$\Delta H_r = \Delta H_{298}^\circ + \int_{298}^T \Delta C_p dT$$

$\Delta H^\circ = \Delta H_{298^\circ K}$ = a szabad elemekből való képződési hő állandó nyomáson

$$C_p = a + bT + cT^2 + \frac{d}{T^2}$$

$$\Delta C_p = \Delta a + \Delta bT + \Delta cT^2 + \frac{\Delta d}{T^2}$$

$$\Delta H = \sum r_z H_z - \sum r_A H_A$$

$$\Delta H^\circ = \sum r_z H_z^\circ - \sum r_A H_A^\circ$$

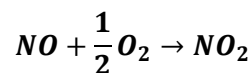
A normál affinitás függ a hőmérséklettől;

25 °C –re vonatkoztatott normálaffinitást standard affinitásnak nevezzük

$$\frac{\Delta G_r^\circ}{T} = -\int \frac{\Delta H_r^\circ}{T^2} dT + I$$

$$\Delta H_0 \rightarrow \Delta H_{r,T}^\circ \rightarrow I$$

Számítsuk ki az adott termodinamikai adatok segítségével az egyensúlyi elegy összetételét:



Reakció esetében 100 és 1000 °K hőmérsékleten; 1 és 100 atm nyomáson!

$$C_{pO_2} = 6.085 + 0.3631 \cdot 10^{-2}T - 0.1709 \cdot 10^{-5}T^2 + 0.3133 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 \left[\frac{\text{cal}}{\text{gmol} \cdot K} \right]$$

$$C_{pNO} = 7.008 - 0.02244 \cdot 10^{-2}T + 0.2328 \cdot 10^{-5}T^2 - 1.000 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 \left[\frac{\text{cal}}{\text{gmol} \cdot K} \right]$$

$$C_{pNO_2} = 5.48 + 1.365 \cdot 10^{-2}T - 0.841 \cdot 10^{-5}T^2 + 1.88 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 \left[\frac{\text{cal}}{\text{gmol} \cdot K} \right]$$

	ΔH_f° , Kcal/gmol 25°C standard érték	ΔG_f° , Kcal/gmol 25°C standard érték
NO	21.600	20.719
NO ₂	8.091	12.390

Megoldás : bázis 1 mól képződött NO₂

$$\Delta G_T^\circ = 12390 - 20719 = -8329 \left[\frac{\text{cal}}{\text{gmól}} \right]$$

$$\Delta H_T^\circ = 8091 - 21600 = -13509 \left[\frac{\text{cal}}{\text{gmól}} \right]$$

$$\Delta C_p = \left[5.48 - \left(7.008 + \frac{1}{2}(6.085) \right) \right] + \left[1.365 - \left(-0.02244 + \frac{1}{2}(0.3631) \right) \right] \cdot 10^{-2}T +$$

$$\left[-0.841 - \left(0.2328 + \frac{1}{2}(-0.1709) \right) \right] \cdot 10^{-5}T^2 + \left[1.88 - \left(-1.000 + \frac{1}{2}(0.3133) \right) \right] \cdot 10^{-9}T^3$$

$$\Delta C_p = -4.57 + 1.20594 \cdot 10^{-2}T - 0.9029 \cdot 10^{-5}T^2 + 2.5667 \cdot 10^{-9}T^3$$

$$\Delta H_{r,T}^\circ = \Delta H_0 + \int_0^{T=298} \Delta C_p dT \quad \Delta H_0 = ?$$

$$\Delta H_{298}^\circ = -13509 = \Delta H_0 - 4.57 + \frac{1}{2} \cdot 1.20594 \cdot 10^{-2}T^2 - \frac{1}{3} \cdot 0.9029 \cdot 10^{-5}T^3 + \frac{1}{4} \cdot 2.5667 \cdot 10^{-9}T^4$$

$$T = 298^\circ K \quad \text{behelyettesítés után } \Delta H_0 = -12608 \left[\frac{\text{cal}}{\text{gmól}\cdot K} \right]$$

$$\Delta H_r = \Delta H_0 + \int_{T_0}^T \Delta C_p dT$$

$$\Delta H_{r,T}^\circ = -12608 - 4.57T + \frac{1}{2} \cdot 1.20594 \cdot 10^{-2}T^2 - \frac{1}{3} \cdot 0.9029 \cdot 10^{-5}T^3 + \frac{1}{4} \cdot 2.5667 \cdot 10^{-9}T^4$$

$$\frac{\Delta G_r^\circ}{T} = - \int \frac{\Delta H_r^\circ dT}{T^2} + I \quad \rightarrow I = ?$$

$$\frac{\Delta G_r^\circ}{T} = - \frac{8329}{T} = - \frac{12608}{T} - \left(-4.57 \ln T + \frac{1}{2} \cdot \frac{1.20594 \cdot 10^{-2}T}{2} + \frac{0.9029 \cdot 10^{-5}T^2}{6} + \frac{2.5667 \cdot 10^{-9}T^3}{12} \right) + I$$

$$T = 298^\circ K - en$$

$$I = -10.01$$

Van egy összefüggésünk, mellyel ΔG_{r-t} bármilyen hőmérsékleten ki lehet fejezni:

$$\frac{\Delta G_r^\circ}{T} = \dots / \cdot T$$

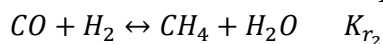
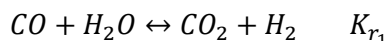
$$\Delta G_{r,T}^\circ = -12608 - 10.01 \cdot T + 4.57 \cdot T \ln T - 0.60297 \cdot 10^{-2}T^2 + 0.15048 \cdot 10^{-5}T^3 - 0.21389 \cdot 10^{-9}T^4$$

$$T = 100^\circ K \rightarrow \Delta G_{r,100^\circ K}^\circ = -11563 \frac{\text{cal}}{\text{gmól}}$$

$$T = 1000^\circ K \rightarrow \Delta G_{r,1000^\circ K}^\circ = -4214 \frac{\text{cal}}{\text{gmól}}$$

$$-\Delta G_r^\circ = RT \ln K_r = RT \ln \frac{p_{\text{NO}_2}}{p_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}} \cdot p_{\text{NO}}} = RT \ln \frac{y_{\text{NO}_2} \cdot P}{(y_{\text{O}_2} \cdot P)^{\frac{1}{2}} \cdot y_{\text{NO}} \cdot P} = \frac{y_{\text{NO}_2}}{y_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}} \cdot y_{\text{NO}}} \cdot P^{-1/2}$$

Hidrogén előállítás esetében



$$K_{r_1} = 1.202$$

$$K_{r_2} = 0.0158$$

7. táblázat Hidrogén előállítás egyenletei

	$\Delta H_f^\circ(25^\circ\text{C})$ (kcal/mol)	$\Delta G_f^\circ(25^\circ\text{C})$ (kcal/mol)	C_p° (cal/mol °K)	\bar{C}_p° (1400-77 °F) (cal/mol °K)
CO	-26,416	-32,808	$6,342 - 1,836 \cdot 10^{-3}T - 0,28 \cdot 10^{-6}T^2$	7,39
CO ₂	-94,060	-94,260	$10,34 + 2,74 \cdot 10^{-3}T - 195500/T^2$	11,41
H ₂	0	0	$6,62 - 0,0081T$	7,045
CH ₄	-17,889	-12,140	$5,34 - 0,0115T$	13,25
H ₂ O (g)	-57,798	-54,6357	$8,22 + 1,5 \cdot 10^{-4}T + 1,34 \cdot 10^{-6}T^2$	28,89
C ₄ H ₁₀	-29,812	-3,754	$4,43 + 72,27 \cdot 10^{-3}T - 22,214 \cdot 10^{-6}T^2$	29,24
C ₂ H ₄	12,496	16,282	$2,83 + 28,61 \cdot 10^{-3}T - 8,73 \cdot 10^{-6}T^2$	17,61
O ₂	0	0	$6,0943 + 3,2533 \cdot 10^{-3}T - 1,017 \cdot 10^{-6}T^2$	7,74
C	0	0	$2,673 - 2,61 \cdot 10^{-3}T - 116900/T^2$	4,43
H ₂ O (l)	-68,317	-56,690		

Megjegyezzük, hogy sem ΔG_r° , sem K_r nem függ az összenyomástól, bár az összetétel a nyomás függvénye. A reakcióban képződött NO₂ mólok számát jelöljük x-szel.

8. táblázat Hidrogén előállítás reakciói

	Az egyensúly összetétel mól szám			móltört
NO ₂	x			$2x/(3-x)$
NO	1-x			$2(1-x)/(3-x)$
O ₂	$\frac{1}{2} - \frac{1}{2}x$			$(1-x)/(3-x)$
	$\frac{1}{2}(3-x)$			
$\text{NO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \leftrightarrow \text{NO}_2$				
	1	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{2x}{(3-x)}$
	1-x	$\frac{1}{2} - \frac{1}{2}x$	x	$\frac{2(1-x)}{3-x} \cdot \left[\frac{(1-x)}{(3-x)} \right]^{1/2} =$
				$= \frac{x(3-x)^{1/2}}{(1-x)^{3/2}}$

100°K

$$\ln K = -\frac{\Delta G}{RT} \quad K = e^{\frac{-\Delta G}{RT}}$$

$$R = 1.9872 \text{ cal/fok} \cdot \text{mól}$$

$$-(-11.563) = RT \ln \frac{x(3-x)^{1/2}}{(1-x)^{3/2}} P^{-1/2}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ atm} - n \\ 100 \text{ atm} - n \end{array} \right\} x \approx 1, \quad x : \text{NO}_2 \text{ móltört száma; a reakció teljesen lejártszódik}$$

1000 °K

$$\frac{-(-4,214)}{1.98 \cdot 1000} = \ln \frac{x(3-x)^{1/2}}{(1-x)^{3/2}} P^{-1/2}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ atm} - n \\ 100 \text{ atm} - n \end{array} \right\} \begin{array}{l} x=0.634 \\ x=0.3699 \end{array}$$

9. táblázat. Az egyensúlyi összetétel

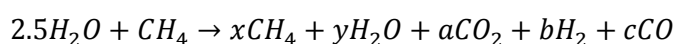
	1 atm, 1000°K		100 atm, 1000°K	
	mól	mól %	mól	mól %
NO ₂	0.0634	4.32	0.3699	28.13
NO	0.9366	63.79	0.6301	47.91
O ₂	0.4683	31.89	0.3151	23.96
Összesen:	1.4683	100.00	1.3151	100.00

Hidrogén előállítás metán vízgőz bontásával

A reakció sztöchiometriáját szisztematikusan meg kell adni. Használjuk az alábbi jelöléseket (termékfázis):

Komponens	mólszám
CH ₄	x
H ₂ O	y
CO ₂	a
H ₂	b
CO	c

Feltételezve, hogy a betáplálás, a bázis 1 mól CH₄ és 2.5 mól H₂O:



A hidrogén mérleg:

Hidrogén be = H_2 a termékekben

$$4.5 = 2x + y + b \quad (\text{a metánban 2 mól hidrogén van})$$

Karbon mérleg: $1 = a + c + x$

Oxigén mérleg: $\frac{2.5}{2} = \frac{y}{2} + a + \frac{c}{2}$

$a = ?, b = ?, c = ?$

$$b = 4.5 - 2x - y$$

$$a = 1.5 + x - y$$

$$c = y - 2x - 0.5$$

$$1 = a + c + x$$

$$2.5 = y + 2a + c$$

$$c = 1 - a - x$$

$$c = 2.5 - y - 2a$$

$$1 - a - x = 2.5 - y - 2a$$

$$a = 1.5 + x - y$$

$$c = -0.5 - 2x - y$$

A reakcióelegyben jelenlévő mólszámok x , y -al kifejezve:

$$CH_4 = x$$

$$H_2O = y$$

$$CO_2 = x - y + 1.5 = a$$

$$H_2 = -2x - y + 4.5 = b$$

$$CO = -2x + y - 0.5$$

$$\text{összes mól: } -2x + 5.5$$

A parciális nyomások kifejezése:

$$p_{CH_4} = P_{yCH_4}$$

$$p_{H_2O} = P_{yH_2O}$$

$$p_{CO_2} = P_{yCO_2}$$

$$p_{H_2} = P_{yH_2}$$

$$p_{CO} = P_{yCO}$$

Móltörtök kifejezése:

$$p_{CH_4} = P \cdot \frac{x}{5.5 - 2x}$$

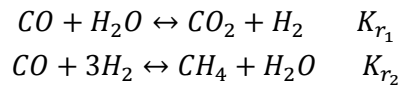
$$p_{H_2O} = P \cdot \frac{y}{5.5 - 2x}$$

$$p_{CO_2} = P \cdot \frac{x - y + 1.5}{5.5 - 2x}$$

$$p_{H_2} = P \cdot \frac{-2x - y + 4.5}{5.5 - 2x}$$

$$p_{CO} = P \cdot \frac{-2x + y - 0.5}{5.5 - 2x}$$

$a P_0$ a bonóban = P_0 konverter = P_0 MEA moszó = P_0 metanizáló



Egyensúlyi állandók kifejtése:

$$K_{r_1} = \frac{p_{CO_2} \cdot p_{H_2}}{p_{CO} \cdot p_{H_2O}} = \frac{\frac{(x-y+1.5) \cdot P \cdot \frac{(4.5-2x-y)}{(5.5-2x)} \cdot P}{(5.5-2x)} \cdot \frac{(y)}{(5.5-2x)} \cdot P}{\frac{(y-2x-0.5) \cdot P \cdot \frac{(y)}{(5.5-2x)} \cdot P}{(5.5-2x)}} = \frac{(x-y+1.5) \cdot (4.5-2x-y)}{(y-2x-0.5) \cdot (y)} = 1.202 \text{ (számítottak)}$$

$$K_{r_2} = \frac{p_{CH_4} \cdot p_{H_2O}}{p_{CO} \cdot p_{H_2}^3} = \frac{\frac{x}{(5.5-2x)} \cdot P \cdot \frac{y}{(5.5-2x)} \cdot P}{\frac{(y-2x-0.5) \cdot P \cdot \frac{(4.5-2x-y)^3}{(5.5-2x)^3} \cdot P^3}} = \frac{(x) \cdot (y) \cdot (5.5-2x)^2}{(y-2x-0.5) \cdot (4.5-2x-y)^3 P^2} = 0.0158 \text{ (számítottak)}$$

A programozandó függvény:

- az állandók értékei a $CH_4 : H_2O$ molaránytól függenek

$$f = \left[\frac{\left(K_{r_1} - \frac{(a-b+c)(d-2a-b)}{(b-2a-g)b} \right)}{K_{r_1}} \right]^2 + \left[\frac{\left(K_{r_2} - \frac{a \cdot b \cdot (h-2a)^2}{(b-2a-g)(d-2a-b)^3 p^2} \right)}{K_{r_2}} \right]^2$$

$a = x; b = y$

$$f = \left[\frac{K_1 - f_1(x,y)}{K_1} \right]^2 + \left[\frac{K_2 - f_2(x,y)}{K_2} \right]^2$$

$\left. \begin{matrix} K_{r_1} \\ K_{r_2} \end{matrix} \right\}$ megoldása $\left. \begin{matrix} (CH_4) x \text{ mólók számát} \\ (H_2O) y \text{ mólók számát} \end{matrix} \right\}$ eredményezi!

a továbbiakban:

$\left. \begin{matrix} (H_2) b = 4.5 - 2x - y \\ (CO_2) a = 1.5 + x - y \\ (CO) c = y - 2x - 0.5 \end{matrix} \right\}$ mólszám számítható \rightarrow összmólszám számítható
 \rightarrow móltörtöket lehet számolni

Így az egyensúlyi összetettel a bontó után tiszta CH_4 betáplálás esetén

10. táblázat Egyensúlyi összetétel

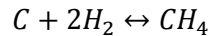
	H_2	CO_2	CO	H_2O	CH_4	betáplálási arány: $\frac{H_2O}{CH_4} = 2.5$
mól, %	55.4	5.85	10.5	25.7	2.74	
móltört	0.554	0.0585	0.105	0.257	0.0274	
$\frac{\text{mól}}{\text{mól betáplált } CH_4}$	2.90 (b)	0.308 (a)	0.55 (c)	1.347 (y)	0.1435 (x)	
$p=5 \text{ atm}; p, \text{ atm}$ parciális nyomások	2.77	0.294	0.524	1.283	0.137	

Például:

$$CH_4 \text{ móltört} = 0.0274 = \frac{x}{-2x+5.5} \rightarrow x = 0.143 \text{ mól } CH_4$$
$$a + b + c + x + y = 5.2485$$

$$\frac{0.143 \text{ mól } CH_4}{1 \text{ mól betáplált } CH_4} = 0.14$$

a karbon kiválás vizsgálta:



reakcióra a ΔH_f° ; ΔG_f° ; C_p°

ismertében a leírtak szerint számítjuk a $\Delta G_{r,T}^\circ - t$,
abból a $K_r - et.$ $-\Delta G_r^\circ = RT \ln K_r$

$$K_r = 0.0696$$

$$p_{CH_4} = 0.137$$

$$p_{H_2} = 2.77$$

$$p_{H_2^2} = 7.67$$

$$\frac{p_{CH_4}}{p_{H_2^2}} = \frac{0.137}{7.67} = 0.01786$$

$$K_r = 0.0696 \gg 0.01786$$

Tehát nincs szén (koks) kiválás. Ha ez nem teljesülve, akkor a CH_4 : vízgőz molarányt növelni kellene. A parciális nyomások révén számított értékek kicsinek kell lenni, hogy a koks kiválás egyensúlyi állapotja ne teljesüljön. Nyilvánvaló, hogy nem lesz koks képződés, mivel a

$C + 2H_2 \leftrightarrow CH_4$ reakció egyensúlyi állandója nem teljesül!

$$K_r = 0.0696 \gg P_{CH_4}/P_{H_2^2}$$

Heterogén rendszerek egyensúlyára tehát úgy alkalmazzuk a tömeghatás törvényét, mint homogén rendszerekre csupán elhanyagoljuk azoknak az anyagoknak a parciális nyomását, koncentrációját, illetve aktivitását, amelyek tiszta szilárd, vagy cseppfolyós állapotban is jelen vannak. A p_C a szén telített gőzének nyomását jelenti, amely állandó hőmérsékleten állandó, nem függ a CH_4 és a H_2 nyomásának viszonyától, amelyet bizonyos határon belül szabadon választunk.

Ezek az állandó nyomások, p_C , egybefoglalhatók az egyensúlyi állandóval, amit más szóval is kifejezhetünk:

- a heterogén kémiai rendszerek egyensúlyi állandójának kiszámításánál a tiszta szilárd, vagy folyékony állapotban jelenlévő anyagokat figyelmen kívül hagyhatjuk.

b) Bután betáplálás esetén

Az egyensúlyi összetételt bután betáplálás esetén is pontosan úgy kapjuk meg, mint metán betáplálásnál. A hőmérséklet és összetétel tartományokat meg kell vizsgálni a gazdaságossági optimum miatt. A nagy és alacsony nyomásokat is figyelembe kell venni, mivel a hidrogént felhasználó ammóniüzem 300-350 atm-n dolgozik és kevésbé drága folyadék halmazállapotú butánt betáplálni, mint gázhalmazállapotú metánt, vagy hidrogént.

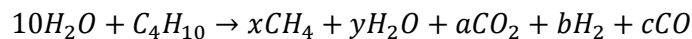
$$T_{\text{bontó}} = 760 \text{ °C}$$

$$P_{\text{bontó}}: 5 \text{ atm ill. } 58.5 \text{ atm}$$

A H₂O/CH molaránynak olyannak kell lenni, hogy a karbon kiválását megakadályozza és feltételezzük, hogy adott nyomáson optimuma van.

Bután alapú hidrogén gyártás

$$\text{H}_2\text{O} : \text{bután} = 10 : 1$$



Komponens	mólszám
C ₄ H ₁₀	-
H ₂ O	y
CO ₂	a
H ₂	b
CO	c
CH ₄	x

$$\left. \begin{array}{l} \text{H}_2 \text{ mérleg} \quad 15 = 2x + y + b \\ \text{O}_2 \text{ mérleg} \quad 5 = \frac{y}{2} + a + \frac{c}{2} \\ \text{C mérleg} \quad 4 = x + a + c \end{array} \right\} \begin{array}{l} a = f(x,y) \\ b = f(x,y) \\ c = f(x,y) \end{array}$$

$$b = 15 - 2x - y$$

$$c = -2 + y - 2x$$

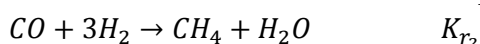
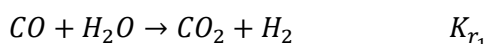
$$a = 6 + x - y$$

$$\text{CH}_4 : x = x$$

$$\text{H}_2\text{O} : y = y$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{CO}_2: \\ \text{H}_2: \\ \text{CO:} \end{array} \right\} f(x,y) \quad \begin{array}{l} a = 6 + x - y \\ b = 15 - 2x - y \\ c = -2 - 2x + y \end{array}$$

$$\text{összmólszám} = 19 - 2x$$



K_{r_1} , K_{r_2} felírása a parciális nyomásokkal!

Megoldani x , y értékére, ebből a móltört elszámolható.

C₄H₁₀ betáplálás esetén a bontót elhagyó gáz összetétele

11. táblázat. C₄H₁₀ betáplálás esetén a bontót elhagyó gáz összetétele

	H ₂	CO ₂	CO	H ₂ O	CH ₄	H ₂ O/CH arány
P = 5 atm	2.520	0.393	0.600	1.370	0.121	9.900
P = 58.5 atm	12.500	3.350	0.900	41.40	0.650	40.00

mól %, móltört, parciális nyomások számítása

P = 5 atm - n

$$x_{\text{CH}_4} = 0.121/5 = 0.0242 = x/19-2x \quad x = 0.4385$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = 1.37/5 = 0.274 = y/19-2x \quad y = 5.0858$$

$$\text{H}_2 \text{ mólszáma} = b = 15 - 2x - y \approx 9.038 \text{ mól}$$

$$\text{CO mólszáma} = c = -2 - 2x + y \approx 2.200 \text{ mól}$$

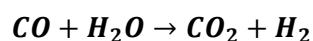
$$\text{CO}_2 \text{ mólszáma} = a = 6 + x - y$$

$$\text{mól H}_2/\text{mól CH}_{4\text{be}} \approx 9.038$$

$$\text{mól CO}/\text{mól CH}_{4\text{be}} \approx 2.200$$

Konverter (shift converter)

Az az előírás, hogy a konverterben 95%-ban nyerünk hidrogént a CO helyett, valamint a reakció egyensúlyi összefüggése meghatározza a sztöchiometriát. Az egyedüli reakció, amelyet a konverterben vizsgálunk 760 °C-on:



$$K_r(425^\circ\text{C}) = 9.650 \quad K_r(760^\circ\text{C}) = 9.030$$

K_r értékét adott hőmérsékletre kell kiszámítani

A metán betáplálására tömegmérleget írunk fel: a bontóból 100 mol kilépő és konverterbe belépő gázt tekintünk.

A bontót elhagyó gáz (CH₄ alapú) összetétele mól %-ban:

12. táblázat A bontót elhagyó gáz (CH₄ alapú) összetétele mól %-ban

H ₂	CO ₂	CO	H ₂ O	CH ₄
55.40	5.85	10.50	25.7	2.74

13. táblázat A bontót elhagyó gáz (CH₄ alapú) összetétele mól-ban

gáz	betáplált mólok száma	kilépő mólok száma
H ₂	55.40	55.40 + 0.95 · 10.50 = 65.40
CO ₂	5.85	5.85 + 0.95 · 10.50 = 15.80
CO	10.50	0.05 · 10.50 = 0.53
CH ₄	2.74	= 2.74
H ₂ O	25.70 + y*	25.70 + y – 0.95 · 10.50 = 15.70 + y

y*: a konverterben a gázelegyhez hozzáadott vízgőz móljainak száma

$$K_{r_1} = \frac{p_{CO_2} \cdot p_{H_2}}{p_{CO} \cdot p_{H_2O}} = \frac{15.80 \cdot 65.40}{0.53 \cdot (15.70 + y)}$$

y = 200 mól H₂O

$$p_i = \frac{n_i}{n} \cdot p_0$$

A konverter anyagmérlege: bázis 100 mól betáplált gáz.

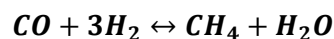
A betáplált gáz mol %-os összetételét az előzőekben meghatároztuk metán és bután alapon történő bontás révén

14. táblázat A betáplált gáz mol %-os összetétele

	H ₂	CO ₂	CO	H ₂ O	CH ₄	H ₂ O/CH arány a bontóban
CH ₄ betáplálás, 5 atm, mol	65.40	15.8	0.53	215.70	2.74	2.50
bután betáplálás, 5 atm, mol	61.61	19.24	0.60	213.11	2.41	9.90
bután betáplálás, 58.5 atm, mol	22.55	7.17	0.08	236.38	1.11	40.00

A konvertert elhagyó gáz összetételének meghatározása után megállapítható, hogy a monoetanol-aminos üzemet, milyen összetételű gáz hagyja el.

A monoetanol-aminos mosóban vezetjük el a CO₂-t és a vizet. Ezután végezzük el a CO metanizálást:



Ez a reakció teljes, így meg tudjuk határozni a hidrogén fogyását és a metán, valamint a víz növekedését.

Teljes anyagmérleg CH₄ betáplálás esetén

Már ismert, hogy 1 mól metánból mennyi hidrogén keletkezett. Így meghatározható, hogy 100 mól H₂ előállításához hány mól metán szükséges és a molarány ismeretében hány mól vízre van szükség a konverterbe beadott vízgőz mennyiségét is figyelembe véve.

A teljes anyagmérleg a metanizálót elhagyó 100 mól hidrogéneken alapul.

$$\frac{\text{Konvertert elhagyó H}_2 \text{ móllok száma}}{\text{Betáplált CH}_4 \text{ móllok száma}} = \frac{2,90+0,95 \cdot (0,55)}{1} = 3,42$$

2,90 → bontót elhagyó gáz (mól H₂/bevitt mól CH₄)

0,95 → konvertálás során 95%-os átalakulás

0,55 → bontót elhagyó mól CO/mól CH₄ (shift conversion)

A metanizálóban a hidrogénnel lejátszódó reakció

$$\frac{\text{Metanizálóban fogyott H}_2}{\text{Betáplált CH}_4 \text{ móllok száma}} = \frac{0,05+0,55 \cdot 3}{1} = 0,081$$

0,05 → konverterben a CO 95%-a alakul át CO₂-dá (shift conversion)

0,55 → bontót elhagyó mól CO/ mól CH₄

A CH₄ betáplálás 100 mól H₂ előállításához

$$\frac{100}{3,42 - 0,083} = 29,94 \text{ mól CH}_4$$

1 mól metánból → 3,42 - 0,083 mól H₂

X = ? → 100 mól H₂

A víz/CH₄ arány = 2,5

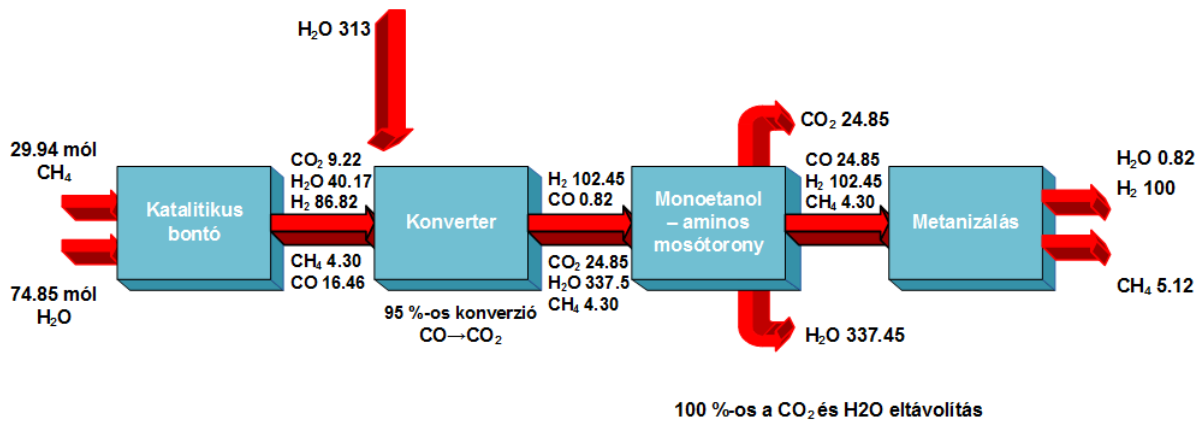
Így a H₂O betáplálás = 2,5 29,94 = 74,85 mól H₂O

Ezért 100 mól H₂ előállításához

29,94 mól CH₄-t

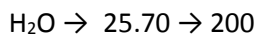
74,85 mól H₂O-t táplálunk be a bontóba.

16. ábra mutatja az anyagmérleget CH₄ betáplálásra vonatkoztatva 100 mól H₂ előállítása esetén



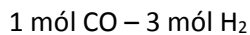
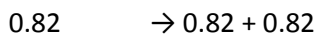
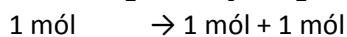
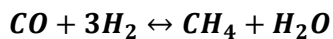
16. ábra. A hidrogén gyártás mérlege CH₄ betáplálás esetén 100 mól H₂ előállításához

Bontót elhagyó víz:



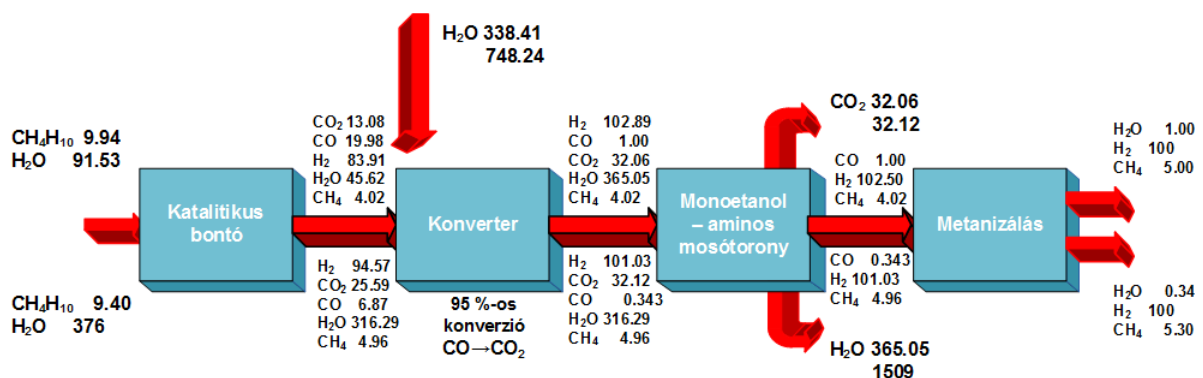
$$40.17 \rightarrow x = 312,61 \approx 313$$

A konverterben a CO 95%-a CO₂-dá alakul, így a H₂ és CO₂ mennyisége $0.95 \cdot 16.46 = 15.63$ móllal növekszik, a H₂O és CO mólszáma ugyanennyivel csökken.



0.82 mól CO – 3 · 0.82 = 2.46 mól H₂ szükséges, mert hidrogén fogyás következik be 100%-os a CO metanizálása.

A 17. ábra mutatja a teljes anyagmérleget C₄H₁₀ betáplálás esetén



17. ábra. A hidrogén gyártás anyagmérlege bután betáplálás esetén: P (C₄H₁₀)= 5 atm; P (C₄H₁₀)= 58.5 atm

3 A folyamatok érvényesülése a leválasztási technológiákban

A levegőszennyezés csökkentésének módszerei

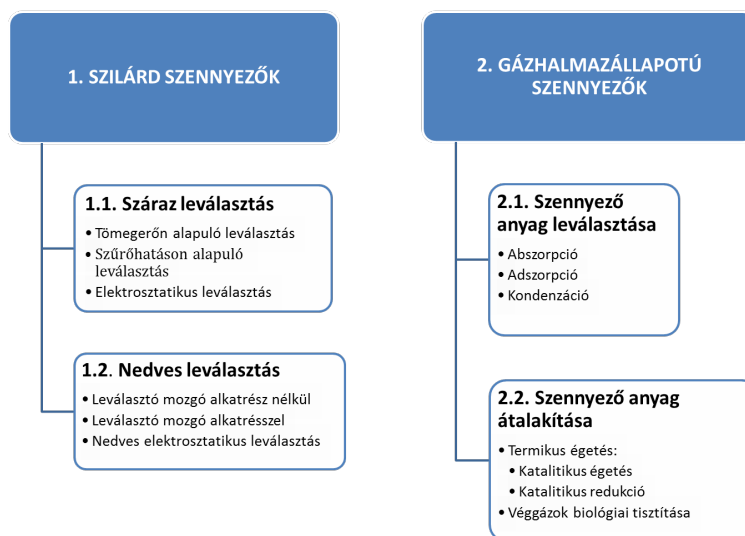
Az alkalmazott eszközök aktívak és passzívak lehetnek attól függően, hogy magába a technológiába avatkozunk be, azt módosítjuk vagy cseréljük ki a kibocsátott szennyezés csökkentése érdekében (hulladékszegény technológiák, aktív módszer), vagy a már meglévő technológiai sor utolsó lépéseként a technológiai sorba kapcsolt valamilyen leválasztó, ártalmatlanító berendezéssel csökkentjük a technológiai folyamatból kibocsátott szennyezőanyag mennyiségeket (passzív módszer) (Kovács, 2003).

Például kén-dioxid emisszió csökkentésének aktív módszereit jelentik azok az eljárások, amelyek segítségével az égetési folyamatban keletkező kén-dioxid mennyiségét csökkentjük. Ezek az eljárások a tüzelőanyagot kéntelenítik még az égetés előtt. A passzív módszerek alkalmazása esetén a z égetés során keletkező kén-dioxidot valamely füstgáz-tisztító eljáratás során vonjuk ki a füstgázból.

A levegőszennyezés csökkentésének passzív módszerei

A véggázok megtisztítására a káros szennyező komponensektől mindazok a készülékek, berendezések és eljárások felhasználhatók, amelyeket a vegyipar és a vele rokon iparágak a gáz-szilárd, a gáz-folyadék és a gáz-folyadék-szilárd többfázisú reakciók végrehajtására, a fázisok vagy a gázfázis komponenseinek elválasztására kifejlesztettek. Gáztisztításra fizikai és kémiai módszerek egyaránt alkalmazhatók.

Az egyes technológiák megvalósítása során keletkező szilárd, gáz és cseppfolyós halmazállapotú szennyezők légkörbe jutását az alábbi módszerekkel lehet csökkenteni vagy megakadályozni. A cseppfolyós halmazállapotú légszennyezők leválasztásakor lejátszódó folyamatok hasonlóak a szilárd szennyezők leválasztásakor végbemenő folyamatokhoz (Kovács, 2003).



18. ábra A levegőszennyezés csökkentésének passzív módszerei

3.1 Szilárd szennyező leválasztása

A szilárd részecskék jellemzése

Porleválasztás szempontjából a por meghatározására a következő definíció terjedt el: a por apró, tetszőleges alakú és sűrűségű szilárd részecskékből álló diszpergált anyag, amely elsősorban gázfázisú diszperziós közeggel kétfázisú diszperz rendszert alkot. Porszemcsének azok a részecskék tekinthetők, amelyek 101325 Pa nyomáson és 20°C hőmérsékleten rövid felgyorsulási szakasz után közel állandó, 300 cm/s-nál nem nagyobb sebességgel ülepednek, és legnagyobb vetületi méretük 2000 µm-nél kisebb. A porok eredetük szerint természetes forrásokból (talaj mállása, erdőtüzek, vulkánkitörések, stb.) származhatnak, illetve emberi tevékenység eredményeként juthatnak a légtérbe (Kovács, 2003).

1.1. Száraz leválasztás

Szilárd részecskék mozgása nehézségi erőterben

A porleválasztó berendezések működését a szemcsék áramlási ellenállása meghatározó módon befolyásolja. Az áramlási ellenállás kétféle lehet. Az egyik a közeg viszkozitásából származó súrlódási ellenállás F_s , a másik pedig a gáz sebességének megváltozásából eredő dinamikai ellenállás F_n . Kis Reynolds-számnál, amikor az áramlás lamináris ($Re < 0.1$) és a dinamikai ellenállás ($Re > 1000$: az áramlás turbulens) elhanyagolható, a súrlódási ellenállás egyenesen arányos a részecske lineáris sebességével, az átmérőjével és a közeg viszkozitásával:

$$F_s = 3\pi\eta v d$$

ahol:

F_s : az áramlási ellenállás, N;

η : dinamikai viszkozitás, Ns/m^2 ;

v_d : a szemcse és a vívőgáz közötti áramlási sebességkülönbség, m/s;

d : a szemcse átmérője, m.

A ρ_g sűrűségű gázban a d átmérőjű, tehát $d^3\pi/6$ térfogatú, valamint ρ_s sűrűségű gömbre ható, a felhajtóerővel módosított nehézségi erő:

$$F_g = \left(d^3 \pi / 6 \right) \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g$$

A nehézségi erő hatására a részecske növekvő sebességgel esik. A sebesség növekedésével mindaddig nő a közeg ellenállása, amíg egyenlő nem lesz a tömegerővel. Ettől kezdve a mozgás egyenletes, tehát a felhajtóerővel módosított nehézségi erő egyenlő lesz a súrlódási ellenállással:

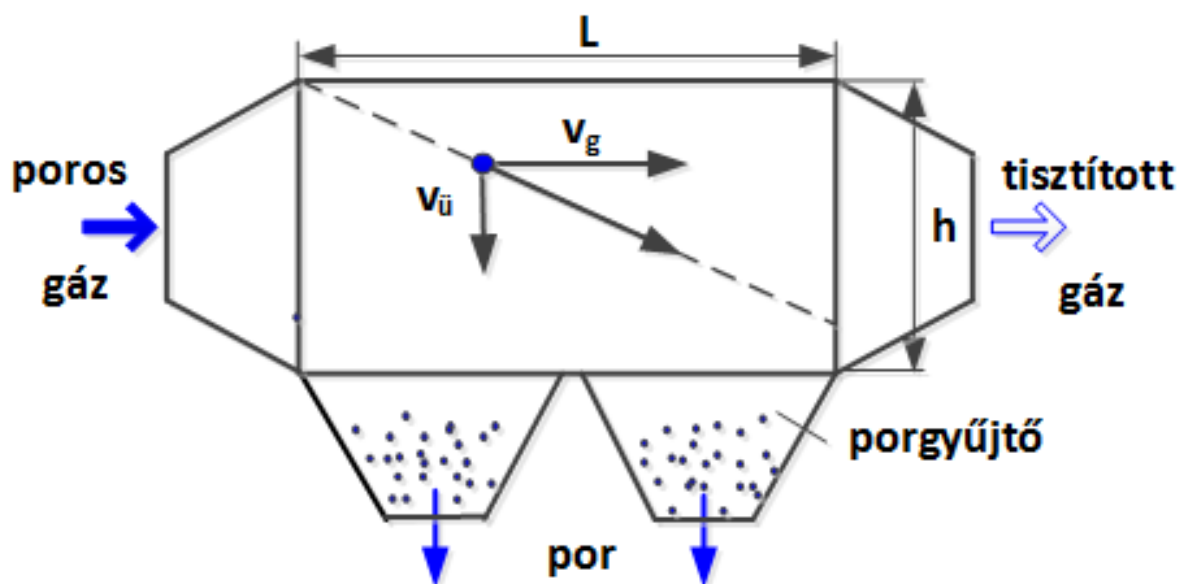
$$3\pi\eta v_{\ddot{u}} d = \left(d^3 \pi / 6 \right) \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g$$

Ebből az ülepedési sebességet kifejezve Stokes-törvényét nyerjük:

$$v_{\ddot{u}} = \frac{1}{18} \frac{(\rho_s - \rho_g) g d^2}{\eta}$$

Porleválasztó kamra

A porkamrák a legegyszerűbb porleválasztó berendezések (19. ábra). A nagyméretű készülékbe belépve a tisztítandó gáz v_g sebessége erősen lecsökken, miközben a magával szállított por nagyobb szemcséi kiülepednek. A leválasztók általában vízszintes elrendezésű, belül üres, hasáb alakú testek, a kellő sebességcsökkentés érdekében nagy térfogattal rendelkeznek. Az egyszerű porkamrák az 50-100 μm átmérőjű szemcsék leválasztására alkalmasak, az ennél kisebb átmérőre a készülék leválasztási hatásfoka rohamosan csökken. A kis portalanítási fokuk miatt csak elő leválasztóként alkalmazzák őket, hogy a gázáramban lévő durva szemcsék koptató hatásától egyéb leválasztó berendezéseket, pl.: a ciklonokat megkímélik.

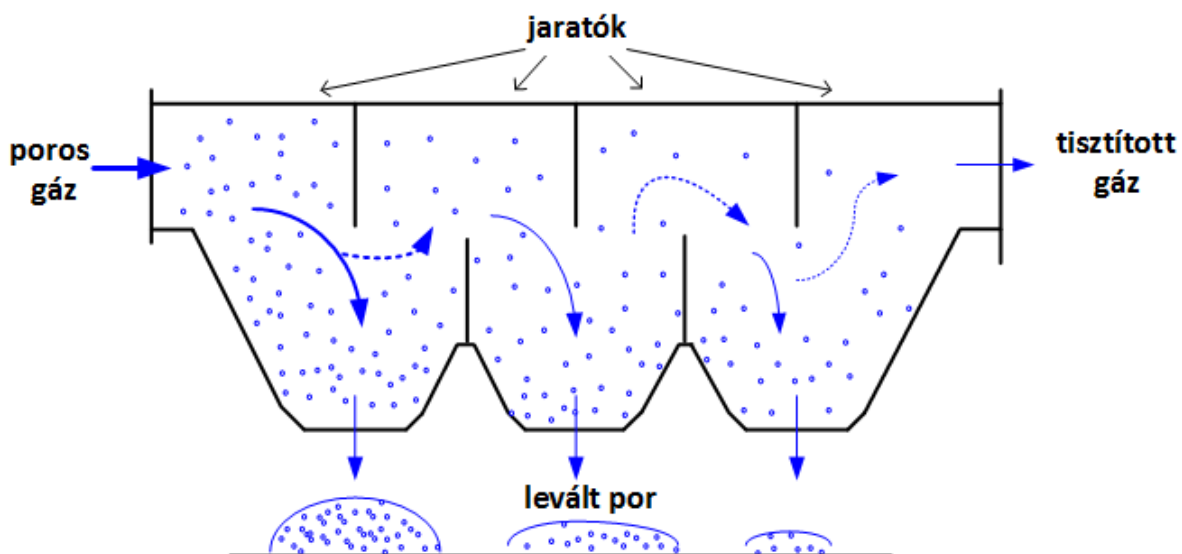


19. ábra A porkamra sebességviszonyai

A porkamrák előnye az egyszerű szerkezet, a kis beruházási és karbantartási költség, az áramlással szembeni csekély ellenállás, továbbá az, hogy a hőmérséklettel és a korrózióval kapcsolatban csak a szerkezeti anyagok szabnak határt.

Ha a leválasztó térben nem csak a hordozógáz sebességét csökkentjük, hanem különböző betétekkel irányváltatásra is kényszerítjük a gázt, a porkamrák hatásosságát fokozni tudjuk.

Írányváltás hatására a szemcsék nagyobb tehetetlenségük miatt igyekeznek megtartani eredeti irányukat, a terelőlapoknak ütközve kiválnak a gázáramból (20. ábra).



20. ábra Irányváltásos porleválasztó kamra

Példa 1. Határozzuk meg azon porrészecskék átmérőjét (μm), amelyek egy porleválasztó kamrában (19. ábra) 100 %-os hatásfokkal leválaszthatók az alábbi paraméterek mellett:

- a gáz horizontális sebessége: $v_g = 0.3 \text{ m/s}$;
- a gáz dinamikai viszkozitása: $\eta = 2.1 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{S}$;
- a porrészecskék sűrűsége: $\rho_s = 2 \text{ g/cm}^3$,
- a gáz sűrűsége: $\rho_g = 1.3 \text{ kg/m}^3$,
- az ülepítőkamra hossza: $L = 7.5 \text{ m}$,
- az ülepítőkamra magassága: $h = 1.5 \text{ m}$.

Megoldás:

Az ülepedési sebesség Stokes-törvény szerint kifejezhető a részecske és a közeg tulajdonságaival:

$$v_{\ddot{u}} = \frac{d^2 g (p_s - p_g)}{18\eta}$$

ahol:

g : gravitációs gyorsulás, 9.81 m/s^2

Tartózkodási idő - a gázsebesség sebesség alapján meghatározott:

$$\tau_g = \frac{L}{v_g}$$

Tartózkodási idő - az ülepedési alapján meghatározott:

$$\tau_{\ddot{u}} = \frac{h}{v_{\ddot{u}}}$$

Azon porrészecskék ülepednek ki, amelyeknél a $\tau_g \geq \tau_{\ddot{u}}$ feltétel teljesül,

a $\tau_g = \tau_{\ddot{u}}$ egyenlőséget felhasználva az alábbi képletet alkalmazzuk:

$$\frac{L}{v_g} = \frac{h}{v_{\ddot{u}}}$$

$$v_{\ddot{u}} = \frac{h}{L} v_g$$

$$v_{\ddot{u}} = \frac{h}{L} v_g = \frac{d^2 g (p_s - p_g)}{18\eta}$$

akkor a leválasztható szemcseméret:

$$d = \sqrt{18 \frac{h v_g \eta}{L g (p_s - p_g)}} = \sqrt{18 \cdot \frac{1.5 \cdot 0.3 \cdot 2.1 \cdot 10^{-5}}{7.5 \cdot 9.81 \cdot (2000 - 1.3)}} = 34 \mu\text{m}$$

3.1.1 Porleválasztás centrifugális erővel

A 21. ábra vonalas rajza bemutatja a ciklont. A centrifugális erővel történő porleválasztáskor a szennyezett gázt nagy sebességgel tangenciálisan vezetik a ciklonba. A készülékben spirál alakú, lefelé áramló örvények keletkeznek, miközben a porrészecskékre a nehézségi erőn kívül sugár irányú centrifugális erő is hat. A centrifugális erő hatására a durvább porszemcsék a leválasztó tér felülete, a

hengeres alakú ciklonfal felé vándorolnak, ahol sebességüket veszítik, és a nehézségi erő hatására a ciklon alsó, kúpos részébe jutnak, majd innen a porgyűjtő kamrába hullnak. A finom részecskék a gázárammal együtt a merülő csövön keresztül elhagyják a ciklont.

A centrifugális erőterben a részecskére két erő hat:

$$\text{Centrifugális erő: } F_c = mL\omega^2 = m \frac{v_t^2}{L}$$

$$\text{Súrlódási erő: } F_s = 3\pi\eta v_c d$$

ahol:

L: a részecske távolsága a forgástengelytől, m,

m: a részecske tömege, kg,

ω : szögsebesség, s^{-1} ,

v_t : a részecske tangenciális sebessége, m/s,

v_c : a részecske sugárirányú sebessége, m/s,

d: a részecske átmérője, m.

Egyensúlyban $F_c = F_s$, valamint figyelembe véve, hogy $\omega = v_t/L$ (v_t =érintőirányú sebesség), a részecske kiválási- vagy más néven vándorlási sebessége a következő összefüggéssel számolható:

$$v_c = \frac{1}{18} d^2 \frac{v_t^2}{L} \frac{(\rho_s - \rho_g)}{\eta}$$

Az egyszerű ciklonok jó hatásfokkal az 50 μm -es szemcséket választják le. A multiciklonok 10 μm -es, az örvénycsövek pedig 5-10 μm -es szemcsék leválasztására is alkalmasak.

Példa 2. Porral szennyezett levegőáramot vezetünk keresztül 7 m^3/s térfogatárammal egy szabványos méretezésű porleválasztó ciklonon. A ciklon átmérője, $D = 2$ m. A levegő dinamikai viszkozitása: $\eta = 2.1 \cdot 10^{-5}$ Pa·s.

a) Határozza meg a 10 μm átmérőjű 1.5 g/cm^3 sűrűségű porrészecskék leválasztási hatékonyságát (%)!

b) Határozza meg a leválasztási hatásfokot, ha 64 db 24 cm átmérőjű ciklonból álló multiciklon rendszerben történik a leválasztás (%)!

a) Megoldás

Az adott ciklon átmérője, D , alapján lehet számolni többi ciklon paramétereit (21. ábra):

Hengeres rész : $s= 2D$

Kúpos rész : $k=2D$

Belépő csonc magassága : $a=D/2$

Belépő csonc szélessége : $b = D/4$

Merülő cső átmérője: $D_e=D/2$

Porelvezető cső átmérője: $I_c=D/4$

1. A bevezető cső keresztmetszete:

$$F= a \cdot b= D/2 \cdot D/4= 2/2 \cdot 2/4=0.5 \text{ m}^2$$

A Lapple egyenletet és a relatív méret d/d_{50} vs. leválasztási hatásfok összefüggést használjuk fel:

Lapple egyenlet:

$$d_{50} = \sqrt{\frac{9b\eta}{2\pi N w_b \rho_s}}$$

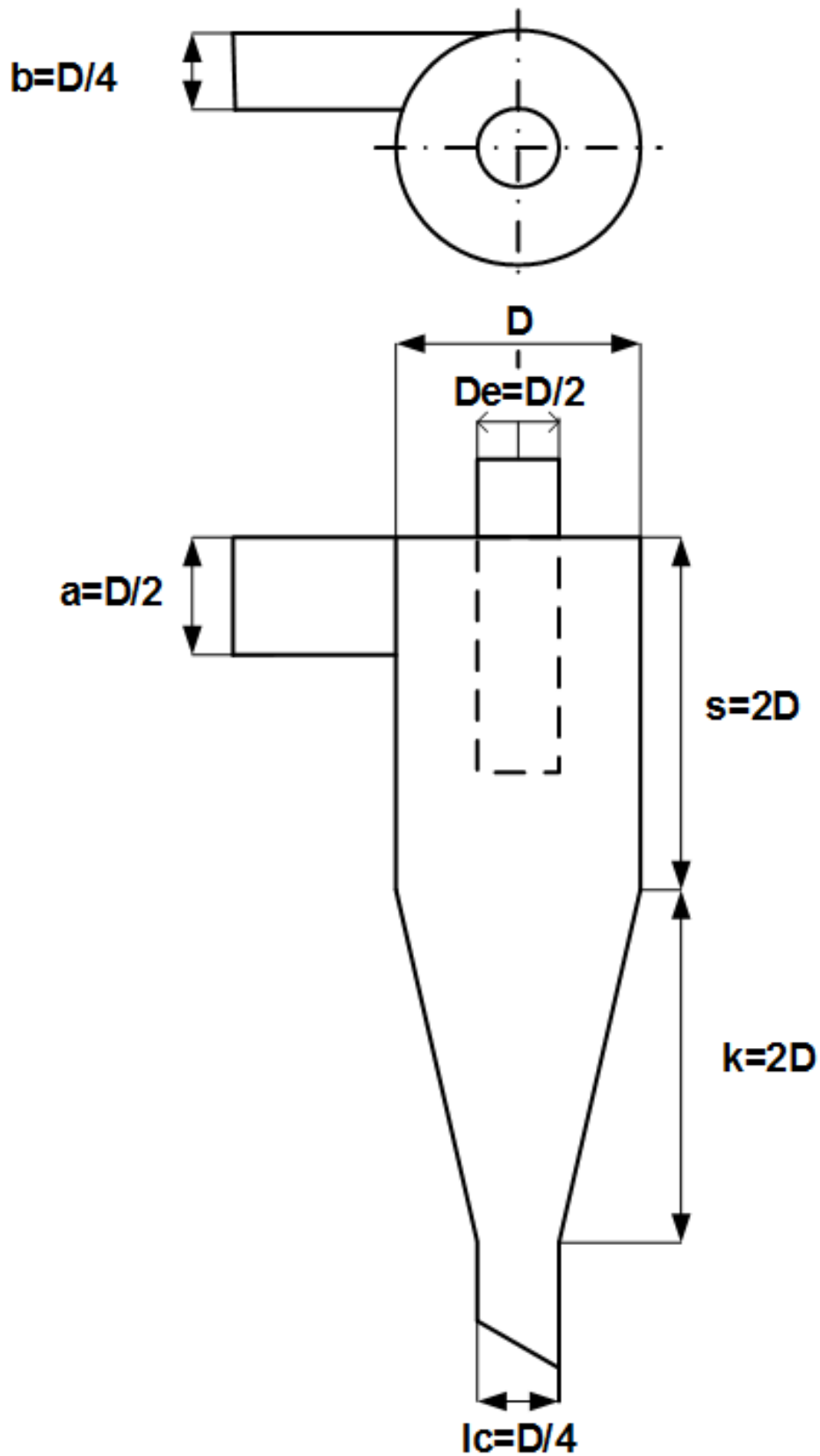
ahol:

d_{50} : 50% -os hatékonysággal leválasztott szemcsék mérete

w_b : a ciklonba lepő gázsebessége, m/s

N : pördületek száma, amit a gáz megtesz a készülékben, db

ρ_s : porrészecskék sűrűsége, g/cm³



21. ábra Porleválasztás ciklonban és szabványos méretezésű porleválasztó ciklon mérete

2. A ciklonban vezetett tisztítandó gázáram, $Q \text{ m}^3/\text{s}$, az alábbi összefüggéssel számítható ki:

$$Q = F \cdot w_b$$

$$w_b = \frac{Q}{F} = \frac{7}{0.5} = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3. A ciklonok működését elméletileg vizsgálva feltételezzük, hogy a részecskék forgómozgásának sebessége egyenlő a belépési sebességgel. A valóságban a légáram sebessége és ennek következtében a részecskék sebessége is csökken. Tételezzük fel, hogy a sebességcsökkenés 1.4-es. Ebben az esetben a gáz kerületi sebessége és a részecskék sebessége a működő ciklonban

$$w_b = 1.4 = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4. A gáz által leírt pördületek/fordulatok száma a ciklon méretei alapján becsülhető meg, mivel az az örvény egy fordulatnyi magasságától és a ciklon magasságától függ.

$$N \cong \frac{1}{a} \left[s + \frac{k}{2} \right] = \frac{1}{1} \left[4 + \frac{4}{2} \right] = 6 \text{ db}$$

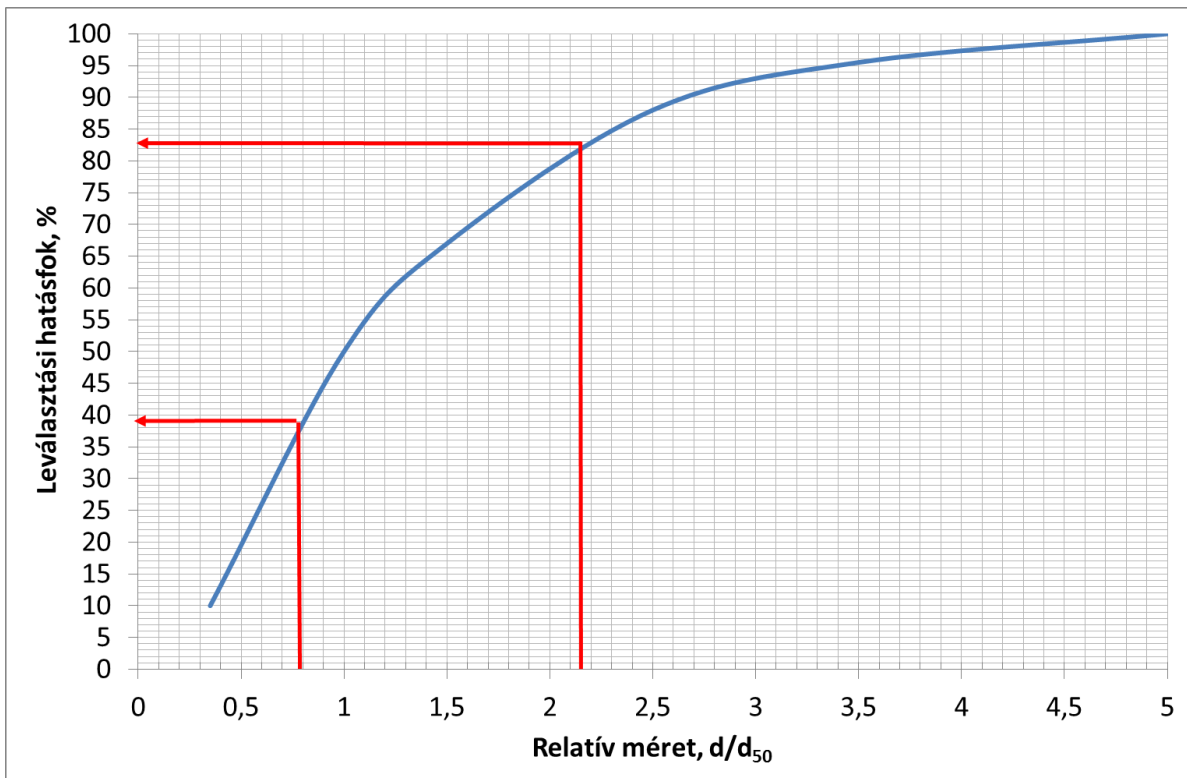
5. A méret az összefüggés révén számítható a hatékonyságot 0.5 értékűnek feltételezve, és d_{p-re} megoldva, amely most d_{50} :

$$d_{50} = \sqrt{\frac{9b\eta}{2\pi N w_b p_s}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 0.5 \cdot 2.1 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 3.14 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 1500}} = 12.9 \mu\text{m}$$

A relatív méret:

$$\frac{d}{d_{50}} = \frac{10}{12.9} = 0.775$$

A 10 μm méretű porrészecskék leválasztási hatékonysága a görbe alapján (22. ábra) 39 % értékűnek adódik.



22. ábra Leválasztási hatásfok a relatív méret függvényében

b) Megoldás

Az adott ciklon átmérője, D , alapján lehet számolni többi ciklon paramétereit (20. ábra):

Hengeres rész: $s = 2D = 2 \cdot 0.24 = 0.48 \text{ m}$

Kúpos rész: $k = 2D = 2 \cdot 0.24 = 0.48 \text{ m}$

Belépő csónk magassága: $a = D/2 = 0.24/2 = 0.12 \text{ m}$

Belépő csónk szélessége: $b = D/4 = 0.24/4 = 0.06 \text{ m}$

1. A bevezető cső keresztmetszete:

$$F = b \cdot a = 0.06 \cdot 0.12 = 0.0072 \text{ m}^2$$

2. 64 db ciklonból álló multiciklon rendszerben a ciklonba bevezetett tisztítandó gázáram, $Q \text{ m}^3/\text{s}$, az alábbi összefüggéssel számolható ki és figyelembe véve a sebességcsökkenés 1.4-es értékét:

$$Q = F \cdot w_b$$
$$w_b = \frac{Q}{F \cdot 64db} = \frac{7}{0.0072 \cdot 64db \cdot 1.4} = 10.85 \frac{m}{s}$$

3. A gáz által leírt körfordulatok száma:

$$N \cong \frac{1}{a} \left[s + \frac{k}{2} \right] = \frac{1}{0.12} \left[0.48 + \frac{0.48}{2} \right] = 6db$$

A méret értéke az összefüggés alapján számítható a hatékonyságot 0.5-nek feltételezve és d_p -re megoldva, amely most d_{50} :

$$d_{50} = \sqrt{\frac{9W\eta}{2\pi N w_b p_p}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 0.06 \cdot 2.1 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 3.14 \cdot 6 \cdot 10.85 \cdot 1500}} = 4.7 \mu m$$

A relatív méret:

$$\frac{d}{d_{50}} = \frac{10}{4.7} = 2.13\%$$

A $10 \mu m$ méretű porrészecskék leválasztási hatékonysága a görbe alapján (21. ábra) 83 % értékűnek adódik.

3.1.2 Porleválasztás szűréssel

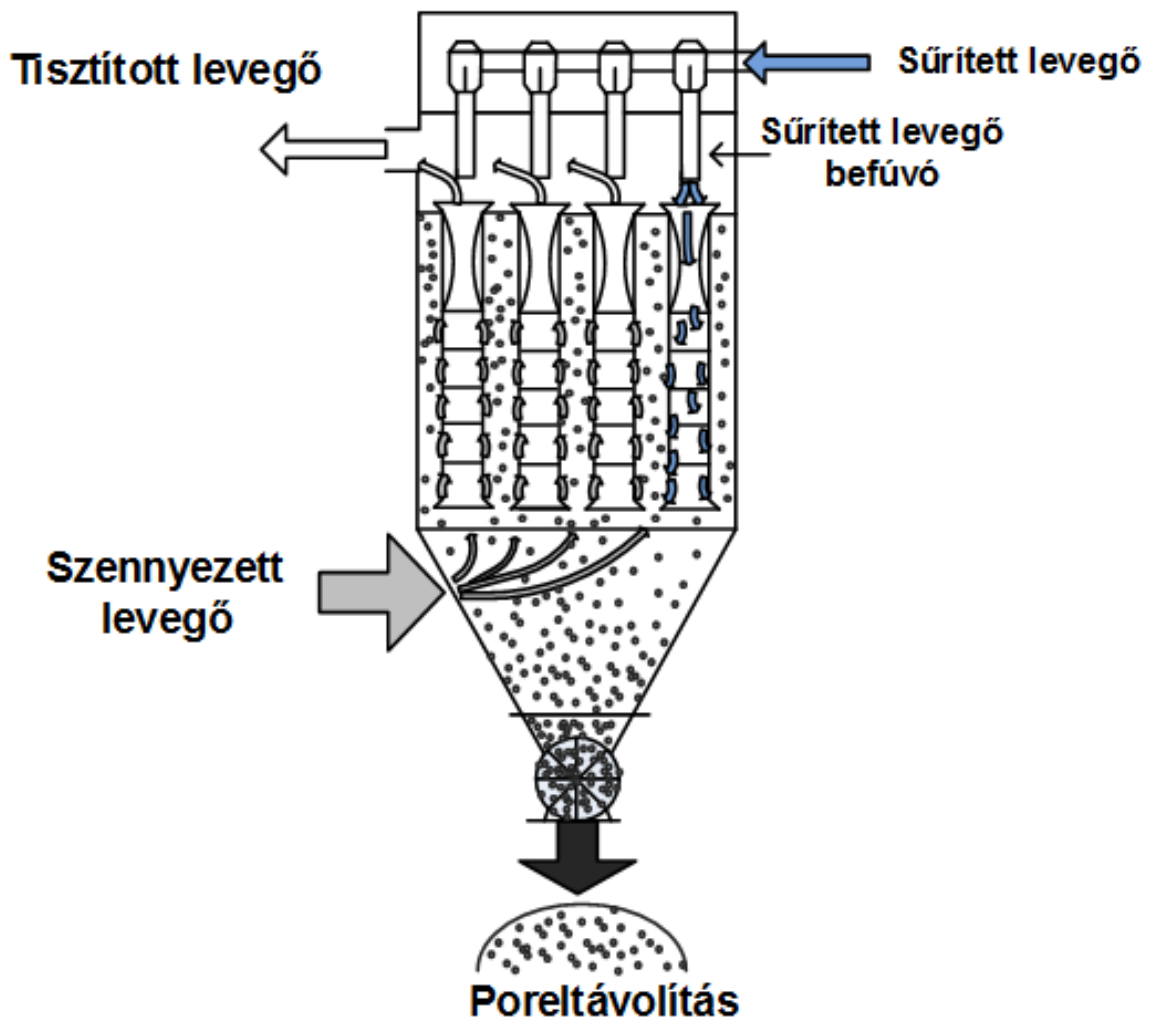
A szűrési folyamatban a portartalmú gázt porózus szűrőrétegen vezetjük keresztül, ekkor a porszemcsék valamilyen szűrőhatás eredményeképpen a porózus anyagban visszamaradnak. A szűrőréteget szövetek, rostos- és szemcsés anyagok képezhetik. A szűrőközeg kialakítási formája szerint tömlős-, táskás-, szemcseágyas-, rostágyas-, valamint gyertyaszűrőkről beszélhetünk. Egy porrészecske leválasztásakor a következő szűrési részfolyamatok játszódhatnak le: szűrőhatás, tehetetlenségi ütközés vagy impakt hatás, záró hatás, diffúziós hatás, elektrosztatikus hatás. Azokat részfolyamatok részletes magyarázata az szakmai irodalom tálalható (Barótfi, 2000).

Nagynyomású pulzáló levegősugárral tisztított szűrő vázlatát mutatja be a 23. ábra.

Az időegység alatt tisztítandó gáz térfogatának (V , m^3/h) és a szűrőközeg felületének (A_f , m^2) hányadosa a szűrő felületi terhelése (U_f), amelynek mértékegysége általában $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, azaz m/h .

$$U_f = V / A_f, (\text{m}/\text{h})$$

A felületi terhelés nagysága függ a leválasztásra kerülő por minőségétől, a szűrőszövettől valamint a poreltávolítás módjától.



23. ábra Pulse-jet szűrő vázlata

A szűrőszövetek a $0.5 \mu\text{m}$ átmérőjű szemcséket 99 %-nál jobb hatásfokkal választja le. Az portalanítási hatásfok gyakran eléri a 99.9 %-ot is. A szűrési folyamat nyomásvesztése általában 600-1500 Pa. A szűrőszövet terhelhetősége $50\text{-}150 \text{ m}^3$ tisztítandó gáz/ m^2 szűrőfelület-óra. A leválasztóból távozó gáz porkoncentrációja általában $20\text{-}30 \text{ mg}/\text{m}^3$, de $3\text{-}5 \text{ mg}/\text{m}^3$ kilépő porkoncentráció is elérhető. Nagyobb hőmérsékletű ($300\text{-}700^\circ\text{C}$) gázok portalanítására alkalmazzák a szemcsés rétegű szűrőket, amelyek

nyugvó- és bolygatott ágyas kivitelűek lehetnek. A nyugvóágyas szűrőben leválasztott port a homokrétegről ellenáramú levegő bevezetésével távolítják el.

1. **Példa.** Zsákos porszűrő kialakításához 0.3 m átmérőjű (D), 6 m hosszú (H) zsákok állnak rendelkezésre. A tervezett térfogatáram $10 \text{ m}^3/\text{s}$, a megengedett felületi terhelés $120 \text{ m}/\text{h}$. Határozza meg a szükséges zsákok számát!

Megoldás:

Az időegység alatt tisztítandó gáz térfogatának ($V=10, \text{ m}^3/\text{s}$) és a szűrőközeg felületének ($A_f, \text{ m}^2$) hányadosa a szűrő felületi terhelése ($U_f= 120 \text{ m}/\text{h}$), amelynek mértékegysége $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$, azaz m/h :

$$U_f = \frac{V}{A_f}$$

Ebből a szűrőközeg szükséges felülete:

$$A_f = \frac{V}{U_f} = \frac{10 \cdot 3600}{120} = 300 \text{ m}^2$$

Egy zsákos porszűrő felülete:

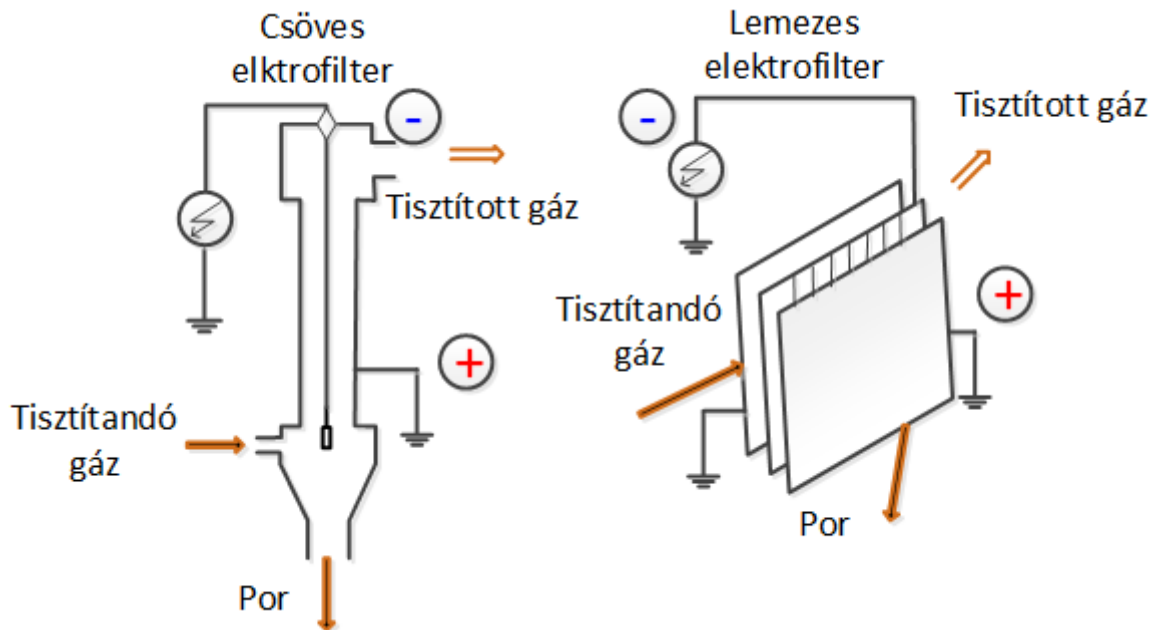
$$F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H = 2 \cdot 3.14 \cdot 0.15 \cdot 6 = 5.65 \text{ m}^2$$

Így:

$$\frac{A_f}{F} = \frac{300}{5.65} = 53.1 \approx 54 \text{ db zsák kell}$$

Elektrosztatikus porleválasztás

A 24. ábra rajzán bemutatott elektrosztatikus porleválasztó működésének elve az, hogy a gázban lebegő, elektromos töltésű porrészecskék az ellentétes pólusú felület felé haladnak és ott leválasztódnak.



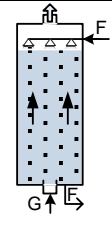
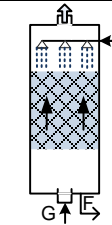

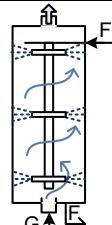
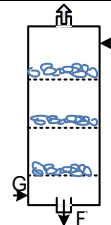
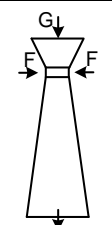
24. ábra Az elektrosztatikus porleválasztó elvi vázlata (Kovács, 2003).

Az elektrosztatikus porleválasztó igen kis szemcseméretű, szilárd és cseppfolyós halmazállapotú részecskék leválasztására is képes, mivel az alkalmazott fizikai elv nem állít korlátokat a leválasztandó részecskék méretének. A gyakorlatban használt berendezések ellenállása kicsi, 10-60 Pa. Széles hőmérséklet-intervallumban működtethetők (gyakorlatilag 450°C-ig). Forgó alkatrészt nem tartalmaznak, karbantartásuk olcsó, üzemeltetési költségük kicsi, fajlagos energia felhasználásuk 0.1–1 kWh/1000 Nm³ tisztítandó gáz. Az elektrosztatikus porleválasztók beruházási költsége nagy és helyigénye is jelentős. A berendezéssel elérhető leválasztási hatások 98–99.9 %, és előnye még a készüléknek, hogy a 0.1 µm-es szemcsék leválasztására is alkalmas.

1.2. Nedves porleválasztás

A nedves porleválasztás legnagyobb előnye, hogy megfelelően megválasztott mosófolyadékkal a szilárd és gázalakú szennyező komponensek eltávolítása, a porleválasztás és az abszorpció egy lépésben megvalósítható. Tűz- és robbanásveszélyes poroknál, illetve amikor a hordozó gáz tűz- és robbanásveszélyes, kizárólagosan a nedves porleválasztás alkalmazható. A nedves leválasztó berendezés beruházási költsége és helyigénye kisebb, mint az ugyanolyan leválasztási hatásokkal rendelkező száraz porleválasztóé. A nedves leválasztó berendezés hátránya, hogy a levegő szennyező komponensei a gáztisztítás során a folyadék fázisba kerülnek. A folyadék további tisztításáról ezért gondoskodni kell. További hátránya, hogy a nedves gáztisztító készülékek üzemeltetési költsége nagyobb, mint az ugyanazon hatásfokú porleválasztást biztosító száraz leválasztóké, és télen a szabadba telepített készülék lefagyhat.

A gyakorlatban alkalmazott nedves porleválasztók főbb típusait az 25. ábra mutatja be. Az ábrán az egyes leválasztó típusok alapvető működési paraméterei is leolvashatók. A határszemcse méret azt a legkisebb szemcseméretet jelenti μm -ben kifejezve, amelyet az adott leválasztó készülék még 50 %-os leválasztási hatásfokkal leválaszt.

Típus→	Mosótornyok		Dinamikus v.örvénym osók	Rotációs mosók	Tányéros oszlopok	Venturi- mosók
	Üres permeteze tt	Töltetes				
↓Jellemzők						
Határszemcseméret , μm	2-4	1-4	0.6-0.9	0.8-1	0.3-0.5	<0.1-0.3
Nyomásveszteség, Pa	150-200	200-300	1500-3000	200-400	400-1000	3000- 20000
Víz-levegő arány, dm^3/m^3	4-5	2-5	-	0.8-3.5	0.8-1.5	0.5-5
Energia felhasználás $\text{kWh}/1000\text{m}^3$	1-3	0.2-1.5	1-2	2-6	0.5-1.5	1.5-5
$\epsilon_f, d = 5\mu\text{m}$	80	90	93	90	98	>99
Lineáris sebesség, m/s	1-3	1-2	8-20	2-3	0.7-3.5	50-150

25. ábra Nedves porleválasztó berendezések (Kovács, 2003).

A nyomásveszteség a berendezés gázáramlással szembeni ellenállására ad felvilágosítást, amely kapcsolatban van a porleválasztás megvalósítására befektetett energiával. Az ábrán nyomon követhető, hogy a legjobb leválasztási hatásfokú Venturi-mosó nyomásvesztesége a legnagyobb, vagyis a jobb leválasztás elérése nagyobb energia befektetést igényel!

A víz /levegő (folyadék/gáz) arány (dm^3 folyadék/ m^3 tisztítandó gáz) arra ad felvilágosítást, hogy a folyamat végén milyen mennyiségű folyadékot kell majd további kezelésnek alávetni. A kedvező eset az, ha minél jobb leválasztási hatásfokot minél kisebb folyadék felhasználással érünk el. A táblázat utolsó előtti sora az $5\mu\text{m}$ -es szemcseméretű porok leválasztási hatásfokát foglalja össze az egyes porleválasztó típusokra.

A porleválasztókra vonatkozó legfontosabb adatokat az alábbi táblázatban foglaltuk össze:

Leválasztó	Leválasztáskor ható erő	Működési Terület	Beruházási költség	Üzemeltetési költség	ϵ_0	$\epsilon_{0-5\mu m}$
Ülepítők	Nehézségi	$d \geq 100\mu m$	közepes	Kicsi	67	-
Ciklonok	Centrifugális	$d \geq 5\mu m$	kicsi	Középnagy	81	63
Nedves mosók	Tehetetlenségi Diffúziós Elektromos	$d \geq 0,1\mu m$ $d \leq 5\mu m$ $d=0$ -tól	középnagy	Nagy	98	96
Szűrők	Rácshatás Diffúzió Tehetetlenségi Elektromos	$d \geq 0,1\mu m$ $d \leq 1\mu m$ $d \geq 1\mu m$ minden méret	nagy	Nagy	99,9	99,9
Elektrofilte-rek	Elektromos	$d \geq 0,01$	nagyon nagy	Kicsi	99	92

3.2 Gázhalmazállapotú szennyezők

3.2.1 Szennyező anyag leválasztása

Abszorpció

A gáz halmazállapotú szennyező anyagok eltávolításának egyik módja az abszorpció, amely a gázok és gőzök megkötődését (elnyelődését) jelenti folyadékban. Megkülönböztetünk fizikai és kémiai abszorpciót. Fizikai abszorpciókor az elnyeletett komponens nem lép kémiai reakcióba az abszorbenssel, míg kémiai abszorpciókor (kemoszorpciókor) az elnyelt komponens az abszorbenssel kémiai vegyületet képez. A fizikai abszorpció és a reverzibilis reakcióval kísért kemoszorpció megfordítható. Az abszorpcióval ellentétes folyamat a deszorpció.

Az abszorpció és deszorpció összekapcsolása lehetővé teszi az abszorbens többszöri felhasználását, és az abszorbeáltatott komponens kinyerését tiszta anyag formájában. A jó hatásfokú folyamatnak alapvető feltétele a megfelelő oldószer alkalmazása. Az abszorpció oldószernek nagymennyiségű

anyagot kell szelektíven oldania, ezért alkalmazhatóságának feltétele a jó regenerálhatóság és olcsóság.

A gáz szennyező komponensének koncentrációja (parciális nyomása) és a folyadékban elnyelt mennyisége között a Henry-törvény teremt kapcsolatot. Az oldott gáz parciális nyomása (p_a) arányos a komponens móltörtjével (x_a) –koncentrációjával– a folyadék fázisban, arányossági tényező a Henry-állandó, (H).

$$p_a = Hx_a$$

Ha a rendszer nyomása P, az eltávolítani kívánt komponens móltörtje a gázfázisban pedig y_a , akkor az abszorbeálható gáz parciális nyomása (p_a) Dalton törvénye alapján:

$$p_a = Py_a$$

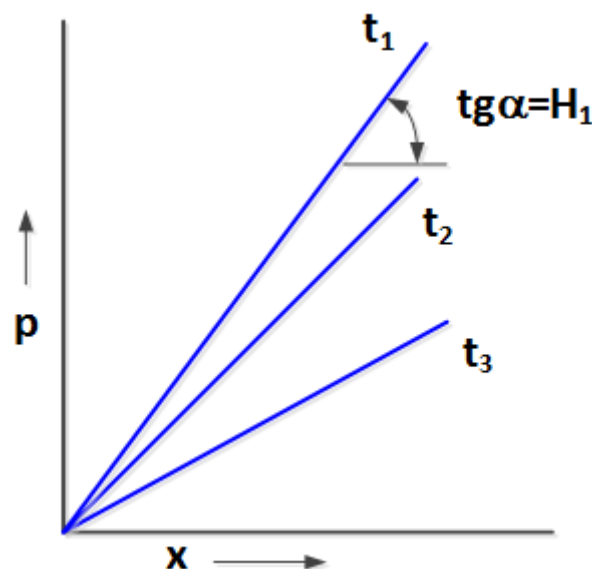
p_a értékét az előző egyenletbe helyettesítve:

$$y_a = mx_a$$

ahol:

$m = H/P$ a megoszlási vagy fázisegyensúlyi tényező.

Az egyenlet azt fejezi ki, hogy az elnyeletendő komponens koncentrációja a gázelegyből és a vele egyensúlyban lévő folyadék koncentrációja között lineáris kapcsolat van. Az m értéke a rendszer hőmérsékletétől és nyomásától függ, a nyomás növelésével, valamint a hőmérséklet csökkentésével csökken. A gáz oldódása a folyadékban tehát nő a nyomás növelésével és a hőmérséklet csökkentésével (26. ábra)



26. ábra A gáz oldódása a folyadékban különböző hőmérsékleteken
($t_1 > t_2 > t_3$ és $H_1 > H_2 > H_3$) (Kovács, 2003).

Ha a folyadékkal többkomponensű gázelegy van egyensúlyban, a Henry-törvény minden komponensre külön-külön érvényes. A törvény csak olyan gázokra alkalmazható, amelyek kritikus hőmérséklete az abszorbens hőmérsékleténél nagyobb, és helyes eredményt csak ideális oldatokra ad. Megfelelő pontossággal használható nagyhígítású reális oldatokra, amelyek tulajdonságai közel azonosak az ideális oldatokéval.

Jól oldódó gázokra nagy koncentrációk esetén a Henry-törvény nem érvényes, ekkor az egyensúlyi vonal nem egyenes, hanem görbe.

Az elnyeletési folyamat abszorbens szükséglete az abszorpció tömegmérlegéből számítható ki:

$$G \cdot (Y_{be} - Y_{ki}) = L \cdot (X_{ki} - X_{be})$$

ahol:

G: a gáz tömegárama, kmol/s,

L: az abszorbens tömegárama, kmol/s,

Y_{be} és Y_{ki} : az abszorbeálendő komponens kezdeti és végső koncentrációja a gázelegyben, kmol/kmol inert gáz,

X_{be} és X_{ki} : az abszorbeálódó komponens kezdeti és végső koncentrációja az abszorbensben, kmol/kmol abszorbens.

A minimális abszorbens szükséglet:

$$l_{\min} = \left(\frac{L}{G} \right)_{\min} = \frac{Y_{be} - Y_{ki}}{X_{ki}^* - X_{be}}$$

ahol:

X_{ki}^* : a belépő gázárammal egyensúlyban lévő komponens koncentrációja a folyadékban.

Az abszorpció folyamat elemzéséből levezethető, hogy a környezetvédelmi technikában alkalmazott abszorbereknek a következő műszaki követelményeket kell kielégíteniük:

- ✓ a folyadék nagy mennyiségű szennyező anyagot adszorbeáljon,
- ✓ a lehető legnagyobb legyen az érintkezési fázisfelület,
- ✓ az adszorpciós folyamat számára kedvezőek legyenek a hőmérsékleti és nyomásviszonyok,
- ✓ az adszorpciós folyadék lehetőleg kis viszkozitású legyen.

Az adszorpció megvalósítására mindazon készülékek alkalmasak, amelyeket a nedves porleválasztás is. Mindkét folyamatban valamilyen komponens átadása játszódik le a két fázis határfelületén, amely nagy érintkezési fázisfelületet igényel.

Porleválasztáskor az eltömődés veszélye miatt a töltelékes adszorbereket csak kevésbé javasolják, de az adszorpciós folyamatokra ezek a berendezések igen széles körben elterjedtek.

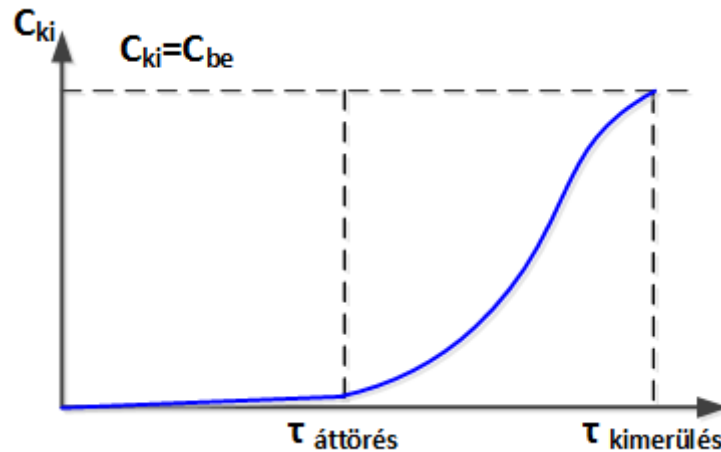
A töltelékes tornyokban igen sokféle tölteléktestet használnak, amelyeket rendezetlenül vagy rendezetten helyeznek el. A ma használt különböző töltetek (Raschig-gyűrűt, HY-PAK töltet, Intalox-nyereg, Berl-nyereg, Flexiring töltet, Pall-gyűrű, stb.) kiválasztásakor legfontosabb követelmény a nagy töltetfelület, a jó nedvesíthetőség, az egyenletes folyadékelosztás, a kis hidraulikus ellenállás, a jó mechanikai szilárdság, a hosszú élettartam, stb

Adszorpció

Az adszorpció gáz, gőz, vagy folyadék állapotú molekulák, atomok feldúsulása, koncentrálódása két fázis közötti határfelületen. A két fázis lehet: folyadék-folyadék, folyadék-szilárd, gáz-szilárd, és gáz-folyadék. Az adszorbeáló fázis az adszorbens, az adszorbeálódó fázist pedig adszorbátumnak nevezzük. Az adszorpciós gáztisztítás során valamely gázramból/technológiai véggázból a légszennyező komponenseket szilárd fázisú adszorbens felületén megkötik, így akadályozva meg azok a környezetbe jutását.

Az adszorpció hőfelszabadulással járó folyamat. Azt a hőmennyiséget, amely egy mólnyi anyag adszorbeált állapotba jutásakor felszabadul az adszorpció *moláris entalpiájának* nevezzük. Ez a hőmennyiség megközelítően az adszorbeált gáz vagy gőz kondenzációs hőjével egyenlő.

Az *áttörés* jelensége az adszorbens oldószer-gőzzel történő telítődése után következik be, amikor az adszorbens már további oldószer-mennyiséget nem képes megkötni, ekkor következik be a kimerülési állapot. Az adszorpció kezdetétől az oldószer-gőznek az adszorbens töltet végén kimutatható koncentrációban való megjelenéséig eltelt idő az *áttörési idő* (27. ábra).



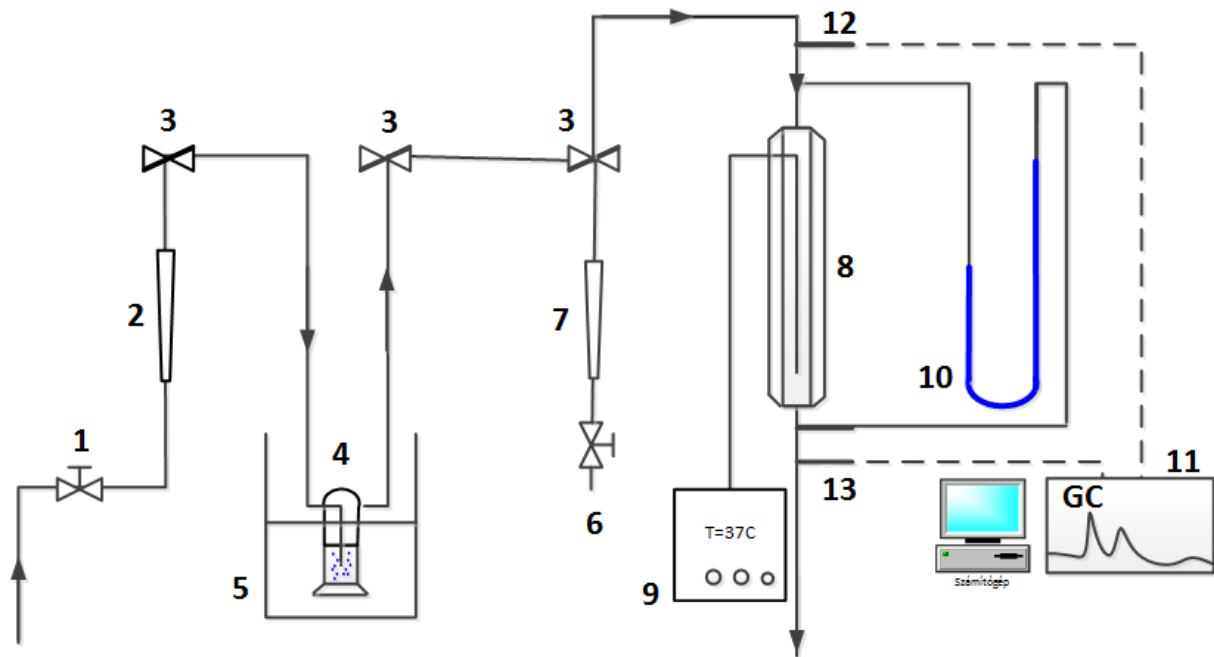
27. ábra Áttörési görbe

Számítási gyakorlat: Adszorpciós módszer alkalmazása oldószergőzők eltávolításához.

Az alábbiakban vizsgáljuk meg az acetont, mint VOC komponens, megkötődését alumínium-oxid adszorbensen és az adszorpciót kísérő jelenségeket (adszorpciós hő felszabadulása, áttörési pont/idő).

A számítási gyakorlat és a berendezés leírása. Az adszorpciós mérési berendezés egy 28 mm átmérőjű, kvarcüvegből készült állóágyas adszorberből, valamint a hozzá tartozó kiegészítő berendezésekből áll. A készülék rajzát az 28. ábra mutatja.

Az adszorberbe belépő levegőt a laboratórium sűrített levegő hálózatáról vezetjük a rendszerbe. A levegő térfogatáramát nyomáscsökkentő pneumatikus tápegység (1) után elhelyezett rotaméter (2) segítségével mérjük. A levegőkompresszorból a hálózati levegőbe került kenőanyag gőzöket aktív szén szűrővel távolítjuk el. Az ismert mennyiségű, kis térfogatáramú levegőt ($Q=60 \text{ dm}^3/\text{h}$) ezután gőztelítő-palackba (4) vezetjük, ahol nagy felületen érintkezve valamely szerves oldószerezrel (acetont); annak gőzeivel telítődik. A gőztelítő-palack temperálását MK 70 típusú típusú kriosztáttal (5) végezzük. (Amennyiben az oldószer gőztenziója lehetővé teszi a kb. $0 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű temperálást akkor azt jeges vízzel is elvégezhetjük). A rendszerbe belépő levegő fő térfogatáramát nyomáscsökkentő pneumatikus tápegység (6) után elhelyezett rotaméter (7) segítségével mérjük ($Q=240 \text{ dm}^3/\text{h}$). A gőztelítőben oldószergőzzel telítődött levegő és a fő levegőáram együttesen felülről lép az állóágyas adszorberbe (8). Az anyagátadási zóna vizsgálata céljából az adszorber hossz tengelyében termoelem (9) van elhelyezve. Az adszorberből távozó gáz elszívófülkén keresztül távozik a szabadba. Az adszorbens-oszlop be- és kilépő végéhez csatlakoztatott manométer (10) segítségével az adszorbens réteg ellenállása mérhető. Az áttörés észlelésére lángionizációs detektorral felszerelt gázkromatográfot (11) használunk, melybe a gázt az adszorbens-oszlop be- (12) és kilépő (13) végéhez csatlakoztatott mintavevő csomópontok alternatív használatával membránszivattyú segítségével vezetjük. Az adszorpciós oszlop telítődésekor a be- és kilépő gázelegyenben az oldószer gázkromatográfias csúcsmagassága megegyezik. Telítődés után az adszorbens tömege kiszűrés után lemérhető.



28. ábra A mérési berendezés vázlata

1,6-nyomáscsökkentő pneumatikus tápegység; 2,7- rotaméter; 3-szelep; 4-gáztelítő-edény; 5-kriosztát; 8-állóágyas adszorber; 9-termoelem; 10-manométer; 11-gázkromatográf; 12-belépő és 13-kilépő gáz mintavételi pont.

