

Környezetegészségtan

Környezetegészségtan

Tartalom

I. Környezetegészségtani alapismeretek	1
1. Környezeti expozíciók	4
1. A környezeti expozíciók mértékét meghatározó tényezők és a környezeti eredetű egészségkárosodások kialakulásában szerepet játszó folyamatok	4
1.1. A xenobiotikumok emissziója, környezetbe jutásának módjai	4
1.1.1. A xenobiotikumok emissziója a levegőbe	4
1.1.2. A xenobiotikumok emissziója a felszíni vizekbe	6
1.1.3. A xenobiotikumok emissziója a talajba	8
1.2. A xenobiotikumok transzmissziója a környezetben	10
1.2.1. A xenobiotikumok transzmisszióját befolyásoló tényezők	10
1.2.2. A xenobiotikumok sorsa a levegőben	11
1.2.3. A xenobiotikumok sorsa a felszíni vizekben	12
1.2.4. A xenobiotikumok sorsa a talajban	13
1.2.5. A xenobiotikumok bejutása az élő szervezetekbe	14
1.2.6. A xenobiotikumok biokoncentrációja és biomagnifikációja	15
1.3. A xenobiotikumok bejutása az emberi szervezetbe	15
1.3.1. A xenobiotikumok abszorpciója	15
1.3.2. A xenobiotikumok abszorpciója a gyomor-bélrendszerből	16
1.3.3. A xenobiotikumok abszorpciója a tüdőből	16
1.3.4. A xenobiotikumok abszorpciója a bőrön keresztül	17
1.3.5. A xenobiotikumok disztribúciója	17
1.3.6. A xenobiotikumok akkumulációja a szervezetben	18
1.3.7. A xenobiotikumok exkréciója	19
1.3.8. A xenobiotikumok biotranszformációja	19
2. A környezeti expozíciók toxikus hatásainak megjelenési formái	20
2.1. Neurotoxikus hatás	20
2.2. Hepatotoxikus hatás	21
2.3. Nefrotoxikus hatás	21
2.4. Mielotoxikus hatás	21
2.5. Immuntoxikus hatás	21
2.6. Reprodukciós toxikus hatás	21
2.7. Teratogén hatás	21
2.8. Genotoxikus és mutagén hatások	22
2.9. Karcinogén hatás	22
3. A környezeti ártalmak megelőzésének lehetőségei	22
3.1. Primer prevenció	22
3.2. Kémiai biztonság	23
2. A vizek környezetegészségügyi hatásai	24
1. Az ivóvíz fogalma, szerepe és forrása	24
1.1. Az ivóvíz szerepe	24
1.2. A Föld vízkészlete, a víz körforgása	26
1.3. Az ivóvíz forrásai, a vízellátás	28
2. Az ivóvíz minőségi követelményei és az egészségügyi határértékek	33
3. A vízszennyeződés okozta ártalmak	36
3.1. Az ivóvíz kémiai szennyeződése és hatása az emberi egészségre	36
3.2. A víz természetes és mesterséges szennyeződésének következményei	38
3.3. Az ivóvíz járványügyi jelentősége	40
4. A hazai ivóvíz mennyiségi és minőségi jellemzői	41
4.1. Miskolci ivóvízjárvány, 2006	49
3. A levegő környezetegészségügyi hatásai	52
1. A levegőszennyezés és hatása az emberi szervezetre	52
1.1. Az atmoszféra felépítése és összetétele	52
1.2. A levegőszennyezők	53
1.2.1. Az elsődleges légszennyezők	55
1.2.2. A másodlagos légszennyezők:	57
1.2.3. Légszennyező anyagok kibocsátása az EU-ban	58

1.3. A szmog	59
1.4. A légszennyezés hatása az ember egészségére	61
1.5. A levegőszennyezés csökkentésére hozott intézkedések az EU-ban	65
2. A levegőszennyezés globális hatásai	66
2.1. Az ózonlyuk kialakulása és az ózonréteg elvékonyodásának hatása az ember egészségére	66
2.1.1. Az ózon keletkezése, bomlása és szerepe a sztratoszférában	66
2.2. A halogén tartalmú gázok és szerepük az ózonréteg elvékonyodásában	70
2.3. Az ózonréteg elvékonyodásának (az UV sugárzás) hatása az emberi egészségre	73
2.4. Az ózonréteg elvékonyodását okozó gázok kibocsátását korlátozó intézkedések és a hatások egyéni megelőzés	75
3. A klímaváltozás hatása az ember egészségére	76
3.1. Az üvegházhatás	76
3.2. Az üvegházhatást okozó gázok	77
3.3. A klímaváltozás jövőbeni kilátásai	79
3.4. A klímaváltozás jövőbeni kilátásai Magyarországon	79
3.5. A klímaváltozás hatásai	79
3.6. A klímaváltozás hatása az ember egészségére	80
3.7. A klímaváltozás hatásainak csökkentésére hozott intézkedések	81
4. Foglalkozásegészségtan	84
1. Munkaegészségtan	84
1.1. Munkaegészségtan	84
1.2. Történeti háttér	84
1.3. Jogi szabályozás	86
1.4. Szervezeti felépítés	86
2. Munkavégzés élettana	87
2.1. Munkahelyi környezet, megterhelés és igénybevétel	87
2.2. Fizikai és szellemi munka	88
2.3. Munkakalmasság	89
3. Foglalkozási megbetegedés	90
3.1. Foglalkozási megbetegedés	90
3.2. Foglalkozási betegségek csoportosítása	91
3.3. A munkabalesetek és foglalkozási megbetegedések gyakorisága	91
4. Munkahelyi egészségkárosító kockázat	93
5. Munkahelyi prevenció, munkavédelmi intézkedések	95
5.1. Munkahelyi kockázatbecslés	95
5.2. A munkahelyi prevenció legfontosabb formái	95
5.3. Monitorozás	96
5.4. Üzemhigiénés vizsgálat	97

Az ábrák listája

1.1. Xenobiotikumok bejutása a levegőbe	4
1.2. Mezőgazdasági szennyvizek	6
1.3. Kommunális szennyvizek	7
1.4. Illegálisan elhelyezett kommunális hulladék	8
1.5. Illegálisan elhelyezett kommunális hulladék	9
1.6. eq_2.png	11
1.7. eq_3.png	11
1.8. eq_4.png	11
1.9. eq_5.png	11
1.10. eq_6.png	12
1.11. eq_7.png	12
1.12. eq_8.png	12
1.13. eq_9.png	12
1.14. eq_10.png	12
1.15. eq_11.png	12
1.16. eq_12.png	12
1.17. <i>Néhány perzisztens szerves vegyület lebomlásának felezési ideje talajban</i>	14
1.18. <i>A poliklórozott bifenilek biomagnifikációja a Nagy Tavak élővilágában</i>	15
1.19. Egy gramm xenobiotikum eloszlása az emberi szervezet vizeitereiben	17
1.20. eq_1.png	20
2.1. A világ vízkivétele és fogyasztása az 1990-es évek végén	24
2.2. A világ ivóvíz és szennyvízelvezetés ellátottsága 1990-ben és 2000-ben	25
2.3. Biztonságos ivóvíz és szennyvízelvezetés hiánya	25
2.4. A Föld vízkészlete	26
2.5. A víz körforgása	27
2.6. A kitermelt víz eredet szerinti csoportosítása	28
2.7. Különböző típusú kutak	30
2.8. Csápos kút	30
2.9. Vert kutak	31
2.10. Tiszai cianid és nehézfém szennyeződés (2000)	37
2.11. Exxon Valdez katasztrófa (1989)	37
2.12. Mexikói öböl olajszennyeződése (2010)	38
2.13. Fluorosis	39
2.14. Arzénmérgezés	39
2.15. Ivóvíz minőségét javító programban megoldandó problémák	42
2.16. Magyarországi helyzet	43
2.17. Mikrobiológiailag kifogásolt ivóvíz-miták	43
2.18. Kémiai kifogásolt ivóvíz-miták	44
2.19. Egészségügyi határértékektől való eltérés	44
2.20. Fluorid helyzet	45
2.21. Területi térkép: bór, fluorid, nitrát	46
2.22. Methaemoglobinaemia	48
2.23. Jódhiányos területek	49
2.24. Miskolci ivóvízjárvány	49
3.1. A homoszféra tagolódása	52
3.2. Füst a Sakura-jima vulkánból, Japán	53
3.3. Antropgén (ipari) légszennyezés	53
3.4. A kipufogógázok átlagos összetétele	56
3.5. eq_13.png	56
3.6. eq_14.png	56
3.7. A katalizátor működése	56
3.8. eq_16.png	57
3.9. eq_17.png	57
3.10. eq_18.png	57
3.11. eq_19.png	58
3.12. A fő légszennyező anyagok és a nehézfémek kibocsátása (%) az EU27 országaiban	58

3.13. A korom és a kén-dioxid koncentrációjának, valamint a halálozás számának az alakulása a Londoni ködkatasztrófa idején (1952)	59
3.14. Beltéri légszennyezők	65
3.15. Az ózonlyuk kialakulása az Antarktisz felett (1980-2004)	66
3.16. Az ózonréteg vastagsága a tengerszint feletti magasság függvényében	67
3.17. Az ózon keletkezése és bomlása a sztratoszférában	68
3.18. Az ózon eloszlása a Föld légkörében	68
3.19. Az ózonréteg vastagsága a tengerszint feletti magasság függvényében és az UV abszorbeáló képessége	69
3.20. eq_21.png	71
3.21. eq_22.png	71
3.22. eq_23.png	71
3.23. eq_24.png	71
3.24. eq_25.png	71
3.25. eq_26.png	71
3.26. eq_27.png	71
3.27. eq_28.png	72
3.28. eq_29.png	72
3.29. eq_30.png	72
3.30. eq_31.png	72
3.31. eq_32.png	72
3.32. eq_33.png	72
3.33. eq_34.png	72
3.34. Basalioma	73
3.35. Melanoma_malignum	74
3.36. Az üvegházhatás kialakulása	76
3.37. Üvegházhatást okozó gázok koncentrációjának emelkedése	77
4.1. <i>A munkahelyi egészség és biztonság területei</i>	84
4.2. Bernardino Ramazzini: De morbis artificum diatriba, 1700	85
4.3. Izomműködés	88
4.4. <i>A foglalkozási ártalmak „jéghegye”</i>	92
4.5. Foglalkozási megbetegedések és fokozott expozíciós esetek Magyarországon (2002-2008) ...	92
4.6. <i>Munkabalesetek Magyarországon (2002-2008)</i>	92
4.7. <i>Halálos munkabalesetek Magyarországon (2002-2008)</i>	93
4.8. <i>Munkakörnyezeti expozíciós utak jelentősége</i>	94
4.9. <i>A kockázatbecslés folyamata</i>	95
4.10. <i>A munkahelyi expozíció következményeinek felmérése</i>	97

A táblázatok listája

2.1. vízminőségi jellemzők	35
2.2. Mikrobiológiai vízminőségi jellemzők	35
2.3. Tartályban forgalmazott vízre vonatkozó értékek	35
2.4. Kémiai vízminőségi jellemzők	35
2.5. Patogén kórokozók- Baktériumok	40
2.6. Patogén kórokozók- Vírusok-	41
2.7. Az ivóvíz-javító programban érintett települések és lakosok száma sz egyes régiókban	43
3.1. A légszennyező anyagok csoportosítása a WHO szerint	54
3.2. Az elsődleges légszennyező anyagok legfontosabb forrásai	55
3.3. A szuszpendált részecskék csoportosítása átmérő szerint	63

I. rész - Környezetegészségtani alapismeretek

Tartalom

1. Környezeti expozíciók	4
1. A környezeti expozíciók mértékét meghatározó tényezők és a környezeti eredetű egészségkárosodások kialakulásában szerepet játszó folyamatok	4
1.1. A xenobiotikumok emissziója, környezetbe jutásának módjai	4
1.1.1. A xenobiotikumok emissziója a levegőbe	4
1.1.2. A xenobiotikumok emissziója a felszíni vizekbe	6
1.1.3. A xenobiotikumok emissziója a talajba	8
1.2. A xenobiotikumok transzmissziója a környezetben	10
1.2.1. A xenobiotikumok transzmisszióját befolyásoló tényezők	10
1.2.2. A xenobiotikumok sorsa a levegőben	11
1.2.3. A xenobiotikumok sorsa a felszíni vizekben	12
1.2.4. A xenobiotikumok sorsa a talajban	13
1.2.5. A xenobiotikumok bejutása az élő szervezetekbe	14
1.2.6. A xenobiotikumok biokoncentrációja és biomagnifikációja	15
1.3. A xenobiotikumok bejutása az emberi szervezetbe	15
1.3.1. A xenobiotikumok abszorpciója	15
1.3.2. A xenobiotikumok abszorpciója a gyomor-bélrendszerből	16
1.3.3. A xenobiotikumok abszorpciója a tüdőből	16
1.3.4. A xenobiotikumok abszorpciója a bőrön keresztül	17
1.3.5. A xenobiotikumok disztribúciója	17
1.3.6. A xenobiotikumok akkumulációja a szervezetben	18
1.3.7. A xenobiotikumok exkréciója	19
1.3.8. A xenobiotikumok biotranszformációja	19
2. A környezeti expozíciók toxikus hatásainak megjelenési formái	20
2.1. Neurotoxikus hatás	20
2.2. Hepatotoxikus hatás	21
2.3. Nefrotoxikus hatás	21
2.4. Mielotoxikus hatás	21
2.5. Immuntoxikus hatás	21
2.6. Reprodukciós toxikus hatás	21
2.7. Teratogén hatás	21
2.8. Genotoxikus és mutagén hatások	22
2.9. Karcinogén hatás	22
3. A környezeti ártalmak megelőzésének lehetőségei	22
3.1. Primer prevenció	22
3.2. Kémiai biztonság	23
2. A vizek környezetegészségügyi hatásai	24
1. Az ivóvíz fogalma, szerepe és forrása	24
1.1. Az ivóvíz szerepe	24
1.2. A Föld vízkészlete, a víz körforgása	26
1.3. Az ivóvíz forrásai, a vízellátás	28
2. Az ivóvíz minőségi követelményei és az egészségügyi határértékek	33
3. A vízszennyeződés okozta ártalmak	36
3.1. Az ivóvíz kémiai szennyeződése és hatása az emberi egészségre	36
3.2. A víz természetes és mesterséges szennyeződésének következményei	38
3.3. Az ivóvíz járványügyi jelentősége	40
4. A hazai ivóvíz mennyiségi és minőségi jellemzői	41
4.1. Miskolci ivóvízjárvány, 2006	49
3. A levegő környezetegészségügyi hatásai	52
1. A levegőszennyezés és hatása az emberi szervezetre	52
1.1. Az atmoszféra felépítése és összetétele	52
1.2. A levegőszennyezők	53
1.2.1. Az elsődleges légszennyezők	55
1.2.2. A másodlagos légszennyezők:	57
1.2.3. Légszennyező anyagok kibocsátása az EU-ban	58
1.3. A szmog	59

1.4. A légszennyezés hatása az ember egészségére	61
1.5. A levegőszennyezés csökkentésére hozott intézkedések az EU-ban	65
2. A levegőszennyezés globális hatásai	66
2.1. Az ózonlyuk kialakulása és az ózonréteg elvékonyodásának hatása az ember egészségére 66	
2.1.1. Az ózon keletkezése, bomlása és szerepe a sztratoszférában	66
2.2. A halogén tartalmú gázok és szerepük az ózonréteg elvékonyodásában	70
2.3. Az ózonréteg elvékonyodásának (az UV sugárzás) hatása az emberi egészségre ..	73
2.4. Az ózonréteg elvékonyodását okozó gázok kibocsátását korlátozó intézkedések és a hatások egyéni megelőzés	75
3. A klímaváltozás hatása az ember egészségére	76
3.1. Az üvegházhatás	76
3.2. Az üvegházhatást okozó gázok	77
3.3. A klímaváltozás jövőbeni kilátásai	79
3.4. A klímaváltozás jövőbeni kilátásai Magyarországon	79
3.5. A klímaváltozás hatásai	79
3.6. A klímaváltozás hatása az ember egészségére	80
3.7. A klímaváltozás hatásainak csökkentésére hozott intézkedések	81
4. Foglalkozásegészségügy	84
1. Munkaegészségügy	84
1.1. Munkaegészségügy	84
1.2. Történeti háttér	84
1.3. Jogi szabályozás	86
1.4. Szervezeti felépítés	86
2. Munkavégzés élettana	87
2.1. Munkahelyi környezet, megterhelés és igénybevétel	87
2.2. Fizikai és szellemi munka	88
2.3. Munkakalmasság	89
3. Foglalkozási megbetegedés	90
3.1. Foglalkozási megbetegedés	90
3.2. Foglalkozási betegségek csoportosítása	91
3.3. A munkabalesetek és foglalkozási megbetegedések gyakorisága	91
4. Munkahelyi egészségkárosító kockázat	93
5. Munkahelyi prevenció, munkavédelmi intézkedések	95
5.1. Munkahelyi kockázatbecslés	95
5.2. A munkahelyi prevenció legfontosabb formái	95
5.3. Monitorozás	96
5.4. Üzemhygiénés vizsgálat	97

1. fejezet - Környezeti expozíciók

1. A környezeti expozíciók mértékét meghatározó tényezők és a környezeti eredetű egészségkárosodások kialakulásában szerepet játszó folyamatok

1.1. A xenobiotikumok emissziója, környezetbe jutásának módjai

Az emberi tevékenység által a környezetbe jutott xenobiotikumok élő szervezetekre gyakorolt toxikus hatásainak érvényesülésében számos egymást követő folyamat játszik szerepet. Ezek közül az első az időegység alatt a környezetbe került toxikus anyag mennyiség, vagyis az emisszió, melynek során a különböző szennyező forrásokból a kémiai anyagok a levegőbe, a felszíni vizekbe és a talajba, azaz a három alapvető környezeti elembe, vagy más néven a környezeti mátrixokba kerülnek. Ebben a fejezetben azt tárgyaljuk, hogy az expozíció mértéke és gyakorisága alapján a környezet-egészségtani szempontból legfontosabb vegyi anyagok miként jutnak a környezeti mátrixokba.

1.1.1. A xenobiotikumok emissziója a levegőbe

A légkör alsó rétegét, a troposzférát szennyező anyagok természetes úton és az emberi tevékenység következtében jutnak a levegőbe. Természetes szennyező forrásokból származik a kozmikus por, a szél által felkavart és tovasodort talajpor, a vulkáni kitörések gázai, az erdő és szavannatüzek égéstermékai, valamint az élő, és elhalt szervezetek gáz halmazállapotú bomlástermékai. Ezek az anyagok okozzák a légkör globális háttérszennyezettségét.

Az antropogén szennyező források közül az emisszió mértéke alapján a legjelentősebb a közúti, vízi és légi közlekedés, mert a statisztikai adatok szerint a belső égésű motorok kipufogógázai felelősek a mesterséges forrásokból eredő összes szennyeződés kb. 50%-áért. Az ipar részesedése a légszennyezők emissziójából országoként változó, általában 20-30% között változik. A különböző ipari üzemek, a fosszilis tüzelőanyagokat (szén, kőolaj, földgáz) felhasználó hőerőművek, a fémfeldolgozók, az olajfinomítók, a kokszolók, a vas- és cementgyárak, a vegyipari létesítmények kéményeiből a legkülönbözőbb gáz és szilárd halmazállapotú xenobiotikumok juthatnak a levegőbe.

Az emberi tevékenységből származó emisszió maradék 20-30%-a a háztartási tüzelésből, valamint a kommunális, a mezőgazdasági és az ipari hulladékok, továbbá a veszélyes hulladékok égetéséből ered.

Jelentősebb épülettüzek, ipari katasztrófák és nukleáris balesetek során egy-egy vegyület, vagy vegyületcsoport, illetve radioaktív izotópok nagy mennyiségben kerülhetnek a troposzférába.

Az említett forrásokból sokféle xenobiotikum fordulhat elő a levegőben, környezet-egészségügyi szempontból azonban a légszennyezés megközelítőleg 90%-áért felelős a szénmonoxid, a kén-dioxid, a nitrogén-oxidok, a levegőben szuszpendált részecskék, az ózon és az ólom a legfontosabbak. Emellett jelentős szennyezők még a fluor és vegyületei, az illékony szerves vegyületek [volatile organic compounds, (VOC-k)] és a policiklusos aromás szénhidrogének [polycyclic aromatic hydrocarbons, (PAH-k)].