A számítási gyakorlat feladata:

- 1) Maximális aceton koncentráció kiszámítása a véggázban az adszorpciós tisztítás előtt, C_{be} ;
- 2) az adszorbens ágy zónánkénti telítődésének bemutatása a hőmérséklet változásának az alapján.
- 3) aceton koncentrációjának kiszámítása a véggázban az adszorpciós tisztítás után, C_{ki} ;
- 4) a megkötődött aceton mennyiségének meghatározása és az áttörési pont kiszámítása;
- 5) alumínium oxid (Al_2O_3) adszorbens kapacitásának meghatározása;
- 6) a számítási eredmények értékelése;

Számítási adatok:

Al_2O_3 (adszorbens) tömege mérés előtt: $m_1 = 279$ g

Al_2O_3 (adszorbens) tömege mérés után: $m_2 = 292$ g

A levegő térfogatárama: $Q_{\text{levegő}} = 240$ dm³/h

Oldószergőzzel telítődött levegő térfogatárama: $Q_{\text{oldószergőz-levegő}} = 60$ dm³/h

Az aceton hőmérséklete: $T_{\text{aceton}} = 0^\circ\text{C}$

Léggöri hőmérséklet: $T = 21^\circ\text{C}$

Légköri nyomás: $P = 742.6 \text{ Hgmm}$

A nyomás változása az adszorber be- és kilépési pontja között = adszorbens ágy ellenállása:

$\Delta p = 29 \text{ H}_2\text{Omm}$

Számolás menete:

1) Az adszorpciós oszlopra lépő levegő oldószer-koncentrációja a következő összefüggéssel számítható ki (aceton koncentrációja a gőztelítő-palackban, kg aceton/ kg levegő):

$$C_{be} = \frac{p_g^\circ}{(P + \Delta p - p_g^\circ)} \cdot \frac{M_g}{M_{lev}} = \frac{67}{(742.6 + 29 - 67)} \cdot \frac{58.08}{28.96} = 0.198 \frac{\text{kg}_{aceton}}{\text{kg}_{levegő}}$$

ahol C : a száraz gázra vonatkoztatott oldószer-koncentráció, kg/kg

p_g° : az oldószer egyensúlyi gőznyomása a telítés hőmérsékletén, $T=0^\circ\text{C}$ (Pa vagy Hgmm),

P : az adszorbensről kilépő gáz nyomása (barometrikus nyomás), Pa vagy Hgmm,

Δp : az adszorbens ágy ellenállása, Pa vagy Hgmm,

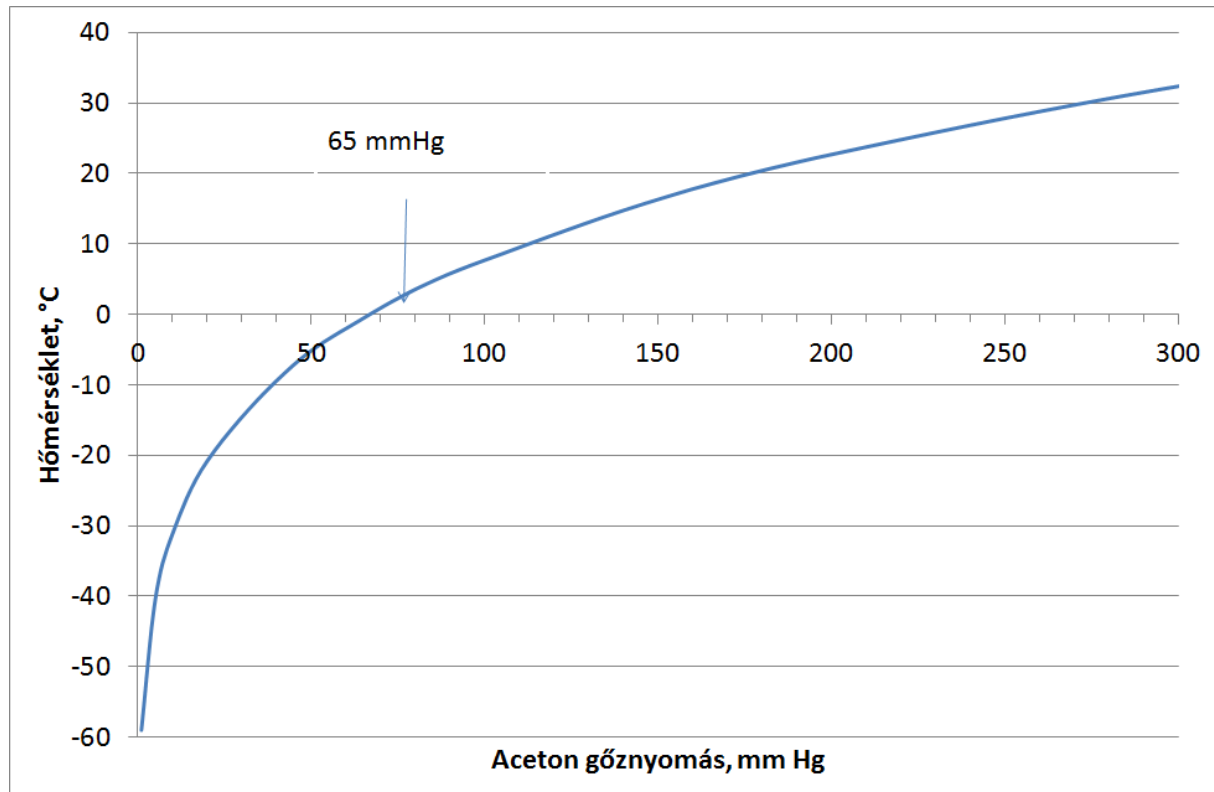
M_g : az oldószer (aceton CH_3COCH_3) móltömege, 58.09 kg/kmol,

M_{lev} : a levegő móltömege, 28.96 kg/kmol.

Az aceton - oldószer egyensúlyi gőznyomása a telítés hőmérsékletén, 0°C -on 67 Hgmm, amely az 15. táblázat (kézikönyv adatok) adatai, és az aceton gőznyomása a hőmérséklet függvényében a 29. ábraalapján megállapítható.

15. táblázat Aceton gőznyomása a hőmérséklet függvényében

Gőznyomás, Hgmm	1	5	10	20	40	60	100	200	400	760
Hőmérséklet, T, °C	-59	-40.5	-31.1	-20.8	-9.4	-2	7.7	22.7	39.5	56.5



29. ábra Az aceton gőznyomása a hőmérséklet függvényében

Az adszorbens ágy ellenállásának átszámítása Hgmm –re:

Hg sűrűség, $\rho=13,6 \text{ g/cm}^3$, H₂O sűrűség, $\rho=1\text{g/cm}^3$

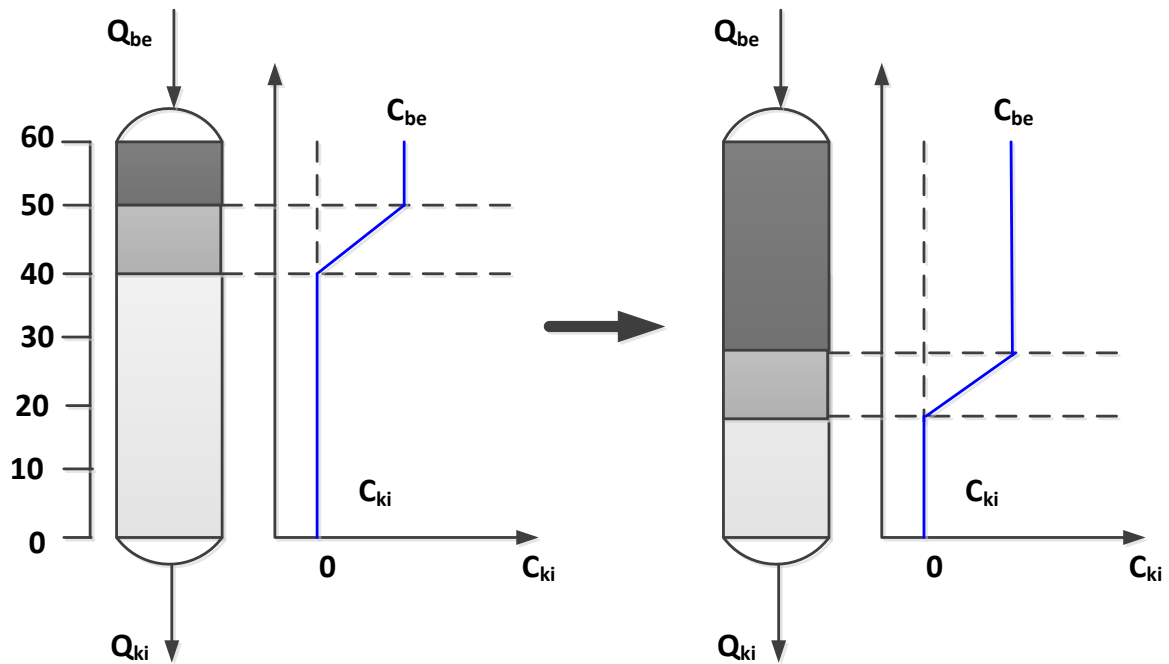
$$\Delta p = \frac{29 \text{ mmH}_2\text{O}}{13.6 \text{ mm Hg}} = 2.13 \text{ mmHg}$$

Az adszorbens-oszlopra belépő aceton koncentrációja, C_{be} , kg/kg:

$$C_{be} = \frac{Q_{oldószerszervegő} \cdot C_{ki}}{Q_{oldószerszervegő} + Q_{levegő}} = \frac{60 \cdot 0.198}{60 + 240} = 0.040 \frac{\text{kg}_{aceton}}{\text{kg}_{levegő}}$$

A mérés során állóágyas adszorberet használtunk. Az állóágyas adszorber működése során az adszorpció időbeli lefutásának vizsgálata céljából az adszorbens ágyat ún. zónákra osztjuk. Az adszorbens zónánként telítődik. Először a legfelső zóna végzi a megkötést, majd miután ez telítődött, a következő zóna lép működésbe. Az adszorbens ágyat az adszorberben tehát három szakaszra oszthatjuk. A szakaszok helyzete és kiterjedése az időben változik (30. ábra). Az adszorbens ágy első tartományában már beállt az egyensúly, telítődött az adszorptívummal. Ez a szakasz tehát az adszorpció folyamatában a továbbiakban már nem vesz részt. A következő szakaszban megy végbe a tulajdonképpeni adszorpció, az adszorbens megköti az adszorbeálható komponenseket.

Az adszorpció szakasz magassága (a zónamagasság) függ az adszorpció sebességétől. Minél gyorsabban veszi fel az adszorbens az adszorptívumot, annál kisebb a zónamagasság. A betáplálástól legtávolabb lévő, harmadik szakasz még nem vett részt az adszorpcióban, aceton koncentrációja gyakorlatilag nulla. A fluidum mire ideér, adszorptívumtól mentes.



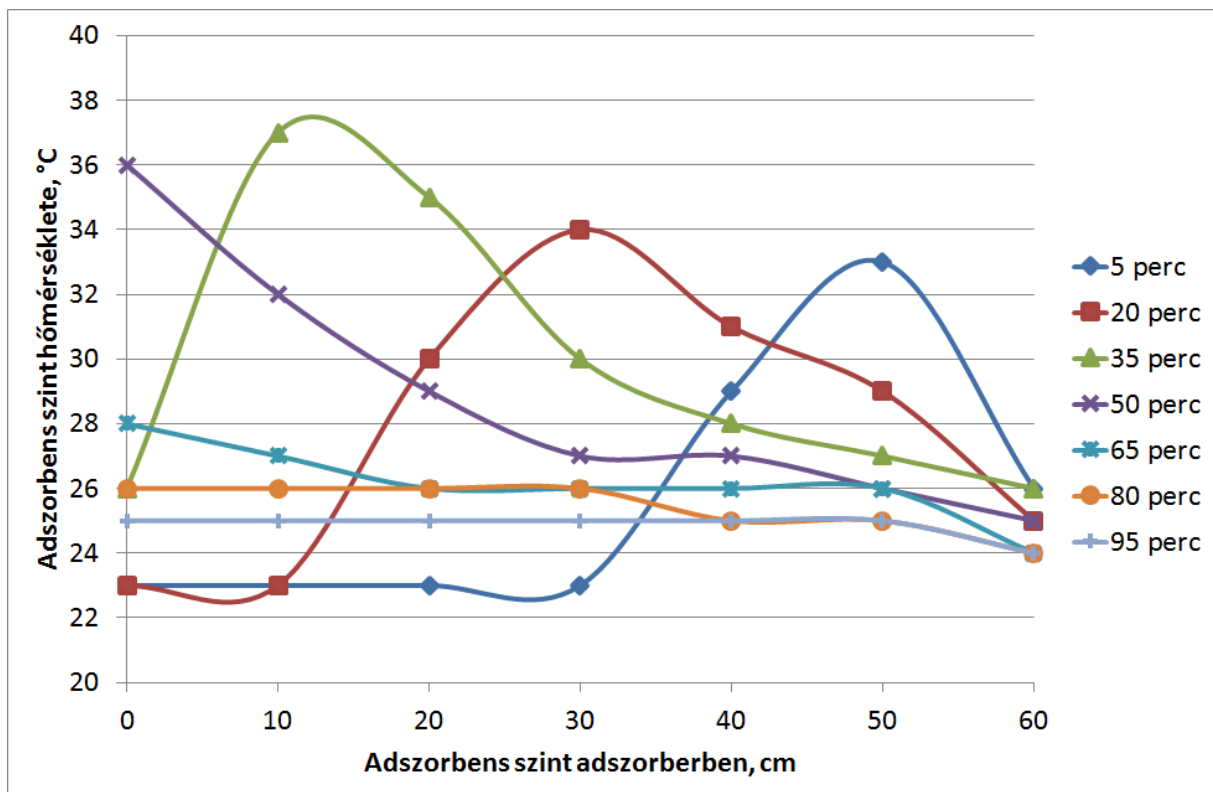
30. ábra Az anyagátadási zónák vizsgálata az adszorberben (az oszlop szakaszok szemléltetése)

2) Az adszorbens ágy zónánkénti telítődése a hőmérséklet változásával követhető. Az adszorberben lévő Al_2O_3 adszorbens hőmérséklet eloszlását az aceton szennyeződések eltávolítása során a 16. táblázat és 31. ábra foglalja össze. A hőmérséklet mérések 15 percnként történtek. Az adszorber hossza mentén a mérési pontok meg vannak határozva, 10 cm távolságban vannak egymástól (30. ábra).

16. táblázat Hőmérsékletelosztása az adszorber oszlopban

perc cm	5	20	35	50	65	80	95
60	26	25	26	25	24	24	24
50	33	29	27	26	26	25	25
40	29	31	28	27	26	25	25
30	23	34	30	27	26	26	25
20	23	30	35	29	26	26	25
10	23	23	37	32	27	26	25
0	23	23	26	36	28	26	25

A 31. ábra mutatja az adszorpciós zóna hőmérséklet-eloszlása az adszorber tengelyének a függvényében. A legmagasabb hőmérséklet mutatja az aktív adszorpciós zónát az adott mérési időnél. A hőmérséklet-eloszlás görbén jól végigkövethető, ahogy az adszorpciós oszlop folyamatosan telítődik. Ennek megfelelően, a hőmérsékleti maximum (aktív anyagátadási zóna) folyamatosan tolódik az az oszlop vége felé (60 cm-től 0 cm –ig), majd a teljes oszlop /adszorbens ágy telítődése után a hőmérséklet visszaáll közelítőleg a kiindulási értékre (szobahőmérsékletre).



31. ábra Hőmérséklet-eloszlás az adszorpciós oszlopban

3) Az aceton mért koncentrációját a 17. táblázat foglalja össze.

17. táblázat A gázkromatográfiás eredmények alapján számolt kilépő aceton koncentrációk

Idő, perc	GC csúcsmagasság, h, mm	C_{ki} , kg _{aceton} /kg _{levegő}	C_{ki}^* , mg _{aceton} /m ³ _{levegő}
<i>C_{kilépő} levegő minta:</i>			
0	0	0	0
6	0	0	0
11	0	0	0
16	0	0	0
22	0	0	0
27	0	0	0
32	0	0	0
37	0	0	0
42	0	0	0
47	14	0.00249	2991.1
53	64	0.01139	13673.4
58	117	0.02083	24996.7
63	149	0.02653	31833.4
68	169	0.03009	36106.3
73	189	0.03365	40379.2
78	203	0.03614	43370.3
83	209	0.03721	44652.2
88	215	0.03828	45934.0
92	225	0.04006	48070.5
<i>C_{belépő} levegő minta (utolsó mérés)</i>	225	0.04000	48000.0

* A levegő sűrűsége különböző hőmérsékleten :

0 °C-on (101 325 Pa nyomáson) $\rho = 1.2928 \text{ kg/m}^3$

10 °C-on 1.2471 kg/m^3

15 °C-on 1.2255 kg/m^3

20 °C-on 1.2045 kg/m^3

25 °C-on 1.1843 kg/m^3

30 °C-on 1.1648 kg/m^3

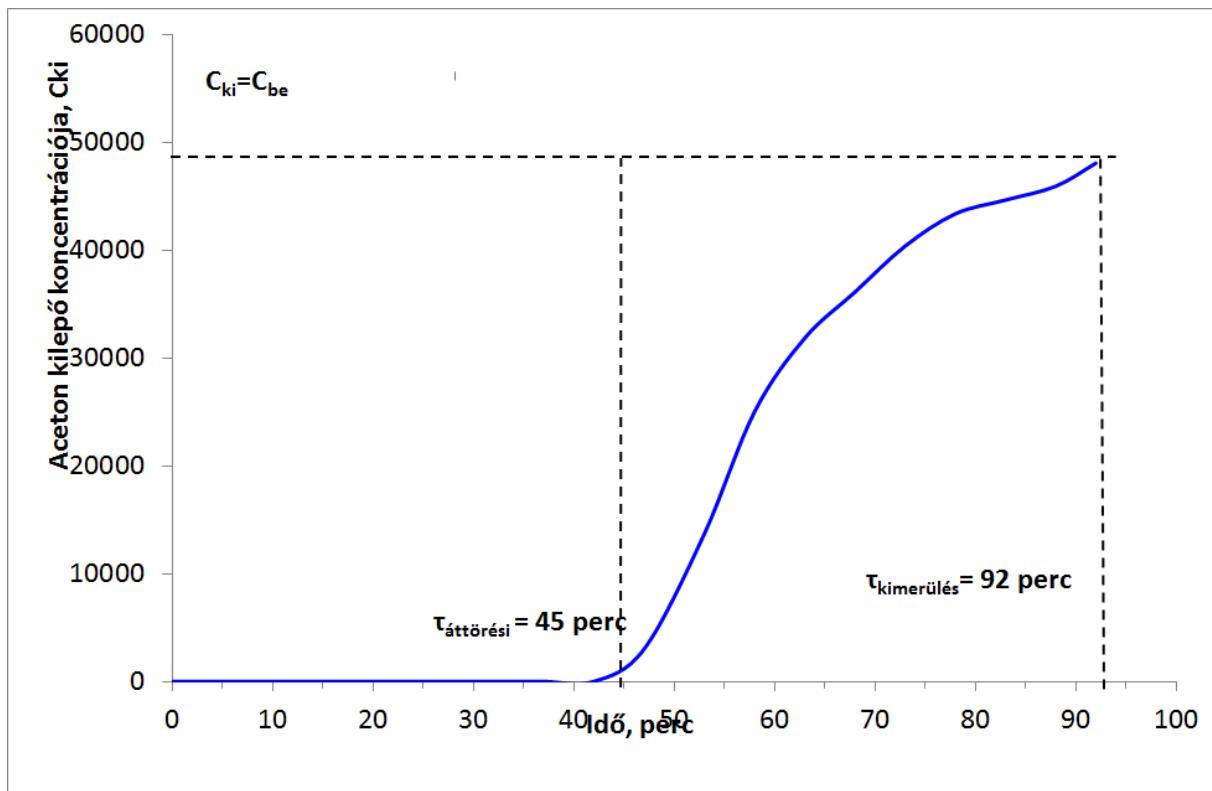
A számított belépő aceton koncentráció érték (C_{be}) egyenértékű az adszorber tetejéről (28. ábra 10 pont) vett mintákból meghatározott kromatográfiás csúcsmagassággal (h_{be} , mm). A kilépő koncentráció értékek (C_{ki}) arányosan számolhatók ki. Például: 47 percnél a GC aceton csúcsmagassága $h_{ki} = 14 \text{ mm}$, akkor a kilépő aceton koncentráció a kimenő levegőáramban:

$$C_{ki} = \frac{C_{be} \cdot h_{ki}}{h_{be}}$$

Meghatározzuk a kilépő koncentrációt kg/kg-ban, amelyből a száraz levegő adott hőmérsékleten tekintett sűrűsége alapján a kilépő koncentrációkat számolhatjuk át mg aceton/m³ levegő mértékegységre:

$$C_{ki} = 0.002493 \frac{kg_{aceton}}{kg_{levegő}} \cdot 1.20 \frac{kg}{m^3} = 0.002992 \cdot 1000000 \frac{mg_{aceton}}{m^3} = 2991.6 \frac{mg_{aceton}}{m^3}$$

4) Az eredmények alapján (17. táblázat) és az 32. ábra segítségével megállítható az adszorbens áttörési pontja (45 perc) és kimerülési (92 perc) pontja.



32. ábra Aceton koncentráció (mg aceton/m³ levegő) a kilépő levegőáramban az idő függvényében.

Az adszorberből kilépő gáz vagy folyadék koncentrációja mindaddig, míg az utolsó előtti zóna nem telítődik, kb. nulla (32. ábra). Amikor az utolsó zóna veszi át az „aktív” zóna szerepét, az aceton kilépési koncentráció elkezdi nőni (az eddig eltelt idő: τ_{áttörés}). Az utolsó zóna telítődése után a fluidum változatlan koncentrációval halad át, az adszorbens kimerültnek tekinthető (az eddig eltelt idő: τ_{kimerülés}). Az adszorpció műveletet az adszorptívum áttöréséig végezzük (32. ábra), amikor is az adszorbens többé már nem képes a megkívánt mennyiségű adszorptívum megkötésére (nő a kilépési koncentrációja). Az áttörési idő általában csökken, ha csökken az adszorbens réteg magassága, nő az adszorbens szemcsemérete, nagyobb a gáz áramlási sebessége az adszorbens ágyon keresztül, és nő a betáplált fluidum koncentrációja.

5) A megkötött oldószer mennyiségéből és a bemért adszorbens tömegéből az adszorpciós kapacitás kiszámítható, %:

$$X = \frac{m_{oldoszer}}{m_{adszorbens}} \cdot 100\% = \frac{13g}{279g} \cdot 100\% = 4.66\%$$

A megkötött oldószer mennyisége:

$$m_{aceton} = m_2 - m_1 = 292 - 279 = 13 \text{ g}$$

6) Az eredmények értékelése

Az adszorpció az oldószergőzök eltávolításához alkalmazott módszer. A munkahelyi levegőben megengedett aceton határérték (2420 mg/m^3) figyelembevételével, kb. 43 percig tudja az adszorber megfelelő minőseben tisztítani az aceton gőzzel szennyezett levegőt adott technológiai paraméterek mellett. Ezt követően a kilépő koncentráció rohamosan emelkedik az adszorbens ágy telítődés miatt és közelíti a betáplálási koncentráció értékét.

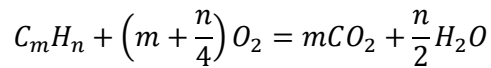
3.2.2 Szennyező anyag átalakítása

Termikus véggáztisztítás

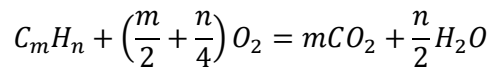
A termikus végáttisztítás fejeztében a hő hatására bekövetkező ártalmatlanítási technológiákat tárgyaljuk, amely történhet termikus égetéssel, katalitikus oxidációval és a többnyire katalizátor alkalmazásával lejátszódó redukcióval.

Égetés

A termikus égetést olyan sėrves anyagok, elsősorban szénhidrogének vagy bűzös anyagok ártalmatlanítására használják, amelyek visszanyerése nem gazdaságos, de ártalmasak lehetnek az egészségre, tűzveszélyesek lehetnek, vagy kellemetlen szagforrások komponenseiként szerepelhetnek. A tisztán szénből és hidrogénből álló vegyületek tökéletes égestéskor szén-dioxid és vízgőz keletkezik:



Oxigénhiányos égetéskor szén-monoxide képződik:

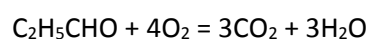


Katalitikus oxidáció

Éghető szennyezéseket tartalmazó véggáz tisztítására a termikus égetés mellet a katalitikus oxidációs eljárások is alkalmazhatók. A katalitikus eljárás is lényegében termikus bontás, amely katalizátor jelenlétében kisebb hőmérsékleten valósítható meg, mint a termikus égetés. Megfelelő katalizátor alkalmazásával a légszennyezők ártalmatlanításának 800-1200 °C-os égetési hőmérséklete 200-400°C-ra csökkenthető. A katalitikus oxidáció az a módszer, amely jelentős mennyiségű hő hozzáadása nélkül valósítja meg a kis koncentrációjú szennyező komponensek szén-dioxiddá és vízzé történő átalakítását. Például a N₂O szennyező komponens katalitikus eljárással csökkenthető/eltávolítható, ennek leírása az „Üvegházgáz kibocsátás csökkentés lehetőségei egyes technológiákban, alapvonalai, projektvonalai kibocsátás számítása” fejezetben található meg.

Biológiai véggáztisztítás

A véggázok biológiai tisztításakor a gázszenyezések lebontására mikroorganizmusokat alkalmaznak. Mivel a mikroorganizmusok élettevékenységéhez a víz nélkülözhetetlen, azok a biológiailag lebontható szennyezések eliminálhatók ezen a módon, amelyek a vízben oldódnak. A biológiai lebontás oxidációs folyamat, levegőt igényel. A szennyezések átalakítását végző mikroorganizmusok egyrészt saját testtömegük felépítésére, másrészt energiaforrásként használják fel a szerves szennyezéseket, miközben ideális esetben szén-dioxiddá és vízzé alakítják azokat.



propilaldehyd

Irodalom:

1. Barótfi István: Környezettechnika, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2000, p. 145-185.
2. Kovács Béla: Levegőtisztaság-védelem, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2003.

4 Mérőműszerek működésének fizikai-kémiai alapjai

Az immiszió mérés a klímakutatás legnehezebb, legbizonytalanabb területe. Ennek oka a mérési tartomány nagyon alacsony volta (ppb tartomány) és a mérendő komponensek koncentrációjának igen gyors változása (egy percen belül akár 1000%-os változás is lehet). A méréseket tovább nehezíti, hogy nagy méretű (és nagy energiaigényű) berendezésekkel kell terepi körülmények között mérni. Ez a két tényező általában erősen korlátozza is a mérés helyét, mivel a nagy energiaigényt csak elektromos hálózatról lehet biztosítani. Elméletileg meg lehet oldani generátor alkalmazását is, de a jelenleg elérhető szénhidrogén alapú generátorok nem alkalmazhatóak, mivel jelentősen megváltoztatnák a levegő szennyezettségét.

A méréseket rendszerint állandó jelleggel telepített mérőkonténerrel vagy mobil mérő laboratóriummal végezzük.

A levegőtisztaság-védelmi mérés során leggyakrabban mért komponensek:

- O_3
- CO
- SO_2
- NO/ NO_2 / NO_x
- Szálló por
- BTX

A mérés során alkalmazott analizátorok:

- A szálló por meghatározásához szűrőrendszereket alkalmaznak, amelyek gravimetrikus módon működnek (PI: Béta-sugár pormonitor)
- Az ózon meghatározásához ultraibolya fotometria elvén működő analizátorral mérik
- Szén-monoxid koncentrációját nem diszperz infravörös analizátorral mérik
- Kén-dioxid koncentrációját ultraibolya fluoreszcencia elvén működő analizátorral mérik
- Nitrogén-oxidok koncentrációját kemiluminencia elvén működő analizátorral mérik
- Benzol-Toluol-Xilol (BTX) koncentrációját infravörös analizátorral mérik.



33. ábra A Pannon Egyetem mobil immisziós mérőlaboratóriuma

4.1 Nitrogén-oxidok mérésének gyakorlata

A nitrogén-oxidok referencia mérési módszere a kemilumineszcencia. A mérés elve, hogy a nirtogén-oxid molekulákat ozon molekulákkal oxidálva gerjesztett állapotú nitrogén-oxid molekula keletkezik. E molekula alap állapotba történő visszatérésekor lumineszcens sugárzást bocsát ki, amit ezután

elektronszorzó-cső segítségével elektromos jellé alakítanak és mérik a jel erősségét. A jel nagysága arányos a mintában található nitrogén-oxid mennyiségével.

A nitrogén-dioxid mérése során először nitrogén-oxidá redukálják az NO₂ molekulákat, majd ezeket a fent leírt kemilumineszcencia útján mérik. A redukcióra jellemzően molibdén töltetű konvertert használnak.

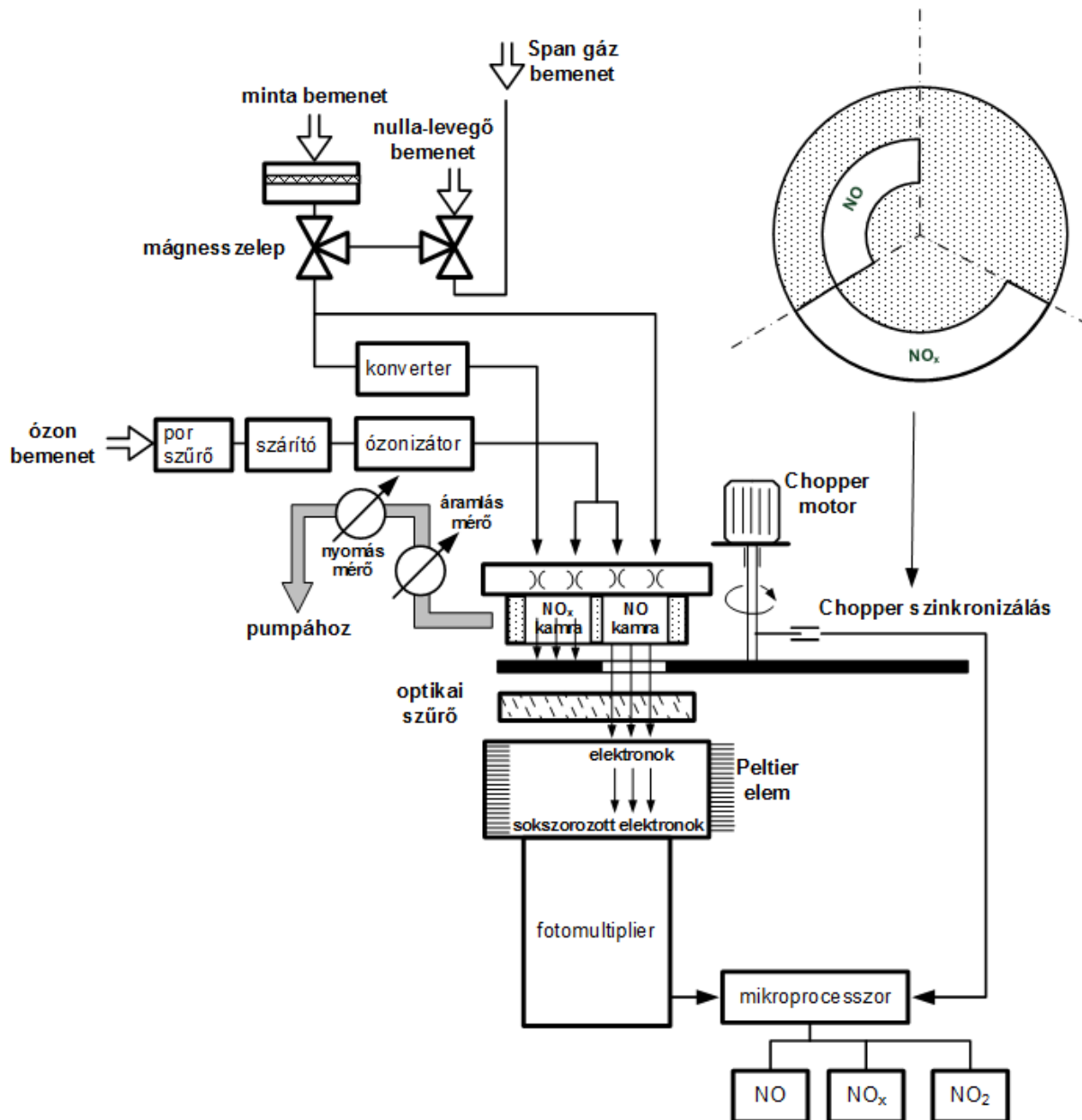
A nitrogén-oxid és a nitrogén-dioxid mérés referencia módszerét az MSZ ISO 7996 sz. "Környezeti levegő. A nitrogén-oxidok tömegkoncentrációinak meghatározása. Kemilumineszcenciás módszer" című szabványban találjuk meg.

4.1.1 Az Environnement AC-32M típusú készülék

A műszerben két reakció kamra alkalmazásával méri az NO-t és az NO_x-et. A mérendő levegő a konverteren keresztül az NO_x kamrába és az, NO kamrába kerül. A két reakciókamra ugyanahhoz az elektronszorzó csőhöz csatlakozik, amely előtt egy chopper kerék forog, amely felváltva kapcsolja az NO és NO_x kamrát. A kemilumineszcenciás reakcióhoz belső ozonizátor biztosítja az ózont.

Az NO/NO₂ tömegkoncentrációjának meghatározása, kemilumineszcenciás módszerrel történik.

Legalacsonyabb érzékelési határ:	0,4 ppb
Méréstartomány (programozható):	felhasználó által programozható 50,00 ppm-ig
Mértékegységek:	ppm/ppb vagy mg/m ³ (programozható)
Működési hőmérséklet:	+ 5 °C - + 40 °C



A mérés előtti kötelező pontosságellenőrzés lépései:

4.1.2 NO_x Pontosságellenőrzés

1. „K kalibrációs faktor” leolvasása (Main menu → Configuration → Offsets and units)
 - a. leírjuk a **K** értéket (ez lesz a **K(span)old**)
2. A kalibrátoron elindítjuk az ózon zéró gázt:
 - a. Main Menu → Gas Generation (enter)
 - b. A megfelelő csatorna kiválasztása: Gas generation → enter (channel 4: NO_x)

- c. $\text{NO}_x \rightarrow \text{Zero} \rightarrow \text{enter}$ (elkezdni számolni az időt)
 - d. A mérőberendezést átállítjuk zero mérési állapotba (Main menu/Cycle/Zref)
 - e. 10 perc után leolvassuk a **Z** (zéró) értékeket (ebből levonandó az offset)
3. A kalibrátoron elindítjuk az ózon span gázt:
- a. $\text{NO}_x \rightarrow \text{span} \rightarrow \text{enter}$: érték beállítása (nyilakkal) 90,78 ppb (**NO(out)**) és 99,0 (**NO₂(OUT)**) $\rightarrow \text{enter}$
 - b. A mérőberendezést átállítjuk span mérési állapotba (Main menu/Span)
 - c. Beállítjuk a fenti értékeket
 - d. Majd Cycle/Auto
 - e. 10 perc után leolvassuk az **O₃(read)** értéket (ebből levonandó az offset)
4. Új K faktor kiszámíttatása (Main menu/Span/Coefficient)

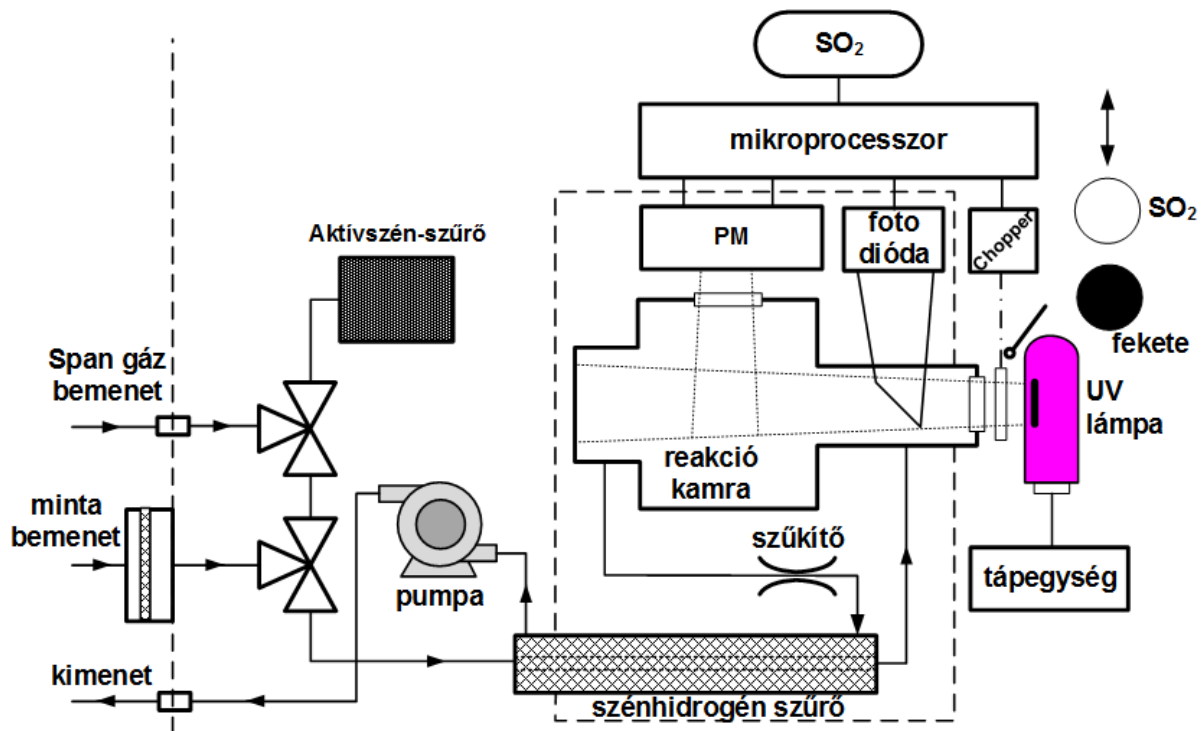
4.2 Kén-dioxid mérése

Mérésének módszere az UV fluoreszcencia.

A mérés alapja, hogy ha egy molekulát – jelen esetben a kén-dioxidot – UV fényvel gerjesztett állapotba hozzuk, akkor azok UV fotont bocsátanak ki a normál állapotba történő visszatérés során. A gerjesztésre használt és a kibocsátott foton hullámhossza különböző, a molekulára jellemző, így jól azonosítható. A visszaérkező UV fényt interferencia szűrő segítségével elkülönítik és fotoelektron-sokszorozó segítségével elektromos mérési jellé alakítják. Az elektromos jel intenzitása arányos a minta kén-dioxid mennyiségével.

A kéndioxid mérés referencia módszere az MSZ 21456-37 számú "A levegő gázszennyezőinek vizsgálata. A kén-dioxid tartalom meghatározása UV fluoreszcens módszerrel." című szabványban rögzített.

4.2.1 Az Environnement AF 22M típusú készülék



Legalacsonyabb érzékelési határ: 0,001 ppm (válaszidő 120 mp)

Méréstartomány (programozható): felhasználó által programozható 10,00 ppm-ig
Mértékegységek: ppm/ppb vagy mg/m3 (programozható)

Működési hőmérséklet: + 10 °C - + 35 °C

4.2.2 SO₂ pontosságellenőrzésének lépései

1. A készüléknek saját „belső nullája” van, (nem használjuk a kalibrátort).
2. A mérőműszeren leolvassuk az offset és a zero adjust értékét (*Main menu* → *Configuration* → *Offsets and units*)
3. *Cycles* → *zref* indításával állítható be a „0”.
 - a. 10 perc elteltével összehasonlítjuk az Offsets-el
 - b. Nagy eltérés esetén beállítjuk az új Offsets értéket (lásd. 2. pont)

4. A kalibrátoron elindítjuk a kén-dioxid *span gázt*:
 - a. SO₂ span → enter: érték beállítása (nyilakkal) 104 ppb → enter
 - b. Az előbbi értéket állítjuk be mérőműszerünkön is (104 ppb)
 - c. A mérőműszeren cycles → auto
 - d. 10 perc várakozás után leolvassuk a mért értéket (ebben benne van az offset!)
 - e. Kiszámítatjuk az új K faktort
 - i. Automatikusan: (Main menu → span → coefficient)
 - ii. Kézzel:
 1. Kiszámoljuk az új faktort:
$$K(\text{új}) = K(\text{régi}) \times \frac{\text{span gáz koncentráció}}{\text{leolvasott érték} - \text{offset}}$$
 2. Rögzítjük: Main menu → span → coefficient → * gomb

4.3 Szén-monoxid mérése

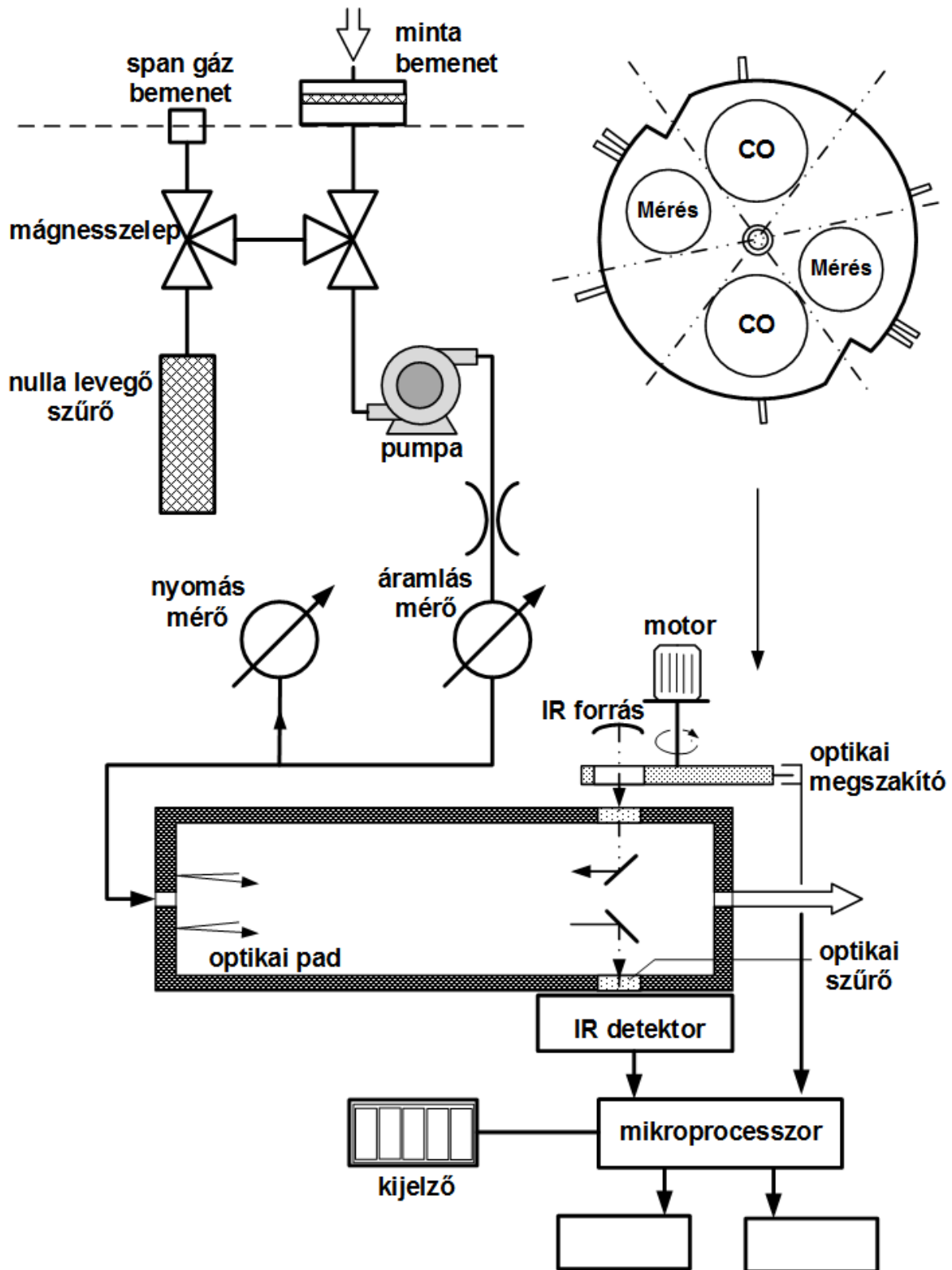
A szén-monoxid meghatározáshoz a molekula azon tulajdonságát használjuk ki, hogy az 4,6 μm-es hullámhosszon szelektív fényelnyelést mutat. Az elnyelt fény mennyiségéből meghatározható a szén-monoxid tartalom. A fényelnyelés méréséhez a nem-diszperzív infravörös spektrometriás módszert használjuk.

A mérés menete, hogy a infravörös sugárforrás által kibocsátott fénysugarat egy forgótárcsával rendszeresen megszakítjuk, a mérő- és a referencia-küvettán vezetjük át. (A referencia-küvettát jellemzően nitrogéngázzal töltjük meg.) Mindkét küvettán áthaladó fény 4,6 μm-es hullámhosszán mérhető erősségét érzékeljük és különböző erősségű elektromos jellé alakítjuk. Mivel a referencia küvettában az e hullámhosszú fény akadálytalanul áthalad, a szén-monoxid viszont elnyeli azt, így a két fény erőssége közötti különbség jellemző a minta CO tartalmára.

A szén-monoxid mérés referencia módszerét az MSZ 21456/5 számú "A levegő gázszennyezőinek vizsgálata Szén-monoxid tartalom meghatározása" című szabványban olvashatjuk.

4.3.1 Ez Environnement AF 22M típusú készülék bemutatása

Legalacsonyabb érzékelési határ:	0,05 ppm (válaszidő 30 mp)
Méréstartomány (programozható):	felhasználó által programozható 200 ppm-ig
Mértékegységek:	ppm vagy mg/m ³ (programozható)
Működési hőmérséklet:	+ 5 °C - + 40 °C



4.3.2 CO Pontosságellenőrzés lépései

1. A készüléknek saját „belső nullája” van, (nem használjuk a kalibrátort).
2. Leolvassuk az offset-et (Main menu → Configuration → Offsets)
3. Cycles → zref indításával állítható be a „0”.
 - a. 10 perc elteltével összehasonlítjuk az Offsets-el
 - b. Nagy eltérés esetén beállítjuk az új Offsets értéket (lásd. 2. pont)
4. A kalibrátoron elindítjuk a szén-monoxid *span gázt*
 - a. CO span → enter: érték beállítása (nyilakkal) 2,398 ppm → enter
 - b. Az előbbi értéket állítjuk be mérőműszerünkön is (2,398 ppm)
 - c. A mérőműszeren cycles → auto
 - d. 10 perc várakozás után leolvassuk a mért értéket (ebben benne van az offset!)
 - e. Kiszámítatjuk az új K faktort
 - i. Automatikus: (Main menu → span → coefficient)
 - ii. Kézzel:
 1. Kiszámoljuk az új faktort:
$$K(\text{új}) = K(\text{rég}) \times \frac{\text{span gáz koncentráció}}{\text{leolvasott érték} - \text{offset}}$$
 2. Rögzítjük: Main menu → span → coefficient → * gomb

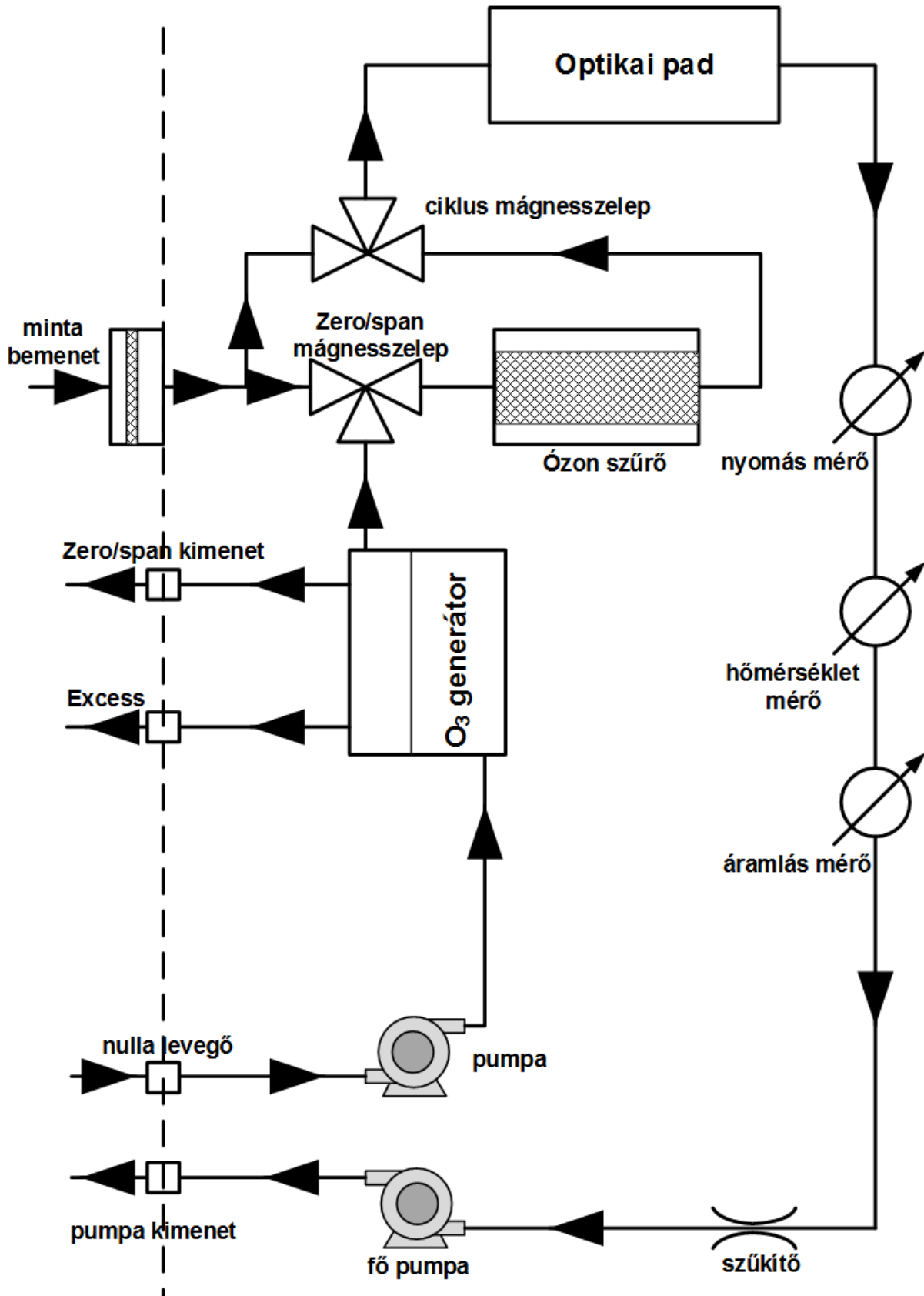
4.4 Ózon mérése

Az ózon mérés nagy mértékben hasonló a szén-monoxid méréshez. Az ózon molekula fényelnyelése a 253,7 nm-es hullámhosszú UV fény esetében a legnagyobb, így a mérést e tartományba kell elvégezni.

Az ózon referencia mérést az MSZ 221456-26 sz. “ A levegő gázszennyezőinek vizsgálata Az ózon meghatározása UV fotometriás módszerrel” című szabvány alapján végezzük.

4.4.1 Az Environnement O3 42M típusú készülékbemutatása

Legalacsonyabb érzékelési határ:	0,001 ppm (válaszidő 50 mp)
Méréstartomány (programozható):	felhasználó által programozható 10,00 ppm-ig
Mértékegységek:	ppm/ppb vagy mg/m ³ (programozható)
Működési hőmérséklet:	+ 10 °C - + 35 °C



4.4.2 O₃ Pontosságellenőrzés lépései

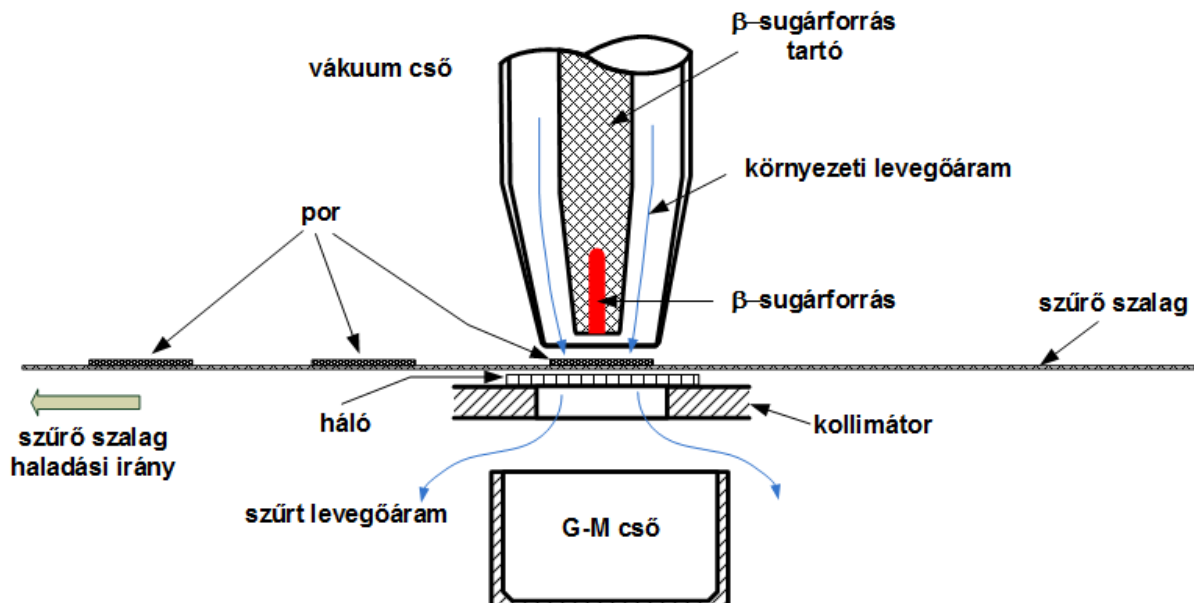
1. „K kalibrációs faktor” leolvasása (Main menu/Span/Coefficient)
 - a. leírjuk a **K** értéket (ez lesz a **K(span)old**)
2. A kalibrátoron elindítjuk az ózon zéró gázt:
 - a. Main Menu → Gas Generation (enter)
 - b. A megfelelő csatorna kiválasztása: Gas generation → enter (channel 1: ózon)
 - c. O₃ → Zero → elkezdi számolni az időt
 - d. A mérőberendezést átállítjuk zero mérési állapotba (Main menu/Zero)
 - e. 10 perc után leolvassuk a **Z** (zéró) értéket
3. A kalibrátoron elindítjuk az ózon span gázt:
 - a. O₃ → span → enter: érték beállítása (nyilakkal) 100 ppb (**O3(out)**) → enter
 - b. A mérőberendezést átállítjuk span mérési állapotba (Main menu/Span)
 - c. 10 perc után leolvassuk az **O3(read)** értéket
4. Számítás: $K(\text{span})_{\text{new}} = K(\text{span})_{\text{old}} \times \frac{O3(\text{read}) - Z}{O3(\text{out})}$
5. Új K faktor beállítása (Main menu/Span/Coefficient)
 - a. nyilakkal beállítjuk → enter

4.5 Szálló por mérése

A levegő szálló por tartalmának mérésére a β sugár abszorpció módszerét használjuk. Az üvegszál szűrőn felfogott port β sugárral bombázzuk, ami a poron áthaladva, annak tömegével arányosan gyengül. A porminta mennyiségét a tiszta és a mintával terhelt szűrő elnyelési különbsége adja.

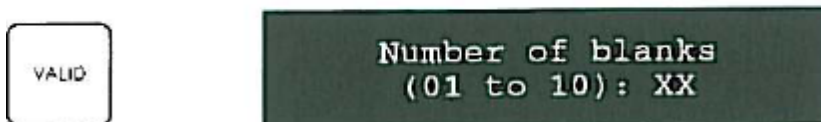
4.5.1 Az Environnement MP 101M típusú készülék bemutatása

Mérési tartomány: 0 - 10.000 µg/m³

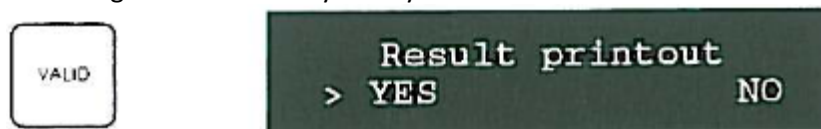


4.5.2 Pormérő kalibrálás

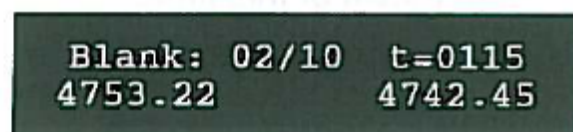
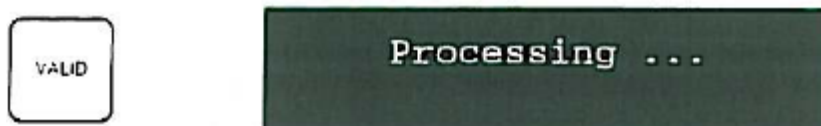
1. Blank mode



Válasszuk meg a „blank” számát. Minél több, annál pontosabb eredményt érhetünk el. Lehetőség van az eredmények kinyomtatására is.



„Valid”-al elmentjük, majd elkezdi a mérőberendezés visszaszámolni.



2. Calibration mode



CALIBRATION mode
ON



Number of measures
(01 to 10): XX

Adjunk egy értéket itt is az „x”-nek a felfele mutató nyíl segítségével. Minél magasabb az érték, annál pontosabb eredményt érhetünk el.



Refer. gauge value
0827 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$

A referencia érték a mi mérőegységünkénél $858 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Refer. gauge value
"0"827 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$



Refer. gauge value
0"8"27 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$



Result printout
> YES NO



Result printout
YES > NO

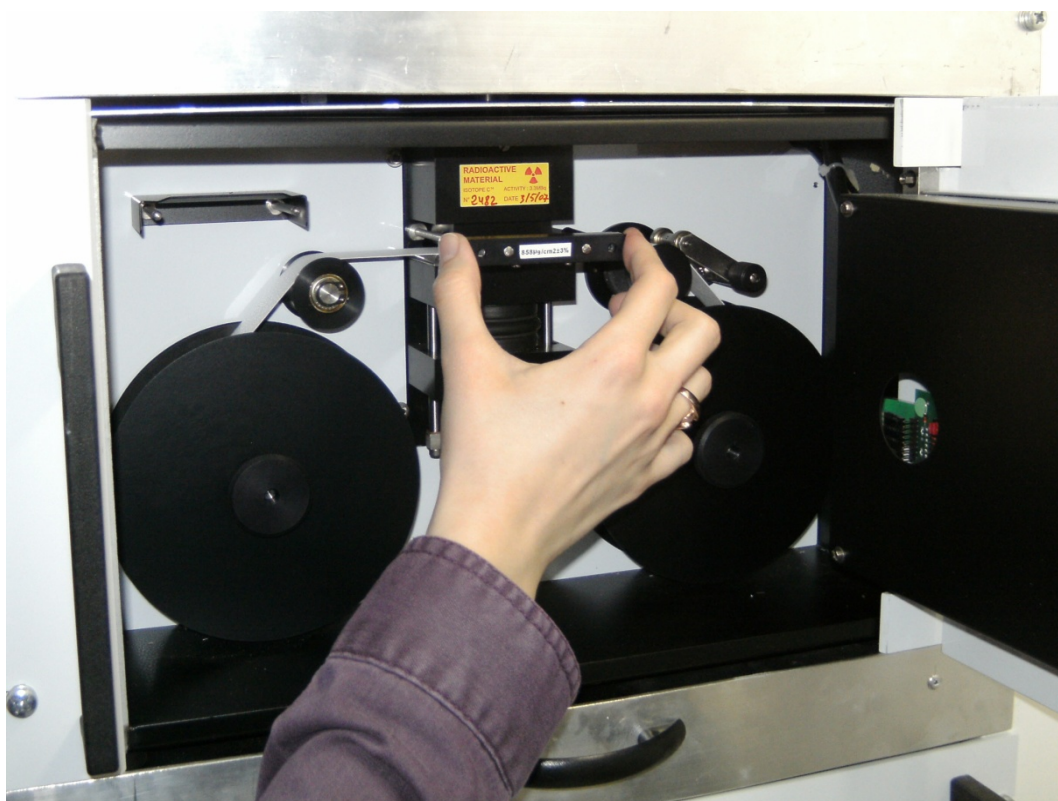
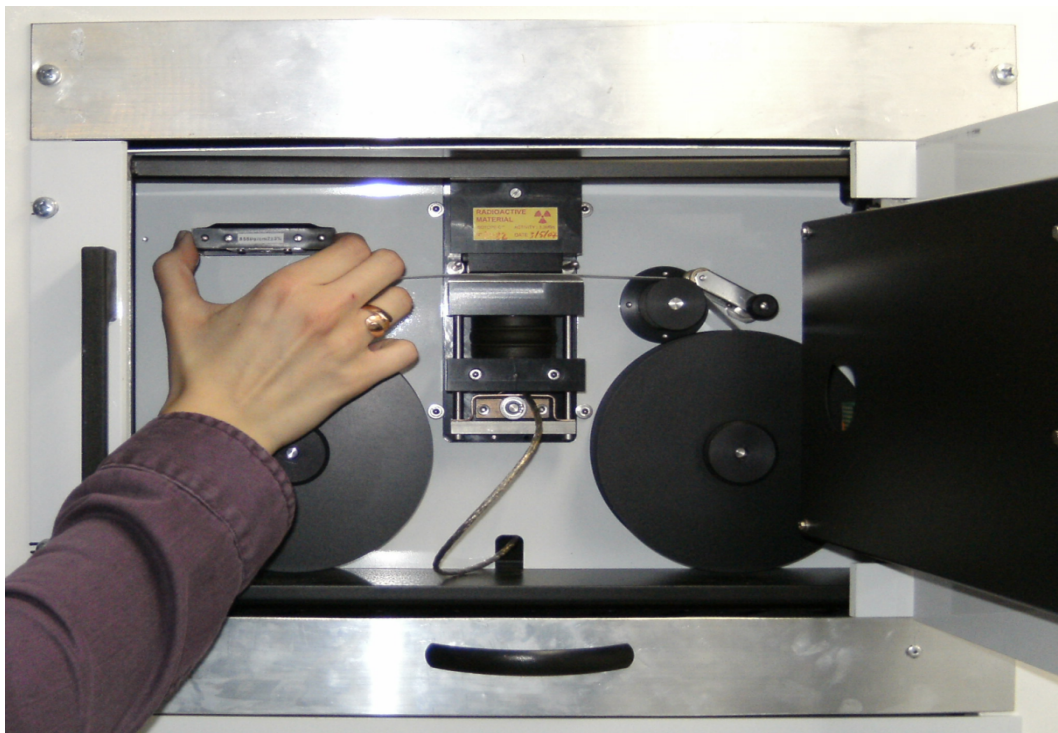


Processing ...

Install reference
gauge



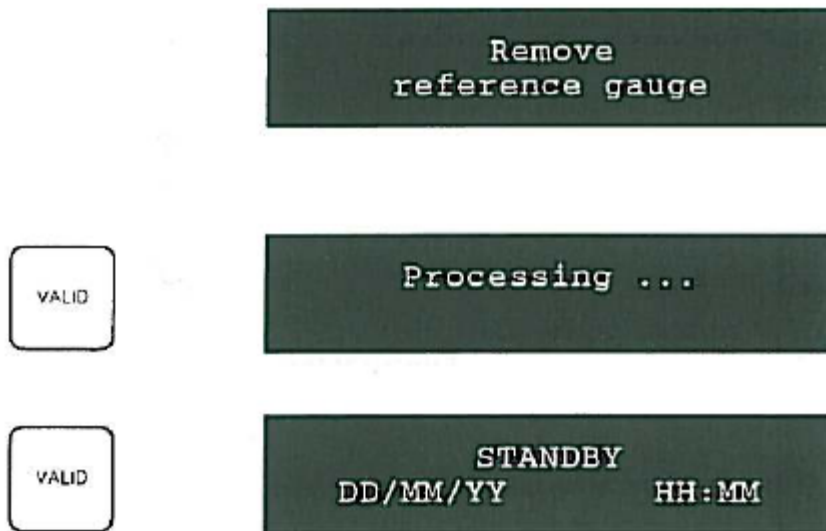
Processing ...



VALID

Calib : 02/10 t=0140
0.841 0.826 0.983

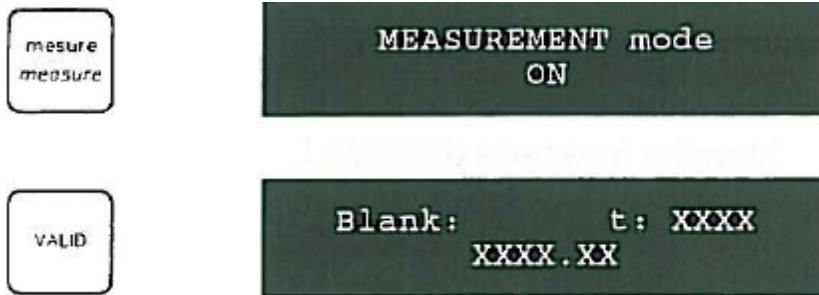
Visszaszámlálás.



Végül távolítsuk el.

- **Mérés**

A mérést a „Measure” gomb megnyomásával elkezdhető.



„Blank” üzemmód után, mérni kezd a mérőműszer.

5 Légszennyező anyagok immissziós monitorozása



34. ábra A mérési helyszín kiválasztása sok esetben kompromisszumokat szül – reprezentatív eredményeket szeretnénk



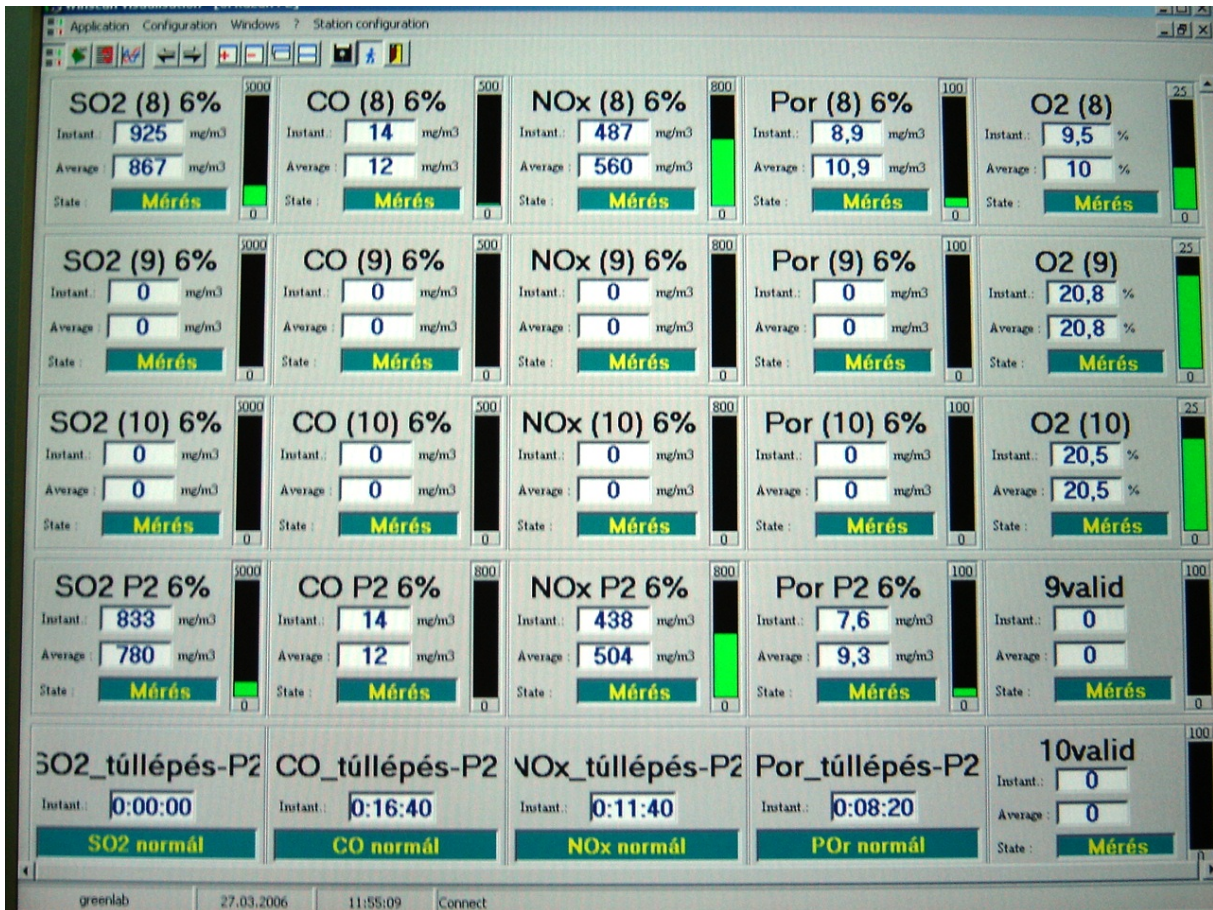
35. ábra A kiemelt légszennyező anyagok mennyiségi és minőségi detektálása számítógép vezérelt módon történik



36. ábra Korszerű immissziós (mobil) laboratóriummal mérhető a tényleges légszennyezettség



37. ábra A légszennyező anyagok mennyiségi és minőségi műszeres meghatározása előtt tanúsított gázpalackokkal történő kalibráció szükséges



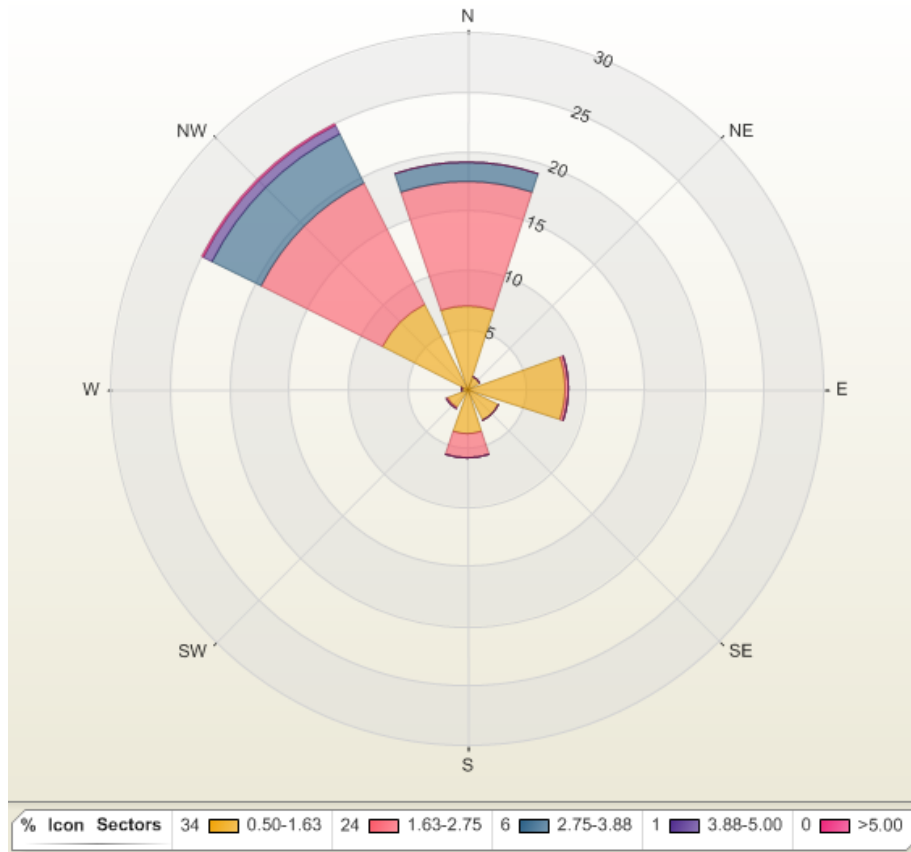
38. ábra Az ipari levegőtisztaság-védelmi monitoringot és adatszolgáltatást törvényi szabályozás szerint végzik



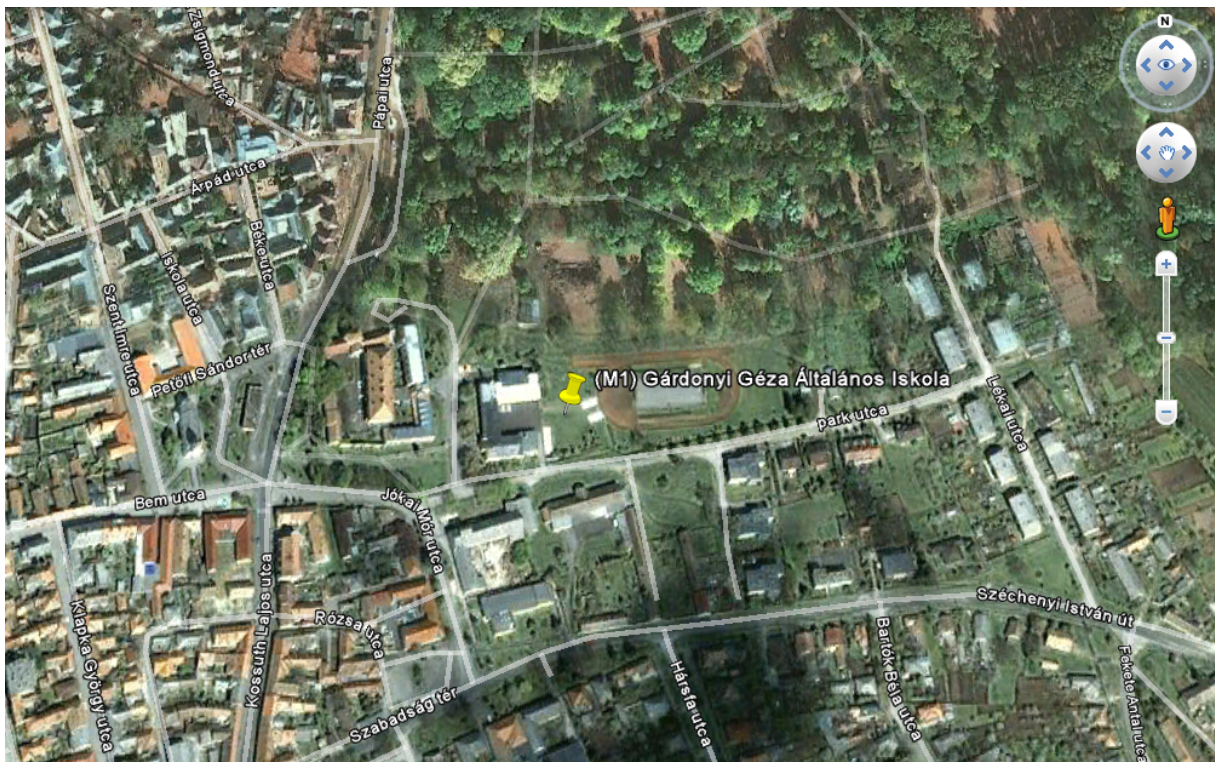
39. ábra A légszennyezőanyagok mérése mellett a meteorológiai paraméterek vizsgálata is szükséges



40. ábra Telepített immissziós mérőállomás Veszprémben – lakossági tájékoztatást szolgálja



41. ábra A jellemző szélirány és szélesség (m/s) adatok egy adott mérési időszakra vonatkozóan



42. ábra Immisziós mérőpont jelölése a térképen, (Forrás: Google Earth)

6 A levegőtisztaság-védelmi eljárások költség-haszon elemzése

Mindent technológiai eljárás esetén gondosan mérlegelni kell a megvalósítás gazdasági vonatkozásait is. Az esetek egy részében ezek a kalkulációk viszonylag könnyen, egyértelműen elvégezhetőek. Számos esetben viszont szükség van közgazdasági módszerek alkalmazására.

A legfontosabb meghatározni, hogy a levegőtisztaság-védelmi eljárások költsége hogyan viszonyul az azok elmaradása esetén fellépő környezeti kár elhárításának költségéhez. Az alábbiakban összefoglalásra kerülnek azok a pontok, amelyek közgazdasági szempontból mérlegelésre kell, hogy kerüljenek egy kármentesítés során. Ha az ezek által összesített költségek nem érik el a levegőtisztaság-védelmi technológia létesítésének költségét, akkor közgazdaságilag megfontolandó a létesítés hasznossága. Természetesen ha elvonatkoztatunk a gazdasági hatásoktól akkor a környezettel és a jövő generációkkal szembeni felelősségünk miatt minden lehetséges módszert ki kell használni a környezet védelme érdekében.

(A szövegben a 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet kormányrendelet pontjaiból származó idézetek vannak.)

6.1 Alaplépések

6.1.1 A kivizsgálás lépései

1. A környezetvédelmi felügyelőség eldönti, a környezetkárosodás kivizsgálására rendeljen-e el eljárást.
2. Az elindított kivizsgálás első lépése a tényfeltárás, ami során a tényfeltárásra kötelezett és annak végzője dönt, hogy
 - a. milyen tényfeltárási eljárást válasszon
 - b. milyen kármentesítési határértéket javasoljon
 - i. a szennyezőanyagokra (mely szennyező anyagok eltávolítása szükséges)
 - ii. a területekre (mely területek érintettek, figyelembe véve a régészeti, illetőleg műemlékvédelmi értékek megóvását)
 - iii. az időpontokra (mikor kezdődjön, mennyi ideig tartson)
 - c. illetve javaslatot tesz a műszaki megoldásra is, amellyel a legjobb eredményt lehet elérni.
3. A felügyelőség a tényfeltárási záródokumentáció, valamint az érintett szakhatóságok állásfoglalása – illetőleg a területfelhasználás tekintetében a településrendezési terv – alapján határozattal dönt a záródokumentáció elfogadásáról. Ezután megállapítja a szennyezettséggel, károsodással kapcsolatos további feladatokat és egyedi szennyezettségi határértékeket, illetőleg a kármentesítési szennyezettségi határértékeket állapít meg.
4. Majd meg kell tervezni a műszaki beavatkozást, amihez részletes dokumentációt kell készíteni:
 - a. Alapadatok (helyszín pontos lehatárolása, tulajdonosi adatok, szomszédos földrészletek, készítői és kivitelői adatok, stb.)
 - b. Előzmények (korábbi kármentesítési szakaszok, kárelhárítás bemutatása, korábbi határozatok, szennyezettség bemutatása, a szennyezett terület jellemzői, a

- megvizsgált műszaki beavatkozási javaslatok rövid bemutatása, költség-haszon és a költség-hatékonyság elemzés eredménye, stb.)
- c. A műszaki beavatkozás koncepciója (vizsgált kármentesítési technológiák és a javasolt technológia/technológiák rövid bemutatása és a kiválasztott technológiától elvárt eredmények)
 - d. A tervezett műszaki beavatkozás részletes leírása (méretezett engedélyezési terv, lépések pontos leírása, várható költségek, tervezett ütemezés, használt berendezések és azok környezetre gyakorolt várható hatásai és ezek energiaigényének és megfelelőségének igazolása, dokumentáció módja, érintett jogszabályok, szükséges engedélyek, stb.)
 - e. A tényfeltárás alatt és azt követően üzemeltetett kármentesítési monitoring bemutatása (létesítés, vizsgált paramétere, gyakoriság, nyilvántartás, megbízhatóság, határértékek, érintett jogszabályok, stb.)
 - f. A műszaki beavatkozáshoz kapcsolódó kármentesítési monitoring bemutatása (hasonlóan az (e) ponthoz)
 - g. A műszaki beavatkozás várható eredménye (elérni kívánt környezeti állapot, várhatóan helyszínen maradó szennyezettség, stb.)
 - h. Egyebek (dokumentumok, térképek, ábrák, fotók)
5. A műszaki dokumentációt a felügyelőség elfogadja, majd engedélyezi a munka megkezdését.
 6. Kidolgozásra kerül az utóellenőrzési terv, amelyett a tényfeltárással kötelezett készít el és a felügyelőség hagy jóvá.

E dokumentációk megfelelő kidolgozás mellett már alkalmasak a költség haszon elemzés elvégzésére.

7 A klímavédelem jogi szabályozása

A jelenkor legnagyobb kihívása a emberiség által okozott klímaváltozás mérséklése és a hatások – mint például a tengerszint emelkedése, az erősödő viharok, a ritkuló ökoszisztémák - lehető legnagyobb mértékű csökkentése. Bár e hatások az Oxfam 2011-es jelentése szerint „csak” 350 millió embert érintenek közvetlenül, közvetett hatásai alól senki nem tudja mentesíteni magát. E – mai ismereteink szerint – visszafordíthatatlan hatások jelentős gazdasági kárt és az ökológia maradandó károsodását okozzák.

A világ politikusai évtizedek óta próbálnak hathatós megállapodást és korlátozásokat megállapítani, ami csökkenthetné a fenti állapotot. 20 évvel ezelőtt az 1992-es Riói Csúcstalálkozón még mindenki hitt a csodában, hogy a világ országai össze tudnak fogni saját maguk megmentésére, da az azóta eltelt évtizedek kijózanítóan hatottak a reménykedőkre. A következő fejezetekben áttekintést olvashatunk a klímavédelem nemzetközi helyzetéről.

7.1 A NEMZETKÖZI EGYEZMÉNYEK, IRÁNYELVEK

7.1.1 A genfi egyezmény

Az 1979. november 13-án Genfben Magyarország által is aláírt a nagy távolságra jutó, országhatárokon áttérjedő légszennyezés mérséklésére irányuló Egyezmény hazánk számára is megköveteli a légszennyezés csökkentését. Bár az Egyezmény nem tartalmazott meghatározott emisszió csökkentési irányszámokat (ezeket a célok megvalósítását leíró jegyzőkönyvben találjuk meg), mégis kiemelkedő fontossággal bírt a levegő környezet védelmében. Ezt azon kívül, hogy ezen Egyezmény volt az első kifejezetten a légkör védelmére irányuló nemzetközi megállapodás, azzal is kiérdemelte, hogy ez volt az első elismerése a nagy távolságokon átnyúló légszennyezéseknek.

Az Egyezmény egyik kulcseleme a légszennyező anyagok világméretű megfigyelése, amivel részletes adatokhoz juthatunk ezen anyagok nagy távolságra történő eljutásával kapcsolatban. Ezt a célt szolgálja az európai együttműködési program, amelynek keretében elkészült a világméretű rendszerhez csatlakozó megfigyelési hálózat.

Jelenleg a hálózat felépítése a következő:

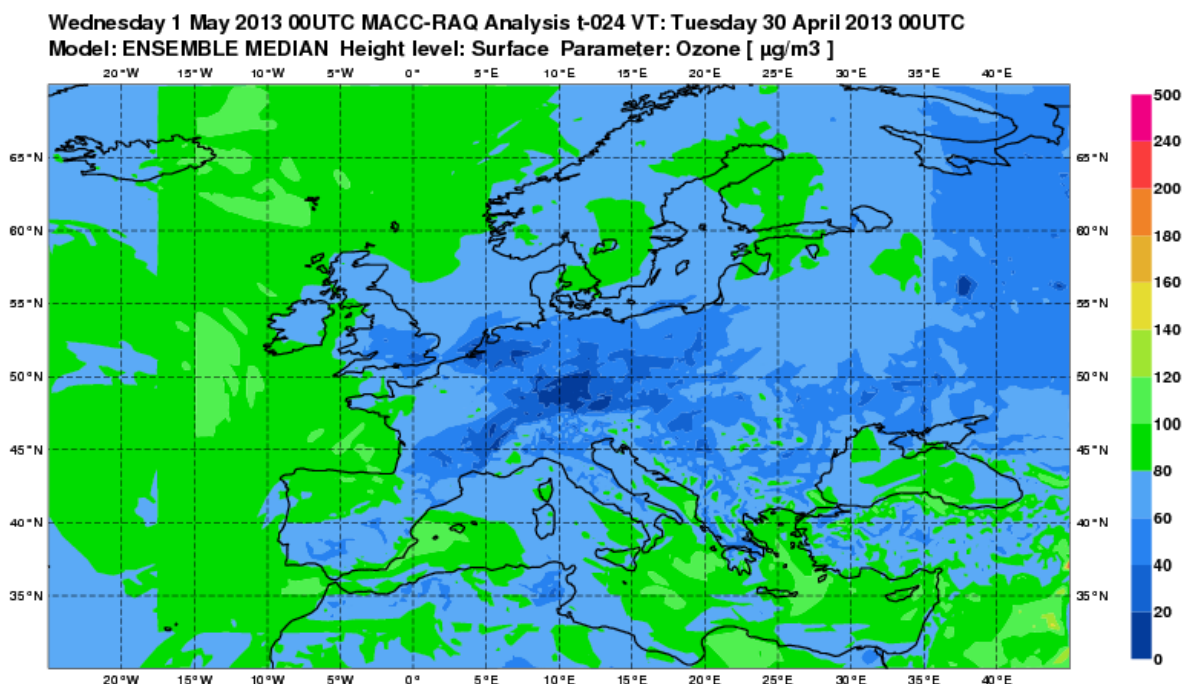
1. Meteorológiai Világszervezet Globális Megfigyelő rendszere (World Meteorological Organization – Global Atmosphere Watch: WMO-GAW)
 - A légkör kémiai és dinamikai összetevőinek hosszú távú változékonyságát vizsgálják. A szervezet az ENSZ ügynökségeként dolgozik és a 1873-ban alakult Nemzetközi Meteorológiai Szervezet (International Meteorological Organization: IMO) átszervezésével 1950-ben alapították.
 - Magyarországról a K-pusztai és a pestszentlőrinci állomások vesznek részt a programban.
 - Elérhetősége: www.wmo.int



43. ábra. A WMO-GAW legújabb kutatóközpontja. (Forrás: http://www.antarctica.ac.uk/living_and_working/research_stations/halley/)

2. Copernicus (European system for monitoring the Earth)

- Korábban Európai Megfigyelési és kiértékelő Program (Global Monitoring for Environment and Security - GMES) néven működő szervezet átalakulása során jött létre. Közvetlen felügyelet szerve az Európai Tanács.
- Fő feladata az európai emisszió szabályozás hatásainak vizsgálata. A szervezet szakértői csoportja az EU legfontosabb döntéstámogató szimulációs rendszere a témában.
- A program hat területet fed le: talaj, tenger, LÉGKÖR, KLÍMAVÁLTOZÁS, katasztrófa-kezelés és katasztrófa-elhárítás.
- Elérhetősége: <http://copernicus.eu>



44. ábra. Európa talaj közeli ózonszennyezettség térképe a Copernicus honlapján.