1.1. ábra - Xenobiotikumok bejutása a levegőbe



Szén-monoxid

Szén-monoxid keletkezik minden szerves anyag tökéletes égésekor. Fő forrásai a háztartások, a távfűtőművek, a hőerőművek, a vegyipari üzemek kéményei. A fejlett motorizációjú országokban a szén-monoxid emisszió megközelítőleg kétharmada a belső égésű motorokból származik.

Kén-dioxid

A kén-dioxid természetes szennyező forrásai a vulkánok, melyek kitörésekor nagy mennyiségben jut a levegőbe. Ennél azonban sokkal több kén-dioxid kerül a troposzférába a fosszilis tüzelőanyagok égése során, mivel azok változó arányban tartalmaznak szerves és szervetlen kénvegyületeket. Általában a szén és a kőolaj kéntartalma magasabb, mint a földgázé. Jelentősebb forrásai a szilikát-, a mész-, a papír-, a cementipari üzemek, valamint a vas- és fémkohászati üzemek, a kénsavgyárak, a szén- és olajtüzelésű hőerőművek kéményei.

Nitrogén-oxidok

A fosszilis tüzelőanyagokban nemcsak kén-, hanem nitrogénvegyületek is találhatóak, ezért égésük során nitrogén-oxidok [(NO)_x] is képződnek. A folyamatban többféle nitrogéntartalmú gáz keletkezik, közülük a legfontosabbak a nitrogén-monoxid (NO), dinitrogén-oxid (N₂O) és a nitrogén-dioxid (NO₂). Emissziójuk forrásai a hőerőművek, a műtrágyagyárak a robbanóanyag-ipari üzemek és a háztartások kéményei. Ezen kívül becslések szerint a nitrogén-oxidok emissziójának 50%-a a szárazföldi, a vízi és a légi közlekedési eszközök motorjaiból, illetve hajtóműveiből ered. Itt szükséges megjegyezni, hogy NO-ból keletkezik a legfontosabb másodlagos légszennyező, az ózon.

Ólom

Az 1980-as évek közepéig a motorbenzinhez adott szerves ólomvegyületek (ólom-teracetil, ólom-tetrametil) miatt igen jelentős volt a benzinüzemű gépjárművekből származó ólom emissziója. Az ólommentes benzin bevezetésével azonban világszerte nagymértékben csökkent a troposzférába került ólom mennyisége. De kis koncentrációban napjainkban is kimutatható a nagyobb városok levegőjében, mivel az ólom természetes szennyezőként előfordul a kőolajban.

Levegőben szuszpendált részecskék

Szuszpendált részecskéknek nevezzük a levegőbe kibocsátott szilárd és folyadék halmazállapotú mikrorészecskék keverékét. A részecskék méretükben és kémiai összetételükben jelentősen különböznek. A levegőbe egyaránt kerülhetnek természetes (vulkánok, erdőtüzek), és mesterséges (belső égésű motorok, minden olyan létesítmény, ahol fosszilis tüzelőanyagot használnak, fém- ipari üzemek) szennyező forrásokból. A méretüket az aerodinamikai átmérővel (da) jellemezzük. (Az aerodinamikai átmérő nem azonos a geometriai átmérővel, mivel az a részecske geometriai felépítésétől és sűrűségétől függ.) Környezet-egészségügyi szempontból három részecskefrakciónak, a durva (da: kisebb vagy egyenlő 10 µm-rel és nagyobb 2,5 µm-nél; jele: PM-10; a PM a „particulate matter” angol szavak kezdő betűire, a szám az aerodinamikai átmérőre utal), a finom (da: kisebb vagy egyenlő 2,5 µm –rel és nagyobb, mint 0,1 µm; jele: PM-2,5) és az ultrafinom (da: kisebb vagy egyenlő 0,1 µm-rel; jele PM-0,1) részecskéknek van. A durva részecskék emissziója főleg természetes szennyező forrásokból történik, és a talajról származó port, növényi polleneket, gomba spórákat és bakteriális eredetű endotoxinok aeroszoljait tartalmazák. A finom és ultrafinom részecskék a fosszilis tüzelőanyagok égése

során keletkeznek. Szénből álló magjuk felületén különböző szerves vegyületek kötődhetnek meg. Közülük a legjelentősebbek a szerves anyagok tökéletlen égésekor képződő policiklusos aromás szénhidrogének. Ugyancsak adszorbeálódhatnak a részecskékhez a fém- és az üvegipari, valamint az elektrotechnikai üzemekből a levegőbe jutó vas, mangán, cink, réz, nikkel, vanádium, ólom, kadmium és higany. Ezen kívül ebben a frakciókban található még a másodlagos szulfát és nitrát részecskék. Valamennyi részecskefrakció közül az ultrafinomak tartalmazzák a legtöbb, különösen toxikus PAH-ket.

Fluor és vegyületei

Gáz halmazállapotú fluor és hidrogén-fluorid juthat a troposzférába a szén égésekor annak fluortartalmától függően az alumínium- az üveg-, a porcelánipari üzemek és a műtrágyagyárak kéményeiből. Ezen kívül különböző fluoridok a levegőben szuszpendált részecskékhez is adszorbeálódhatnak.

Illékony szerves vegyületek

Az illékony szerves vegyületek tekintélyes része a közlekedési eszközök üzemanyagainak tökéletlen égése során a kipufogógázzal, valamint párologással gőzök formájában kerülnek a levegőbe. Emissziójuk jelentős még a műanyag- és műgyantagyárakból. Az VOC-k csoportjába különböző telített (metán, etán) és telítetlen (etilén) szénhidrogének, aldehidek (formaldehid), ketonok (aceton), szerves savak (ecetsav) és aromás szénhidrogének (benzol, toluol, xilol, etil-benzol) tartoznak. Az VOC-k fontos szerepet játszanak a másodlagos légszennyezők képződésében.

1.1.2. A xenobiotikumok emissziója a felszíni vizekbe

A felszíni vizek eredetileg is tartalmaznak elsősorban geológiai eredetű természetes szennyezőket, de a xenobiotikumok legnagyobb része antropogén forrásokból, az ipari, a mezőgazdasági, a kommunális szennyvizekkel, illetve a szilárd hulladékokból jut közvetlenül a felszíni vizekbe.

A világszerte, főleg a fejlett ipari országokban megtett környezetvédelmi intézkedések hatására várhatóan egyre kevesebb tisztítatlan szennyvizet ürítenek a felszíni vizekbe. A magas tisztítási költségek miatt azonban még a legfejlettebb államokban is csak a szükséges, az adott országban érvényes jogszabályok és szabványok által előírt mértékig végzik el a különböző eredetű szennyvizek tisztítását. Bár a szennyvizek (elsősorban a kommunális és mezőgazdasági) számos mikroorganizmust tartalmazhatnak, a továbbiakban a velük a legnagyobb mennyiségben, és a leggyakrabban előforduló kémiai szennyezőket, és forrásaikat tekintjük át.

Ipari szennyvizek

Az ipari tevékenységtől függően sokféle szerves és szervetlen vegyület kerülhet a felszíni vizekbe. A vegyipari folyamatok során keletkezett szennyvizekben jellemző módon, és változó koncentrációban található benzol, toluol, xilol, triklór-etán, tetraklór-etilén, valamint egyéb szerves oldószerek okozhatnak szennyeződést. A fémipari üzemek és fémfeldolgozók szennyvizei fluoridokkal, kromátokkal, cianidokkal, továbbá nehézfémekkel, köztük ólommal, higannyal, kadmiummal, nikkellel, kobalttal és rézzel szennyezhetik a felszíni vizeket. A külszíni bányüzemek és színesféműsítők szennyveiből vas, higany és cianidok juthatnak a felszíni vizekbe. A kátrány- és olajfeldolgozók szennyveiből fenolok és policiklusos aromás szénhidrogének, a növényvédő szereket gyártó üzemekből peszticidek, a papírgyárakból klór-fenonolok okozhatnak szennyeződést.

Mezőgazdasági szennyvizek

A mezőgazdasági művelésű területekről a talaj felszínéről esőzések alkalmával a felszíni vizekbe nitrogén- és foszfortartalmú műtrágyák, növényvédő szerek mosódhatnak be. Ökológiai szempontból különösen veszélyesek az említett műtrágyák, mivel azok nagy mennyiségben a vízben élő kék és zöld algák elszaporodását, ezáltal a felszíni vizek eutrofizációját idézhetik elő. Az eutrofizáció lényeges hatást gyakorolhat a felszíni vizek élővilágára, pl. halpusztulás idézhet elő. Emellett a mezőgazdaságban alkalmazott szerves trágyák lebomlása során az ammóniából oxidációval képződő nitritek és nitrátok, valamint a növényvédő szerek szennyezhetik a talajvizet.

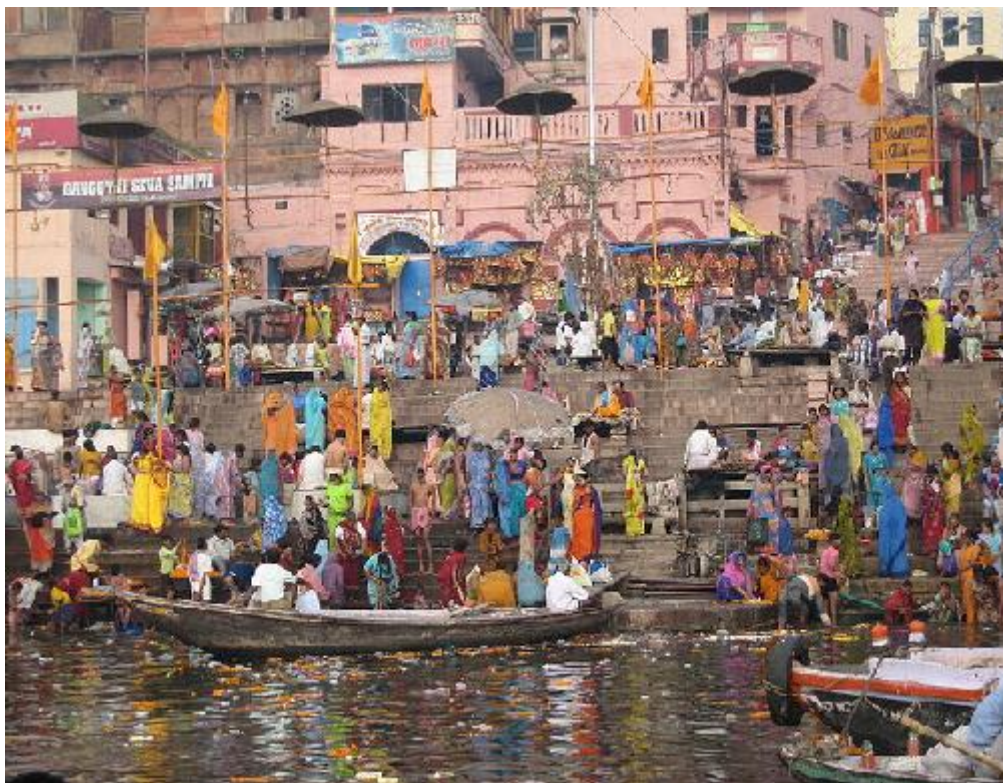
1.2. ábra - Mezőgazdasági szennyvizek



Kommunális szennyvizek

A tisztítatlan és részben tisztított kommunális szennyvizekkel kloridok, szulfátok, a háztartási mosószerekben található foszfátok és anionaktív detergensek kerülhetnek a felszíni vizekbe. Emellett a bennük lévő nagy mennyiségű szerves anyag lebomlása során keletkező nitrogénvegyületek és a foszfátok a mezőgazdasági szennyvizekhez hasonlóan eutrofizációt okozhatnak. Ma már bizonyított, hogy a kommunális szennyvizek tartalmaznak a női ösztrogén hormonokhoz hasonló kémiai szerkezetű vegyületeket, melyek szennyezhetik a felszíni vizeket. Közülük a legismertebbek az alkil-fenolok, a bisz-fenol-A, az alkil fenol etoxilátok. Ugyancsak kimutathatók a háztartási szennyvizekben a tömegesen használt gyógyszerek, elsősorban a fájdalomcsillapítók és lebomlási termékeik, valamint több, a fogamzásgátlókban használatos természetes és szintetikus hormon is.

1.3. ábra - Kommunális szennyvizek



A felszíni vizek egyéb szennyező forrásai

Olajkutak közelében, olajvezetékek törésekor, tartályhajók töltésekor és ürítésekor, hajóbalesetek alkalmával a kőolaj és származékai, továbbá az azokban előforduló policiklusos aromás szénhidrogének idézhetnek elő szennyeződést. Üzemzavar, vagy nukleáris balesetek esetén radioaktív izotópok juthatnak az atomerőművekből a felszíni vizekbe. Környezet-egészségügyi szempontból a legveszélyesebbek a stroncium 90-es, a jód 131-es és a cézium 137-es tömegszámú izotópjai. Az eutrofizáció során elszaporodott kék és zöld algákból az általuk termelt toxinok koncentrációja állóvizekben megnövekedhet. A legjelentősebb alga toxinok a mikrocisztin, a nodularin, a saxitoxin, a különböző anatoxinok és lipopoliszacharidok.

1.1.3. A xenobiotikumok emissziója a talajba

A talaj legfontosabb szennyezői az oda illegálisan, vagy nem megfelelő módon elhelyezett szilárd kommunális, ipari és mezőgazdasági nem veszélyes, valamint veszélyes hulladékokból, és azok lerakó helyeiről kerülhetnek ki. Az ipari nem veszélyes hulladékok legjelentősebb kibocsátói a bányászat, az elektromos energia-, az építőanyag-, a textil-, a papír- és az élelmiszeripar, míg a veszélyeseké a vegy-, a fém-, a gép-, valamint az élelmiszeripar. A szervesetlen szennyezők közül az alumíniumkohók környékén a talaj fluorid-, galvanizáló üzemek mellett a kromát- és a cianid-, kohók körzetében a nehéz- és színesfém-, akkumulátorgyáraknál az ólomtartalma növekedhet meg.

1.4. ábra - Illegálisan elhelyezett kommunális hulladék



A mezőgazdasági termelés során keletkezett nagy mennyiségű nem veszélyes hulladékok növényi és állati eredetű szerves anyagokat, a veszélyesek pedig főleg növényvédő szereket, és azok szennyezett csomagolóanyagait tartalmazzák. Ezen kívül a mezőgazdaságban széles körben alkalmazott növényvédő szerek szennyezik a talajt, a nitrogéntartalmú műtrágyák növelik annak nitrit- és nitrát tartalmát. A foszfáttartalmú műtrágyák fokozott használata miatt a talaj kadmium koncentrációja emelkedhet meg, mivel az azok alapanyagául szolgáló kőzetekben szennyezőként előfordul a kadmium. Az egyes országokban a talajjavításra és trágyázásra alkalmazott szennyvíziszapból nehézfémek, nitritek, nitrátok, foszfátok és detergensok kerülhetnek a talajba.

1.5. ábra - Illegálisan elhelyezett kommunális hulladék



Olajipari üzemekből, földbe süllyesztett olaj- és benzintartályokból, eltört olajvezetékekből kőolajszármazékok és fenolok, a gondatlanul a föld felszíne alatt elhelyezett radioaktív hulladékokból sugárzó izotópok juthatnak a talajba.

1.2. A xenobiotikumok transzmissziója a környezetben

Az emissziót követően a környezetbe került xenobiotikumok a szennyező forrásoktól távoli, akár országhatárokon túli helyekre is eljuthatnak. Mozgásuk történhet a környezeti mátrixokon belül, ezeket intrafázisú, míg a mátrixok közötti anyagátmeneteket interfázisú transzportfolyamatoknak nevezzük. A vegyi anyagok a transzportjuk során a fizikai és a kémiai tulajdonságaik alapján különböző arányban oszlanak meg a mátrixokban, ahol kémiai és biokémiai reakciók következtében átalakulhatnak, majd eredeti vagy megváltozott formájukban a növényi és az állati szervezetekbe jutva felhalmozódhatnak. Így a xenobiotikumok sorsát és megoszlását a környezetben a mátrixokban végbemenő intra-, illetve a mátrixok között bekövetkező interfázisú transzportfolyamatok és átalakulások határozzák meg. Ezek összességét transzmisszióknak nevezzük.

A transzmisszió során lezajló fizikai (párolgás, oldódás, ülepedés), kémiai (oxidáció, redukció, hidrolízis, fotokémiai reakciók), és biokémiai (mikroorganizmusok általi lebontás, átalakítás) változások hatására nemcsak a környezetszennyezők intrafázisú koncentrációja, hanem fizikai és kémiai tulajdonságai, valamint toxicitása is lényegesen változhat. Mivel a transzmisszió befolyásolja az egészségkárosító hatások kialakulását, ebben a fejezetben azt ismertetjük, hogy mi lesz a vegyi anyagok sorsa a környezeti mátrixokban.

1.2.1. A xenobiotikumok transzmisszióját befolyásoló tényezők

Az intra- és interfázisú transzportot egyaránt befolyásolják a xenobiotikumok fizikai és kémiai tulajdonságai, valamint a természeti erők, meteorológiai és egyéb környezeti tényezők. A legfontosabb fizikokémiai sajátságok a kérdéses molekula tömege, polaritása, illékonyága, oldékonysága és stabilitása. A meteorológiai tényezők közül a levegő hőmérséklete, páratartalma, a légnyomás, a szél sebessége és iránya, a napsugárzás intenzitása, az egyéb környezeti változókból a folyóvíz áramlási sebessége, az áramlatok iránya és sebessége az állóvizekben, a víz pH-ja, valamint a talaj összetétele és szerkezete játssza a döntő szerepet.

Nyugalomban lévő fázisokban, a toxikus anyagok transzportja diffúzióval, a közegben fennálló koncentráció gradiens hatására lassan megy végbe. Mozgó fázisokban, a levegőben és a felszíni vizekben kialakuló áramlatok azonban gyorsabban, és távolabbra szállítják a xenobiotikumokat. Egy kémiai vegyület mátrixban való

tartózkodásának időtartama függ a molekula stabilitásától. A stabil szerkezetű molekulákból álló anyagok általában a szennyező forrástól messzebbre juthatnak, és csak nagyon lassan, vagy egyáltalán nem bomlanak le. Ezért a környezeti mátrixokban évtizedekig fennmaradhatnak, és különböző arányban felhalmozódhatnak. Ezek az úgynevezett perzisztens vegyületek, melyek környezet-egészségtani szempontból különös figyelmet érdemelnek, mivel hosszú távon veszélyeztetik a környezetet és az emberi egészséget.

1.2.2. A xenobiotikumok sorsa a levegőben

A levegőbe főleg párolgással, ipari és lakossági szennyező források égéstermékével jutnak toxikus anyagok. Ezek az atmoszférában gázok, gőzök, mikrométernyi aerodinamikai átmérőjű szilárd részecskék és aeroszolok formájában vannak jelen. Az emisszió helyétől diffúzióval, a légtömegek, vízszintes irányú mozgásával (advekción), vagy a turbulens légáramlatokkal függőleges irányba gyorsan távolodnak. Nyugalmi állapotú levegőben, teljes szélcsend esetén a diffúzió dominál. A diffúzió sebessége függ a kérdéses légszennyező molekula tömegétől, a diffúziós állandójától, a levegő hőmérsékletétől és viszkozitásától, a kérdéses és az atmoszférában egyidejűleg jelenlévő molekulák közötti van der Waals kölcsönhatásoktól, valamint az adott xenobiotikum koncentráció gradiensétől. Advekción esetén a légszennyezők a szennyező forrástól gyorsan távolodnak, előrehaladásuk és koncentrációjuk függ a szél sebességétől és irányától.

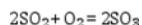
A troposzférában kialakuló turbulens áramlatokkal a légszennyezők különböző magasságig juthatnak el. A troposzféra alsó, a Föld felszínétől számított 4 km-es rétegben gyakoribban a turbulenciák, ezért ebben a zónában a xenobiotikumok nagyobb valószínűséggel térnek vissza a talajhoz közeli levegőbe. Azok a légszennyezők, melyek tovább érnek, a Föld körül keringő légtömegekkel még magasabbra, akár a sztratoszférába is eljuthatnak. Abban az esetben, ha bekerülnek a troposzféra globális fel- és leszálló légáramlataiba, kontinensnyi távolságot is megtehetnek.