(Forrás:

http://macc-raq.gmes-atmosphere.eu/som_regrid_ens3D.php?datamodel=20130501&mod=ENS&niv=SFC¶m=o3)

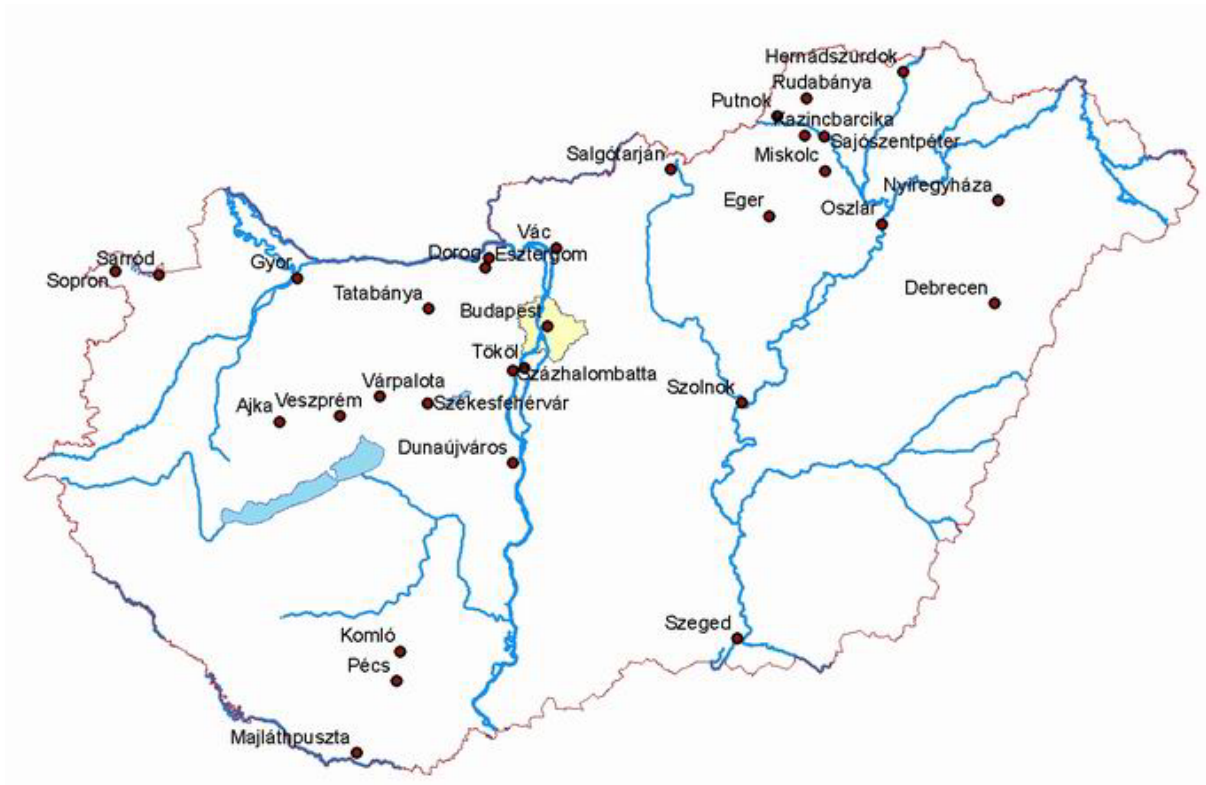
3. EU Európai Környezetvédelmi Ügynökség (European Environment Information and

Observation Network: EIONET)

- Feladata a nemzeti szinten gyűjtött minőségellenőrzött környezeti adatok rendszerezése és feldolgozása.
- Az adatok körültekintő összegyűjtése és azoknak intézményközi hálózatán keresztül (EIONET) történő megerősítése után, jelentéseket készítenek.
- Felettes szerve a Európai Környezetvédelmi Ügynökség (European Environment Agency: EEA)
- Elérhetősége: <http://www.eionet.europa.eu/>

4. Országos Légszennyezettség Mérés Hálózat (OLM)

- Feladata a Települési Automata és Manuális Levegőminőségi Megfigyelő Rendszer részeként a folyamatos levegőminőség mérés és tájékoztatás.
- Elérhetősége: <http://www.kvvm.hu/olm/>



45. ábra. Automata mérőállomások földrajzi eloszlása. (Forrás: OLM)

18. táblázat. Az OLM mérőhelyei (Forrás: OLM)

ÁLLOMÁS			SZENNYEZŐK										
Város	Cím	Állomás típusa	NO	NO ₂	NO _x	SO ₂	CO	O ₃	PM ₁₀	PM _{2,5}	BTEX	H ₂ S	VOC
Dorog	Zsigmondy lakótelep 11.	városi háttér	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-
Esztergom	Petőfi Sándor u. 26-28.	városi háttér	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Győr1	Szent István út	városi közlekedési	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-
Győr2	Szigethy Attila út - Ifjúság körút	városi háttér	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-
Sarród	Fertőújlak	vidéki háttér	x	x	x	x	-	x	x	-	-	-	-
Sopron	Kodály Zoltán tér	városi háttér	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-
Tatabánya 1	Ságvári út 5	városi közlekedési	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-
Tatabánya 2	Erdész u. 5-7.	városi háttér	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-
Ajka	Bródy Imre u. 4	külvárosi háttér	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-

ÁLLOMÁS			SZENNYEZŐK										
Város	Cím	Állomás típusa	NO	NO ₂	NO _x	SO ₂	CO	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}	BTEX	H ₂ S	VOC
Dunaújváros	Köztársaság út 14.	városi ipari	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-
Székesfehérvár	Palota út – Mészöly utca sarok	városi közlekedési	x	x	x	-	x	x	x	-	x	-	-
Várpalota	Szent István út - Honvéd utca	városi közlekedési	x	x	x	x	-	x	x	-	-	-	-
Veszprém	Kádár utca	külvárosi háttér	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-
Budapest	XVIII. ker. Gilice tér	külvárosi háttér	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-
Budapest	I. ker. Széna tér	városi közlekedési	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-
Budapest	VIII. ker. Teleki tér	városi közlekedési	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-
Budapest	II. ker. Pesthidegkút Községház u. 10.	külvárosi háttér	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-
Budapest	XV. ker. Kőrakás park	városi háttér	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-
Budapest	XI. ker. Kosztolányi D. tér	városi közlekedési	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-
Budapest	XIII. ker. Honvéd telep Dózsa Gy. út 53.	városi háttér	x	x	x	-	x	-	x	-	-	-	-
Budapest	V. ker. Erzsébet tér	városi közlekedési	x	x	x	-	x	-	x	-	x	-	-
Budapest	X. ker. Gergely u. 85.	városi ipari	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-
Budapest	XXII. ker. Budatété ny, Tűzliliom u.	külvárosi háttér	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-
Budapest	XXI. ker. Csepel, Szent István út 217-219.	külvárosi ipari	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-
Salgótarján	Vasvári Pál út	közlekedési ipari	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-
Százhalombatta 1	Búzavirág tér	külvárosi háttér	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	x
Százhalombatta 2	Sporttelep, Erőmű út	külvárosi ipari	x	x	x	x	x	-	x	-	-	-	-
Százhalombatta 3	Liszt Ferenc sétány	külvárosi ipari	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-
Tököl	Városháza, Millenium park	külvárosi ipari	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-

ÁLLOMÁS Város	Cím	Állomás típusa	SZENNYEZŐK											
			NO	NO ₂	NO _x	SO ₂	CO	O ₃	PM ₁₀	PM _{2,5}	BTEX	H ₂ S	VOC	
Vác	Görgey Artúr u.	városi közlekedési	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-
Eger	Katona tér	városi közlekedési	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-
Hernádszurdok	Gátórház 3.	vidéki háttér	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Kazincbarcika	Egressy Béni út 1.	városi háttér	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Miskolc	Búza tér	városi közlekedési	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-
Miskolc-Görömböly	Lavotta utca	külvárosi háttér	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Miskolc-martintelep	Alföldi utca	külvárosi háttér	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
Oszlár	Petőfi utca 2.	vidéki ipari	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-
Putnok	Bajcsy-Zsilinszky út 29.	külvárosi háttér	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Rudabánya	Erdőszállás u. 5.	vidéki háttér	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-
Sajószentpéter	Sport utca 13.	külvárosi ipari	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Nyíregyháza	Széna tér	városi közlekedési	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Szolnok	Ady Endre út 9.	városi közlekedési	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-
Debrecen 1	Kalotaszeg tér	városi háttér	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X
Debrecen 2	Nagyerdei krt. 98.	városi háttér	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Debrecen	Hajnal u.	városi közlekedési	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	-
Szeged	Kossuth L. sgt. 89.	városi közlekedési	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-
Kecskemét	Tóth László sétány	városi háttér	X	X	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
Komló	Templom tér 2.	városi közlekedési	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Majláthpuszta	Kisszentmárton Gátórház	vidéki háttér	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-
Pécs	Boszorkány út	külvárosi háttér	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Pécs	Szabadság u.	városi közlekedési	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-
Pécs	Apáczai Csere János körtér 1.	városi háttér	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-

Az Egyezményben az országok az saját rövid távú érdekeiket próbálták összhangba hozni a világ hosszú távú érdekével. Ennek függvényében egyes országok a szennyező anyag kibocsátásának

növekedésének korlátozását vállalták, mások a szinten tartás mellett döntöttek és néhányan csökkenést határoztak el.

A levegőtisztaság-védelem alapvető előírásait a környezet védelmének általános szabályozásáról szóló 1995. évi LIII. törvényben rögzítette az országgyűlés az Európai Unió vonatkozó jogszabályaival történő előzetes jogharmonizáció során. A csatlakozás időszakában alkották meg a levegőtisztaság-védelem jellemzőinek nyomán követéséhez szükséges kormányrendeleteket, miniszteri szintű rendeleteket. Ezek közül a legfontosabbak:

- a 21/2001. (II. 14.) Korm. rendelet a levegő védelmével kapcsolatos egyes szabályokról;
- a 14/2001. (V. 9.) KöM-EüM-FVM együttes rendelet a légszennyezettségi határértékekről, a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről;
- a 17/2001. (VIII. 3.) KöM rendelet a légszennyezettség és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról;
- és a 4/2002. (X. 7.) KvVM rendelet a légszennyezettségi agglomerációk és zónák kijelöléséről.

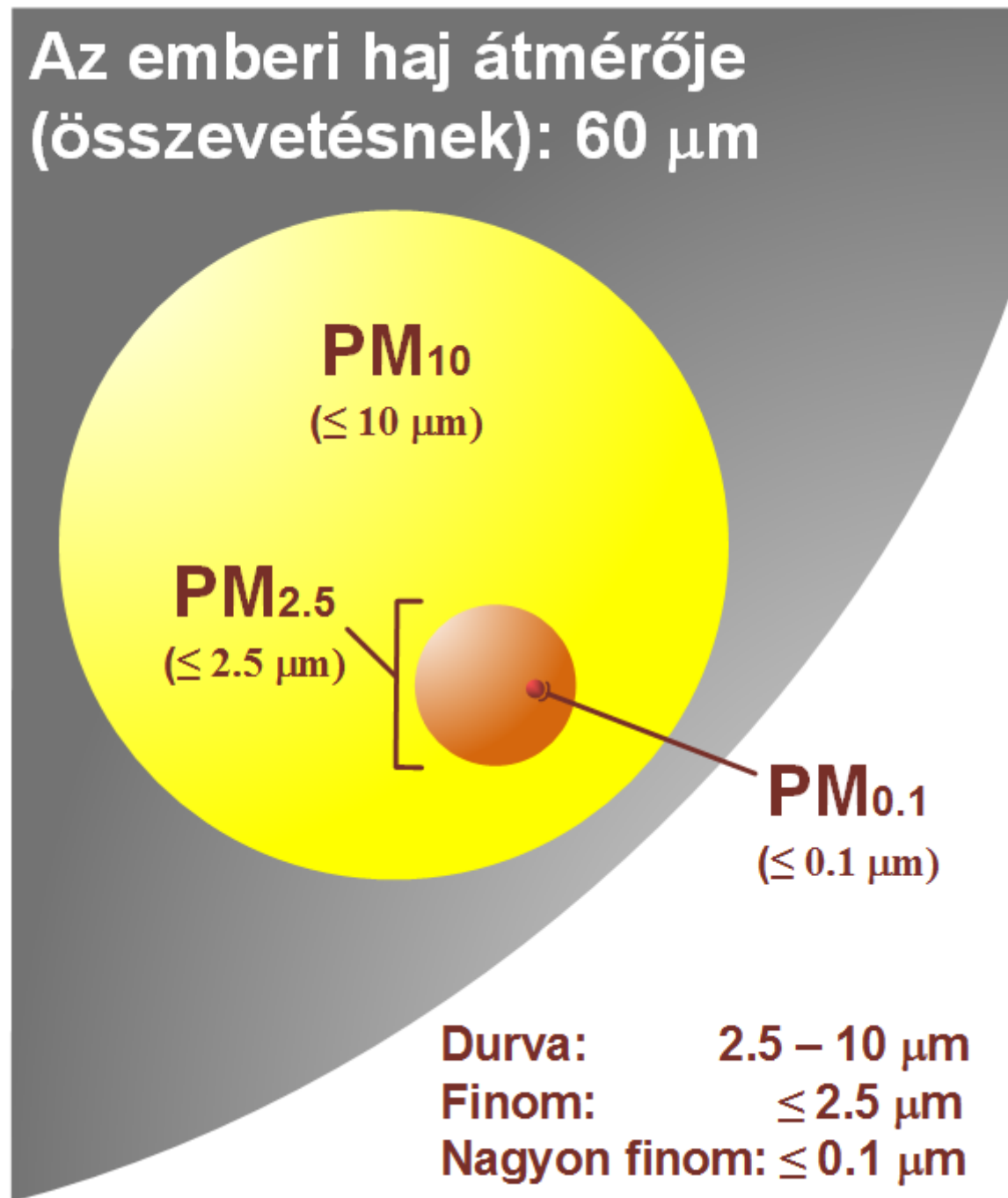
7.1.2 2008/50/EK Európai Parlamenti és a Tanácsi irányelv

A légszennyezés csökkentésével foglalkozó 14 EU irányelv közül kiemelt fontosságú a környezeti levegő minőségéről és a Tisztább levegőt Európának elnevezésű programról szóló 2008/50/EK Európai Parlamenti és a Tanácsi irányelv. Célja a korábbi keretirányelv és az egyes légszennyező összetevők határértékéről szóló irányelvek egyesítése, korszerűsítése volt.

Az EU Levegőminőségi Irányelve kiemelten foglalkozik a napjaink legtöbb gondot okozó levegőminőségi összetevőjével a szálló por összefoglaló néven kezelt kis méretű részecskékkel. E szennyezők kezdetben két, mostanában már három frakciójának sűrűségét követjük nyomon kiemelten a vizsgálataink során:

- a Particle Material 10 (PM10, coarse particles, coarse fraction, durva hányad), a 10 µm-nél kisebb részecskék, amelyek elsősorban a nyálkahártya irritációban vesznek részt (például pollenszemcsék);
- a Particle Material 2,5 (PM2,5, fine particles, fine fraction, finom hányad), a 2,5 µm-nél kisebb részecskék, amelyek a hörgőkben megragadva hosszú távú egészségkárosodást okoznak;
- és manapság egyre többet vizsgált Particle Material 0,1 (PM1,0, ultrafine particles, ultrafine fraction, nagyon finom hányad), a 0,1 µm-nél kisebb részecskék, amely már közvetlenül a sejtműködésre is hatással van.

Mivel a szálló por korunk legnagyobb egészségügyi kockázatát jelentő légszennyező anyaga, ezért az EU Levegőminőségi Irányelve lényegesen szigorúbb határértékeket vezetett be és fokozta a mérés alapú ellenőrző rendszerekkel szemben támasztott követelményeket is. A hazai jog szintén szigorított e területen, de még így sem éri el az ENSZ/WHO által ajánlott értéket.



46. ábra. átrajzolni, forrás: <http://www.greenfacts.org/glossary/pqrs/PM10-PM2.5-PM0.1.htm>

19. táblázat PM₁₀ határértékek összehasonlítása

PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	hazai határérték	ENSZ/WHO határérték
24 órás	50	50
éves	40	20

Az Irányelvben 2010-től a 2,5 µm-nél kisebb átmérőjű részecskékre (PM 2,5) vonatkozó határérték jelenik meg, amit az új levegőminőségről szóló irányelvben (2008/50/EK) a következő képen épül fel:

- 2010-től célérték 25 µg/m³;
- 2015-től határérték 25 µg/m³;
- és 2020-ig 20%-os terhelés csökkentési cél 2010-hez viszonyítva.

E változásokat csak újragondolt stratégiával lehet megvalósítani. Hazánkban sajnos igen magas azon területek aránya, ahol jelentős szálló por szennyezéssel kell számolni, azaz a szennyező anyag koncentrációja nemcsak a várható határértékeket, hanem az ideiglenes túrértékeket is átlépi. Ezt segíti az az új szabályozás, hogy ki lehet jelölni azokat a zónákat vagy agglomerációkat, ahol a közutak téli homokszórása, sózása okozza a (PM10) határérték túllépését (ezeken a területeken jellemzően a téli terhelés a helyi fűtési rendszerek is jelentősen terhelik).

A fenti Irányelv tartalma beépült a hazai jogi szabályozásba, így

- a 306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet a levegő védelmével kapcsolatos egyes szabályokról,
- a 4/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint és kibocsátási határértékekről, valamint
- a 6/2011. (I.14.) VM rendelet a légszennyezés levegőterheltségi szint vizsgálatáról

című rendeletekbe. A jogi szabályozás része az a 11 immisszió-mérési szabvány, amely a mérőlaboratóriumok részére írja elő a megbízható terhelési értékek meghatározásának módját. Ezt egészíti ki az a 93 emisszió-mérési szabvány, ami a különböző szennyező anyagok mérését, vizsgálatát a légszennyező pontforrások, helyhez kötött légszennyező források vonatkozásában. A fenti határértékek alól kedvezőtlen időjárás esetén, illetve bizonyíthatóan más országból származó szennyezés esetén egyedi mentességet lehet időszakosan kapni.

Ahhoz, hogy hazánk teljesíteni tudja a vállalásokat jelentősen meg kell változtatni a durva és finom szálló por frakciókat kibocsájtó forrásokat. Ezek közül hazánkban a legjelentősebbek:

- közlekedés
- a lakossági fűtés
- egyéb lakossági égetési tevékenység
- errodálódott talajfelszín

Ezen területek esetén számos többé-kevésbé könnyen kivitelezhető megoldási lehetőséget lehet alkalmazni. A szennyezés csökkentése közlekedés esetén a gépjárműpark korszerűsítésével oldható meg a leghatékonyabban. A lakossági fűtés esetében egyértelműen a felhasznált energiahordozók mennyiségének csökkentésével lehet jelentős változást elérni, amit a lakóingatlanok szigetelésének támogatásával és a lakosság szigetelés használatára történő rákényszerítésével (pl. az energiahordozók árának terhelésarányos növelésével) lehet elérni. Az egyéb lakossági égetési tevékenységből származó szennyezést – amely elsődlegesen a kiskertek hulladékának elégetését jelenti – a komposztálás minél

szélesebb körű elterjesztésével lehetne csökkenteni. A talajfelszín errodálásából származó szálló port szennyezés csökkentése pedig elemi érdeke hazánknak, mivel ezzel a legnagyobb kincsünket, a termőföldet is meg tudjuk védeni.

Az új Irányelv egyszerűsítette a kötelező adatszolgáltatást, viszont szigorította a jelentésadási kötelezettséget. Azon zónákról illetve agglomerációkról, ahol egy vagy több légszennyező anyag koncentrációja magasabb a célértéknél, minden évben jelentést kell adni.

20. táblázat PM10 szennyezettség régióként kilógrammban. (Forrás: <http://okir.kvvm.hu/lair/>)

Megye	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Bács-Kiskun	3	43	43	47	75	59	64	37	5
Budapest	201	2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Fejér	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	268	<0,5	91
Győr-Moson-Sopron	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2 139	6	<0,5	1	<0,5
Hajdú-Bihar	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Heves	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Komárom-Esztergom	1	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Nógrád	7	150	155	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pest	<0,5	<0,5	17	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	595
Szabolcs-Szatmár-Bereg	<0,5	1	3	6	13	16	4	12	1
Tolna	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Vas	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Veszprém	6	10	8	10	12	15	11	12	1
Zala	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1	<0,5	<0,5
Összesen (kg)	218	207	226	63	2 239	96	348	62	693

Sajnos hazánk csak késve és nem is teljes körűen tudott megfelelni a Levegőminőségi Irányelvben foglalt egyes levegőminőségi előírásoknak, amit 2010. június 11-ig kellett volna megvalósítani. Erről a

Vidékfejlesztési Minisztérium így nyilatkozott: „Nem vezette be az 2008/50/EK irányelv a nitrogén-dioxidra új határértéket. A korábban hatályban lévő, a nitrogén-dioxidra vonatkozó 1. leányirányelv is tartalmazta a határértéket 2010. évi hatálybalépéssel, úgyhogy ez ismert követelmény volt, a magyar szabályozásban is szerepelt ez a határérték. Sajnálatosan a kisméretű részecskére (PM10-re vonatkozó) határértékekhez hasonlóan bár kisebb mértékben a levegő szennyezettsége, egyes helyeken magasabb, mint ezek a határértékek”

7.1.2.1 Jogalkotás bemutatása

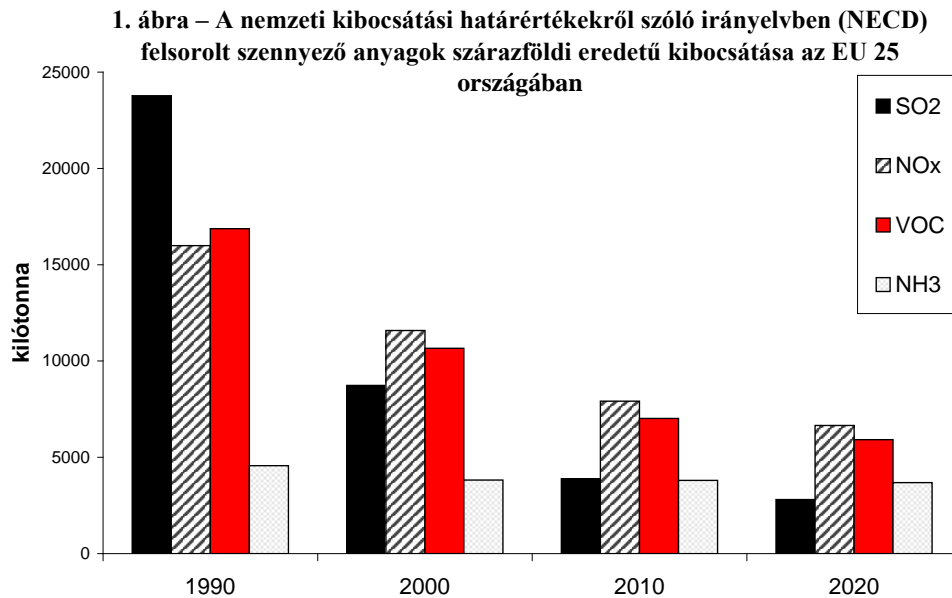
Az alábbiakban leírásra kerül a késelem oka, ami egyben jól jellemzi a jogalkotás bonyolult és szerteágazó feladatait is.

A Levegőminőségi Irányelv hazai jogrendbe történő átültetése számos új rendelet és jogszabály megjelenését és módosítását kívánta meg. A változásokkal kapcsolatos előterjesztés tervezet 2009 végére elkészült. Viszont a kodifikációs (jogrendbe illesztési) folyamata szokatlanul hosszúra nyúlt. Ennek egyik oka az akkoriban újraalakuló kormányzati felelősségi szerkezet éppen zajló átalakítása volt. Az új kormányzati szerkezetben a Vidékfejlesztési Minisztérium környezetvédelemért felelő államtitkára felet a jogharmonizációért. Ő 2010 júniusában jelezte is a közigazgatási államtitkár felé, hogy az irányelv hazai joggyakorlatba történő átültetésének határideje 2010 június 11-én lejárt. Bár a jogszabály kodifikált – kormányrendeletként történő megjelenésre alkalmas, az érintett minisztériumokkal egyeztetett – formában, 2010 áprilisában már elkészült, de a végső közigazgatási egyeztetésre a határidő lejártá előtt nem került sor. A késés miatt, mivel az Európai Unió nem kapott értesítést arról, hogy hazánk nemzeti jogba illesztette az Európai Parlament és a Tanács 2008. május 21-i 2008/50/EK irányelvét, ezért kötelezettségszegési eljárást indított és 2010. július 23-án felszólító levelet küldött a kormánynak. Ebben felkérte a Kormányt, hogy az Európai Unió működéséről szóló szerződés 258. cikke értelmében két hónapon belül hozzon intézkedést az ügyben és juttassa el észrevételeit az EU-nak. A kötelezettségszegési eljárás nagy mértékben felgyorsította munkát és elfogadták a 306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet a levegő védelméről, valamint a 2011. január 14-én megjelent két miniszteri rendelet is e tárgyban.

7.1.3 Tematikus stratégia a levegőszennyezésről

Tisztább levegőt Európának elnevezésű programról szóló 2008/50/EK Európai Parlamenti és a Tanácsi irányelv folytatásaként adta ki 2005-ben az Európai Unió a 21.9.2005/COM(2005)446 számú, „A Bizottság Közleménye a Tanácsnak és az Európai Parlamentnek: Tematikus stratégia a levegőszennyezésről” (Thematic Strategy on Air Pollution) című anyagát. Ebben a fő hangsúlyt az ökológiai rendszerek egészségének védelme és ezen keresztül az emberi egészség megóvására helyezik. Ebben a por mellett a talajközeli ózonra (O₃), az illékony szerves vegyületekre (Volatile organic compound – VOC), nitrogén-oxidokra (NO_x), ammóniára (NH₃) és kén-dioxidra (SO₂) hívják fel a figyelmet, mint ökológiai rendszerek főbb károsítóira. Az anyag nagyobbik része viszont a porról szól.

Különösen fontosnak értékeli az eddig elhanyagolt finom pro frakciót (PM_{2,5}) és javaslatot tesz az ehhez kapcsolódó új jogszabályok és levegőminőségi határértékek bevezetésére.



47. ábra A nemzeti kibocsátási határértékekről szóló irányelv kibocsátási adatai

21. táblázat. Országos légszennyezettség adatok kilógrammban. (Forrás: <http://okir.kvvm.hu/lair/>)

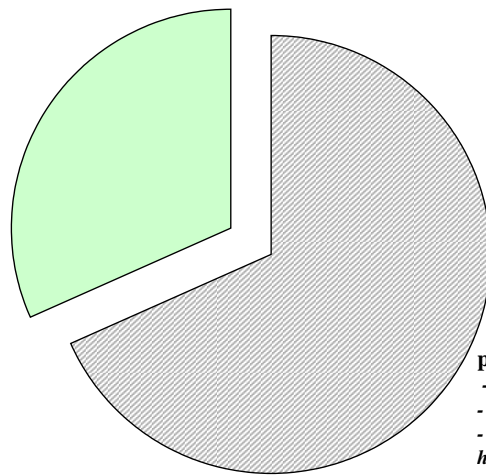
Szennyezőanyag	Kén-dioxid	PENTAKLÓR-BENZOL (PeCB)	Nitrogén oxidok (NO és NO ₂) mint NO ₂	Ammónia	PM ₁₀ (Szálló por szemcse-átmérő 10 mikron alatt)
2002	709 018	113	63 705 732	411 631	218
2003	27 467	32	57 347 070	336 207	207
2004	334 295	<0,5	50 542 269	351 079	226
2005	856	<0,5	51 390 376	467 176	63
2006	356 251	<0,5	33 278 044	619 935	2 239
2007	304 993	<0,5	36 066 094	508 861	96
2008	348 678	<0,5	35 831 554	373 150	348
2009	225 869	<0,5	32 247 727	458 750	62
2010	200 767	<0,5	64 170 856	402 788	693

)

A stratégia bevezet egy új számítási módot, aminek alapja a lakosság várható élettartamának csökkenése a légszennyezettség miatt. Megállapítja például, hogy egy átlagos Európai Uniói polgár jelenleg nyolc hónappal él rövidebb ideig a szálló por finom frakciója miatt, mint egyébkén élhetne. Ez évente 348 000 korai halálozást okoz, ami összességében 3,6 millió elvesztett évnek felel meg. A jelenlegi irányelveket szigorúan betartva is 2020-ra csak 5,5 hónapra tudjuk csökkenteni ezt az értéket, ami még mindig évi 2,5 millió elvesztett életévnek vagy 272 000 korai elhalálozásnak felel meg (XXX ábra).

2. ábra – A por halálózásra irányuló hatásai 2000-ben és 2020-ben (jelenlegi szakpolitikák)

Javulás 2020-ig:
- 1,1 millió elvesztett életév megtakarítása
- 76 000 korai elhalálozás megtakarítása
- a várható átlagos élettartam csökkenésének megfékezése 2,5 hónappal



A 2020-ban fennmaradó problémák:
- 2,5 millió elvesztett életév
- 272 000 korai elhalálozás
- a várható átlagos élettartam 5,5 hónappal csökken

48. ábra A por halálózásra irányuló hatásai

A stratégia célkitűzése, hogy elérjük „a levegő minőségének olyan szintjét, amely nem idéz elő jelentős negatív hatást és kockázatot az emberi egészségre és a környezetre”, ami „a természeti környezetre nézve azt jelenti, hogy nem szabad túllépni a kritikus terheléseket és szinteket”.

A stratégia felveti azt a dilemmát, hogy a jelenlegi szabályozás nem elegendő a jelenlegi ökológiai környezet hosszú távú fennmaradásának biztosítására, illetve jelentősen csökkenti az emberek várható élettartamát és életminőségét, a szabályozás szigorításának gazdasági hatásai viszont határozottan csökkentenék az Európai Unió vállalatok versenyképességét. E probléma leküzdésére a stratégia szakmapolitikai (azaz a különböző szakterületek politikai döntéshozóinak) egyeztetését és levegőminőség védelmi szempontok más szaktörvényekbe és rendelkezésekbe történő integrálását javasolja. A stratégia kiemelten említi meg a következő szakterületeket:

- Energiapolitika, ahol a
 - hatékonyság növekedése,
 - energiatakarékosság és a
 - megújuló energiaforrások minél szélesebb körű kihasználása a cél.

- Közlekedéspolitikai, ahol a
 - differenciált díjazás a környezeti szempontból érzékeny területeken előidézett levegőszennyezési károktól és hatások
 - környezetkímélő közlekedési módok elterjedése,
 - fenntartható városi közlekedési rendszerek megvalósítását
 - légi járművek által okozott éghajlatváltozási hatások csökkentése gazdaságos eszközök használatával
 - A hajók szigorúbb kibocsátási határértékeinek felállítását, mivel az általuk okozott, levegőt szennyező SO_2 - és NO_x -kibocsátások 2020-ra várhatóan túllépik majd ezen anyagok valamennyi szárazföldi eredetű kibocsátásait.
- Agrárpolitika, ahol a szarvasmarha-, sertés- és baromfitenyésztési ágazat, valamint a műtrágyák használata okozta ammónia-kibocsátás csökkentése érdekében
 - az intenzifikációra irányuló ösztönzők megszüntetése, hogy csökkenjen a műtrágyahasználat,
 - a kifizetések odaítélésének a feltételeként a környezeti irányelveknek történő minél jobb megfelelés elérése,
 - az állatszám és a pénzügyi támogatás kapcsolatának megszüntetése.

A stratégia a fenti tényezők csökkentése érdekében 2020-ra el akarja „elérendő célkitűzések felállítása az uniós polgárok számára védelmet fog nyújtani a por-expozíció és a levegőben lévő ózon ellen, az európai ökológiai rendszereket pedig megfelelőbben óvja majd a savas esőtől, a tápanyagnitrogén-többlettől és az ózontól.” (Stratégia)

Ennek érdekében 2020-ra a következő szennyezőanyag-koncentráció csökkentéseket kívánják elérni a 2000 évhez képest technikailag kivitelező szinthez képest:

- $PM_{2,5}$ koncentráció: 75%-kal,
- talaj közeli ózon koncentráció 60%-kal,

ehhez az emissziós értékeket a következő szennyezők esetében kell jelentősen csökkenteni 2000-hez képest:

- SO_2 -kibocsátás: 82%-kal,
- NO_x -kibocsátás: 60 %-kal,
- VOC-kibocsátás: 51 %-kal,
- NH_3 -kibocsátás: 27 %-kal,
- primer $PM_{2,5}$ -kibocsátást: 59 %-kal

A fenti vállalások és célok jelentős része már szerepel az Európai Unió tagországok vállalásaiban, de a tényleges teljesítésük erősen kérdéses és nagymértékben függ a gazdasági helyzet változásától és az ipar teljesítőképességétől. Ha mégis sikerül elérni a fenti irányszámokat, akkor akár 1,71 millió elveszett életévvel is kevesebb lehet. Ehhez adódik hozzá az erdők, vizek biodiverzitásában keletkező károk csökkenése.

Hazánkban bekövetkező megbetegedések 15-30%-a vezethető vissza egyértelműen valamilyen környezeti ártalomra. Sajnos ez az érték évről évre – elsősorban a szálló por miatt – romlik.

7.1.4 Nemzetközi klímavédelmi egyezmények

1998-ban, az Egyesült Nemzetek Környezeti Programja (United Nations Environment Programme, UNEP) a Meteorológiai Világszervezettel közösen létrehozta a Éghajlat-változási Kormányközi Panelt (Testületet) (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Az IPCC egy olyan szakemberekből álló testület, amelynek feladata a döntéshozókat objektív információkkal és elemzésekkel ellátni az ember által okozott klímaváltozás állapotáról és a jövőben várható hatásairól. A IPCC a következő alszervezetekből áll:

- I. munkacsoport (workgroup I.): feladata a légkör és az éghajlatot befolyásoló elemek tudományos elemzése
- II. munkacsoport (workgroup II.): a klímaváltozás rövid-, közép és hosszú távú hatásait elemzi az ökoszisztémára és a gazdasági- és szociális környezetre
- III. munkacsoport (workgroup III.): a klímaváltozást okozó emberi eredetű hatások visszaszorításának lehetőségeit kutató és elemző csoport
- leltárkészítő egységből (Task Force): Üvegházhatású Gázok Nemzeti Leltári Programjáért felelős különálló csoport

A testület a földi klíma lehetséges jövőbeli változásairól és kimeneteleiről 4-6 évente készít összefoglaló jelentéseket. Ezeket elsődlegesen globálisan érdekelt kormányoknak és nemzetközi szervezeteknek írja.

Mint az alábbi idézetekből is kitűnik, jelentéseiben – bár erősen érződik a szervezetet fenntartó kormányok politikai ideológiája – egyre hangsúlyosabban utal az emberiség felelősségére és a beavatkozás sürgősségére:

- IPCC, 1990: “[az üvegházhatású gázok] koncentrációjának növelésével [...] az emberiség képes megemelni az éves átlagos globális felszíni levegőhőmérsékletet”
- IPCC, 1995: “A bizonyítékok arra utalnak, hogy az emberiség észrevehető hatást gyakorol a globális éghajlatra.”
- IPCC, 2001: “az elmúlt 50 évben megfigyelhető hőmérsékletnövekedés valószínűleg az üvegházhatású gázok koncentrációjának emelkedésének volt köszönhető”
- IPCC, 2007: “A legtöbb, a XX. század közepe óta megfigyelt globális átlagos hőmérsékletváltozás nagy valószínűséggel az antropogén eredetű üvegházhatású gázok koncentrációjának köszönhető.”
- IPCC, 2011: „Bizonyított, hogy néhány szélsőség változása antropogén tevékenység – mint például üvegházhatású gázok megnövekedett légköri koncentrációja – hatására jött létre.”

A bizottság munkáját meghatározó bizonytalanságok, általános jellemzik a klímakutatást nehézségeit. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

A Föld klímarendszeréről szerzett tudások megfigyelésekből és modellekből származnak.

Nincs egységes álláspont arról, hogyan határozzuk meg a Föld klímaváltozásának elmúlt évszázadokban bekövetkezett változásait.

A Föld klímarendszerének egyes elemei (mint például az üvegházhatású gázok) igen alaposan vizsgáltak és jól értjük hatásukat a légkörre, de más elemek (pl. felhők, aeroszolok, jeges területek és például az óceán hőháztartása) szerepét a klímaváltozásra még nem teljes biztonsággal ismerjük.

A döntéshozók a tudományos bizonyítékokat csak egy elemének tekintik a döntéseiket befolyásoló tényezőknél.

Az IPCC-t számos kritika is éri, amelyek közül a legtöbbet emlegettek a következők:

- Túl konzervatív megállapításokat tesz.
- Az értékelési folyamat túl nehézkes, lassú, hogy a gyorsan lezajló változásokat követni tudja
- Elhanyagolja a nem „fő vonalhoz” tartozó véleményeket
- Köti a „politikailag fontos de politikailag független” vállalás

A 2011-es évi IPCC jelentéshez kapcsolódóan az Országos Meteorológiai Szolgálat kiadta a szélsőséges éghajlati események hazai előfordulásában tapasztalt és várható változásokat összefoglaló HREX (Hungarian Report on Extreme Events) jelentést. Ebben egyértelműen bemutatásra kerül, hogy hazánkban is határozott növekedés figyelhető meg a nyári (valamint hóhullámos) illetve csökkenés figyelhető meg a fagyos napok évenkénti számában.

7.2 Kiotói Jegyzőkönyv

Az egyezmény 1997-ben elfogadott új jogi eszköze a Kiotói Jegyzőkönyv (továbbiakban: Jegyzőkönyv), mely szerint 38 iparosodott ill. átalakuló gazdasági ország vállalta átlagosan a kibocsátások 5,2%-os csökkentését a 2008-2012 közötti időszakra. A Jegyzőkönyv hat üvegházhatású gázra vonatkozik (szén-dioxid, metán, dinitrogén-oxid, ill. három fluortartalmú vegyületcsoport PFC, HFC, SF₆) és lehetővé teszi a nyelők figyelembevételét (szén-dioxid esetén pl.: az erdőtelepítés révén elérhető csökkentést). Ez utóbbit nevezték el nettó elszámolás mechanizmusnak.

A Kiotói Egyezmény hosszú jogi háttérmunka és politikai egyeztetés után 2005. február 16-án lépett érvénybe. Ez a folyamat elsődlegesen Oroszországtól és az Amerikai Egyesült Államoktól függött. Mivel az USA féltette a gazdaságát a kibocsátás-csökkentéssel járó anyagi következményektől, így az egyezmény sorsa az orosz ratifikálástól függött. Ennek oka, hogy az USA után, amely 1990-es CO₂ kibocsátás 23,4%-ért volt felelős, Oroszország volt a második legnagyobb kibocsátó: önmagában az 1990-es kibocsátási szint 17,8 százalékát képviselte. (táblázat + ábra)

A megállapodás életbe lépésének feltétele volt, hogy azt legalább 55 olyan ország ratifikálja, amelyek együttesen a fejlett országok 1990. évi kibocsátásának minimum 55 százalékát adják. A két kritérium együttesére azért volt szükség, mert 1990-ben az első négy ország (USA, Oroszország, Kína és Japán) összesen a kibocsátás több mint 55%-ért voltak felelősek.

Hazán a Kiotói Jegyzőkönyvhöz történt 1997-es csatlakozásakor 6%-os csökkentést vállalt az 1985-1987-es évek átlagát tekintette alapul. Ennek jelentőségét az adja, hogy ekkor az üvegházhatású gázok kibocsátása 115,4 millió tonna volt, de a rendszerváltáskor összeomló nehézipar miatt ez a mennyiség 1990-re 98 millióra tonnára csökkent. A gazdaság hanyatlása miatt végül 2005-re (a Kiotói Jegyzőkönyv hatálybalépésekor) már csak 79 millió tonna volt a kibocsátás. A gazdasági válság és Magyarország gazdasági szerkezetváltása miatt az üvegházhatású gáz (CO₂) kibocsátás 2012-ben már csak körülbelül 73 millió tonna volt. Ezzel szemben a kiotói vállalásunk 108,5 millió tonnája kifejezetten könnyű vállalásnak tekinthető. A jövő már nem lesz ilyen egyszerű, mivel a dohai vállalásokért már tennie is kell az országnak.

A Jegyzőkönyv fő célja az volt, hogy az első lépés legyen az üvegházhatású gázok termelésének visszaszorításához vezető úton. A kiotói szigorítások igen rövid távú és a szükségesnél lényegesen könnyebben elérhető célok voltak, amit sajnos így sem sikerült teljesíteni.

Bár a Jegyzőkönyvet aláíró országok nagy része tartotta magát a vállalásához, a világ összes kibocsátása mégis 51,3%-al nőtt (21 523 156 ezer tonnáról 32 578 645 ezer tonnára) 1990 és 2011 között. Ennek fő okozói Kína (400,2%-os kibocsátási szint változás – 6 537 606 ezer tonna többlet) és India (298,3%-os kibocsátási szint változás – 1 147 143 ezer tonna többlet). E mellett számos kisebb szennyező is jelentősen növelte kibocsátását (például Irán – 309,2%-os kibocsátási szint változás – 422 743 ezer tonna többlet) és több nagyobb kibocsátónál is emelkedés figyelhető meg (például USA – 108,9%-os kibocsátási szint változás – 450 265 ezer tonna többlet).

A kudarc ellenére a kidolgozott módszer jó, kis finomítással a jövőben is alkalmazható. A rendszer legfontosabb eleme a rugalmassági mechanizmus.

7.2.1 Rugalmassági mechanizmusok

A rugalmassági mechanizmusok alap gondolata két tényen alapszik:

- A kibocsátás-csökkentés költségei különböző országokban eltérőek, mivel a technológiák fejlettségével és a kibocsátás-csökkentés határfokának növekedésével a további kibocsátás-csökkentés költsége exponenciálisan nő.
- Az antropogén eredetű üvegházhatás globális jelenség, hatását tekintve az, hogy az adott kibocsátás-csökkentés hol történik, kevésbé lényeges.

A jegyzőkönyvbe foglalt rugalmassági mechanizmusokat az 1. táblázat tartalmazza.

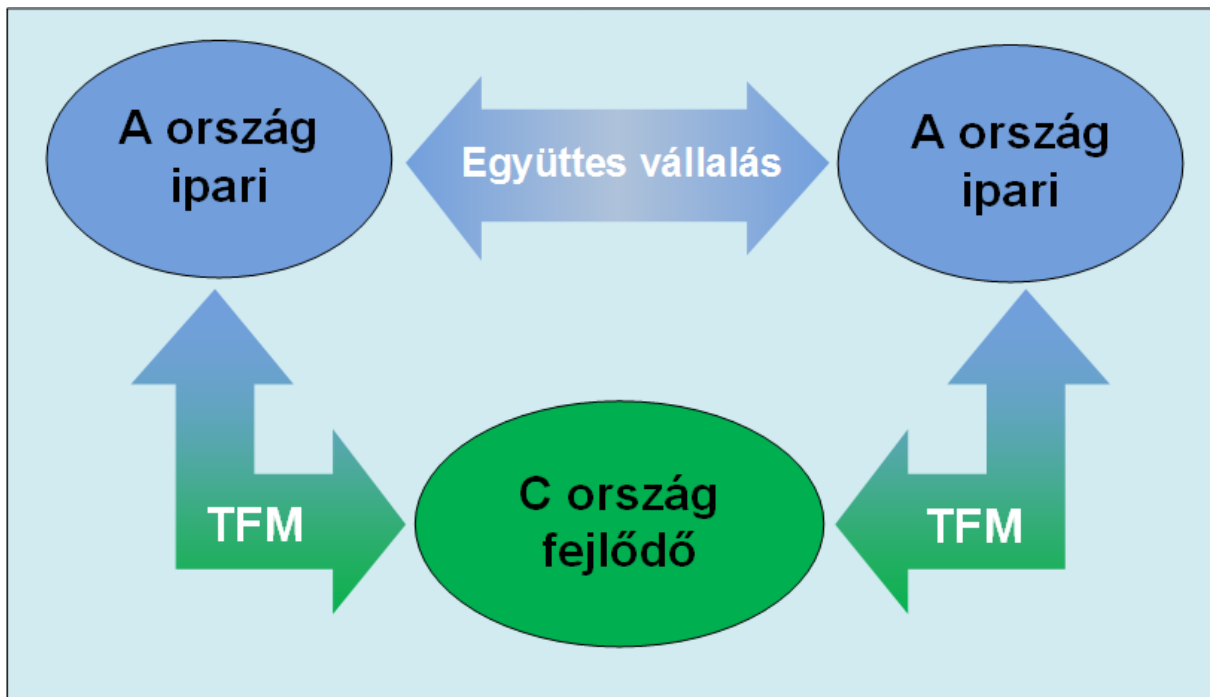
22. táblázat A jegyzőkönyv által biztosított rugalmassági mechanizmusok (<http://klima.kvvm.hu/index.php?id=29>)

Név	Mely országok között	
Együttes végrehajtás, EV (joint implementation-JI)	Kibocsátás-csökkentési vállalással rendelkező országok között, amelyek ratifikálták a Kiotói Jegyzőkönyvet	Egy cég másik országban beruház egy olyan projektbe, melynek eredményeként kibocsátás-csökkenés jön létre, ennek a csökkentésnek egy részét a cég „haza viheti” és otthon ennyivel többet bocsáthat ki. Fontos feltétel, hogy a beruházás csak a kibocsátás-csökkentés miatt legyen kifizetődő.
Nemzetközi kibocsátás kereskedelem	Kibocsátás-csökkentési vállalással rendelkező országok között, amelyek ratifikálták a Kiotói Jegyzőkönyvet	Bizonyos szektorokban az üvegház kibocsátás mennyisége hosszabb távú engedélyekhez kötött. A cég, amely kevesebbet bocsát ki, mint amennyire engedélye van, a felesleget eladhatja, míg olyan cégek, melyeknek a kibocsátása több mint az engedélye, engedélyeket kell venni másoktól.
EU buborék (EU burden sharing)	Az EU-15 között, a Jegyzőkönyv értelmében a csatlakozó országok nem vehetnek részt benne 2012-ig.	Az EU-15 közösen vállalt 8%-os kibocsátás-csökkentést, amelyet a tagállamok együttesen teljesítenek úgy, hogy egymás között állapotodnak meg a kibocsátás-csökkentés mértékében.
Tiszta fejlesztési mechanizmus, TFM (clean development mechanism-CDM)	Kibocsátás-csökkentési vállalással rendelkező országok és a fejlődő országok között	Az együttes végrehajtáshoz hasonló mechanizmus, amely esetén a beruházás fejlődő országban történik, a projektet egy nemzetközi tanács felügyeli és a haszon részben a rendszer fenntartására és a klímaváltozás hatásainak fokozottan kitett fejlődő országok megsegítésére szolgál.

7.2.1.1 Együttes végrehajtás (EV)

Az EV célja, hogy a Jegyzőkönyvet ratifikált országok egymást segítve ériék el a közös célt. E szerint, ha egy érintett ország (vagy annak egy vállalkozása) egy másik érintett országban emissziócsökkentést okozó tevékenységet valósít meg, akkor az előbbi ország a csökkentés határfokától függően kibocsátás-csökkentési egységeket (Emission Reduction Unit, ERU) kap az utóbbi országtól. Ez a lehetőség 2008-tól áll fent, de a 2000 után megvalósult beruházások utólag is beszámíthatóak.

Ezt csak akkor lehet elszámolni, ha bizonyított az addicionalitás, azaz az a tény, hogy az adott tevékenységet a befogadó ország nem valósította volna meg saját erőből. Az így szerzett ERU-okat fel lehet használni saját kötelezettség teljesítésére, de értékesíteni is lehet a nemzetközi piacon.



49. ábra Együttes végrehajtás (EV)

7.2.1.2 Tiszta fejlesztési mechanizmus (TFM)

A fejlett országoknak lehetőségük van teljesítéseiket egy fejlődő országban is teljesíteni, amivel szintén közelebb juthatnak vállalásaikhoz. Ebben az esetben szintén emisszió csökkentési beruházásokat kell megvalósítani. A TFM esetében egy fejlett ország (vagy annak egy cége) károsanyagkibocsátás csökkentéssel járó beruházást valósít meg egy fejlődő országok csoportjába tartozó ország területén.

(Ezen országok a Kiotói Jegyzőkönyv alapján szennyezőanyag kibocsátás ellenőrzésére nem kötelezettek.) Az emissziós jogokat ebben az esetben CER-nek "certified emissions reductions" vagy TFM kreditnek nevezik. Mint az EV esetében itt is 2008-tól van lehetőség elszámolni e krediteket, de a beruházások 2000-től érvényesíthetők.

23. táblázat. Nem közlekedési eredetű CO₂ kibocsátás ezer tonnában

Helyezés	Ország	1990	1993	1996	1999	2002	2005	2008	2011	Részesedés	Kumulatív
1	Kína	2177,7	2498,768	2841,263	3115,974	3776,828	5463,704	6684,651	8715,307	26,8%	26,8%
2	Egyesült Államok	5040,365	5187,981	5504,413	5677,923	5799,088	5999,245	5844,582	5490,631	16,9%	43,6%
3	Oroszország	--	1863,338	1506,084	1458,929	1500,777	1587,526	1645,598	1788,136	5,5%	49,1%
4	India	578,6187	690,7636	814,4159	951,1372	1007,495	1181,398	1471,769	1725,762	5,3%	54,4%
5	Japán	1046,983	1064,343	1134,953	1156,376	1199,945	1241,262	1216,252	1180,615	3,6%	58,0%
6	Németország	990,6338	892,9356	890,2963	838,8848	855,3303	847,3587	823,3112	748,4856	2,3%	60,3%
7	Irán	202,1115	237,8168	262,9547	317,9032	365,1125	451,0578	512,049	624,8554	1,9%	62,2%
8	Dél-Korea	242,1318	330,641	396,9028	423,5814	467,9952	493,8007	521,7701	610,9538	1,9%	64,1%
9	Kanada	470,5868	485,4576	519,9892	566,3825	567,56	623,7502	578,2483	552,5565	1,7%	65,8%
10	Szaúd-Arábia	208,0244	232,9276	250,0802	264,0445	311,6248	401,9268	421,6363	513,5268	1,6%	67,4%
11	Egyesült Királyság	601,8245	582,6191	588,8544	556,8934	561,6751	583,0636	563,8723	496,7992	1,5%	68,9%
12	Brazília	237,3323	257,9652	306,6835	335,7094	346,6224	370,7567	427,4023	475,4093	1,5%	70,4%
13	Mexikó	302,1576	316,8273	332,6578	363,3847	379,08	397,8058	452,7937	462,2929	1,4%	71,8%
14	Dél-Afrika	297,9768	318,9894	352,2765	376,646	379,9767	432,4129	489,9699	461,565	1,4%	73,2%
15	Indonézia	155,979	200,0213	238,5016	264,923	285,8121	330,7949	370,1906	426,7895	1,3%	74,5%
16	Olaszország	415,409	412,1997	423,4916	440,5825	451,8268	471,8854	449,7486	400,9392	1,2%	75,7%
17	Ausztrália	267,6012	283,2861	302,3127	355,3382	374,5899	412,6138	425,2362	392,2861	1,2%	76,9%
18	Franciaország	367,682	368,5674	390,4612	403,2676	401,7274	413,9621	428,5457	374,3273	1,1%	78,1%

19	Spanyolország	224,1359	230,6198	237,3815	298,6677	337,7575	379,3778	360,1034	318,6437	1,0%	79,1%
62	Türkmenisztán	--	19,095	18,19978	19,0736	34,18472	47,98736	55,98046	51,85311	0,16%	
63	Líbia	42,40762	36,87615	41,76377	39,69436	48,37572	56,4356	56,78157	49,66926	0,15%	
64	Magyarország	66,75009	58,9576	59,36268	58,25256	57,45421	59,49867	56,0523	49,56284	0,15%	
65	Dánia	57,10724	59,1792	72,47593	57,58385	53,13928	51,86772	54,21517	46,66476	0,14%	
66	Norvégia	34,78403	34,15031	39,84245	44,07739	42,40905	42,05884	40,02858	45,86907	0,14%	
	Világ	21523,16	21502,35	22507,61	23459,25	24924,89	28261,77	30256,22	32578,65		

7.3 Kiotó után

A Kiotói Jegyzőkönyv vállalásai 2012 végéig tartottak, így a zárást megelőző években tartott konferenciák (Bali, Koppenhága, Bangkok, Cancún) során kiemelt szerepet kapott a hogyan tovább kérdése. A fő kérdés az volt, hogy lehet-e, van-e értelme további vállalásokat tenni, illetve az országok körét kibővíteni az időközben fejlett országokká válókkal. A konferenciák jellemzően semmilyen érdemi eredményt nem hoztak, így az utolsó esélyként megtartott durban konferencián – mivel új, világméretű megállapodást nem sikerült kötni – egy vállalási időszak hosszabbítás mellett döntöttek. Ez a vállalási időszak 2013-ban indult, de a nem született döntés annak időtartamáról, de 2020-ban egy új rendszert terveznek bevezetni.

Ebben a folyamatban az EU erején felüli, példamutatásra ösztönző vállalásokat tesz. Ilyen például a 2008-as „20-20-20-as” energia- és éghajlat-politikai csomag, amelyben az EU kötelezte magát arra, hogy:

- 20%-al csökkenti az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását;
- 20%-al mérsékli az energiafogyasztást az energiahatékonyság javítása révén;
- 20%-át energiaszükségletének megújuló energiaforrásokból fedezi.

7.3.1 Koppenhága

A 2009-es koppenhágai csúcs elsődlegesen a fejlődő országok jövőjéről és a fejlődésük környezetre gyakorolt hatásáról szólt. A tervek szerint a fejlődő országok kibocsátás-szabályozási és adaptációs intézkedéseit 2020-ra évi 100 milliárd dollárral fogják támogatni. Egy kérdés maradt nyitottan ez ügyben ki milyen arányban fog e támogatásban részt venni. Eddig hat forrásból (angol, dán, francia, német, svéd és az Európai Bizottság), az első három évre átlagosan évi két-milliárd dollár támogatási felajánlás érkezett, ami igen távol van a vállalt céltól.

Ezt a különbséget a fejlődő országok képviselői rendszeresen, minden konferencián kiemelik. A cél egy ütemezett finanszírozási program kidolgozása lenne, ami a jelenlegi világgazdasági helyzetben hosszú távon is valószínűtlennek látszik.

Külön tárgyalandó azon fejlődő országok ügye, akiket a klímaváltozás miatt ért vagy fog érni jelentős természeti vagy gazdasági kár. Ezen országok jellemzően nem járultak hozzá számottevően a klímaváltozáshoz, így joggal vetik fel a fejlett országok (anyagi) felelősségét. A kompenzálás kérése rendre az USA teljes ellenállásán bukik meg.

Míg a fejlett országok képviselői jellemzően megelégedettségüket fejezték ki a koppenhágai eredményeket, addig, a fejlődő országok delegációi valamint a civil szervezetek keményen bírálták az elfogadott záródokumentumot.

7.3.2 Cancún

A Kiotói Jegyzőkönyv folytatására a mexikói Cancúnban 2010-ben 194 részt vevő állam képviseletével megrendezett nemzetközi klímakonferencia eredménye egy új megállapodás tervezet volt, mely a koppenhágai konferencia kudarcát próbálta enyhíteni és előkészíteni az új klíma-megállapodást. A konferencia központi témája az Oxfam nemzetközi segélyszervezet klímakatasztrófákról szóló jelentése volt. E szerint 2010 első kilenc hónapjában kétszer annyi – 21 ezer – ember halt meg a klímaváltozáshoz köthető katasztrófák miatt, mint egy évvel korábban. 2015-re pedig a klímaváltozás által kedvezőtlenül érintett emberek száma meg fogja haladni a 375 millió főt (Oxfam annual report 2010-2011).

A cancúni konferencia sokak által meglepetéssel fogadott záródokumentumában elfogadták, hogy 2 Celsius fok növekedést engedélyeznek a globális felmelegedés mértékében az ipari forradalom előtti szinthez képest. Arról viszont, hogy ezt hogyan kívánják elérni, majd csak egy jövőbeni csúcson kívánnak dönteni. A konferencia számunkra másik fontos és elkeserítő tapasztalata (mint azt a Magyar Külügyi Intézet megfogalmazza): „A cancúni konferencia egészéről és a záró csúcsról megállapítható, hogy míg az EU elkerülte, hogy újra a partvonalon találja magát, nem tudott komoly hatást gyakorolni a folyamat egészére. Ilyennek tekinthetnénk például a kiotói jegyzőkönyv kérdésében elért bármilyen érdemi előrelépést, az önkéntes vállalások rendszerének pontosabb és közös módszerrel történő számszerűsítését – ám ezekre nem került sor.” (<http://www.hiia.hu/pub/displ.asp?id=TFHIBL>)

A konferencián megerősítették a koppenhágai konferencia azon döntését, hogy létrehoznak egy nemzetközi Zöld Klíma Alapot (Green Climate Fund, <http://gcfund.net>), amelybe évente 100 milliárd dollárt gyűjtenek össze 2020-ig. A pénzből a fejlődő államok klímavédelmi erőfeszítésének támogatnák. A programban részt vevő 194 ország hozzáállását jól mutatja az alap 2012 év végi állapota. (24. táblázat)

24. táblázat A Green Climate Fund költségvetésének állapota 2012 végén (Forrás: GCF és saját gyűjtés)

Résztvevő ország	Vállalás (ezer USD)	Befizetés (ezer USD)
Ausztrália	513	513
Dánia	608	862
Finnország	648	648
Franciaország	326	326
Japán	500	500
Németország	1035	282
Észak-Korea	2 099	2 099
Hollandia	286	286
Norvégia	700	337
Spanyolország	0	92
Svédország	752	752
Svájc	0	80
Egyesült Államok	0	275
Egyesült Királyság	647	0
Többi 183 ország	91 887	0
Összesen	100 000	7 050

7.3.3 Dohai konferencia

A 2012 novemberében tartott dohai konferencia elvben a kiotói út folytatását kellett volna, hogy hozza. Sajnos már az elején – amikor az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentéséből többek között kiszállt az Egyesült Államok és Kanada – tisztán látszott, hogy csak részeredmények érhetőek el.

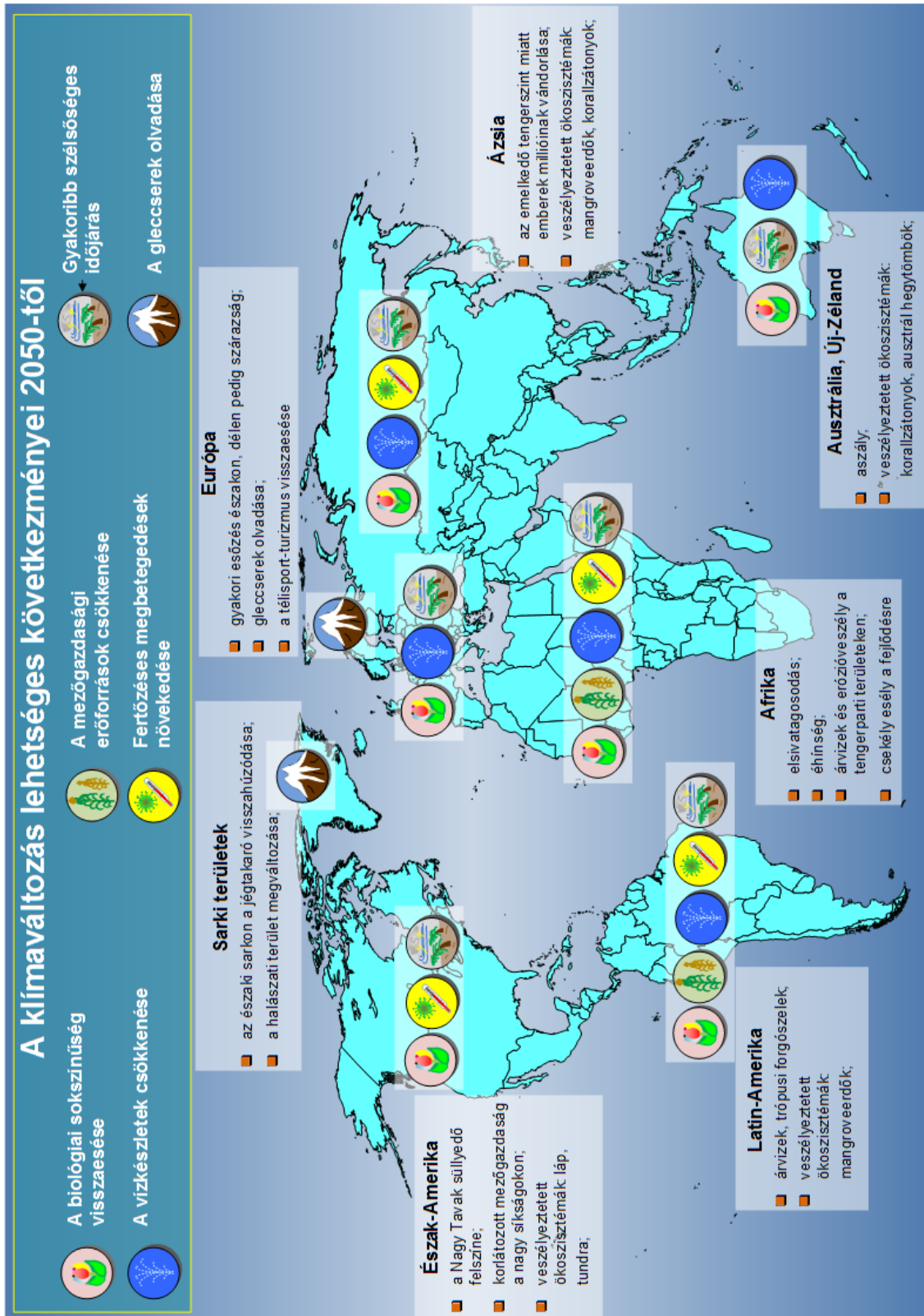
Nagy diplomáciai erőfeszítések árán – melynek gazdasági vonzatait, például az USA gazdaságának további erősödését a Föld kizsákmányolásával – sikerült elérni, hogy számos fejlett ország új kibocsátás-csökkentési vállalásával folytatható marad a Kiotói Jegyzőkönyv. További eredmény, hogy 2013-tól, folytatódik egy új megállapodás előkészítése.

Sajnos a Kiotói Jegyzőkönyv továbbvitelét vállaló országok olyan kevesen maradtak, hogy az összesített vállalásuk meg sem közelíti a tudományos publikációkban meghatározott legkisebb elégséges mértéket. Ennek a kudarcnak a hatása – főleg a CO₂-koncentráció és a klíma változásának kb. 30 éves eltolódása miatt – várhatóan csak 15-20 év múlva éri el a katasztrofális szintet.

Ez az eredmény azért is elkésztő, mivel már 2005 körül is látszott, hogy a jelenlegi klimatikus viszonyaink megtartásához még a kiotói vállalások sem elégségesek. Sajnos a közel hét éves előkészítő munka csak azt érte el, hogy a néhány elkötelezett fejlett ország mellett szinte az összes fejlődő ország kiemelten fontosnak tartja a szennyezőanyag-csökkentést, mint a földi környezet állapotának megtartásának egyetlen útját.

7.3.4 A Kiotói Jegyzőkönyv folytatása

A Kiotói Jegyzőkönyv folytatásának legfontosabb rendelkezése szerint érintett fejlett országok átlagosan 18%-os kibocsátás-csökkentést vállalnak 2020-ig 1990-hez képest. A megállapodásból kimaradtak a legfontosabb országok (például USA, Japán, Oroszország, Kanada), amelyek csak egy teljesen újratárgyalt majdani világszintű megállapodásban hajlandók részt venni. A teljes vállalás mértéke nem éri el az IPCC szerint szükséges 25-40%-os kibocsátás-csökkentési követelménytől, ami előfeltétele egy kisebb mértékű – legfeljebb 2°C-os – hőmérséklet-növekedésnek. Ha rövidesen nem sikerül új megállapodást kötni – aminek igen kicsi a valószínűsége – akkor a klímaváltozás sokkal súlyosabb következményekkel fog járni, mint azt az IPCC előre jelezte.



50. ábra A klímaváltozás 2050-től várható következményei

7.4 Hivatkozott rendeletek:

306/2010.(XII.23.) [21/20021.(II.14.)] Kormányrendelet a levegő védelméről,

4/2011.(I.14.)VM [14/2001. (V. 9.) Köm-EüM-FVM együttes] rendelet a levegőterheltségi szint és kibocsátási határértékekről,

6/2011.(I.14.)VM [7/2001.(VIII.3.)KöM] rendelet a légszennyezés és levegőterheltségi szint vizsgálatáról;

4/2002.(X.7.)KvVM rendelet a légszennyezettségi zónákról;

3/2002.(II.22.) KöM rendelet a hulladékok égetéséről;

10/2001. (IV. 19.) KöM rendelet a VOC kibocsátás korlátozásáról;

10/2003. (VII. 11.) KvVM rendelet a nagy tüzelőberendezések működési feltételeiről;

23/2001.(XI.13.)KöM rendelet a kistüzelő berendezések kibocsátási határértékeiről;

7/2003.(V.16.)KvVM-GKM együttes rendelet az összkibocsátási határértékekről

EU RENDELETEK

Az Európai Parlament és Tanács 850/2004/EK Rendelete a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyező anyagokról (POP);

Az Európai Parlament és Tanács 2037/2000/EK Rendelete az ózonkárosító anyagokról;

8 Esettanulmányok

8.1 Imissziós vizsgálat

Az anyagban felhasználásra került Kiss László diplomamunkája.

8.1.1 Vizsgálat célja

A mérés célja, hogy Galabovo városában kivitelezés alatt lévő Maritza East 1 projekt építési területének környezeti levegőminőségét megvizsgáljuk. Az építési terület déli szomszédságában található szintén lignit tüzelésű hőerőmű téglakéménye vélhetően jelentős hatással van az építési terület levegőminőségére. Itt több ezer fő dolgozó végzi napi munkáját, hogy a Maritza East 1 hőerőmű időben felépüljön. A vizsgálat célja, továbbá, hogy az építési területen kialakult levegőminőség humán egészségügyi kockázatának becsléséhez mérésen alapuló eredményekkel szolgáljon, és az ebből fakadó potenciális balesetvédelmi kockázat minimalizálható legyen.

8.1.2 A vizsgálat időpontja

Műszeres analízis SO₂ és NO_x vizsgálatára (mérőbusz):

B-1 mérési pont: 2009.07.15.16:00-2009.08.17.16:00,

Abszorpciós mérőpont (elnyelető oldatos mintavételek) SO₂ kimutatására:

A-1 mérési pont: 2009.07.16. 10:15-2009.08.13. 00:00

A-2 mérési pont: 2009.07.16. 12:00-2009.08.13. 00:00

A-3 mérési pont: 2009.07. 16. 13:00-2009.08.13. 00:00

A-4 mérési pont: 2009.07.16. 16:00-2009.08.13. 00:00

SO₂ diffúziós mintavétele:

D-1 mérési pont: 2009.07.16. -2009.08.14.,

D-2 mérési pont: 2009.07.16. -2009.08.14.,

D-3 mérési pont: 2009.07.16. -2009.08.14.,

D-4 mérési pont: 2009.07.16. -2009.08.14.,

D-5 mérési pont: 2009.07.16. -2009.08.14.,

D-6 mérési pont: 2009.07.16. -2009.08.14.,

A mérési pontok kijelölésének szempontjai

A levegőtisztaság-védelmi immissziós méréseket 11 kijelölt pontokon végeztük el. A mérési pontok kialakításánál több szempontot kellett figyelembe venni ahhoz, hogy legprecízebben meg tudjuk becsülni humán egészségügyi kockázatot.

Főbb szempontok:

- a munkaterület legforgalmasabb részei, ahol a legtöbb dolgozó van kitéve a szennyezésnek
- az emissziós forrás és a meteorológiai viszonyok együttes hatásából kialakult legszennyezettebb területek
- műszerek biztonsága, áramforrás
- elnevelő oldatos mintavevők klimatizált helységben való elhelyezése.

Megjegyzés: A mérési pontok kijelölésénél korlátozó tényező volt, hogy a mintavevőket és a mérőbuszt csak az építési területen tudtuk kihelyezni és üzemeltetni. Ennek az volt az oka, hogy a mérés megrendelője (Alstom Maritza East 1 projekt vezetője), nem szeretne volna a szomszédos állami tulajdonban lévő erőmű vezetősége tudomást szerezze az immissziós vizsgálatról. Ugyanis a méréssel szerették volna bebizonyítani, hogy az állami lignit tüzelésű erőmű felelős az ott jelenlévő légszennyezésről.

Véleményem szerint a feltételezésük jogos volt, de a több mint 100 m-es pontforráshoz a mérési, mintavételezési pontok túl közel voltak. Így a füstgázból származó szennyeződések csak távolabbi pontokon érték el a talajhoz közeli szintet.

A mérési pontok elhelyezkedése az uralkodó szélirányok miatt sem volt szerencsés, mert az észak-nyugati irányból fújó szél, a szennyeződést a vizsgálati helyektől távolabb, a városi (Galabovo) lakóházak felé vitte.

A 11 pont B-1; A, B, C, D; D-1, D-2, D-3, D-4, D-5, D-6 megnevezést kapta.

8.1.3 Mérőrendszerek elhelyezése

A mérőbusz elhelyezkedése:

A B-1 pont: Bulgáriában, Galabovo városában, az Alstom Maritza East 1 lignittüzelésű hőerőmű építési területén található. A forrástól számítva északi irányban 800 m-re, az igazgatóságnak kialakított mobil épületrendszer mellett lett kialakítva.

Abszorpciós mintavevők elhelyezkedése:

A pont: Az építési terület északi részén, a hűtőtoronytól 60-70 m-re észak-kelet irányban, egy légkondicionált konténeriroda első emeletén található. A mintavevőcső az épület északi falán a talajszinttől 4 m-re lett kivezetve.

B pont: A mérési pont a terület nyugati felén, a pontforrástól észak-nyugatra elhelyezkedő konténerépület földszinti légkondicionált helységében lett elhelyezve. A mintavevőcső a szoba nyugat felé néző ablakán, a talajszinttől számítva 2 m magasan lett kivezetve.

C pont: Az építési területen kívül, de a Maritza East 1 projekt területéhez tartozó irodáknak kialakított konténerek egyik, szintén légkondicionált helységében lett elhelyezve. Ez a mérési pont a terület dél-nyugati sarkától 100 m-re található. A mintavevőcső 2,5 m-es magasságban az iroda keleti oldalán helyezkedik el.

D pont: A mérési pont a terület közepén, a kazánoknak épített tornyok közül a keleti oldalon lévő tetején helyezkedik el. Az épület tetőszerkezetén található nem klimatizált konténerben lett elhelyezve a műszer, melynek mintavevőcsöve a konténer észak-keleti sarkánál lett rögzítve. Ez a mintavevő pont a talajtól számítva 60 m magasan volt.

A diffúziós mintavevő csövek elhelyezkedése:

D-1 pont: A terület keleti felén kialakított rézsűn, 1 m-es magasságban helyeztük el, a helyszínrajzon látható helyen.

D-2 pont: A terület északi felén lévő magasfeszültségű vezeték tartószerkezetén 1,8 m-es magasságban rögzítettük.

D-3 pont: Az építési terület keleti oldalán a második számú bejáratnál 2 m-es magasságban lévő rögzítettük.

D-4 pont: Az A- 4 pontnál bemutatott konténeren rögzítettük 60 m magasságban.

D-5 pont: A terület észak-nyugati felén elhaladó a sínpályák mentén húzódó drótkerítésen helyeztük el.

D-6 pont: A területtől délre elhelyezkedő tó mentén haladó kelet-nyugat irányú 455-ös közúttól 30 m-re 1,5 m-es magasságban helyeztük el.

A mérési pontok elhelyezkedését és a szomszédos hőerőmű légszennyező pontforrásának térbeli viszonyát a mellékletben csatolt műholdas felvételen és helyszínrajzon lehet értelmezni. A mérési helyek kialakítása

csakis a megrendelő üzemi területén volt lehetséges, így a mérési eredményeket nagyban befolyásolták a meteorológiai viszonyok.



8.1.4 Mérési/mintavételi körülmények

A mérőbuszt telepítési helyén a folyamatos mérést gépjármű forgalom a közvetlen közelben nem befolyásolta.

A mintavételi pontok kialakítása megfelelt a 17/2001. KöM rendelet „ A légszennyezettség és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos jogszabály, 3. számú mellékletében megfogalmazott feltételeknek. A mintavétel magassága 1,5 és 2,5 méter között lett kialakítva, a faltól mért távolság meghaladja az 50 centimétert. Közvetlen közeli szennyező forrás a mérést nem befolyásolta.

A mérőhelyek kiválasztását befolyásolta, hogy a mintavevő készülék 230 V feszültséget igényel, és zárt helyiségben kell elhelyezni. A mintavevő fej szabadba telepíthető.

8.1.4.1 Meteorológiai viszonyok

A meteorológiai adatokat a műszeres mérések időtartama alatt folyamatosan rögzítettük 5 perces adatrögzítési gyakorisággal. A nagy mennyiségű meteorológiai adathalmazt napi, heti és teljes mérés időtartamára vonatkozóan szélirány gyakorisági ábrákban dolgoztuk fel. A tekintélyes mennyiségű ábrák input adatait nem sorolom fel táblázatosan, hogy elkerüljem a dolgozatom oldalszámának túlnövekedését. A szélirány gyakorisági ábrákat az azonos napi mérési eredmények diagramjai mellett közlöm, így alkalom nyílik a szélirányok és adott mérési pont koncentrációinak összevetésére is. A készített szélrózsákon szélirányok arra mutatnak, amerre a szél fúj!

8.1.4.2 Külső beszállítók, analitikai és egyéb vizsgálatokat végzők

Külső beszállítók, analitikai és egyéb vizsgálatokat végzők:

A minták laboratóriumi analízisét a BÁLINT ANALITIKA Kft. végezte, amely a Német Nemzeti Akkreditáló Testület (DAR) által, DAP-PL-3432.00 számon nyilvántartott akkreditált Laboratórium.

Az analitikai jegyzőkönyv száma: 09-60/591-726

8.1.5 A mérés menete

A vizsgálat kezdetének napján. a területet körbejártuk a mérési pontokat kijelöltük, majd meg kezdtük a műszerek beüzemelését.

A mérőbuszt áram alá helyezése előtt leföldeltük, majd azután a kapcsolószekrényekben minden áramkört zártunk és bekapcsoltuk a műszereket. Elsőként a klímatiszáló berendezést kapcsoltuk be, a mérőfülke megfelelő hőmérsékletének beállításához. A gázelemzőket a megfelelő kimenetei jelre állítottuk, és az adatgyűjtőhöz csatlakoztattuk. A mintavevő csonkot a busz tetején lévő nyílásra rögzítettük és a szivattyúkat beüzemeltük. A meteorológia állomást a mérőbusz melletti irodaépülethez erősített 6 m-es árboc tetejére helyeztük ki, majd az ehhez tartozó adatgyűjtő egységet beüzemeltük. A berendezések üzemi állapotba kerülésig (kb. 2-3 óra) az abszorpció és diffúziós mintavevőket kihelyeztük a megfelelő pontokra.

A 50-50 -ét mérőhengerrel belemértük az elnyelető edényekbe, majd az átszívás sebességének ($60\text{m}^3/\text{h}$) beállítása után ellenőriztük csatornák működését. A 4 műszer összes csatornáját rendben találtuk, így a méréseket elkezdtük és kezdetük időpontját feljegyeztük. Az minták begyűjtését heti rendszerességgel végeztük, és az edényeket újra 50cm^3 oldattal töltöttük fel.

Megjegyzés: A D ponton lévő abszorpció mintavevő oldata elpárolgott, mivel nem légkondicionált helyiségben volt. A mintavételezés hibáját úgy küszöböltük ki, hogy nem 50cm^3 , hanem 100cm^3 kálium-tetrakloro-merkurát-oldatot mértünk be.

A Radiello mintavevő csövekbe a tölteteket elhelyeztük, majd kihelyezésük után feljegyeztük az expozíció időpontjának kezdetét az adott mérési pontokon. A mintákat szintén heti rendszerességgel gyűjtöttük, és cseréltük a trietanolamin tölteteket.

Megjegyzés: A D-5 pont 3. számú mintája, a kihelyezést követő nap eltűnt. A Radiello mintavevőket ellenőriztük, vagy kevésbé feltűnő helyekre rögzítettük, ennek ellenére nem sikerült elkerülni ezt a problémát. Tehát a mintavevők elhelyezésénél figyelembe kell venni az eltűnésének kockázatát.

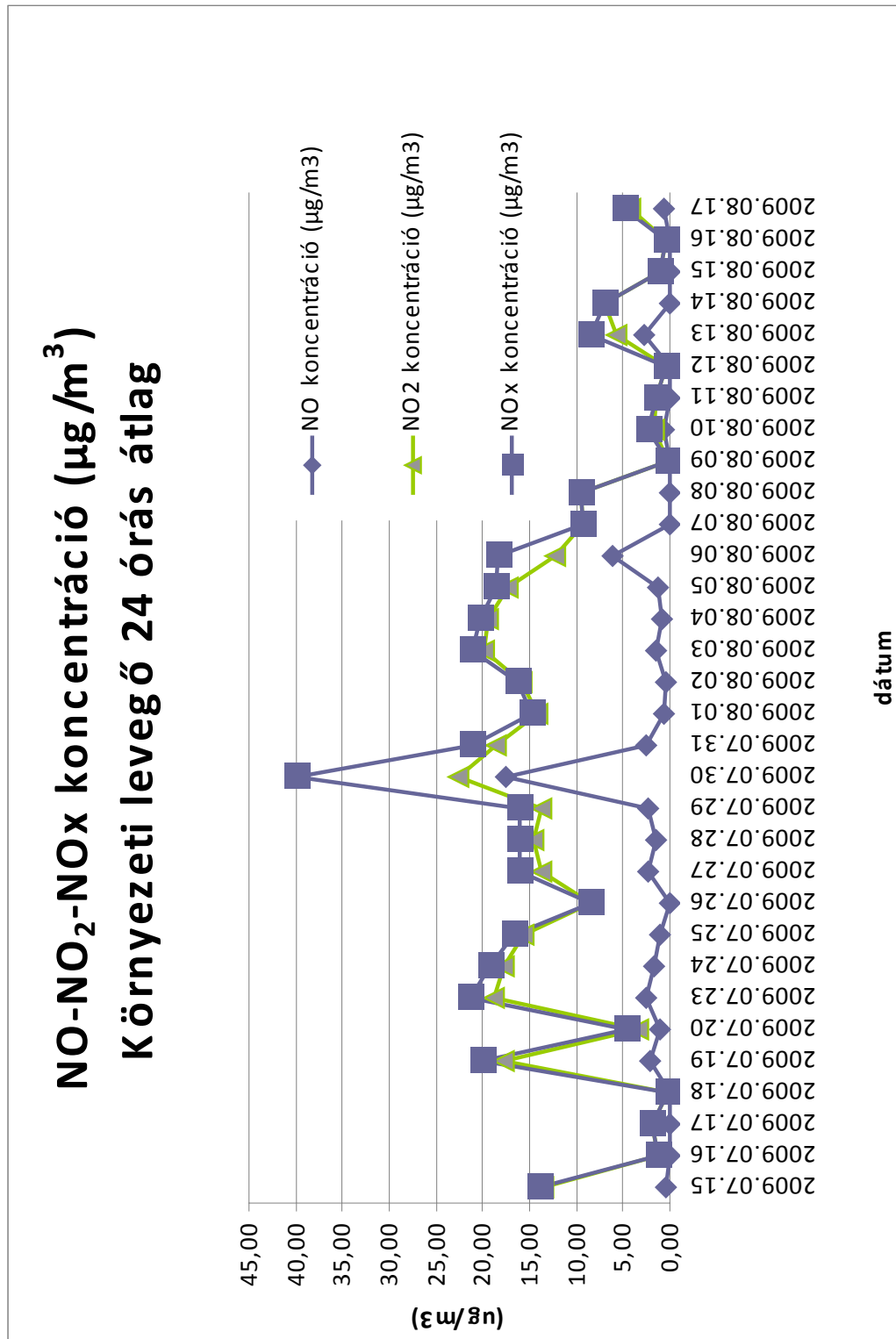
A mintavevők kihelyezése után a nullgázgenerátor és a kalibráló palack segítségével ellenőriztük a műszerek pontosságát és beállítottuk a nulla és span értékeket, amelyek a műszerek kalibrálásánál már bemutattam. Az ellenőrzéseket az első héten naponta, a mérés hátralevő részében hetente végeztük el.

Megjegyzés: A mérés során a gázelemzőkkel kapcsolatos meghibásodásokat a műszerek kalibrációjánál már közöltük. Egyéb rendellenességet nem tapasztaltunk az immisziós vizsgálat alatt.

8.1.6 Mérési eredmények

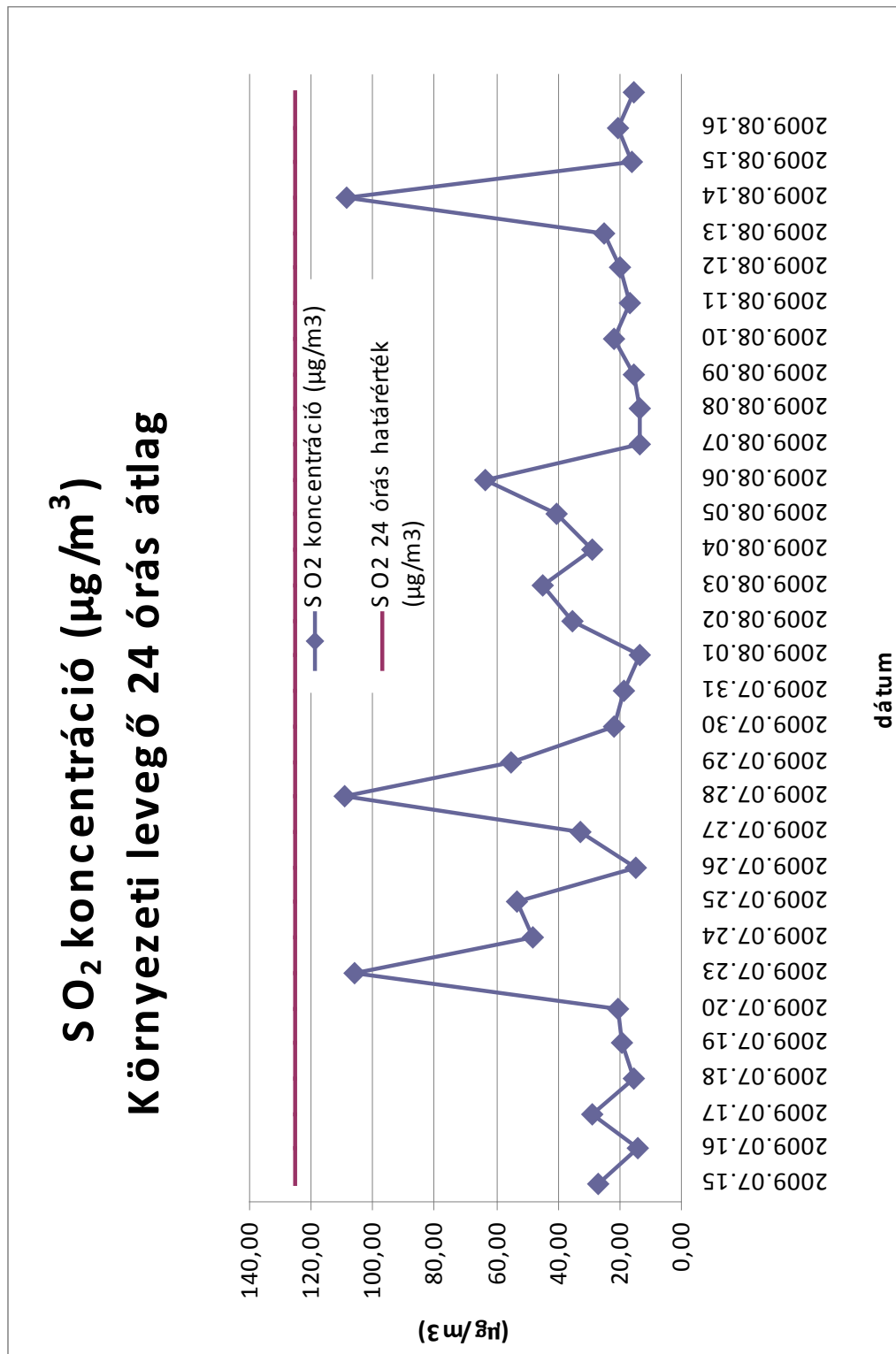
A mérőbusz műszeres mérési eredményei (B-1 mérési pont):

24 órás NO-NO₂-NO_x átlagkoncentrációk alakulása:



51. ábra. A műszeres nitrogén-oxidok vizsgálatának 24 órás átlagolásából kapott eredmények

A 24 órás SO₂ átlagkoncentrációk alakulása:



52. ábra. A műszeres SO₂vizsgálat 24 órás átlagolásának eredményei

A B-1 mérési ponton a 24 órás átlagok a kéndioxid tekintetében nem haladták meg a 24 órás határértéket. Az koncentráció több napon is határérték-közeli volt. A nitrogén-dioxidok koncentrációira 24 órás határértéket a bolgár jogszabályok nem szabtak ki, de a magyar határértékekhez viszonyítva sem alakult ki kritikus immissziós állapotok.

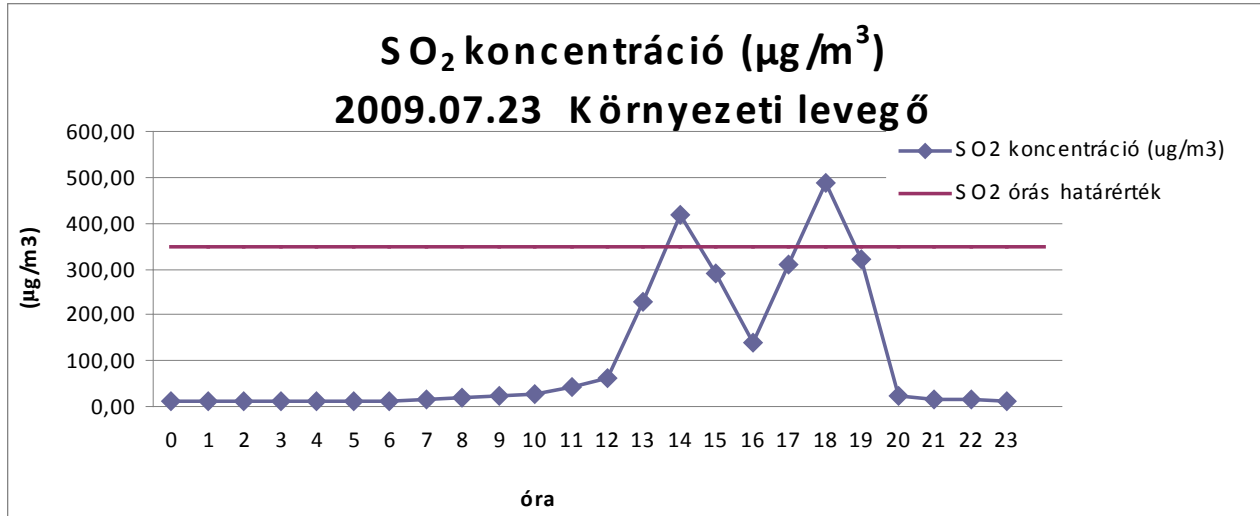
Az óras átlag koncentrációk bemutatása párhuzamban a szélirány gyakorisági ábrákkal:

Az eredmények bemutatást csak 3 nap esetében teszem meg, egyrészt a dolgozatom oldalszámának korlátozottsága miatt, másrészt az x. nap adatai jellemezték a mérés eredmények túlnyomó részét. A további 2 nap óras átlagolásnak adatait kiugrónak minősíttem, ahol határérték túllépések is tapasztalhatóak voltak.

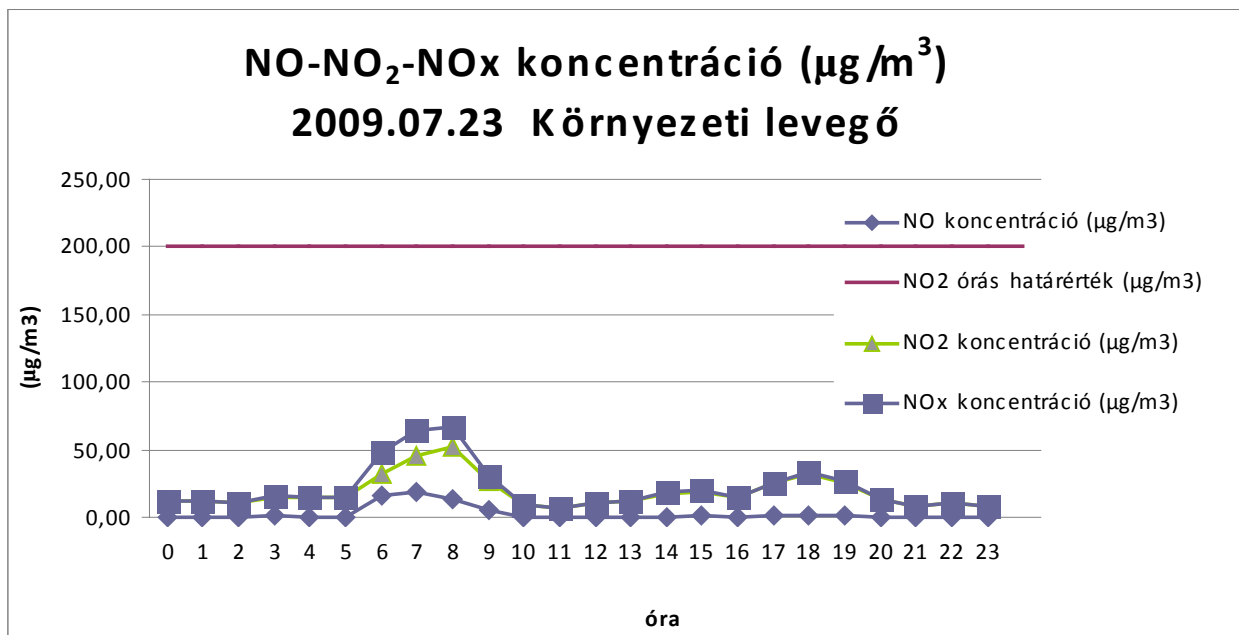
7. mérési nap 2009.07.23.

Az ötödik mérési nap és a hetedik nap között történtek a már említett technikai meghibásodások. A mérőbusz klimatizálásából adódó problémákat ez idő alatt elhárítottuk. Innentől kezdve a folyamatos mérés biztosított volt áramszünet és különösebb problémák nélkül.

Bár az uralkodó szélirány nem az építési terület felé mutat, voltak olyan órák, melyekben az erőmű építési terület erősen érintett volt. Ezt tükrözik az SO₂ határérték feletti koncentrációi 14 és 19 óra között. A nitrogén-oxidok koncentrációjának alakulásában is látható egy csúcs, kora reggeli délelőtti órákban határérték túllépés nincs. A maximális SO₂ koncentráció majdnem elérte az 500 µg/m³ értéket.