Az előbbiekből következik, hogy kedvező körülmények között a xenobiotikumok koncentrációja a levegőben a szennyező forrástól mért távolsággal általában fokozatosan csökken. Speciális meteorológiai és topográfiai feltételek mellett azonban a talajhoz közeli légrétegben feldúsulhatnak, ami súlyos légszennyezettségi helyzet, a szmog kialakulásához vezethet. A szmog létrejöttében döntő szerepet játszik a hőmérsékleti inverzió, melyben a levegő hőmérséklete, a normális állapottal ellentétben felfelé haladva növekszik. Jellemzően akkor következik be, ha az éjszaka folyamán a talaj fölötti légréteg lehűlésekor köd képződik. Másnap reggel a napsugarak nem tudnak kellőképpen áthatolni a ködön, ezért a talajhoz közeli levegő nem képes felmelegedni. Szélcsend esetén ez az állapot tartósan fennmarad, az alsó hideg és a felső meleg levegő nem keveredik egymással. Így a különböző forrásokból kibocsátott légszennyezők koncentrációja a talajhoz közeli légrétegben lényegesen megemelkedhet.

A szennyező forrásokból közvetlenül a levegőbe kibocsátott elsődleges légszennyezőkből kémiai, fizikokémiai és fotokémiai reakciók során másodlagos légszennyezők keletkezhetnek. A kén-dioxid kén-trioxidá oxidálódhat. Mindkét gáz a levegőben lévő vízcseppecskékben oldódva kénsavat, illetve kénsavat tartalmazó aeroszolókat képez. A kénsav és az atmoszférában előforduló ammónia reakciójában másodlagos szulfát részecskék jönnek létre.

Ezeket a folyamatokat írják le az alábbi kémiai egyenletek.

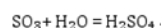
1.6. ábra - eq_2.png



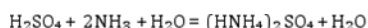
1.7. ábra - eq_3.png



1.8. ábra - eq_4.png

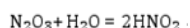


1.9. ábra - eq_5.png

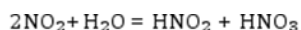


Hasonló módon a nitrogén-oxidokból szintén savas aeroszolok és másodlagos nitrát részecskék alakulnak ki a következő módon:

1.10. ábra - eq_6.png



1.11. ábra - eq_7.png

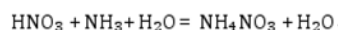


1.12. ábra - eq_8.png

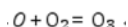


A nitrogén-dioxidból fotokémiai úton a Nap ultraibolya sugárzásának hatására nitrogén-monoxid és oxigén gyök keletkezik, majd a gyök molekuláris oxigénnel ütközve ózont képez. Az ózon azonban a nitrogén-monoxiddal reagálva ismét nitrogén-dioxidot hoz létre:

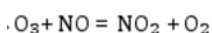
1.13. ábra - eq_9.png



1.14. ábra - eq_10.png

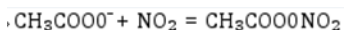


1.15. ábra - eq_11.png



A levegőbe jutott illékony szerves vegyületekből is keletkeznek másodlagos légszennyezők fotokémiai reakciókkal. Ezek közül a legismertebb az acetilperoxi gyökből és a nitrogén-dioxidból keletkező acetilperoxi-nitrát:

1.16. ábra - eq_12.png



A xenobiotikumok a levegőből interfázisú transzportfolyamatokkal más környezeti mátrixokba kerülhetnek. A fosszilis tüzelőanyagok égéstermékeiből, a szén-, a kén- és a nitrogén-oxidokból képződött savas aeroszolok kicsapódva savas esők formájában, a szilárd részecskék az esőcseppekkel jutnak a felszíni vizekbe és a talajba. A levegőből a gázok és gőzök abszorpcióval vizes fázisokba, míg adszorpcióval a talajra kerülnek. A szilárd részecskék ülepedéssel a felszíni vizek és a talaj felszínére, illetve a növények felületére rakódnak le.

1.2.3. A xenobiotikumok sorsa a felszíni vizekben

Az ipari, mezőgazdasági és kommunális szennyvizekkel számos xenobiotikum kerülhet a folyókba, tavakba és a tengerekbe, de azok a vízfelületen szétterülő olajszenyveződésekből is kioldódhatnak. A poláros, hidrofíll molekulák könnyen feloldódnak, a vízzel nem, vagy csak nagyon kismértékben elegyedő folyadékok emulziót, míg a szilárd részecskék szuszpenziót képeznek. A hidrofób molekulákból álló folyadékok, valamint a szilárd részecskék sűrűségüktől függően a víz felszínén maradnak, vagy leülepednek. Emellett a kémiai anyagok a felszíni vizekben természetes körülmények között is jelenlévő szuszpendált részecskék felületén adszorbeálódhatnak, majd koagulációval az üledékbe juthatnak, és feldúsulhatnak. Az adszorpció történhet az üledékek felszínén is.

Állóvizekben a xenobiotikumok transzportjának egyik módja a diffúzió, de abban fontos szerepet játszanak a tavakban, tengerekben és óceánokban kialakuló áramlások is. Az Atlanti- és a Csendes-óceánok vizének felső rétegében, az uralkodó szelek hatására létrejött fő ciklikus áramlások a szennyezőket képesek átvinni az egyik kontinensről a másikra. A transzport iránya az Északi-félgömbön az óramutató mozgásával azonos, a Délin

pedig azzal ellentétes. A toxikus anyagokat azonban nemcsak ezek, hanem a le- és felfelé irányuló mélytengeri áramlások is szállíthatják.

Folyókban a xenobiotikumok a szennyezés helyétől a víz áramlásával távolodnak. A megtett távolságuk függ a folyóvíz áramlási sebességétől, a kérdéses molekula vízben való oldékonyságától és stabilitásától. A szennyező forrástól azok a vegyi anyagok jutnak a legmesszebbre, melyek jól oldódnak vízben és stabil kémiai szerkezettel rendelkeznek. Vízszintes irányú transzportjuk mértéke arányos a víz áramlási sebességével, míg a felhígulásukban és a függőleges, a folyómeder felé irányuló mozgásukban domináns szerepet játszanak a turbulens áramlások. Általában a toxikus anyagok koncentrációja a szennyezéstől mért távolsággal folyamatosan csökken. De abban az esetben, ha a víz áramlási sebessége csökken, bizonyos szakaszokon ismét feldúsulhatnak. Jellemző példák erre a tengerekbe ömlő folyók torkolatai, ahol a meder kiszélesedése miatt jelentősen lelassul az áramlás. Ilyenkor a vízben szuszpendált részecskék, és a korábban oldatban lévő fémvegyületek kicsapódva gyorsan és nagy mennyiségben ülepednek le. Később, ha a szennyeződés megszűnik, az üledékben felhalmozódott xenobiotikumok kioldódhatnak, és rövidebb vagy hosszabb ideig újra vizes fázisba kerülhetnek.

Az oldott fémvegyületek azonban nemcsak a folyótorkolatokban, hanem ott is kicsapódhatnak, ahol a víz pH-ja megváltozik. Így például a fémeket tartalmazó szennyvizek általában savasak, pH-juk alacsony. Ha tiszta folyóvízzel keverednek, az elegy pH-ja megnő, ami a fémvegyületek kicsapódását, majd leülepedését idézi elő.

A folyók, tavak és tengerek üledékeibe jutott xenobiotikumok transzmisszióját bonyolult fizikai, kémiai és biokémiai folyamatok határozzák meg. A toxikus anyagok kémiai és biokémiai transzformációját döntően befolyásolja a víz és az üledék oxigénkoncentrációja. Általában minél mélyebben helyezkedik el az üledék, és minél lassúbb a fölötte lévő víz áramlása, annál kevesebb oxigént tartalmaz. Ezért a víz felszínéhez közeli üledékekben jellemzően oxidatív (aerob), míg a mély tavak és tengerek alján redukzív (anaerob) átalakulások mennek végbe. Viszonylag jól ismert a kétszeres pozitív töltésű fémionok és a szerves vegyületek sorsa anaerob körülmények között.

A divalens kationok közül a kadmium az üledékekben lévő szulfidokkal reagálva kadmium-szulfid formájában csapódik ki és kötődik meg. Ameddig a reakcióképes szulfidok mennyisége meghaladja a kadmiumét, addig az üledékekkel érintkező és a felette lévő vízrétegben a fémion nem mutatható ki. Ugyanez a folyamat játszódik le a nikkell-, a cink-, az ólom-, a réz-, a higanyionok, és valószínűleg a króm-, az arzén-, valamint az ezüstionok esetében is. Másrészt az üledékekhez gyengébben kötődő fémionokat az erősebben kötődők képesek leszorítani, például a réz a kadmiumot. Az üledékekben élő anaerob baktériumok képesek átalakítani a szerves fémvegyületeket szervesekké. Az egyik legismertebb ilyen folyamat a szerves higanyvegyületek biokémiai transzformációja mono-, illetve dimetil-higannyá.

A szerves vegyületek az üledékek alkotó részecskék felületén adszorbeálódhatnak. A kötődés erőssége, és a megoszlásuk függ az oldékonyságuktól, melyet a víz-oktanol megoszlási hányadossal (K_{ov}) szoktak jellemezni:

$K_{ov} = C_o/C_v$, ahol C_o a kérdéses xenobiotikum egyensúlyi koncentrációja a vízzel nem elegyedő oktanolos fázisban, C_v a kérdéses xenobiotikum egyensúlyi koncentrációja a vizes fázisban

Az apoláros, stabil kémiai szerkezetű molekulákból álló szerves vegyületek vízben rosszul oldódnak, ezért a K_{ov} értékük nagy. Ezeknek legnagyobb része erősen kötődik az üledék részecskék felszínéhez, míg a kisebbik hányaduk oldatban marad. Bizonyos idő után egyensúlyi megoszlás alakul ki az üledékhez kötött, és a vízben oldott xenobiotikum között. Azok a toxikus anyagok, melyeknek kicsi a K_{ov} értéke, nem, vagy csak korlátozott mértékben adszorbeálódnak. Az oldatban maradt vegyi anyagok hidrolízissel, oxidációval, a víz felső rétegében fotolízissel, valamint mikroorganizmusok közreműködésével lebomolhatnak, illetve illékonyságuktól függően párolgással a levegőbe juthatnak.

1.2.4. A xenobiotikumok sorsa a talajban

Az ipari, bányászati és mezőgazdasági tevékenység következtében a talajba jutott xenobiotikumok, és a levegőből kiülepedett szilárd részecskék a szennyeződés helyén lerakódnak. Ezt követően a talajszemcsék felületén különböző arányban adszorbeálódhatnak és oldódhatnak a talaj pórusait megtöltő vízben. Megoszlásuk a szilárd és folyadék fázisok között függ a molekulák K_{ov} értékétől, kémiai szerkezetétől, töltésétől, a szemcsék adszorpciós képességétől, valamint a talaj összetételétől, pH-jától és nedvességtartalmától. Hasonlóan a felszíni vizek üledékeihez, a nagy K_{ov} -sal rendelkező toxikus anyagok erősebben, míg a kis K_{ov} -sal bírók gyengébben kötődnek a talajszemcsékhez. Abban az esetben, ha megváltozik a talajvíz összetétele és pH-ja, akkor a szemcsékről a xenobiotikumok deszorpciója következhet be (jellemző példák erre a fémvegyületek). Az

oldatban maradt szennyezők transzportja diffúzióval és a pórusok közötti víz áramlásával megy végbe, a szállított mennyiségük arányos a pórusvíz áramlási sebességével. Könnyen mélyebbre jutnak és szennyezhetik a talajvizet. Másrészt a hidrophil szerves vegyületeket a talajban élő mikroorganizmusok viszonylag gyorsan lebontják. A biodegradáció során általában nem mérgező anyagok képződnek, de a transzformáció még toxikusabb terméket is eredményezhet; például a diklórdifenil-triklóretán (DDT) átalakulása diklór-diferiletánná (DDE). A szerves vegyületek a talajban azonban nemcsak biokémiai folyamatokkal, hanem kémiai úton, hidrolízissel és oxidációval is degradálódhatnak, illetve izomerizálódhatnak. Az izomerizáció során szintén keletkezhet az eredeténél toxikusabb molekula. Tipikus példája ennek az egyik rovarirtó szer, a malation izomerizációja izomalationná. A talaj felső rétegében a szennyezők fotolízissel is lebomolhatnak, másrészt onnan az esővízzel mélyebbre szivároghatnak, majd lefelé haladva a talajvízbe juthatnak. A talaj felszínéről az illékony kémiai anyagok párolgással a levegőbe kerülhetnek.

A talajszemcsékhez erősen kötött, stabil kémiai szerkezetű, hidrofób molekulák kémiai és biokémiai úton történő degradációja rendkívül lassú, ezért a talajban hosszú ideig akkumulálódhatnak és szivódhatnak fel a növényekbe. Amint az alábbi táblázatban látható, lebomlásuk felezési ideje több év is lehet.

1.17. ábra - Néhány perzisztens szerves vegyület lebomlásának felezési ideje talajban

vegyület	felezési idő [év]	95%-os lebomlás ideje [év]
dieldrin	0,5 - 4,0	4 - 30
DDT	2,5 - 5,0	5 - 25
lindán	1,5	3 - 10

Az adatok forrása: Walker C. H., Hopkin S. P., Sibly R. M., Peakall D. B.: The Fate of Organic Pollutants in Individuals and Ecosystems. In: Walker C. H., Hopkin S. P., Sibly R. M., Peakall D. B. Principles of Ecotoxicology, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton 2006, pp 79.

A xenobiotikumok transzmissziója fontos szerepet játszik a levegő, a felszíni vizek és a talaj öntisztulásában, de ha a szennyeződés mértékének növekedése felülmúlja az öntisztuló képességet, akkor a környezeti mátrixok fizikai állapota és kémiai összetétele tartósan megváltozik.

1.2.5. A xenobiotikumok bejutása az élő szervezetekbe

A levegőben, felszíni vizekben és a talajban végbemenő transzportfolyamatok, kémiai és biokémiai átalakulások mellett a xenobiotikumok élő szervezetekbe jutását döntően meghatározza az, hogy a környezeti mátrixokból milyen mértékben képesek felszabadulni, azaz biológiailag mennyire hozzáférhetőek. A biológiailag hozzáférhető mennyiség definíció szerint a xenobiotikum azon része, ami a mátrixból bekerülhet az élő szervezetekbe. Egy toxikus anyag biológiailag akkor jól hozzáférhető, ha oldatban van, ezért általában a kis Kov értékkel rendelkező molekulák könnyebben jutnak be az élő szervezetekbe. Bármilyen olyan változás a környezeti mátrixban, amelynek hatására megváltozik a vízben oldott szennyező koncentrációja, növelheti, vagy csökkentheti a kérdéses xenobiotikum biológiai hozzáférhetőségét. Az egyik leggyakoribb környezeti változás a víz pH-jának csökkenése, vagy emelkedése. Így például, kimutatták, hogy a tavakba jutott alumíniumvegyületek semleges és enyhén savas pH-n nagyon rosszul oldódnak, de a víz savasodása esetén, 4,5-ös pH alatt oldékonyságuk jelentős mértékben megnövekszik. Ezért nagyobb mennyiségben kerülnek be a halak szervezetébe, ami halpusztuláshoz vezet.

Másrészt a nehézfémek közül a kadmium, a cink és az ólom talajszemcsékhez való kötődésének erőssége az említett sorrendben növekszik, ezáltal a talajvízbe történő beoldódásuk mértéke azonos irányban csökken. Ezzel magyarázható többek között, hogy a kadmium a talajból sokkal nagyobb mértékben juthat biológiai szövetekbe, mint az ólom. A xenobiotikumok biológiailag hozzáférhető mennyisége lényegesen változhat akkor is, ha a mátrixokhoz kötött, és az oldott frakciója közti egyensúly eltolódik. Ez figyelhető meg a talaj savasodása esetén, amikor a szemcséken adszorbeálódott nehézfémek leválnak, és koncentrációjuk a pórusok közötti vízben megemelkedik.

1.2.6. A xenobiotikumok biokoncentrációja és biomagnifikációja

Ha az élő szervezetekbe több xenobiotikum jut be, mint amennyit képesek átalakítani, majd kiüríteni, akkor a kérdéses anyag bizonyos szövetekben, vagy szervekben felhalmozódik. Ez a biokoncentráció (szinonimájaként használatos a bioakkumuláció kifejezés is) jelensége, melyet először klórozott szénhidrogén és szerves fémvegyület szennyezés esetén figyelték meg. Ezek az anyagok lipídoldékonyak, Kov értékük nagy, a felszíni vizekben és a talajban $\mu\text{g/l}$ -nyi, illetve $\mu\text{g/kg}$ -nyi koncentrációban lehetnek jelen. Ha a vízben élő fitoplanktonokba bejutnak, lipidjeikben felhalmozódnak. A fitoplanktonok táplálékként a zooplanktonokba kerülnek, ahol a szennyezők a lipidekben tovább koncentrálódnak, majd a tápláléklánc minden egymást követő lépésében – halikrákból halakba, halakból madarakba, stb. – koncentrációjuk megközelítőleg egy nagyságrenddel növekszik. Ezt a folyamatot, melynek során a xenobiotikum koncentrációja az adott szervezetben magasabbá válik, mint a táplálékában volt, biomagnifikációnak, vagy más néven bioamplifikációnak nevezzük. A biomagnifikáció mértéke számszerűleg megadható a biomagnifikációs faktorról (BMF):

$BMF = C_{sz} / C_i$, ahol: C_{sz} = a kérdéses xenobiotikum koncentrációja a vizsgált élő szervezetben; C_i = a kérdéses xenobiotikum koncentrációja a vizsgált élőlény táplálékában.

A legelterjedtebb perzisztens környezetszennyezők közül a poliklórozott bifenilek (PCB-k) biomagnifikációját a kanadai Nagy Tavak élővilágában mutatja a 2.2. számú táblázat. A növényi lipidekben, és az állatok zsírszövetében biokoncentrációval, illetve biomagnifikációval feldúsult toxikus anyagok különösen veszélyesek, mivel az élelmiszerekkel fokozott mértékben kerülhetnek be az emberi szervezetbe.

1.18. ábra - A poliklórozott bifenilek biomagnifikációja a Nagy Tavak élővilágában

élőlény	PCB-k koncentrációja [$\mu\text{g/kg}$]
fitoplankton	0,0025
zooplankton	0,123
szivárványos lazac	1,4
pisztráng	4,83
ezüst sirály	124,0

(Az adatok forrása: Environment Canada, State of the Environment Reports, Government of Canada, Supply and Services. Ottawa, 1991.)

1.3. A xenobiotikumok bejutása az emberi szervezetbe

A xenobiotikumok a transzmissziójukat követően, az expozíció során, a légutakon, a tápcsatornán, vagy a bőrön keresztül bejutnak az emberi szervezetbe. Általában nem az expozíció helyén fejtik ki toxikus hatásukat, hanem bizonyos szervekben, az úgynevezett célszervekben. Ahhoz, hogy oda eljussanak, először be kell kerülniük a véráramba, majd el kell hagyniuk az érpályát, hogy a sejtek közötti (extracelluláris), és a sejteken belüli (intracelluláris) térbe, azaz a hatás helyére érjenek. A toxikus anyag koncentrációja a vérben és a célszervekben függ felszívódásuk (abszorpció), szervezeten belüli megoszlásuk (disztribúció) és átalakulásuk (biotranszformáció), valamint kiürülésük (exkréció) mértékétől. Ebben a fejezetben a mérgeanyagok abszorpciójával, disztribúciójával és exkréciójával foglalkozunk. Fontos azonban hangsúlyoznunk, hogy ezek a folyamatok szorosan összefüggenek egymással, és időben egyszerre is végbemehetnek.

1.3.1. A xenobiotikumok abszorpciója

Abszorpció az a folyamat, melynek során a xenobiotikumok az expozíció helyétől a vér-, illetve a nyirokkeringésbe jutnak. A felszívódás történhet a gyomor-bélrendszerben, a tüdőn és a bőrön keresztül. Az abszorpció, majd az azt követő disztribúció, exkréció folyamán a toxikus anyag molekuláinak biológiai membránokon kell áthaladniuk. Ez passzív és speciális aktív transzportfolyamatok révén valósul meg.