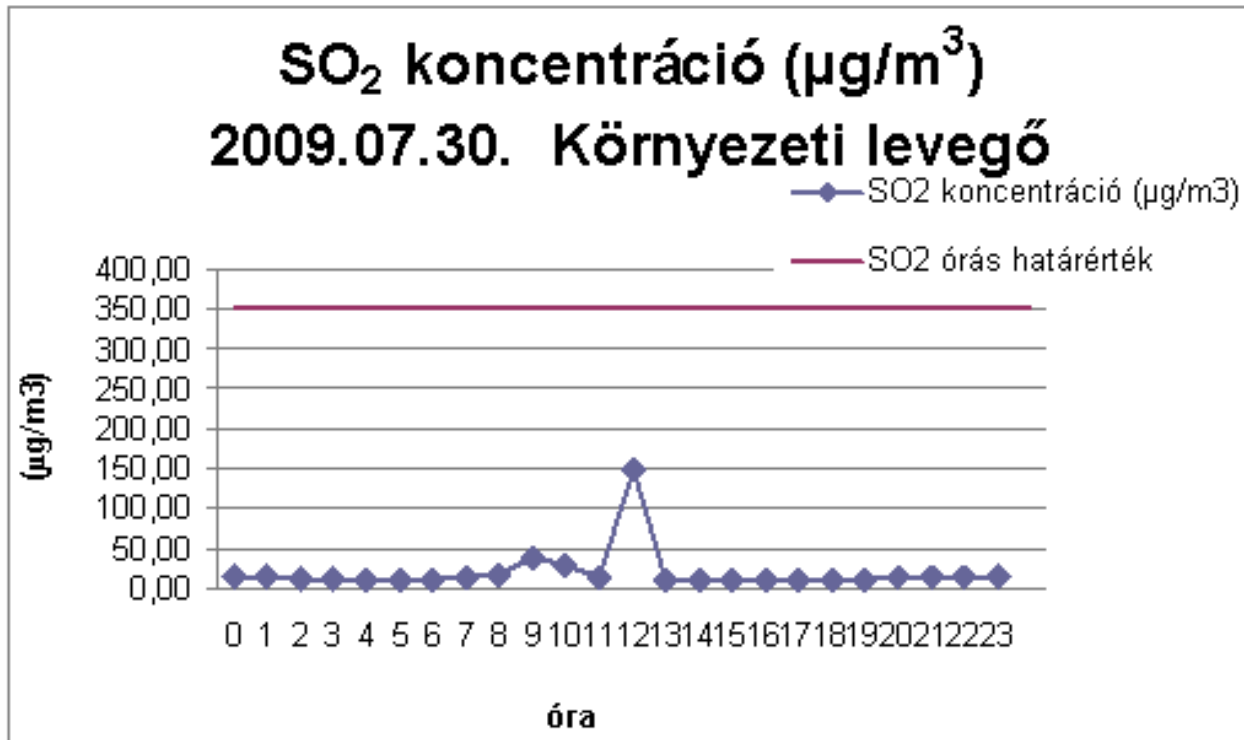
53. ábra. A műszeres SO₂vizsgálat órás átlagolása 7. napon



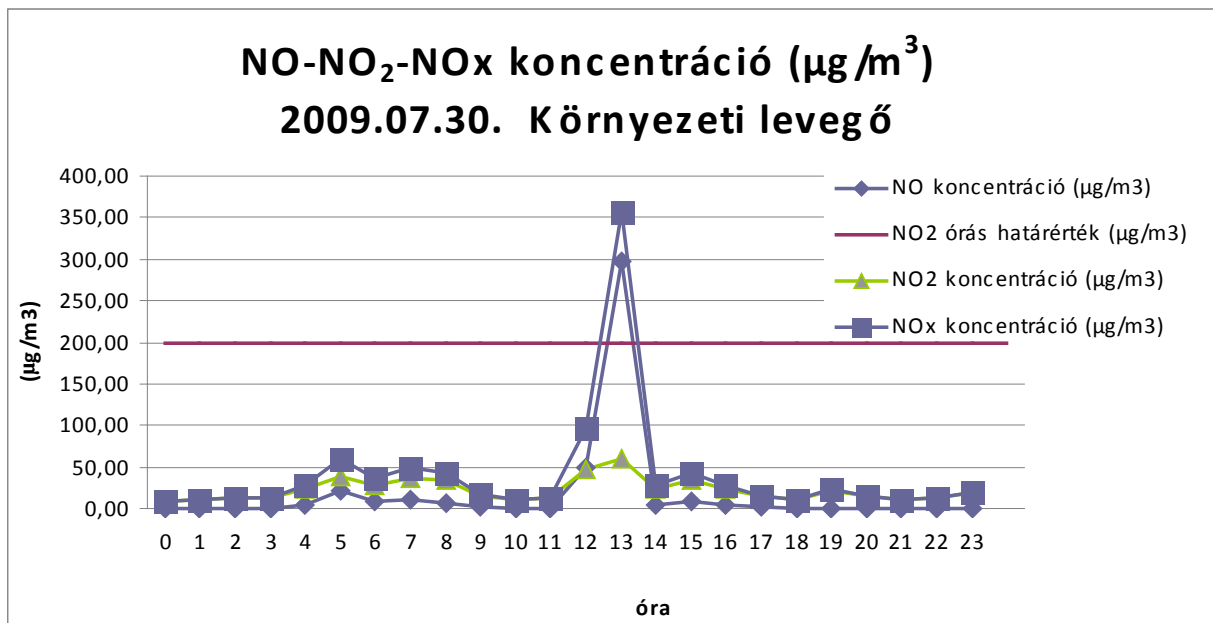
54. ábra. A műszeres nitrogén-oxidok vizsgálatának órás átlagolása 7. napon

14. mérési nap 2009.07.30.

A mérési napon jelentkezett csúcserték minden vizsgált komponens esetében. Az NO_x komponens estében ez határérték túllépéssel is járt. A 12 és 13 óra közötti csúcserték is egyértelműen a tüzelésből származtathatók, mivel az NO_x és SO₂ csúcscok együtt vannak jelen. Az SO₂ csúcs értéke eléri a 150 µg/m³-t, az NO_x csúcs értéke a 350 µg/m³ értéket.



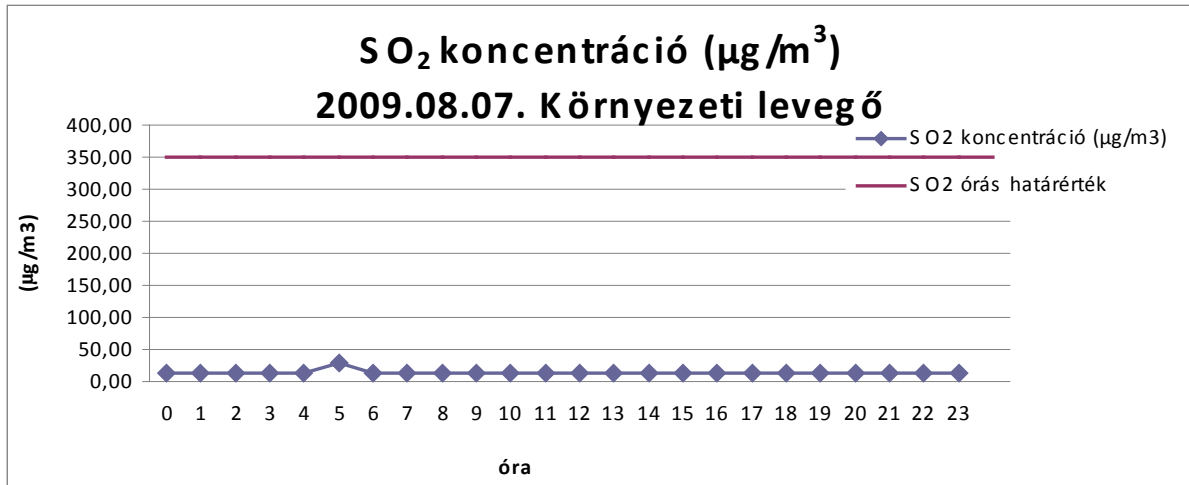
55. ábra. A műszeres SO₂vizsgálat órás átlagolása 14. napon



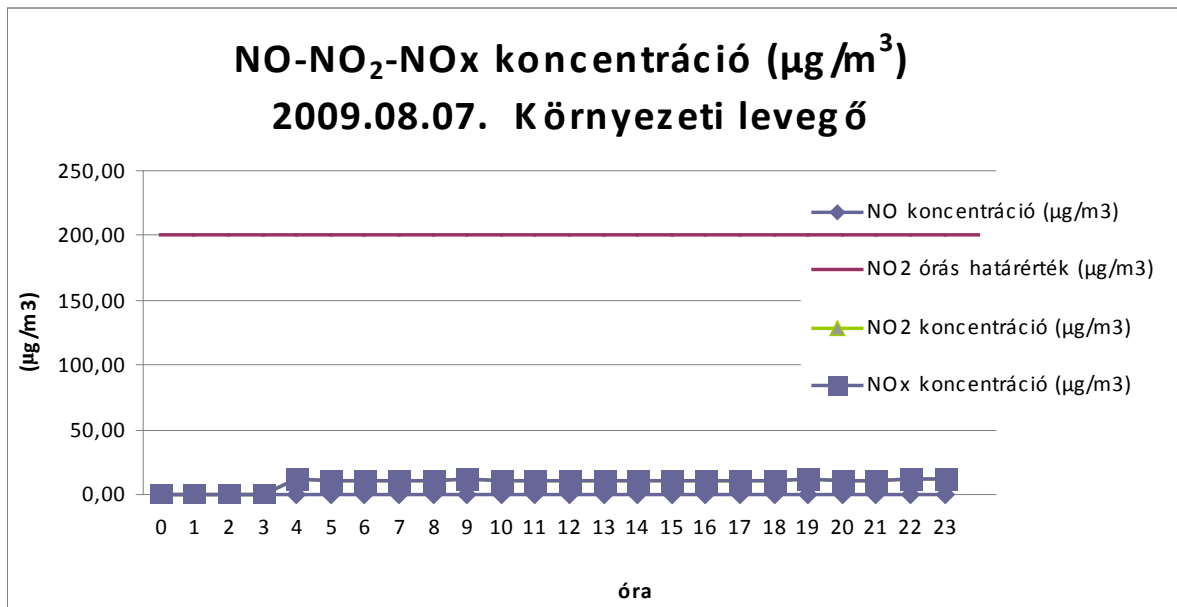
56. ábra. A műszeres nitrogén-oxidok vizsgálatának órás átlagolása 14. napon

22. mérési nap 2009.08.07.

Az építési terület vizsgálati napok 60 %-nál jellemző immissziós állapotot, ezen mérési nap eredményei jól szemléltetik. Kiugró események nem történtek, persze ettől eltérő, de jelentősnek nem mondható csúcsok némely napokon jelentkeztek.

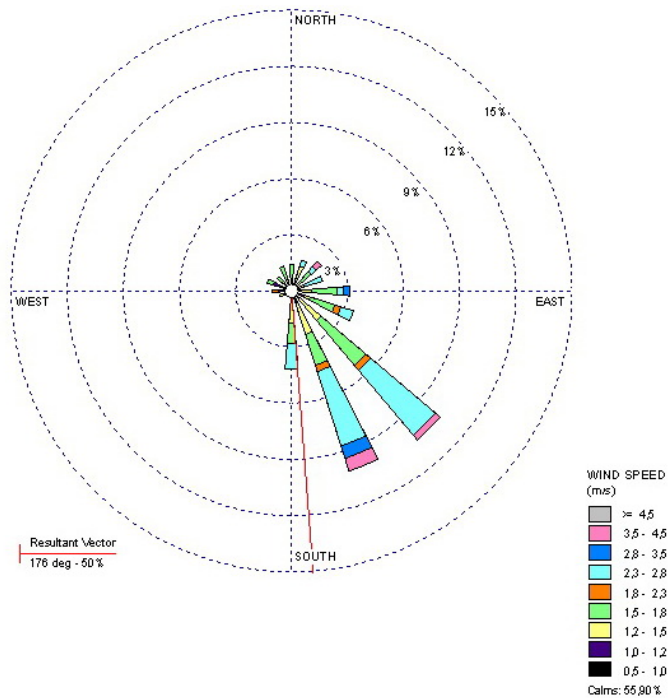


57. ábra. A műszeres SO₂vizsgálat órás átlagolása 22. napon

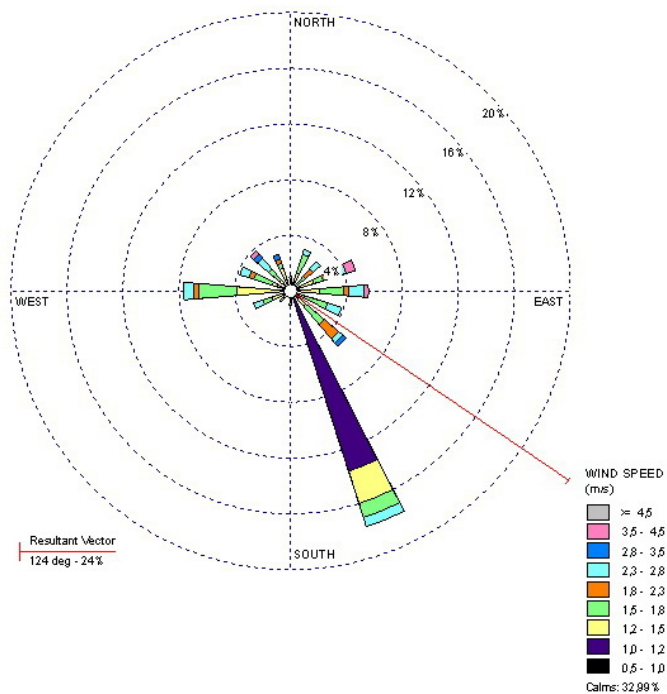


58. ábra. A műszeres nitrogén-oxidok vizsgálatának órás átlagolása 22. napon

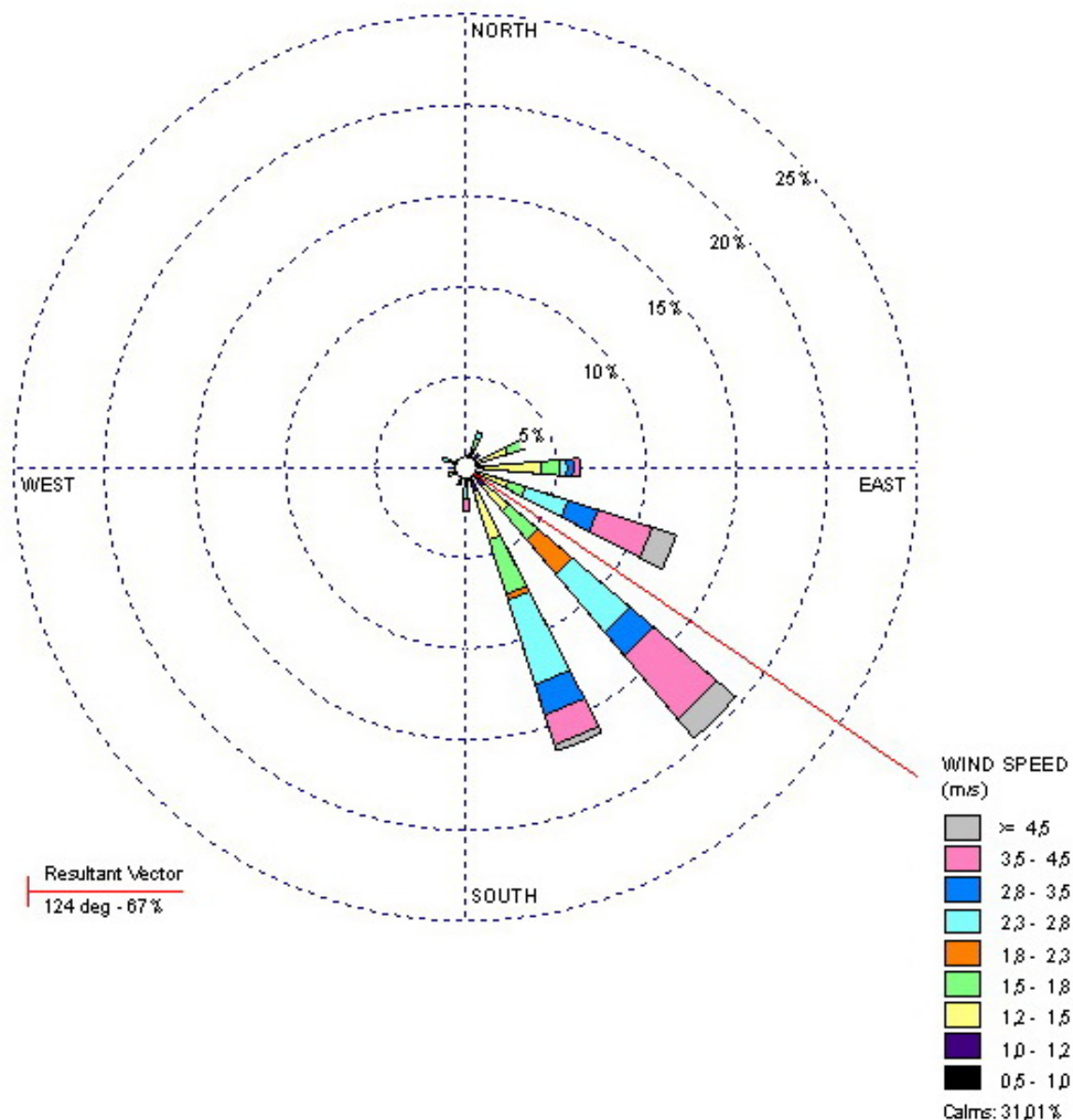
A következő ábrák rendre a 7., 14. és a 22. mérési napok szélirány gyakoriságát mutatják:



59. ábra A 7. mérési nap szélrózsája



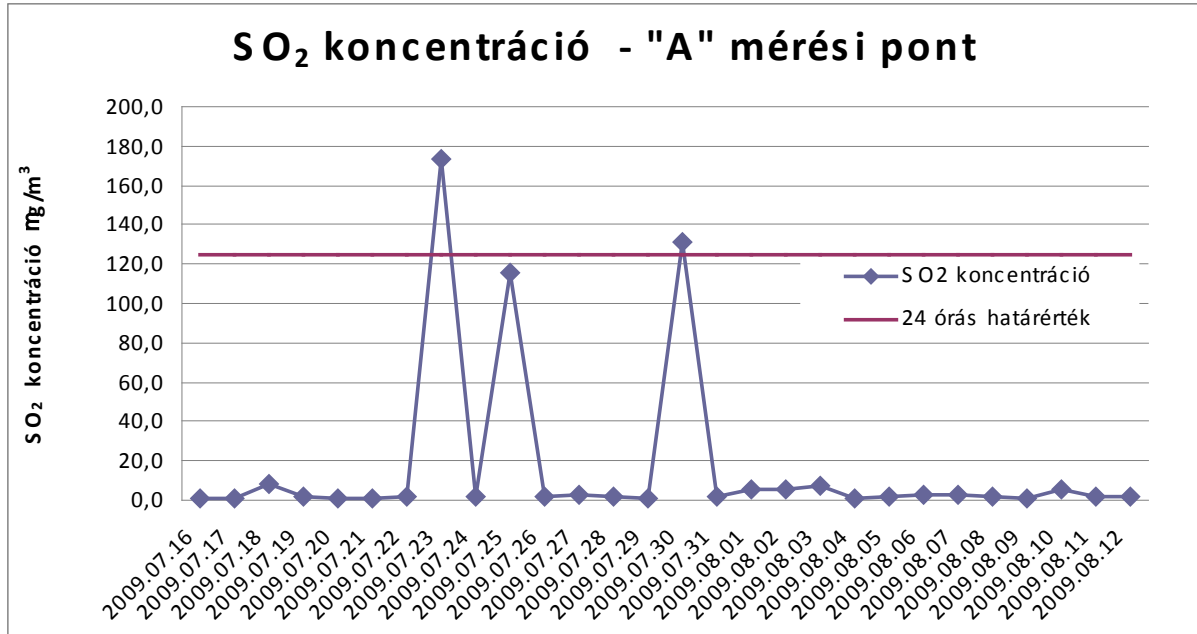
60. ábra A 14. mérési nap szélrózsája



61. ábra A 22. mérési nap szélrózsája

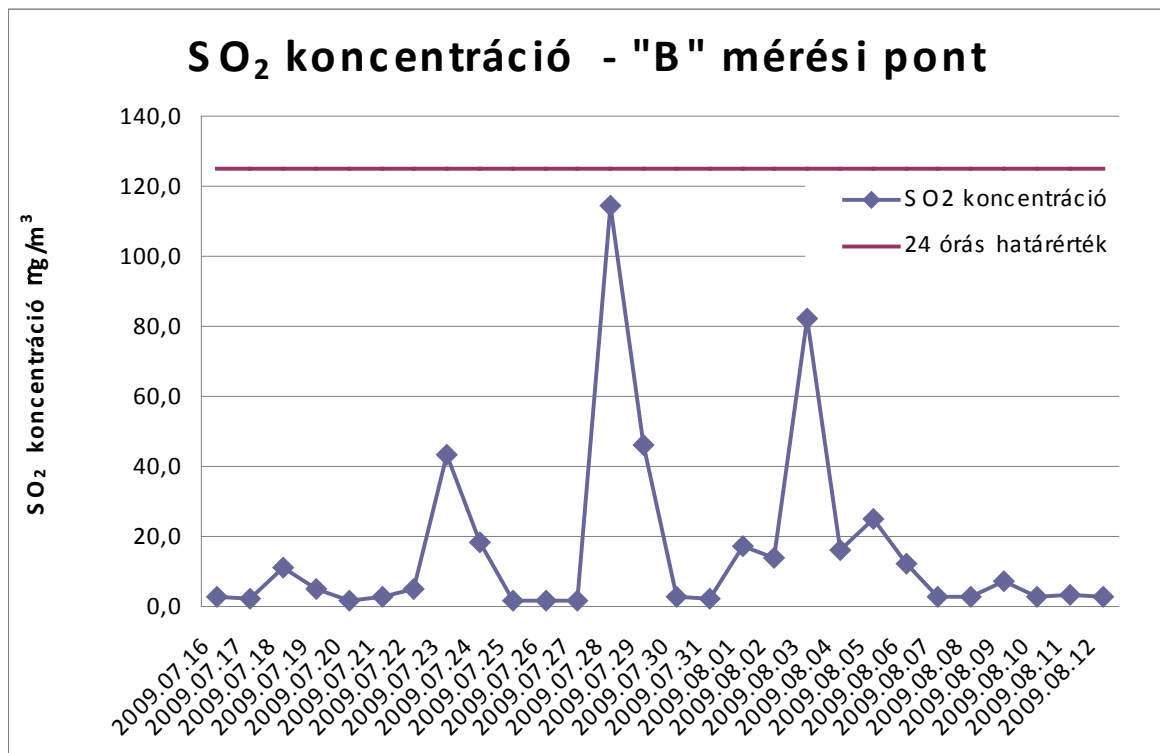
Az abszorpciós mintavételi pontok eredményei

Határérték túllépés állapítható meg az A mérési ponton július 23., és 30. napján is, valamint 25-én egy határérték közeli koncentráció volt kimutatható. A mérések többi napján jelentős SO₂ szennyezés nem volt tapasztalható az építési területen.



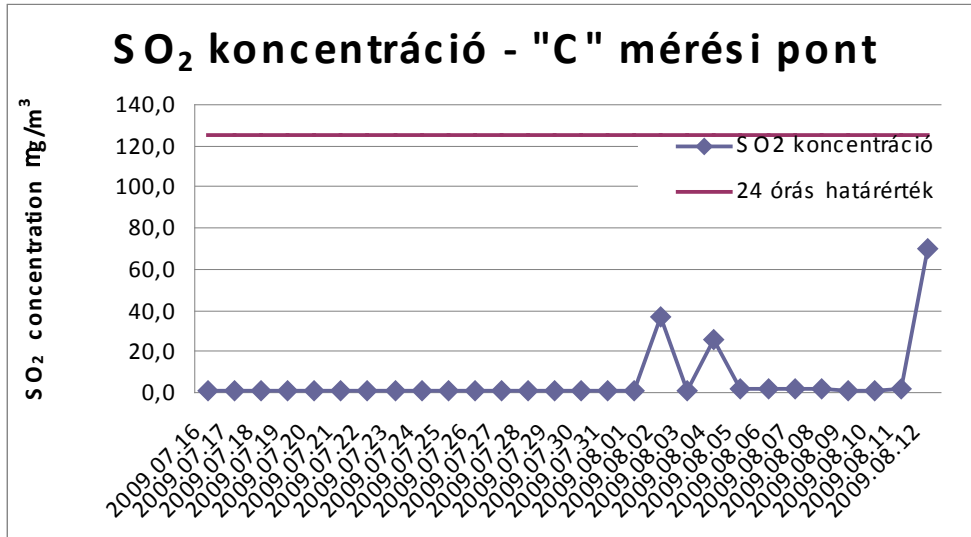
62. ábra. „A” mintavételi pont eredményei

Több jelentős csúcs is jelentkezett a B mérési ponton, de határérték feletti koncentrációt nem mértünk



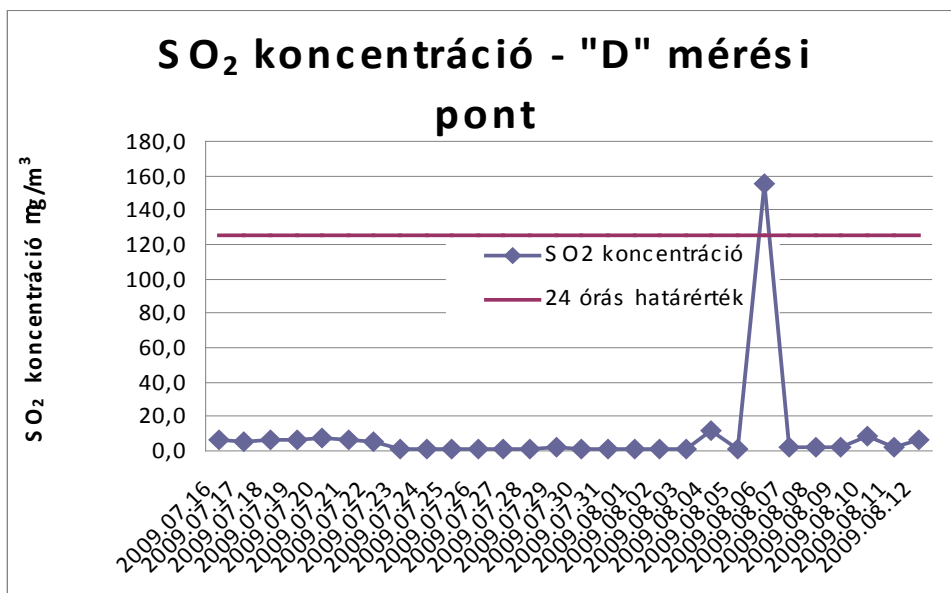
63. ábra. „B” mintavételi pont eredményei

A B mérési pontnál két jelentős csúcs is jelentkezett a mérés folyamán, de ezek messze határérték alatt voltak, az egyharmadát sem érték el.



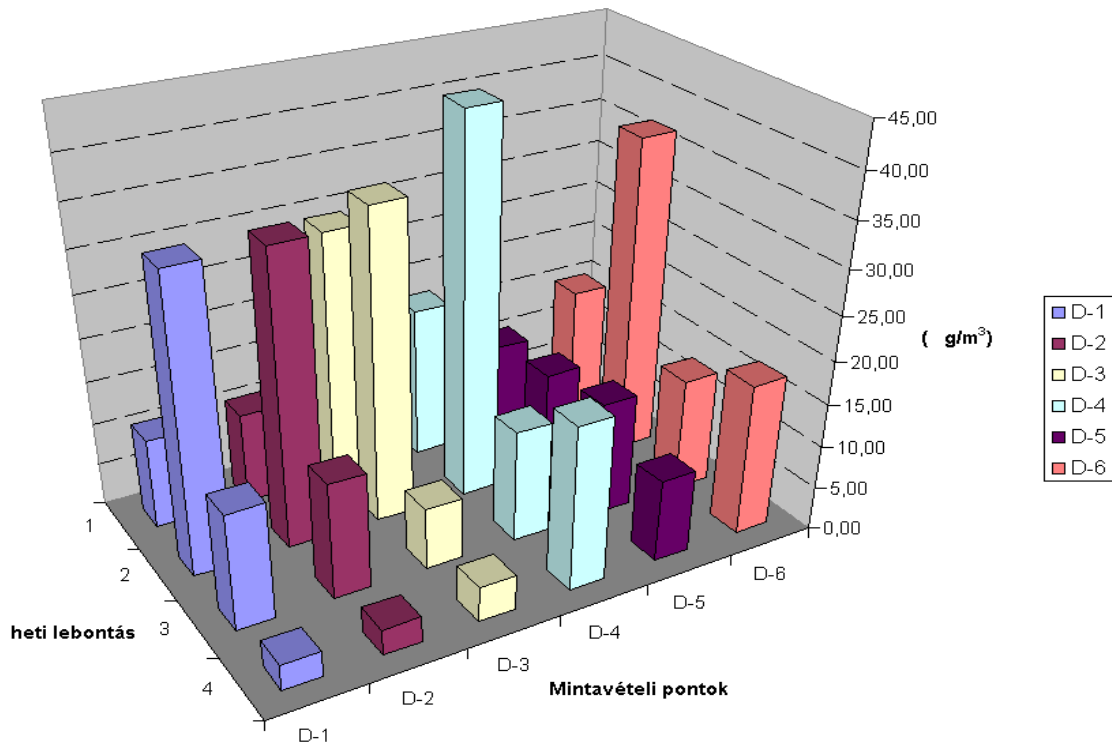
64. ábra. „C” mintavételi pont eredményei

A „D” mintavételi pont 60 m magasságban helyeztük el, a kazánokhoz épített lépcsőház és liftakna épülete legfelső szintjén, padlószinttől kb. 2 m-es magasságban, mely mindennapos építési munkaterület. A darukezelők és az itt dolgozók által beszívott levegő minősége augusztus 6. napján mutatott határérték feletti SO₂ szennyezettséget. A koncentráció csaknem 35 µg/m³-rel haladta meg a 125 µg/m³-es 24 órás határértéket



65. ábra. „D” mintavételi pont eredményei

Diffúziós mintavevőkkel mért heti átlagos SO₂ koncentráció



66. ábra A diffúziós mintavételi pontok eredményei

8.1.7 Értékelés

Az eredmények értékelése során megállapítottuk, hogy az óras SO₂ határérték túllépés a mérési napok folyamán többször előfordult, néha igen jelentős túllépéssel. A 24 órás határértéket csak 3 alkalommal lépte túl a terület terhelése a különböző mérési pontokon. A tájékoztatási küszöbértéket egyszer sem haladta meg. Nitrogén-oxidokra is igaz a megállapítás kivéve, esetükben az óras határérték túllépés egyetlen esetben fordult elő július 30-án.

Véleményem szerint ha a levegőtisztaság-védelmi méréseket nem az építkezési területen, hanem a pontforrástól délre, Galabovo belvárosában végezhetjük volna, gyakoribb és nagyobb határérték túllépéseket tapasztalunk.

8.1.8 Hivatkozott jogszabályok

Regulation No:9 From May 3, 1999 On *Limit Values For Sulphur Dioxide, Nitrogen Dioxide, Fine Particulate Matter And Lead In Ambient Air (Kén-dioxid, Nitrogén-dioxid, szálló por és ólom határértékei a környezeti levegőben)*

8.2 Városi körforgalom hatása

A forgalom légszennyezésének bemutatására Gauss modellt alkalmaztam (vonalforrásra), ehhez a városi forgalomszámlálásból számított mértékadó óraforgalmakat vettem alapul. A modell számos egyszerűsítést tartalmaz, így pontatlanság léphet fel. Tényleges eredményeket csak imisszió méréssel határozhatunk meg.

A szennyezőanyagok minőségét, mennyiségét és terjedését számos tényező befolyásolja:

- forgalom nagysága
- forgalom összetétele
- haladási sebesség
- szél sebessége és iránya
- út környezete (beépítettség, növényzet, stb.)
- légállapot stabilitása

8.2.1 Számítás módja

Károsanyag-kibocsátás:

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^z n_j e_{ij}}{3,6 \cdot 10^6}$$

E_i : az adott útszakaszon a teljes károsanyag-kibocsátás az „ i ”-edik komponensből

e_{ij} : a „ j ”-edik járműfajta kibocsátása az „ i ”-edik komponensből a járműfolyam tényleges sebességénél.

n_j : a járműfolyam járműszáma típusonként (személygépkocsi, tehergépkocsi, autóbusz)

Légszennyező anyag imissziós koncentrációja:

$$C_i = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{E_i}{\sin \alpha \cdot u \cdot \sigma_{zv}}$$

C_i : az imissziós koncentráció [mg/m^3]

E_i : az emisszió mértéke [$\text{mg}/\text{s} \cdot \text{m}$]

u : szélesebbesség [m/s]

σ_{zv} : folytonos vonalforrás esetén a függőleges turbulens szóródási együttható [m]

α : a szélirány és az út által bezárt szög [fok]

Turbulens szóródási együttható:

$$Df_{zv} = (Df_{z0}^2 + Df_z^2)^{\frac{1}{2}}$$

σ_z : folytonos pontforrás esetén a függőleges turbulens szóródási együttható [m]

σ_{z0} : a függőleges irányú kezdeti szóródási együttható (gépkocsinál: 1,5 m)

$$\sigma_z = 0,38p^{1,3} \cdot \left(8,7 - \ln \left(\frac{H}{z_0} \right) \right) \cdot x^{1,55 \exp(-2,35p)}$$

p : szélprofil egyenlet kitevője, értéke a Pasquill-féle stabilitási indikátortól függ (5. táblázat)

H : kibocsátás effektív magassága (gépkocsinál: 0,3 m)

z_0 : érdességi paraméter (6. táblázat)

x : kibocsátó forrástól mért távolság [m]

Stabilitási indikátorok meghatározásánál a besugárzás szintjét az alábbi módon vesszük figyelembe:

- gyenge: a napmagasság 35° alatt van
- mérsékelt: a napmagasság 35° és 60° között van
- erős: a napmagasság 60° felett van

8.2.2 Lámpás kereszteződés kibocsátásának számítása a körforgalom megépülése előtt

A számítás alkalmazásához először a rendelkezésre álló forgalomszámlálási adatokból a mértékadó órási forgalmat kellett meghatározni, melynek mértékegysége egységjármű/óra.

25. táblázat Forgalmatszámítási adatok

Forgalom adatok	személy- gépkocsi	motor- kerék- pár	busz	kisteher- gépjár- mű	nagyteher- gépjármű	szere- vény	kerék- pár	Összesen
4 órás (db)	5786	62	455	472	12	1	27	6815
Arány (%)	84,9	0,91	6,68	6,93	0,18	0,01	0,4	100
ÁNF (db/nap)	23201	249	1824	1893	48	4	108	27327

Az „egyes” és a csuklós busz egyenérték tényezője különböző. A forgalmatszámítási adatok nem térnek ki ennek a részletezésére, ezért a csuklós buszok arányát 15%-nak vettem és ez alapján számoltam át egységjárműre.

A 4 órás forgalom adatok Veszprém város önkormányzatának forgalmatszámítási adatai a körforgalom megépítése előtt. Az átlagos napi forgalmat (ÁNF) szintén ők határozták meg (27327 db/nap). A különböző járműtípusokra vonatkozó átlagos napi forgalomadatokat a 4 órás adatok típusonkénti arányából számoltam ki.

Az összes járműtípust átszámítottam úgynevezett egységjárműre táblázati adatok segítségével (7. táblázat). A személygépkocsihoz, a buszhoz, valamint a nehéz tehergépkocsihoz meghatároztak fajlagos emissziókat. A többi típust személygépkocsinak megfelelő egységjárműnek vettem.

Az önkormányzat által meghatározott számítási mód szerint a mértékadó órás forgalom az átlagos napi forgalom 10 %-a, tehát $MOF [Ej/h] = \frac{1}{10} \cdot \text{ÁNF} [Ej/nap]$.

Ez alapján:

26. táblázat Forgalmatszámítási adatok

Típus (egységjármű)	MOF (Ej/h)
Személygépkocsi	2409
Busz	155
Nehéz tehergépjármű	5

8.2.3 Számolás bemutatása a CO példáján

A számítás során átlagos körülményeket vettem alapul. A forgalom sebessége a kereszteződésben nagyjából 20 km/h. A mérési pont – ahol később a Pannon Egyetem mérőbuszával imissziós mérést végeztünk – szélmenti távolsága az úttól megközelítőleg 30 m, a szélirány és az út nagyjából 75°-os szöveget zár be. Veszprém időjárásnak havi adataiból – fél éves időtartamban – a szélesebességet 2,2 m/s-ban határoztam meg. A Pasquill-féle stabilitási indikátornál a mérsékelt nappali besugárzást vettem figyelembe. Az talajfelszín jellege alapján az érdességi paramétert 1,5-nek választottam. Mivel a források gépjárművek, ezért a függőleges irányú kezdeti szóródási együttható (1,5 m), és a kibocsátás effektív magassága (0,3 m) adott a számítási mód szerint.

Károsanyag-kibocsátás:

$$E_{CO} = \frac{2409 \frac{szgk}{h} \cdot 21400 \frac{mg}{km} + 155 \frac{busz}{h} \cdot 15400 \frac{mg}{km} + 5 \frac{tgk}{h} \cdot 16500 \frac{mg}{km}}{3,6 \cdot 10^6}$$

$$E_{CO} = 15,006 \text{ mg/km}$$

Folytonos pontforrás esetén a függőleges turbulens szóródási együttható

$$\sigma_z = 0,38 \cdot 0,143^{1,3} \cdot \left(8,7 - \ln \left(\frac{0,3m}{1,5m} \right) \right) \cdot 30m^{1,55 \exp(-2,35 \cdot 0,143)}$$

$$\sigma_z = 13,52 \text{ m}$$

Folytonos vonalforrás esetén a függőleges turbulens szóródási együttható

$$Df_{zv} = (1,5m^2 + 13,52m^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_{zv} = 13,605 \text{ m}$$

Légszennyező anyag imissziós koncentrációja:

$$C_{CO} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{15,006 \frac{mg}{km}}{\sin 75^\circ \cdot 2,2 \frac{m}{s} \cdot 13,605m}$$

$$C_{CO} = 0,414 \text{ mg/m}^3 = 414,15 \text{ } \mu\text{g/m}^3$$

Ezen metódus alapján határoztam meg a többi szennyezőanyag kibocsátását, melyeket táblázatosan összefoglaltam:

27. táblázat Szennyezőanyag kibocsátás

Szennyező anyag	E [mg/km]	σ_z [m]	σ_{zv} [m]	C [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
CO	15,006	13,52	13,605	414,15
CH	1,754	13,52	13,605	48,4
NO ₂	1,135	13,52	13,605	31,32
SO ₂	0,0132	13,52	13,605	0,37
PM ₁₀	0,2	13,52	13,605	5,86

A korábbi évek során üzemelő lámpás kereszteződés számított átlagos kibocsátása

8.2.4 A körforgalom építési fázisa alatt mért imisszió

A mérés során teljesült az imissziós mérésekre vonatkozó általános követelmény: az állomás levegő-mintavevő, beszívó nyílásait és a meteorológiai árbocot a környezeti tárgyak (épületek, fák) nem zavarták, a szabad égbolt szinte minden irányban legalább 45° szög alatt látható volt. A mintavételi pont 3 méter magasra került.

A közvetlen közelben épületek és fák is megtalálhatók voltak, de a levegő szabad áramlását nem korlátozták. A mérőbusz berendezéseinek stabil működéséhez szükséges állandó hőmérsékletéről termosztát vezérlésű hűtő-fűtő klíma gondoskodott.

Az egyhetes mérési időszakot (2012. március 26. – 2012. április 2.) az évszaknak megfelelő időjárás jellemezte, csak kissé borús, hűvösebb, de csapadékmentes napok voltak a meghatározóak.

A mérési eredményeket a műszerek más-más koncentrációban adják meg, így minden adatot szükségesszerű volt átszámolni $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -re. A jogszabályban meghatározott határértékek is ebben a mértékegységben vannak megadva, így könnyebbé válik az összehasonlítás.

Átszámításhoz felhasznált képlet:

$$C \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right] = 1000 \cdot \frac{\text{molekulatömeg}(\text{g/mol})}{\text{molekulatérfogat}(\text{dm}^3/\text{mol})} \cdot \text{ppm}$$

A gáz molekula-térfogatát az általános gáztörvény segítségével számíthatjuk ki.

$$pV = nRT$$

Ezt átrendezve:

$$V = \frac{nRT}{p}$$

p: nyomás [Pa]

V: térfogat [m³]

n: anyagmennyiség [mol]

R: egyetemes gázállandó (8,314 J/mol*K)

T: hőmérséklet [K]

A busz a mérési eredményeket az alábbi módon jeleníti meg:

28. táblázat Mérési eredmények koncentráció táblázata

Komponens	Kijelzett koncentráció
NO _x	ppb
O ₃	ppb
SO ₂	ppb
CO	ppm
PM ₁₀	μg/m ³
BTEX	ppb

Térfogati koncentrációk: a vizsgált szennyezőanyag térfogata az összes térfogatban.

- ppm 1:10⁶
- ppb 1:10⁹

Példa:

29. táblázat 2012. március 26. 0:00 mérési eredményei

NO [ppb]	NO ₂ [ppb]	NO _x [ppb]	O ₃ [ppb]	SO ₂ [ppb]	CO [ppm]	PM ₁₀ [μg/m ³]	Hőmérséklet [C°]	Nyomás [hPa]
1,2	3,7	4	46,8	39	0,158	29,3	13	991,2

Moláris térfogat és koncentráció kiszámítása:

A gázok moláris térfogata azonos állapotban független az anyagi minőségtől, tehát azonos hőmérsékleten és nyomáson minden komponens térfogata egyenlő.

$$V = \frac{1 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \cdot 286,15 \text{ K}}{99120 \text{ Pa}} = 0,024 \text{ m}^3 = 24 \text{ dm}^3$$

$$C_{NO} = 1000 \cdot \frac{30,006 \text{ g/mol}}{24 \text{ dm}^3/\text{mol}} \cdot 0,0012 \text{ ppm} = 1,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$$

Az adatsor nagy mennyisége miatt a további átváltásokhoz Excel táblázatot használtam. Ennek segítségével – ahol szükséges a jogszabályok alapján – meghatározható az óras koncentrációk maximuma, a napi átlagkoncentráció, illetve a napi 8 órás mozgó átlagkoncentrációk maximuma. 8 órás mozgó átlagot úgy számolunk, hogy 8 órát átlagolunk egy-egy óra csúsztatással. Tehát ha az első 8 óra 01 órától 08 óráig tart, akkor a következő 02 órától 09 óráig. Ezekből választjuk ki az adott napon a maximális értéket.

30. táblázat A nitrogén-dioxid, a kén-dioxid és a 10 mikrométeres porkoncentráció átlagértékei és maximumai

Dátum	NO ₂ (μg/m ³)		SO ₂ (μg/m ³)		PM10 (μg/m ³)
	Óras értékek maximuma	24 órás átlag	Óras értékek maximuma	24 órás átlag	24 órás átlag
03.26	32,6	19,9	n.a	n.a	33,6
03.27	77,6	31,8	16,3	12,8	41,6
03.28	53,5	23,2	12,5	11,5	42,9
03.29	49,6	20,3	11,2	8,8	53,8
03.30	38,3	19,0	12,8	9,6	24,3
03.31	27,2	14,8	10,4	8,5	21,2
04.01	40,6	14,4	10,7	8,3	24,6
04.02	84,9	29,3	9,1	5,6	21,8
Határérték	100,0	85,0	250,0	125,0	50,0

31. táblázat. A szén-monoxid és az ózon 8 órás mozgó átlagainak maximumai és a szén-monoxid órás maximuma

Dátum	CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	Órás értékek maximuma	Napi 8 órás mozgó átlagkoncentrációk maximuma	Napi 8 órás mozgó átlagkoncentrációk maximuma
03.26	449,2	nincs elegendő adat	
03.27	618,3	495,0	86,7
03.28	469,0	401,0	85,9
03.29	401,3	393,2	96,1
03.30	583,3	456,2	83,0
03.31	388,5	448,0	82,5
04.01	586,8	419,6	87,0
04.02	1148,0	552,0	94,7
Határérték	10000,0	5000,0	120,0

8.2.5 A körforgalom üzemelési időszak alatt mért immisszió

Az őszi mérés során a mérés helyszíne megegyezett a tavaszi mérés helyszínével. Az egyhetes mérési időszakot (2012. november 10. – 2012. november 17.) az évszaknak megfelelő időjárás jellemezte, főként borús, hűvös, és csapadékmentes napok voltak a meghatározóak.

Az adatok értékelése az építési időszakhoz hasonló módon történt.

32. táblázat A nitrogén-dioxid, a kén-dioxid és a 10 mikrométeres porkoncentráció átlagértékei és maximumai

Dátum	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	Órás értékek maximuma	24 órás átlag	Órás értékek maximuma	24 órás átlag	24 órás átlag
11.10	n.a	n.a	5,3	1,3	14,8
11.11	n.a	n.a	10,9	3,7	14,3
11.12	n.a	n.a	n.a	n.a	19,0
11.13	43,3	24,5	6,1	2,6	19,4
11.14	n.a	n.a	4,8	2,9	17,7
11.15	n.a	n.a	6,7	2,0	12,8
11.16	n.a	n.a	6,9	3,1	19,8
11.17	n.a	n.a	9,1	2,3	23,1
Határérték	100,0	85,0	250,0	125,0	50,0

33. táblázat. A szén-monoxid és az ózon 8 órás mozgó átlagainak maximumai és a szén-monoxid óras maximuma

Dátum	CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	Óras értékek maximuma	Napi 8 órás mozgó átlagkoncentrációk maximuma	Napi 8 órás mozgó átlagkoncentrációk maximuma
11.10	1022,1	392,0	17,4
11.11	1569,8	584,8	30,1
11.12	1737,5	633,6	7,0
11.13	1037,9	695,4	13,9
11.14	875,6	647,9	25,3
11.15	886,7	1071,9	23,0
11.16	606,5	691,1	27,3
11.17	752,8	594,9	29,5
Határérték	10000,0	5000,0	120,0

8.2.6 A körforgalom üzemelési időszaka (becslés)

A körforgalmat 2012 nyarától a járművek rendelkezésére bocsátották. Az aluljárók még építési fázisban vannak, de ez nem akadályozza a gépjárművekkel történő közlekedést.

Az önkormányzat 2015-re (üzemelési időszak) kiszámította a területre vonatkozó várható forgalmat egységjármű/h-ban. A becslés alapján a forgalom növekedése várható, nagyjából a jelenlegi 130%-ára. Az üzemelésre vonatkozó számítást a lámpás kereszteződés számítási módjával azonos módon végeztem el. A járműtípusok arányát megtartottam.

34. táblázat Körforgalom forgalomszámlálási adatai

Típus (egységjármű)	MOF (Ej/h)
Személygépkocsi (93,77%)	3132
Busz (6,03%)	201
Nehéz tehergépjármű (0,2%)	7

8.2.7 Számolás bemutatása a CO példáján

A számítás paraméterei megegyeznek a lámpás kereszteződés számításának paramétereivel.

Károsanyag-kibocsátás:

$$E_{CO} = \frac{3132 \frac{szgk}{h} \cdot 21400 \frac{mg}{km} + 201 \frac{busz}{h} \cdot 15400 \frac{mg}{km} + 7 \frac{tgk}{h} \cdot 16500 \frac{mg}{km}}{3,6 \cdot 10^5}$$

$$E_{CO} = 19,5 \text{ mg/km}$$

Folytonos pontforrás esetén a függőleges turbulens szóródási együttható

$$\sigma_z = 0,38 \cdot 0,143^{1,3} \cdot \left(8,7 - \ln \left(\frac{0,3m}{1,5m} \right) \right) \cdot 30m^{1,55 \exp(-2,35 \cdot 0,143)}$$

$$\sigma_z = 13,52 \text{ m}$$

Folytonos vonalforrás esetén a függőleges turbulens szóródási együttható

$$Df_{zv} = (1,5m^2 + 13,52m^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_{zv} = 13,605 \text{ m}$$

Légszennyező anyag imissziós koncentrációja:

$$C_{CO} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{19,5 \frac{mg}{km}}{\sin 75^\circ \cdot 2,2 \frac{m}{s} \cdot 13,605m}$$

$$C_{CO} = 0,538 \text{ mg/m}^3 = 538,4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$$

Ezen metódus alapján határoztam meg a többi szennyezőanyag kibocsátását, melyeket táblázatosan összefoglaltam:

35. táblázat. *Becsült kibocsátás a körforgalom üzemelési fázisára*

Szennyező anyag	E [mg/km]	σ_z [m]	σ_{zv} [m]	C [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
CO	19,50	13,52	13,61	538,4
CH	2,28	13,52	13,61	62,9
NO ₂	1,47	13,52	13,61	40,7
SO ₂	0,02	13,52	13,61	0,5
PM ₁₀	0,21	13,52	13,61	7,6

A fajlagos emissziós adatok 2004. évből valók, a becslést pedig 11 évvel későbbre végeztem el. Valószínűleg ezen időszak alatt a járműtechnológia fejlődése nem áll meg, így ezeknél a koncentrációknál valamivel alacsonyabb értékekre kell számítani. Az azonban látható, hogy ha érvényben maradnak ezek a kibocsátások, akkor sem haladják meg a határértéket.

8.2.8 Összehasonlítás

36. táblázat *Összehasonlító adatok*

Légszennyező komponens	Lámpás kereszteződés	Építési fázis	Üzemelési fázis	Becslés (2015)	Határérték
CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	414,2	452,1	670,2	538,4	5000,0
NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	31,3	21,6	24,5	40,7	85,0
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,4	9,3	2,6	0,5	125,0
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,9	33,0	17,6	7,6	50,0
O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	n.a	88,0	21,7	n.a	120,0
CH ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	48,4	n.a	n.a	62,9	n.a

A szén-monoxid szintjének megemelkedésére az épületek fűtése lehet a magyarázat, mivel a közlekedés mellett ez az antropogén szennyezés egyik fő forrása. A tavaszi mérések idején a nappali átlaghőmérséklet meghaladta a 10°C-ot, így valószínűleg kisebb kapacitással üzemeltek a fűtőberendezések, mint a késő őszi mérés során. Ekkor ugyanis az átlaghőmérsékletek nappal is jóval 10°C alatt voltak.

A levegőben lévő nitrogén-oxidok első sorban a közlekedésből származnak. Ebben az építési és az üzemelési fázisban jelentős eltérés nem tapasztalható.

Az építkezési fázisban magasabb porkoncentrációt figyelhetünk meg, ez a talajmunkáknak köszönhető. Mivel ez egy szárazabb időszak volt, a nedvesség sem tudta megkötni a szálló port.

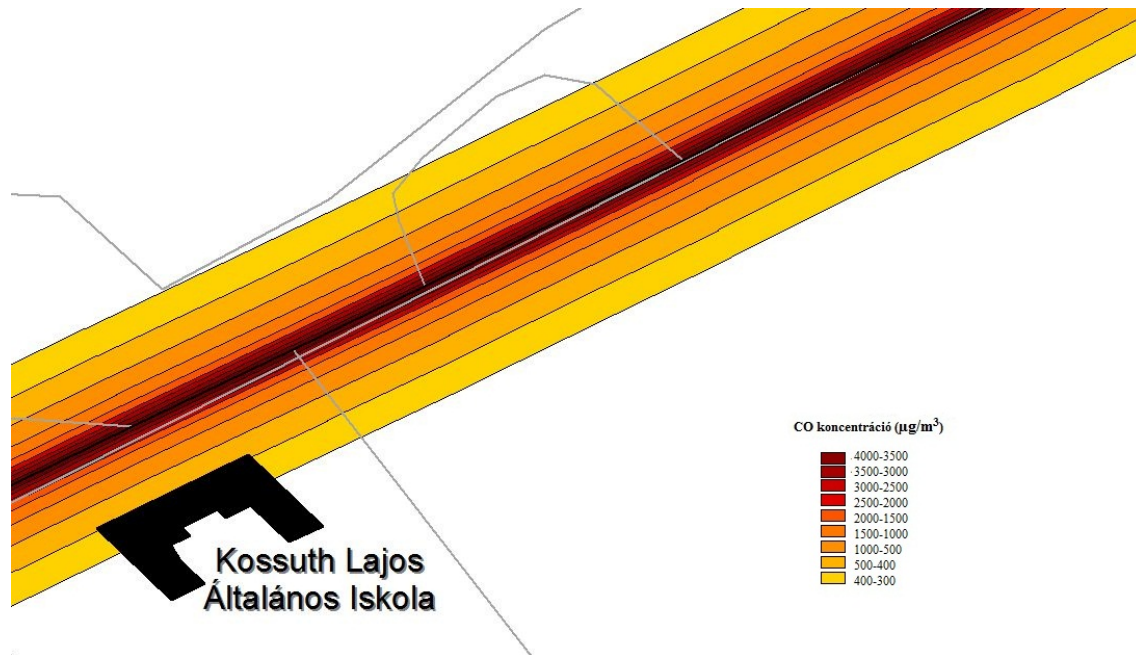
A megnövekedett kén-dioxid koncentráció az út aszfaltozásának köszönhető. Az aszfalt zúzott kavicsból és bitumenből áll. A bitumen az aszfalt kötőanyaga. Minél simább aszfaltot szeretnének elérni, annál magasabb bitumentartalomra van szükség. Ez a kötőanyag egy kőolajszármazék, ebből kifolyólag jelentős a kéntartalma (0,1-7%)

A megnövekedett ózonkoncentráció a napsugárzásnak tudható be. A tavaszi mérés során lényegesen több napsugárzás érkezett a területre, mint az őszi időszakban. Az ózon koncentrációja párhuzamosan csökken a napsugárzás mértékével. Ezen kívül a koncentráció megemelkedésére magyarázat lehet az aluljáró építésénél a hegesztéssel járó munkálatok lefolytatása. Azoknál az eseteknél, ahol nem elemekből álló vasbetont alkalmaznak, ott a helyszínen készítik azt el, ennek pedig első lépése, hogy a fém rácsokat összehegesztik. Itt az elektromos kisülés során többlet ózon keletkezik.

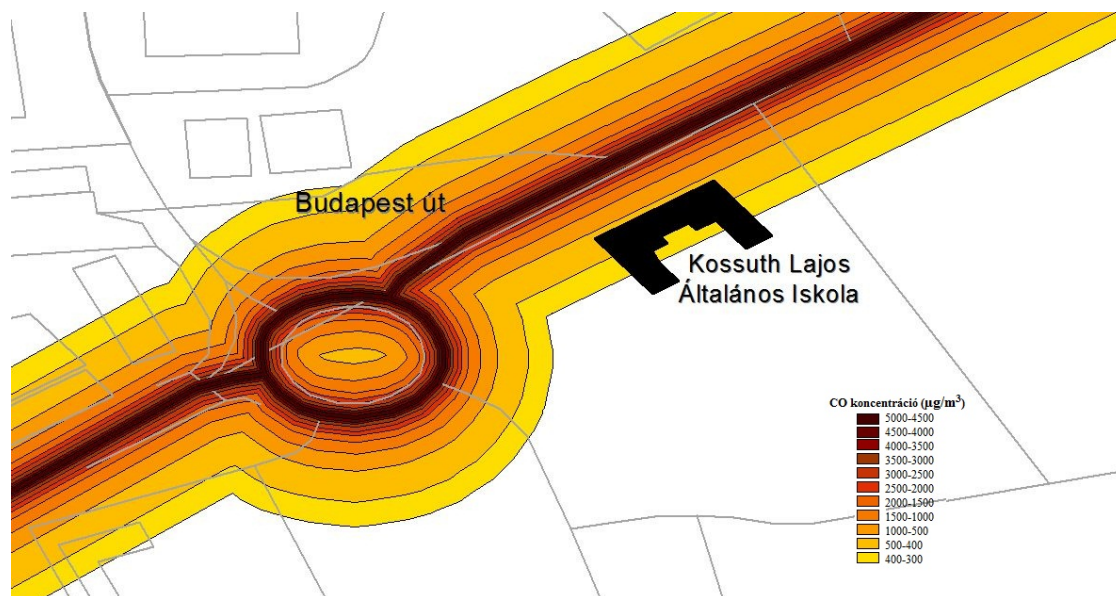
A mért és a modellezett értékek között eltérés tapasztalható. A mért értékek azért magasabbak, mert abba beletartoznak a nem közlekedési eredetű kibocsátások, míg a modellszámítások csak a közlekedés terhelésének becslését adják meg. A modellezésből származó magasabb nitrogén-dioxid értékre az lehet a magyarázat, hogy a nitrogén-dioxid egy része a valóságban nitrogén-monoxiddá bomlott.

Természetesen nem szabad megfeledkezni a modell pontatlanságáról, mivel az sok tényezőt nem vesz figyelembe. Ide tartozik például a meteorológia, a kiülepedés, vagy a kémiai átalakulás.

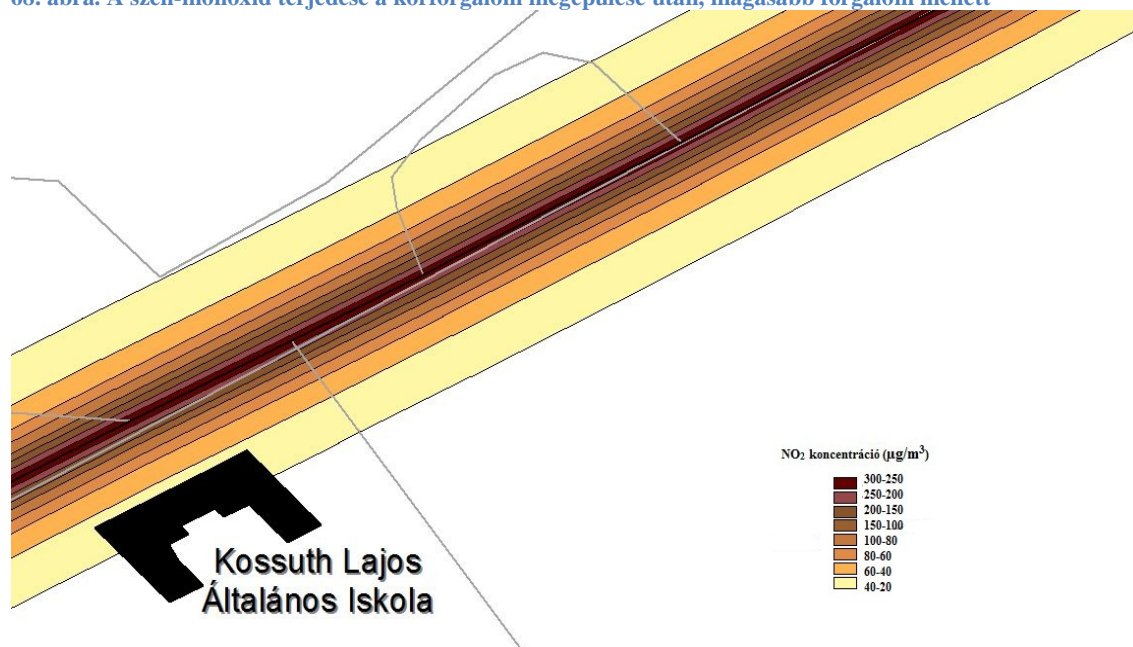
A szennyezőanyagok terjedését ArcView 3.2 térinformatikai programban ábrázoltam. A lámpás keresztesztésre számított értékeket, illetve a későbbi évekre számított becsült értékeket – amennyiben a fajlagos emissziók változatlanok maradnak – hasonlítottam össze.



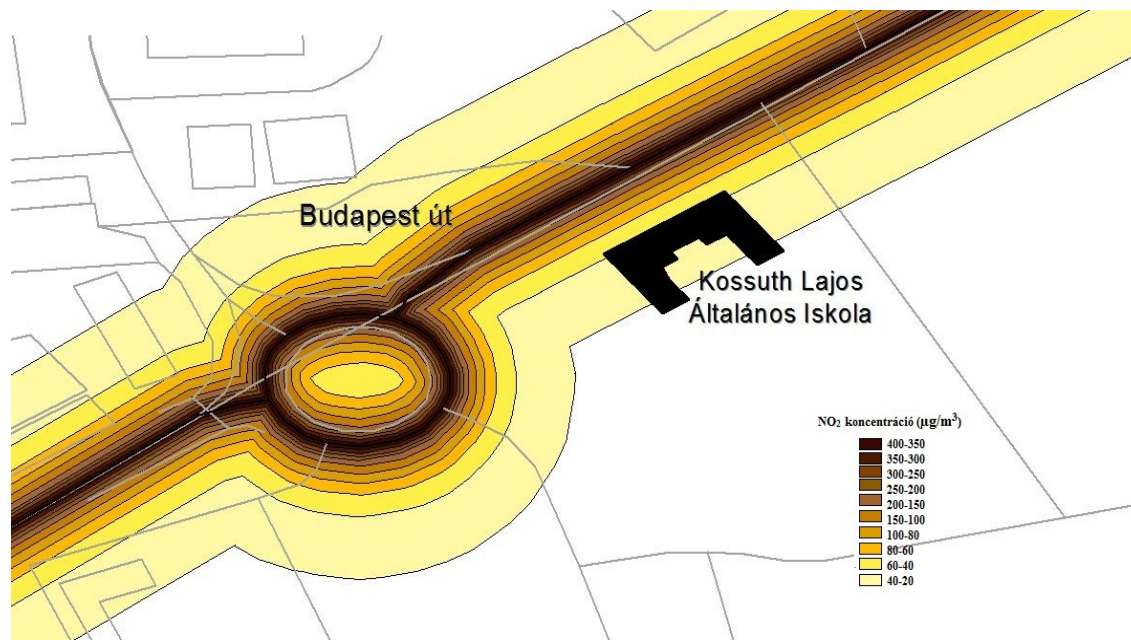
67. ábra. A szén-monoxid terjedése a korábbi, lámpás kereszteződésnél



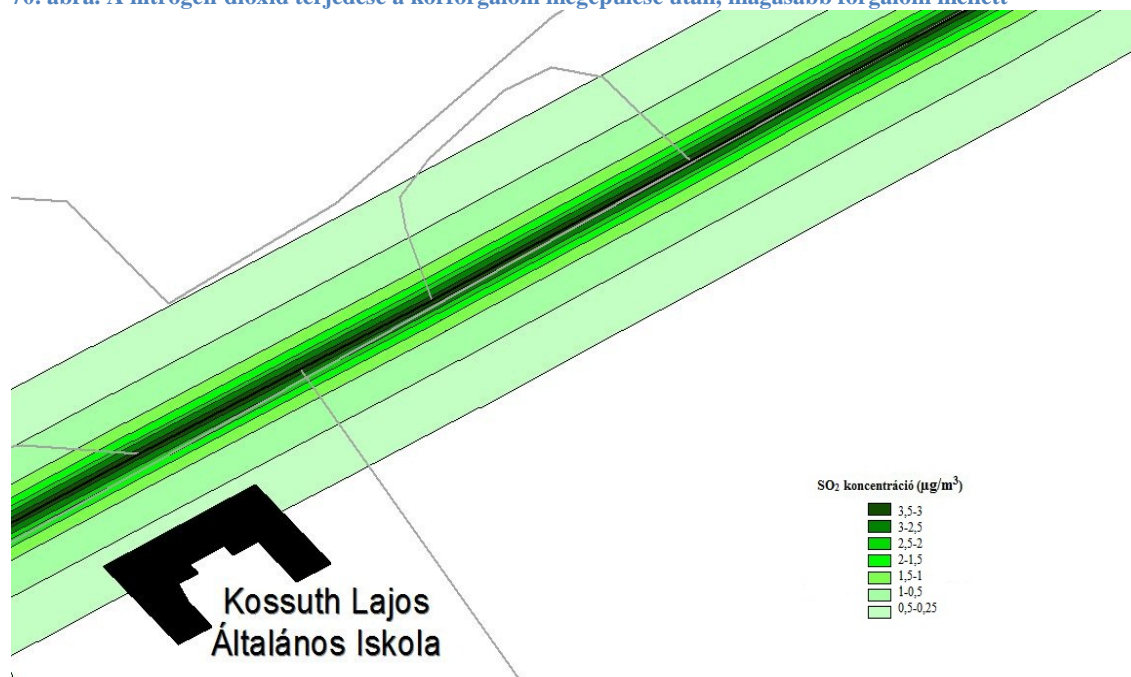
68. ábra. A szén-monoxid terjedése a körforgalom megépülése után, magasabb forgalom mellett



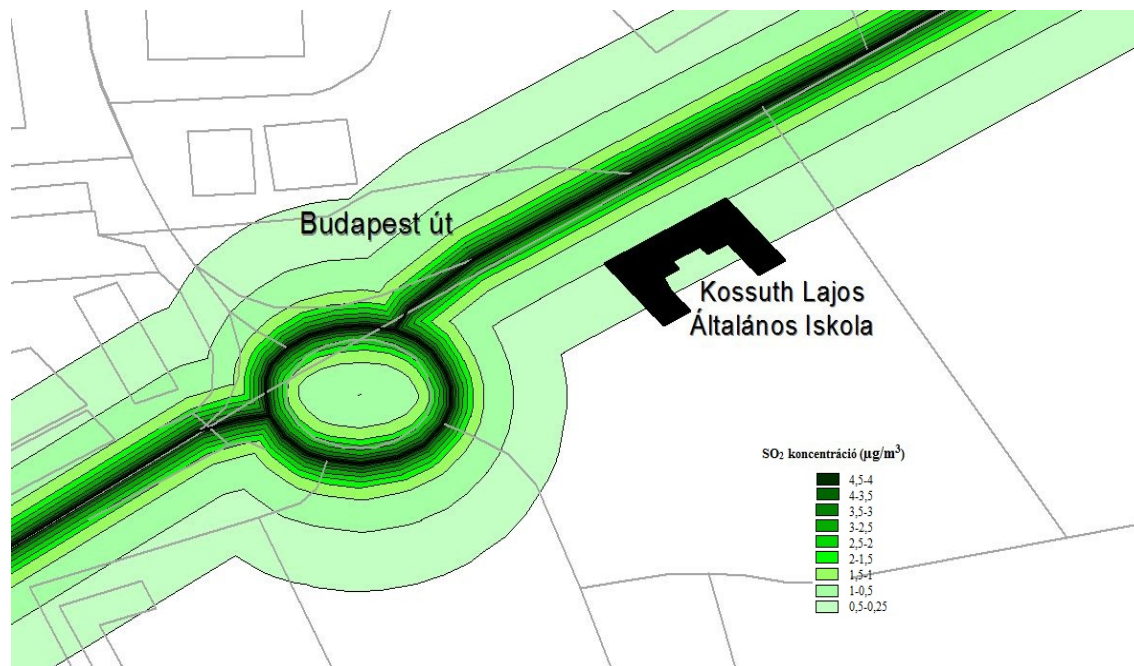
69. ábra. A nitrogén-dioxid terjedése a korábbi, lámpás kereszteződésnél



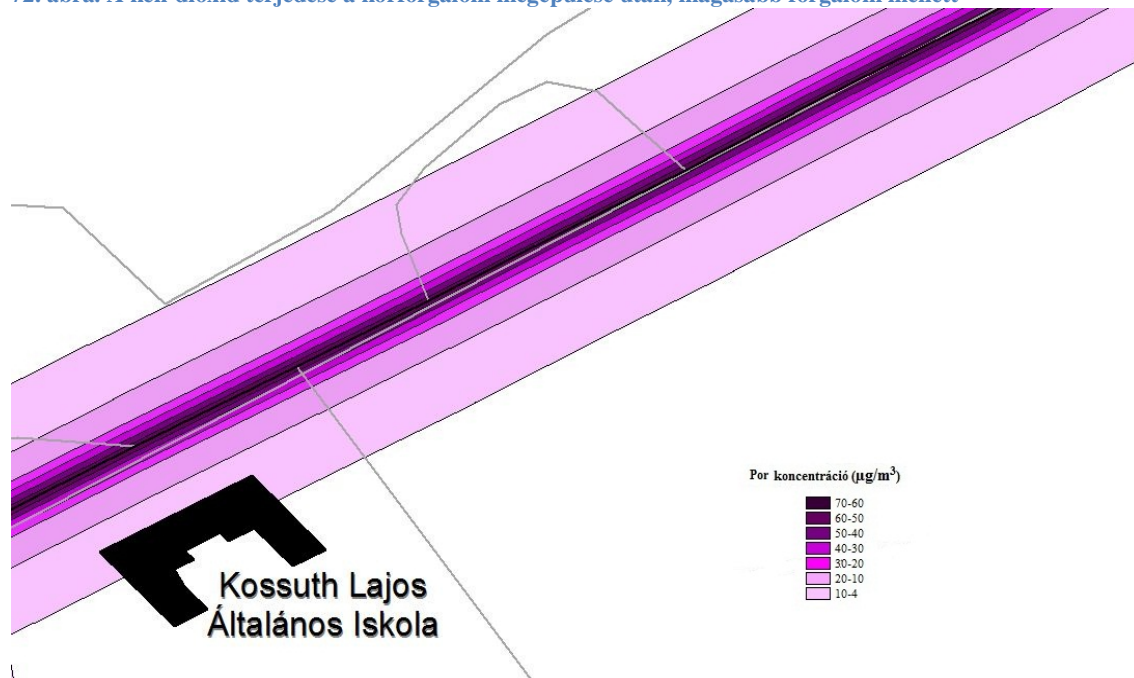
70. ábra. A nitrogén-dioxid terjedése a körforgalom megépülése után, magasabb forgalom mellett



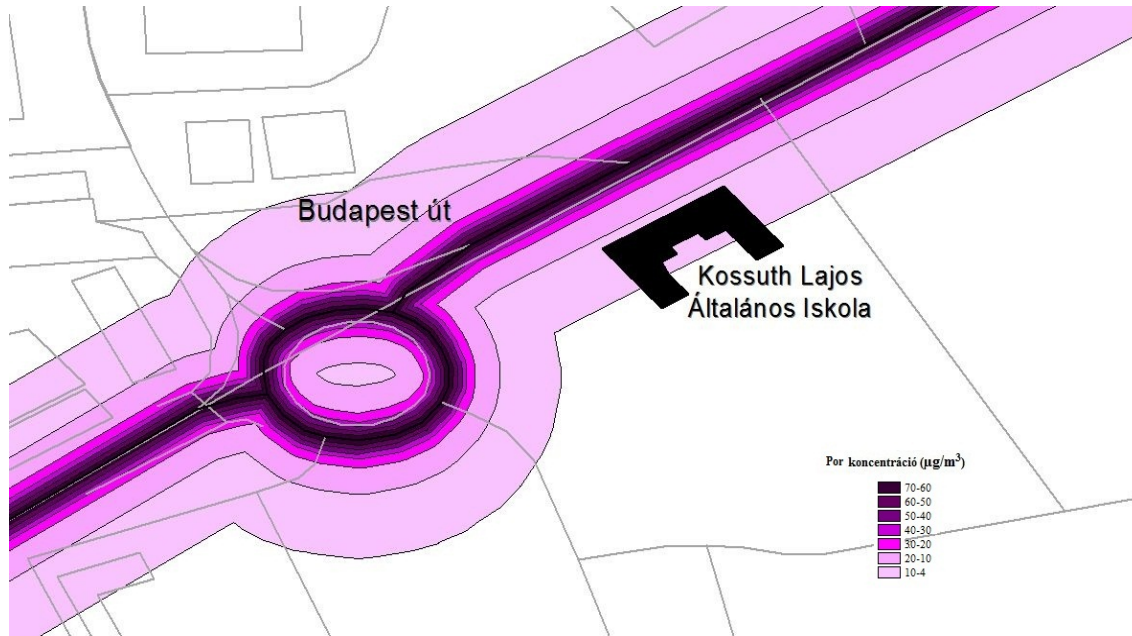
71. ábra. A kén-dioxid terjedése a korábbi, lámpás kereszteződésnél



72. ábra. A kén-dioxid terjedése a körforgalom megépülése után, magasabb forgalom mellett



73. ábra. A szálló por terjedése a korábbi, lámpás kereszteződésnél



74. ábra. A szálló por terjedése a körforgalom megépülése után, magasabb forgalom mellett

Levonható következtetés, hogy egyik fázis alatt sem történt határérték-túllépés. Hogy a körforgalom teljesíti-e azt a küldetését, hogy a légszennyezettséget csökkentse, további vizsgálatokkal támasztható alá. Emellett figyelembe kell venni azt is, hogy a tényleges csökkenést az egész város közlekedésének korszerűsítésétől várják. Ez pedig egy hosszú távú cél.

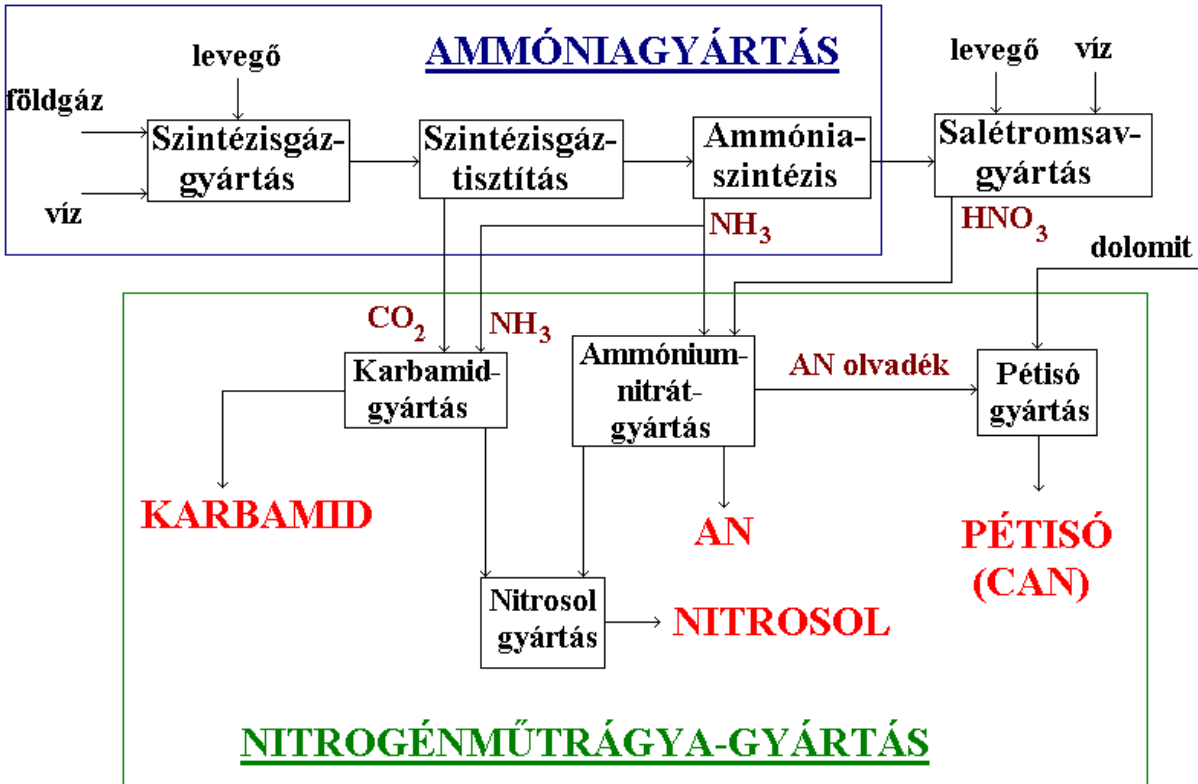
Az elkövetkező években a járművek fajlagos kibocsátásainak csökkenése is várható, hiszen ez a gyártók számára is egy komoly fogás az eladás növelésére.

Összességében néhány éven belül jó eséllyel javulhat a levegő-szennyezettségi szint Veszprém belvárosában.

8.3 Dinitrogén-oxid emisszió csökkentése a pétfürdői Nitrogénművek Zrt. salétromsavüzemében

8.3.1 Bevezetés

A pétfürdői telephelyű Nitrogénművek Zrt. fő profilja a nitrogénműtrágyák előállítása, amely magában foglalja a nitrogénműtrágya gyártás alapanyagainak, az ammóniának és a salétromsavnak a termelését is. A cég termelő tevékenységeinek blokkvázlata a 75. ábrán látható.



75. ábra A Nitrogénművek Zrt. fő termelési tevékenységei

A 2005. és 2007. között a cégnél lezajlott technológia korszerűsítő beruházás eredményeképpen több más termelő- és kiszolgáló létesítménnyel együtt kezdte meg működését az 1500 t/nap névleges kapacitású salétromsavüzem, Az üzem a világ jelenlegi legmodernebb technológiájával rendelkezik, ezen túlmenően környezetvédelmi mutatói is kiválóak. A technológiai véggáz kezelésére szolgáló berendezés alkalmas a gázban a nitrogén-monoxid és nitrogén-dioxid (NO_x gázok) koncentrációjának 20 ppm alá való csökkentésére, amely messze alatta marad a 4/2011. (I. 14.) VM rendelet által a salétromsavgyártásra megadott, 4 % (v/v) oxigéntartalmú, normálállapotú, száraz véggázra vonatkoztatott 350 mg/m³ eljárás specifikus technológiai kibocsátási határértéknek. Ezen túlmenően a véggáztisztítás során megtörténik az N₂O koncentráció 20 ppm alá való csökkentése, amely a dinitrogén-oxid üvegházhatású gáz jellege miatt klímavédelmi jelentőséggel bír.

8.3.2 A dinitrogén-oxid

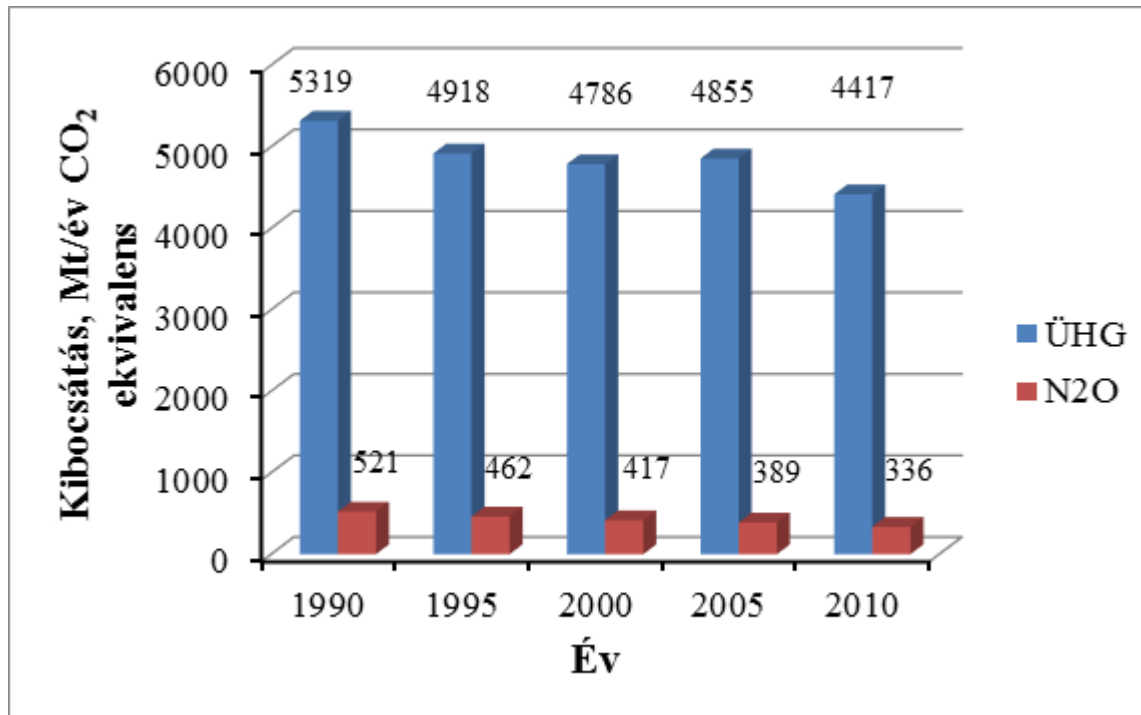
A dinitrogén-oxid (N₂O) a légkör természetes összetevője, mint a nitrogén biogeokémiai körforgásának komponense [1]. Légköri koncentrációja a 18. század közepéig 270 ppbv szinten stabilizálódott, azóta viszont antropogén tevékenységek – elsősorban a mezőgazdasági tevékenység, a fosszilis energihordozókra épülő energiatermelés, ipari termelő folyamatok - eredményeképpen növekedni

kezde, s 2012-ben elérte a 325 ppbv szintet [2]. A növekedés nagyobb része az utóbbi évtizedekre esett, ebben az időszakban a dinitrogén-oxid koncentrációja a légkörben évente 0,25 %-kal, mintegy 0,8 ppb értékkel emelkedett [3]. Globálisan a légkörbe kerülő dinitrogén-oxid mintegy kétharmada származik természetes forrásokból, a talajban, illetve az óceánokban lejátszódó mikrobiológiai folyamatok eredményeképpen (nitrifikáció, denitrifikáció). A talajból évente mintegy 10,4, az óceánokból 8,5 Mt dinitrogén-oxid kerül a légkörbe, míg az antropogén forrásokból származó emisszió 2010-ben 9,2 Mt értéknek adódott [4]. A dinitrogén-oxid üvegházhatáshoz való hozzájárulásának mértékét kifejező globális melegítő potenciálját (global warming potential, GWP), valamint atmoszférában való tartózkodási idejét egyéb üvegházhatású gázokhoz viszonyítva az 37. táblázat mutatja [5]. Az egyes gázok üvegházhatáshoz való hozzájárulásának megítélésakor a 100 éves időhorizontra vetített GWP értéket vesszük figyelembe, ennek alapján számítjuk a gázok szén-dioxid egyenértékben (ekvivalensben) kifejezett kibocsátását. A fentebb megadott emisszió értékek közül tehát, a világ 2010. évi antropogén forrásból származó emissziója figyelembe véve a dinitrogén-oxid 100 éves időhorizontra vonatkozó 310-es GWP értékét $9,2 \text{ Mt} \times 310 = 2.852 \text{ Mt CO}_2$ ekvivalensnek adódik.

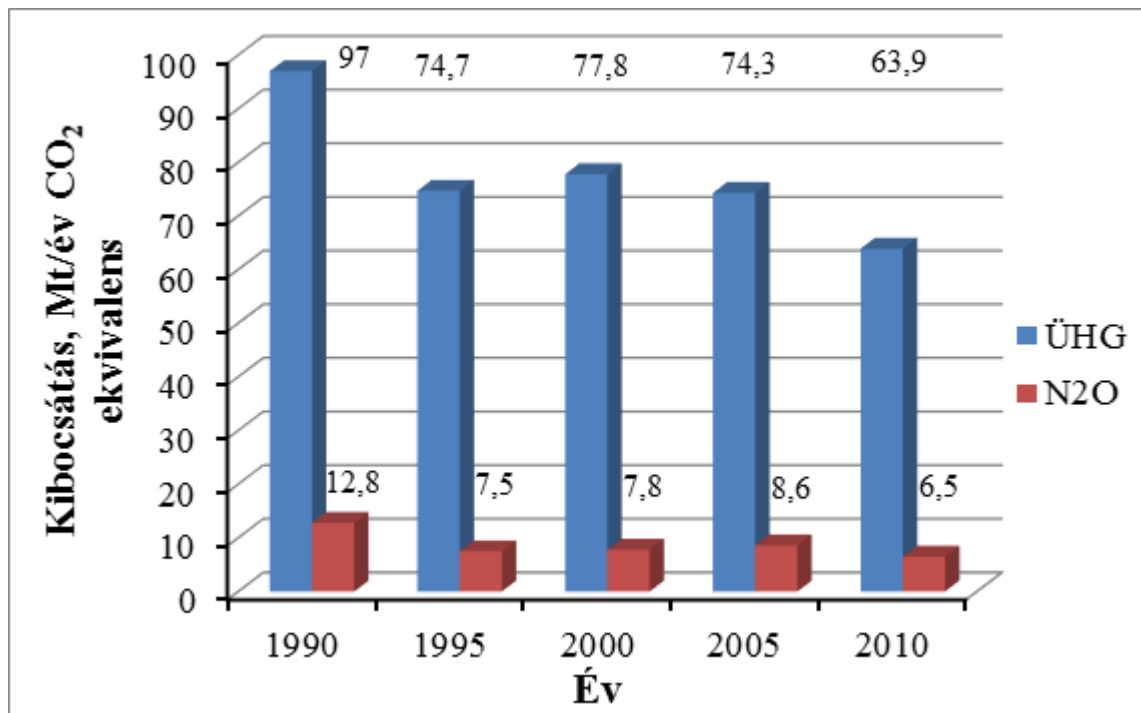
37. táblázat Üvegházhatású gázok légköri tartózkodási ideje és globális melegítő potenciálja

Gáz	Légköri tartózkodási idő, év	GWP érték		
		20 éves időhorizontra vonatkoztatva	100	500
CO ₂	50-200	1	1	1
N ₂ O	120	280	310	170
CH ₄	12±3	56	21	6,5
CF ₄	50.000	4.400	6.500	10.000
C ₂ F ₆	10.000	6.200	9.200	14.000
SF ₆	3.200	16.300	23.900	34.900
HFC-125	33	4.600	2.800	920

Az Európai Unió jelenlegi 27 tagállamának és Magyarországnak az elmúlt két évtizedre vonatkozó antropogén eredetű üvegházgáz és dinitrogén-oxid kibocsátásáról a 76. ábra és 77. ábra tájékoztat [6].

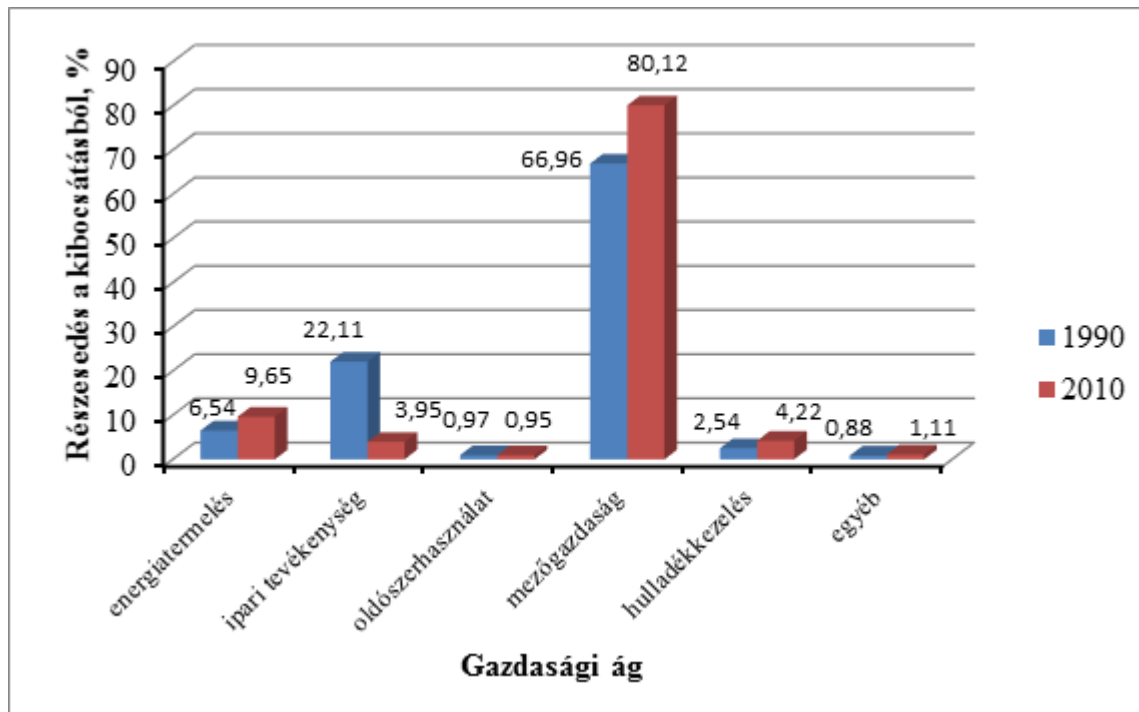


76. ábra ÜHG és N₂O kibocsátás az Európai Unióban

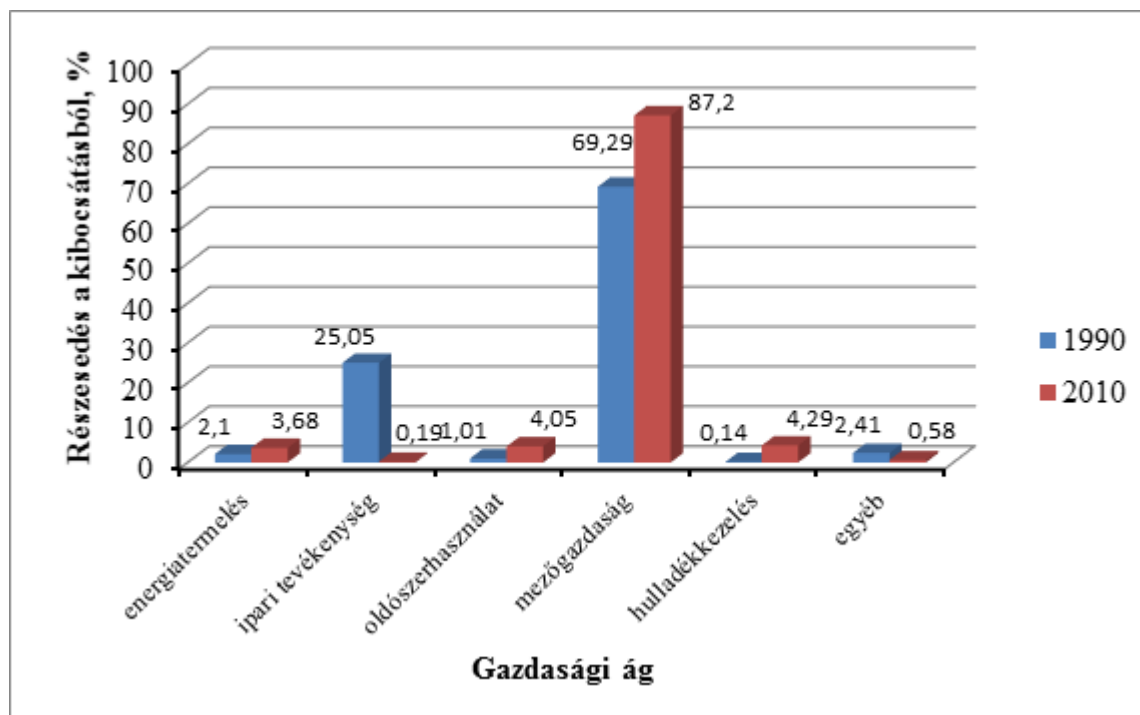


77. ábra ÜHG és N₂O kibocsátás Magyarországon

Az ábrákból láthatóan mind az EU jelenlegi tagállamaiban, mind Magyarországon az utóbbi évtizedekben a dinitrogén-oxid emisszió a teljes üvegházhatású gáz kibocsátásnak mintegy 10 %-át jelentette. Ha megvizsgáljuk az egyes gazdasági ágak dinitrogén-oxid emissziójának alakulását az utóbbi húsz évben, ugyancsak hasonló tendenciák figyelhetők meg az EU és hazánk vonatkozásában. Az antropogén kibocsátás szektoronkénti megoszlását mutatja a 78. ábra és a 79. ábra [6]. A fő dinitrogén-oxid kibocsátó források, ahogy azt már fentebb említettük a mezőgazdasági tevékenység, a fosszilis energiahordozókra épülő energiatermelés, valamint az ipari, azon belül is a vegyipari termelés. Az utóbbi húsz évben azonban jelentős változás történt az emisszió gazdasági ágak közötti megoszlásában, mind nemzeti, mind Európai Uniói szinten. A legjelentősebb kibocsátó forrás a mezőgazdaság, amelynek kibocsátását a közvetlen és közvetett emisszió kategóriájába sorolják. A közvetett emisszió a növénytermesztésben alkalmazott nitrogén-műtrágyák és állati szerves trágyák nitrogén tartalmának biológiai átalakulásából (nitrifikáció, denitrifikáció) származik, míg a közvetett kibocsátás a műtrágyák kimosódó és ily módon felszíni vizekbe kerülő hányadának átalakulásából származik [7]. Megjegyzendő azonban itt, hogy a műtrágyák alkalmazása elősegíti a növényi fotoszintézist, ezáltal megnöveli a növények légkörből való szén-dioxid felvételét. Ily módon a műtrágyák alkalmazásából származó



78. ábra A N₂O emisszió szektoronkénti megoszlása az EU-ban



79. ábra A N₂O emisszió szektoronkénti megoszlása Magyarországon

Az üvegházgáz emisszió kizárólag a két szempont együttes figyelembe vételével értékelhető. Az előző forrásoknál kisebb mértékben, de hozzájárul még a mezőgazdaság kibocsátásához a növénytermesztés melléktermékeinek szabadtéri égetése [8], valamint az állati trágya nem növénytermesztési célra történő kezelése, alkalmazása [9]. Az energiatermelés során, a fosszilis energiahordozók égetésekor az NO_x gázok mellett dinitrogén-oxid is keletkezik [10], míg az ipari termelés két fő kibocsátó forrása a salétromsavgyártás és az adipinsav előállítása [11]. Az adipinsav – számos műanyag, köztük a nylon-66 előállításának alapanyaga - gyártásának legelterjedtebb eljárása a ciklohexán levegővel történő folyadékfázisú oxidációja ciklohexanol/ciklohexanon eleggyé, majd az elegy salétromsavval történő oxidációja adipinsavvá [12]. Ez utóbbi reakció melléktermékeként keletkezik a dinitrogén-oxid. 1990-ben az ipari szektor legjelentősebb dinitrogén-oxid kibocsátója az adipinsav termelés volt, a 90-es évek végére azonban a világ legjelentősebb adipinsav termelői dinitrogén-oxid emisszió csökkentő technológiákat telepítettek, aminek eredményeképpen a dinitrogén-oxid emisszió csökkentés 1990-beni 32 %-os mértéke 2000-re 90 %-ra emelkedett [13]. Az ezredfordulóra a salétromsavgyártás vált az ipari eredetű dinitrogén-oxid emisszió fő kibocsátó forrásává.