Passzív transzport

A xenobiotikumok membránokon való átjutásának leggyakoribb módja a passzív diffúzió. A vízben jól oldódó kisméretű molekulák, melyeknek 600 Dalton alatti a molekulatömegük, a membrán hidrophil pórusain, míg az apoláros hidrofób molekulák a membrán lipidrétegében oldódva jutnak be a sejtekbe. Minél kisebb a hidrophil molekula, annál könnyebben halad át passzív diffúzióval a membrán hidrophil pórusain. Így például az etanol rendkívül gyorsan felszívódik a gyomorból, majd rövid időn belül a vérből kikerülve egyenesen oszlik el a szövetekben. A nagyobb molekulatömegű vízdékony molekulák, és az ionos vegyületek a membrán csatornáin keresztül diffundálnak a sejtekbe.

A toxikus anyagok legnagyobb része apoláros, lipidekben különböző mértékben oldódó molekulákból áll. A diffúzió intenzitása ebben az esetben az extracelluláris és az intracelluláris terek közötti koncentrációkülönbség mellett, arányos a molekula lipidoldékonyságával is. Mivel a passzív transzport mozgató ereje a koncentrációgradiens, a folyamat nem igényel energiát.

Aktív transzport

Számos olyan vegyület létezik, melynek membránon való átjutása nem magyarázható passzív diffúzióval, mivel a molekuláik túl nagyok ahhoz, hogy a hidrophil pórusokon áthatoljanak, illetve nem oldódnak a membrán lipidjeiben. Ennek ellenére speciális transzportfolyamatokkal gyorsan bejutnak a sejtekbe. Ezeknek egyik formája az aktív transzport, melynek során a xenobiotikumok a koncentrációgradiens ellenében jutnak át a membránon. A mechanizmus eredetileg a nem testidegen vegyületek, a cukrok, az aminosavak és a nukleotidok szállítására fejlődött ki, és általánosan elterjedt az élő szervezetekben. A transzporthoz egy hordozó fehérje molekula – mely a membrán alkotórésze – szükséges. A transzportfehérje a membrán egyik oldalán szelektíven megköti a szállítandó anyagot, majd komplexet képez vele. Ez a komplex jut át a membrán másik oldalára, ahol a xenobiotikum felszabadul a komplexből. Ezután a hordozó visszakerül eredeti helyére, és a ciklus megismétlődhet. A rendszer telíthető, mivel a hordozó fehérjék kötési képessége véges. A folyamat gátolható is, mert a szállítandó molekulák között kompetíció lehetséges. Az aktív transzport energiát igényel, működéséhez adenzin-trifoszfátra (ATP) van szükség. Ezért az anyagcsereméreg, melyek megakadályozzák az ATP bioszintézisét, a transzportot szintén bénítják.

1.3.2. A xenobiotikumok abszorpciója a gyomor-bélrendszerből

Számos környezetszennyező anyag a tápláléklánc útján kerül az emberi szervezetbe, azaz a gyomor-bélrendszerben szívódik fel. Ezen kívül az öngyilkossági szándékból, és a véletlen balesetek alkalmával a szájon keresztül bejutott mérgek szintén a gasztrointesztinális rendszerben abszorbeálódnak. A gyomorban a gyomornedv 1-2-es pH-ján a bázikus karakterű szerves molekulák legnagyobb része ionizált állapotban van, és ennek következtében lipidoldékonyságuk lényegesen csökken. Ezért a gyomorból nem tudnak abszorbeálódni, ahhoz a magasabb pH-jú belekbe kell eljutniuk. Ezzel ellentétben a savas karakterű szerves molekulák disszociációja ionokra a gyomor alacsony pH-ján visszaszorul, ezáltal az ionizálatlan xenobiotikum lipidoldékonyvá válik. A lipid/víz megoszlási hányadosuk arányában passzív diffúzióval átjutnak a nyálkahártyán, majd a gyomrot ellátó erekbe kerülnek.

A bázikus karakterű vegyületek abszorpciójára a vékonybelek pH-ja (pH ~5-6) alkalmasabb, mint a gyomoré. A felszívódásukat nagymértékben előmozdítja a belek bőséges vérellátása, valamint bélbolyhokkal megnövelt felülete. Bár a belekből történő abszorpcióban szerepet játszik az aktív transzport is, a xenobiotikumok többsége passzív diffúzióval jut a vérbe, majd a májba.

1.3.3. A xenobiotikumok abszorpciója a tüdőből

A levegőbe jutott mérgező gázok, illékony folyadékok gőzei, a levegőben szuszpendált szilárd és folyadék halmazállapotú részecskék a tüdő légző-hólyagocskáin, az alveolusokon keresztül szívódnak fel. Mielőtt azonban oda eljutnának, érintkezésbe kerülnek az orr, a garat, a légcső, a hörgők és a hörgőcskék nyálkahártyáival, ahonnan szintén abszorbeálódhatnak. A gázok és gőzök tüdőből történő felszívódásában a szerves savak és bázisok disszociációjának mértéke a gyomor-bélrendszerhez képest kisebb szerepet játszik. Ennek az a magyarázata, hogy az ionizált molekulák nem illékonyak, ezért koncentrációjuk a levegőben elhanyagolható. Másrészt az alveolusok alatt elhelyezkedő 1-es típusú pneumocitákból álló sejtréteg nagyon vékony, így a belélegzett gázok és gőzök molekulái az alveolusok falán passzív transzporttal áthatolva rövid távolságon belül a vérbe kerülnek. A felszívódás rendkívül gyors, mivel az alveolusok összes felülete igen nagy (50-100 m²), a membránjuk vékony (200 nm), valamint az alattuk lévő kötőszövet hajszál- és nyirokérhálózata nagyon sűrű. A kapillárisok szoros kontaktusban vannak az 1-es típusú pneumocitákkal, ezért a gázok és gőzök hamar a véráramba jutnak. A vérben a koncentrációjuk függ az oldékonyságuktól, melyet a kérdéses xenobiotikum vér/alveoláris levegő közötti megoszlási hányadosával (a gáz, illetve a gőz koncentrációja a

vérben/a gáz, illetve gőz koncentrációja az alveoláris térben lévő levegőben) szoktak jellemezni. Minél nagyobb a belélegzett gáz koncentrációja az alveoláris térben lévő levegőben, annál nagyobb a koncentrációja a vérben is. Egyensúlyi állapotban, amikor a gáz parciális nyomása a vérben és az alveoláris levegőben azonos, ugyanannyi molekula lép az alveoláris térből a vérbe, mint amennyit a vér elszállít az alveoláris levegőből. Azok a gázok és gőzök, amelyeknek nagy a megoszlási hányadosuk, jobban oldódnak a vérben, és jelentősebb mértékben szívódnak fel a tüdőből.

Azt, hogy a levegőben szuszpendált szilárd és folyadék halmazállapotú részecskék milyen mélyen jutnak le a légutakba, alapvetően a partikulumok mérete határozza meg. A 10,0 µm-nél nagyobb aerodinamikai átmérőjű részecskék a felső légutakban (orr, gége), a 10,0 µm és a 2,5 µm méretűek (PM-10 frakció) az alsó légutakban (légcső, hörgők) halmozódnak fel. Ezt követően az ott elhelyezkedő csillószőrök felfelé irányuló mozgása következtében tüszentéssel, köhögéssel, illetve fokozott nyálkahártya szekrécióval távoznak a szervezetből, vagy a szájba és a garatba jutnak, ahol a nyállal a tápcsatornába kerülnek, és onnan szívódnak fel. A 2,5 µm és 0,1 µm közötti aerodinamikai átmérőjű részecskék (PM-2,5 frakció) a hörgőcskében halmozódnak fel, majd a csillószőrök segítségével visszajutnak a középső és felső légutakba. A 0,1 µm-nél kisebb aerodinamikai átmérőjű részecskék (PM-0,1 frakció) lehatolnak az alveolusokba, azok falán keresztül gyorsan a vérkeringésbe jutnak, vagy az alveoláris makrofágok fagocitálják őket.

1.3.4. A xenobiotikumok abszorpciója a bőrön keresztül

A bőr számos toxikus anyaggal kerülhet érintkezésbe, de annak elszarusodott legfelső rétege többnyire megfelelő akadályt jelent a xenobiotikumok felszívódásának, mert a benne elhelyezkedő laphámsejtek lipid- és víztartalma a nyálkahártyákhoz képest igen alacsony. Ennek ellenére a nagy lipidoldékonyságú molekulák számára a bőr átjárható, ezért abszorpciójuk azon keresztül jelentős mértékű lehet. Ahhoz, hogy a vegyi anyagok a bőr legalsó rétegében, a dermisben lévő hajszál- és nyirokerekbe jussanak, több sejtrétegen kell áthatolniuk. A bőrön keresztül három egymást követő fázisban szívódnak fel a toxikus anyagok. Az első, az abszorpció sebességét meghatározó szakaszban a molekulák passzív transzporttal átjutnak a felső elszarusodott laphámsejt rétegen. Toxikológiai vizsgálatok szerint ezen a poláros és az apoláros vegyületek egyaránt képesek áthaladni. A poláros anyagok a hidratált fehérjerostok külső felületén, a nem polárosak pedig a fehérjerostok közötti lipidekben oldódva diffundálnak át. Apoláros vegyületek esetén a diffúzió sebessége általában a molekulák lipidoldékonyságával egyenesen, míg a molekulatömegükkel fordítottan arányos. A felszívódás mértékét befolyásolja még a szaruréteg vastagsága és nedvességtartalma, mely testrészenként jelentősen különbözik. A tenyéren és a talpon például 400-600 µm, míg az alkar belső felületén 8-15 µm között változik. Minél vastagabb a szaruréteg, annál nehezebben jutnak át rajta a xenobiotikumok. A kizárólag vízben oldódó toxikus anyagok a verejték- és faggyúmirigyek, valamint a szőrtüszők mentén abszorbeálódhatnak, ekkor a felszívódott molekulákat a nyirokrendszer szállítja el. A második fázisban a molekulák az epidermis mélyebb rétegein passzív diffúzióval keresztülhatolva a dermisbe kerülnek. Végül az utolsó, harmadik szakaszban az ott elhelyezkedő hajszál- és nyirokerek falán át a vér-, illetve a nyirokkeringésbe jutnak.