8.3.3 A salétromsav gyártása és felhasználása

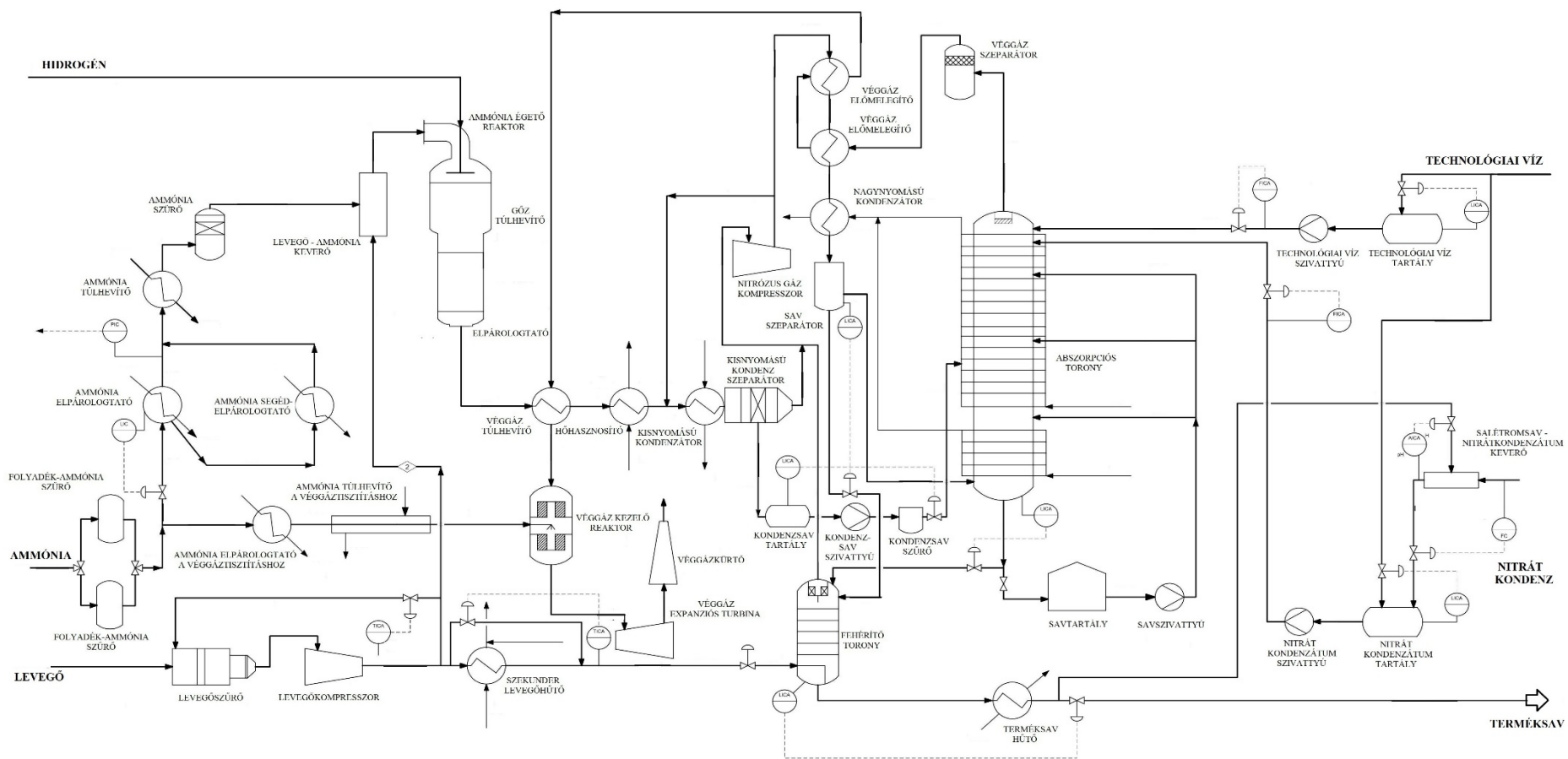
A világ évi mintegy 55 millió tonna salétromsav termelése csaknem teljes mértékben a William Ostwald által 1901-ben kidolgozott eljárás alapján történik. Az eljárás három részlépése az ammónia levegővel való

katalitikus oxidációja platina/ródiom katalizátoron, a keletkező nitrogén-monoxid oxidációja nitrogén-dioxiddá, majd a nitrogén-dioxid vízben való abszorpciója a salétromsav képződése céljából [14]. Az eljárás alapvető kémiai folyamatai az elmúlt több, mint száz évben nem változtak, a technológia megvalósítás vonatkozásában viszont elsősorban energiahatékonysági szempontok és a szigorodó környezetvédelmi előírások figyelembevételével számos fejlesztés valósult meg [15]. A salétromsav gyártása jelenleg az ún. egynyomású és kétnyomású technológiai koncepciók alapján történik, az egynyomású technológiák a közepes nyomású (4-6 bar) és a nagynyomású (10-12 bar) megvalósításra különíthetők el. Az elkülönítés alapját az eljárás három részlépésének megvalósításakor alkalmazott nyomás értéke, illetve annak változtatása képezi. Az egynyomású technológiákban mindhárom részfolyamatot ugyanazon a közepes vagy magas nyomásszinten valósítják meg, míg a kétnyomású technológiák esetén az ammónia égetése a fentebb említett közepes nyomáson, a nitrogén-monoxid oxidációja, valamint a nitrogén-dioxid abszorpciója pedig a magasabb nyomásértéken valósul meg. A technológiai koncepció kiválasztásában alapvető szerep jut a gyártás költségszerkezetét meghatározó elemeknek, úgymint az alap- és segédanyagok költsége, energiaköltség, tőkeigény, helyi viszonyok. A közepes nyomásszintű egynyomású technológiát akkor alkalmazzák, ha a gyártás gazdaságossága szempontjából az ammónia égetés hatékonysága a meghatározó, míg a magas nyomásszint alkalmazása az abszorpció szempontjából előnyös. A kétnyomású eljárás a közepes nyomásszinten végrehajtott ammónia oxidációval, és az emelt nyomású abszorpció végrehajtásával ötvözi az egynyomású technológiák előnyeit [16].

A világ salétromsav termelésének mintegy 80 %-át ammónium-nitrát bázisú műtrágyák, úgymint ammónium-nitrát, kalcium-ammónium-nitrát, ammónium-szulfát-nitrát, valamint karbamid - ammónium nitrát oldatműtrágya előállítására használják fel. A fennmaradó 20 % a bányászatban alkalmazott technikai minőségű ammónium-nitrát, illetve egyéb vegyi anyagok – például kaprolaktám, adipinsav - előállításra fordítódik. Azeotrópsavat (68,4 m%) használnak a poliuretán-gyártási intermedierek – dinitro-toluol, nitrobenzol, és az ezen termékekből gyártott toluol-diizocianát (TDI) és metilén-difenil-diizocianát (MDI) – előállítására [17].

8.3.3.1 A Nitrogénművek Zrt. salétromsavüzeme

2007-ben kezdte működését a Grand Paroisse kétnyomású technológiai licensze alapján épült salétromsavüzem, amelyben az NO_x és N_2O gázok koncentrációjának csökkentését megcélzó véggáztisztítási technológiát az Uhde szállította. Az üzemben a műtrágyagyártáshoz szükséges 60 % (m/m)-os sav előállítása történik, a névleges kapacitás értéke 1.500 t/nap (100 m/m %-os salétromsavban kifejezve), de az üzem 2007 óta folyamatosan ezen kapacitásértéknél magasabb termelési szinten működik. A technológia folyamatvázlatát a 80. ábra mutatja.



80. ábra A salétromsavüzem technológiai folyamatvázlata

Az ammónia folyadék halmazállapotban kerül a technológiába, amelyet elpárologtatunk és túlhevítünk, majd a szűrt és komprimált levegővel homogenizálunk. Az ammónia oxidációt a 6,43 m átmérőjű égetőreaktorban hajtjuk végre 890 °C-on, 360 kPa nyomáson. A folyamatgáz hőtartalmát az égetés után több lépésben hasznosítjuk, gőztermelésre, véggáz és kazántápvíz előmelegítésre használjuk fel. További hőhasznosítás után a folyamatgázból kondenzálódott híg leválasztjuk, majd a gázt a nitrózusgáz kompresszorban 1160 kPa nyomásra komprimáljuk a nitrogén-dioxid abszorpciójához. A nagynyomású nitrózusgázt harmatponti hőmérséklet alá hűtjük az abszorpciós kolonnából érkező véggázzal és hűtővízzel. A salétromsav képződése az 59 m magas, 5 m belső átmérőjű abszorpciós oszlopban játszódik le a nitrózus gáz vízzel való reakciójával. A nitrózusgáz és az abszorpcióhoz használt technológiai sóatlan víz, valamint a nitrát kondenzátum érintkeztetése 31 db perforált tányéron történik. Az abszorpciós kolonnából kikerülő sav fizikailag oldott nitrózus gázt is tartalmaz, amely a savat barnára színezi, ennek eltávolítása a levegőkompresszor által szolgáltatott meleg levegővel történő sztrippeléssel valósul meg. Az 55 °C-os terméksavat, amelynek szabad NO₂ tartalma kevesebb, mint 50 ppm hűtés után az üzemi savtárolókba küldjük. A sztrippeléshez használt levegő és a nitrózus gázok a kisnyomású hűtőkondenzátor felől érkező folyamatgázzal keverednek a nitrózusgáz kompresszor bemeneténél. Az abszorpciós kolonnából kilépő véggázból a salétromsav cseppeket leválasztjuk, majd a véggázt a folyamatgáz hőtartalmával több fokozatban előmelegítjük, s a véggáz kezelő reaktorba vezetjük. A kezelt véggáz energiatartalmát az atmoszférába való kijuttatás előtt expanziós turbinában hasznosítjuk.

8.3.3.2 A gyártás főbb műveletei

8.3.3.2.1 Ammónia oxidáció

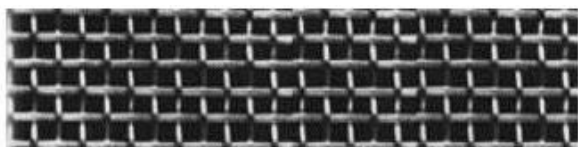
Az ammónia oxidációjakor a nitrogén-monoxid képződését eredményező reakció (1) mellett, lejátszódhatnak dinitrogén-oxid (2) és nitrogén (3) keletkezésével járó reakciók, amelyek csökkentik az NO hozamot.



Az oxidációs folyamat a legnagyobb sebességgel platina katalizátoron játszódik le [18]. Pt katalizátor alkalmazásával (2) reakció gyújtási hőmérséklete 215 °C, (3) reakcióé 195 °C. Az NO képződése 300 °C-on indul, majd a hőmérséklet emelkedésével az NO szelektivitás folyamatosan növekszik. 750 °C felett Pt katalizátor jelenlétében már egyértelműen az NO képződést eredményező reakció a kedvezményezett. E körülmények között ugyanakkor már számolnunk kell a további káros mellékreakciókkal, mint pl. az ammónia és a képződött NO bomlása, amely reakciókat a

katalizátortérben való tartózkodási idő, az ún. kontaktidő növelése is elősegíti. Ugyanakkor a hőmérséklet növelésével növekszik a platina oxidációja miatt bekövetkező platinaveszteség is.

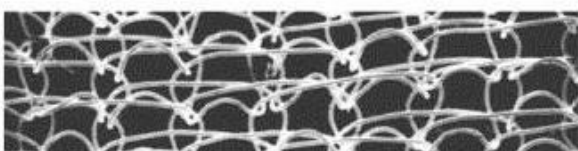
A minél nagyobb NO szelektivitás elérése érdekében az ammónia oxidációját az alábbiak szerint hajtjuk végre. Az oxidáció hőmérséklete 900 °C, nyomása 360 kPa. A katalizátor 95 % Pt tartalmú platina-ródium ötvözetből álló háló, a katalizátor szálak mintegy 0,09 mm átmérőjűek. A katalizátor kötött háló formában van jelen, ami a szövött háló katalizátorral szemben nagyobb fajlagos felületet biztosít az oxidáció lejátszódásához, ezen túlmenően kevesebb platina veszteséget, kisebb nyomásvesztést eredményez [19]. A szövött és kötött háló katalizátor típusok a 81. ábrán láthatók.



szövött háló katalizátor



kötött háló katalizátor



kötött háló katalizátor



kötött háló katalizátor

81. ábra Szövött és kötött háló katalizátorok

Az égetőreaktorban öt darab Pt-Rh katalizátorháló helyezkedik el, alattuk található a platina visszanyerésére szolgáló 6 db palládiumháló. A katalizátorhálók hőmérsékletének szabályozása az égetőreaktorba vezetett ammónia és a levegő arányának megfelelő beállításával valósítható meg, a folyamatgázban az ammónia koncentrációja 9,6 % (v/v). A közepes nyomásszint alkalmazása az égetési folyamatban termodinamikailag kedvez az ammónia oxidációs reakciónak (mólszám növekedéssel járó reakció), ezen túlmenően alacsonyabb szinten tartja a platinaveszteség mértékét is, megnöveli a katalizátorhálók élettartamát a 38. táblázat adatainak megfelelően.

38. táblázat Ammónia konverzió és katalizátorvesztés a nyomás függvényében [20]

Nyomás, kPa	NH ₃ konverzió, %	Katalizátor veszteség, g/t HNO ₃	Élettartam, hónap
100	97,5	0,06	6-8
500-600	95,5	0,14	5-6
900-1000	93,5	0,30	1,5-2

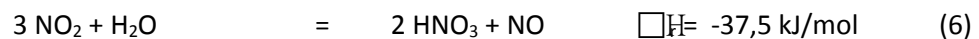
A NO bomlásának megakadályozására a kontaktidő értéke 0,001 s. A fentiekben biztosított körülmények között a NO szelektivitás értéke 95 %. Megjegyzendő, hogy a (2) reakció lejátszódásának eredményeképpen (a N₂O szelektivitás mintegy 1,5-2,5 %) a folyamatgázba mintegy 1200 ppm mennyiségű dinitrogén-oxid kerül, amely a technológia további lépésein változás nélkül keresztülhalad, s megjelenik a salétromsav gyártási véggázban.

8.3.3.2.2 A nitrózusgáz abszorpciója

Az abszorpcióra a folyamatgáz hőtartalmának több fokozatban történő hasznosítása, majd kompressziója után kerül sor. A gáz hőmérsékletének 500 °C alá csökkenésével megindul az NO oxidációja NO₂-dá, amely 200 °C feletti hőmérsékleten stabil vegyület, 100 °C alatti hőmérsékleten pedig dimer dinitrogén-tetroxidot (N₂O₄) képez. Az abszorber ellenáramú, perforált tányéros torony, 1160 kPa nyomáson üzemel, geometriai méretei: magassága: 59 m, belső átmérője: 5 m. A salétromsav képződése 31 db perforált tányéron történik meg a (4) és (5) reakcióegyenletek szerint.



A salétromsav képződés bruttó reakciója:



A tálcákat elhagyó gázban az NO₂ és az N₂O₄ koncentrációja az abszorpció következtében csökken, ugyanakkor a savképződési reakció során NO képződik. A tálcák egymástól való megfelelő távolságának, s így a szükséges tartózkodási időnek a biztosításával érhető el, hogy a képződött NO részleges oxidációja az alacsony hőmérséklet és az emelt nyomásszint hatására lejátszódjon. A savképződés és az NO oxidáció exoterm mivolta által termelődött hőt az abszorber tálcáin lévő hűtőcsőkhálóban áramoltatott vízzel vonjuk el. A salétromsav koncentrációja az abszorber aljágig folyamatosan növekszik, míg eléri a 60 % (m/m) értéket. Az abszorbert elhagyó véggáz kevesebb, mint 600 ppm NO és NO₂ (NO_x) koncentrációjú, és mintegy 1200 ppm N₂O-t tartalmaz.

8.3.3.2.3 A véggáz kezelése

A technológiai véggáz kezelésére szolgáló berendezés alkalmas a gázban az NO_x koncentráció 20 ppm alá való csökkentésére, valamint a véggáztisztítás során megtörténik az N₂O koncentráció 20 ppm alá

való csökkentése. A dinitrogén-oxid az ammónia égetés során képződik, a folyamatgázban lévő koncentrációját nem befolyásolja sem a további oxidáció, sem az abszorpció, így teljes képződött mennyisége a véggázban megjelenik [21]. A véggáztisztítási művelet az Uhde EnviNox technológiája alapján üzemel, amely magába foglalja az NO_x gázok ammóniával történő szelektív katalitikus redukcióját (SCR), valamint a N₂O redukálószer alkalmazása nélkül lejátszódó közvetlen katalitikus bomlását, illetve földgázzal történő nemszelektív katalitikus redukcióját (NSCR).

A dinitrogén-oxid kibocsátás csökkentést megcélzó eljárások a salétromsav gyártási technológiában való elhelyezkedésük alapján az alábbi 4 csoportba sorolhatók [19]:

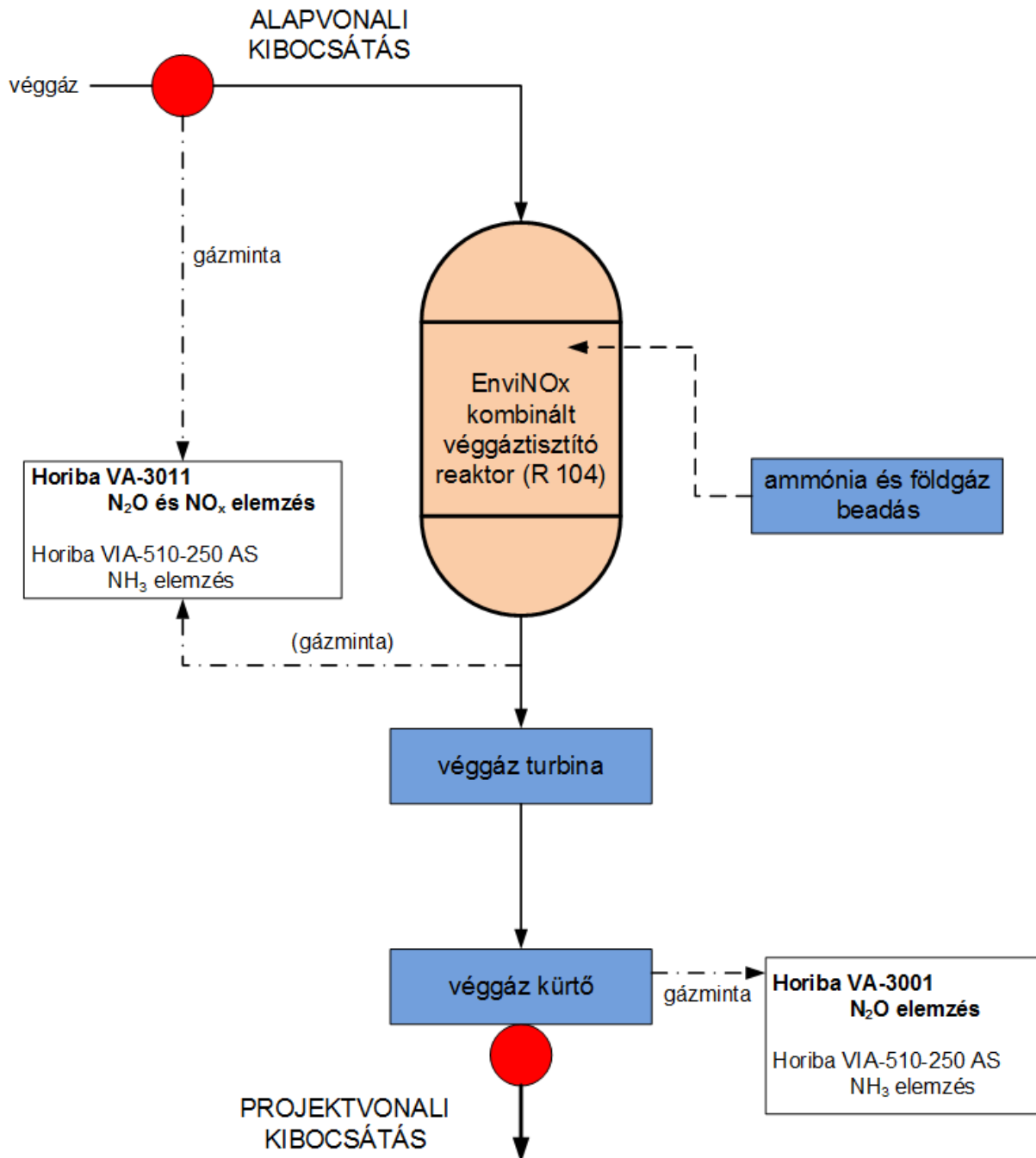
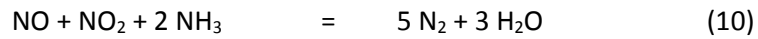
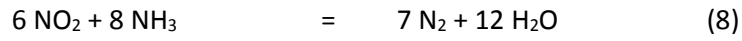
- primer eljárások: az ammónia égetési folyamat oly módon való vezetését jelentik, amelyek révén csökkenthető a az oxidáció során képződő N₂O mennyisége. Ide tartoznak az ammónia égetéssel kapcsolatban fentebb leírt megoldások (ammónia/levegő arány, égetés hőmérséklete, kötött háló katalizátor alkalmazása).
- szekunder eljárások: az ammónia oxidáció után az égetőreaktor magas hőmérsékletű terében végrehajtott eljárások az égetés során képződött N₂O koncentrációjának csökkentésére. Megoldások itt megfelelő tartózkodási idő biztosítása az égető megnövelt térfogatú magas hőmérsékletű terében a N₂O termikus bomlásának lejátszódásához, illetve a katalitikus bontás a platinahálók utáni térben elhelyezett katalizátorral. Az első megoldás nyilvánvalóan csak újonnan telepített reaktor esetében jöhet szóba, utóbbinál pedig felmerülhetnek szelektivitási (az NO is bomlik), a katalizátor mechanikai és kémiai stabilitásával kapcsolatos problémák, a nyomásvesztés növekedése.
- tercier eljárások: az abszorpció folyamat után a véggáz expanziós turbina előtt végrehajtott eljárások, úgymint a termikus bontás, a nemszelektív és szelektív katalitikus redukció, valamint a közvetlen katalitikus bontás.
- kvaterner eljárások: az előző megoldások elhelyezése a véggáz expanziós turbina után.

A Nitrogénművek Zrt. salétromsavüzemében a véggáz kezelése tercier megoldással, az Uhde EnviNox technológiája alapján történik. A véggáz kezelési folyamat vázlata a 82. ábrán látható

A véggáz előmelegítés után mintegy 420 °C-on belép a két katalizátorréteget tartalmazó véggáztisztító reaktorba, ahol dinitrogén-oxid egy része az első katalizátorrétegen (EnviCat-N₂O-1 vas-zeolit katalizátor) közvetlen katalitikus úton nitrogénre és oxigénre bomlik a (7) reakció szerint.



A katalizátorágy után ammóniát és földgázt juttatunk a reaktorba. A második katalizátorágy két rétegre oszlik. Első rétegében található az EnviCat-NO_x vas-zeolit katalizátor, ahol a az NO_x gázok ammóniával történő szelektív katalitikus redukciója játszódik le a (8)-(11) reakcióegyenletek szerint.



82. ábra A véggáztisztító reaktor elhelyezkedése a technológiában

A második rétegben elhelyezett EnviCat-N₂O-2 katalizátoron a földgázzal lejátszódó nemszelektív katalitikus redukció eredményeképpen további N₂O bomlás (12)-(13) játszódik le.



Az aktuálisan szükséges ammónia és földgáz mennyiségek beállítását a reaktor elé épített online NO_x és N₂O analízátor segíti az alábbi arányok alapján:

NH₃ szükséglet: 1,5 mol/mol NO_x

metán szükséglet: 0,12 mol/mol N₂O (kb. 21 kg földgáz/óra)

A kürtőn kilépő véggáz O₂ tartalmát, NH₃, NO_x és N₂O koncentrációját is mérőműszer ellenőrzi.

A katalizátor szemcsék Ø10 mm * 250 mm méretű extrudátumok, gyártójuk a Süd-Chemie AG. Ezen véggáztisztítási technológia eredményeképpen a gáz NO_x és N₂O tartalma 20 ppmv alá csökken, ammónia koncentrációja kisebb, mint 10 ppmv.

8.3.4 Együttes végrehajtási projekt a Nitrogénművek Zrt. salétromsavüzemében

A Nitrogénművek Zrt. 2007-ben épült Salétromsav üzemében a N₂O kibocsátás csökkentése kapcsán még jóval az építkezés megkezdése előtt, 2004-ben indult el az Együttes Végrehajtási projekt előkészítése, engedélyeztetése. Szakértő segítségével 2004-ben elkészült Projekttervezet (Project Idea Note) és a Projekt Tervdokumentum (Project Design Document, PDD), továbbá a Nitrogénművek Zrt. megkapta a magyar állam támogató nyilatkozatát (Letter of Endorsment). Ezek birtokában ajánlattételi dokumentációval megkerestünk néhány potenciális partner ország kormányát vagy annak megbízottját. Végül 2005-ben született meg a megállapodás és megtörtént az értékesítési szerződés (ERPA) megkötése az osztrák állam által megbízott céggel, a magyar és az osztrák állam Jóváhagyó nyilatkozatainak (Letter of Approval) birtokában. Ezek alapján a Nitrogénművek Zrt. 2008-2012 közötti kereskedési időszakban az Együttes Végrehajtási projektből származó emisszió-csökkentési egységek (Emission Reduction Unit, ERU) – a 323/2007 (XII.11) Kormányrendelet 12.§ (2) bekezdésének megfelelően – 90%-át a szerződéses partner részére eladhatta. Az egységek átutalását a vevő számlájára az illetékes minisztériumtól kellett az éves jelentés, a hitelesítői jelentés és záradék alapján kérni.

8.3.4.1 A projekt határai

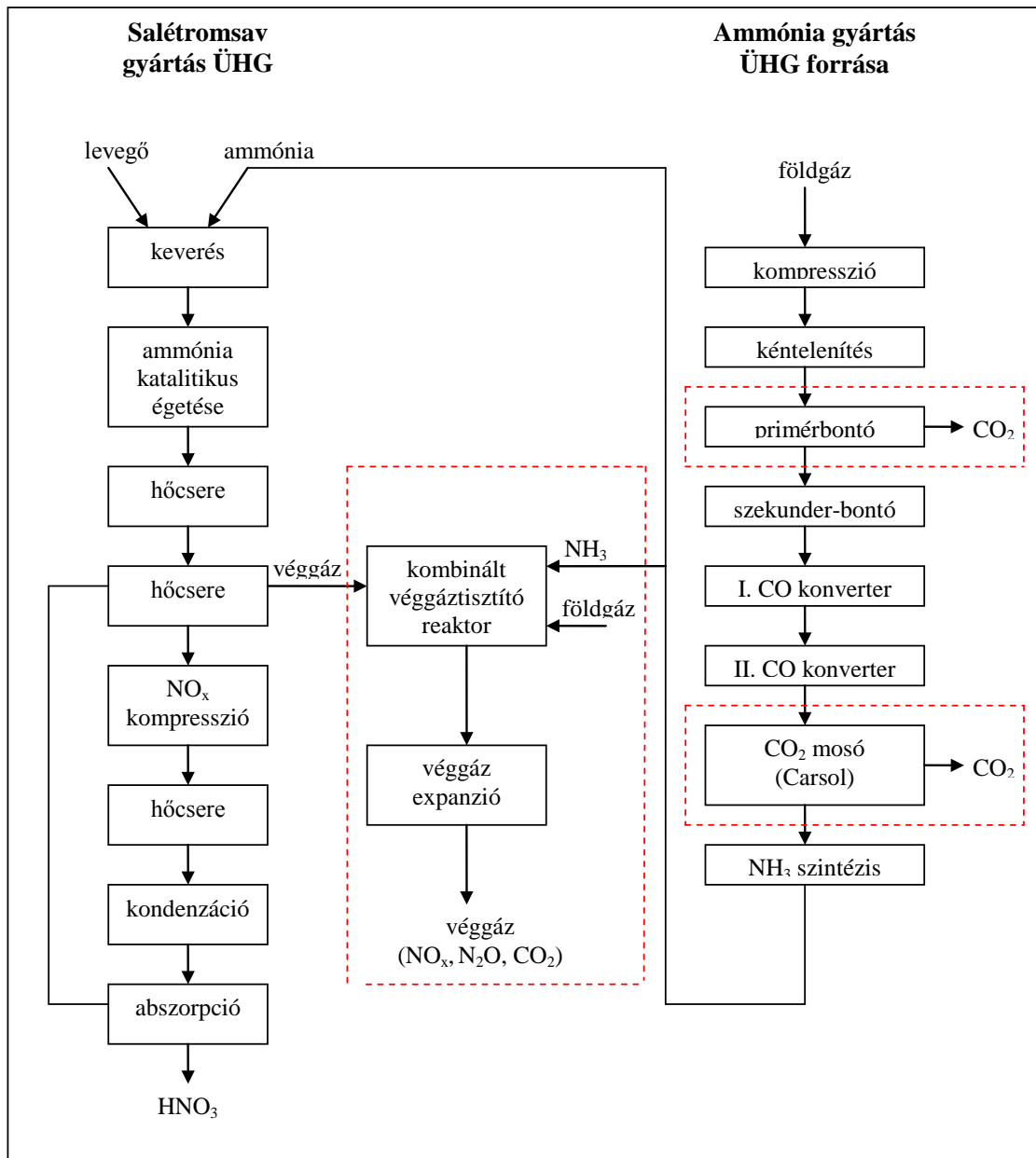
A rendszer határainak megállapítása annak figyelembe vételével történt, hogy melyek azok a folyamatok amelyekben ÜHG kibocsátás-változás várható a Projekt következményeként.

Közvetlen kibocsátás

Közvetlen kibocsátásnak a füstgáztisztítóban elhelyezett kombinált reaktor utáni N_2O kibocsátás tekinthető.

Közvetett kibocsátás

Közvetett kibocsátásnak a katalizátor működéséhez szükséges ammónia gyártása során primerbontóban és gázmosáskor keletkező CO_2 kibocsátás tekinthető. A katalizátorhoz szükséges többlet ammónia termelése során keletkezett CO_2 mennyisége az ammónia földgáz fajlagosából számítható. Közvetett kibocsátás továbbá a katalizátor működéséhez szükséges földgázból keletkező CO_2 kibocsátás is.



83. ábra Az ÜHG kibocsátás a projektből

Összességében tehát a projektvonalai kibocsátás számításánál három komponenst vettünk figyelembe:

- a savgyártásból származó N₂O kibocsátást,
- a véggáztisztító katalizátor működéséhez szükséges többlet ammónia gyártásakor keletkező CO₂ kibocsátást,
- és a katalizátor működéséhez szükséges földgázból keletkező CO₂ kibocsátást.

Az ábrán látható, hogy a Projekthez kapcsolódó ÜHG forrásnak a savgyártás, a katalizátor működéséhez szükséges ammónia gyártás és a katalizátor működéséhez használt földgáz számít.

A 83. ábra ezen két gyártási folyamaton belül részletezi az ÜHG keletkezési helyeit.

8.3.4.2 Alapvonalai N₂O kibocsátás

Az alapvonalai kibocsátás gyakorlatilag a tisztítatlan véggázban mérhető üvegházhatású gáz mennyisége.

Az alapvonalai kibocsátás pontos meghatározásához (i) a véggáz mennyiségének és (ii) az N₂O a tisztítatlan véggázbeli – a véggáztisztító reaktor előtt mért – koncentrációjának ismerete szükséges. Ezekből az aktuális kibocsátást az alábbi képletekkel számolva kapjuk meg.

$$C_{\%_A} = C_{v_A}/10000$$

$$V_{N2O_A} = V_{vg} \times C_{\%_A}/100$$

$$F_{N2O_A} = V_{N2O_A} \times M/V_M /1000$$

$$F_{C2Oe_A} = F_{N2O_A} \times GWP$$

ahol:

C_{v_A}	N ₂ O mennyisége a véggáztisztító reaktor előtt	ppmv
$C_{\%_A}$	N ₂ O mennyisége a véggáztisztító reaktor előtt	tf %
V_{N2O_A}	N ₂ O térfogatárama (alapvonalai)	Nm ³ /hónap
V_{vg}	Véggáz térfogatárama	Nm ³ /hónap
F_{N2O_A}	N ₂ O tömegárama (alapvonalai)	t/hónap
M	N ₂ O moláris tömege	44 g/mol
V_M	N ₂ O moláris térfogata normál állapotban	22,41 dm ³ /mol
F_{C2Oe_A}	CO ₂ e kibocsátás (alapvonalai)	t CO ₂ e
GWP	N ₂ O globális melegítő hatás	310 tCO _{2e} /t N ₂ O

(i) *Véggáz mennyisége*

A technológiában adott terhelésnél a véggáz mennyiség közel állandó. A véggáztisztítóba belépő gáz tervezett árama 201 320 Nm³/h (max. 220 000 Nm³/h). A véggáz mennyiségének meghatározására az elégetőbe beadott ammónia mennyiségén és a véggázban mérhető oxigén szint mérésén alapul.

A véggáz mennyiségét tehát a Distributed Control System (DCS) az égetőbe menő ammónia mennyiségéből és a véggáznak a véggáz kürtőben mért O₂ tartalmából számítja a következő képlet szerint:

$$V_{vg} = V_{NH_3} \times 2 / (0.2099 \times (1-X_{O_2}) - 0.7901 \times X_{O_2})$$

ahol:

V_{vg}	véggáz térfogatáram	Nm ³ /h
V_{NH_3}	NH ₃ elégető reaktorba beadott ammónia térfogatárama	Nm ³ /h
X_{O_2}	az oxigén móltörtje a véggázban	%/100
0,7901	a N ₂ móltörtje a levegőben	
0,2099	az O ₂ móltörtje a levegőben	

A fenti számítási metódus azon a tényen alapul, hogy a levegő oxigéntartalma az ammónia NO₂-vé történő elégetéséhez szükséges mennyiséggel csökken, míg a nitrogéntartalma változatlanul halad át a technológián. Tehát a megmaradt oxigénmennyiség ismeretében számítható a beadott levegő mennyisége, mely meghatározza a véggáz mennyiségét is.

A számított adat a DCS-ben (Nm³/h) on-line rögzítésre kerül. Az égetőbe beadott ammóniamennyiséget egy nyomás- és hőmérséklet kompenzációval ellátott térfogatáramlás-mérő méri. A kapott adatokat a DCS Nm³/h-ba átszámítva rögzíti. A véggáz oxigéntartalmát egy Horiba CMA-622 típusú mérőműszer méri és az adatokat az emissziós számítógép és a DCS is rögzíti mol% egységben.

(ii) *N₂O koncentráció*

A véggáz N₂O tartalmának mérésére a véggáztisztító reaktor előtt egy Horiba VA-3011-es műszerrel történik, ez kerül rögzítésre a DCS-ben (ppmv egységben). A műszer infravörös abszorpciós (NDIR) technikával működik. Mérési tartománya 0-200/4000 ppm. A kétféle mérési határ között az átváltás automatikus, mely a mért érték nagyságrendjétől függ.

8.3.4.3 A projektvonali ÜHG kibocsátások

A projekt kibocsátásait alátámasztó számítások részletes bemutatása.

A PDD-nek megfelelően komplex – a NO_x és N₂O csökkentésére is alkalmas – kétágyas véggáztisztító reaktor került beépítésre. A PDD-ben a katalitikus reakcióhoz redukálószerként ammóniát alkalmazó módszer szerepelt. A tervező és kivitelező UHDE GmbH javaslatára azonban az ammónián kívül még kis mennyiségű földgázt is adunk a véggázhoz a még jobb hatásfok elérése érdekében. A projektvonali számítási módszer esetében ezért figyelembe kell vennünk a csekély mennyiségű redukálószerként beadott földgázból a reakció során képződő CO₂ mennyiségét is.

A projektvonali kibocsátás-csökkentés pontos meghatározásához tehát (i) a véggáz mennyisége, a (ii) az N₂O véggázbeli koncentrációjának, a (iii) katalitikus reakcióhoz felhasznált ammónia és (iv) földgáz mennyiségének ismerete szükséges. Ezekből az aktuális kibocsátást az alábbi képletekkel számolva kapjuk meg.

8.3.4.4 Projektvonali N₂O kibocsátás számítása

$$C_{\%_P} = C_{v_P} / 10000$$

$$V_{N2O_P} = V_{vg} \times C_{\%_P} / 100$$

$$F_{N2O_P} = V_{N2O_P} \times M / V_M / 1000$$

ahol:

C_{v_P}	N ₂ O mennyisége a véggáz kürtőben	ppmv
$C_{\%_P}$	N ₂ O mennyisége a véggáz kürtőben	tf %
V_{N2O_P}	N ₂ O térfogatárama (projektvonali)	Nm ³ /hónap
V_{vg}	Véggáz térfogatárama	Nm ³ /hónap
F_{N2O_P}	N ₂ O tömegárama (projektvonali)	t/hónap
M	N ₂ O moláris tömege	44 g/mol
V_M	N ₂ O moláris térfogata normál állapotban	22,41 dm ³ /mol

8.3.4.5 Az ammónia- és földgázfelhasználásból származó CO₂ kibocsátás számítása

$$V_{\text{ö}} = m_{\text{NH}_3} \times P_{\text{fg}} + V_{\text{fg}}$$

$$H_{\text{ö}} = H_{\text{fg}} \times V_{\text{ö}}$$

$$F_{\text{kat}} = H_{\text{ö}} \times E_{\text{fg}}$$

Ahol:

m_{NH_3}	Katalizátorhoz szükséges ammónia-mennyiség	t
P_{fg}	Az ammónia földgáz-fajlagosa	gNm ³ /t NH ₃
V_{fg}	Katalizátorhoz szükséges földgáz-mennyiség	gNm ³
$V_{\text{ö}}$	Összes földgáz	gNm ³
H_{fg}	A földgáz átlagos fűtőértéke	MJ/gNm ³
$H_{\text{ö}}$	Felhasznált földgáz energiataralma	MJ
E_{fg}	Földgáz CO ₂ e kibocsátási faktor	0,0000561 t CO ₂ /MJ
F_{kat}	Katalizátor működéséhez kapcsolódó CO ₂ e kibocsátás	t CO ₂ e

(i) Véggáz mennyisége

A véggáz mennyiségének számítási módját az 5.2. fejezetben részleteztük.

(ii) az N₂O véggázbeli koncentrációja

A projektvonali kibocsátás meghatározása a véggázkürtőben lévő N₂O koncentráció mérését végző Horiba VA-3001 típusú műszer és a véggáz-elemzőkhöz kiépített adatrögzítő rendszer (emissziós számítógép) által on-line regisztrált adatok alapján történik. A műszerek infravörös abszorpció (NDIR) technikával működik. Mérési tartománya 0-200/2000 ppm. A kétféle mérési határ között az átváltás automatikus, mely a mért érték nagyságrendjétől függ.

A műszer ppmv (C_v) koncentrációegységben mér, mely értékeket az emissziós számítógép számítja át mg/Nm³ (C_{N₂O}) egységbe, rögzíti és továbbítja a DCS-nek.

(iii) A véggáz tisztításához felhasznált ammónia mérése

A N₂O-mentesítéséhez szükséges ammóniamennyiséget közvetlenül a reaktorban, a két katalizátorágy között adják a véggázhoz. Az ammóniaáramot egy tömegárammérő méri. A DCS rögzíti kg/h egységben és összegzett adatként kg-ban is.

(iv) A véggáz tisztításához felhasznált földgáz mérése

A földgáz bevezetése a két katalizátorágy között történik. A nyomás- és hőmérséklet kompenzált mennyiség mérés eredménye Nm³/h egységben on-line módon kerül rögzítésre. Rögzítésre kerül a gáz állapotát jelző nyomás és hőmérséklet is. A DCS számítja az adott időszakra összegzett mennyiségeket is.

(v) A felhasznált földgáz átlagos fűtőértékének meghatározása

Az ammóniatermeléshez felhasznált földgáz összetételét a Szállító kromatográfval elemzi, és az elemzési adatok alapján számítják a földgáz fűtőértékét. Az eredményeket és a számított fűtőérték súlyozott átlagértékét is minden hónapban rendelkezésünkre bocsátják.

8.3.5 A projekt eredményei

Az UHDE által fejlesztett reaktor több mint 99%-os hatásfokkal távolítja el a véggázból az üvegházhatású dinitrogén-oxidot és a nitrogén-oxidokat. Ennek eredményeként havonta körülbelül 100 000 ERU keletkezett a projekt működése során.

A projekt hitelesített adatait a 39. táblázatban foglaljuk össze

39. táblázat A projekt eredményeként elért kibocsátás csökkentés

		2008	2009	2010	2011	2012
Alapvonal kibocsátás	N ₂ O kibocs. (t N ₂ O)	2 712,9	2 910,7	3 287,5	4 102,0	3 756,7
	CO ₂ egyenértékben (t CO _{2e})	841 001	902 324	1 019 135	1 271 614	1 164 583
Projektvonal kibocsátás	N ₂ O kibocs. (t N ₂ O)	16,4	47,4	34,1	43,4	22,1
	katalizátor működéséhez kapcs. CO ₂ kibocs. (t CO ₂)	1 731	2 061	2 299	3 021	2 771
	Összes ÜHG kibocsátás CO ₂ egyenértékben (t CO _{2e})	6 801	16 757	12 855	16 474	9 629
Kibocsátás-csökkentési egység (ERU)		834 200	885 567	1 006 280	1 255 140	1 154 954

8.3.6 Az EU ETS változásának következményei

Az Európai Unió Emisszió-kereskedelmi rendszerének (EU ETS) hatálya alá 2012-ig csak a Nitrogénművek Zrt. földgáztüzelésű kazánüzeme tartozott (20 MW-ot meghaladó bemenő hőteljesítményű tüzelőberendezés) a 2003/87/EK irányelv szerint.

2013. január 1-től – a 2009/29/EK irányelv I. melléklete szerint – két ún. termék-referenciaértékkel (benchmark) rendelkező gyártásfolyamat is az EU ETS alá hatálya alá került: az ammónia- és a salétromsavgyártás. Ennek következményeként a Salétromsav üzemi N₂O-csökkentési Együttes Végrehajtási projekt véget ért.

A harmadik kereskedési időszakban (2013-2020) tehát a Salétromsav üzem működéséből származó üvegházhatású gázok kibocsátása után is kvótát (European Union Allowance Unit, EUA) kell visszaadni az államnak a tárgyévét követő április 30-ig.

Az ingyenes kvóták kiosztása és a kvóták visszaadása létesítményi szinten történik majd, mely létesítmény (installation) részét képezi a fent említett három ÜHG-kibocsátású üzem (Ammónia üzem, Salétromsav üzem, Kazánüzem).

A termék-referenciaérték a salétromsav gyártás esetén 0,302 EUA/t salétromsav. A Nitrogénművek Zrt. a bázisidőszakok közül (2005-2008 és 2009-2010; 2011/278/EU bizottsági határozat 9. cikk 1. bekezdés) a 2005-2008-as időszakot választotta és ezen évek termelésének medián értéke lett az ingyenes kiosztás alapja. A bázisidőszak mediánja: 472 620 t salétromsav (100%-os savtartalomra átszámított mennyiség), így a referenciaértékkel történő szorzás eredményeként a várható ingyenes kiosztás a salétromsav üzemi kibocsátásra 142 731 EUA. *(Az ingyenes kiosztandó kvóták mennyisége még nem végleges, mivel az Európai Bizottság ún. ágazatközi korrekciós tényezővel (cross-sectorial correction factor) csökkentheti azt, de ennek értéke egyelőre ismeretlen.)* A Salétromsav üzem világszínvonalú véggáztisztító reaktorának köszönhetően ez a kiosztás bőven fedezi a savüzemi kibocsátást, hiszen a fajlagos kibocsátás egy nagyságrenddel kisebb (<0,035 tCO_{2e}/t sav), mint a referenciaérték.

Természetesen emellett a másik két, az EU ETS hatálya alá tartozó, üzem bázisidőszakban mért termelési adatainak mediánja alapján is részesül további ingyenesen kiosztott kvótákból a Nitrogénművek Zrt., de ennek mennyisége nem fedezi a normál évi termelés mellett kibocsátott üvegházhatású gázok mennyiségét. A visszaadási kötelezettség egy része a teljes létesítmény részére ingyenesen kiosztott kvótákból teljesíthető, a hiányzó mennyiséget pedig aukción vagy piacon kell megvásárolni.

A Nitrogénművek Zrt középtávú terveiben szerepel a kibocsátás további csökkentése és az energiahatékonyság növelése az Ammónia üzemben, melynek kibocsátási fajlagosa ezáltal közelebb kerül majd a termék-referenciaértékhez.

A klíma-kereskedelmi rendszerek (Kiotói Jegyzőkönyv és EU ETS) tehát különböző módszerekkel, de ösztönzik és/vagy kényszerítik az ipar szereplőit az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére. Ez a folyamat az ipari szereplők részéről nagy anyagi ráfordítást igényel, azonban a környezetkímélőbb üzemek, technológiák versenyképesebbé is teszik a beruházó céget és – miután gyakran járnak együtt energia-megtakarítással – a ráfordítások hosszú távon megtérülnek.

8.3.7 Irodalomjegyzék

- [1] Papp S.: Környezeti kémia, oldalszám.
- [2] Climate Change Indicators in the United States: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases - www.epa.gov/climatechange/indicators - Updated August 2013
- [3] Louiser, D.: Greenhouse Gases: Nitrous Oxide, BC Institute of Social Ecology, <http://www.bcise.com/CurrentIssuePapers/Nitrous-Oxide.pdf>, 2013. augusztus
- [4] Methane and Nitrous Oxide Emissions from Natural Sources, United States Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs, April 2010, <http://www.epa.gov/outreach/pdfs/Methane-and-Nitrous-Oxide-Emissions-From-Natural-Sources.pdf>, 2013. augusztus
- [5] Greenhouse Gases and Global Warming Potential Values, Excerpt from the Inventory of US Greenhouse Emissions and Sinks: 1990-2000, US EPA, April 2002, http://www.geo.tu-freiberg.de/hydro/vorl_portal/enviro_n/geol/gwp_epa.pdf, 2013. augusztus
- [6] United Nations Framework Convention on Climate Change, Greenhouse Gas Inventory Data, <http://unfccc.int/di/DetailedByGas>, 2013. augusztus
- [7] Velthof, G. L.; Mosquera, J.: Calculation of nitrous oxide emissions from agriculture in the Netherlands, Alterra report 2151, ISSN 1566-7197
- [8] Reay, S. D. et al.: Global Agriculture and Nitrous Oxide Emissions, Nature Climate Change 2, 410-416, 2012.
- [9] Emissions of Greenhouse Gases in the US 2009, Independent Statistics and Analysis, US Energy Information Administration, US Department of Energy, March 2011, http://www.eia.gov/environment/emissions/ghg_report/pdf/0573%282009%29.pdf, 2013. augusztus
- [10] Korhonen, S. et al.: Methane and Nitrous Oxide Emissions in the Finnish Energy Production, Forum Power and Heat Oy, Technology, 15 May 2001, <http://energia.fi/sites/default/files/non-co2-raportti.pdf>, 2013. Augusztus
- [11] de Beer, J.; Philipsen D.: Economic Evaluation of Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Emission Reduction in Industry in the EU, Bottom-Up Analysis, Final Report January 2001, http://ec.europa.eu/environment/enveco/climate_change/pdf/industry.pdf, 2013. augusztus
- [12] Castellan, A. et al.: Industrial Production and Use of Adipic Acid, Catalysis Today, 9, 1991, 237-254.
- [13] Mainhardt, H.: N₂O Emissions from Adipic Acid and Nitric Acid Production, www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/3_2_Adipic_Acid_Nitric_Acid_Production.pdf, 2013. augusztus
- [14] M. Groves, M. Schwefer, R. Siefert: Nitric Acid – Without the Emissions, <http://www.thyssenkrupp-uhde.de>, 2013. augusztus

[15] Developments in Nitric Acid Production Technology, ThyssenKrupp Uhde, Fertilizer Focus, September/October 2004, 23-25.

[16] Nitric Acid, ThyssenKrupp Uhde publication, [http: www.thyssenkrupp-uhde.de](http://www.thyssenkrupp-uhde.de), 2013. augusztus

[17] Nitric Acid, IHS Chemical Report,

[http: http://www.ihs.com/products/chemical/planning/ceh/nitric-acid.aspx](http://www.ihs.com/products/chemical/planning/ceh/nitric-acid.aspx), 2013. augusztus

[18] N. I. Il'chenko: Russian Chemical Reviews, 45, 12, 1976, 1119-1134.

[19] J. Pérez-Ramirez, F. Kaptein, K. Schöffel, J. A. Moulijn: Applied Catalysis B: Environmental, 44, 2003, 117-151.

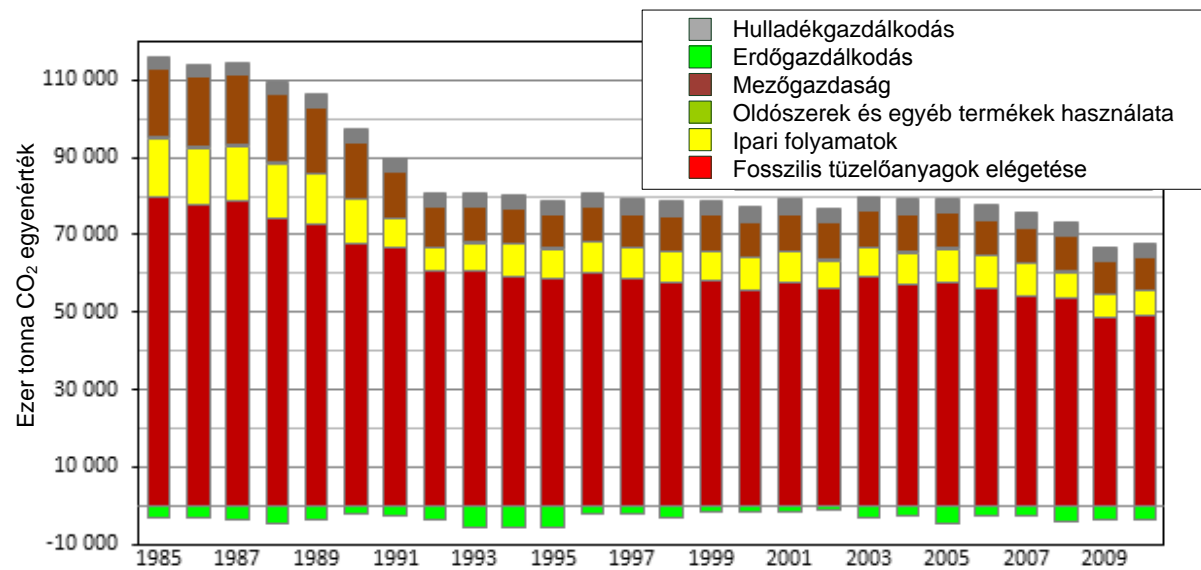
[20] Fertilizer Manual, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1998, 213.

[21] R. W. Van den Brink, S. Booneveld, J. R. Pels, F. D. Bakker, M. J. F. M. Verhaak: Applied Catalysis B, 32, 2001, 73-81.

9 A N₂O üvegházgáz kibocsátás csökkentésének lehetősége egy elképzelt ipari technológiában, alapvonalai, projektvonalai kibocsátás számítása a salétromsav üzemi beruházás példáján keresztül

9.1 Bevezetés

Az atmoszféra átlaghőmérséklete 1,5 °C-kal növekedett 1850-től. Ezt a felmelegedést az üvegházhatású gázok (főként CO₂, CH₄, N₂O, CF₄, C₂F₆, troposzférikus ózon) koncentrációjának légkörben való növekedése okozza. Ezen gázok a Nap látható, rövidhullámú és ultraibolya sugárzását nem nyelik el, amelyek így eléri a földfelszínt. A Föld felszíne által kibocsátott infravörös és hosszuhullámú sugárzását viszont elnyelik, ami az atmoszféra és bolygónk felszínének felmelegedésével jár. Ezt a jelenséget nevezzük **üvegházhatásnak**.



84. ábra Üvegházhatású gázok leltára Magyarországon, 2012 (Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat)

A kiotói jegyzőkönyv – amelynek hazánk is tagja volt – megfogalmazott olyan rugalmassági mechanizmusokat, amelyek révén az üvegházgáz kibocsátás csökkentése a fenntartható fejlődés elveinek figyelembevételével valósítható meg.



85. ábra Zöld aktivista aszfaltrajza

Az alábbiakban egy elképzelt ipari esettanulmányon keresztül kerül bemutatásra, a dinitrogén-oxid, mint üvegházgáz kibocsátásának csökkentése.



86. ábra A műtrágya előállításánál jelentős mennyiségű N_2O képződik (Forrás: www.nitrogen.hu)

9.2 Előzmények, a példa projekt indokoltsága

A példa vállalat dinitrogén-oxid kibocsátás csökkenést eredményező katalizátor beépítését tervezi megvalósuló újonnan épülő hígsav üzemébe. A projekt keretében az új savüzembe olyan katalizátor kerül beépítésre, amely 400-500 °C-on lejátszódó, katalitikus folyamatok eredményeként a véggáz N₂O tartalmát 85-90 %-kal (100-150 ppm-re) csökkenti. A katalizátor a véggáz kezelő reaktorban helyezkedik el, működéséhez többlet ammónia beadagolása szükséges. Mivel jelenleg a dinitrogén-oxid kibocsátásra nincs érvényben lévő jogszabályi előírás, illetve a katalizátor nem szükséges része a savgyártási folyamatnak, ezért a projekt megvalósítása önkéntes jellegű, és kizárólag klímavédelmi célokat szolgálja.

A jelenlegi egynyomású (5-6 bar) hígsav üzem fő berendezéseinek periodikus cseréjével az üzem még 8-10 évig lenne működőképes, azonban a cserék egyre növekvő költségigényével a gazdasági mutatók folyamatosan tovább romlanának. Célszerűbb és gazdaságosabb a régi üzem újjal való felváltása és a régi üzem végleges leállítása.

A jelenlegi üzemnek (1400 t/nap termelőkapacitással) nem része semmilyen N₂O kibocsátást csökkentő technológia. Korábban beépítésre került egy dinitrogén-oxid elemző készülék, így a véggázban az NO_x mellett most már ennek a gáznak a mennyisége is mérhető. A véggázban mért átlag koncentráció 1370 ppm, a kibocsátások szélső értékei, minimum: 1006 ppm, maximum: 2005 ppm volt. A NO_x csökkentésére korábban NSCR folyamatot használtak, melyet egységenként SCR-re váltottak fel a hatékonyság növelése és az energiaköltségek, valamint a környezetterhelés csökkentése érdekében. Az SCR technológia mellett tapasztalt átlagos dinitrogén-oxid kibocsátás 1787 ppm volt. A minimális kibocsátási érték 1056, a maximális 2621 ppm volt.

Az értékek leolvasása műszakonként történik (6, 14, 22 órakor). A mérőműszer beépítését megelőzően N₂O koncentráció mérése a véggázban nem történt. A múltbéli N₂O kibocsátás mértéke számítással nem határozható meg, mert a lejátszódó reakciók összetettsége ezt nem teszi lehetővé. Mivel a technológia és a főbb paraméterek korábban nem változtak, feltételezhető, hogy a kilépő gázban a az N₂O koncentráció értéke hasonló volt a mért időszakokkal. A beruházást megelőző években kibocsátott N₂O mennyiségét, és szén-dioxid ekvivalensre átszámított értékét mutatja az 40. táblázat

Az új savüzembe beépített katalizátorral elérhető kibocsátás csökkentés révén a tulajdonos alkalmas a kiotói jegyzőkönyv által megfogalmazott Együttes Végrehajtási projektben való részvételre. Ezáltal a beruházás finanszírozása a kiotói jegyzőkönyv rugalmassági mechanizmusának keretein belül valósul meg.



87. ábra A kibocsátott légszennyezőanyag térfogatáramának számításánál a pontforrás keresztmetszete meghatározó



88. ábra Az emissziós mérőműszerek közvetlenül a pontforrásra szeretlen végzik az adatgyűjtést

40. táblázat N₂O kibocsátás a beruházást megelőző években a hígsav üzemből

Jellemző	Egység	1 év	2 év	3 év	4 év	5 év
Kapacitás	t/nap	1400	1400	1400	1400	1400
Savtermelés	t/év	289.700	363.433	389.158	243.638	268.902
Véggáz	eNm ³ /év	1.390.560	1.744.526	1.867.958	1.169.462	1.290.730
N ₂ O átlag koncentráció	ppmv	1370	1370	1370	1370	1370
N ₂ O éves tömegárama	t/év	3.740	4.693	5.025	3.146	3.472
N ₂ O GWP	CO ₂ ekv	310	310	310	310	310
CO ₂ ekv kibocsátás	tCO ₂ ekv/év	1.159.532	1.454.691	1.557.616	975.168	1.076.288

9.3 A dinitrogén-oxid emisszió csökkentése

A beruházással kétnyomású, 1500 t/nap kapacitású, 60 % (m/m) töménységű salétromsavat előállító üzem valósul meg. A dinitrogén-oxid emisszió csökkentésére szóba jöhető módszerek közül az alábbi lehetőségek megvalósíthatóságát vizsgálták:

- Pt-Rh háló geometriai átalakítása (primer eljárás),
- homogén fázisú bontás a megnövelt égető térben (szekunder eljárás),
- katalitikus bontás az égetőtérben (szekunder eljárás),
- nem szelektív katalitikus redukció (tercier eljárás),
- kombinált N_2O és NO_x csökkentés ammónia felhasználásával.

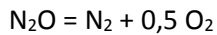
A Pt-Rh háló geometriai átalakítása nem releváns módszer az adott ipari létesítmény esetében, mert az újonnan épülő savüzemben a háló tervezésekor beépítésekor már eleve az N_2O képződés minimalizálására fognak törekedni. A megoldással kb. mintegy 30 %-os N_2O kibocsátás csökkentés érhető el. A megnövelt égetőtérben alkalmazott homogénfázisú lebontással nem érhető el olyan mértékű kibocsátás csökkentés, mint a kiválasztott technológiával. A magas hőmérsékletű katalitikus lebontásra állnak már rendelkezésre referenciák (pl. BASF), de az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy a rezet is tartalmazó katalizátorok kockázatot jelentenek a katalizátor utáni folyamatokra. A BASF új, második generációs katalizátor fejlesztésén dolgozik. Az NSCR technológia alkalmazása a magas hőmérséklet és energiaköltségek miatt nem javasolt. Az NSCR drága technológiának számít, a szerkezeti anyagokat erősebben igénybe veszi a magas hőmérsékleten való működés, valamint járulékos CO és CO_2 kibocsátással jár.



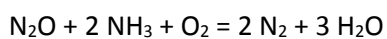
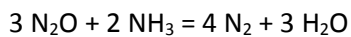
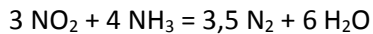
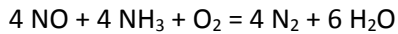
89. ábra Ipari gyakorlatban több 100 bevallásra kötelezett pontforrás is helyet foglal egy csarnok tetején

A kiválasztott technológia a kombinált N_2O és NO_x csökkentés. E technológiára már ipari tapasztalat is áll rendelkezésre, valamint jelenleg ezzel érhető el a legnagyobb mértékű N_2O kibocsátás csökkentés. A véggáz áramba beépített reaktorban elhelyezett katalizátorok egyidejűleg alkalmasak az NO_x és N_2O koncentráció csökkentésére, N_2O -ra várhatólag legalább 85-90 %-os kibocsátás csökkentés érhető el. Mivel a technológia új üzemben kerül megvalósításra, ezért már a tervezéskor kialakíthatók úgy a körülmények, hogy nem okoz gondot a katalizátor optimális működéséhez szükséges feltételek biztosítása (pl. a reaktorba lépő véggáz megfelelő hőmérsékletének biztosítása. A kombinált reaktor az utolsó véggáz hőcserélő és a véggáz turbina közé kerül beépítésre. A reaktor két katalizátor réteget

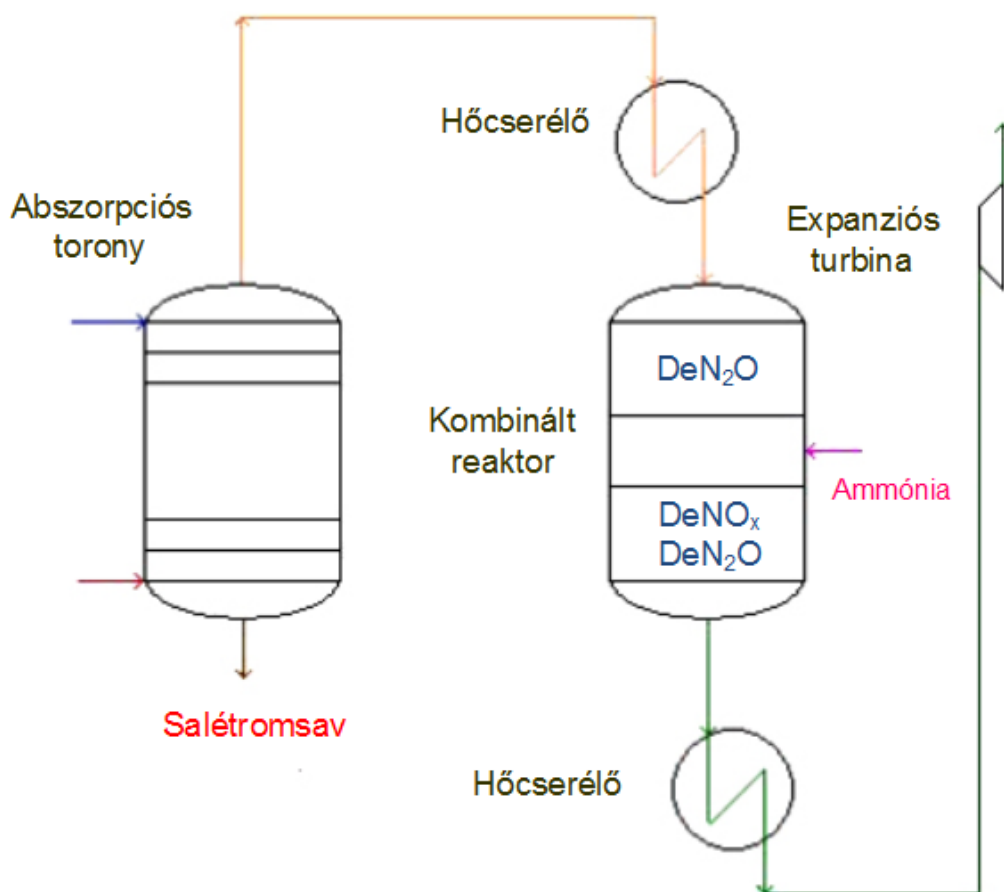
tartalmaz, közbülső ammónia betáplálással. Az első katalizátor réteg az N_2O -t bontja az alábbi reakcióegyenlet szerint:



Az első katalizátor ágyat elhagyó véggázt ammóniával keverik a második rétegre való áramoltatás előtt. Az ammónia az NO_x bontását szolgálja elemi nitrogénné és vízzé az N_2O tovább csökkentése mellett. A lejátszódó reakciók egyenlete:



A technológia folyamatvázlatát a 90. ábra mutatja.



90. ábra Kombinált N_2O és NO_x emisszió csökkentést megvalósító rendszer

A tapasztalatok azt mutatják, hogy optimális működési paraméterek mellett a minimálisan elérhető átalakulási fokon túl akár 99 %-os redukció is elérhető a katalizátor felület és a felhasznált ammónia mennyiségének növelésével. A beadagolható ammónia mennyiségének határt szab, hogy a kilépő

gázban az ammónia nem jelenhet meg. Jelentős előnye még az eljárásnak, hogy nincs hatással az ammónia égetéskor keletkező NO mennyiségére, s ezáltal nem befolyásolja a salétromsav-gyártás folyamatát.

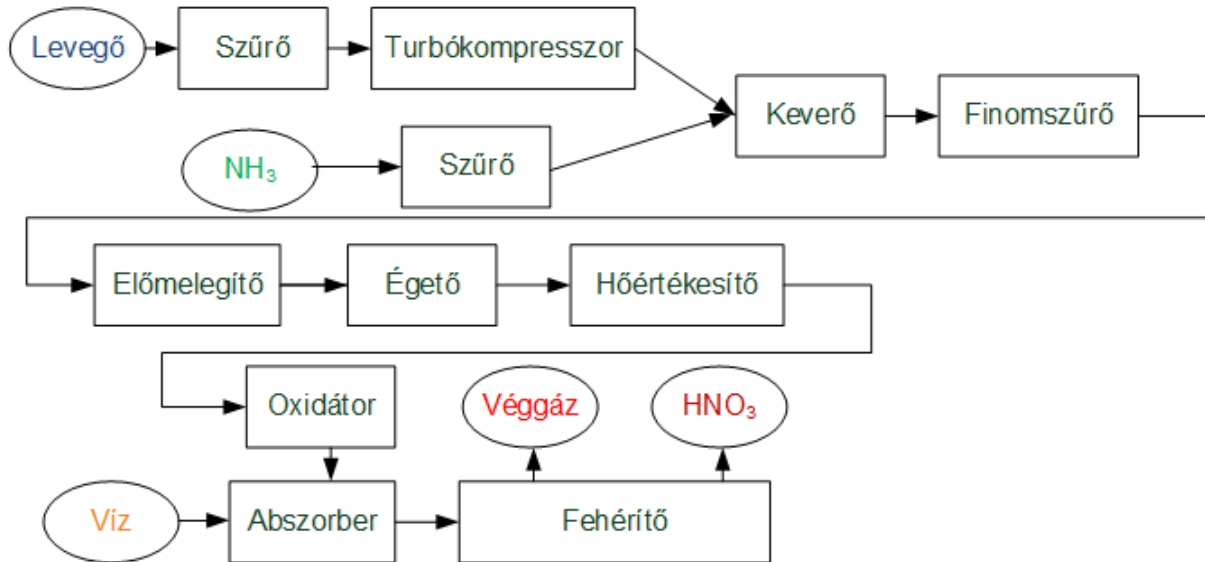
(Az német Uhde technológiájának első üzemszerű alkalmazására 2003 őszén az ausztriai Agrolinz Melamine International GmbH-nál került sor. A katalizátor Fe-zeolit. Ez volt a világon az első kombinált DeN₂O/DeNO_x reaktor, amely üzemi szinten került beépítésre. Az elmúlt év eredményei azt mutatják, hogy a technológia a vártnál is jobb eredményt ért el: a tervadatok 90 %-os N₂O csökkentését irányoztak elő, a tényadatok szerint a technológia 2004. májusig 99 %-os N₂O csökkenést eredményezett.)

A gyakorlati példa következő fejezeteiben a régi üzem és az új beruházás révén megépülő üzem dinitrogén-oxid emisszióinak kiszámítása következik.

9.4 A jelenlegi salétromsavüzem dinitrogén-oxid emissziójának számítása

Az üzem négy, egyenként 350 t/nap (100 % m/m-os savra számítva) salétromsav termelési kapacitású blokkból áll. Az üzem ún. egynyomású technológiával működik, ami azt jelenti, hogy az ammónia oxidáció (égetés), a nitrogén-monoxid oxidációja, illetve a nitrogén-dioxid abszorpciója ugyanazon a nyomásszinten játszódik le (5-6 bar nyomáson). A modern salétromsavüzemek kétnyomású technológiával működnek, az ammónia oxidáció folyamatának ugyanis az alacsonyabb nyomás (1-3 bar), míg az NO oxidációnak és az NO₂ abszorpciónak a nyomás növelése kedvez (8-13 bar). Így a kétnyomású üzemekben a gáz kompressziója az ammónia égetés és az NO oxidációja között történik meg. Az egynyomású üzemek kompromisszumos megoldásként a két nyomásszint közötti nyomáson üzemelnek (5-8 bar). Az ammónia oxidációja 1:9 molarányú ammónia-levegő keverék alkalmazásával történik 890 °C-on 5-10 % ródiummal ötvözött platinaháló katalizátoron. Az oxidáció előtt a gázt előmelegítik egyrészt az NO oxidátorból kilépő gáz hőtartalmával (az NO oxidáció exoterm folyamat, a felszabaduló hő hasznosítható az előmelegítési lépésben). Az ammónia oxidációs reakciót elhagyó gáz hőtartalmát ugyancsak hasznosítják, mégpedig vízgőz előállítására. Az NO oxidáció után a gázt hűtik, majd az abszorpciós toronyba vezetik, ahol a gáz NO₂ tartalmát vízben elnyeletik, salétromsav előállítás céljából. A termék salétromsavat (58-62 % m/m) a fehéritőtoronyba vezetik, ahol a belőle a fizikailag oldott, s a savat barnára színező nitrogén-dioxidot levegő bevezetésével kihajtják.

A 91. ábra a jelenleg működő salétromsav-üzem blokkdiagramját mutatja.



91. ábra A régi technológia salétromsavüzemének blokkdiagramja

Mivel a dinitrogén-oxid képződése a salétromsavgyártás folyamatában az ammónia égetés folyamatára korlátozódik a fentebb bemutatott kémiai reakciók szerint, a számításban erre a lépésre koncentrálnunk. A számításban felhasznált adatok az üzem egy blokkjára vonatkoznak.

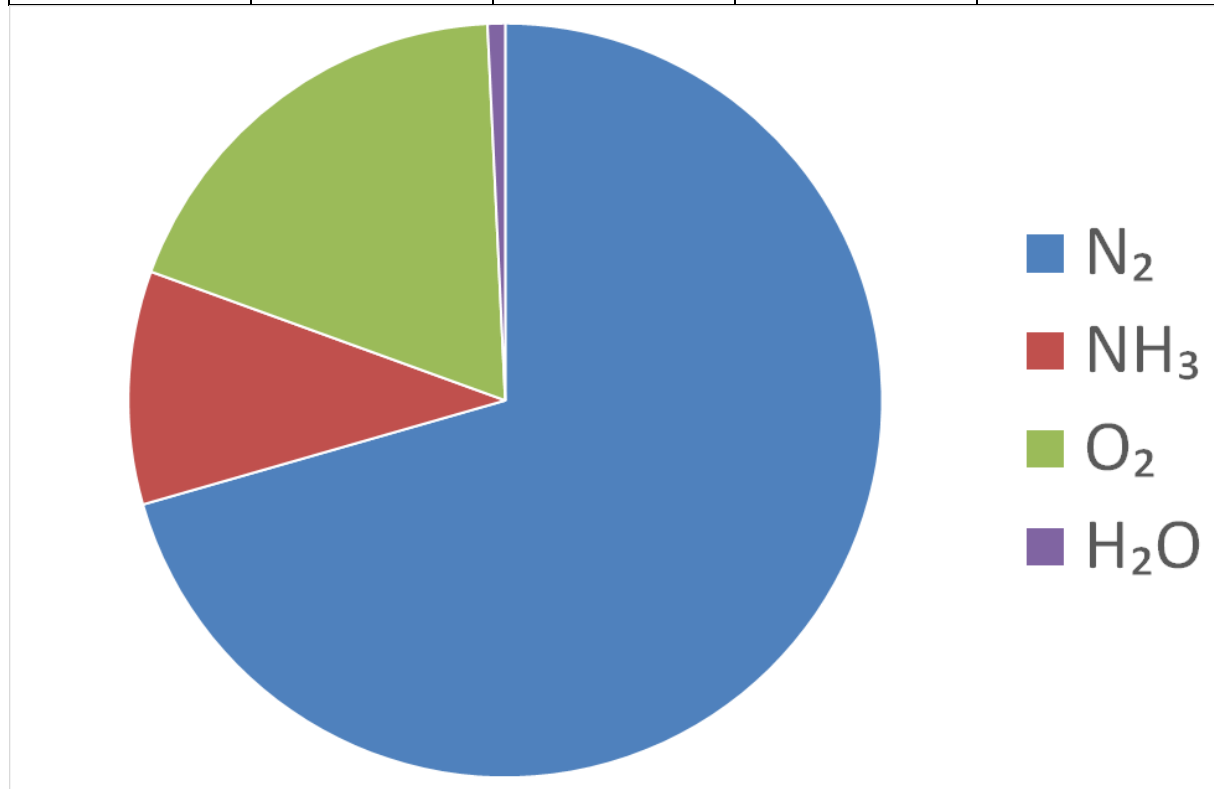
Az ammóniaégetőbe belépő gáz térfogatárama a termelt sav tömegére vonatkoztatva: $Q_{s,1}=3820 \text{ Nm}^3/\text{t sav}$. A blokkban termelt sav mennyisége: $m_s=350 \text{ t sav/nap}$. Így az ammóniaégetőbe vezetett folyamatgáz térfogatárama:

$$Q_1 = Q_{s,1} \cdot m_s = 3820 \text{ Nm}^3/\text{t sav} \cdot 350 \text{ t sav/nap} = 1.337.000 \text{ Nm}^3/\text{nap} = 55.708 \text{ Nm}^3/\text{h}.$$

Az üzemből kapott adatok alapján a folyamatgáz térfogatszázalékban ($X_i, \text{V/V} \%$) kifejezett összetételét a 41. táblázat mutatja.

41. táblázat Az ammóniaégetőbe belépő folyamatgáz térfogatszázalékos összetétele

Gáz	N ₂	NH ₃	O ₂	H ₂ O
X _i (V/V %)	70,55	10,00	18,70	0,75



92. ábra Az ammóniaégetőbe belépő folyamatgáz térfogatszázalékos összetétele

A folyamatgáz térfogatáramának és az egyes komponensek koncentrációjának ismeretében kiszámítható az egyes komponensek mólárama a következő módon:

$$n_i = Q_1 \cdot \frac{X_i}{100} \cdot \frac{1}{22,41}, \text{ ahol}$$

n_i - az i-edik komponens mólárama a folyamatgázban (kmol/h).

Így példaképpen a nitrogén mólárama a következőképpen számítható:

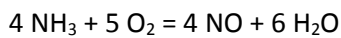
$$n_{N_2} = 55.708 \frac{Nm^3}{h} \cdot \frac{70,55}{100} \cdot \frac{1}{22,41 \frac{Nm^3}{kmol}} = 1753,8 \frac{kmol}{h}$$

A komponensek ezen módszer szerint számított móláramait a 42. táblázat mutatja.

42. táblázat A folyamatgáz komponenseinek mólárama

Gáz	N ₂	NH ₃	O ₂	H ₂ O
n _i (kmol/h)	1753,8	248,6	464,9	18,6

A NO keletkezését eredményező ammónia oxidáció reakcióegyenlete:



A reakcióegyenlet értelmében a sztöchiometriailag szükséges oxigén biztosításához szükséges levegő mólszáma 4 mól ammónia oxidációja esetén: $5 + 79/21 \cdot 5 = 23,81$ mol levegő. 4 mol ammóniát és 23,81 mol levegőt tartalmazó gázelegyenben az ammónia térfogatszázaléka:

$$X_{NH_3} = \frac{4}{4+23,81} \cdot 100 = 14,38 \% \text{ (V/V)}$$

A megadott adatok szerint az égetésre vitt gázelegyen ennél kevesebb, 10,00 % (V/V) ammóniát tartalmaz. Ennek egyik oka az, hogy az ammónia levegővel robbanó elegyet képez, amelynek alsó robbanási határa 15,5 % (V/V), felső robbanási határa pedig 28 % (V/V) ammónia tartalom. A reakció sztöchiometriájának megfelelő összetétel esetén a gázelegyen ammónia tartalma túl közel kerülne az alsó robbanási határ értékéhez, biztonságtechnikai okokból tehát ennél kevesebb ammóniát tartalmazó gázelegyen vezethető az oxidációs folyamatba. A kevesebb ammóniát tartalmazó gázelegyenek esetén pedig gyakorlati tapasztalat az, hogy optimális NO hozam az 1:9 mólarányú ammónia-levegő keverék, azaz 10 % (V/V) ammóniatartalom esetén érhető el.

Az ammóniaégető reaktort elhagyó gáz térfogatárama a termelt sav mennyiségére vonatkoztatva: $Q_{s,2} = 3820 Nm^3/t$ sav. Ily módon a kilépő folyamatgáz térfogatárama:

$$Q_2 = Q_{s,2} \cdot m_s = 3916,1 Nm^3/t \text{ sav} \cdot 350 t \text{ sav/nap} = 1\,370\,635 Nm^3/nap = 57\,110 Nm^3/h$$

A gáz térfogatszázalékban kifejezett összetétele alapján a fentivel azonos módon kiszámítható az egyes komponensek mólárama. Az üzemből kapott és a számított adatokat a 43. táblázat mutatja.

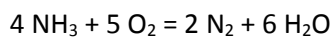
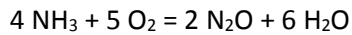
43. táblázat Az ammóniaégetőből kilépő folyamatgáz térfogatszázalékos összetétele, valamint az egyes komponensek mólárama

Gáz	N ₂	NO	O ₂	H ₂ O
X _i (V/V %)	68,90	9,27	6,29	15,39
n _i (kmol/h)	1755,9	236,2	160,3	392,2

Az égetési folyamatba bevitt ammónia mennyisége 248,6 kmol/h, ebből 236,2 kmol/h NO keletkezett, az elméleti 248,6 kmol/h érték helyett. Így az NO szelektivitás:

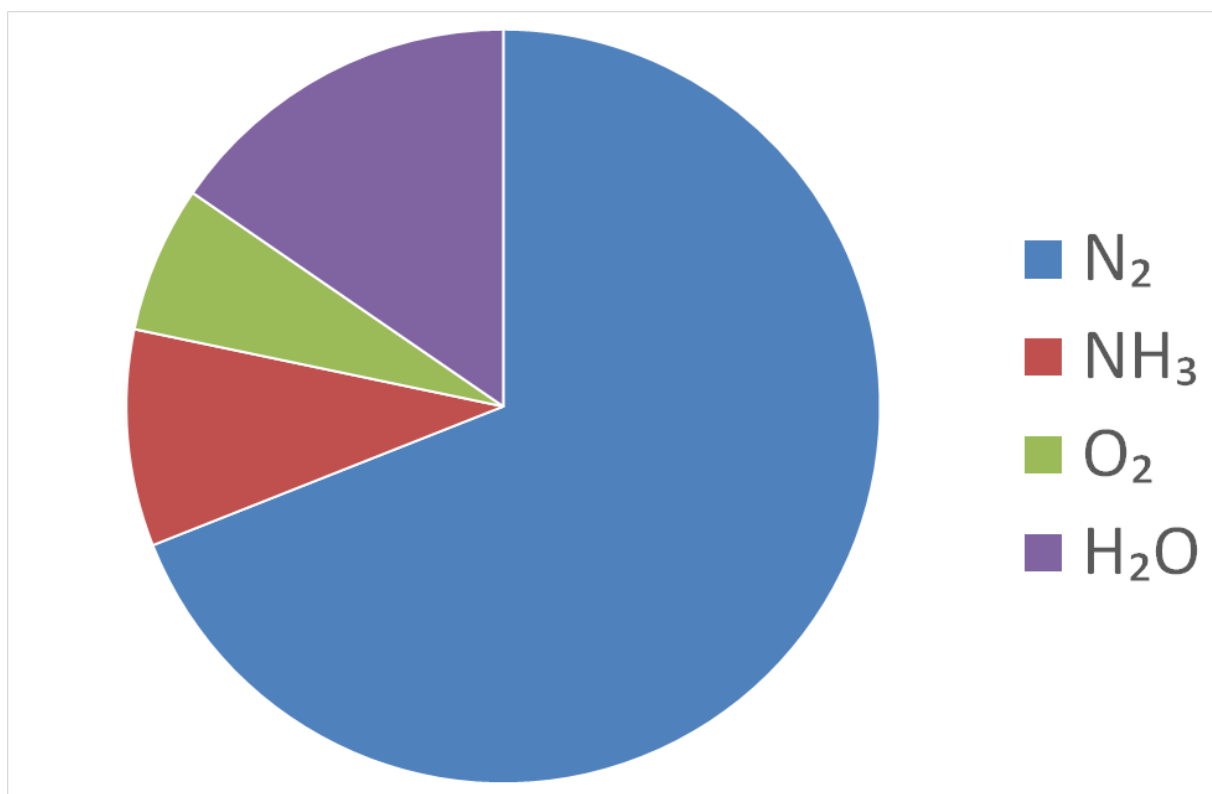
$$y_{\text{NH}_3} = \frac{236,2 \text{ kmol/h}}{248,6 \text{ kmol/h}} \cdot 100 = 95 \%$$

Ez az érték megfelel az egyes szakirodalmakban megadott 95-97 %-os szelektivitási értéknek. A szelektivitás 100 %-nál kisebb értékének oka elsősorban az alábbi két mellékreakció lejátszódása. E két reakció a dinitrogén-oxid és a nitrogén képződése az ammónia oxidációja során:



Utóbbi mellékreakció lejátszódása azonnal látható az égetésbe belépő és az égetőrektort elhagyó gáz nitrogéntartalmának móláramából. Az égetés során a nitrogén móláramának növekedése: 1755,9 kmol/h – 1753,8 kmol/h = 2,1 kmol/h.

Az ammónia oxidáció nitrogén mérlegét mutatja a 94. ábra (elhagyva a belépő és a kilépő gázból az 1753,8 kmol/h eredeti nitrogén móláramot):



93. ábra Az ammóniaégetőből kilépő folyamatgáz térfogatszázalékos összetétele



94. ábra Az ammónia oxidáció nitrogén mérlege

A mérleg alapján megállapítható, hogy ha a kilépő gázban csak a nitrogén és az NO jelenlétét vesszük figyelembe, akkor $248,6 - (236,2 + 2,1 \cdot 2) = 8,2$ kmol/h nitrogén hiány mutatkozik az égetőből kilépő oldalon. Ez a nitrogén mennyiség a fentebb leírtak értelmében csak N_2O lehet. Ennek mennyisége az égetőből kilépő gázban: $n_{N_2O} = 8,2 \text{ kmol/h} / 2 = 4,1 \text{ kmol/h } N_2O$.

Az ammónia oxidációjakor keletkező dinitrogén-oxid tömegaráma tehát:

$$m_{N_2O} = n_{N_2O} \cdot M_{N_2O} = 4,1 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 180,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}},$$

ahol M_{N_2O} – a dinitrogén-oxid móltömege (kg/kmol).

A dinitrogén-oxid tömegaráma a termelt sav mennyiségére vonatkoztatva:

$$m_{N_2O,s} = \frac{m_{N_2O}}{m_s} = \frac{180,4 \text{ kg/h}}{350 \text{ t sav/nap}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{nap}} = 12,37 \frac{\text{kg}}{\text{t sav}}$$

9.5 Homogén fázisú bontás az égetőben

A salétromsav-gyártás dinitrogén-oxid emissziójának egy csökkentési lehetősége a dinitrogén-oxid tartalmú gáz tartózkodási idejének megnövelése a Pt hálók utáni magas hőmérsékletű térben (szekunder eljárás). Legalább 2 s tartózkodási idő biztosításával az égetéskor keletkező N_2O -nak 70 % termikusan elbontható. Ugyan ez a megoldás a több ipari technológia esetében nem releváns, mert a kiválasztott technológiával a dinitrogén-oxid emisszió nagyobb mértékű csökkenése érhető el, mégis az eljárás viszonylagos egyszerűsége okán érdemes egy fejezetet szentelni ezen módszernek is. A megnövelt égetőtér koncepcióját a régi salétromsavüzem példáján bemutatható, mivel ez esetben rendelkezésre áll az összes a számítások elvégzéséhez szükséges adat.

A jelenlegi üzemben működő égetők fő méretei: reaktorok magassága $H = 5\text{m}$, átmérőjük: $D = 1600 \text{ mm} = 1,6 \text{ m}$. Ezen adatok alapján az égetőreaktor térfogata:

$$V = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot H = \frac{(1,6 \text{ m})^2 \cdot \pi}{4} \cdot 5 \text{ m} = 10,05 \text{ m}^3$$

Az égetőreaktorhoz hőhasznosító kazán csatlakozik. A reaktor utolsó hálója és a hőhasznosító kazán közötti üres tér térfogata $V_{ü,1} = 2,5 \text{ m}^3$. A gáz térfogatáramának ismeretében kiszámítható ezen térben az átlagos tartózkodási idő. Ki kell számítani az égetőben uralkodó nyomás és hőmérséklet viszonyok melletti térfogatáramot. Ez következő módon az alábbi összefüggés segítségével lehetséges:

$$\frac{P \cdot Q}{T} = \frac{P_n \cdot Q_2}{T_n}, \text{ ahol}$$

P – az ammónia égetés aktuális nyomása (710 kPa),

Q – a folyamatgáz térfogatárama az aktuális nyomáson és hőmérsékleten (m^3/h),

T – az ammónia égetés aktuális hőmérséklete ($890 \text{ °C} = 1163 \text{ K}$),

P_n – a nyomás értéke normálállapotban (101,325 kPa),

Q_2 – a gáz térfogatárama normálállapotra számítva (Nm^3/h),

T_n – a hőmérséklet értéke normálállapotban (273 K).

Így az adott állapotra vonatkozó térfogatáram:

$$Q = \frac{P_n}{P} \cdot \frac{T}{T_n} \cdot Q_2 = \frac{101,325 \text{ kPa}}{710 \text{ kPa}} \cdot \frac{1163 \text{ K}}{273 \text{ K}} \cdot 57110 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 34.721 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 9,64 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

A gáz átlagos tartózkodási ideje pedig az ammónia égetés utáni üres térben:

$$\tau = \frac{V_{ü,1}}{Q} = \frac{2,5 \text{ m}^3}{9,64 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 0,26 \text{ s}$$

A 2 sec tartózkodási idő eléréséhez meg kell növelni a hőhasznosító kazán előtti magas hőmérsékletű tér térfogatát. A dinitrogén-oxid 70%-a termikusan elbomlik a magas hőmérsékletű térben, ez azonban a kis koncentráció miatt elhanyagolható mértékben csökkenti csak a gáz térfogatáramát, ezért a fent meghatározott értékkel számolunk a továbbiakban is.

A 2 sec tartózkodási idő biztosításához szükséges térfogat ($V_{ü,2}$) következőképpen számítható:

$$V_{ü,2} = Q \cdot \tau_2 = 9,64 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 2 \text{ s} = 19,28 \text{ m}^3$$

A reaktor átmérőjének ($D=1,6 \text{ m}$) ismeretében kiszámítható az „üres tér” magassága ($H_{ü,2}$):

$$H_{ü,2} = \frac{4 \cdot V_{ü,2}}{D^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 19,28 \text{ m}^3}{(1,6 \text{ m})^2 \cdot \pi} = 9,59 \text{ m}$$

A reaktor magasságának ilyen mértékben való megnövelése természetesen nem járható út, mert ezen térben bekövetkező hőveszteség miatt csökkenne a gáz hőmérséklete, ami a hőhasznosító kazánban kinyerhető hő mennyiségét csökkentené. A tartózkodási idő megnövelése érdekében a reaktor átmérőjét is növelni kellene. Ezen esettanulmányban az új salétromsavüzemben az ammónia égető reaktor átmérője 6m, így ebben az esetben a homogén fázisú bontás a fenti szempontból megvalósítható lenne. A kiválasztott technológiával azonban nagyobb mértékű N₂O kibocsátás csökkenés érhető el, mint a fent vázolt szekunder eljárással. Ezen túlmenően a Norsk Hydro-nál történt gyakorlati megvalósítás ellenére a szakirodalom szerint nem tisztázott az, hogy a magas hőmérsékletű térben való tartózkodási idő megnövelése nem okozza-e az égetéskor keletkező NO egy részének bomlását is, károsan befolyásolva ezzel a salétromsav-gyártás technológiai folyamatát.

9.6 Az esettanulmány új salétromsavüzemében keletkező N₂O mennyiségének számítása

Elsőként az új üzem ammónia égető reaktorában keletkező dinitrogén-oxid mennyiségét számítható ki, az alábbiakban bemutatott módon a megadott paraméterek felhasználásával.

Az ammóniaégetőbe belépő gáz egyes komponenseinek kg/h mértékegységben megadott tömegáramai képzik számítás kiinduló adatait. A tömegáram (m_i) értékekből az adott gáz moláris tömegével (M_i) osztva nyerhető a móláramok (n_i) értékei, amelyből kiszámítható az egyes gázkomponensek móltörtje (x_i), illetve a gáz térfogatszázalékos összetétele (X_i). Az 1 index a belépő áramra utal. Az értékeket az 44. táblázat mutatja, vastagon kiemelve az üzemi fiktív kiindulási adatokat.

44. táblázat Az új savüzem ammónia égető reaktorába belépő gázáram összetétele

Gáz	NH ₃	NO	O ₂	N ₂	H ₂ O
$m_{i,1}$ (kg/h)	17.625	-	62.156	205.942	2.362
M_i (kg/kmol)	17	30	32	28	18
$n_{i,1}$ (kmol/h)	1036,8	-	1942,4	7355,1	131,2
$x_{i,1}$ (-)	0,0990	-	0,1856	0,7028	0,0125
$X_{i,1}$ (% V/V)	9,90	-	18,56	70,28	1,25

A belépő gázban az ammónia térfogatszázaléka 10 % körüli érték. A reakciót 500 kPa (5 bar) nyomáson és 890 °C-on hajtható végre. Az égetőből kilépő gáz adatait a 45. táblázat mutatja (a 2-es index a kilépő gázra utal).

45. táblázat Az ammónia égetőből kilépő gázáram összetétele

Gáz	NH ₃	NO	O ₂	N ₂	H ₂ O
$m_{i,2}$ (kg/h)	-	29.923	21.364	206.242	30.326
$n_{i,2}$ (kmol/h)	-	997,4	667,6	7365,8	1684,8
$x_{i,2}$ (-)	-	0,0931	0,0623	0,6874	0,1572
$X_{i,2}$ (% V/V)	-	9,31	6,23	68,74	15,72

Az elméletileg keletkező NO mólszáma megegyezik a reaktorba belépő ammónia mólszámával az égetés fő reakciója alapján. Ennek értelmében az elméletileg keletkező NO mólszáma: 1036,8 kmol/h, míg a kilépő gáz tervadataiban 997,4 kmol/h szerepel. Ennek alapján az új savüzemben az NO szelektivitás:

$$y_{\text{NO}} = \frac{997,4 \text{ kmol/h}}{1036,8 \text{ kmol/h}} \cdot 100 = 96,19 \%$$

A régi, működő salétromsavüzemhez (95 %) képest - megnövekedett NO szelektivitás, annak tudható be, hogy az új savüzemben a platinaháló tervezésekor, kialakításakor és beépítésekor az N₂O képződés minimalizására célszerű törekedni, ami viszont megnöveli a képződő NO mennyiségét.

Az ammónia égetés nitrogénmérlege az új savüzemben az alábbi ábrán látható (elhagyva a 7355,1 kmol/h eredeti nitrogén móláramot):



95. ábra Az ammónia égetés nitrogénmérlege

A mérleg alapján megállapítható, hogy a ha a kilépő gázban csak a nitrogén és az NO jelenlétét vesszük figyelembe, akkor $1036,8 - (997,4 + 10,7 \cdot 2) = 18$ kmol/h N hiány mutatkozik az égetőből kilépő oldalon. Ez a nitrogén mennyiség a fentebb leírtak értelmében csak N₂O lehet. Ennek mennyisége az égetőből kilépő gázban: $n_{\text{N}_2\text{O}} = 18 \text{ kmol/h} / 2 = 9 \text{ kmol/h N}_2\text{O}$.

Az ammónia oxidációjakor keletkező dinitrogén-oxid tömegárama tehát:

$$m_{\text{N}_2\text{O}} = n_{\text{N}_2\text{O}} \cdot M_{\text{N}_2\text{O}} = 9 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 396 \frac{\text{kg}}{\text{h}},$$

ahol $M_{\text{N}_2\text{O}}$ – a dinitrogén-oxid móltömege (kg/kmol).

A dinitrogén-oxid tömegárama a termelt sav mennyiségére vonatkoztatva:

$$m_{\text{N}_2\text{O},s} = \frac{m_{\text{N}_2\text{O}}}{m_s} = \frac{396 \text{ kg/h}}{1500 \text{ t sav/nap}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{nap}} = 6,34 \frac{\text{kg}}{\text{t sav}}$$

A tervező a salétromsav üzemi beruházás Projekt terv dokumentumában 6 - 6,5 kg N₂O /t sav keletkező dinitrogén-oxid mennyiséget ad meg az új salétromsavüzemre vonatkozóan.

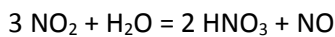
9.7 Az N₂O és NO_x gázok emissziójának csökkentése

Az új savüzembe a környezetre ártalmas hatású gázok kibocsátásának csökkentésére célszerű egy kombinált N₂O és NO_x csökkentő reaktor beépítése, mivel erre a reaktor, illetve katalizátortípusra ipari tapasztalat is áll már rendelkezésre, s jelenleg ezzel a technológiával érhető el a leghatékonyabb N₂O kibocsátás csökkentés. A következő fejezetekben a véggáztisztítással kapcsolatos számítások olvashatók.

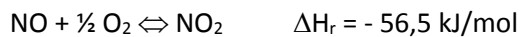
9.7.1 A véggáz előmelegítése a katalitikus reakciók aktiválási hőmérsékletének eléréséhez

A salétromsavgyártás technológiai véggáza az abszorpciós tornyot elhagyó gáz. Az abszorpciós toronyban az ammónia égetésből és az NO oxidációból származó gáz NO₂ tartalmát nyeletik el vízben salétromsav-előállítás céljából.

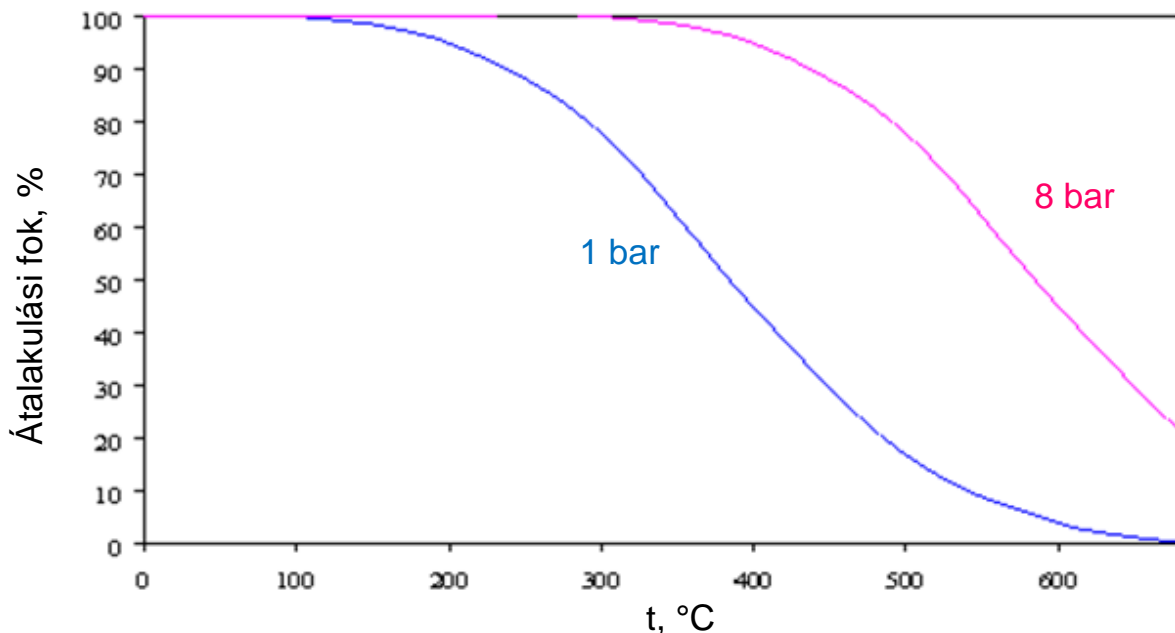
A lejátszódó reakció egyenlete:



Az egyenletből következően az abszorpciós tornyot elhagyó véggázban NO lesz jelen, amelynek egy része a véggáz nyomás- és hőmérséklet viszonyainak következtében NO₂-dá alakul. A kérdéses oxidáció ugyanis exoterm, mólszám-csökkenéssel járó folyamat, ahogy az a reakcióegyenletből és a reakcióhő értékéből nyomonkövethető.



Az NO nitrogén-dioxiddá való átalakulási fokát a hőmérséklet és a nyomás függvényében a 96. ábra mutatja.



96. ábra A hőmérséklet és a nyomás hatása az NO oxidáció átalakulási fokára

Az új savüzemben az abszorpciót elhagyó gáz hőmérséklete ebben a rendszerben 27,8 °C, nyomása 1067 kPa (10,67 bar). Ilyen körülmények között mindenképpen számolni kell a véggázban az NO₂ megjelenésére is. A nitrózus gázokon kívül jelen lesz a véggázban az ammónia oxidációjakor keletkező N₂O is, hiszen ez változatlanul végighalad a salétromsavgyártás folyamatán, rá sem az NO oxidációs, sem az NO₂ abszorpciók folyamat nincs hatással. A véggáztisztító reaktor első katalizátor rétegére való belépés előtt a gázt 420°C-ra előmelegítése történik. Az előmelegítés 3 hőcserélőben lehetséges, ezek közül kettőben az NO oxidációt elhagyó gáz hőtartalmának hasznosítása történik meg, a harmadik hőcserélőben pedig az ammónia égető reaktort elhagyó gáz hőtartalmát használható fel a véggáz további előmelegítésére. A továbbiakban kiszámítható a véggáz felmelegítéséhez szükséges átszármaztatandó hőáram mennyisége. Ennek ismerete azért fontos, mert adatot szolgáltat a hőcserélők méretezéséhez.

Az abszorpciót elhagyó gáz hőmérséklete tehát: $t_1 = 27,8$ °C, az egyes komponensek tömegáramait, móláramait, móltörtjeit és térfogatszázalékát pedig a 46. táblázat mutatja (az 1 index az számított folyamat – hőátszármaztatás – belépő folyamat gázáramára utal).

46. táblázat Az abszorpciót elhagyó gázáram összetétele

Gáz	NO	NO ₂	O ₂	N ₂	H ₂ O	N ₂ O
m_{i,1} (kg/h)	110	77,7	8590	243016	581	396
n_{i,1} (kmol/h)	3,67	1,69	268,4	8679,1	32,27	9
x_{i,1} (-)	0,0004	0,0002	0,0298	0,9650	0,0036	0,0010
X_{i,1} (% V/V)	0,04	0,02	2,98	96,50	0,36	0,1

Az átszármaztatandó hő mennyisége az alábbiak szerint számítható:

$$\Delta H = c_p \cdot n \cdot \Delta T, \text{ ahol}$$

ΔH – az átszármaztatandó hőáram (J/h),

c_p – a gázáram állandó nyomásra vonatkozó átlagos fajhője a vizsgált hőmérséklet tartományra (J/molK),

n – a folyamatgáz mólárama (mol/h),

ΔT – a gáz hőmérséklet változása (K).

Ezen adatokból a ΔT értéke ismert (420 °C – $27,8$ °C = $392,2$ °C = $392,2$ K, mivel változásról van szó), míg a folyamatgáz móláramát az egyes komponensek móláramainak összege adja:

$$n = \sum_i n_i = 8.994,13 \text{ kmol/h}$$

A továbbiakban ki kell számítani a folyamatgáz állandó nyomásra vonatkozó átlagos fajhőjét a vizsgált hőmérséklet tartományra.

A kérdéses fajhő a

$$c_p = \sum_i X_i \cdot c_{p,i}$$

képlettel számítható, ahol

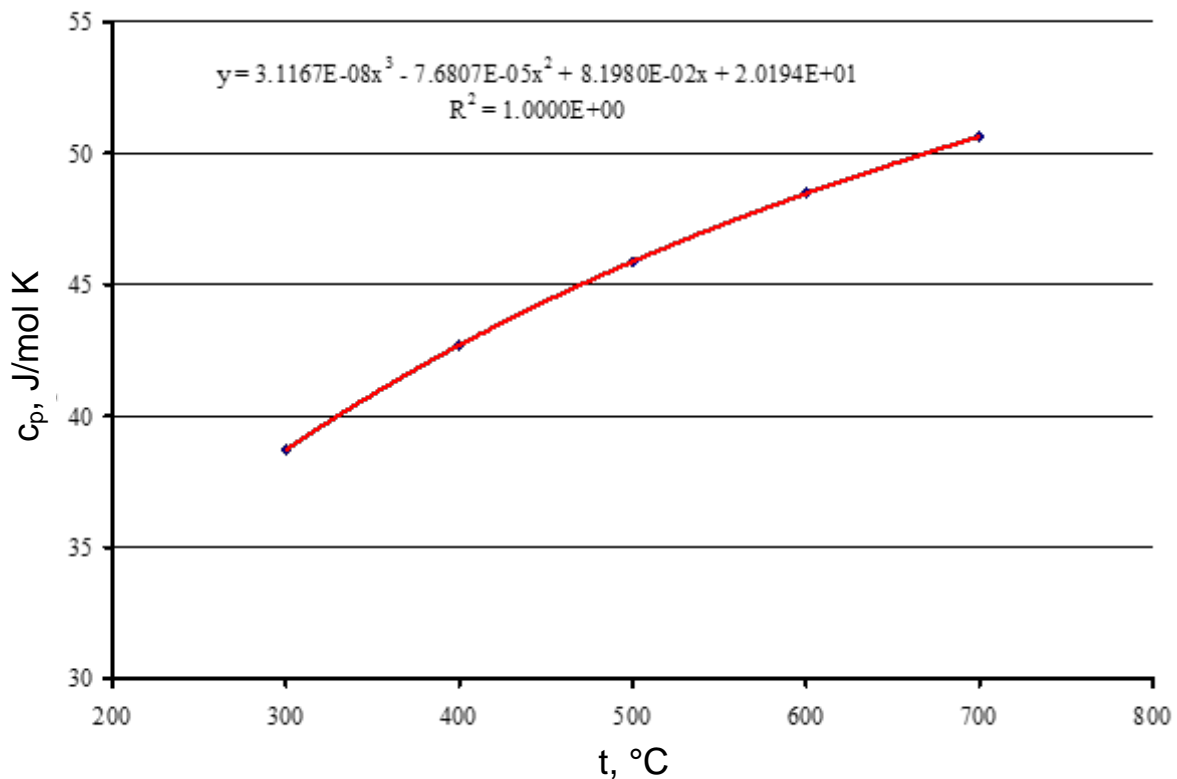
$c_{p,i}$ – az egyes komponensek átlagos fajhője a vizsgált hőmérséklet tartományban (J/molK).

A fajhő értéke a hőmérséklettel változik. Általános eljárás az, hogy adott hőmérséklet tartományban elvégzett számításokhoz a különböző fajhő értékek integrál közepét használják, mint az adott tartományra vonatkozó átlagos fajhő értéket. Ennek kiszámításához szükség van a különböző hőmérsékletekhez tartozó fajhő értékekre. Ezen értékeket mutatja 47. táblázat.

47. táblázat A folyamatgáz komponenseinek fajhői különböző hőmérsékleteken

Gáz		NO	NO ₂	O ₂	N ₂	H ₂ O	N ₂ O
c_p , J/molK	T=300 K	29,858	37,236	29,387	29,124	33,606	38,715
	400 K	29,954	40,513	30,109	29,249	34,283	42,699
	500 K	30,493	43,664	31,094	29,580	35,259	45,867
	600 K	31,243	46,383	32,095	30,109	36,371	48,471
	700 K	32,031	48,612	32,987	30,754	37,557	50,633

A dinitrogén-oxid fajhőjének hőmérséklettől való függését, valamint az adatokra illesztett harmadfokú polinomot a 97. ábra mutatja.



97. ábra A dinitrogén-oxid fajhőjének hőmérséklet függése

Az ábra alapján a dinitrogén-oxid fajhőjének hőmérséklet függését az alábbi egyenlet írja le a vizsgált hőmérséklet tartományban:

$$c_p = 3,1167 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 - 7,6807 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 8,1980 \cdot 10^{-2} \cdot T + 20,193$$

Az adott hőmérséklet tartományra ($T = 27,8 \text{ °C} = 300 \text{ K} = T_1 \Rightarrow 420 \text{ °C} = 693,2 \text{ K} = T_2$) vonatkozó integrálközép, azaz az átlagos fajhő az alábbi összefüggéssel számítható ki:

$$\overline{c_{p,N_2O}} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} c_{p,N_2O} dT}{T_2 - T_1}$$

Az integrálást a Newton – Leibnitz szabály alapján elvégezve:

$$\overline{c_{p,N_2O}} = \frac{\int_{300}^{693,2} (3,1167 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 - 7,6807 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 8,1980 \cdot 10^{-2} \cdot T + 20,193) dT}{693,2 - 300} =$$

$$\frac{\left[3,1167 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{T^4}{4} - 7,6807 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{T^3}{3} + 8,1980 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{T^2}{2} + 20,193 \cdot T \right]_{300}^{693,2}}{693,2 - 300} = 45,39 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

A dinitrogén-oxid fajhőjének átlagértéke a vizsgált hőmérséklet tartományban tehát 45,39 J/molK. A 47. táblázatban bemutatott adatokból kiszámítható a fajhő értékeknek az adott hőmérséklet tartományra vonatkozó számtani átlaga, amely 45,28 J/molK értéknek adódik. Az integrálközép és a számtani átlag eltérése 0,2 %, amely elhanyagolható mértékű, ezért a számítás egyszerűsítése végett a további gázok esetében az adott hőmérséklet tartományra vonatkozó fajhőt a 16. táblázatban megadott értékek számtani átlagaként számíthatók. A 48. táblázat az egyes gázkomponensek átlagos fajhőit és a teljes gázelegy fajhőjének kiszámításához szükséges móltörtjét mutatja.

48. táblázat A gázkomponensek átlagos fajhője és móltörtje

Gáz	NO	NO ₂	O ₂	N ₂	H ₂ O	N ₂ O
$c_{p,i}$ (J/molK)	30,716	43,282	31,134	29,763	35,415	45,280
x_i (-)	0,0004	0,0002	0,0298	0,9650	0,0036	0,0010

A 17. táblázat adataiból a folyamatgáz fajhője kiszámítható:

$$c_p = \sum_i x_i \cdot c_{p,i} = 29,843 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

A gázáram szükséges hőfokra való felmelegítéséhez átszarmaztatandó hő mennyisége pedig:

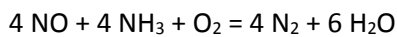
$$\Delta H = c_p \cdot n \cdot \Delta T = 29,843 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 8.994,13 \cdot 10^3 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \cdot 392,2 \text{K} = 1,0527 \cdot 10^{11} \frac{\text{J}}{\text{h}} = 105,27 \frac{\text{GJ}}{\text{h}}$$

9.7.2 Katalitikus véggáztisztítás

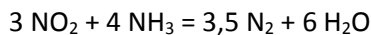
A beruházás eredményeként létrejövő salétromsavüzemben a véggáztisztítás két katalizátorréteget tartalmazó reaktorban történik. Az első katalizátorrétegen történik meg a gázban lévő dinitrogén-oxid egy részének katalitikus elbontása (arra vonatkozólag, hogy hányad része bomlik el a dinitrogén-oxidnak az első katalizátorrétegen, nem áll rendelkezésre adat), míg a maradék N₂O és a gázban lévő nitrogén gázok mennyiségének csökkentése a második katalizátorrétegen a két katalizátorréteg között bevezetett ammónia segítségével történik meg. A tisztítási folyamatba belépő gáz összetétele megegyezik az abszorpció tornyot elhagyó gázéval. A tisztítás ammónia igénye a tervező specifikációja szerint: $m_{\text{NH}_3} = 5 \text{ kg NH}_3 / \text{t sav}$. Így a tisztítási folyamatba bevezetett ammónia mólszáma:

$$n_{\text{NH}_3} = m_{\text{NH}_3} \cdot m_s \cdot \frac{1}{M_{\text{NH}_3}} = 5 \frac{\text{kg NH}_3}{\text{t sav}} \cdot 62,5 \frac{\text{t sav}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{17 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 18,38 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

A második katalizátor rétegen lejátszódnak a gáz NO és NO₂ tartalmának csökkentésére szolgáló kémiai reakciók. A NO mennyiségét csökkentő reakció:



A reakcióegyenlet értelmében az NO: NH₃ molarány = 1:1, ami azt jelenti, hogy 3,67 kmol/h NO-hoz, ami a reaktorba belép NO mólárama 3,67 kmol/h NH₃ kell. A NO₂ mennyiségét csökkentő folyamat reakcióegyenlete:



A reakcióegyenlet értelmében az NO₂ : NH₃ molarány 3:4, ami azt jelenti, hogy a reaktorba belépő 1,69 kmol/h NO₂ eltávolításához szükséges ammónia mennyisége:

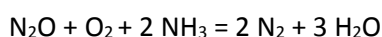
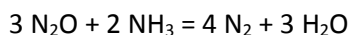
$$\frac{4}{3} \cdot 1,69 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} = 2,25 \text{ kmol/h}$$

A denoxálási reakciók ammónia igénye tehát: 3,67 + 2,25 = 5,92 kmol/h. 10 % ammónia felesleg alkalmazásával számítva a szükséges ammónia mennyisége:

$$5,92 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 1,1 = 6,51 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

Ennek értelmében a második katalizátorrétegre érkező dinitrogén-oxid eltávolítására rendelkezésre álló ammónia mennyisége: 18,38 – 6,51 = 11,87 kmol/h.

A dinitrogén-oxid és az ammónia között potenciálisan lejátszódó reakciók egyenletei:



Mivel nem tisztázott az, hogy a katalizátoron ezen reakciók közül melyik játszódik le, a továbbiakban a két reakció összegeként előálló reakcióegyenlettel számolva:



Az összegzett reakcióegyenlet értelmében az N₂O : NH₃ molarány 1:1. A denoxálási reakciókra el nem fogyó ammónia mennyisége 11,87 kmol/h. A dinitrogén-oxid mennyiségének csökkentésére is

figyelembe véve 10 % NH₃ felesleget kiszámítható az, hogy az első katalizátorrétegen különböző N₂O átalakulási fokokat feltételezve, a második katalizátor rétegen milyen feleslegben van jelen az ammónia (az N₂O csökkentéshez). Az adatokat a 49. táblázat mutatja.

A számítás alábbi menete azon a példán keresztül kerül bemutatásra, amikor az első rétegen 50 % átalakulási fok feltételezhető.

A rétegre belépő N₂O mólárama: 9 kmol/h. Ennek 50 % bomlik el a katalizátoron, tehát a második rétegre 4,5 kmol/h N₂O áram lép. Ennek átalakításához szükséges ammónia mennyisége, figyelembe véve a 10 % felesleget is:

$$4,5 \cdot 1,1 = 4,95 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \text{NH}_3$$

Az ammónia felesleg mértéke pedig:

$$\frac{11,87 - 4,95}{4,95} \cdot 100 = 139,80\%$$

49. táblázat Ammónia felesleg a második katalizátorrétegen az első rétegen történő N₂O átalakulás határfokának függvényében

N ₂ O átalakulási fok az 1. rétegen (%)	A 2. rétegre lépő N ₂ O mólárama (kmol/h)	Ammónia szükséglet a 2. rétegen (kmol/h)	Ammónia felesleg a 2. rétegen (%)
0 %	9	9,9	19,90
10 %	8,1	8,91	33,22
20 %	7,2	7,92	49,87
30 %	6,3	6,93	71,28
40 %	5,4	5,94	99,83
50 %	4,5	4,95	139,80
60 %	3,6	3,96	199,74

A táblázat adatai alapján látható, hogy ha az első rétegen 40 % átalakulási fokot feltételezünk, akkor a rendelkezésre álló ammónia mólárama kétszerese a sztöchiometriailag szükséges mennyiségnek. Az üzemből megszerzett információk szerint a tervező azzal a folyamattal számol, amelyikben az 2:1 az NH₃:N₂O mólárány, ezért szükséges az itt bemutatott mennyiségű ammónia alkalmazása a tisztítási folyamatban.

A katalitikus reaktort elhagyó gáz komponenseinek tömegáramát és móláramát a 50. táblázat mutatja (a 2 index a kilépő gázra utal).

50. táblázat A véggáztisztító reaktort elhagyó gáz összetétele

Gáz	NO	NO ₂	O ₂	N ₂	H ₂ O	N ₂ O
m _{i,2} (kg/h)	10,1	5,2	8.591	234.146	698	62,5
n _{i,2} (kmol/h)	0,34	0,11	268,5	8362,4	38,78	1,42

Az egyes gázok eltávolítási hatásfoka (η_i , %) az alábbi összefüggés alapján számítható:

$$\eta_i = \frac{n_{i,1} - n_{i,2}}{n_{i,1}} \cdot 100, \text{ ahol}$$

$$\eta_{\text{NO}} = \frac{n_{\text{NO},1} - n_{\text{NO},2}}{n_{\text{NO},1}} \cdot 100 = \frac{3,67 - 0,34}{3,67} \cdot 100 = 90,74 \%$$

$$\eta_{\text{NO}_2} = \frac{n_{\text{NO}_2,1} - n_{\text{NO}_2,2}}{n_{\text{NO}_2,1}} \cdot 100 = \frac{1,69 - 0,11}{1,69} \cdot 100 = 93,49 \%$$

$$\eta_{\text{N}_2\text{O}} = \frac{n_{\text{N}_2\text{O},1} - n_{\text{N}_2\text{O},2}}{n_{\text{N}_2\text{O},1}} \cdot 100 = \frac{9 - 1,42}{9} \cdot 100 = 84,22 \%$$

A 4/2011. (I.14.) VM rendelet (a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről) a nitrogén-oxidok (mint NO_2) salétromsavgyártásra vonatkozó eljárás specifikus technológiai kibocsátási határértékeként 350 mg/m^3 értéket ad meg ($p=101,3 \text{ kPa}$, $T=273 \text{ K}$, 4% (V/V) O_2 tartalmú száraz gázra vonatkoztatva). A véggáztisztító reaktorból kilépő gáz összetételének ismeretében kiszámítható, hogy teljesíti-e a technológia a vonatkozó emissziós határértéket. Elsőként számítható ki a száraz gáz térfogatáramát normálállapotban. A száraz gáz mólárama (a vízgőz mólszáma nélkül):

$$n_{\text{g}} = 0,34 + 0,11 + 268,5 + 8362,4 + 1,42 = 8632,77 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

A gáz normál térfogatárama:

$$Q = n_{\text{g}} \cdot 22,41 = 8632,77 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 22,41 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kmol}} = 193.460 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$

A NO és NO_2 együttes mólárama a gázban: $0,34 + 0,11 = 0,45 \text{ kmol/h}$, amelyet a NO_2 moláris tömegével ($M_{\text{NO}_2} = 46 \text{ g/mol}$) átszámítva tömegáramra

$$m = 0,45 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 46 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 20,7 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

értéket nyerünk.

A véggázban a nitrozus gázok koncentrációja az alábbi módon számítható ki:

$$c = \frac{m}{Q} = \frac{20,7 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{193.460 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} \cdot 10^6 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} = 107 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

A vonatkozó jogszabály értelmében a mért (esetünkben az adatokból számított) koncentrációt át kell számítani 4% V/V oxigéntartalomra. A 6/2011. (I. 14.) VM rendelet (a levegőterheltségi szint és a

helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról) 16. melléklete értelmében az átszámítást a következő módon kell elvégezni:

$$c_v = \frac{21 - O_v}{21 - O_m} \cdot c_m, \text{ ahol:}$$

- c_v - a vonatkoztatási O_2 tartalomra átszámított koncentráció (mg/m^3)
- O_v - a vonatkoztatási O_2 tartalom (% V/V)
- O_m - a mért O_2 tartalom (% V/V)
- c_m - a mért koncentráció (mg/m^3).

Esetünkben a gáz mért (számított) oxigéntartalma:

$$X_{O_2} = \frac{n_{O_2,2}}{n_{\text{ö}}} = \frac{268,5 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}}{8632,77 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}} \cdot 100 = 3,11 \% \text{ V/V}$$

A vonatkoztatási oxigéntartalomra átszámított NO_x koncentráció pedig:

$$c_v = \frac{21 - 4}{21 - 3,11} \cdot 107 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = 101,7 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

A fenti számítások alapján tehát megállapítható, hogy a tervezett beruházás kielégíti a salétromsavgyártás NO_x kibocsátására vonatkozó eljárás-specifikus technológiai emissziós határértéket.

A számított az N_2O csökkentésre vonatkozó hatások alapján a beruházással létrejövő üzem 1 tonna előállított salétromsavra vonatkozó dinitrogén-oxid kibocsátása:

$$m_{N_2O,s} = \frac{m_{N_2O}}{m_s} = \frac{62,5 \text{ kg/h}}{1500 \text{ t sav/nap}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{nap}} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{t sav}}$$

A projekt megvalósulása révén elérhető üvegházgáz kibocsátás-csökkentés számítását következő fejezetben kerül bemutatásra.

9.8 A kibocsátás csökkentés számítása

Valamely üvegházgáz-emisszió csökkentés elérését megcélzó projekt esetében az elért kibocsátás csökkentés a következő módon számítható:

Kibocsátás csökkentés = Alapvonalib kibocsátás – projektvonalib kibocsátás + megújuló energiaforrás használatából adódó kedvezmény

Alapvonalib kibocsátáson azt az üvegházgáz-emissziót értjük, amely akkor következne be, ha nem valósulna meg a kibocsátás csökkenést megcélzó beruházás. Az esettanulmányi vállalat esetében az

alapvonalai helyzet meghatározására több alternatíva is adódhat, amelyek közül a projekt megvalósításához meg kell határozni azt az esetet, amelyik a tényleges alapvonalai helyzetet jelenti. A lehetőségek a következők:

- A vállalat nem végzi el a beruházást, nem épít új salétromsavüzemet, marad a jelenlegi állapot. Ez az alternatíva több okból sem állhat fenn (műszaki állapot fenntartásának egyre növekvő költségei, eredménytermelő képesség romlása, árbevétel csökkenése).
- A jelenleg működő üzem leállítása, a salétromsavgyártás megszüntetése. A vállalat természetesen folytatni kívánja műtrágya gyártó tevékenységét, és továbbra is meg szeretné tartani pozícióját a piacon. Ez csak a savtermelés folytatásával valósítható meg.
- Olyan savgyártási technológia valósul meg, amely nem tartalmazza a N_2O kibocsátás csökkentésre alkalmas katalizátor beépítését. Ez az eset képezi az alapvonalai alternatívát, mivel a csökkenő hatékonysággal, magas üzemviteli kockázattal, és egyre növekvő karbantartási költségekkel üzemelő salétromsav üzem környezetvédelmi jogszabályoknak való megfelelése is egyre nagyobb gondot okoz, ezért egy új savüzem létesítése elkerülhetetlenné vált. Az új üzem megépülhetne dinitrogén-oxid emisszió csökkentő katalizátor beépítése nélkül is, hiszen a katalizátor beépítésének sem gazdasági, sem jogi indoka nincs, az a vállalat részéről teljesen önkéntes jellegű, kizárólag klímavédelmi céljai vannak.

Az alapvonalai kibocsátás mértéke tehát az a szén-dioxid ekvivalensre átszámított dinitrogén-oxid mennyiség a 2008-2012 közötti (kiotói) időszakban, amely emissziót az új salétromsavüzem működése eredményezne, ha nem történne meg a N_2O kibocsátását megcélzó katalitikus véggáztisztító technológia beépítése.

A projektvonalai kibocsátáson azt az üvegházgáz-emissziót értjük, amely kibocsátást csökkentő technológia telepítésével fog bekövetkezni.

A harmadik tényezőnek, a megújuló energiaforrás alkalmazásából adódó kedvezménynek jelen beruházás szempontjából nincs jelentősége, hiszen ilyen energiaforrás nem kerül felhasználásra az elképzelt, megvalósítandó projektben. Ezen kedvezmény kibocsátás csökkentést eredményező hatásának általában az energiaszektorban végrehajtott projektek keretében van szerepe (pl. a hőerőművekben a biomassza tüzelésre való áttérést megcélzó együttes végrehajtási projekt keretében).

A megvalósuló kibocsátás csökkentés számítását a megadott adatok alapján kerül bemutatásra. Ki kell számítani a kiotói jegyzőkönyv által megadott első kereskedési időszak (2008-2012) egyes éveire az alapvonalai és a projektvonalai kibocsátás mennyiségét, a kettő különbsége adja meg az elérhető kibocsátás csökkentés értékét.

9.8.1 Az alapvonalai kibocsátás számítása

A számítást részletesen a 2008. évre kerül mutatásra, az első kereskedési időszak további éveire vonatkozó adatok a 20. táblázatban láthatók. A számítás elvégzéséhez az alapadatok a következők (zárójelben a 2008. évre vonatkozó adatok):

m_s – a termelt salétromsav mennyisége (1500 t sav/nap),

t – az üzemórák száma egy évben (314 nap/év),

Q_s – 1 t termelt savra vonatkozó véggáz térfogatárama (3200 Nm³/t),

$X_{N_2O,a}$ – a dinitrogén-oxid koncentrációja a véggázban az alapvonalai esetben (1000 ppmv = 0,1 % V/V).

A számítás menete a következő. Kiszámolható az egy év alatt termelt salétromsav mennyisége:

$$m_{s,év} = m_s \cdot t = 1500 \frac{\text{t sav}}{\text{nap}} \cdot 314 \frac{\text{nap}}{\text{év}} = 471.000 \frac{\text{t sav}}{\text{év}}$$

A véggáz egy évre jutó mennyisége:

$$Q_{év} = m_{s,év} \cdot Q_s = 471.000 \frac{\text{t sav}}{\text{év}} \cdot 3200 \frac{\text{Nm}^3}{\text{t sav}} = 1.507.200.000 \frac{\text{Nm}^3}{\text{év}}$$

A dinitrogén-oxid éves térfogatárama:

$$Q_{N_2O,év} = Q_{év} \cdot \frac{X_{N_2O,a}}{100} = 1.507.200.000 \frac{\text{Nm}^3}{\text{év}} \cdot \frac{0,1}{100} = 1.507.200 \frac{\text{Nm}^3}{\text{év}}$$

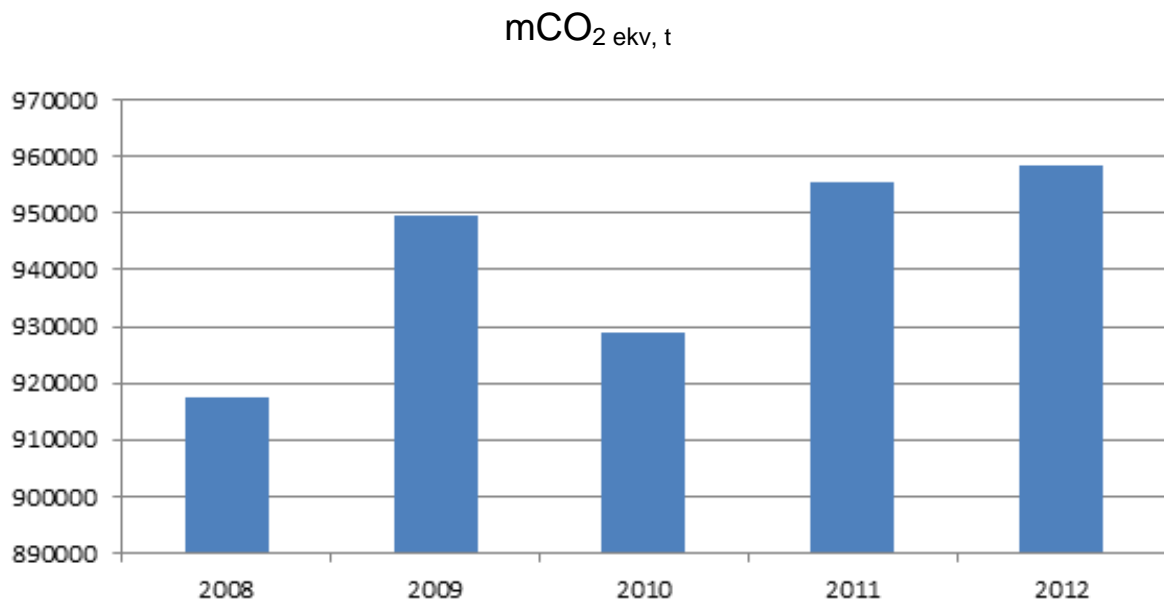
A dinitrogén-oxid éves tömegárama:

$$m_{N_2O,év} = \frac{Q_{N_2O,év}}{22,41} \cdot 44 = \frac{1.507.200 \frac{\text{Nm}^3}{\text{év}}}{22,41} \cdot 44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \cdot \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 2959,3 \frac{\text{t}}{\text{év}}$$

A dinitrogén-oxid GWP értéke 310, így a szén-dioxid ekvivalensre átszámított kibocsátás:

$$m_{CO_2,év} = 310 \cdot m_{N_2O,év} = 310 \cdot 2959,3 \frac{\text{t N}_2\text{O}}{\text{év}} = 917.383 \frac{\text{t CO}_2\text{ekv}}{\text{év}}$$

Az első kereskedési időszak valamennyi évre vonatkozó adatokat a 51. táblázat mutatja. A vizsgált időszakra a teljes alapvonalai kibocsátást az egyes évekre vonatkozó kibocsátások összegeként kapjuk meg, így az alapvonalai emisszió az első kereskedési időszakban 4.709.551 t / év CO₂ ekvivalens.

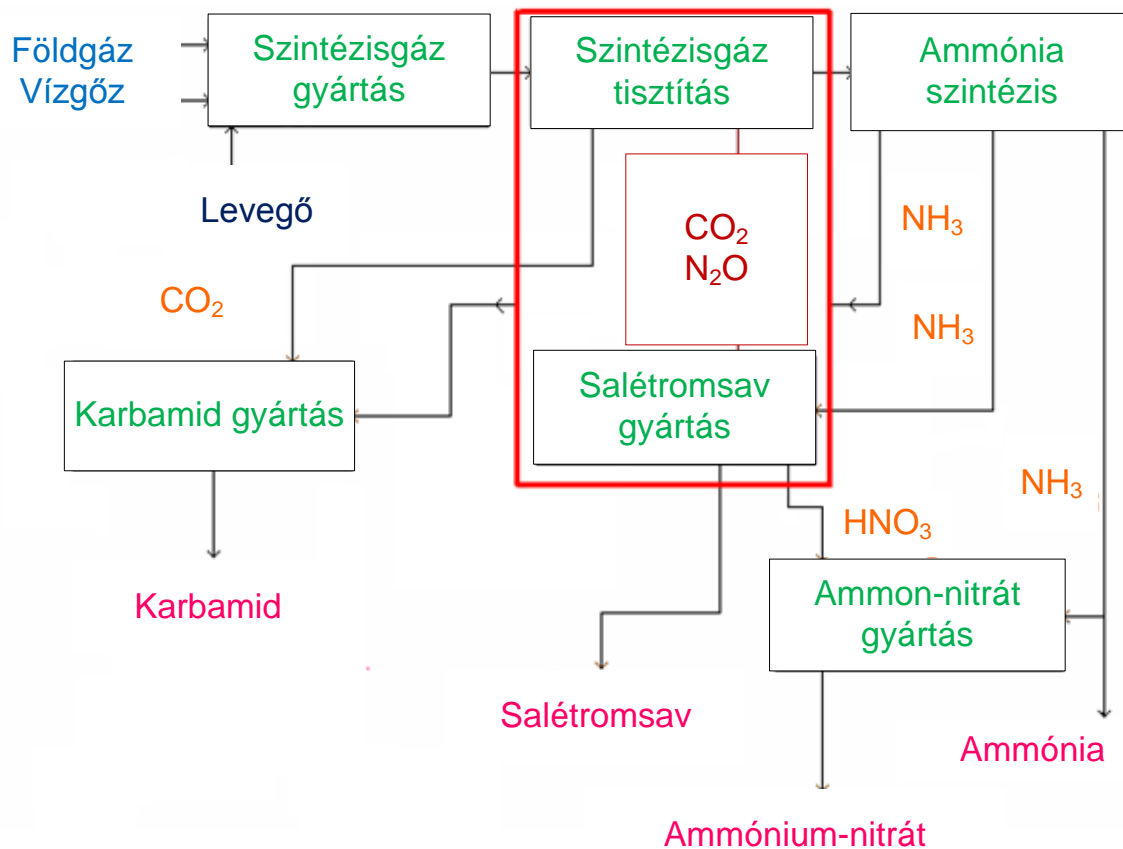


98. ábra Az alapvonalai kibocsátás évenkénti megoszlása

51. táblázat Az alapvonalai kibocsátás

	Mértékegység	2008	2009	2010	2011	2012
Savtermelő kapacitás, m_s	t sav / nap	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Éves üzemre állás, t	nap	314	325	318	327	328
Egy tonna savra jutó véggáz mennyisége, Q_s	$Nm^3 / t \text{ sav}$	3200	3200	3200	3200	3200
N_2O koncentráció a véggázban, $X_{N_2O,a}$	% V/V	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Éves savmennyiség, $m_{s,év}$	t sav / év	471.000	487.500	477.000	490.500	492.000
Véggáz mennyisége egy évre, $Q_{év}$	$eNm^3 / év$	1.507.200	1.560.000	1.526.400	1.569.600	1.574.400
N_2O éves térfogatárama, $Q_{N_2O,év}$	$eNm^3 / év$	1.507,2	1.560	1.526,4	1.569,6	1.574,4
N_2O éves tömegárama, $Q_{N_2O,év}$	t / év	2.959,3	3.062,9	2.996,9	3.081,8	3.091,2
Éves CO_2ekv kibocsátás, $mCO_2,év$	t / év	917.383	949.499	929.039	955.358	958.272

A projektvonalai helyzet a vállalat esetében a megvalósuló beruházást jelenti, azaz az új salétromsavüzem építését a dinitrogén-oxid emisszió csökkentő katalitikus reaktor beépítésével. A katalitikus folyamat csökkenti a véggázban a dinitrogén-oxid koncentrációját, emiatt tehát csökken az üvegházgáz emisszió. Ugyanakkor a véggáztisztító reaktor második rétegére ammónia bevezetése történik meg, amely ammónia előállításakor szén-dioxid emisszióval kell számolni, a szintézisgáz tisztítási folyamat során. A rendszer határait annak figyelembevételével kell megállapítani, hogy melyek azok a folyamatok, amelyekben üvegházgáz kibocsátás változás várható a projekt következményeként. A leírtakat szemlélteti a 99. ábra.



99. ábra A rendszer határai a gyártási folyamatában

A projekthez kapcsolódó üvegházgáz forrásnak a savgyártás és a katalizátor működéséhez szükséges ammónia gyártása számít.

A projektvonalai kibocsátás pontos meghatározásához az alapvonalai helyzet vizsgálatánál már megadott adatokon kívül szükséges a katalitikus reakcióhoz felhasznált ammónia mennyiségének ismerete is. A 2008. évre a következő adatok állnak rendelkezésre:

m_s – a termelt salétromsav mennyisége (1500 t sav/nap),

t – az üzemórák száma egy évben (314 nap/év),

Q_s – 1 t termelt savra vonatkozó véggáz térfogatárama (3200 Nm³/t),

$X_{N_2O,p}$ – a dinitrogén-oxid koncentrációja a véggázban a projektvonalai esetben (150 ppmv = 0,015 % V/V).

A kapacitásra vonatkozó adatok természetesen változatlanul maradnak, amiben változás történik, az a véggáz dinitrogén-oxid tartalma, hiszen azt a katalitikus folyamat csökkenti. Ennek megfelelően a projektvonal esetén a dinitrogén-oxid 2008. évre vonatkozó térfogatárama a véggázban:

$$Q_{N_2O,év} = Q_{év} \cdot \frac{X_{N_2O,p}}{100} = 1.507.200.000 \frac{Nm^3}{év} \cdot \frac{0,015}{100} = 226.080 \frac{Nm^3}{év}$$

Tömegárama pedig:

$$m_{N_2O,év} = \frac{Q_{N_2O,év}}{22,41} \cdot 44 = \frac{226.080 \frac{Nm^3}{év}}{22,41} \cdot 44 \frac{kg}{kmol} \cdot \frac{1}{1000} \frac{t}{kg} = 443,9 \frac{t}{év}$$

A szén-dioxid ekvivalensre átszámított üvegházgáz kibocsátás:

$$m_{CO_2,év} = 310 \cdot m_{N_2O,év} = 310 \cdot 443,9 \frac{t N_2O}{év} = 137.609 \frac{t CO_2 ekv}{év}$$

Ehhez az üvegházgáz kibocsátáshoz hozzá kell adni a katalitikus reakcióhoz felhasznált ammónia előállításakor, a szintézisgáz-tisztítás során kibocsátott szén-dioxid mennyiségét. Ennek kiszámítása a részletesen bemutatva a 2008. évre - következőképpen történik:

A kivitelező szerint a katalitikus reakcióban felhasznált ammónia mennyisége egy tonna sav mennyiségére vonatkoztatva $m_{NH_3,s} = 5 \text{ kg } NH_3 / \text{ t sav}$. Így a 2008. évre eső a gáztisztításban felhasznált ammónia mennyisége:

$$m_{NH_3} = m_{NH_3,s} \cdot m_s \cdot t = 5 \frac{kg NH_3}{t sav} \cdot 1.500 \frac{t sav}{nap} \cdot 314 \frac{nap}{év} \cdot \frac{1}{1000} \frac{t}{kg} = 2.355 \frac{t}{év}$$

Egyéb a számítás elvégzéséhez szükséges adatok a következők:

Q_{fg} – az ammónia földgáz fajlagosa, 1 t NH_3 előállításához felhasznált földgáz mennyisége ($1.082 \text{ Nm}^3 / \text{ t } NH_3$),

H_{fg} – a felhasznált földgáz átlagos fűtőértéke ($34,2 \text{ MJ} / \text{ Nm}^3$),

E_{fg} – a földgáz felhasználásából adódó, annak fűtőértékére vonatkoztatott CO_2 kibocsátás ($0,0561 \text{ kg } CO_2 / \text{ MJ}$)

Így a katalitikus reakcióhoz szükséges ammónia előállításakor bekövetkező szén-dioxid emisszió:

$$\begin{aligned} m_{CO_2} &= m_{NH_3} \cdot Q_{fg} \cdot H_{fg} \cdot E_{fg} = \\ &= 2.355 \frac{t NH_3}{év} \cdot 1.082 \frac{Nm^3}{t NH_3} \cdot 34,2 \frac{MJ}{Nm^3} \cdot 0,0561 \frac{kg CO_2}{MJ} \cdot \frac{1}{1.000} \frac{t}{kg} = 4.889 \frac{t CO_2}{év} \end{aligned}$$

Az éves teljes CO_2 kibocsátás az előbbieken kiszámított két forrásból származó CO_2 emisszió összege:

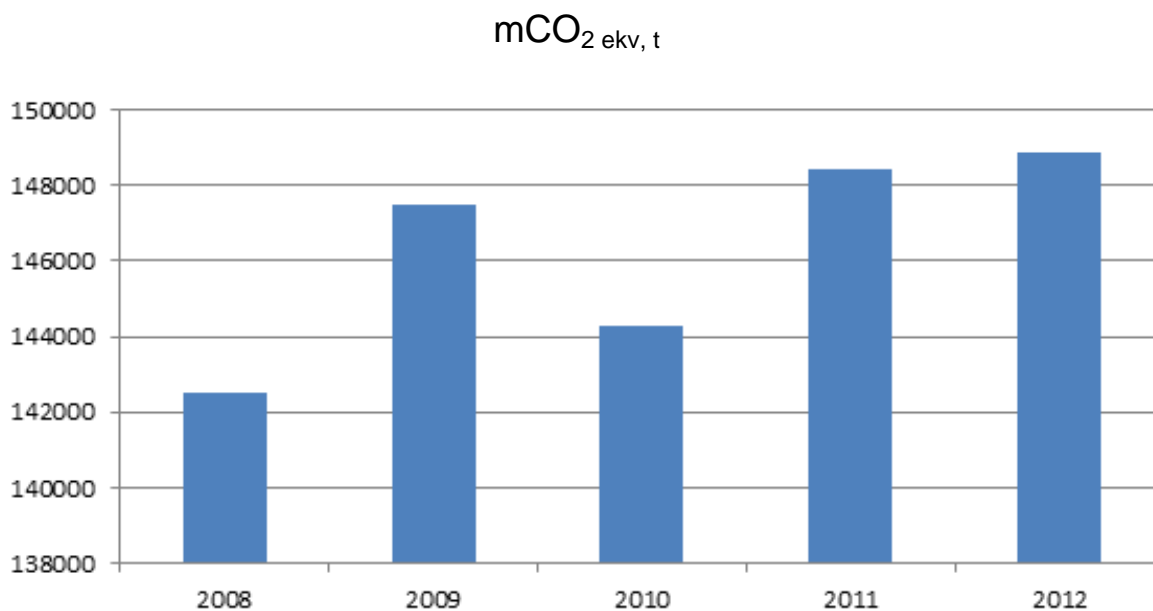
$$m_{CO_2,t} = m_{CO_2,év} + m_{CO_2} = 137.609 \frac{t}{év} + 4.889 \frac{t}{év} = 142.498 \frac{t}{év}$$

Az első kereskedési időszak valamennyi évére vonatkozó adatokat a 52. táblázat mutatja. A savtermelő kapacitás (m_s), az éves üzemre állási idő (t) és az egy tonna savra jutó véggáz mennyisége (Q_s) adatokat a táblázat már nem tartalmazza, azok megfelelnek a 51. táblázat adatainak.

A vizsgált időszakra a teljes projektvonal kibocsátást az egyes évekre vonatkozó kibocsátások összegeként nyerhető, így a projektvonal emisszió az első kereskedési időszakban 731.526 t / év CO₂ ekvivalens.

52. táblázat A projektvonali kibocsátás

	Mértékegység	2008	2009	2010	2011	2012
<i>A véggázzal távozó üvegházgáz-emisszió számítása</i>						
N ₂ O koncentráció a véggázban, $X_{N_2O,p}$	% V/V	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
N ₂ O éves térfogatárama, $Q_{N_2O,év}$	eNm ³ / év	226,08	234,00	228,96	235,44	236,16
N ₂ O éves tömegárama, $Q_{N_2O,év}$	t / év	443,9	459,4	449,5	462,3	463,7
Éves CO ₂ ekv kibocsátás, $m_{CO_2,év}$	t / év	137.609	142.414	139.345	143.313	143.747
<i>A katalitikus reakcióhoz szükséges ammónia termeléséből adódó CO₂ kibocsátás számítása</i>						
Ammóniafelhasználás a véggáztisztításhoz, m_{NH_3}	t / év	2.355	2.437,5	2.385	2.452,5	2.460
Az ammónia előállításakor kibocsátott CO ₂ , m_{CO_2}	t / év	4.889	5.060	4.951	5.091	5.107
A teljes üvegházgáz emisszió, $m_{CO_2ekv,t}$	t / év	142.498	147.474	144.296	148.404	148.854



100. ábra Teljes üvegházgáz emisszió (mCO₂ekv,t)

9.8.2 A kibocsátás csökkenés számítása

A projektvonal és az alapvonal kibocsátásaiból az első kereskedési időszakban várható CO₂ ekvivalensben megadott üvegházgáz kibocsátás csökkenést a 53. táblázat foglalja össze.

53. táblázat Kibocsátás csökkenés a 2008-2012. közötti időszakban

Év	Alapvonalai kibocsátás, t CO ₂ ekv / év	Projektvonalai kibocsátás, t CO ₂ ekv / év	Kibocsátás csökkenés, t CO ₂ ekv / év
2008	917.383	142.498	774.885
2009	949.499	147.474	802.025
2010	929.039	144.296	784.743
2011	955.358	148.404	806.954
2012	958.272	148.854	809.418
A teljes időszakra vonatkoztatva			
	4.709.551	731.526	3.978.025

Az új – dinitrogén-oxid emisszió csökkentő katalizátorral felszerelt – salétromsavüzemi beruházás megvalósításával az elért kibocsátás csökkenés tehát **3.978.025 t CO₂ ekvivalens**.

Ez az a kibocsátás csökkenés, amelyet a vállalat értékesíthet valamely a kiotói jegyzőkönyv által lehetővé tett rugalmassági mechanizmus keretében.

10 Modellezés

10.1 Numerikus matematikai módszerek alkalmazása a számításokban.

A valós helyzet leírására összetett matematikai egyenletek alkalmazhatók, például a megmaradási törvények, állapot-, áramlásokat leíró, illetve transzport egyenletek. Ezek csak kevés speciális esetben oldható meg analitikus módon. Ha azonban a folytonos függvényeket diszkrét értékekkel közelítjük, a feladat megoldhatóvá válik. A diszkrétizálás, vagyis a numerikus módszerek megoldása három lépésre bontható.

1. lépés: Geometriai diszkrétizáció

A vizsgálat területét, melyet előzetesen lehatárolunk, véges sok elemre osztjuk fel. A felosztás különböző térbeli idomok mentén történhet a geometria komplexitásától függően. A végeredmény egy numerikus háló lesz, az egyes elemeket celláknak szokás nevezni. A geometria kialakításakor ügyelni kell arra, hogy az egyes elemek ne fedjék át egymást. A feladatot a továbbiakban a cellák középpontjaiban vagy a sarokpontokon is meghatározhatjuk.

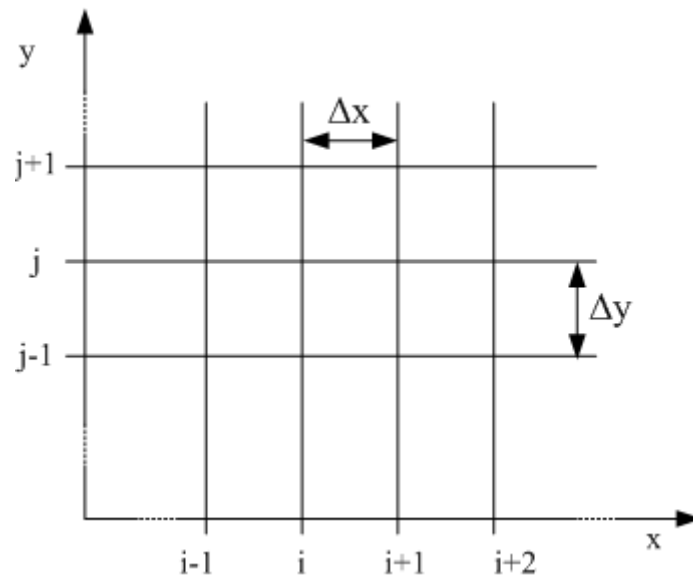
2. Lépés: Alapegyenletek diszkrétizálása

Miután kialakítottuk a térbeli geometriát, az alkalmazandó differenciálegyenleteket diszkrét alakra kell hozni.

Erre három elterjedt technika létezik:

- véges differenciák módszere
- véges elem módszer
- véges térfogat módszere

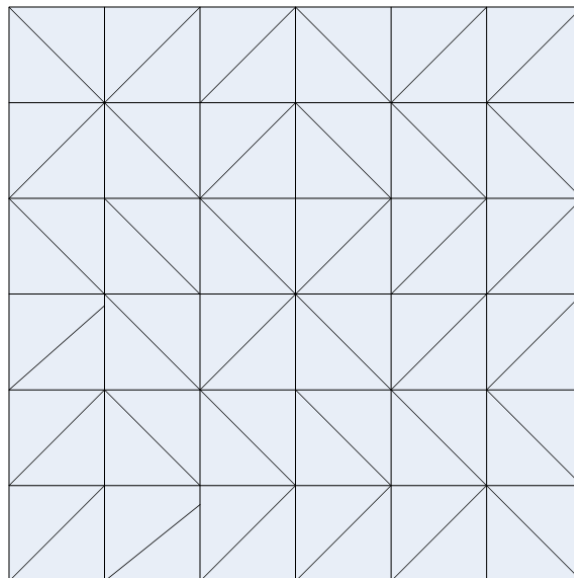
A véges differenciák módszer alkalmazásakor egységes hálót készítünk (állandó Δx és Δy felosztással). A térbeli differencia képzés a differenciáloperátorok differenciaoperátorokra való cseréjét jelenti. Hátránya, hogy az összetett geometria esetén problémát jelent a valós tér leképezése, illetve a mintavételi pontok sűrűsége nem esik egybe a rácshálóéval, ezért előfordulnak információhiányos területek.



101. ábra. Véges differencia módszer rácsháló kialakítására példa

Az időbeli differencia képzés többféleképp elvégezhető. Attól függően, hogy az idő szerinti deriváltat az időszakasz mely pontjában kívánjuk meghatározni, beszélhetünk előrelépés, hátralépéses vagy középponti differenciák módszeréről.

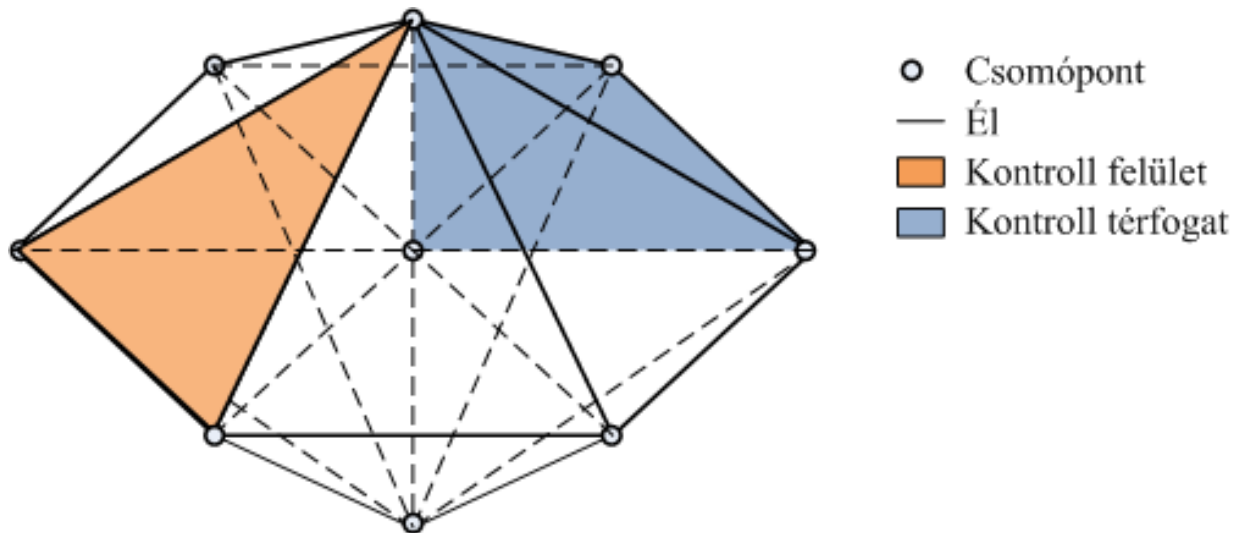
A véges elem módszer a diszkrétizálást háromszögek vagy négyszögek segítségével végzi el. A síkidomok csomópontjaira vagy határoló élekre írjuk fel a differenciálegyenleteket. A véges differencia módszertől eltérően nem pontszerű, hanem szakaszonként folytonos eredményt ad.



102. ábra. Véges elem módszer esetén diszkrétizáláshoz alkalmazható rácshálóra példa.

A véges térfogat módszere tetszőleges sokszögek segítségével bontja fel a vizsgálandó teret cellákra. Ebben az esetben az átlapolás engedélyezett. A megmaradási törvényeket integrál alakban írjuk fel, és

azokat diszkrétizáljuk, mivel így a nem folytonos megoldások is kezelhetőek. A szabadon választott alakú és elhelyezkedésű testek szükségtelessé teszik a fizikai térből a számítási térbe való transzformációt. A numerikus áramlástan (computational fluid dynamics – CFD) modellek ezt a megoldást preferálják.



103. ábra. Véges térfogat módszer

A modell helyessége nagyban függ a diszkrétizálás pontosságától.

3. lépés: A diszkrétizált egyenletek megoldása

Az alapegyenleteket lineáris vagy adott esetben nemlineáris egyenletrendszerre alakítjuk, minden csomópontra vagy cellára felírjuk, és közelítő számítással megoldjuk.

Bármelyik módszert is alkalmazzuk, a számítás elvégzéséhez a peremfeltételek és a kezdeti értékek megadása elengedhetetlen.

A számítást numerikus hibák terhelik.

10.1.1 Levegőminőségi modellek bizonytalansági tényezői.

A számítások eredményeit terhelő bizonytalanság négy forrásból származhat a légszennyezés-terjedési modellek alkalmazásakor. Az első magából a modell felépítéséből adódik, vagyis hogy a valóságos légköri viszonyokat az adott egyenletrendszer milyen pontosan képes leírni. A második elem a mérési pontok reprezentativitásának eredménye, a harmadik ehhez kapcsolódóan a mért adatok pontosságából és részletességéből származik. A bizonytalanság negyedik tényezője, hogy a modell a légköri változások egy részét képes leírni.

A mérési pontok reprezentativitására példa, hogy az AERMOD modell egy mérőállomás meteorológiai adatait képes alkalmazni, így annak kiválasztása kardinális, illetve változékony széljárás vagy összetett domborzat esetén jelentős eltérések lehetnek a modell és a monitoring értékek között. Figyelembe véve, hogy a szennyezőanyag szélirányban körülbelül 10°-ban kerül el, adott esetben a szélirány 2°-os változása is jelentős tévedéshez vezethet.

10.1.2 Statisztikai módszerek a modellek összevetésére

Az egyes modellek alkalmazhatóságának összehasonlítására több különböző módszer is alkalmazható.

A robusztus magas koncentrációt (robust high concentration – RHC) Cox és Tikvart (1990) alkotta meg. A módszer megadja a sorbarendezett koncentrációértékekre felső szakaszára illesztett függvény alapján a jellemző legmagasabb koncentrációt. A számítási módja a következő:

$$RHC = X(N) + [\bar{X} - X(N)] \cdot \ln\left(\frac{3N - 1}{2}\right)$$

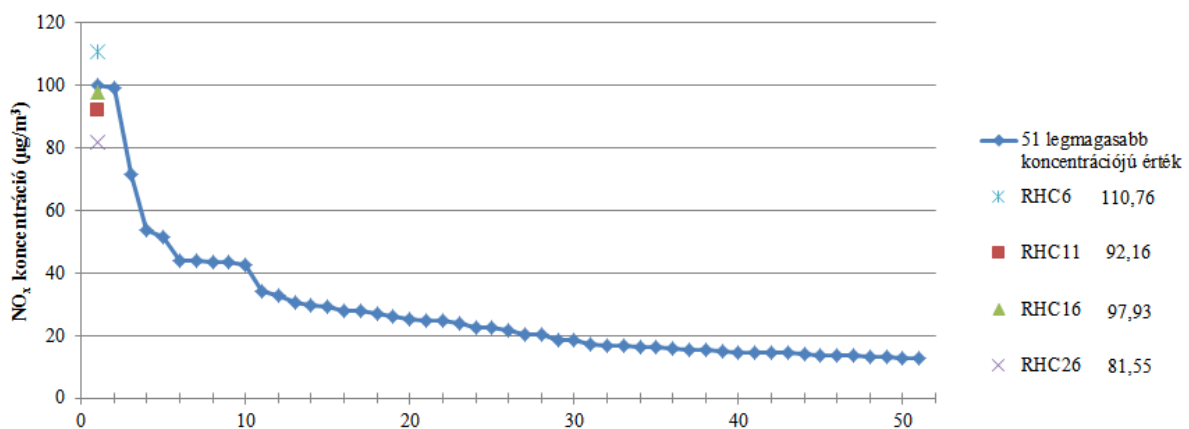
ahol

$X(N)$ az N-edik legmagasabb érték,

\bar{X} az N-1 legmagasabb érték átlaga

N adott küszöbérték feletti mérések száma

Általában N értékét 26-nak szokás venni, de Dresser és Huizer (2011) rámutatott, hogy az egyes mérési pontokon az átlagolási időtől függően más és más N érték adja meg az adott adatsorra legjobban illeszkedő RHC értéket.



104. ábra. Mérési sor alapján meghatározott RHC értékek különböző elemszám figyelembevételével.

Összevetve az adott mérőpontra vonatkozó koncentrációértékek RHC értékével a modellezett eredmények RHC értékét megállapítható, hogy a kritikusnak tekinthető felső tartományban mennyire pontosan képes a modell megbecsülni a várható szennyezőanyag koncentrációt.

Törtés torzítási tényező (fractional bias, FB), a mérési és számított eredmények közti eltérést adja meg (EPA, 1992). Ha az érték -0,67-nél kisebb, akkor a modell kétszeres faktorial túlbecsül, ha 0,67-nál nagyobb, akkor a modell a mérés alá becsülte az értéket. Egy jó modell abszolútértékben 0,3-nál kisebb torzítási tényezővel bír (Chang és Hanna, 2004).

$$FB = 2 \cdot \left(\frac{\overline{OB} - \overline{PR}}{\overline{OB} + \overline{PR}} \right)$$

ahol a

OB – az N darab legnagyobb mért koncentráció átlaga

PR – az N darab legnagyobb modellezett koncentráció átlaga

N meghatározása az EPA tanulmány szerint 25, amennyiben az RHC megadásakor N értékét másképp határozzuk meg, úgy itt is módosítani szükséges.

Az EPA protokoll (1992) a modell jóságának megállapítására összevont teljesítménymutatót (composite performance measure, CPM) javasol. A mutató két részre bontható, egy műveleti és egy tudományos elemre. Az operatív komponens a háromórás és a 24-órás átlagértékek abszolút torzításit tényezőjének átlaga, míg a tudományos tag az egyes meteorológiai állapotra vonatkozó abszolút torzítási tényezők átlagából adódik.

$$CPM = \frac{1}{3} \overline{(AFB)_{i,j}} + \frac{2}{3} \left(\frac{(AFB)_3 + (AFB)_{24}}{2} \right)$$

$(AFB)_{i,j}$ az i-edik állomás j-edik meteorológiai kategóriára számított abszolút torzítási tényező

$(AFB)_3$ az i-edik állomás háromórás átlagainak abszolút torzítási tényezője

$(AFB)_{24}$ az i-edik állomás 24-órás átlagainak abszolút torzítási tényezője

10.2 Levegőtisztaság-védelmi eljárások számítógépi modellezése.

A környezeti levegő minőségében bekövetkező változások mérés, csak pontszerűen lehetséges. Ahhoz, hogy egy terület légterheltségi szintjét megállapítsuk, egy monitoring állomás kihelyezésére van

szükség, ami költséges, vagy a már létező immissziós mérőpontok és a szennyezőforrás ismeretében modellezhető az eredmény.

Az alapeset szimulációja és a modell validációja után lehetőség nyílik arra, hogy különböző eseteket vizsgáljunk. Ez a különböző időjárási körülményektől kezdve a tervezett új létesítmény emisszióján át a már meglévő kibocsátó technológiaváltásának hatásáig terjedhet.

A modellezés léptékei szerint megkülönböztetünk globális, regionális és lokális és mikro-skálát (54. táblázat)

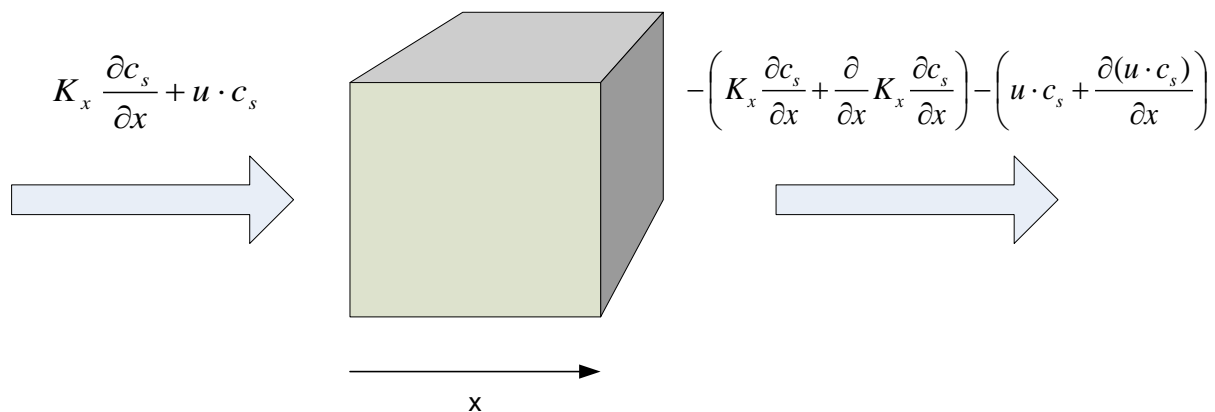
54. táblázat. Léggöri mozgások hozzávetőleges tér- és időléptékei, szennyezőanyagok terjedési jellemzői (Bozó et al. 2006)

Lépték elnevezése		Térbeli lépték	Időbeli lépték	Nyomanyagok terjedésére vonatkozó jellemzők
Nagy	Globális	4000-40000 km	5 nap – több év	Félgöri és globális terjedés, hosszú tartózkodási idejű nyomanyagok
	Szinoptikus	2000-4000 km	1-5 nap	Kontinentális léptékű terjedés, erősen változó nyomanyagok léggöri átalakulási és kihullási folyamatai
Regionális	Mezo-alfa	200-2000 km	12-48 óra	Regionális és kontinentális léptékű terjedés, erősen változó nyomanyagok átalakulási és kihullási folyamatai, konvektív rendszerek
	Mezo-béta	10-30 km	2-12 óra	Terjedés egyedi források környezetében, konvektív rendszerek és orografikus örvények
Lokális	Mezo-gamma	1-20 km	0,1-3 óra	Terjedés és diszperzió városi léptékekben illetve a légszennyező források környezetében
Turbulencia	Mikro-skála	10 mm-2 km	1-1800 mp	Diszperzió utca-kanyonokban, jelentős termikus, kémiai és fizikai inhomogenitás

Jelen jegyzetben elsősorban a regionális és lokális léptékű modellekkel és léggöri szennyezésterjedéssel foglalkozunk, bár néhány gondolat erejéig a globális és mikro-skálára is kitérünk.

10.2.1 EULER-szemléletű modellek

Az Euler-féle közelítéssel az események lefolyását a Földhöz rögzített (álló) koordináta-rendszerben vizsgáljuk. A kontinuitási egyenlet a légszennyező anyagok transzportjának legáltalánosabb formája.



105. ábra. Tömeg be- és kiáramlása egységnyi térfogatú levegőelembe. c_s a koncentráció, u a szélesség, K_x x irányú turbulens diffúziós együttható

A 2. ábra a légköri elembe a szennyezőanyag rendezett (TR) és turbulens változások (TIR) hatására végbemenő koncentrációváltozást mutatja be. Ezen felül a szennyezőanyag mennyiségét befolyásolja az emisszió (S, növekedés), a kiülepedés (D, csökkenés) és a kémiai folyamatok (FR).

Összességében a szennyező anyag koncentrációjának időbeli változása a légtérben:

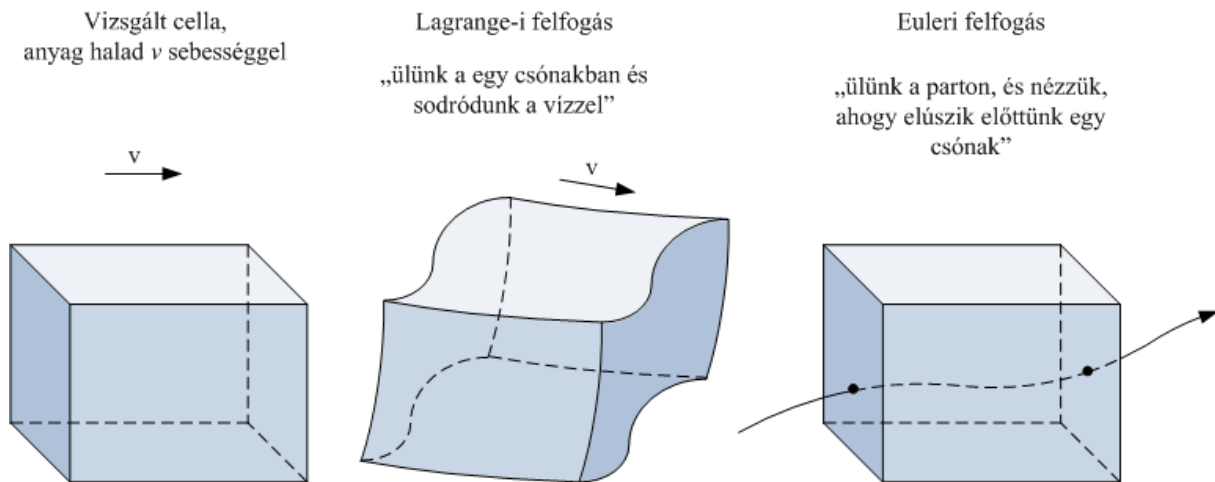
$$-\frac{\sigma C}{\sigma t} = T_R + T_{IR} + S - D \pm FR$$

A modell nemcsak x irányban hanem több dimenzióban is értelmezhető. A vizsgálandó szennyezőanyagok számától függően n darab parciális differenciálegyenlet írható fel. A modell összetettsége miatt szokás almodellekre bontani a különböző légköri folyamatoknak megfelelően, melyek megoldásával a teljes rendszerre nézve az almodellek számával azonos mennyiségű differenciálegyenletet kapunk.

10.2.2 LAGRANGE-típusú modellek

A Lagrange modellek esetében a koordináta-rendszer a légáramlással együtt halad. Az Euler modellhez képest egyszerűsítés, hogy két dimenziót veszünk figyelembe. Az egységnyi alapú és H keveredési

réteg-magasságú dobozok rögzített emissziós mező fölött mozognak, így minden időlépték alatt meghatározott mennyiségű anyag kerül beléjük.



106. ábra. A Lagrange- és az Euler-modellek felfogásának összehasonlítása

A légtér-egység koncentráció-változása:

$$\frac{d C_1}{d t} = \frac{Q}{H} - k_1 C_1 - k_2 C_1 - k_3 C_1$$

ahol

C_1 a koncentráció,

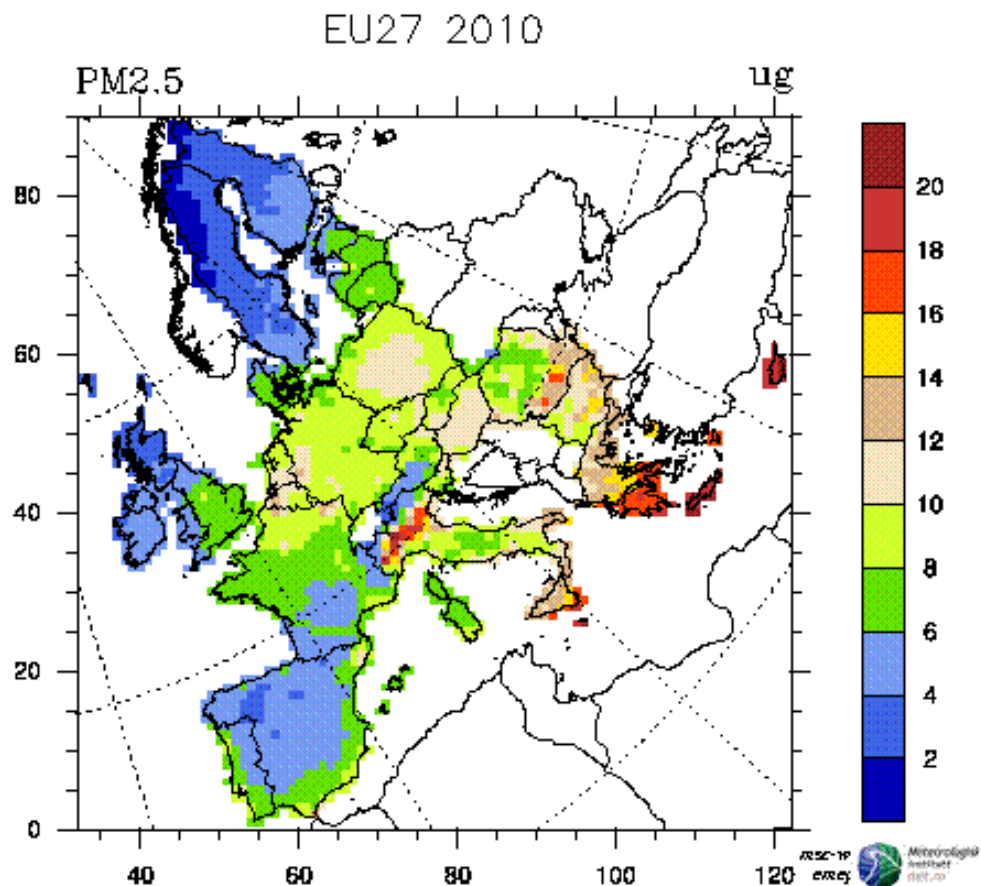
Q az emisszió,

H a keveredési réteg vastagsága

k_1, k_2, k_3 a kémiai átalakulás, a száraz és a nedves ülepedés együtthatója.

A modell segítségével több száz kilométer kiterjedésű folyamatok leírása lehetséges. A számítások során a regionális lépték miatt talajszél helyett a modellezéshez választott izobar trajektóriamező áramlási sebességét vesszük figyelembe.

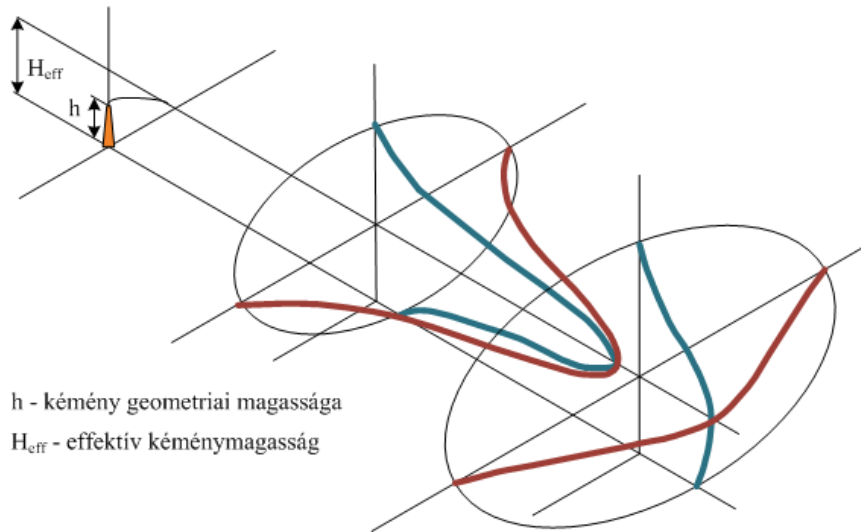
A gyakorlatban az EMEP modellek alkalmazzák ezt a módszert. Az egyes tagországok emissziós kataszterei alapján 50*50 km-es felbontásban éves átlagolási felszíni szennyezőanyag koncentráció eloszlás térképek készülnek (107. ábra).



107. ábra. EMEP PM2,5 koncentráció eloszlás térkép 2010-re az EU27 országokra (forrás: EMEP/MSW)

10.2.3 Gauss-modell

A Gauss-modell lokális léptékű modell. Akkor alkalmazható, ha a szennyezőanyag diffúziója az elszállítódás irányában elhanyagolható. Ekkor feltételezhetjük, hogy a szóródás horizontálisan és vertikálisan Gauss-féle eloszlású. Pontforrásokra, illetve kis kiterjedésű forrásokra alkalmazható.



108. ábra. Pontforrásból származó szennyezőanyag terjedése a Gauss modell szerint.

A Gauss-modelleket két fő csoportra bonthatjuk, ezek a füstfáklya és az ún. puff-modellek. Mindkét esetben érvényesek az alábbi megkötések (a puff tranzien szennyezőanyag terjedés modell, mely pillanatszerű kibocsátások leírására is alkalmas):

1. Az elszállítódás irányába eső diffúzió elhanyagolható. Ez akkor lehetséges, ha a kibocsátás folyamatos, vagy a kibocsátás időtartama az elszállítódás időtartamával nagyságrendileg megegyezik, vagy meghaladja azt.
2. A kibocsátott szennyezőanyag konzervatív tulajdonságú gáz vagy aeroszol, a kiülepedéstől és kémiai átalakulástól eltekinthetünk.
3. Az anyagmegmaradás elve teljesül, azaz a kibocsátott anyagból semmi sem kerül ki az elszállítódás folyamán, és a talajt tökéletes visszaverő felületnek tekintjük.
4. Az x tengelyt a szél irányába vesszük fel, és az átlagos szélesség arra rétegre jellemző, ahol a terjedés végbemegy.
5. A füstfáklyát alkotó szennyezőanyag normál eloszlású mind a szélre merőleges, mind a vertikális irányban.
6. A felszín érdességi elemeiről feltételezzük, hogy homogén eloszlásúak, így vízszintes síkban homogén turbulenciával számolhatunk.
7. A turbulenciát stacionernek tekintjük, azaz nincs időbeli változás az örvényességben.

A füstfáklya (vagy csóva, angolul plume) modellek a kibocsátást és az egyéb paramétereket időben állandónak tekintjük, míg a puff modellek (az angol kifejezés „füstpamacsot” jelent) időben változó bemeneti adatokat is képes figyelembe venni, vagyis pillanatszerű és időben változó kibocsátások vizsgálatára is alkalmas. Ezt úgy oldjuk meg, hogy a vizsgált időt olyan Δt szakaszokra bontjuk, melyekre a változók állandónak tekinthetők. Az egyenletet adott időegységre oldjuk meg, és az adott pontban

és időben érvényes koncentráció értékekre igaz, hogy az éppen ott tartózkodó szennyezőanyag felhőkben fellépő koncentrációk összege.

A szennyezőanyagok terjedésének befolyásoló tényezőit a **Szabó Imre, Domokos Endre: Környezetinformatika** c. jegyzetben a szerzők részletesen bemutatják, itt most csak egy rövid felsorolás következik.

- A légkör hőmérsékleti rétegződése és stabilitása
 - o A légkör termikus egyensúlyi állapota
 - o Stabilitási állapotok
 - o Stabilitás hatása a szennyezőanyag terjedésére
- A szél
- Az effektív forrásmagasság

Füstfáklya modell az következő alapegyenletet alkalmazza. H effektív kéménymagassággal rendelkező folytonos pontforrásból származó gáz vagy részecske szennyezőanyag koncentráció (x,y,z) pontban az alábbiakban határozható meg

$$R(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_z\sigma_y u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

ahol R a forrástól mért távolságban észlelt koncentráció

H - a füstfáklya középvonalának magassága, az effektív kéménymagasság [m],

σ_y , σ_z - y és z irányban fellépő standard szórások [m],

u - átlagos szélesség [m/s],

Q - a szennyezőanyag kibocsátás [g/s],

Néhány további egyszerűsítő feltétellel élhetünk. A talajsintre vonatkoztatva z=0 lesz (kellően magas kémény esetén nagy távolságban a receptor felszínétől vett távolságától eltekinthetünk).

$$R(x, y, 0, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_z\sigma_y u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right]$$

Amennyiben a talajsinten a füstfáklya vonalában vagyunk kíváncsiak a kialakuló koncentrációra, az exponenciális tagok közül csak az effektív kéménymagasságot tartalmazó marad az egyenletben.

Ha a füstfáklya alatt nézzük, tovább egyszerűsödik az egyenlet:

$$R(x, 0, 0, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_z\sigma_y u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right]$$

Maximális koncentráció ott alakul ki, ahol a függőleges turbulens szóródási együttható értéke az effektív kéménymagasság 0,707-szerese.

Ebben a pontban a koncentráció értékét a következőképp adjuk meg:

$$R_{max} = \frac{Q}{\pi \cdot e \cdot u \cdot \sigma_z \cdot \sigma_y}$$

Ha pillanatnyi kibocsátást veszünk, akkor az alapegyenlet kismértékben módosul és a standard devianciák értéke módosul.

$$R(x, y, 0, H) = \frac{2Q_T}{(2\pi)^{3/2}\sigma_z\sigma_y\sigma_x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-ut}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_y}\right)^2\right] \right\}$$

A puff modelleket akkor alkalmazzuk, ha a szél iránya és/vagy sebessége a vizsgálati időtartamban heterogén képet mutat.

$$c = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2}\sigma_z\sigma_y\sigma_x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_p-x_s}{\sigma_x}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y_p-y_s}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z_p-z_s}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z_p+z_s}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{2H-z_p-z_s}{\sigma_y}\right)^2\right] \right\}$$

ahol

c – a koncentráció az adott pontban [g/m³]

Q – a puff tömege [g]

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – diszperziós tényezők

x_p, y_p, z_p – a puff középpontjának koordinátái [m]

x_s, y_s, z_s – a vizsgált pont koordinátái [m]

H – keveredési magasság [m]

A diszperziós paramétereket befolyásolja a légköri turbulencia, a felemelkedés hatására bekövetkező szóródás és adott esetben a kibocsátó jármű is.

Az Gauss-modell több paramétere is a légköri stabilitás függvénye. A k és a σ értékeket meghatározza, hogy milyen stabilitási állapot mellett vagyunk kíváncsiak adott pontban a kialakuló koncentrációra. A légköri stabilitás meghatározásának módjairól a 10.2.3.1. fejezetben lesz szó.

10.2.3.1 Légköri stabilitás megállapítása

Definíció szerint a Monin-Obukhov hossz az a magasság, amelynél mechanikai és felhajtó erők által keltett turbulencia azonos értékű lesz.

$$L = - \frac{u_*^3}{\kappa \cdot \frac{g}{T} \cdot \frac{H_0}{\rho \cdot c_p}}$$

ahol

u_* - dinamikus sebesség (m/s)

κ – Kármán konstans (~0,4 dimenziómentes szám)

ρ – sűrűség (g/m³)

g – nehézségi gyorsulás (m/s²)

T – hőmérséklet (K)

H_0 – turbulens hőáram (J/(sm²))

c_p – állandó nyomáson vett fajhője (J/(kgK))

A talajközeli rétegben uralkodó állapotok jellemzésére használják még a Richardson-számot (R_f), mely a felszín feletti magasság (z) és az L érték hányadosa.

$$R_f = \frac{z}{L}$$

A képletből adódóan, ha az Obukhov hossz pozitív, akkor a Richardson szám is az, viszont a fordított arányosság miatt adiabatikus körülmények között a R_f nullához közeli (pozitív vagy negatív) értéket vesz fel.

55. táblázat. Monin-Obukhov hossz (L) a légköri stabilitás függvényében (Seinfeld, Pandis, 2006)

L	légköri stabilitás
$L < -10^5$ m	semleges
$-10^5 \text{ m} \leq L \leq -100$ m	labilis
$-100 \text{ m} < L < 0$	nagyon labilis
$0 < L < 100$ m	nagyon stabil
$100 \text{ m} \leq L \leq 10^5$ m	stabil
$L > 10^5$ m	semleges

Monin-Obukhov hossz: A kifejezést először Obukhov (1946) alkalmazta, ezért Obukhov-hossz a helyes meghatározás, de mivel a Monin-Obukhov hasonlósági elmélet fontos tényezője, ezért elterjedt a Monin-Obukhov hossz elnevezés is.

Az Obukhov hossz meghatározásával a légköri rétegződésről nyerhetünk információt a Monin-Obukhov hasonlósági elméletet alkalmazva.

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{u_*}{\kappa(z-d)} \varphi_u(\zeta)$$

$$\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} = \frac{T_*}{\kappa(z-d)} \varphi_H(\zeta)$$

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial z} = \frac{q_*}{\kappa(z-d)} \varphi_E(\zeta)$$

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = \frac{c_*}{\kappa(z-d)} \varphi_{Fc}(\zeta)$$

ahol

$\varphi_u(\zeta)$, $\varphi_H(\zeta)$, $\varphi_E(\zeta)$, $\varphi_{Fc}(\zeta)$ rendre az impulzusra, szenzibilis és látens hőszállításra, valamint a nyomanyag transzportra vonatkozó univerzális függvény, mely a stabilitástól függ

d – a kiszorítási rétegvastagság (m)

z – az aktuális magasság (m)

T^* – hőmérséklet

q – specifikus nedvesség,

c – koncentráció

$\bar{\Theta}$ – virtuális potenciális hőmérséklet

Az egyszerűsítés érdekében az egyetemes függvényeket egyenlőnek tekintjük.

Feltételezve, hogy semleges a légköri rétegződés, a súrlódási sebesség és a hőáramok kiszámítása után meghatározható az Obukhov hossz az alábbi képlet szerint:

$$\zeta = \frac{(z - d)}{L}$$

Ha a kapott eredmény szerint a légköri stabilitás semleges, a számítás véget ért. Amennyiben nem, akkor az adott kategóriára felállított egyenleteket felhasználva újra végezzük a számításokat, amíg a két egymást követő számítási lépés különbsége egy előre meghatározott küszöbérték alá nem kerül. Az egyes állapotokra alkalmazható egyenletek a szakirodalomban (pl. Seinfeld és Pandis(2006)) fellelhető. Amennyiben adott lépésszám után ez még nem következett be, a számítás divergál.

Az Obukhov hossz meghatározása összetett matematikai feladat. Pasquill (1961) ezért egy empirikus módszert dolgozott ki, melyet Turner (1969) fejlesztett tovább. A rétegződéseket hat kategóriába sorolták. A rétegződés típusának meghatározásához a szélesebbeséget, a besugárzás erősségét és a felhőborítottság mértékét kell ismerni. Az utóbbi kettő vizuálisan becsülhető.

56. táblázat. A Pasquill-féle rétegződési kategóriákra vonatkozó Turner-féle (Turner, 1969) kritériumok. A szélesebbesség értékek 10 m-es magasságra vonatkoznak. A felszíntípus: gyep, melynek érdessége 10 cm.

Szélesebbesség (m/s)	Besugárzás			Borultság (éjszaka)	
	Erős ($>700 \text{ W/m}^2$)	Közepes ($350-700 \text{ W/m}^2$)	Gyenge ($<350 \text{ W/m}^2$)	Többnyire derült – felhőborítottság $<1/2$	Többnyire borult felhőborítottság $>3/8$
<2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

57. táblázat. A légköri rétegződést jellemző Pasquill-féle kategóriák

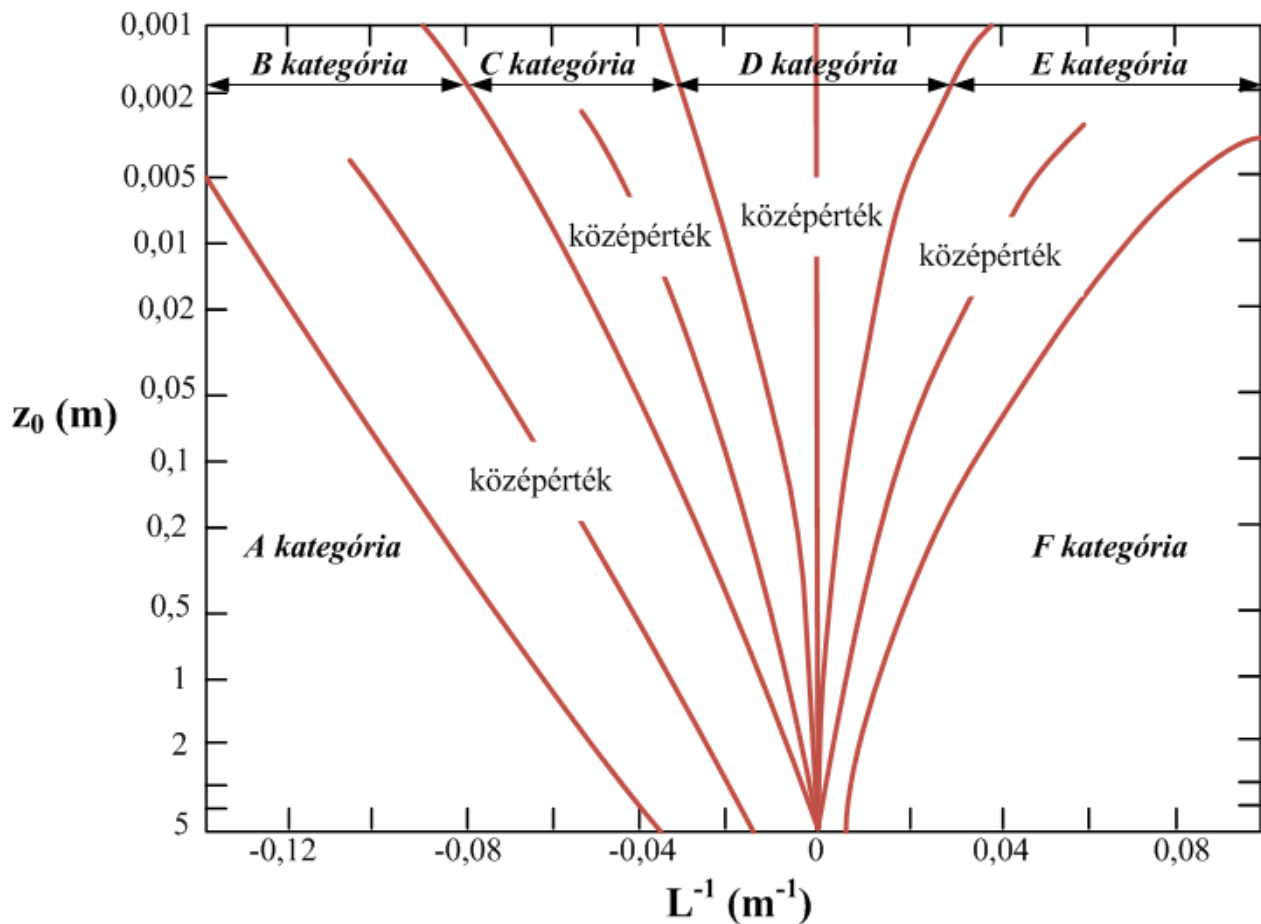
Stabilitás	Pasquill kategória	Golder féle együtthatók	
		a	b
Extrém labilis	A	-0,096	0,029
labilis	B	-0,037	0,029
gyengén labilis	C	-0,002	0,018
neutrális	D	0	0
gyengén stabilis	E	0,004	-0,018
stabilis	F	0,035	-0,036

A Pasquill-féle rétegződési kategóriák szerint a nappali időszakban, amikor valamilyen mértékű besugárzás észlelhető, stabilis állapot nem léphet fel, ugyanígy éjszaka a táblázat szerint nem állhat fenn labilis rétegződés. Ezzel szemben Ács és Vincze (2009) munkájukban rámutattak, hogy mindkét eset fennállhat, vagyis a Pasquill-féle módszer egyes esetekben ellentmondáshoz vezethet.

Golder (1972) az érdesség, a Pasquill-kategóriák és az Obukhov hossz közti összefüggésre egy empirikus képletet alkotott meg.

$$\frac{1}{L} = a + b \cdot \lg z_0$$

Ahol a és b a Golder-féle együtthatók (57. táblázat)



109. ábra. Nomogram az érdességi magasság, az Obukhov hossz és a Pasquill-kategóriák közti összefüggés megállapítására (Golder, 1972)

10.2.3.2 Effektív kéménymagasság meghatározása

A Gauss-modell meghatározásához elengedhetetlen ismerni a szennyezés földfelszínhez viszonyított magasságát. Ez egyrészt adódik a kémény tényleges magasságából és a járulékos kéménymagasságból (Δh). Ez utóbbit a forrásból való kijutás utáni hőmérséklet és sűrűségkülönbség, illetve a kibocsátott anyag mozgási energiája okozza. Meghatározására több különböző empirikus közelítő egyenlet alkottak meg. Seinfeld és Pandis (2006) összeállított egy táblázatot a különböző számítási módok ismertetésére.

$$\Delta h = \frac{k \cdot E}{u^a} = \frac{k}{u^a} \cdot (c_1 \cdot v \cdot d + c_2 \cdot Q_h^b)$$

ahol

k – légköri stabilitástól függő tényező [-]

E – meteorológiai tényezőktől független változó

u – az effektív kéménymagasságra jellemző átlagos szélesség [m/s]

v – kilépő füstgáz sebessége [m/s]

d – kémény átmérője a kilépési pontnál [m]

Q_h – a füstgázzal kibocsátott hőteljesítmény [kW]

a, b, c_1 , c_2 – empirikus állandók

Az MSZ 21459/5-85. szabvány szerint a járulékos kéménymagasságot kétféleképp kell meghatározni: Ha a véggáz és a környezeti levegő között a hőmérséklet különbség kisebb 50°C-nál és a hőkibocsátás nem haladja meg a 100 MW-ot, akkor a fenti képlet az alábbiak szerint módosul:

$$\Delta h = \frac{k}{u} \cdot (1,5 \cdot k \cdot v \cdot d + 0,0096 \cdot k \cdot Q_h)$$

ellenkező esetben

$$\Delta h = \frac{k}{u^{0,75}} \cdot (2,71 \cdot Q_h^{0,5})$$

A hőmennyiség számítása.

$$Q_h = m \cdot c_p \cdot (T_s - T_k) = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_s - T_k)$$

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot v}{4}$$

m- a füstgáz tömegárama [kg/s]

T_s - a kilépő gáz hőmérséklete, [°K]

T_k - a környezeti hőmérséklet, [°K]

V – a füstgáz térfogatárama [m³/s]

c_p – a füstgáz izobár fajhője [kJ/kg°K]

ρ – a füstgáz sűrűsége [kg/m³]

d – a forrás kilépő keresztmetszetének belső (egyenértékű) átmérője [m]

v – a kibocsátott véggáz átlagos kilépési sebessége [m/s]

Ha az effektív kéménymagasság nem haladja meg a geometriai magasság másfélszeresét, akkor a szélesebbesség meghatározásához elegendő ismerni a kilépési magasságban uralkodó szél sebességét, különben iterációs módszert kell alkalmazni.

1. lépés: Kiinduló értéként az effektív kéménymagasságra jellemző átlagos szélesebbesség (most u^*) legyen egyenlő a mérési pontban rögzített átlagos szélesebbességgel (u_0);

2. lépés: kiszámítjuk az u^* értékével az effektív kéménymagasságot (H_{eff});

3. lépés: H_{eff} számított értékével a következő képlet alapján ellenőrizzük az u^* értékét

$$u^* = \frac{u_0}{(p + 1) \cdot h_0^p} \cdot \frac{H_{eff}^{p+1} - h_k^{p+1}}{H - h_k}$$

ahol

p – szélprofilegyenlet kitevője

h_0 – szélmérőhely magassága

h_k – leáramlással korrigált kéménymagasság.

A szélprofilegyenlet kitevője mérés alapján meghatározható az alábbiak szerint:

$$p = \frac{\ln\left(\frac{u_1}{u_2}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)}$$

ahol u_1 és u_2 a h_1 és h_2 magasságban mért szélesebbesség. Amennyiben nincs mérési adatunk, irodalmi adatok felhasználhatók (58. táblázat), de fontos, hogy ezek az értékek a mérési magasságtól, a stabilitástól és az érdességi magasságtól egyaránt függenek.

58. táblázat. A szélprofilegyenlet kitevője 300 méteres rétegvastagságra vonatkoztatva.

Pasquill-féle indikátor	p
A	0,16
B	0,21
C	0,23
D	0,27
E	0,32
F	0,38

A leáramlással korrigált tényleges kéménymagasságot abban az esetben kell meghatározni, hogy a kéményszájnál mért szélesebbesség a füstgáz kiáramlási sebesség kétharmadánál nagyobb. Ez esetben

$$h_k = h + 2 \cdot \left(\frac{v}{u(h)} - 1,5 \right) \cdot d$$

ahol

$u(h)$ – a szélesebbesség a kéményszáj magasságában (m/s)

v – szennyezett levegő kiáramlási sebessége (m/s)

d – kéményszáj átmérője (m)

Ha a szélesebbesség a füstgáz kiáramlási sebesség kétharmadánál kisebb, akkor a leáramlás hatásától eltekinthetünk, vagyis

$$h_k = h$$

4. lépés: u^* két értékét összevetjük, ha az eltérés a megengedett hibahatáron belül van, akkor vége a számításnak, ellenkező esetben vissza kell térni a 2. lépéshez.

Példaként nézzük a következő esetet:

Határozzuk meg az effektív kéménymagasságot!

a, A füstgáz adatai: $\rho = 0,78 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1,11 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$, $v = 15 \text{ m/s}$, kilépési hőmérséklet 175°C . A füstgáz kilépési pontjánál a belső átmérő 3 m , a kémény magassága 40 m . A környezet hőmérséklete 20°C .

Az átlagos szélesebbesség 3 m/s , k tényező értékét az 59. táblázatból határozzuk meg. A stabilitási kategória C (ld. 56. táblázat).

59. táblázat. k érték meghatározása (MSZ 21459/5)

Pasquill-féle stabilitás indikátor	Szepesi-féle stabilitási kategória	k értékek
F*	1	0,88
F	2	0,92
	3	0,96
E	4	0,99
	5	1,02
D	6	1,05
A, B, C	7	1,08

Először számítsuk ki a hőmennyiséget:

$$Q_h = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_s - T_k) = V \cdot 0,78 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (448,15 \text{ K} - 293,15 \text{ K})$$

ehhez szükséges a térfogatáram meghatározása az alábbiak szerint:

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot v}{4} = \frac{(3 \text{ m})^2 \cdot \pi \cdot 15 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{4} = 106,0 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

vagy a hőmennyiség:

$$Q_h = V \cdot 134,2 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} = 106,0 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 134,2 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} = 14225,2 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 14,2 \text{ MW}$$

A hőmennyiség ugyan nem haladja meg a 100 MW-ot, de a környezet és a füstgáz hőmérséklete közti különbség nagyobb, mint 50°C, ezért a járulékos kéménymagasságot a következőképp számoljuk:

$$\Delta h = \frac{k}{u^{0,75}} \cdot (2,71 \cdot Q_h^{0,5}) = \frac{1,08}{\left(3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^{0,75}} \cdot 2,71 \cdot (14225,2 \text{ kW})^{0,5} = 153,1 \text{ m}$$

vagyis az effektív kéménymagasság:

$$H_{eff} = H_{geom} + \Delta h = 40 \text{ m} + 153,1 \text{ m} = 193,1 \text{ m}$$

b, Az átlagos szélesség legyen a kéményszájnál 2 m/s, a füstcsóva magasságában ismeretlen, p értéke 0,196.

A többi adat változatlan (A füstgáz adatai: $\rho = 0,78 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1,11 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$, $v = 15 \text{ m/s}$, kilépési hőmérséklet 175°C. A füstgáz kilépési pontjánál a belső átmérő 3 m, a kémény magassága 40 m. A környezet hőmérséklete 20°C, stabilitási kategória C)

Az előzőek alapján feltételezhető, hogy az effektív kéménymagasság meghaladja a geometriai magasság másfélszeresét, viszont a leáramlás hatását figyelmen kívül hagyhatjuk.

A kilépő hőmennyiséget az előző számításból átvehetjük, az iteráció első lépése alapján:

$$\Delta h = \frac{k}{u^{0,75}} \cdot (2,71 \cdot Q_h^{0,5}) = \frac{1,08}{\left(2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^{0,75}} \cdot 2,71 \cdot (14225,2 \text{ kW})^{0,5} = 207,6 \text{ m}$$

$$H_{eff} = H_{geom} + \Delta h = 40 \text{ m} + 207,6 \text{ m} = 247,6 \text{ m}$$

A szélesség ellenőrzése:

$$u^* = \frac{u_0}{(p+1) \cdot h_0^p} \cdot \frac{H_{eff}^{p+1} - h_k^{p+1}}{H - h_k} = \frac{2}{(0,196+1) \cdot 40^{0,196}} \cdot \frac{247,6^{1,196} - 40^{1,196}}{247,6 - 40} = 2,53 \text{ m/s}$$

Az iterációs folyamatot elvégezve a szélességre 2,4775 m/s jön ki (0%-os eltérés), ekkor a járulékos kéménymagasság 176,7714 m. Természetesen a négy tizedes pontosság nem reális, egy tizedes kerekítés esetén az eltérés 1%-on belül van (0,98%), a szélesség ekkor 2,5 m, a járulékos kéménymagasság 175,6 m.

10.2.3.3 Érdességi magasság meghatározása

Érdességi magasság (z_0) az a magasság, ahol a szélesség egyenlő nullával, nagysága hozzávetőlegesen a vizsgálati területen található vegetáció vagy épületek magasságának tizede (Bozó et al., 2006), harmincada (Seinfeld, Pandis, 2006).

60. táblázat. Érdességi magasság különböző felületekre (McRae et al 1982)

Felület	z_0 (m)
Nagyon sima (jég)	10^{-5}
Hó, nyugodt tenger, sík sivatag	10^{-4} - 10^{-3}
pázsit	10^{-2}
vágatlan fű	0,05
teljesen kifejlett gumós növények	0,1
erdő	1
alacsony beépítettségű lakott terület	2
sűrűn beépített terület, városközpont	5-10

Egy másik felosztás szerint 8 fő érdességi osztályt különböztetünk meg.

61. táblázat. Davenport-féle érdességi osztályok (Davenport et al, 2000)

Osztály	Felszínborítottság jellege	z_0 (m)
Tenger	Nagy kiterjedésű vízfelszín	0,002
Zavartalan	Nincsenek tereptárgyak, növényzet elhanyagolható	0,005
Nyitott	Kismértékű növényborítás	0,03
Érdes-nyitott	Kismértékű növényborítás, néhány tereptárggyal	0,1
Érdes	Jelentős növényborítás, elszórtan több tereptárgy	0,25
Nagyon érdes	Kis sűrűségű, alacsony épületekkel beépített terület	0,5
Átfutó áramlást eredményező	Kifejlett erdő, városi terület, a tereptárgyak közti magasságkülönbség kicsi	1
Kaotikus	Városközpont, szabálytalan magasságú fákból álló erdős terület	≥ 2

10.2.3.4 Turbulens szóródási együtthatók meghatározása

A kialakuló koncentráció meghatározásához még szükséges a szóródási együtthatók megadása. Ehhez útmutatót az MSZ 21457-4 szabvány ad.

A szélirányra merőleges, vízszintes turbulens szóródási együttható (σ_y):

$$\sigma_y = 0,08 \cdot \left(6 \cdot p^{-0,3} + 1 - \ln \frac{H_{eff}}{z_0} \right) \cdot x^{0,367 \cdot (2,5-p)}$$

$$\sigma_z = 0,38 \cdot p^{1,3} \cdot \left(8,7 - \ln \frac{H_{eff}}{z_0}\right) \cdot x^{1,55 \cdot e^{-2,35 \cdot p}}$$

ahol

p – a szélprofil egyenlet kitevője

H_{eff} – effektív kéménymagasság (m)

z_0 – érdességi paraméter (m)

x – a kibocsátó forrástól való távolság (m)

Abban az esetben, ha $H_{eff}/z_0 > 2000$, az értéket 2000-nek vesszük.

Feladat: Egy pontforrás átlagos kibocsátása 100 g/s gáznemű szennyezőanyag. Számítsuk ki a kialakuló koncentrációt 500 m távolságban. A vizsgált terület alacsony beépítettségű, sík terület (használjuk az 61. táblázatot).

További szükséges adatok: Szélesség 2,5 m/s az effektív kéménymagasság szintjén, $H_{eff} = 175,6$ m, stabilitási osztály C.

Először számítsuk ki a szóródási együtthatók értékeit. A szélprofil egyenlet kitevőjét az 58. táblázat alapján határozzuk meg.

$$\begin{aligned} \sigma_y &= 0,08 \cdot \left(6 \cdot p^{-0,3} + 1 - \ln \frac{H_{eff}}{z_0}\right) \cdot x^{0,367 \cdot (2,5-p)} \\ &= 0,08 \cdot \left(6 \cdot 0,23^{-0,3} + 1 - \ln \frac{175,6 \text{ m}}{0,5 \text{ m}}\right) \cdot (500 \text{ m})^{0,367 \cdot (2,5-0,23)} = 63,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_z &= 0,38 \cdot p^{1,3} \cdot \left(8,7 - \ln \frac{H_{eff}}{z_0}\right) \cdot x^{1,55 \cdot e^{-2,35 \cdot p}} \\ &= 0,38 \cdot 0,23^{1,3} \cdot \left(8,7 - \ln \frac{175,6 \text{ m}}{0,5 \text{ m}}\right) \cdot (500 \text{ m})^{1,55 \cdot e^{-2,35 \cdot 0,23}} = 43,6 \text{ m} \end{aligned}$$

A koncentráció meghatározásához a képlet emlékeztetőül:

$$R(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_z\sigma_y u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

Elsőként nézzük meg, hogy szélirányban, földfelszínen mekkora koncentráció adódik. Így $y=0$, és $z=0$, vagyis a képlet leegyszerűsödik.

$$\begin{aligned} R(x, 0, 0, H) &= \frac{Q}{2\pi\sigma_z\sigma_y u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] = \frac{100 \text{ g/s}}{2\pi \cdot 43,6 \text{ m} \cdot 63,3 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{175,6 \text{ m}}{43,6 \text{ m}}\right)^2\right] \\ &= 6,93 \cdot 10^{-4} \text{ mg/m}^3 \end{aligned}$$

Mivel a receptorok (szennyezésnek kitett objektumok és emberek) földfelszín közelében vannak, és a szélirányban várható a legnagyobb terjedés is, ezért a feltételek a legrosszabb eset forgatókönyvével (worst case scenario) megegyeznek.

Mekkora a maximális koncentráció?

$$R_{max} = \frac{Q}{\pi \cdot e \cdot u \cdot \sigma_z \cdot \sigma_y}$$

Maximális koncentrációt ott várható, ahol

$$0,707 \cdot H = \sigma_z$$

vagyis $\sigma_z = 124,1 \text{ m}$. Ez szélirányban 1592,3 m távolságban lesz, σ_y pedig ebben a pontban 166,1 m.

Behelyettesítve a képletbe:

$$R_{max} = \frac{Q}{\pi \cdot e \cdot u \cdot \sigma_z \cdot \sigma_y} = \frac{100 \text{ g/s}}{\pi \cdot e \cdot 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 124,1 \text{ m} \cdot 166,1 \text{ m}} = 0,23 \text{ mg/m}^3$$

Önálló feladat: Határozza meg a kialakuló koncentrációt a korábbi adatok felhasználásával abban az esetben, ha az uralkodó szélirány északnyugati, és északra 1 km-re található egy védendő objektum.

10.2.3.5 Modellek összehasonlítása

Térjünk rá most arra, hogy milyen szoftverek állnak rendelkezésünkre. A következő táblázatban néhány levegőtisztasági modellre találunk példákat.

Modell	Rövid leírás
AERMOD (U.S. EPA, 2004)	<p>Füstfáklya modell. Stabil légköri határrétegben horizontális és vertikális irányban is Gauss-féle eloszlást vesz figyelembe, míg a konvektív határrétegben függőleges irányban bimodális eloszlással számol. Az AERMOD képes kezelni az áramlást és diszperziót összetett terepen, úgy hogy a légtömeg pályagörbéje vagy követi a földfelszínt vagy metszi azt. Ezt a megközelítés fizikai szempontból realiztikus, könnyű alkalmazni, és nincs szükség egyszerű, átlagos és az összetett topográfia eltérő kezelésére.</p> <p>A program képes több (pont- és/vagy területi) forrásból származó terhelés előrejelzésére, és kezeli az tereptárgyak okozta leáramlás hatását.</p> <p>A meteorológiai adatokat az AERMET program segítségével lehet feldolgozni, az AERMAP pedig a topográfiai adatok előkészítését szolgálja. Az AERMODot úgy tervezték, hogy minimális meteorológiai adatigénye legyen.</p>
CALPUFF (Scire et al., 2000)	<p>Lagrange-i szemléletű, de Gauss-típusú puff modell. Hasonlóan az AERMODhoz elő- és utófeldolgozó egység (CALMET és CALPOST) szükséges a teljes kiértékeléshez. Az EPA a programot javasolja szennyezőanyagok nagytávolságú transzmissziójának modellezése, és változékony meteorológia esetében kis területen vizsgált terjedés elemzésére is.</p> <p>Időben állandó és változó kibocsátást és meteorológiai paramétereket egyaránt képes kezelni. Ezen felül a program figyelembe veszi a forrás közelében található épületek által okozott leáramlás hatását is.</p>
AUSTAL2000 (Janicke Consulting, 2011)	<p>Lagrange-típusú, német fejlesztésű modell. Folyamatos pont-, vonal- és területi források hatásának becslésére képes a leáramlás és a domborzat figyelembevételével. Kevesebb meteorológiai paramétert vesz számításba.</p>

Transzmisszió 1.1 (Szepesi et al., 2005)	A hazai szabványokra épülő, Gauss típusú, statisztikus alapú diszperziós modell. Pont- és területi forrásokra alkalmazható, EOVS koordinátarendszert használ. A szoftver egy 3 dimenziós adatbázist tartalmaz a magyarországi régiók klimatológiai tulajdonságairól. A modell az érdesség, az alaplégszennyezettség és a domborzat hatásait is képes kezelni.
--	--

A fentiekén túl több más szoftvert fejlesztettek ki. Többnyire Gauss-modellre épülnek, de előfordul Lagrange-típusú is.

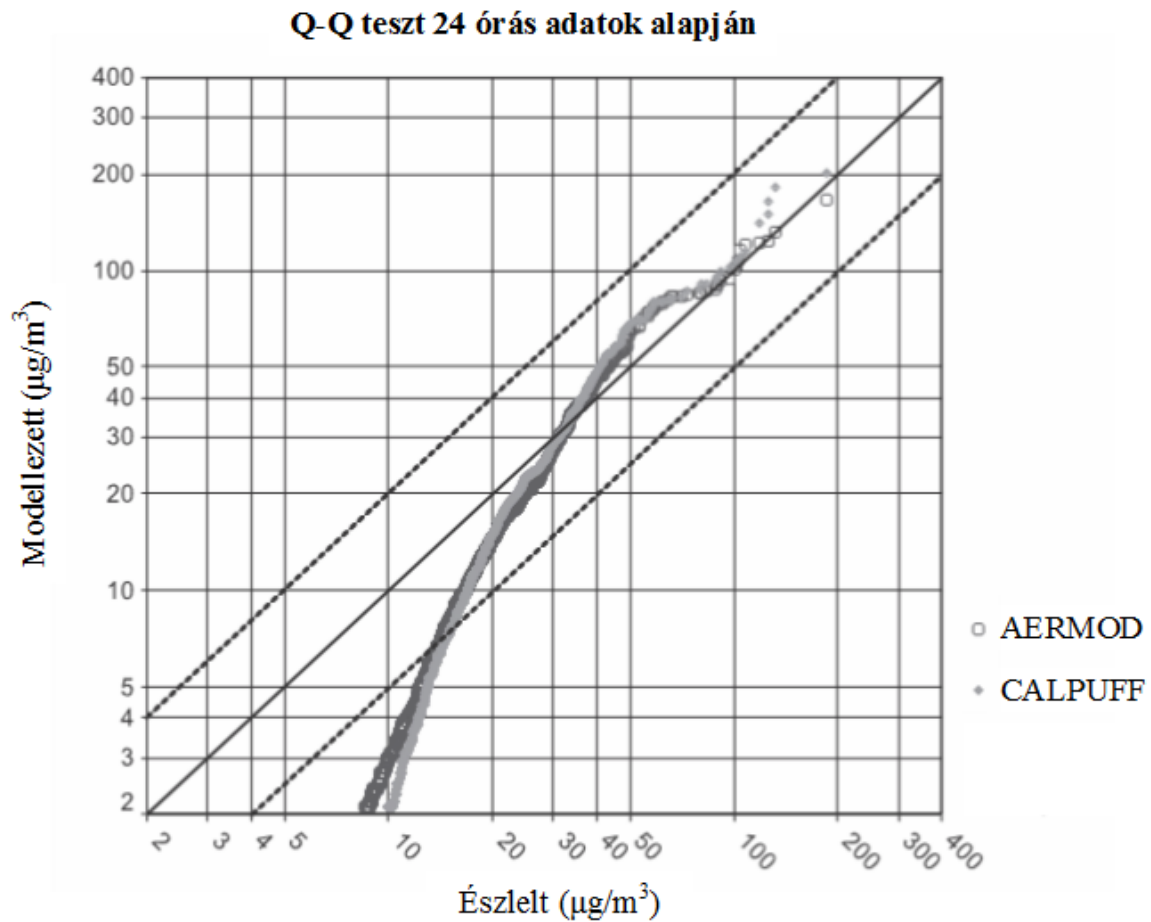
Steady-state modellek alkalmazásakor a legrosszabb forgatókönyv szerint is szükséges a modellezést elvégezni, amikor is a koncentráció a várható legmagasabb lesz. Ha időbeli változást jól kezelő modell áll rendelkezésünkre, dinamikus szimulációra is lehetőség nyílik.

10.2.3.5.1 AERMOD és CALPUFF összehasonlítása

A 10.2.3.5. fejezetben feltüntetett módszereket alkalmazva Dresser és Huizer (2011) elvégezte a két, U.S. EPA által javasolt modell összevetését. Mindkét modell jól közelítette a mérési eredményeket, ugyanakkor a magasabb koncentrációtartományban észlelhető volt a különbség. Az RHC értékek alapján a CALPUFF nem mutatott egyértelmű alul- vagy felülbecslési tendenciát, míg az AERMOD ebben a tartományban rendre alacsonyabb értékeket adott a mérésekhez viszonyítva.

A légköri stabilitás függvényében is jelentkezett az eltérés. Az AERMOD stabilis és semleges rétegződés esetén enyhén túlbecsült, míg instabil esetekben jelentős mértékben alulbecsülte az eredményeket, miközben a monitoring állomásokon ilyen körülmények közt mérték a legmagasabb koncentrációt. A CALPUFF instabil környezetben nagy pontosságú volt, stabil rétegződés mellett enyhén, míg semleges állapot esetén jelentős mértékben túlbecsült.

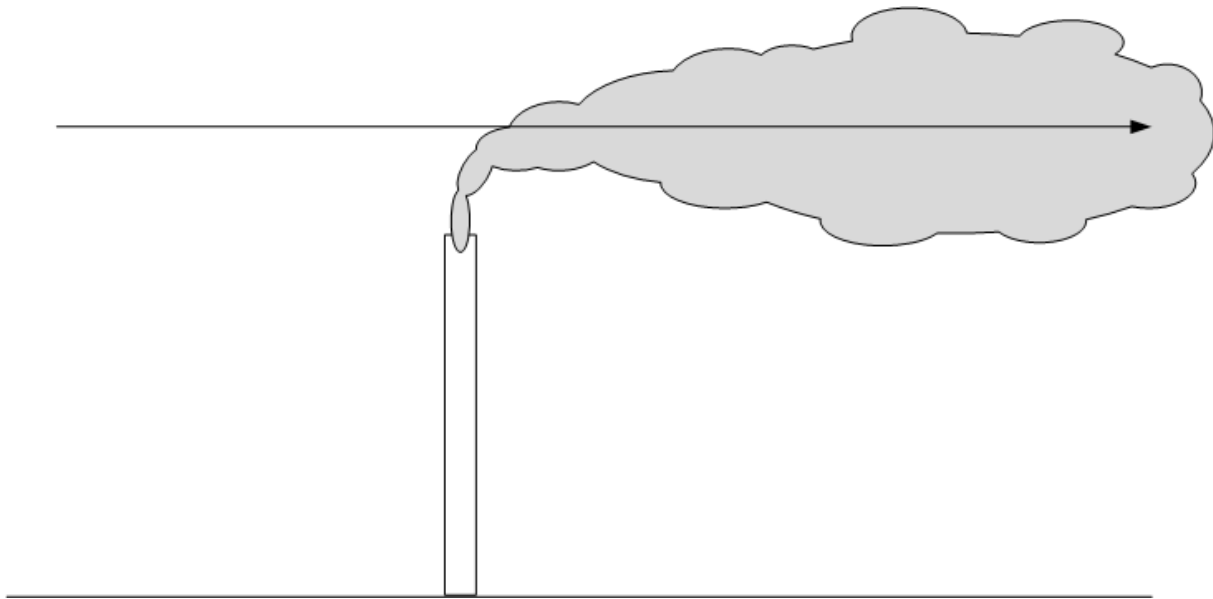
A vizsgálat során megállapították, hogy az RHC értékek meghatározásakor a figyelembe vett elemek száma jelentős befolyással bír a végeredményre, így a pontosság megállapítására is (Dresser és Huizer, 2011).



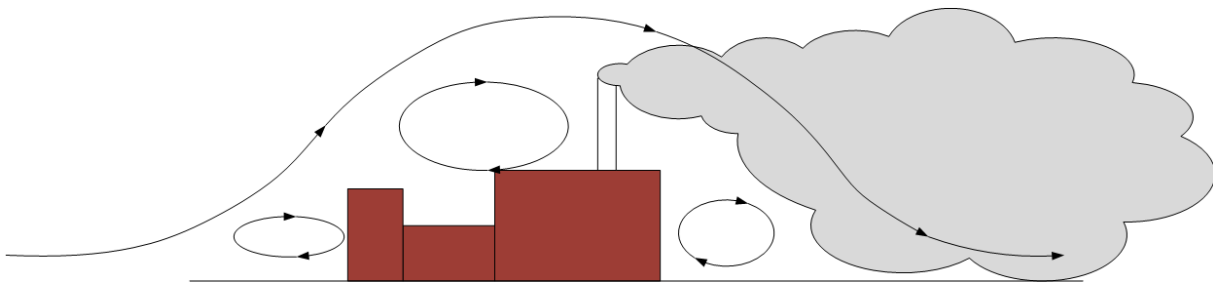
110. ábra. AERMOD és CALPUFF modellek összevetése Q-Q teszt alapján (forrás: Dresser és Huizer, 2011).

10.2.3.5.2 AERMOD és AUSTAL2000 összevetése

Langner és Klemm (2011) az AERMOD és az AUSTAL2000 modelleket vetették össze. Megállapításuk szerint mindkét modell alacsonyabb koncentráció értékeket eredményezett, de az AERMOD pontosabb volt. Az első verzióban a környező épületek hatását figyelmen kívül hagyták, amikor a leáramlást is számításba vették, mindkét modell eredménye javult. A komplex topográfia és a városi környezet (nagy érdességi magasság és hősziget effektus okozta éjszakai turbulencia) kezelésében az AERMOD teljesített jobban. Eltérő légköri rétegződéseket vizsgálva az AUSTAL2000 jelentősen alulbecsülte a koncentrációt stabil rétegződés esetén, míg az AERMOD eltérései nem adtak ki egyértelmű tendenciát.



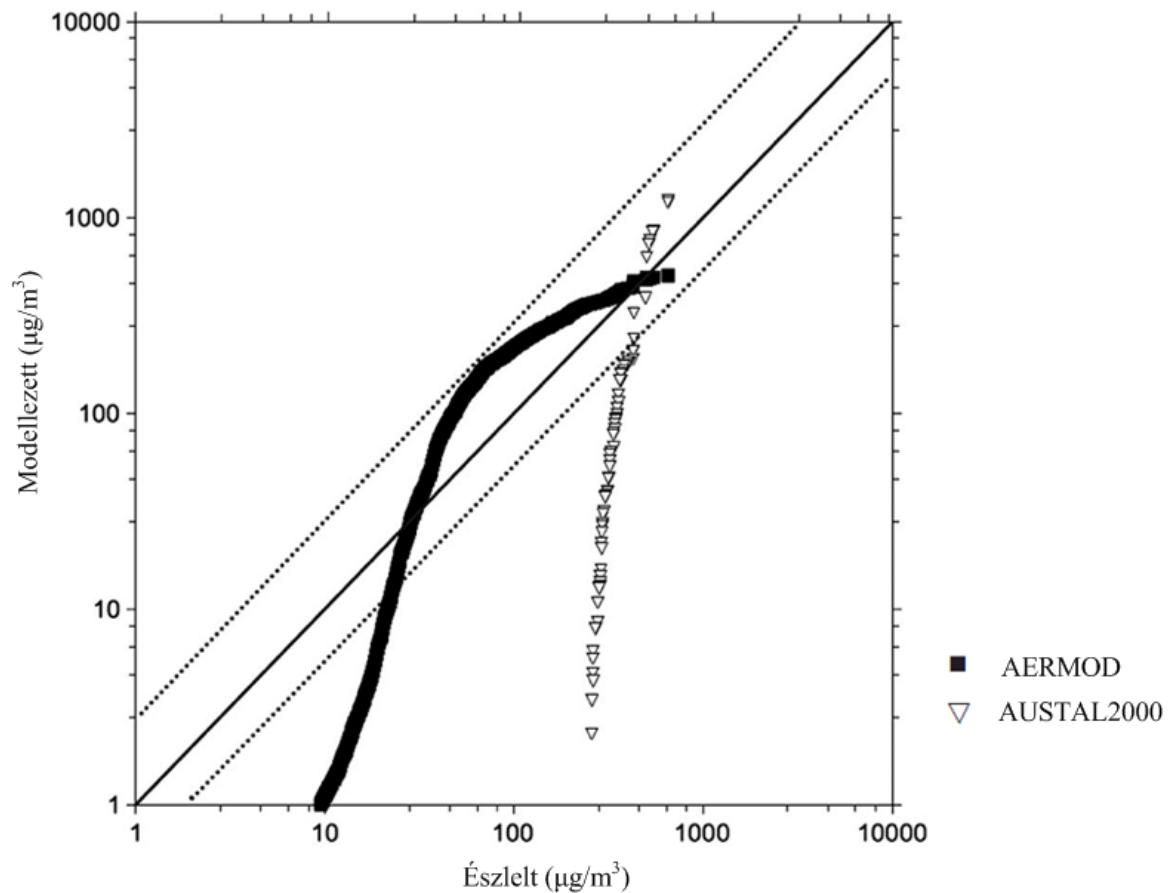
111. ábra. Füstfáklya formája magányos kémény és egyszerű domborzat mellett



112. ábra. Füstfáklya terjedését befolyásolják a kémény környezetében lévő épületek.

Az AUSTAL2000 modell gyengébb teljesítménye egyértelműen a meteorológiai adatok egyszerűbb kezeléséből ered, jóval kevesebb adat szükséges a légköri viszonyokról, mint az AERMODhoz. Ez a modellezést ugyan könnyebbé teszi, de összetett vagy városi területen való elemzés során jelentős hibához vezethet.

Az AERMOD alkalmazása mellett szól, hogy komplex domborzatú esetet vizsgálva az AUSTAL2000 futtatása jóval több gépidőt igényel.



113. ábra. AERMOD és AUSTAL2000 modellek összevetése Q-Q teszt alapján leáramlás figyelembe vétele esetén. (Forrás: Langner és Klemm, 2011)

10.3 Néhány szoftver bemutatása

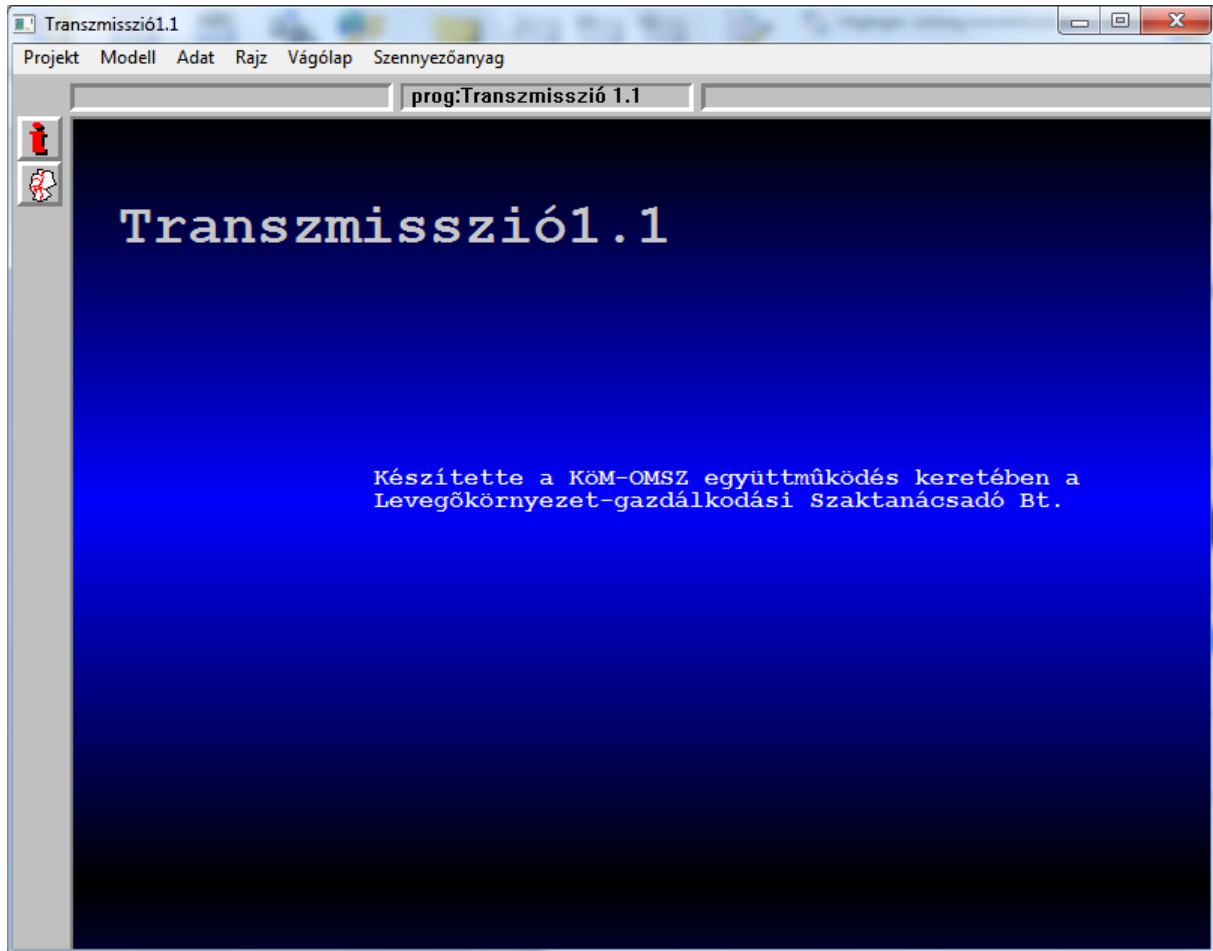
10.3.1 Transzmisszió 1.1 használata

A Transzmisszió program telepítéskor a C:\ gyökérfiókba települ. Indításhoz a C:\TRANSMIS\AIPOL.EXE fájlt kell futtatni.

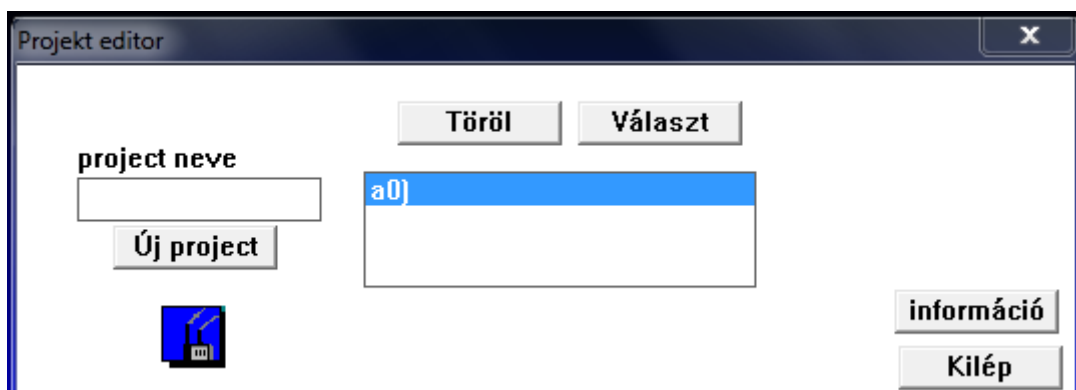
A program megnyitása után a rajz/eredmény ablakot be kell zárni a „címlap” gombra kattintva. A főablak (114. ábra) a következő menüpontokat tartalmazza:

- Projekt
- Modell
- Adat
- Rajz
- Vágólap
- Szennyezőanyag

A Projekt menüpontra kattintva előjön a projekt editor, ahol új projektet tudunk létrehozni vagy már meglévők közül választani. A fájlokat a C:\TRANSMIS\DATA könyvtárba hozza létre. Ez sajnos nem állítható, mint ahogy a telepítés helye sem.



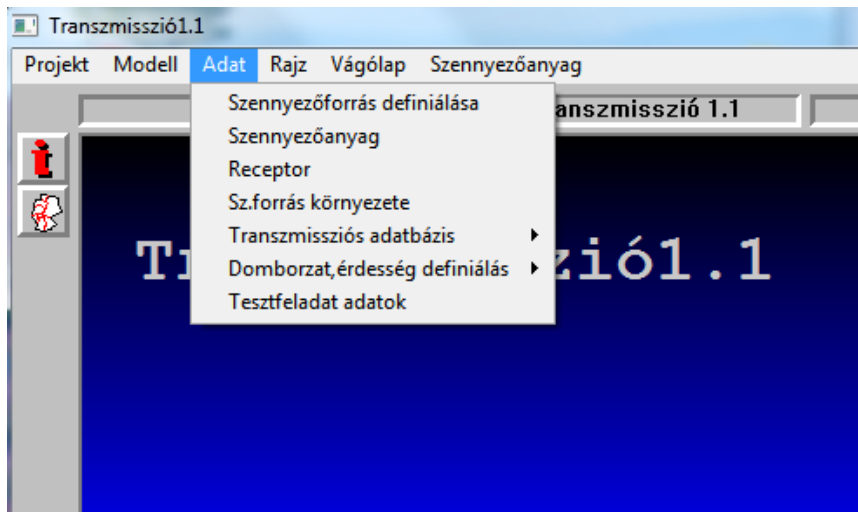
114. ábra. Transzmisszió 1.1 főablak



115. ábra. Projekt editor ablak

A következőnek „Adat” menüpontot fogjuk használni.

10.3.1.1 Adat menüpont



116. ábra. Adat menüpont tartalma.

A Szennyezőanyag definiálása menüpont egy új ablakot hoz elő (117. ábra). A kibocsátási pont koordinátáit az EOv koordináta rendszer szerint méterben kell megadni, ettől akkor tekinthetünk el, ha csak egy forrásunk van, de ekkor is érdemes a pontos pozíciót megadni a térképi ábrázolás miatt.

EOVx	EOVy	emisszió [kg/h]	h[m]	d[m]	v[m/s]	T[K]	t[óra/év]	B[m]	átlagos tüzelési technológia
									e) kiiktat
									a) kőolaj,földgáz bl feketeszén kok
									a) kőolaj,földgáz bl feketeszén kok
									a) kőolaj,földgáz bl feketeszén kok
									a) kőolaj,földgáz bl feketeszén kok
									a) kőolaj,földgáz bl feketeszén kok
									a) kőolaj,földgáz bl feketeszén kok
									a) kőolaj,földgáz bl feketeszén kok
									a) kőolaj,földgáz bl feketeszén kok

ülepedő a. frakció [%] .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0
 ülep. sebesség[m/s] .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0

a) területi forrás
 b) egy pontba összevonható

Projekt: pr1 KILÉP MENTÉS INFORMÁCIÓ

117. ábra. Szennyező forrásokról információk

A kibocsátásról a következő adatokat szükséges még megadni:

- Emisszió [kg/h]: a szennyezőanyag kibocsátása
- h[m]: a forrás magassága
- d[m]: a forrás átmérője
- v[m/s]: a füstgáz kiáramlási sebessége
- T[K]: a füstgáz kiáramlási hőmérséklete
- t[óra/év]: a szennyezőanyag kibocsátásának évi óraszám
- B[m]: a forrás jellemző szélessége (pontforrás esetén zérus!)
- az alkalmazott tüzelési technológia (ill. egy pontba összevonható források esetén az átlagos technológia)

Lehetőségünk nyílik arra, hogy az egyes forrásokat egy területi vagy egy pontforrásként kezelje a program. Az első esetben a területi forrás kiterjedését Sz.forrás környezete menüpontban kell beállítani. Ha nem kívánjuk összevonni az egyes pontokat, területeket, akkor a nem összevonható opciót kell kiválasztani. Maximum 56 forrással képes számolni a program.

Az ülepedési frakciót kibocsátásonként kell megadni (62. táblázat). Ha nem definiáljuk az ülepedési sebesség eloszlását, az "Adat" menü "Szennyezőanyag" menüpontjában általunk beállított értéket veszi figyelembe a szoftver.

62. táblázat. Az ülepedési sebesség értéke egyes frakciókra.

Részecske átmérő [μm] (méret-intervallum közepe)	10	30	50	70	100	200
Ülepedési sebesség [m/s]	0,006	0,05	0,15	0,25	0,45	1,0

A beállítások elvégzése után kattintsunk a MENTÉS gombra.

10.3.1.2 Szennyezőanyag menüpont

A Transzmisszió 1.1 még a 14/2001. (V.9) KöM-EüM-FVM együttes rendeletet veszi figyelembe a hatályos 4/2011. (I. 14.) VM rendelet helyett.

Magyarázat az egyes beviteli mezőkhöz (118. ábra)

- Határérték túllépésének mértékét jellemző szám (14/2001. rendelet). 1,01-től 2,0-ig terjedhet, ahol 2,0 ha túllépés bizonyos esetszámban megengedett, és 1,01 ha túllépés nem megengedett. (pl. 50%-os túréshatárnál az érték 1,5)
- Határérték túllépésének évi esetszáma (14/2001. rendelet). 1-50 között vehetünk fel értéket, 1-nél túllépés nem megengedett. Pl. a 4/2011 (V.9) VM rendelet szerint a kén-dioxid óras határértékre ez az érték 24.
- Gázállapotú szennyezőanyag kémiai átalakulását jellemző felezési idő. Kén-dioxid esetén pontforrásnál 43200 s, területi forrást véve 61200 s, más szennyezőanyagnál 10^8 s.

Szennyezőanyagra vonatkozó adatok

a) gáz
b) ülepedő anyag

1.400 határérték túllépésének mértékét jellemző szám

24.000 hat.érték túllépésének évi esetszáma

43200.000 felezési idő[sec]

.0 ülepedési sebesség[m/s]

norma túllépés számítása:
a) korábbi rendeletek szerint
b) 14/2001. rendelet szerint

Veszélyességi fokozat
a) 1.vesz. fokozat
b) 2.vesz. fokozat
c) 3.vesz. fokozat

információ MENTES KILÉP

118. ábra. Szennyezőanyagról információk – kén-dioxid

Az Adat/Receptor menüpontban állíthatjuk be, a forrástól mekkora távolságban vagyunk kíváncsiak a koncentrációra. A 16 széliránynak megfelelően, a forrás középpontjától megadott lépésközben határozza meg a program, a lépésközök módosíthatóak.

Ugyanitt kell beállítani, hogy milyen a domborzatra jellemző érdességi magasság. Ha inhomogén felszín mellett döntünk, akkor az egyes receptorpontokra az Adat/Domborzat, érdesség definiálás menüpontban adhatjuk meg az egyes értékeket. A domborzatot figyelembe vevő számítás akkor kell választani, ha a számítási körzetben jelentős kiterjedésű, a források magasságát legalább kétszer meghaladó kiemelkedés helyezkedik el.

A vizsgált koncentráció intervallum alsó és felső határa $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Erre akkor van szükség, ha adott koncentrációtartományba eső esetszámok ismerete fontos (határérték túllépés esetek)

AZ Adat/Sz.forrás környezete menüpontban a szélmérés magasságát, a hőmérsékletet Kelvinben, a szélsébség értékeket vihetjük be.

Transzmisszió1.1

Projekt Modell Adat Rajz Vágólap Szennyezőanyag

prog:Transzmisszió 1.1

Forrás környezetének adatai

10.00	Szélmérés magassága [m]
283.00	léghőfok az átlagos mag. forrás magasságában [K]
1.00	szélsébség [m/s] hatásterület számításnál
.80	hatásterület küszöbszáma [a]
.10	hatásterület küszöbszáma [b]
.20	hatásterület küszöbszáma [c]
100.00	területi forrás átlagos szélessége [m]

információ

MENTÉS

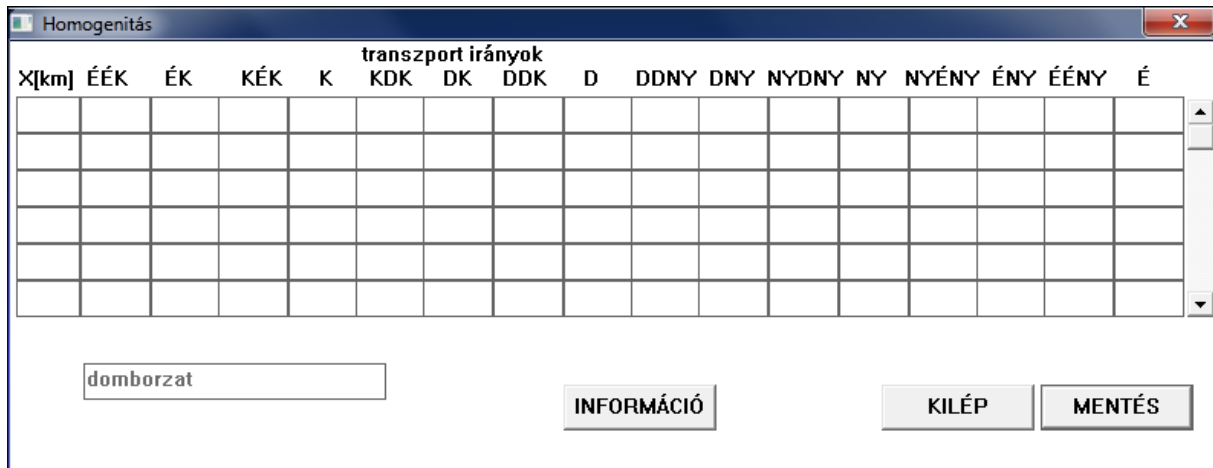
KILÉP

119. ábra. Adat/Sz.forrás környezete menüpont

Az Adat/Transzmissziós adatbázis menüpontban a szélsébség, -irány, és stabilitási értékek együttes átlagos éves előfordulását, vagy idősoros értékeit olvashatjuk be. Ehhez egy transzmissziós fájl elkészítése szükséges. Erről bővebben a szoftver kézikönyvében olvashatunk.

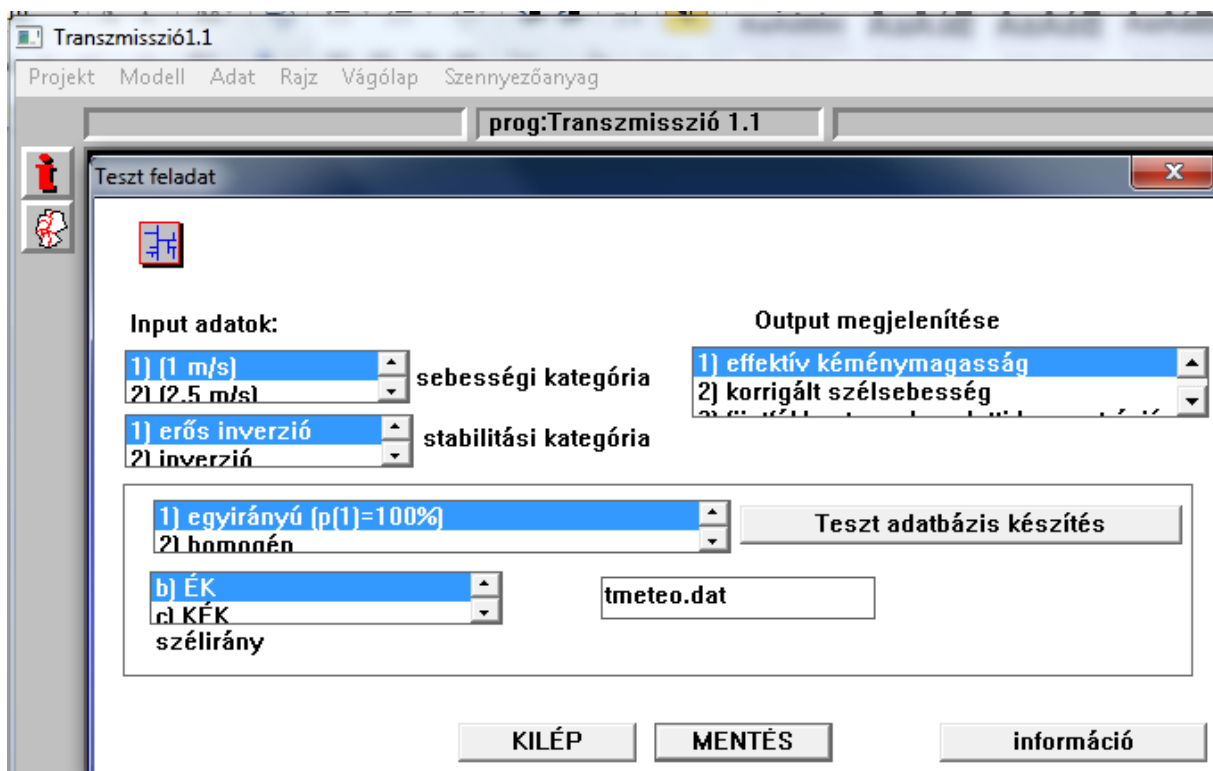
Adat/Domborzat, érdesség definiálás menüben a számítási középponthoz viszonyítva kell megadni az érdességi, a domborzati magasság és az háttér légterheltségi szint értékeket. Minimum két pontot kell felvenni (a középponttól távolodva)

Az „Adat”, majd „Domborzat, érdesség definiálás” menüpontokat választva, a számítási középpontból kiinduló koordináta rendszerben kell megadni az érdességi és a domborzati magasság, ill. alap légszennyezettség értékek eloszlását. Fontos, hogy az adatbevitelnél 180°-kal elforgatott koordinátarendszerben történik. Vagyis az északi irányban mért értéket a táblázatba a déli irányhoz kell bevinni. Ha a táblázatot kitöltjük, akkor a teljes adatfeltöltésre ügyelni kell, ugyanis a program hiányzó adat esetén nullával számol, ami hibához vezethet.



120. ábra. Domborzat, érdesség definiálása esetén kinyíló ablak.

A program lehetőséget nyújt arra, hogy az alapesetektől eltérő scenáriókat vizsgáljunk. Ezek elemzése előtt az Adat/Tesztfeladatok menüpontban szereplő információkat kell megadni.

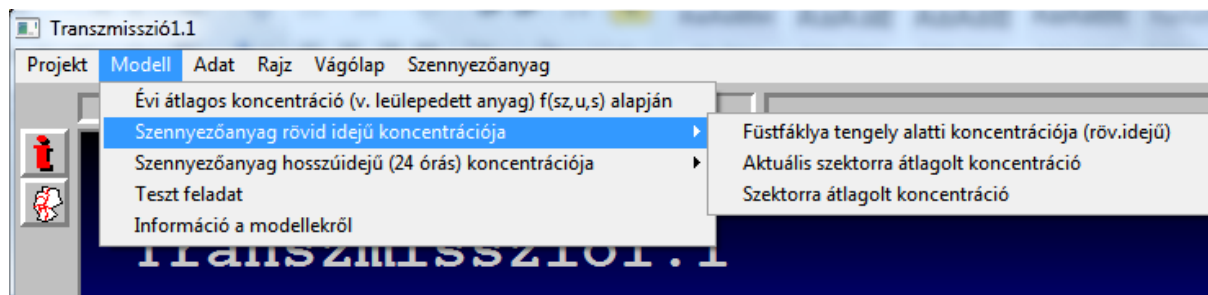


121. ábra. Tesztfeladatok menüpontban különböző esetek adhatók meg.

Ezek a forgatókönyvek eltárolhatók a Teszt adatbázis készítés gombra kattintva. Ezek a számítások elsősorban az egyes transzmissziós esetek hatásának jobb megértését segítik, illetve felhasználható a legrosszabb forgatókönyv elkészítésére is.

10.3.1.3 Modell menüpont

Az adatok bevitele után már elvégezhető az egyes modellezési feladatok is. A Modell menüpont alatt választhatjuk ki, mely számítási módszer szerint szeretnénk eljárni. Az egyes modellekről a 63. táblázat ad információt.



122. ábra. Modell menüpont által nyújtott számítási lehetőségek.

63. táblázat. Transzmisszió 1.1-be épített modellek és információ róluk (Transzmisszió kézikönyv)

Számítási eredmény	Menüpont	Megjegyzés
Gázállapotú szennyezőanyag maximális rövididejű (pl. órás) koncentrációja	Szennyezőanyag rövididejű koncentrációja/Füstfáklya tengelye alatti koncentrációja (röv. idejű)	Év folyamán kis valószínűséggel előforduló érték.
	Szennyezőanyag rövididejű koncentrációja/Aktuális szektorra átlagolt koncentráció*	Év folyamán valószínű maximális érték.
Gázállapotú szennyezőanyag rövididejű koncentrációjának határérték feletti előfordulása	Szennyezőanyag rövididejű koncentrációja/Aktuális szektorra átlagolt koncentráció	
Gázállapotú szennyezőanyag maximális 24 órás koncentrációja	Szennyezőanyag hosszúidejű (24 órás) koncentrációja/24 órás időszakok maximuma	
Gázállapotú szennyezőanyag 24 órás koncentrációjának határérték feletti előfordulása	Szennyezőanyag hosszúidejű (24 órás) koncentrációja/ 24 órás időszakok maximuma	
	Évi átlagos koncentráció (v. leülepedett mennyiség) f(sz,u, s) alapján	Többnyire évi átlagos érték megadásánál használatos.

Gázállapotú szennyezőanyag hosszúidejű átlagos koncentrációja	Szennyezőanyag hosszúidejű (24 órás) koncentrációja/24 órás időszakok átlaga	Többnyire 24 óránál hosszabb, de évnél rövidebb időszakra vonatkozó átlagos érték megadásánál használatos.
Ülepedő szilárd részecske hosszúidejű leülepedett mennyisége	Évi átlagos koncentráció (v. leülepedett mennyiség) f(sz,u, s) alapján	
Légszennyező forrás közvetlen hatásterülete gázállapotú szennyezőanyagra**	Szennyezőanyag rövididejű koncentrációja/ Füstfáklya tengelye alatti koncentrációja (röv. idejű)***	Órás koncentrációk vizsgálatán alapuló módszer.
Gázállapotú szennyezőanyag rövididejű koncentráció intervallumainak előfordulása	Szennyezőanyag rövididejű koncentrációja/ Aktuális szektorra átlagolt koncentráció	
Gázállapotú szennyezőanyag rövididejű koncentrációja adott transzmissziós feltétel esetén	Teszt feladat	Használható például rövididejű immisszió mérések ellenőrzésére, a transzmissziós paraméterek hatásának vizsgálatára.
Ülepedő szilárd részecske leülepedett mennyisége a felhasználó igénye szerint előállított transzmissziós adatbázis esetén	Teszt feladat	

* „Szennyezőanyag rövididejű koncentrációja” menüpontban szereplő „Szektorra átlagolt koncentráció” összefüggés a hosszúidejű (évi átlagos) immissziók számításánál kerül alkalmazásra.

** Kiegészítések:

- Az adott projektnek tartalmaznia kell egy telephelyen belüli, azonos légszennyező anyagot kibocsátó forráscsoportot.
- A hatásterületet légszennyező anyagoként meg kell határozni, és a legnagyobb területet kell venni.
- A programba beépített módszer a forráscsoport emissziója általi óras koncentrációkat vizsgálja. Óras határértékkel nem rendelkező szennyezőanyag esetén, a 24 órás koncentráció (ha van 24 órás határérték) értékelése szükséges. Ez esetben a program szerint számított maximális 24 órás koncentráció értékeknek a rendeleti a), b) és c) kritériumok szerinti vizsgálata révén - kézi úton - kell a hatásterületet meghatározni.

*** Ha adott projektben az input adatok bevitelre kerültek, akkor a "bemutat", majd "Hatásterület [km] bemutatása" menüpontok választása után közvetlenül is - modell választás nélkül - megjelenik a hatásterületi eredmény.

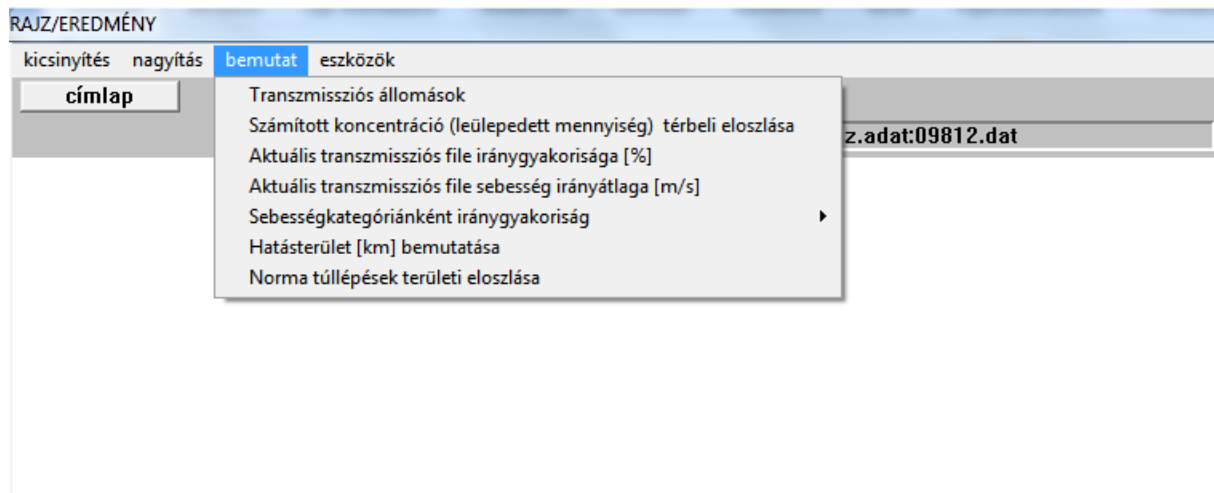
A hatásterületet a szoftver a füstfáklya tengelye alatti koncentrációja alapján határozza meg.

A számítás eredménye a Rajz/Eredmény ablakban jelenik meg.

10.3.1.4 Eredmények ábrázolása

A program a számítás alapján néhány információt automatikusan megjelenít. Előfordulhat azonban, hogy nekünk más eredmények ábrázolására is szükség van. A lehetőségek közül a „bemutat” menüpontra kattintva tudunk választani.

- Számított koncentráció (leülepedett mennyiség) térbeli eloszlása
 - Gázállapotú szennyezőanyag maximális rövid idejű (pl. óras) koncentrációja.
 - Gázállapotú szennyezőanyag maximális 24 órás koncentrációja.
 - Gázállapotú szennyezőanyag hosszúidejű átlagos koncentrációja.
 - Ülepedő szilárd részecske hosszúidejű leülepedett mennyisége.
- Norma túllépések területi eloszlása
 - Gázállapotú szennyezőanyag rövididejű koncentrációjának határérték feletti előfordulása.
 - Gázállapotú szennyezőanyag 24 órás koncentrációjának határérték feletti előfordulása.
- Hatásterület [km] bemutatása
 - Légszennyező forrás közvetlen hatásterülete gázállapotú szennyezőanyagra



123. ábra. Eredmények ábrázolása

Lehetőségünk nyílik arra, hogy adott területre szűkítsük az ábrázolást a skála átállításával (Rajz/Rajzi opciók/Fix skála). A program a forrás tekinti a koordináta rendszer középpontjának, így a minimum és maximum értéket is eszerint kell beállítani (pl. xmin=-2 km, xmax=+2 km). A z „irány” a

koncentrációértéket/esetszámot/kiülepedett mennyiséget jelenti, így a tartományt is ennek megfelelően kell megadni.

Az ábrázolás lehetséges:

- szintvonalakkal (két dimenzió) (a) rétegvonalak)
- rétegvonalak közti felületek színezésével (b) szintfelületek)
- illetve ezek kombinációjával (c) rétegvonal+szintfelületek).

Rajzi opciók

a) rétegvonalak
b) szintfelületek
c) rétegvonal+szintfelületek

ábrázolási mód

Ábrázolt mennyiség dimenziója:
[ug/m3]

OpenGL kamera aktivizálása

1.000 rétegvonalas ábrázolás: gravitációs modell exponense
1.000 nyújtási tényező (>0)

a) FIX SKÁLA
b) AUTOMATIKUS SKÁLA

rajz ymin -6.000 rajz ymax 6.000
rajz xmin -6.000 rajz xmax 6.000
rajz zmin .0 rajz zmax 50.00000

KILÉP
MENTÉS
Információ

nincs háttér objektum
 háttér: ArcInfo text file-ből

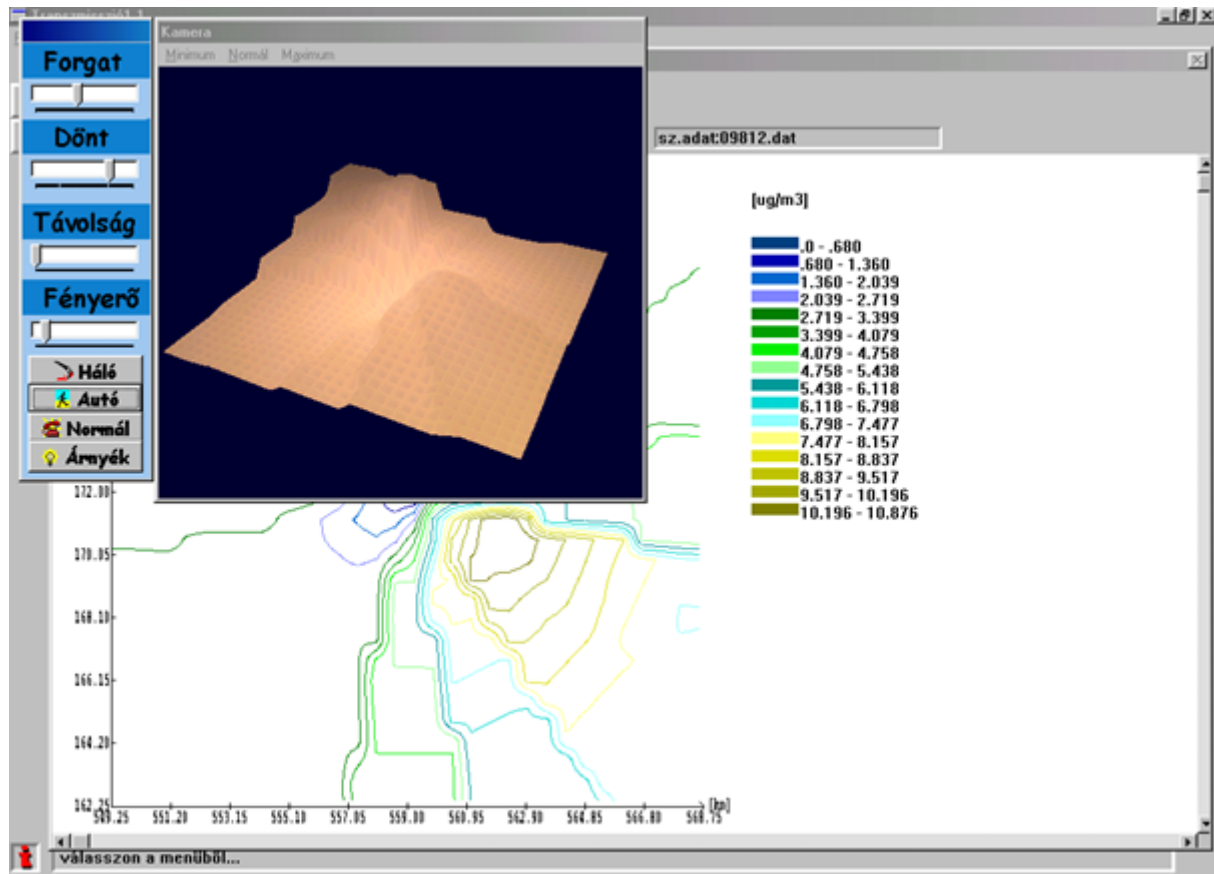
no keres
 no keres
 no keres
 no keres
 no keres

124. ábra. Rajzi opciók beállítása

A felület elkészítését a *gravitációs modell exponense*, ill. *nyújtási tényező* alkalmas választásával befolyásolhatjuk. Az előbbi a felület simítását, az utóbbi a horizontális torzítását befolyásolja.

Ha az Open GL kamerát aktiváljuk, háromdimenziós képet kapunk az ábrázolni kívánt eredményekről. A kamerát a modell futtatása előtt kell elindítani, utána a futtatással, illetve a rajz ablakban történő megjelenítéssel egyidőben a háromdimenziós kép is látható.

Amennyiben rendelkezésünkre áll a vizsgált területről Arcinfo textfájl, azt beolvashatjuk a vizualizáció teljessé tételéhez. A koordinátarendszer ez esetben is EOVS legyen.



125. ábra. OPEN GL kép 3D-s rajza a területről.

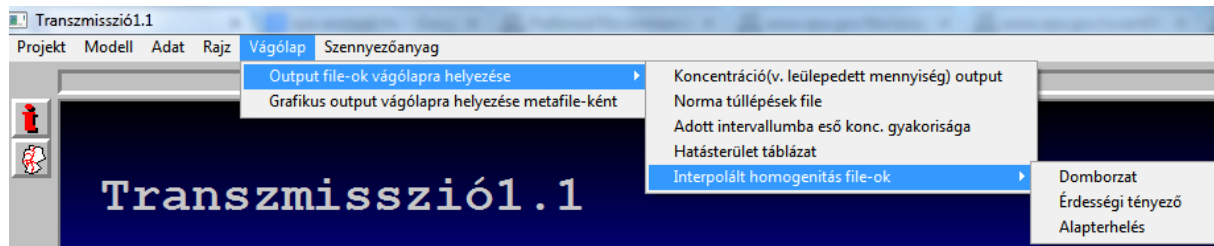
A program a kiválasztott területről képet (bitmapet vagy metafájlt) készít, de ezt a vágólapra teszi, vagyis a külön kimentéséről gondoskodni kell.

10.3.1.4.1 Számítási eredmények táblázatos megjelenítése

Egyes adatokat táblázatos formában nyerhetjük ki. A Vágólap/Output fájlok vágólapra helyezése menüpontban a következő lehetősége találjuk:

Menüpont	Számítási eredmény
Koncentráció (v. leülepedett mennyiség) output	Gázállapotú szennyezőanyag maximális rövid idejű (pl. órás) koncentrációja. Gázállapotú szennyezőanyag maximális 24 órás koncentrációja. Gázállapotú szennyezőanyag hosszúidejű átlagos koncentrációja. Ülepedő szilárd részecske hosszúidejű leülepedett mennyisége.
Norma túllépések file	Gázállapotú szennyezőanyag rövididejű koncentrációjának határérték feletti előfordulása. Gázállapotú szennyezőanyag 24 órás koncentrációjának határérték feletti előfordulása.
Adott intervallumba eső konc. gyakorisága	Gázállapotú szennyezőanyag rövididejű koncentráció intervallumainak előfordulása
Hatásterület táblázat*	
Interpolált homogenitás file-ok, Domborzat Érdességi tényező Alap légszennyezettség	Inhomogén eloszlás esetén a számításnál receptor pontonként figyelembe vett - domborzati magasság, érdesség, alap légszennyezettség

* Ez az opció nem működik; a hatásterület csak ábra formájában jelenik meg.



126. ábra. Adatok kinyerésére lehetőségek a Vágólap menüpontban találhatóak.

A program az adatokat a vágólapra helyezi, a megjelenítéshez egy másik program (táblázatkezelő) szükséges, a beillesztés funkció után válik szerkeszthetővé az adatsor.

Feladat: Hasonlítsa össze 14/2001 (V.9) KöM-EüM-FVM együttes rendeletet a jelenleg hatályos jogszabállyal!

10.3.2 ALOHA szoftver alkalmazása

Gauss alapú megközelítést használ az ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) program is, mely segítségével különböző veszélyes anyagok légkörbe jutását és terjedését vizsgálhatjuk. A programot az US EPA (United States Environmental Protection Agency, vagyis az Egyesült Államok Környezetvédelmi Ügynöksége) és a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, vagyis a Nemzeti Óceán- és Légköri Hivatal) valamint a Nemzeti Biztonsági Tanács (National Safety Council) közösen fejlesztette ki. A program egy esetlegesen bekövetkező vegyi baleset esetén mind az elsődleges beavatkozóknak (tűzoltóság, rendőrség, mentőszolgálat, stb), mind a veszélyhelyzeti tervezést, felkészítést végzőknek (katasztrófavédelem) az adott vegyi anyagról pontos információkat szolgáltat. A program az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság által elfogadott szoftverek között szerepel (<http://www.katasztrofavedelem.hu/letoltes/seveso/szoftverek.pdf>).

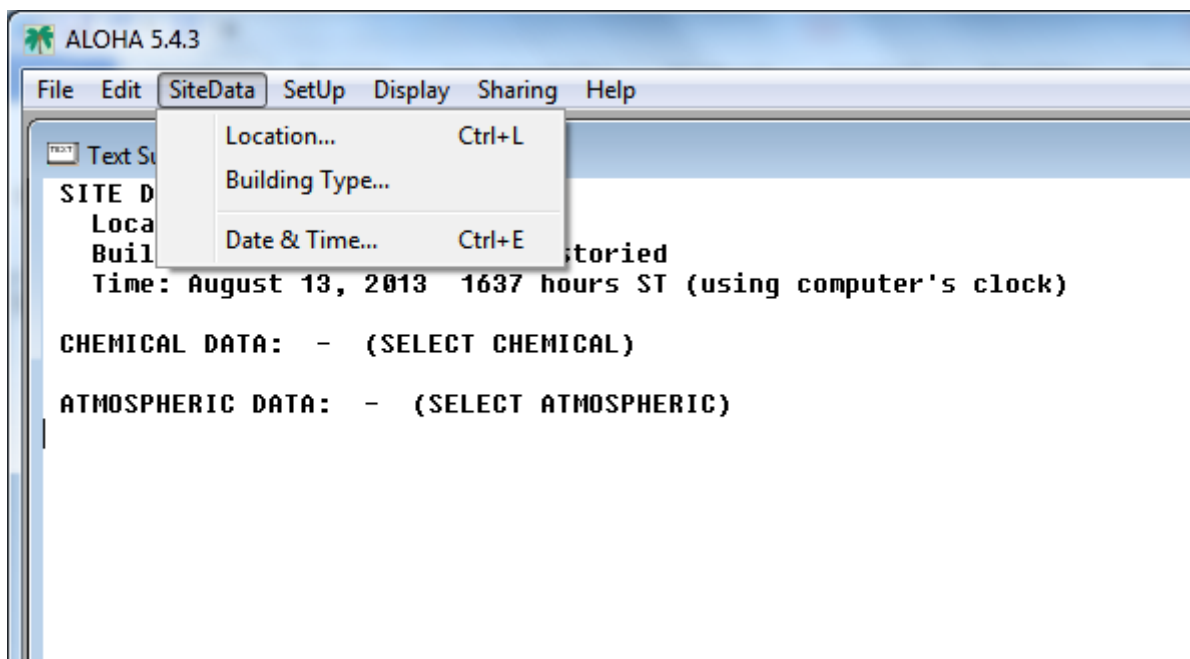
A program felépítése egyszerű, vészhelyzetben is könnyen kezelhető. Egy, közel ezer vegyszert tartalmazó, előre definiált listából lehet kiválasztani a kiáramló veszélyes anyagot, illetve megadható, hogy az milyen módon jut ki a környezetbe (pl. gázvezetékek csőtörése vagy tartályok sérülése). Az adatbázisban szereplő vegyületeken túl lehetőség nyílik saját anyag paramétereinek felvételére is. Ezek alapján a program meghatározza, melyik terjedési modellt alkalmazza (légnemű anyagokra a Gauss-modellt használja, de nehéz gázok terjedését is képes kezelni).

A szükséges adatok:

- ❖ Meteorológiai és a környező területre vonatkozó adatok:
 - szélirány
 - szélsébség
 - hőmérséklet

- levegő függőleges stabilitása
 - páratartalom
 - időjárási viszonyok – (derült, borús, napsütéses)
 - környezet beépítettsége – (erdő, város, sík, dombos)
- ❖ Tartály és anyag adatok
- épület jellege (egyszintes, kétszintes)
 - veszélyes anyag
 - tartály alakja és méretei
 - anyag mennyisége (töltöttsége) és halmazállapota
 - nyomás és hőmérsékletmérő műszerek adatai
 - sérülés (lék) alakja, mérete, elhelyezkedése a tartályon (a talajhoz viszonyítva)

Mivel a szoftver elsősorban veszélyes anyagok környezetbe jutásának hatását vizsgálja, így a levegőben inert módon való terjedésén túl az éghető gázok, folyadékok okozta tűzfészkek lehetséges területét is meghatározhatjuk.



127. ábra. Első lépésként a helyszínrre vonatkozó adatokat kell megadni.

Infiltration Building Parameters

Select building type or enter exchange parameter

Enclosed office building **Help**

Single storied building

Double storied building

No. of air changes is per hour

Select building surroundings **Help**

Sheltered surroundings (trees, bushes, etc.)

Unsheltered surroundings

OK **Cancel**

128. ábra. A veszély mértékét jelentősen befolyásolja, hogy a szennyezés mennyire juthat be a környező épületekbe. Előfordulhat, hogy az elzárás hatékonyabb védekezés lehet, mint az evakuáció.

Atmospheric Options

Wind Speed is : knots mph meters/sec **Help**

Wind is from : Enter degrees true or text (e.g. ESE)

Measurement Height above ground is: **Help**

OR enter value : feet meters

Ground Roughness is : **Help**

Open Country Urban or Forest OR Input Roughness (Z₀) :

Open Water

Select Cloud Cover : **Help**

OR enter value :
 (0 - 10)

complete cover partly cloudy clear

OK **Cancel**

129. ábra. Meteorológiai adatok megadása – első ablak.

Atmospheric Options 2

Air Temperature is : Degrees F C

Stability Class is : A B C D E F

Inversion Height Options are :

No Inversion Inversion Present. Height is : feet meters

Select Humidity :

wet medium dry OR enter value : %
(0 - 100)

130. ábra. A korábban megadott adatok befolyásolják, milyen stabilitási kategóriákat ajánl fel a program.

Direct Source

Select source strength units of mass or volume:

grams kilograms pounds tons(2,000 lbs)
 cubic meters liters cubic feet gallons

Select an instantaneous or continuous source:

Instantaneous source Continuous source

Enter the amount of pollutant ENTERING THE ATMOSPHERE:

kilograms

Enter source height (0 if ground source): feet meters

131. ábra. Forrás definiálása: ha csak a maximálisan kijutó mennyiségről van információnk, akkor a közvetlen forrást kell választani.

Puddle Input

Puddle area diameter is: [] square feet yards meters

Select one and enter appropriate data

Volume of puddle Average depth of puddle Mass of puddle

Volume is: [] gallons liters cubic feet cubic meters

OK Cancel Help

132. ábra. A kifolyt veszélyes anyag először egy tócsát képez, majd innen jut a levegőbe.

Liquid Mass or Volume

Enter the mass in the tank OR volume of the liquid

The mass in the tank is: [3458] pounds tons(2,000 lbs) kilograms

OR

Enter liquid level OR volume

The liquid volume is: [5.29] gallons cubic feet liters cubic meters

[47.0] % full by volume

OK Cancel Help

133. ábra. Tartály hasadását feltételezve meg kell határozni a vegyszer mennyiségét (a képen), a tartály és a hasadék alakját, illetve nagyságát.

Gas Pipeline Input

Input pipe diameter Help

Diameter is inches cm

Input pipe length Help

Pipe length is ft yds meters

The unbroken end of the pipe is Help

connected to infinite tank source
 closed off

Select pipe roughness Help

Smooth Pipe
 Rough Pipe

OK Cancel

134. ábra. Csőrepedés esete.

A program egyik fő előnye a számítási sebesség, az adatbevitel után nagyon rövid időn belül megkapjuk a szükséges információkat, melyek ismeretében a szükséges beavatkozások elkezdhetők. A másik, hogy minden párbeszéd panel kitöltése után hibaellenőrzést hajt végre.

A bevitt adatokat és a számítások eredményeit szöveges formában megjeleníti a szoftver (135. ábra). Ezen felül lehetőségünk nyílik grafikus ábrázolásra (136. ábra). Az ALOHA GIS környezetbe exportálást is engedélyez. Ha a KML kiterjesztést választjuk, a Google Earthbe egyszerűen behúzva a fájlt a veszélyes anyag által érintett területek és épületek is jól érzékeltethetők (137. ábra).

SITE DATA:

Location: SARVAR, HUNGARY
Building Air Exchanges Per Hour: 0.70 (unsheltered single storied)
Time: July 2, 2013 1154 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 g/mol
AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm
Ambient Boiling Point: -33.8° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 3 meters/second from NE at 3 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 10 tenths
Air Temperature: 30° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 1.6 meters Tank Length: 5.6 meters
Tank Volume: 11.3 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: -10° C
Chemical Mass in Tank: 3458 kilograms
Tank is 47% full
Circular Opening Diameter: 1 centimeters
Opening is 0 meters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 45.8 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 2,698 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

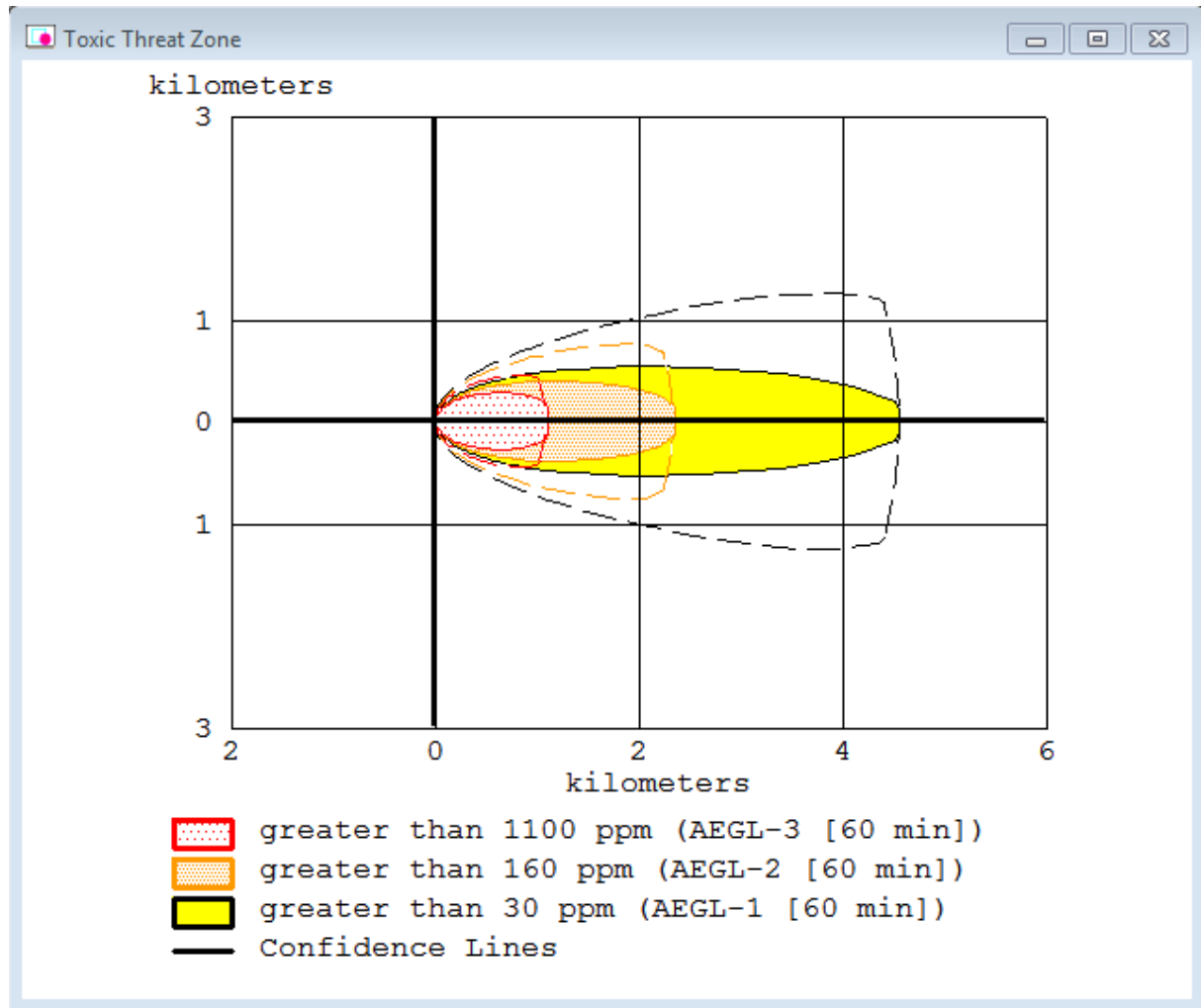
THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas
Red : 113 meters --- (2700 ppm)
Orange: 158 meters --- (1600 ppm)
Yellow: 201 meters --- (1100 ppm = AEGL-3 [60 min])

THREAT AT POINT:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 112 meters Off Centerline: 0 meters
Max Concentration:
Outdoor: 2,760 ppm
Indoor: 1,350 ppm

135. ábra. a modellezett esemény szöveges összefoglalása.



136. ábra. Számítások grafikus ábrázolása az ALOHA szoftveren belül

A program felkínál különböző koncentrációkat a diagram megrajzolásához, de saját értékek megadására is lehetőség nyílik.

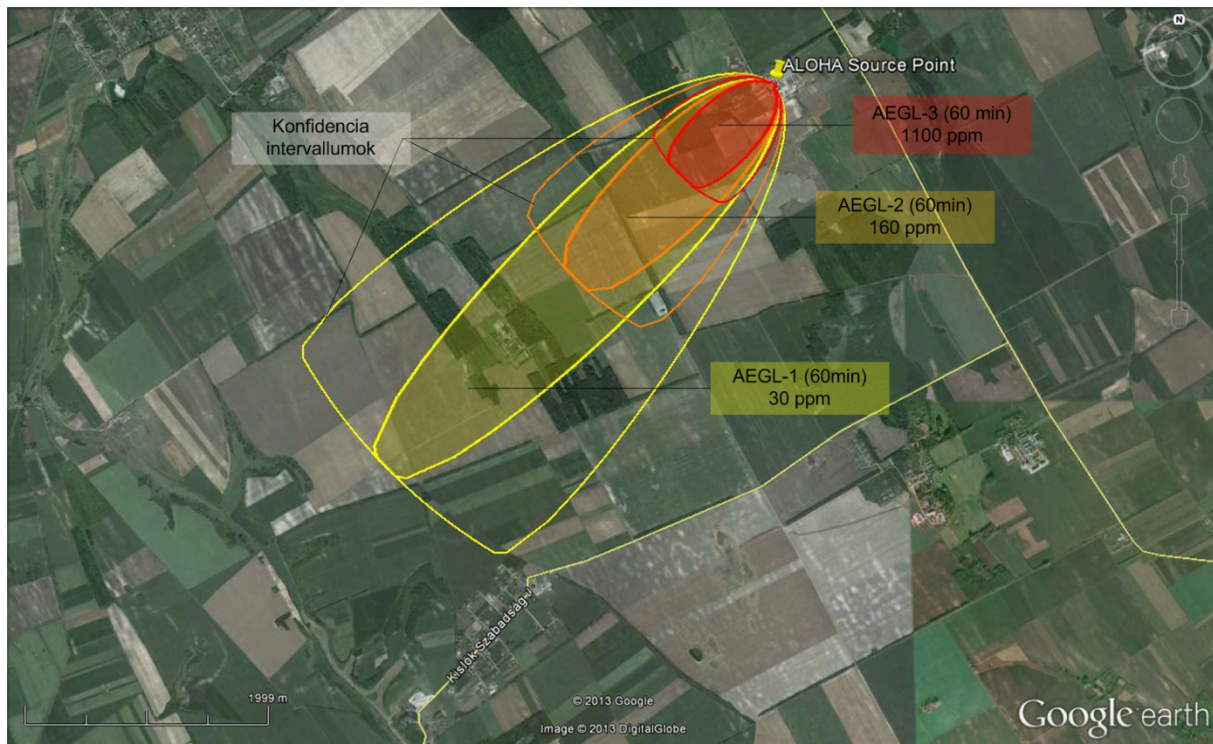
A bemutatott példában ammónia jut a légkörbe egy tartály katasztrófális mértékű hasadása miatt. Ebben az esetben az AEGL értékek az egészségre gyakorolt hatást írják le.

Az AEGL értékek (Acute Exposure Guideline Levels – akut expozíció esetén iránymutató határértékek) különböző időtartamokra vonatkoztatva értelmezhetők, három kategóriát különböztetünk meg az EPA, az Amerikai Környezetvédelmi Ügynökség (<http://www.epa.gov/opptintr/aegl/pubs/define.htm>) hivatalos honlapja alapján:

- Az AEGL-1 egy anyagnak az az egymilliomod részben vagy milligramm per köbméter egységben (ppm vagy mg/m^3) kifejezett koncentrációja a levegőben, amely felett az általános populáció, ezen belül az erre érzékeny személyek is jelentős komfortcsökkenést, irritációt vagy meghatározott aszimptomatikus, nem érzékszervi hatásokat érezhetnek. A

hatások azonban nem hátrányosak, átmenetiek, és az anyagnak való kitettség megszűnésével visszafordíthatóak.

- Az AEGL-2 egy anyagnak az a (ppm vagy mg/m^3 egységben kifejezett) koncentrációja a levegőben, amely felett az általános populáció, ezen belül az erre érzékeny személyek is visszafordíthatatlan vagy más súlyos, tartós negatív egészségügyi hatásokat vagy a menekülési képesség csökkenését érezhetik.
- Az AEGL-3 egy anyagnak az a (ppm vagy mg/m^3 egységben kifejezett) koncentrációja a levegőben, amely felett az általános populáció, ezen belül az erre érzékeny személyek is életveszélyes egészségügyi hatásokat szenvedhetnek el, vagy meghalhatnak. Az AEGL-3 értékek megegyeznek az adott ideig tartó expozíció esetén számítható $\text{LC}_{1\%}$ értékkel.

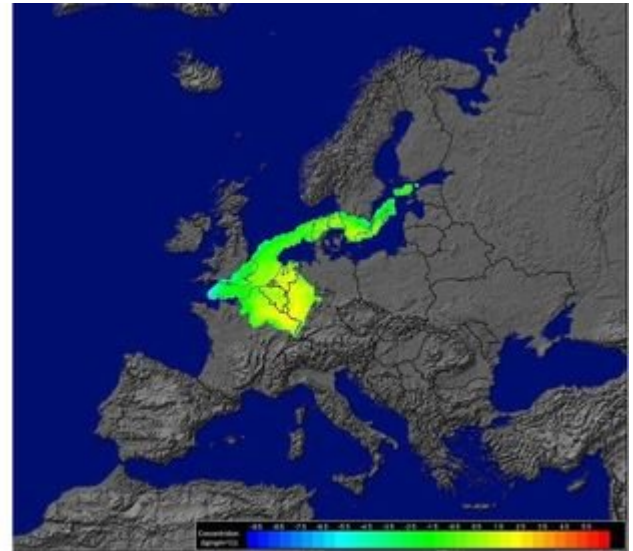
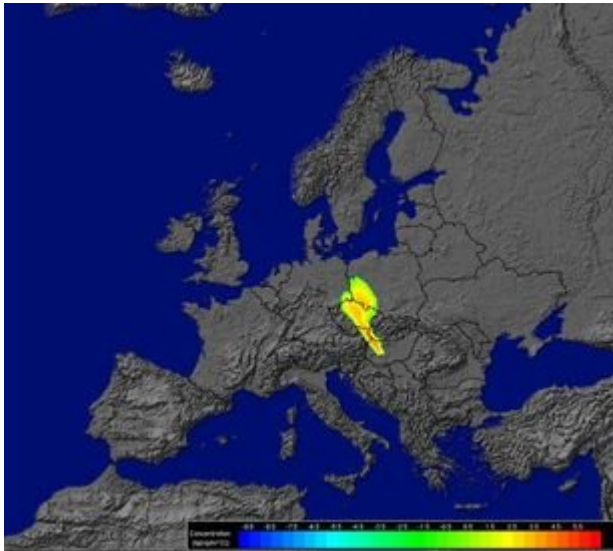


137. ábra. Az előző számítás eredményei a Google Earthben megjelenítve.

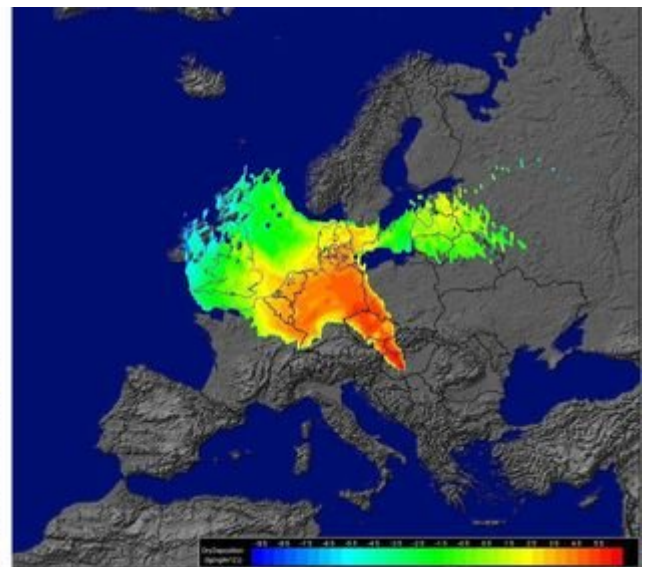
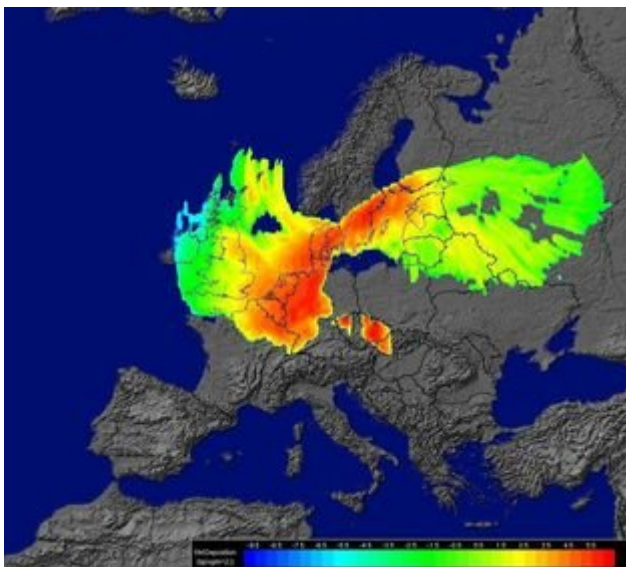
10.3.3 Példák matematikai modellezésre

Tekintettel arra, hogy a légszennyező anyagok terjedése erősen időjárás függő, érthető, hogy az Országos Meteorológiai szolgálat foglalkozik a légterheltségi szint becslésével. Egy regionális és két lokális modellt alkalmaznak. A Flexpart egy Lagrange típusú modell, mellyel az advektív folyamatok mellett a diffúzió, száraz- és nedves ülepedés, radioaktív bomlás modellezhető. Kémiai átalakulások

kezelésére nem alkalmas. Az OMSZ a modellt pontforrások hatásainak előrejelzésére alkalmazza, példaként egy feltételezett szennyezőforrás hatását mutatjuk be (138. ábra és 139. ábra).



138. ábra. Koncentráció-eloszlás a 10-500 m-es légrétegben 18 órával (bal) és 72 órával (jobb) a feltételezett kibocsátás után (2011. november 5-9. közötti meteorológiai viszonyok mellett) (OMSZ)

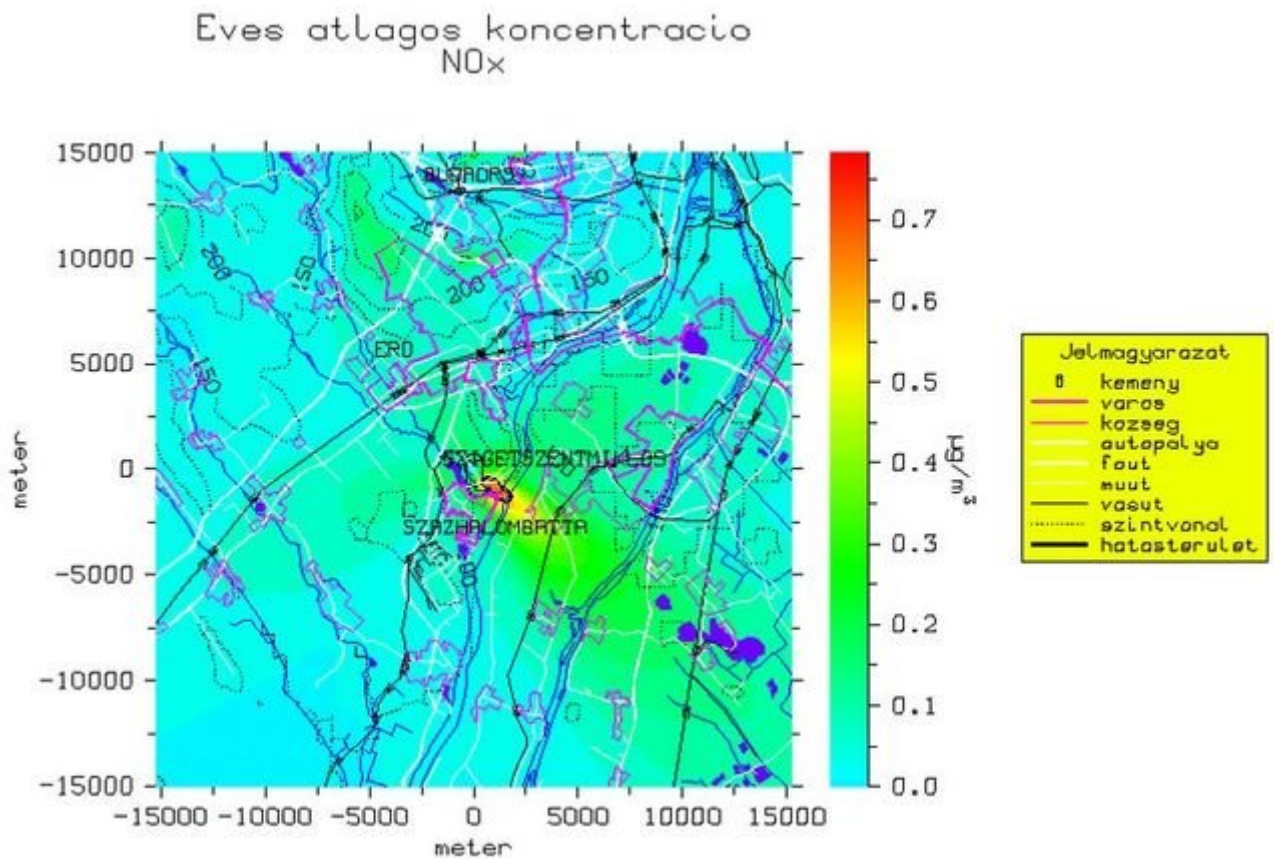


139. ábra. A feltételezett kibocsátást követő 96 óra során nedves (bal) és száraz (jobb) ülepedéssel a felszínre került anyagmennyiség földrajzi eloszlása (OMSZ)

Az OMSZ ezen felül az AERMOD programot is alkalmazza, mivel az Unióban a hatóságok elfogadják a szoftverrel készített elemzéseket (EUkonform modell). Ipari források hosszútávú hatásainak vizsgálatát

végzik vele. A korábban említett korlátok ellenére az AERMOD domborzatkezelése lehetővé teszi, hogy a hatásterület megfelelő pontossággal meghatározható legyen.

A 140. ábra az AERMOD modellel Százhalombatta térségére számított nitrogén-oxid (NO_x) koncentráció évi átlagának területi eloszlását mutatja be.



140. ábra. Az AERMOD modellel számolt éves átlagos NO_x koncentráció eloszlás Százhalombatta térségében (OMSZ)

Budapest levegőterheltségét a CHIMERE levegőkémiai transzport modell segítségével becslik. A modell képes a kémiai folyamatokat kezelni, és két napra előrejelezni a légszennyező anyagok várható alakulását. A forgalom hatását 2004-es forgalomszámlálási adatok alapján veszik figyelembe. A modell jelenleg a PM_{10} , NO_2 , SO_2 és O_3 koncentráció értékeket számolja.



141. ábra. 24 órás előrejelzés a nitrogén-dioxid koncentráció várható budapesti területi eloszlására (balra) és a nitrogén-dioxid koncentráció várható időbeli menete a Gilice téri mérőállomáson (jobbra)

10.4 Feladat

A mérési adatok alapján határozza meg az egyes mérési időpontokra jellemző stabilitási állapotot!

Számítsa ki az RCH értékeket először $N=26$ -tal, majd adja meg a legjobb illeszkedést adó N értéket!

Számítsa ki az FB és a CMP értékeket!

Mekkora a kibocsátása annak a pontforrásnak ($H=50$ m), amely a monitoring állomástól 100 m-re van északra, a szélirány északkeleti, a szélesség 4 m/s, és a mért kén-dioxid koncentráció $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$? (σ_z , és σ_y 80 és 100m, talajfelszínre számoljunk)

Dátum	NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle b	T	RH	GLB	
nap	óra	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	fok	m/s	°C	%	W/m ²	
10.1 2	00:0 0	0,0	0,0	0,0	10,4	0,5	514,5	1,6	1,5	3,1	14,6	69,3	55,5	1,0	7,8	91, 4	2,4
10.1 2	01:0 0	0,0	0,0	0,0	11,4	0,5	570,5	2,0	1,5	3,1	14,6	67,6	50,9	0,9	8,0	91, 2	1,6
10.1 2	02:0 0	0,0	0,0	0,0	11,6	0,8	600,8	2,3	1,9	3,1	14,6	66,3	72,6	0,9	8,0	91, 3	1,5

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Szélse b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.1 2	03:0 0	0,0	0,0	0,0	18,4	0,3	504,0	2,0	1,9	3,1	14,1	64,0	90,3	1,3	8,5	90, 4	1,8
10.1 2	04:0 0	0,0	0,0	0,0	20,8	0,5	407,2	1,3	1,5	2,7	12,8	60,1	91,8	1,2	8,5	90, 6	1,6
10.1 2	05:0 0	0,0	0,0	0,0	21,4	0,3	422,3	1,3	1,5	2,7	12,8	60,5	88,8	1,2	8,7	89, 9	2,2
10.1 2	06:0 0	0,0	0,0	0,0	20,8	0,3	449,2	1,3	1,5	2,7	12,4	57,9	88,6	1,1	9,1	89, 1	2,3
10.1 2	07:0 0	0,0	0,0	0,0	25,4	0,5	427,0	1,3	1,5	2,7	12,8	59,2	94,6	1,8	9,7	86, 5	20,7
10.1 2	08:0 0	0,0	0,0	0,0	33,6	0,8	425,8	1,3	1,5	2,7	11,9	53,0	95,2	2,0	10, 7	80, 6	81,8
10.1 2	09:0 0	0,0	0,0	0,0	36,4	1,3	437,5	1,3	1,9	2,7	11,9	49,9	101, 1	2,0	11, 5	77, 5	116,9
10.1 2	10:0 0	0,0	0,0	0,0	38,8	2,1	422,3	1,3	1,9	2,7	11,9	51,2	97,4	2,4	12, 3	75, 1	213,3
10.1 2	11:0 0	0,0	0,0	0,0	49,6	4,5	386,2	1,0	1,5	2,2	11,0	48,6	101, 6	2,2	14, 1	65, 9	393,3
10.1 2	12:0 0	0,0	0,0	0,0	64,4	6,1	345,3	0,7	1,2	2,2	10,6	46,4	104, 9	2,6	14, 8	57, 7	294,8
10.1 2	13:0 0	0,0	5,2	2,4	65,4	7,5	355,8	0,7	0,8	1,8	8,4	37,5	102, 0	2,1	15, 3	58, 2	265,3
10.1 2	14:0 0	0,0	6,2	3,6	66,0	5,3	357,0	0,7	0,8	1,8	8,8	38,9	98,3	1,9	15, 3	58, 5	129,3
10.1 2	15:0 0	0,0	6,9	4,0	62,4	4,0	379,2	1,0	1,2	2,2	10,6	46,8	89,2	1,5	15, 2	58, 8	71,6
10.1 2	16:0 0	0,0	10,4	7,8	48,8	2,9	483,0	1,3	1,2	2,7	12,8	57,0	114, 9	0,8	14, 7	63, 0	38,8
10.1 2	17:0 0	0,0	16,6	14,8	29,4	2,7	729,2	2,6	1,9	4,0	16,8	72,4	147, 2	0,8	14, 0	69, 5	14
10.1 2	18:0 0	0,0	12,2	9,8	45,4	2,1	506,3	2,3	1,9	4,0	17,7	77,7	85,4	0,9	14, 0	68, 0	3
10.1 2	19:0 0	0,7	6,2	7,9	29,4	1,6	467,8	2,0	1,9	4,4	19,4	83,9	19,1	0,4	13, 2	75, 7	3,8
10.1 2	20:0 0	1,0	6,9	9,3	26,8	1,3	505,2	1,3	1,5	4,4	19,9	87,9	19,6	1,1	12, 4	83, 9	2,7

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széli r	Szélse b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.1 2	21:0 0	0,5	1,4	2,6	29,8	1,1	535,5	2,0	1,5	3,5	15,9	74,2	20,9	1,3	12, 0	87, 3	3,1
10.1 2	22:0 0	0,4	0,5	1,6	39,2	1,1	442,2	1,6	1,5	3,5	16,8	76,0	5,8	1,1	11, 5	87, 7	3,5
10.1 2	23:0 0	0,4	0,2	1,2	42,6	1,6	408,3	1,0	1,2	3,5	17,2	76,9	357, 3	0,8	11, 1	87, 1	3
10.1 3	00:0 0	0,7	0,2	1,7	33,0	1,6	425,8	1,0	1,2	4,4	20,8	87,9	347, 6	0,4	10, 9	88, 4	2,9
10.1 3	01:0 0	0,7	0,3	2,1	25,2	1,6	452,7	1,0	1,5	4,9	22,5	93,6	262, 3	0,6	11, 0	89, 2	2,7
10.1 3	02:0 0	0,9	1,6	3,8	20,0	1,3	462,0	1,0	1,5	4,9	22,5	68,5	232, 9	0,4	11, 1	90, 2	2,9
10.1 3	03:0 0	0,8	0,3	2,2	27,6	1,3	469,0	1,0	1,5	5,3	23,4	95,4	230, 3	0,9	10, 9	90, 7	3,3
10.1 3	04:0 0	0,9	0,0	2,1	28,4	1,3	366,3	1,0	1,5	4,4	21,2	89,2	239, 5	0,9	10, 8	91, 1	3
10.1 3	05:0 0	0,9	0,3	2,4	29,6	1,6	312,7	0,7	1,5	4,9	22,5	82,2	263, 6	0,9	10, 7	91, 4	3
10.1 3	06:0 0	1,1	0,2	2,8	21,4	1,3	323,2	0,7	1,5	4,9	22,1	92,3	270, 9	0,7	10, 8	91, 7	3,1
10.1 3	07:0 0	2,0	3,5	8,3	15,4	1,6	346,5	1,0	1,5	4,9	23,0	70,2	256, 6	0,9	10, 9	91, 9	12,9
10.1 3	08:0 0	2,0	3,3	8,1	15,6	1,3	392,0	1,0	1,5	4,9	22,1	83,0	268, 4	1,1	11, 2	91, 5	36,4
10.1 3	09:0 0	1,6	2,1	5,9	17,6	1,3	402,5	1,3	1,5	4,4	19,9	87,5	267, 7	1,1	11, 7	88, 8	105
10.1 3	10:0 0	1,4	1,4	4,7	24,8	1,3	409,5	1,0	1,5	4,4	20,8	90,1	261, 5	0,7	12, 8	79, 8	238,3
10.1 3	11:0 0	1,1	0,9	3,4	32,6	1,3	388,5	1,0	1,5	4,4	20,3	88,3	299, 4	0,3	13, 9	72, 5	287,1
10.1 3	12:0 0	0,9	0,5	2,8	38,0	1,6	380,3	1,3	1,5	4,4	19,4	86,6	43,2	0,6	15, 1	66, 7	362,4
10.1 3	13:0 0	0,8	0,7	2,6	43,6	1,6	362,8	1,0	1,5	4,0	17,7	81,3	50,5	1,3	15, 9	63, 6	355,2
10.1 3	14:0 0	0,7	0,7	2,2	44,6	1,6	348,8	1,0	1,5	4,0	18,1	82,2	42,0	1,1	16, 1	61, 7	232,3

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.1 3	15:0 0	0,7	1,0	2,6	42,6	1,6	358,2	1,0	1,5	4,4	20,3	89,7	53,3	0,5	16, 2	61, 7	132,5
10.1 3	16:0 0	1,1	4,8	7,4	30,2	2,1	451,5	1,3	1,9	5,7	24,7	73,3	160, 3	1,0	15, 8	66, 6	70,7
10.1 3	17:0 0	1,1	3,6	6,2	28,4	2,1	581,0	1,6	2,3	6,2	27,8	65,4	142, 5	0,8	15, 2	71, 7	31,4
10.1 3	18:0 0	1,4	5,5	8,8	22,8	2,4	612,5	2,0	2,3	6,6	29,6	81,7	131, 0	0,6	14, 5	76, 4	3,7
10.1 3	19:0 0	0,3	7,6	8,3	17,2	2,4	623,0	2,6	2,7	7,1	30,9	96,7	188, 5	0,4	14, 1	80, 0	3,2
10.1 3	20:0 0	0,4	7,1	8,1	12,4	1,9	598,5	2,0	2,3	7,1	31,4	89,7	91,2	0,6	13, 6	83, 8	3,2
10.1 3	21:0 0	0,4	6,6	7,4	15,8	1,9	707,0	2,3	2,3	6,6	30,5	56,1	105, 6	0,7	13, 3	83, 4	3,2
10.1 3	22:0 0	0,4	5,3	6,4	16,8	2,1	630,0	2,3	2,7	7,1	30,9	58,7	79,2	0,6	12, 7	84, 5	3,8
10.1 3	23:0 0	0,7	4,1	5,7	13,0	1,1	641,7	2,3	2,3	6,6	30,5	56,1	38,2	0,5	11, 4	88, 7	3,5
10.1 4	00:0 0	0,6	2,8	4,1	11,8	0,8	582,2	2,3	2,3	6,6	30,5	42,4	65,8	0,9	10, 8	90, 3	2,6
10.1 4	01:0 0	0,8	3,3	5,2	11,6	0,3	564,7	2,0	2,3	6,2	28,3	51,7	48,2	0,7	10, 0	91, 2	2,9
10.1 4	02:0 0	0,7	3,6	5,3	11,0	0,3	576,3	1,6	2,3	6,2	28,3	44,6	86,0	0,7	10, 0	91, 5	1,5
10.1 4	03:0 0	0,6	3,3	4,7	18,6	0,3	546,0	1,6	1,9	5,7	26,5	69,8	81,6	0,7	10, 9	90, 3	2,6
10.1 4	04:0 0	0,6	3,3	4,7	16,2	0,8	513,3	1,6	1,9	6,2	28,3	78,2	25,9	0,5	11, 0	90, 2	2,7
10.1 4	05:0 0	0,5	2,9	4,1	16,4	0,3	495,8	1,3	1,9	6,2	27,4	68,9	48,0	0,6	11, 3	90, 4	2,6
10.1 4	06:0 0	0,8	4,1	6,0	16,8	0,3	530,8	1,6	1,9	5,7	26,5	88,8	83,7	0,6	11, 5	90, 7	2,8
10.1 4	07:0 0	0,7	3,6	5,3	15,2	0,3	549,5	1,6	1,9	5,7	26,9	67,1	60,3	0,4	11, 7	91, 1	8,1
10.1 4	08:0 0	0,9	4,3	6,4	17,6	0,3	595,0	1,6	2,3	6,2	27,8	92,8	83,4	0,5	11, 9	90, 9	32,2

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széli r	Szélse b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.1 4	09:0 0	0,5	3,8	5,0	24,6	0,8	540,2	1,6	2,3	6,2	27,8	68,0	216, 7	0,5	12, 3	88, 8	54,1
10.1 4	10:0 0	0,7	5,9	7,4	22,6	1,1	590,3	2,3	2,3	5,7	26,9	77,7	194, 4	0,5	12, 6	87, 8	74,2
10.1 4	11:0 0	0,8	8,1	10,0	22,0	1,9	560,0	2,0	1,9	6,2	27,8	92,8	249, 1	0,4	12, 8	86, 7	74,1
10.1 4	12:0 0	0,7	7,1	8,6	28,0	2,7	582,2	1,6	1,9	5,7	26,5	57,9	116, 4	0,4	13, 6	81, 8	202,9
10.1 4	13:0 0	0,5	7,6	8,8	35,4	4,5	586,8	2,0	3,1	5,7	25,6	91,0	161, 6	0,4	14, 4	75, 7	249,4
10.1 4	14:0 0	2,2	15,5	20,7	25,4	3,7	572,8	1,6	1,9	5,7	25,6	90,1	95,2	1,1	14, 6	75, 6	266,2
10.1 4	15:0 0	1,1	13,8	16,4	33,0	2,9	556,5	1,3	1,9	5,3	24,3	86,6	94,6	1,2	14, 9	74, 8	120
10.1 4	16:0 0	0,1	5,2	5,5	39,8	2,7	471,3	1,3	1,9	5,7	26,5	68,5	97,3	1,1	15, 0	75, 9	63,3
10.1 4	17:0 0	0,1	3,8	4,0	36,8	2,4	444,5	1,6	2,3	6,2	28,7	64,5	104, 2	1,3	14, 8	78, 3	26,4
10.1 4	18:0 0	0,1	5,9	6,2	25,8	1,3	542,5	2,0	2,7	6,6	28,7	57,9	88,3	1,0	13, 7	82, 8	4,4
10.1 4	19:0 0	0,4	10,4	11,4	18,4	1,3	717,5	4,2	2,7	6,6	29,6	65,8	97,9	1,3	13, 0	86, 5	1,6
10.1 4	20:0 0	0,5	10,0	11,2	16,8	1,1	639,3	3,6	2,7	6,2	28,7	83,9	97,9	1,5	12, 5	88, 8	1,9
10.1 4	21:0 0	0,5	6,2	7,4	18,8	1,1	544,8	2,9	2,7	6,2	28,7	40,2	103, 3	1,5	12, 3	90, 1	1,3
10.1 4	22:0 0	0,7	7,6	9,1	22,8	1,3	479,5	2,0	2,3	6,2	27,4	68,9	114, 1	1,8	13, 1	88, 2	1,6
10.1 4	23:0 0	1,3	14,3	17,4	22,4	1,9	460,8	1,6	2,3	6,2	27,4	53,9	115, 5	1,7	13, 4	87, 4	2,2
10.1 5	00:0 0	0,4	7,1	8,1	28,0	0,5	459,7	1,6	1,9	6,2	26,9	64,9	116, 3	1,7	13, 3	87, 9	2,9
10.1 5	01:0 0	0,1	2,6	2,9	32,8	0,3	448,0	1,6	1,9	5,3	25,2	76,0	108, 0	1,7	13, 0	88, 8	3,1
10.1 5	02:0 0	0,1	2,6	2,8	32,6	0,5	458,5	1,6	1,9	5,7	25,6	65,4	105, 7	1,8	13, 0	89, 2	3

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.1	03:00	0,1	3,3	3,6	32,8	7,5	466,7	1,6	1,9	5,7	25,2	75,1	110,1	2,1	13,2	89,5	3,1
10.1	04:00	0,1	3,1	3,4	29,0	16,0	422,3	1,6	1,9	5,3	23,9	75,5	108,9	2,0	13,0	90,4	3,3
10.1	05:00	0,1	3,1	3,4	28,2	14,1	448,0	1,6	1,9	5,3	24,7	73,3	107,1	2,0	13,0	90,3	3,2
10.1	06:00	0,1	3,5	3,8	27,2	14,1	430,5	1,6	1,9	4,9	23,0	95,8	104,7	2,1	13,0	90,1	3,4
10.1	07:00	0,7	4,8	6,6	24,4	13,6	439,8	1,6	1,9	5,3	23,9	87,0	111,6	1,9	12,9	90,1	8,4
10.1	08:00	0,4	4,3	5,2	25,2	12,3	429,3	1,6	1,9	5,3	23,9	61,4	101,8	2,0	13,0	89,5	38,4
10.1	09:00	1,2	5,9	8,8	25,0	10,1	431,7	1,6	1,9	4,9	22,1	93,6	104,3	2,3	13,3	87,9	137,4
10.1	10:00	0,9	3,8	6,0	29,6	9,1	408,3	1,3	1,5	4,4	21,2	91,4	94,6	2,2	15,0	81,4	410,7
10.1	11:00	0,5	3,6	4,8	30,4	7,2	407,2	1,3	1,5	4,4	19,9	87,9	97,4	2,2	15,6	79,4	358,5
10.1	12:00	0,5	4,0	5,2	35,4	6,1	397,8	1,3	1,5	4,0	17,7	81,3	100,7	2,4	17,6	71,5	602,9
10.1	13:00	0,1	4,8	5,2	41,6	6,9	397,8	1,3	1,5	4,0	18,6	82,2	129,6	2,4	19,5	63,1	577,6
10.1	14:00	0,9	9,1	11,4	37,6	5,9	409,5	1,3	1,5	4,4	19,4	85,2	108,9	1,7	20,0	63,0	442,5
10.1	15:00	0,0	4,7	4,7	45,8	5,6	420,0	1,3	1,5	4,0	19,0	86,1	103,2	2,2	20,4	62,0	374,2
10.1	16:00	0,0	5,7	5,3	43,6	4,8	385,0	1,0	1,5	4,9	21,2	68,0	95,3	1,9	20,2	64,1	203,1
10.1	17:00	0,0	7,9	7,6	36,2	4,0	432,8	1,3	1,5	5,3	23,4	98,9	96,1	1,5	19,1	70,0	56,9
10.1	18:00	0,0	8,5	8,3	27,8	3,2	523,8	2,6	1,9	6,6	29,6	89,2	74,6	1,0	17,7	75,7	3,8
10.1	19:00	0,0	19,3	15,9	20,0	2,9	551,8	2,0	2,3	7,1	32,2	64,0	89,3	1,4	17,0	79,5	1,9
10.1	20:00	0,0	17,8	12,9	20,8	2,7	553,0	2,3	2,7	7,1	32,2	76,4	76,3	1,2	16,7	80,8	1,9

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.1	21:00	0,0	14,3	10,0	19,4	2,4	555,3	2,0	2,3	7,5	33,1	61,4	63,6	0,9	15,9	82,3	3,2
10.1	22:00	0,0	12,8	8,6	25,8	2,9	504,0	2,3	2,3	8,0	36,2	77,7	88,8	1,3	16,7	79,7	0,3
10.1	23:00	0,0	10,9	6,6	25,8	2,4	486,5	1,6	2,3	7,5	34,5	46,8	86,8	1,3	16,5	79,9	3,3
10.1	00:00	0,0	10,7	6,9	22,8	1,9	465,5	1,6	2,3	8,0	35,8	49,9	71,5	1,1	15,7	81,3	3,3
10.1	01:00	0,0	11,2	7,4	18,4	1,3	441,0	1,3	2,3	8,0	36,7	71,1	43,8	1,2	15,3	82,3	1,3
10.1	02:00	0,0	9,1	4,7	25,2	1,1	379,2	1,3	1,9	7,1	32,7	92,8	32,8	1,6	15,5	78,6	2,6
10.1	03:00	0,0	7,4	2,2	24,6	0,5	408,3	1,0	1,5	5,3	25,6	55,7	29,1	1,8	14,7	85,3	3
10.1	04:00	0,0	7,9	3,1	18,8	0,5	353,5	1,0	1,5	5,7	25,6	81,7	30,3	1,5	14,5	87,9	2,7
10.1	05:00	0,0	7,4	1,7	21,2	0,3	302,2	1,0	1,5	5,3	25,2	92,3	19,1	2,4	14,4	89,2	3,3
10.1	06:00	0,0	7,9	1,2	18,2	0,0	308,0	1,0	1,2	4,0	18,1	87,5	11,8	3,3	13,4	89,4	4,9
10.1	07:00	0,0	8,5	2,4	14,4	0,0	284,7	1,0	1,2	2,7	12,8	64,5	11,0	2,5	12,7	90,6	5
10.1	08:00	0,0	9,1	2,4	12,4	0,0	288,2	1,0	1,2	2,7	12,8	65,8	31,1	2,0	12,9	91,9	15,6
10.1	09:00	0,0	12,9	6,7	18,4	0,0	345,3	1,0	1,2	3,1	14,6	73,8	69,7	1,6	14,7	90,7	47,9
10.1	10:00	0,0	12,6	7,1	16,0	0,0	374,5	1,0	1,2	3,5	16,8	83,9	102,3	0,7	14,9	90,7	39,1
10.1	11:00	0,0	11,4	6,4	15,2	0,0	369,8	1,0	1,5	4,4	21,2	97,2	174,1	0,8	15,4	90,9	60,5
10.1	12:00	0,0	8,3	2,4	24,4	0,0	308,0	0,7	1,2	3,1	15,0	74,6	255,5	6,6	10,9	87,4	88,6
10.1	13:00	0,0	8,1	2,6	30,4	0,0	278,8	0,7	0,8	1,3	7,5	40,6	306,8	4,0	9,8	86,5	238,5
10.1	14:00	0,0	7,8	1,9	31,0	0,0	249,7	0,7	0,8	1,3	8,8	45,5	294,6	3,2	10,4	83,0	218,5

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.1 6	15:0 0	0,0	7,9	1,2	34,2	0,0	219,3	0,7	0,8	1,8	8,8	46,4	283, 9	3,2	10, 1	82, 1	78,8
10.1 6	16:0 0	0,0	7,8	0,9	35,8	0,0	211,2	0,7	0,8	1,3	8,8	45,1	302, 4	3,1	10, 0	81, 6	50,8
10.1 6	17:0 0	0,0	7,6	0,9	38,2	0,0	231,0	0,7	0,8	2,2	10,6	52,6	314, 3	3,0	10, 1	79, 7	31,2
10.1 6	18:0 0	0,0	7,8	1,4	37,4	0,0	227,5	0,7	0,8	2,7	11,9	57,4	309, 2	1,7	9,4	81, 0	5,6
10.1 6	19:0 0	0,6	6,2	7,6	18,6	0,0	270,7	0,7	1,2	4,0	18,6	81,3	257, 1	0,6	7,9	87, 2	2,7
10.1 6	20:0 0	0,8	7,6	9,5	13,0	0,0	486,5	1,3	1,5	4,4	20,3	88,8	89,7	0,2	6,8	90, 0	3,7
10.1 6	21:0 0	1,2	6,6	9,5	7,8	0,0	303,3	1,6	1,9	4,4	19,9	88,3	339, 5	0,3	5,9	92, 5	2,3
10.1 6	22:0 0	0,9	1,9	4,1	8,0	0,0	340,7	1,3	1,5	4,4	19,9	88,3	21,7	0,2	5,1	93, 1	1,9
10.1 6	23:0 0	0,7	1,4	3,1	9,2	0,8	315,0	1,0	1,2	4,0	19,0	74,2	64,9	0,9	5,6	93, 3	1,3
10.1 7	00:0 0	0,6	0,9	2,2	9,8	0,5	308,0	1,0	1,2	3,5	17,7	82,2	52,2	0,9	6,0	92, 9	2,7
10.1 7	01:0 0	0,9	1,6	3,6	8,4	0,5	280,0	1,0	1,5	4,0	18,1	82,2	52,0	0,7	6,1	92, 6	3,1
10.1 7	02:0 0	0,8	1,4	3,3	8,8	0,5	281,2	0,7	1,2	3,5	17,2	78,6	46,3	0,6	6,0	92, 6	1,5
10.1 7	03:0 0	0,8	1,6	3,4	9,0	0,8	269,5	0,7	1,2	4,0	18,1	83,0	53,0	0,8	5,7	92, 5	2,9
10.1 7	04:0 0	0,7	2,8	4,5	14,6	0,5	274,2	0,7	1,5	4,0	17,7	80,8	48,4	0,7	5,8	91, 5	1,6
10.1 7	05:0 0	0,8	3,3	5,2	14,2	0,3	306,8	0,7	1,5	4,0	18,1	81,7	22,7	0,5	5,7	90, 7	2,8
10.1 7	06:0 0	0,9	2,1	4,3	10,4	0,3	267,2	0,7	1,2	3,5	17,2	77,7	346, 8	0,5	4,9	92, 4	2,8
10.1 7	07:0 0	1,6	1,7	5,5	8,6	0,3	264,8	0,7	1,2	3,5	17,2	78,6	30,9	0,4	4,2	93, 1	31,5
10.1 7	08:0 0	1,3	2,6	5,7	11,2	0,3	584,5	1,0	1,9	3,5	15,9	70,7	43,0	0,7	6,7	91, 1	151,1

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.1 7	09:0 0	3,7	8,1	16,9	13,6	1,1	648,7	6,2	18,0	8,8	30,0	69,3	98,6	0,2	10, 1	82, 4	288,6
10.1 7	10:0 0	2,0	6,6	11,4	23,0	0,8	448,0	1,6	3,5	4,4	18,1	68,0	198, 5	0,5	12, 4	75, 4	392,9
10.1 7	11:0 0	0,7	2,8	4,5	28,8	0,8	424,7	1,3	2,3	4,0	16,8	69,8	180, 6	1,0	13, 6	72, 9	426,9
10.1 7	12:0 0	0,4	2,1	3,1	34,2	0,8	406,0	1,0	1,9	3,5	16,8	70,7	156, 0	1,2	15, 4	67, 9	571,7
10.1 7	13:0 0	0,2	2,1	2,6	46,8	0,5	388,5	0,7	1,5	3,5	16,3	71,6	190, 2	1,2	17, 8	60, 0	592,1
10.1 7	14:0 0	0,0	1,6	1,4	56,2	0,8	369,8	0,7	1,2	3,1	15,0	66,3	182, 2	2,3	19, 0	56, 4	520,2
10.1 7	15:0 0	0,0	2,8	2,4	63,4	0,8	343,0	1,0	1,2	3,1	15,0	65,8	197, 1	2,1	19, 8	50, 4	366,2
10.1 7	16:0 0	0,0	2,2	1,2	59,2	0,8	285,8	0,3	0,8	2,7	12,8	57,9	203, 4	1,4	19, 6	50, 3	195,2
10.1 7	17:0 0	0,0	5,5	4,7	43,2	1,1	325,5	0,7	1,2	2,7	13,3	60,5	149, 1	0,8	18, 1	56, 7	56,1
10.1 7	18:0 0	0,0	8,3	7,9	29,2	1,1	416,5	1,6	1,9	3,5	17,2	77,7	98,6	0,9	15, 8	70, 6	4,2
10.1 7	19:0 0	0,9	17,6	19,7	13,0	1,1	712,8	3,6	2,3	4,4	20,8	90,5	58,5	0,8	13, 5	81, 9	3,4
10.1 7	20:0 0	0,1	13,5	13,6	18,0	1,3	645,2	3,3	2,3	4,9	22,1	72,9	75,8	0,9	13, 3	81, 7	1,4
10.1 7	21:0 0	0,0	8,1	8,1	23,0	1,1	494,7	2,6	2,3	4,9	22,1	95,4	91,5	0,9	12, 5	81, 7	2,5
10.1 7	22:0 0	0,3	6,4	7,1	19,6	1,3	493,5	1,6	1,9	5,3	23,4	86,6	47,7	0,8	11, 7	83, 3	2,6
10.1 7	23:0 0	0,8	4,3	6,2	14,8	1,6	428,2	1,6	1,9	5,7	24,7	86,1	29,0	0,7	10, 6	86, 6	2,4
10.1 8	00:0 0	0,7	3,5	5,2	15,8	0,8	396,7	1,3	1,9	5,3	24,7	74,6	40,3	0,8	10, 0	87, 2	2,2
10.1 8	01:0 0	0,4	4,0	5,0	17,0	0,5	417,7	1,3	1,5	4,9	22,5	95,8	65,2	1,3	9,3	87, 5	1,5
10.1 8	02:0 0	0,4	5,0	5,9	24,4	0,8	380,3	1,0	1,5	4,9	23,0	62,7	73,4	0,9	10, 5	82, 6	1,6

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.1	03:00	0,4	5,3	6,4	22,6	0,8	386,2	1,0	1,9	4,9	23,0	95,0	66,2	0,9	9,9	83,9	1,8
10.1	04:00	0,3	6,6	7,2	24,0	0,5	367,5	1,0	1,9	4,9	22,5	94,5	73,3	1,1	10,0	82,6	0,3
10.1	05:00	0,3	9,3	10,0	24,0	0,8	394,3	1,0	1,9	4,9	22,1	92,8	75,8	1,0	10,1	82,1	1,8
10.1	06:00	0,7	12,6	14,3	16,4	0,8	402,5	2,0	1,9	4,9	22,1	82,6	73,7	0,9	9,3	84,6	1,8
10.1	07:00	10,2	15,9	40,0	11,4	1,1	445,7	1,3	2,3	4,9	21,6	91,4	68,7	1,0	9,1	85,6	32
10.1	08:00	1,1	11,9	14,5	26,2	2,4	434,0	1,3	1,9	4,4	19,9	86,6	83,5	1,6	12,2	76,6	176,8
10.1	09:00	1,1	10,5	13,1	30,0	5,1	460,8	1,3	1,9	3,5	16,8	74,6	95,5	1,8	13,5	73,2	220,7
10.1	10:00	1,4	10,0	13,3	31,6	8,8	474,8	1,3	1,9	4,0	17,7	77,3	107,1	1,4	15,4	68,1	431,3
10.1	11:00	2,5	14,8	20,9	30,0	9,3	487,7	1,3	1,9	4,0	18,1	79,5	149,4	1,2	17,6	61,6	544,1
10.1	12:00	1,4	14,0	17,2	39,4	9,1	484,2	1,3	1,5	4,0	18,6	81,7	150,7	1,4	19,0	58,3	597,9
10.1	13:00	0,0	6,6	6,0	61,0	18,7	476,0	1,0	1,5	4,0	18,6	80,8	142,5	2,0	20,5	52,2	590,6
10.1	14:00	0,0	6,4	5,3	66,0	50,4	465,5	1,0	1,5	4,0	18,6	79,5	137,8	2,1	21,0	48,5	502,1
10.1	15:00	0,0	8,3	7,1	62,2	46,1	511,0	1,6	1,5	4,4	19,4	82,6	138,0	2,0	20,9	48,4	275
10.1	16:00	0,0	9,3	8,1	55,2	16,8	598,5	2,6	2,3	4,9	22,1	90,5	137,2	1,7	20,4	52,5	218
10.1	17:00	0,0	18,3	18,3	41,0	9,6	833,0	2,6	2,3	5,3	23,4	95,4	135,6	1,0	19,5	57,5	65,8
10.1	18:00	0,5	21,9	23,1	29,4	6,4	661,5	2,6	2,7	6,2	28,3	70,7	106,8	1,1	17,2	66,7	3
10.1	19:00	2,0	19,5	24,1	17,4	4,8	712,8	3,6	2,7	6,2	27,8	73,3	43,8	0,7	14,4	76,7	4,9
10.1	20:00	1,2	8,8	11,6	13,0	3,7	530,8	2,9	2,7	7,1	31,4	95,0	359,5	0,6	13,1	82,4	3,2

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.1	21:00	1,5	5,5	9,0	13,2	2,9	504,0	2,3	2,3	7,1	30,9	67,1	33,6	0,6	12,1	84,7	2,4
10.1	22:00	1,4	3,8	7,1	13,4	2,4	477,2	1,6	2,3	7,1	31,4	83,5	58,8	0,9	11,3	85,4	2,8
10.1	23:00	1,3	2,8	5,9	14,0	1,9	490,0	1,6	1,9	6,2	28,7	93,6	56,6	0,9	10,5	87,2	1,9
10.1	00:00	1,5	3,8	7,2	14,8	1,1	504,0	1,6	1,9	6,2	27,4	68,5	61,8	1,0	10,0	87,9	1,2
10.1	01:00	1,5	3,5	6,9	16,0	0,5	438,7	1,6	1,9	6,2	27,8	78,6	11,5	0,4	9,8	87,3	2,9
10.1	02:00	1,5	1,6	5,0	14,4	0,5	422,3	1,3	1,9	5,7	25,6	51,7	53,7	0,7	8,4	90,9	2
10.1	03:00	1,4	1,2	4,5	13,4	0,3	404,8	1,3	1,9	5,3	24,7	64,5	53,3	1,0	7,9	91,9	2,4
10.1	04:00	1,5	1,0	4,5	11,8	0,0	343,0	1,0	1,5	5,3	23,4	96,3	57,5	0,8	7,6	92,6	1,8
10.1	05:00	1,5	0,7	4,1	10,6	0,0	290,5	1,0	1,5	4,9	21,6	81,7	48,5	0,8	7,0	92,8	2,3
10.1	06:00	1,4	0,7	4,0	10,8	0,0	271,8	1,0	1,5	4,4	20,8	91,0	43,7	1,0	6,8	93,0	1,9
10.1	07:00	4,3	0,7	10,9	7,0	0,0	281,2	1,0	1,5	4,9	21,6	81,3	72,9	0,4	6,7	93,2	27,8
10.1	08:00	6,2	3,6	18,3	6,6	0,0	339,5	1,0	1,5	4,4	19,9	86,1	61,2	0,6	9,1	90,6	135,8
10.1	09:00	7,9	15,5	34,3	11,4	0,3	532,0	2,0	2,3	4,0	18,1	80,8	88,6	0,5	13,7	78,5	285,9
10.1	10:00	2,7	13,3	19,7	29,0	1,1	469,0	1,6	2,3	4,0	18,6	79,9	106,5	0,3	17,2	67,1	421,2
10.1	11:00	1,4	8,1	11,4	50,0	3,5	381,5	1,0	1,9	4,0	17,7	79,5	224,5	1,0	19,7	53,0	552,8
10.1	12:00	0,4	3,1	4,0	58,4	3,5	345,3	1,0	1,5	4,0	17,7	79,1	192,5	1,2	21,4	46,4	609,1
10.1	13:00	0,2	2,6	3,1	59,0	2,9	397,8	1,0	1,5	4,0	18,1	81,3	167,7	1,4	22,4	46,9	594,6
10.1	14:00	0,3	3,8	4,5	60,4	3,2	388,5	1,0	1,5	4,4	19,4	85,2	172,6	1,5	23,1	46,4	509,9

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Szélse b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.1 9	15:0 0	0,1	4,0	4,3	61,8	3,5	390,8	1,0	1,5	4,4	20,3	87,5	164, 5	1,3	23, 5	45, 2	367,1
10.1 9	16:0 0	0,4	7,6	8,6	54,0	3,2	417,7	1,0	1,5	4,9	22,1	83,5	158, 1	1,3	23, 1	52, 3	221,8
10.1 9	17:0 0	4,6	20,2	31,2	31,2	2,7	735,0	2,3	2,7	5,7	26,1	77,7	158, 5	0,7	21, 5	61, 3	74,1
10.1 9	18:0 0	1,4	10,9	14,1	18,8	2,4	628,8	2,0	3,1	7,1	31,8	85,7	45,9	0,6	17, 6	77, 7	5,7
10.1 9	19:0 0	0,3	8,5	9,1	14,0	1,6	513,3	1,6	2,3	8,0	36,2	73,3	44,2	0,9	14, 3	87, 8	3,2
10.1 9	20:0 0	0,6	8,3	9,7	12,4	1,6	612,5	2,6	2,3	7,5	33,6	43,3	44,5	0,9	13, 1	88, 9	3,2
10.1 9	21:0 0	0,4	6,7	7,8	11,8	1,1	689,5	2,9	2,3	7,1	32,7	49,0	48,2	1,5	11, 8	91, 1	2,2
10.1 9	22:0 0	0,6	5,7	7,1	11,0	0,8	651,0	2,9	2,3	6,2	28,3	66,7	48,7	1,5	11, 0	91, 6	2,6
10.1 9	23:0 0	0,5	4,0	5,2	13,4	0,5	565,8	2,0	1,9	6,2	26,9	42,4	47,5	1,4	10, 8	91, 0	2,8
10.2 0	00:0 0	0,8	3,3	5,2	13,8	0,0	528,5	2,0	1,9	5,7	26,5	51,2	42,8	1,2	10, 1	91, 7	1,9
10.2 0	01:0 0	1,4	3,3	6,6	11,2	0,0	513,3	1,6	2,3	6,2	27,8	53,9	35,7	0,8	9,4	91, 8	3
10.2 0	02:0 0	0,9	3,1	5,2	13,6	0,0	465,5	1,6	2,3	6,2	28,3	55,7	46,5	1,2	9,2	92, 4	1,2
10.2 0	03:0 0	0,7	2,8	4,3	17,6	0,0	422,3	1,3	1,9	5,3	23,9	85,2	48,7	1,3	9,0	92, 1	2,1
10.2 0	04:0 0	0,9	3,1	5,3	17,6	0,0	382,7	1,3	1,9	5,7	25,2	80,8	41,3	1,0	9,0	92, 6	1,7
10.2 0	05:0 0	0,7	2,8	4,5	18,6	0,0	371,0	1,3	1,9	5,7	25,6	99,8	44,4	1,0	8,8	92, 0	2,6
10.2 0	06:0 0	1,7	4,1	8,1	10,8	0,0	365,2	1,3	1,9	5,3	24,7	63,6	35,9	0,4	7,8	92, 4	4,1
10.2 0	07:0 0	3,4	1,7	9,8	9,0	0,0	318,5	1,3	1,5	5,3	23,4	74,6	25,5	0,4	6,8	93, 1	22
10.2 0	08:0 0	2,8	4,5	11,2	11,6	0,0	338,3	1,3	1,5	5,3	23,4	74,2	52,5	1,2	9,4	92, 5	135,4

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széli r	Szélse b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.2 0	09:0 0	1,4	6,4	9,7	22,2	0,0	394,3	1,3	1,5	4,0	19,0	87,5	4,8	0,2	14, 1	81, 6	283,8
10.2 0	10:0 0	0,9	11,2	13,3	35,8	0,0	477,2	1,3	1,5	4,4	19,4	86,1	224, 8	0,4	18, 0	66, 0	422,6
10.2 0	11:0 0	0,0	8,5	8,5	52,0	0,8	420,0	1,0	1,5	4,0	19,4	87,0	229, 0	1,0	19, 7	51, 8	552
10.2 0	12:0 0	0,0	6,0	5,7	59,2	1,1	360,5	1,0	1,2	4,0	19,0	84,8	266, 0	1,3	21, 1	46, 1	597,7
10.2 0	13:0 0	0,0	3,6	1,9	60,0	0,3	331,3	0,7	1,2	4,0	18,6	84,4	217, 3	0,9	22, 8	40, 9	593,4
10.2 0	14:0 0	0,0	4,8	3,3	62,0	0,3	329,0	0,7	1,2	4,4	21,2	91,9	174, 2	0,8	23, 8	37, 9	506,8
10.2 0	15:0 0	0,0	5,5	4,0	61,8	0,8	310,3	0,7	1,5	4,9	23,0	96,3	174, 3	1,1	24, 0	37, 5	364,6
10.2 0	16:0 0	0,0	10,0	9,3	54,0	0,5	392,0	1,6	1,5	5,7	25,2	87,0	168, 1	0,8	23, 7	39, 4	219,2
10.2 0	17:0 0	0,0	11,2	10,2	40,6	0,0	555,3	1,6	3,8	7,1	30,0	74,2	207, 4	0,4	22, 0	49, 9	73,9
10.2 0	18:0 0	0,1	6,4	6,7	22,6	0,0	418,8	1,0	2,7	8,0	34,9	74,2	45,4	0,8	16, 5	72, 1	6
10.2 0	19:0 0	0,3	8,8	9,5	16,8	0,0	543,7	2,3	2,3	8,0	35,8	83,9	42,3	1,0	13, 6	82, 0	3,4
10.2 0	20:0 0	0,4	6,6	7,4	21,0	0,0	528,5	2,3	2,3	8,0	35,3	88,8	29,9	0,8	12, 5	84, 8	1,7
10.2 0	21:0 0	0,0	5,0	4,7	25,2	0,0	453,8	2,0	1,9	7,5	33,6	93,2	42,9	1,4	12, 2	85, 2	1,5
10.2 0	22:0 0	0,0	4,5	4,5	25,8	0,0	423,5	1,3	1,5	6,2	29,2	69,8	43,4	1,2	11, 7	87, 0	2,3
10.2 0	23:0 0	0,1	4,3	4,7	24,6	0,3	483,0	1,6	1,5	6,2	29,2	66,3	50,5	1,4	10, 9	88, 9	2,1
10.2 1	00:0 0	0,0	3,6	3,3	29,4	0,0	448,0	1,3	1,5	5,7	26,5	93,6	40,4	1,6	10, 9	89, 8	1,8
10.2 1	01:0 0	0,2	3,3	3,8	22,8	0,0	435,2	1,3	1,5	5,7	25,2	64,9	33,1	0,9	10, 1	91, 0	3,2
10.2 1	02:0 0	0,8	3,5	5,3	19,0	0,0	437,5	1,3	1,9	6,2	28,7	70,2	14,0	0,5	9,6	91, 8	2,4

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.2	03:00	0,7	4,0	5,7	16,6	0,0	444,5	1,3	1,5	6,2	29,2	63,2	60,9	1,0	8,8	92,1	2,8
10.2	04:00	1,2	4,1	6,9	12,0	0,0	429,3	1,3	1,5	6,2	27,8	68,5	93,0	0,8	7,7	92,7	2,9
10.2	05:00	1,8	4,8	9,1	7,6	0,0	417,7	1,6	2,3	6,2	27,8	45,9	12,9	0,2	7,5	93,4	2
10.2	06:00	1,2	4,3	7,2	14,4	0,0	360,5	1,6	1,9	6,2	28,3	79,1	36,5	0,8	8,7	93,0	0,4
10.2	07:00	0,8	6,9	8,8	18,6	0,0	392,0	1,6	1,9	5,7	26,5	90,5	47,5	0,8	9,0	89,1	22,2
10.2	08:00	1,4	10,4	13,6	19,4	0,0	387,3	1,6	1,9	5,7	25,6	90,5	78,2	0,9	11,5	83,0	132,9
10.2	09:00	0,1	8,6	8,8	42,0	2,9	411,8	1,6	1,9	4,9	22,1	81,7	96,8	1,8	14,4	70,3	248,9
10.2	10:00	0,0	7,1	6,4	52,2	7,2	413,0	1,6	1,9	4,4	20,8	87,5	109,2	2,2	15,5	65,8	400,6
10.2	11:00	0,0	6,4	5,0	60,0	9,3	362,8	1,3	1,5	4,4	19,4	84,4	100,2	1,8	17,0	60,4	515
10.2	12:00	0,0	6,6	4,7	65,8	10,1	345,3	1,3	1,5	4,4	19,9	85,7	96,2	1,5	18,4	56,1	565,2
10.2	13:00	0,0	6,4	4,0	74,8	11,7	339,5	1,3	1,5	4,0	19,0	83,5	98,1	1,4	19,6	52,3	551,2
10.2	14:00	0,0	5,2	2,6	79,2	11,2	351,2	1,3	1,5	4,4	19,4	85,7	88,4	1,4	20,3	50,6	476,4
10.2	15:00	0,0	5,2	2,6	77,0	9,6	338,3	1,0	1,5	4,0	19,4	85,7	87,7	1,6	20,6	49,6	341,8
10.2	16:00	0,0	6,4	3,8	71,0	13,9	309,2	1,0	1,5	4,9	21,6	92,3	85,9	1,5	20,3	50,9	204,6
10.2	17:00	0,0	9,3	7,4	45,2	9,1	422,3	1,0	1,5	5,7	26,1	92,3	56,7	0,4	19,0	57,0	61,7
10.2	18:00	0,0	8,8	8,5	26,0	3,2	462,0	1,3	1,9	7,1	32,2	77,7	29,8	0,6	15,0	74,0	4,6
10.2	19:00	0,0	6,7	6,7	24,4	2,4	579,8	2,3	2,3	7,5	33,6	66,3	40,4	1,2	13,0	80,2	2,7
10.2	20:00	0,1	7,8	8,1	24,6	1,9	568,2	2,6	2,3	7,1	32,7	65,8	42,2	1,0	12,6	76,7	1,4

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.2	21:00	0,2	8,5	9,0	26,4	1,3	568,2	2,3	2,3	7,5	34,0	67,1	41,6	0,7	12,0	76,5	2,1
10.2	22:00	0,4	7,9	8,8	28,4	1,3	547,2	2,3	2,3	8,0	34,9	53,9	45,3	0,8	11,5	78,1	1
10.2	23:00	0,4	6,0	7,1	23,6	1,1	549,5	2,0	2,3	7,1	32,2	69,8	44,0	0,5	10,0	81,5	3,9
10.2	00:00	0,7	4,8	6,6	18,8	0,3	495,8	1,6	1,9	7,1	31,4	62,3	48,6	0,6	9,1	84,9	1,6
10.2	01:00	0,8	4,3	6,2	17,2	0,0	462,0	1,6	1,9	6,2	28,3	67,1	31,3	0,6	8,3	86,8	2,5
10.2	02:00	0,5	3,8	5,0	18,2	0,0	395,5	1,3	1,9	5,7	26,9	76,4	44,3	0,9	8,0	87,5	1,3
10.2	03:00	0,1	2,9	3,1	23,0	0,0	380,3	1,0	1,5	4,9	22,1	95,0	37,2	1,5	8,0	87,9	1,3
10.2	04:00	0,0	2,9	2,9	24,4	0,0	313,8	1,0	1,5	4,4	19,9	89,2	42,2	1,3	7,9	87,6	2
10.2	05:00	0,5	2,9	4,1	19,4	0,0	284,7	1,0	1,5	4,4	20,8	90,5	349,9	0,6	7,0	89,5	2,9
10.2	06:00	0,7	2,6	4,3	15,6	0,0	264,8	1,0	1,5	4,9	21,6	80,8	13,2	0,6	5,9	91,2	2,4
10.2	07:00	0,8	2,8	4,7	14,4	0,0	248,5	1,0	1,5	4,9	21,6	92,3	23,9	0,8	5,6	91,9	21,7
10.2	08:00	0,9	5,0	7,2	18,6	0,0	288,2	1,0	1,2	4,0	18,1	82,6	38,4	1,1	8,5	87,2	134,6
10.2	09:00	0,5	5,9	7,1	33,8	1,1	324,3	1,0	1,2	3,5	15,9	74,6	71,8	1,2	12,3	75,7	263,5
10.2	10:00	0,4	6,7	7,8	45,2	3,5	323,2	1,0	1,5	3,5	15,5	71,6	75,0	1,4	14,5	67,4	413,2
10.2	11:00	0,0	4,8	4,1	51,6	5,6	305,7	1,0	1,2	3,5	15,9	71,1	96,0	1,2	16,1	60,6	532,9
10.2	12:00	0,0	6,2	5,5	55,8	7,7	320,8	1,0	1,2	3,5	17,2	76,9	96,1	1,2	17,8	53,9	583,5
10.2	13:00	0,0	5,0	3,6	68,4	20,3	298,7	1,0	1,2	3,5	17,2	76,9	85,3	1,1	18,7	48,8	570,4
10.2	14:00	0,0	10,2	9,3	62,0	80,0	280,0	1,0	1,2	4,0	18,1	80,8	105,7	1,0	19,5	44,6	484,1

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.2	15:00	0,0	8,1	6,9	65,6	41,1	331,3	1,0	1,2	4,4	19,9	87,0	103,5	1,2	19,6	45,3	345,2
10.2	16:00	0,0	6,0	4,5	63,2	28,5	288,2	1,0	1,2	4,4	20,8	91,4	82,1	1,0	19,1	48,4	201,2
10.2	17:00	0,0	9,1	8,1	42,4	17,9	445,7	1,0	1,5	5,3	24,7	90,1	78,0	0,5	17,7	55,2	55,8
10.2	18:00	0,7	9,7	11,2	24,2	6,7	476,0	2,3	2,3	7,1	30,5	63,2	53,0	0,7	14,3	70,1	5,1
10.2	19:00	0,0	7,1	7,1	15,6	2,9	431,7	1,6	1,9	7,1	31,4	28,7	341,2	0,6	10,7	85,0	3,5
10.2	20:00	0,1	6,9	7,2	18,8	2,1	476,0	1,6	1,9	7,1	31,4	62,7	40,7	0,6	10,2	86,7	2,1
10.2	21:00	0,0	6,4	6,2	20,0	1,6	525,0	1,6	1,9	6,6	29,6	52,6	44,4	0,8	9,4	87,7	2,1
10.2	22:00	0,0	5,3	4,7	20,0	0,8	451,5	1,6	1,9	5,7	26,9	76,9	39,3	1,2	8,7	89,5	1,2
10.2	23:00	0,0	4,7	2,9	25,8	1,1	445,7	1,3	1,5	4,9	23,0	83,5	35,3	1,3	8,9	88,7	1,9
10.2	00:00	0,0	4,3	3,1	23,8	0,5	416,5	1,0	1,2	4,4	20,8	91,0	39,1	1,3	8,2	89,7	2,4
10.2	01:00	0,4	3,6	4,7	14,4	0,3	406,0	1,0	1,2	4,4	21,2	66,7	5,2	0,4	7,2	90,9	3,2
10.2	02:00	1,0	3,6	6,0	9,8	0,3	385,0	1,0	1,5	5,3	23,9	74,6	260,1	0,2	6,2	92,5	3,1
10.2	03:00	1,1	3,5	6,0	10,0	0,0	386,2	1,0	1,5	5,3	23,9	97,6	338,9	0,2	5,8	93,2	2,5
10.2	04:00	1,1	3,6	6,2	7,8	0,0	320,8	1,0	1,5	4,9	22,5	95,0	226,9	0,4	4,8	93,3	2,3
10.2	05:00	1,2	4,7	7,4	5,6	0,0	374,5	1,3	1,5	4,4	20,8	90,5	265,5	0,4	4,1	93,5	2,5
10.2	06:00	1,1	4,8	7,4	5,0	0,0	385,0	1,3	1,5	4,4	19,9	86,6	244,6	0,4	3,8	93,7	2,4
10.2	07:00	5,8	4,1	17,9	3,8	0,0	452,7	1,3	1,9	4,0	18,6	82,6	252,6	0,8	3,8	93,8	17,3
10.2	08:00	4,4	4,5	15,0	5,0	0,0	522,7	2,0	1,5	3,5	16,8	75,5	259,0	0,8	4,5	93,6	104,9

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széli r	Szélse b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.2 3	09:0 0	2,2	3,8	9,1	7,6	0,0	547,2	2,0	1,9	3,5	15,9	72,9	222, 3	1,1	6,5	91, 6	240
10.2 3	10:0 0	1,5	4,5	8,1	11,2	0,0	575,2	2,3	1,5	3,1	14,1	63,6	225, 5	1,6	7,5	89, 6	279,1
10.2 3	11:0 0	0,3	4,7	5,3	18,2	0,0	575,2	2,0	1,5	2,7	12,8	59,6	243, 5	2,2	8,7	91, 1	278,1
10.2 3	12:0 0	0,0	5,5	5,3	25,4	0,0	599,7	2,3	1,5	2,7	11,9	54,3	230, 1	2,1	10, 8	86, 0	459,9
10.2 3	13:0 0	0,0	5,3	3,8	33,0	0,0	604,3	2,0	1,5	2,7	11,5	52,6	240, 3	2,5	13, 0	78, 6	536,3
10.2 3	14:0 0	0,0	5,7	3,6	36,8	0,0	631,2	2,3	1,5	2,2	10,6	48,6	239, 9	2,5	14, 3	74, 8	446,9
10.2 3	15:0 0	0,0	6,6	4,8	39,8	0,3	628,8	2,0	1,5	2,2	10,6	47,7	247, 1	2,6	15, 3	72, 9	313,9
10.2 3	16:0 0	0,0	6,0	3,3	39,6	0,3	515,7	2,0	1,5	2,2	10,6	47,3	250, 2	2,9	14, 6	75, 3	177,3
10.2 3	17:0 0	0,0	7,6	5,2	26,2	0,0	416,5	2,0	1,5	2,7	11,5	51,7	242, 9	2,4	12, 0	84, 4	42
10.2 3	18:0 0	0,0	7,6	5,2	23,2	0,0	459,7	2,0	1,5	3,1	13,3	59,2	250, 4	2,3	10, 2	91, 5	3,2
10.2 3	19:0 0	0,4	1,9	2,9	24,8	0,0	472,5	2,3	1,5	2,7	12,4	57,0	264, 7	2,4	10, 1	92, 5	3,2
10.2 3	20:0 0	0,5	1,7	2,9	22,6	0,0	448,0	2,3	1,5	3,1	13,7	61,4	284, 0	2,1	10, 2	92, 8	3,5
10.2 3	21:0 0	0,5	1,2	2,4	29,0	0,0	406,0	2,0	1,5	3,1	13,3	62,3	306, 6	3,0	9,9	92, 9	3,5
10.2 3	22:0 0	0,7	1,0	2,6	31,4	0,0	390,8	2,0	1,5	3,5	15,0	68,0	321, 6	4,2	9,7	93, 0	3,8
10.2 3	23:0 0	0,8	1,0	2,9	32,8	0,5	392,0	1,6	1,5	3,5	15,9	72,0	317, 9	4,0	9,5	93, 1	3,3
10.2 4	00:0 0	0,8	0,9	2,8	30,8	0,3	380,3	1,6	1,5	3,5	16,3	73,8	324, 3	4,2	9,4	93, 2	3,5
10.2 4	01:0 0	0,9	1,0	3,3	30,2	0,0	395,5	1,6	1,5	4,0	17,2	76,0	317, 9	3,1	9,3	93, 2	3,6
10.2 4	02:0 0	1,0	0,7	3,1	27,8	0,3	386,2	1,6	1,5	4,0	17,7	78,6	321, 7	4,0	9,2	93, 3	3,3

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Szélse b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.2 4	03:0 0	0,7	0,3	2,1	28,2	0,0	388,5	1,6	1,5	3,5	16,8	75,1	329, 6	1,6	9,1	93, 3	3,9
10.2 4	04:0 0	0,8	0,5	2,4	27,4	0,0	380,3	1,6	1,5	3,5	15,5	71,1	321, 9	1,6	8,8	93, 4	3,3
10.2 4	05:0 0	1,0	0,9	3,3	25,6	0,3	392,0	2,0	1,5	3,1	14,6	63,2	326, 7	1,2	8,9	93, 4	3,2
10.2 4	06:0 0	1,4	1,2	4,5	23,4	0,0	416,5	2,3	1,9	4,0	19,0	82,2	316, 9	0,9	9,0	93, 3	3,3
10.2 4	07:0 0	1,7	1,4	5,3	18,0	0,3	429,3	2,0	1,9	4,0	18,6	83,0	56,3	0,6	8,8	93, 3	7,2
10.2 4	08:0 0	1,9	2,8	7,2	19,2	0,3	448,0	2,0	1,9	4,0	18,6	83,5	40,3	0,6	9,0	93, 3	27,6
10.2 4	09:0 0	6,6	4,5	20,2	20,6	0,3	436,3	2,0	1,5	4,0	18,6	82,2	25,1	0,7	9,3	93, 2	48,7
10.2 4	10:0 0	3,3	1,9	9,7	26,2	0,3	414,2	2,0	1,5	4,0	17,7	79,5	8,2	0,7	9,6	92, 2	87,4
10.2 4	11:0 0	2,3	2,6	8,1	25,6	0,5	420,0	2,0	1,5	4,0	18,6	82,6	355, 0	0,4	10, 2	89, 1	77,4
10.2 4	12:0 0	1,5	2,1	5,7	25,6	0,3	422,3	2,0	1,5	4,4	19,4	84,8	255, 0	0,3	10, 5	87, 9	85
10.2 4	13:0 0	1,4	2,4	5,7	27,0	0,3	427,0	2,0	1,9	4,4	19,4	85,2	313, 1	0,4	10, 9	86, 4	108,7
10.2 4	14:0 0	2,2	3,1	8,3	26,8	0,3	442,2	2,0	1,9	4,4	19,0	84,4	322, 3	0,7	11, 3	85, 9	93,5
10.2 4	15:0 0	1,3	1,9	5,0	30,0	0,3	456,2	2,0	1,5	4,0	18,6	82,6	281, 3	0,5	11, 3	85, 3	62,6
10.2 4	16:0 0	1,4	2,8	6,0	30,6	0,3	411,8	1,6	1,5	4,4	19,9	85,7	288, 9	0,8	11, 2	85, 7	27,6
10.2 4	17:0 0	1,3	3,3	6,4	32,8	0,3	479,5	1,6	1,9	4,4	20,8	78,2	293, 1	0,7	11, 0	85, 8	7
10.2 4	18:0 0	1,7	5,9	9,8	25,2	0,5	484,2	1,6	1,9	4,9	22,1	80,8	253, 8	0,6	11, 0	86, 3	3,3
10.2 4	19:0 0	0,7	8,8	10,5	21,2	0,3	512,2	2,0	1,9	5,3	23,0	76,4	254, 9	0,5	10, 8	87, 6	3,4
10.2 4	20:0 0	0,7	6,4	7,9	23,4	0,3	499,3	2,0	1,9	5,3	22,5	88,3	261, 0	0,6	10, 7	88, 2	3,3

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széli r	Szélse b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.2	21:00	0,8	6,6	8,5	21,2	0,3	532,0	2,0	1,9	5,3	23,0	95,8	226,9	0,6	10,5	89,4	3,4
10.2	22:00	0,3	6,0	6,7	28,8	0,3	501,7	2,0	1,9	4,9	21,6	93,2	242,3	0,9	10,3	90,5	3,4
10.2	23:00	0,6	6,6	7,9	23,6	0,8	497,0	1,6	1,9	4,9	22,1	92,3	234,3	0,6	10,3	91,1	3,3
10.2	00:00	0,8	5,3	7,2	20,8	0,3	484,2	1,6	1,9	5,3	22,5	95,0	259,5	0,3	10,3	91,9	3,1
10.2	01:00	0,9	4,8	7,1	17,8	0,5	499,3	1,6	1,9	5,3	23,4	85,7	192,5	0,4	10,2	92,2	3,2
10.2	02:00	1,0	4,8	7,2	16,4	0,3	498,2	1,6	1,9	5,3	23,4	97,6	165,5	0,2	10,2	92,4	3,2
10.2	03:00	1,1	4,8	7,4	16,8	0,0	486,5	1,6	1,9	5,3	23,4	72,0	208,3	0,5	10,2	92,5	3,2
10.2	04:00	1,0	5,0	7,4	19,4	0,3	434,0	1,6	1,9	4,9	22,5	84,4	202,0	0,8	10,1	92,2	3,3
10.2	05:00	1,3	5,5	8,6	16,6	0,5	435,2	1,6	1,9	4,9	23,0	65,4	193,9	0,5	10,0	92,2	3,2
10.2	06:00	1,2	7,4	10,3	15,0	0,3	448,0	1,6	1,5	5,3	23,0	66,3	220,7	0,5	10,0	92,1	3,2
10.2	07:00	1,9	9,0	13,5	12,4	0,3	439,8	1,6	1,9	4,9	22,5	94,5	202,1	0,6	10,0	92,1	7,5
10.2	08:00	3,5	9,1	17,4	13,6	0,5	450,3	1,6	1,9	4,9	22,5	95,0	229,2	0,7	10,0	91,9	30,7
10.2	09:00	1,7	6,7	10,7	20,4	0,5	452,7	1,6	1,5	4,9	21,2	91,4	251,5	1,1	10,5	88,4	94,6
10.2	10:00	0,5	5,5	6,7	32,4	1,3	425,8	1,6	1,5	4,4	19,4	84,8	254,9	1,5	11,1	82,4	163,3
10.2	11:00	2,5	9,8	15,7	35,0	1,6	422,3	1,3	1,5	4,0	17,7	78,6	252,4	1,8	11,4	78,0	139,1
10.2	12:00	0,0	5,3	4,1	47,6	2,1	376,8	1,3	1,5	3,5	15,5	70,2	247,1	1,5	11,7	74,4	192,6
10.2	13:00	0,0	6,4	5,5	51,6	2,1	344,2	1,3	1,2	3,1	14,6	66,7	235,9	1,6	12,1	69,7	168,5
10.2	14:00	0,0	5,5	4,0	52,6	1,3	326,7	1,0	1,2	2,7	13,3	61,0	254,2	1,7	12,2	70,2	171,2

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.2	15:00	0,0	4,5	1,9	51,8	1,1	348,8	1,0	0,8	2,7	12,8	59,2	274,8	1,5	12,3	70,8	144
10.2	16:00	0,0	5,2	2,8	47,0	1,1	302,2	1,0	1,2	3,1	14,1	63,2	284,7	0,9	12,1	71,3	96,8
10.2	17:00	0,0	4,3	2,1	35,4	0,8	354,7	1,3	1,5	3,5	16,3	72,4	359,0	0,7	11,2	78,2	25,5
10.2	18:00	0,0	4,7	3,1	28,6	0,5	355,8	1,3	1,5	3,5	16,3	74,2	19,3	0,6	9,5	84,0	4,1
10.2	19:00	0,7	2,9	4,5	18,4	0,3	381,5	1,3	1,5	4,0	18,1	79,9	63,5	0,5	7,8	89,8	2,4
10.2	20:00	0,7	3,5	5,0	14,6	0,3	471,3	1,6	1,5	4,0	17,7	79,9	49,2	0,9	6,5	92,2	2,5
10.2	21:00	0,6	3,1	4,5	12,8	0,0	525,0	2,3	1,5	3,5	15,5	72,0	35,1	1,2	5,9	92,6	2,8
10.2	22:00	0,9	1,9	4,0	13,0	0,3	465,5	2,3	1,5	3,5	15,5	70,2	21,8	0,8	5,5	93,0	1,6
10.2	23:00	1,1	1,9	4,5	12,8	0,8	443,3	1,6	1,5	3,5	15,9	72,0	40,3	0,7	5,2	92,8	2,3
10.2	00:00	1,1	2,2	4,8	13,8	0,3	428,2	1,6	1,5	3,5	15,5	71,1	27,9	0,8	5,4	93,1	1,1
10.2	01:00	1,1	1,6	4,1	13,2	0,3	382,7	1,3	1,5	3,1	15,0	68,0	59,1	0,8	4,9	92,5	3,5
10.2	02:00	2,0	0,7	5,3	8,0	0,3	357,0	1,3	1,5	3,5	15,0	68,0	329,5	0,1	3,7	93,2	3,3
10.2	03:00	2,0	0,2	5,0	7,2	0,0	319,7	1,3	1,5	3,5	15,5	69,3	3,8	0,4	3,1	93,7	2,4
10.2	04:00	1,5	0,3	3,8	7,6	0,0	285,8	1,3	1,2	3,1	14,1	64,5	48,7	0,9	3,1	93,9	1,5
10.2	05:00	1,1	0,3	2,9	8,2	0,0	325,5	1,3	1,2	2,7	12,8	60,5	43,6	1,4	3,0	93,6	2,7
10.2	06:00	1,3	1,4	4,5	7,0	0,0	320,8	1,3	1,2	2,2	11,0	53,0	43,3	1,4	2,9	93,7	2,2
10.2	07:00	3,3	3,5	11,4	6,2	0,0	333,7	1,3	1,5	2,7	11,5	53,9	40,6	1,4	3,2	93,8	14,8
10.2	08:00	2,8	3,1	9,7	9,0	0,0	351,2	1,3	1,2	2,2	10,6	50,8	32,6	1,5	4,6	93,3	93,4

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.2	09:00	3,0	6,0	13,1	13,2	0,0	425,8	1,3	1,2	2,2	9,7	47,3	51,3	1,0	7,9	90,0	224,2
10.2	10:00	2,5	11,6	17,4	28,4	0,5	498,2	2,0	1,9	2,7	11,0	50,8	83,5	1,2	11,0	80,1	344,7
10.2	11:00	1,2	7,9	10,9	39,2	1,9	474,8	1,6	1,5	2,7	11,5	51,7	98,3	1,3	12,9	73,9	435,4
10.2	12:00	1,6	10,0	13,8	39,4	6,1	515,7	1,6	1,5	2,7	12,4	54,8	119,5	1,6	13,8	72,1	316,4
10.2	13:00	1,8	9,8	14,1	24,8	5,1	641,7	2,0	1,9	3,1	13,3	58,3	148,3	1,7	12,8	79,2	197,1
10.2	14:00	2,6	11,4	17,6	23,4	6,4	704,7	2,3	1,9	3,1	14,1	62,3	139,7	1,8	13,3	78,2	240,5
10.2	15:00	1,0	10,9	13,3	38,8	14,1	714,0	2,9	2,3	3,1	14,6	63,2	125,3	1,7	13,1	76,5	118,4
10.2	16:00	1,0	15,7	18,1	36,8	16,5	751,3	3,6	2,3	3,5	15,5	66,7	121,1	1,6	12,4	78,8	46,1
10.2	17:00	0,7	12,1	13,8	36,2	17,1	667,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	101,7	1,9	12,2	80,2	11,6
10.2	18:00	0,7	12,4	14,1	30,6	13,1	785,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	93,9	1,8	12,1	82,1	2,8
10.2	19:00	0,3	12,9	13,6	30,2	11,5	709,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	86,6	1,6	12,4	80,6	2,2
10.2	20:00	0,4	12,4	13,5	30,8	10,9	711,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	96,0	1,9	12,5	79,2	3
10.2	21:00	0,5	11,4	12,6	33,6	12,5	589,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	99,3	2,1	12,7	74,8	2,6
10.2	22:00	0,5	10,4	11,6	31,8	10,4	568,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	90,2	1,8	12,2	76,5	2,8
10.2	23:00	0,8	9,7	11,6	28,8	8,0	536,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	96,6	2,0	11,8	77,1	2,6
10.2	00:00	0,7	8,5	10,0	30,8	11,7	498,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	90,7	1,9	11,9	76,9	3,2
10.2	01:00	0,7	8,6	10,3	30,6	13,9	504,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	93,5	2,1	11,7	77,1	2,8
10.2	02:00	0,9	8,6	10,7	30,0	15,5	483,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	97,3	2,5	11,5	77,8	3,5

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.2	03:00	0,7	7,9	9,5	28,6	15,5	467,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	90,8	2,0	11,1	79,5	3,3
10.2	04:00	0,7	8,1	9,8	27,4	12,8	406,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	91,0	1,9	11,2	80,7	1,7
10.2	05:00	0,7	8,6	10,3	27,2	9,1	380,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	93,8	1,8	11,3	81,7	2,5
10.2	06:00	0,8	7,8	9,7	24,4	4,5	383,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	87,0	1,4	11,1	86,1	2,6
10.2	07:00	0,8	7,6	9,5	28,8	2,9	364,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	97,1	1,6	11,2	87,9	5
10.2	08:00	0,9	8,6	10,9	28,4	2,7	392,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	90,9	1,7	11,6	89,0	23,3
10.2	09:00	1,0	10,0	12,4	27,8	1,9	379,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	91,5	1,9	11,8	89,3	40,9
10.2	10:00	1,2	10,4	13,3	26,4	2,1	387,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	97,2	1,6	12,6	86,6	74,6
10.2	11:00	1,5	7,9	11,6	31,6	1,9	388,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	102,5	2,4	13,9	82,1	210,2
10.2	12:00	1,3	6,9	10,0	30,4	1,6	402,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	99,8	2,3	14,7	81,7	163,4
10.2	13:00	1,4	7,1	10,3	30,4	2,1	408,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	121,6	1,8	16,6	76,7	192,2
10.2	14:00	1,2	6,6	9,3	34,0	3,2	416,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	130,9	1,9	17,7	73,0	197,2
10.2	15:00	1,0	9,0	11,4	31,2	2,7	427,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	118,5	1,4	18,4	73,0	93,4
10.2	16:00	0,7	9,0	10,5	27,0	2,7	444,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	80,7	1,2	17,6	77,1	28,4
10.2	17:00	2,0	12,2	16,9	19,6	2,1	595,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	119,7	1,4	16,7	81,1	4,8
10.2	18:00	2,1	9,1	14,1	22,4	1,9	561,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	123,5	1,3	16,0	86,7	3,7
10.2	19:00	0,4	12,2	13,1	23,4	1,6	558,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	140,0	1,6	15,8	87,4	2,4
10.2	20:00	0,4	11,4	12,2	25,8	1,1	544,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	132,2	1,4	15,4	89,4	3,3

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.2	21:00	0,0	11,6	10,2	23,8	0,8	360,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	359,5	1,5	14,3	89,1	8,9
10.2	22:00	0,0	8,6	1,4	23,0	0,0	346,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	356,6	5,5	9,0	87,1	6,8
10.2	23:00	0,0	7,8	0,3	28,2	2,4	301,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	352,6	6,1	7,6	85,9	4,8
10.2	00:00	0,0	7,2	0,0	32,0	2,1	281,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	338,1	4,3	6,6	85,0	4
10.2	01:00	0,0	7,1	0,0	36,4	2,1	226,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	330,1	4,2	5,6	84,7	4,8
10.2	02:00	0,0	6,7	0,0	44,4	1,9	180,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	332,5	4,8	3,6	83,3	4
10.2	03:00	0,0	6,7	0,0	44,2	2,1	200,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	335,3	4,3	3,3	83,0	3,5
10.2	04:00	0,0	6,7	0,0	44,2	2,1	282,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	330,2	4,1	3,3	80,9	3,1
10.2	05:00	0,0	6,2	0,0	45,8	1,9	275,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	325,5	4,5	2,8	83,2	4
10.2	06:00	0,0	5,9	0,0	48,2	1,9	256,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	327,6	3,9	2,2	85,4	4,2
10.2	07:00	0,0	5,9	0,0	45,4	1,9	280,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	315,9	2,9	2,1	86,7	13
10.2	08:00	0,0	6,6	0,0	44,8	1,6	275,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	309,1	2,6	2,2	86,5	53,8
10.2	09:00	0,0	6,4	0,0	44,6	2,1	283,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	304,2	2,3	2,5	84,6	84,6
10.2	10:00	0,0	6,2	0,0	44,6	1,9	305,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	315,0	2,9	3,2	80,7	168,9
10.2	11:00	0,0	6,4	0,0	45,4	2,1	277,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	314,3	2,6	3,6	77,7	106
10.2	12:00	0,0	6,2	0,0	47,6	1,9	274,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	323,8	2,6	4,1	74,5	128,5
10.2	13:00	0,0	6,4	0,0	48,4	2,1	264,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	335,2	2,4	4,3	73,1	108,4
10.2	14:00	0,0	6,6	0,0	45,4	2,4	248,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	336,0	1,9	4,3	75,2	60,3

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Széle s b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.2	15:00	0,0	6,9	0,0	43,4	2,1	234,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	334,2	1,5	3,6	82,5	22,9
10.2	16:00	0,0	7,4	0,7	35,8	2,1	248,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	280,7	0,8	3,3	87,3	6,9
10.2	17:00	0,0	8,3	2,2	32,6	2,4	273,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	341,0	0,9	3,3	89,0	2,9
10.2	18:00	0,7	2,1	3,6	31,0	2,4	261,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	314,9	1,0	3,4	87,3	3,2
10.2	19:00	0,7	2,4	4,0	30,6	2,4	224,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	330,2	0,7	3,3	87,9	2,8
10.2	20:00	0,8	2,2	4,1	28,4	2,4	274,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	329,3	0,9	3,3	88,6	2,9
10.2	21:00	0,6	1,7	3,1	30,2	2,1	263,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	341,2	1,1	3,2	89,0	2,8
10.2	22:00	0,6	2,1	3,4	31,0	2,7	278,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,2	1,2	3,3	89,1	3
10.2	23:00	0,6	2,4	3,8	31,4	2,1	288,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	350,2	1,1	3,4	89,1	3,1
10.2	00:00	0,9	2,6	4,7	27,4	2,4	299,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	11,2	0,8	3,3	91,7	3,2
10.2	01:00	1,0	2,6	5,0	26,0	2,1	318,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	28,8	0,5	3,3	92,8	3,3
10.2	02:00	0,9	1,9	4,0	34,0	2,4	271,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	86,6	1,3	3,2	92,2	3,2
10.2	03:00	0,9	2,1	4,1	33,2	2,4	259,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	102,7	1,1	2,8	91,3	4,1
10.2	04:00	0,8	1,7	3,6	31,4	2,1	267,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	29,3	0,6	2,4	90,9	3,3
10.2	05:00	0,7	1,6	3,3	30,8	2,1	268,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	345,5	1,0	2,3	90,5	3,2
10.2	06:00	0,3	0,3	1,0	38,4	1,6	266,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	358,9	1,6	2,2	89,7	7,6
10.2	07:00	0,1	0,7	0,9	42,2	1,9	266,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,5	2,2	2,1	89,9	63,1
10.2	08:00	0,0	0,7	0,7	43,6	1,6	273,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,1	2,1	2,6	86,8	137,9

Dátum		NO	NO2	NOX	O3	SO2	CO	B	T	EB	MP	O	Széle r	Szélese b	T	RH	GLB
nap	óra	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	fok	m/s	°C	%	W/m ²
10.2 9	09:0 0	0,0	1,0	1,0	43,0	2,1	259,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	9,9	2,0	3,0	84, 9	80,1
10.2 9	10:0 0	0,0	1,0	1,0	37,8	2,4	282,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	350, 1	1,6	2,8	87, 4	43,7
10.2 9	11:0 0	0,3	2,8	3,4	29,6	2,1	305,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	321, 9	2,2	2,8	89, 4	58,7
10.2 9	12:0 0	0,1	2,9	3,3	34,2	2,1	331,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	322, 3	2,7	2,7	89, 5	56,4
10.2 9	13:0 0	0,0	2,8	2,6	40,8	2,4	331,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	323, 6	3,2	2,9	86, 1	71,8
10.2 9	14:0 0	0,0	3,1	2,6	44,0	2,4	287,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	333, 6	2,3	3,1	83, 3	40,1
10.2 9	15:0 0	0,0	2,9	2,2	46,4	2,4	311,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	331, 6	2,5	3,2	81, 2	29,5
10.2 9	16:0 0	0,0	3,3	2,4	45,0	2,4	325,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	328, 6	2,6	2,9	80, 7	7,4
10.2 9	17:0 0	0,0	4,1	4,0	40,6	2,4	341,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	318, 2	1,8	2,7	80, 3	3,4
10.2 9	18:0 0	0,4	2,2	3,1	42,0	2,7	305,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	324, 5	2,6	2,4	81, 4	3
10.2 9	19:0 0	0,6	2,8	4,1	38,2	2,7	318,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	312, 0	1,9	2,4	80, 7	2,8
10.2 9	20:0 0	0,9	3,1	5,2	35,6	2,9	350,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	308, 2	1,6	2,2	80, 5	3
10.2 9	21:0 0	0,9	2,9	5,2	35,0	2,7	351,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	290, 4	1,4	2,2	80, 5	2,5
10.2 9	22:0 0	0,8	1,9	3,8	38,8	2,9	322,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	299, 7	1,8	2,2	79, 7	2,8
10.2 9	23:0 0	0,8	1,2	3,1	40,6	2,4	305,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	297, 3	2,0	2,2	78, 5	3,4

11 Irodalomjegyzék

Ács F. és Vincze C. (2009) A felszín közeli levegő rétegződésének empirikus becsléséről. Légkör – 54. évf. 2009. 1. szám

Alan L. Dresser & Robert D. Huizer (2011): CALPUFF and AERMOD Model Validation Study in the Near Field: Martins Creek Revisited, Journal of the Air & Waste Management Association, 61:6, 647-659

ALOHA User's Manual www.epa.gov/osweroe1/docs/cameo/ALOHAManual.pdf

Bond, G.C.: Heterogén katalízis, elvek és alkalmazások, Műszaki Könyvkiadó, 1990.

Chang, J.C.; Hanna, S.R. (2004) Air Quality Model Performance Evaluation; Meteorol. Atmos. Phys. 87, 167-196.

Erdey-Grúz, T.: A fizikai kémia alapjai, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1972.

Golder, D. (1972) Relations among stability parameters in the surface layer, Boundary Layer Meteorol. 3, 47-58.

Janicke Consulting (2011) AUSTAL2000. Program Documentation of Version 2.5 Überlingen
http://www.austal2000.de/data/2011-08-03/austal2000_en.pdf

Kalló, D.: Katalitikus eljárások a környezetvédelemben, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 1999.

McRae G.J., Goodin W.R., Seinfeld J.H. (1982) Development of a second-generation mathematical model for Urban air pollution—I. Model formulation. Atmospheric Environment 16, 679–696

Moser, M., Kása, I., Keszthelyi, K.: Műszaki kémiai gyakorlatok, Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.

MSZ 21457/4-80 Légszennyező anyagok transzmissziós paraméterei a turbulens szóródás mértékének meghatározása

MSZ 21459/1-81 Légszennyező anyagok transzmissziós paraméterei, pontforrás szennyező hatásának számítása

MSZ 21459/5-85. Légszennyező anyagok transzmissziójának meghatározása. A kibocsátás effektív magasságának meghatározása.

Protocol for Determining the Best Performing Model; EPA-454/R-92-025; U.S. Environmental Protection Agency; Office of Air Quality Planning and Standards: Research Triangle Park, NC, 1992.

Scire J. S., Strimaitis D. G., Yamartino R. J. (2000) A user's guide for the CALPUFF dispersion modell (version 5) Earth Tech, Inc. Concord

Stathopoulos T., Baniotopoulos C. C. (szerk.) Wind Effects on Buildings and Design of Wind-Sensitive Structures, 2007 CISM, Udine Olaszország

Szabó, Z.: Kontakt katalízis, Kötet 1,2, Akadémiai kiadó, 1966.

Szepesi, D., Fekete, K., Büki, R., Koncsos, L. and Kovács, E. (2005) Development of regulatory transmission modeling in Hungary. *Időjárás* 109, 257-279.

U.S. EPA Environmental Protection Agency (2004) AERMOD: Description of model formulation. EPA-454/R-03-004 Research Triangle Parc, NC