1.3.5. A xenobiotikumok disztribúciója

A disztribúció az a folyamat, melynek során a felszívódott xenobiotikumok a vér- és nyirokkeringéssel eljutnak a sejtekbe és a szövetekbe, ott átalakulnak, vagy raktározódnak. Az abszorbeálódott vegyi anyagok a szervezet vizeitereiben, először a vérplazmában, azután a szövetek közötti vztérben és a sejtekben oszlanak meg. Így például egy 70 kilogrammos embernél 1 gramm xenobiotikum a 3.1. számú táblázatban látható arányban oszlik meg a vizeiterekben.

1.19. ábra - Egy gramm xenobiotikum eloszlása az emberi szervezet vizeitereiben

vztér	térfogat [l]	koncentráció [mg/l]
vérplazma	3	333
extracelluláris (vérplazma + intercelluláris vztér)	14	71
teljes (vérplazma + inter- és intracelluláris vztér)	38	26

Az adatok forrása: Rozman K. K., Klaassen C. D.: Absorption, distribution, and excretion of toxicants. In: Klaassen C. D. (ed.) Casarett and Doull's toxicology, The basic science of poisons, McGraw – Hill, Inc., New York 1996, pp 101.

A xenobiotikumok transzportja a vérben

A vérplazma fehérjéi nemcsak a fiziológiai szempontból nélkülözhetetlen molekulák, például vitaminok, koleszterin, hormonok, hanem a toxikus anyagok szállításában is részt vesznek. A vérbe jutott xenobiotikumok többsége az ott legnagyobb arányban előforduló albumin frakcióhoz kötődik. Az albumin szállítja többek között a Ca^{2+} , a Cu^{2+} , a Zn^{2+} , a Cd^{2+} ionokat, és az aromás szénhidrogéneket. A béta-globulinok közül a transferrin a Fe^{2+} , a Co^{3+} , míg a cöruoplazmin a Cu^{2+} transzportjában játszik szerepet. A lipoproteinek a lipidoldékony toxikus anyagok szállításában vesznek részt. A kötődés a plazmaproteinekhez gyors és reverzibilis, a makromolekulák és a xenobiotikumok közötti kapcsolatot ionos és hidrogénhid kötések, Van der Waals erők, valamint hidrofób kölcsönhatások hozzák létre. A vegyi anyagoknak azonban csak egy része van kötött állapotban, a másik frakciójuk szabad, és a plazmában egyensúlyi állapot alakul ki a két frakció között. A kötött anyagok a transzportfehérjék nagy molekulatömege következtében nem tudnak kilépni az érpályából. Ha a szabad molekulák diffúzióval átjutnak az erek falán, akkor az eredeti egyensúlyi állapot ideiglenesen felborul, mert csökken a plazma szabad xenobiotikum koncentrációja. Ekkor újabb molekulák válnak le a kötőhelyeikről, és egy másik egyensúly alakul ki. Valójában a disszociáció folyamatosan zajlik, mivel a szabad xenobiotikum molekuláinak diffúziója az érfalon keresztül is folyamatos. Végeredményben a toxikus anyag a vérből a szövetekbe jut.

A plazmafehérjéken kívül a vörösvértetek is részt vesznek a toxikus anyagok, elsősorban a Cr^{6+} , a Hg^{2+} , az Pb^{2+} , az As^{3+} , az Sb^{3+} ionok, valamint a gázok közül a szén-monoxid és a hidrogén-cianid transzportjában.

1.3.6. A xenobiotikumok akkumulációja a szervezetben

A xenobiotikumok nem egyenletesen oszlanak meg a szervezetben, hanem bizonyos szövetekben és szervekben szelektíven felhalmozódnak. Toxikológiai szempontból különösen fontos a májban, a vesében, a zsírszövetben és a csontokban történő raktározódás.

A máj és a vese közösen több toxikus anyagot képes koncentrálni, mint az összes egyéb szerv együttesen. Az extracelluláris térből a xenobiotikumok legtöbb esetben aktív transzporttal jutnak be az említett szervekbe, a szállításban és felhalmozódásban jelentős szerepe van a xenobiotikumokat specifikusan kötő fehérjemolekuláknak. A májsejtek citoplazmájában lévő ligandin a szerves savak és azo-festékek transzportjában vesz részt. A májban és a vesékben egyaránt megtalálható metallothionein kadmiumot és cinket köt meg.

Számos környezetszennyező vegyület lipofil tulajdonságú, ezért könnyen átjutnak a különböző sejtek membránjain, majd a zsírszövetben halmozódnak fel. Itt raktározódnak a perzisztens szerves szennyezők, a klórozott szénhidrogén típusú rovarirtó szerek, a poliklórozott és polibrómozott bifenilek, valamint a dioxinok. A xenobiotikumok akkumulációja a zsírszövetben átmeneti méregtelenítésnek is tekinthető, mivel a raktározódás ideje alatt azok kikerülnek az anyagcsere folyamatokból. Éhezés, vagy hirtelen testsúlycsökkenés esetén azonban újra mobilizálódnak, és ismét a vérbe, illetve a célszervekbe kerülnek.

Bizonyos xenobiotikumok adszorbeálódhatnak a csontok hidroxipapatit kristályainak felületére az azzal érintkező extracelluláris folyadékából. Azok az ionok, melyek töltésükben és méretükben azonosak a hidroxipapatit kristályokban lévő kalcium (Ca^{2+}) és hidroxil (OH^-) ionokkal, diffúzióval a kristályok belsejébe jutnak, és ioncserés mechanizmussal a csontokban felhalmozódnak. Így például az akkumulációjuk során az ólom és a stroncium a Ca^{2+} , a fluoridok pedig a OH^- ionokat cserélik le.

A xenobiotikumok átjutása a vér-agy gáton és a placentán

A központi idegrendszerbe és a magzatba nem minden xenobiotikum képes bejutni. A vízóldékony vegyületek behatolása az agyba sokkal nehezebb, mint más szövetekbe, mert a központi idegrendszer ellátó hajszálerek fala lényegesen tömörebb, mint az egyéb kapillárisoké, így az agyi endothel sejtek között csak néhány hidrofíl pórus található. Másrészt az agyban a hajszálerek és az extracelluláris tér között egy asztrocitaréteg helyezkedik el, és ez szintén meggátolhatja a hidrofíl molekulák passzív diffúzióját. A hajszálereknek ezt a xenobiotikumokat visszatartó funkcióját vér-agy gátnak nevezzük. Ez azonban nem jelent abszolút védelmet, mert a lipidoldékony anyagok átjutnak ezen az akadályon is.

A magzat szervezetébe a placentán keresztül a vízben oldódó toxikus anyagok nem képesek áthatolni. Ez azzal magyarázható, hogy a placenta vérellátásában mind az anyai, mind a magzati szervezet részt vesz, de az anyai és a magzati ereket elválasztó, több sejtrétegből álló komplex membránrendszer megakadályozza a hidrofíl xenobiotikumok magzatba jutását. A vér-agy gáthoz hasonlóan ez sem jelent tökéletes védelmet, mivel a lipidoldékony molekulák lipid/víz megoszlási hányadosuk arányában passzív transzporttal a magzatba kerülnek.

1.3.7. A xenobiotikumok exkréciója

Exkréciónak nevezzük azt a folyamatot, melynek során a xenobiotikumok változatlan, vagy átalakult formában kiválasztódnak, majd kiürülnek a szervezetből. Az exkréciót a biológiai felezési idővel szokták jellemezni. Ez azt az időtartamot jelenti, amely alatt a kérdéses toxikus anyag 50%-a eltávozik a szervezetből.

A kiválasztás legfontosabb szerve a vese, melynek kéregállományában a glomerulusok membránján a 60 000 Daltonnál kisebb molekulatömegű toxikus anyagok a vérnyomás erejével átszűrődnek, majd a vesetubulusokba jutnak. A vízben jól oldódó, transzportproteinekhez nem kötött, szabad xenobiotikumok a vizelettel távoznak. Az ionizált szerves savak és bázisok szintén a vizelettel ürülnek.

A máj különösen fontos szerepet játszik a xenobiotikumok átalakításában (ezzel a következő, 3.8. részben foglalkozunk) és exkréciójában, mert a toxikus anyagokat szállító vér mielőtt eljut a szervezet más részeibe, keresztülhalad rajta. A máj hajszálereinek fala nagymértékben permeábilis, ezért a vérben oldott vegyi anyagok passzív, vagy aktív transzporttal könnyen bekerülnek a májsejtekbe, ahol átalakulásuk után az epefolyadékkal a béltraktusba érnek. Ott a fizikokémiai tulajdonságaiktól függően a széklettel hagyják el a szervezetet, vagy újra abszorbeálódnak, és a vérrel ismét a májba jutnak. Ez a folyamat az enterohepatikus recirkuláció, mely az ionizált, vízben jól oldódó molekulák esetében megy végbe. Ezek hidrofíl formában nem tudnak visszaszívódni, de a bélflóra baktériumainak hatására átalakulnak, és ismét lipidoldékonyvá válnak, ami képessé teszi őket a belekből történő reabszorpcióra. A többszöri enterohepatikus recirkuláció jelentősen megnövelheti a xenobiotikumok biológiai felezési idejét. Azok a toxikus anyagok, melyek fizikai és kémiai sajátosságai következtében nem szívódnak fel a tápcsatornában, a széklettel ürülnek a szervezetből.

A gázok és az illékony folyadékok gőzei a kilégzéssel a tüdőn keresztül változatlan formában távoznak. Az alveoláris tér levegőjében lévő gáz parciális nyomásától függ, hogy a molekulák passzív diffúzióval a levegőből a vérbe, vagy a vérből a levegőbe kerülnek. A vérben jól oldódó gázok lassabban, a rosszul oldódók gyorsabban választódnak ki, az elimináció sebessége arányos a légzési frekvenciával.

A főbb exkréciós útvonalakon kívül a vegyi anyagok kiürülhetnek még egyéb módon is. A zsírszövetekben felhalmozódott lipofil vegyületek passzív diffúzióval eljuthatnak a tejmirigyekbe, ahonnan kiválasztódnak az anyatejjel. Így például néhány környezet-egészségügyi szempontból fontos xenobiotikum, a poliklórozott és a polibrómozott bifenilek, a dioxinok, a klórozott szénhidrogén típusú rovarirtók az újszülöttek szervezetébe is bekerülhetnek. Kisebb jelentőségű a kémiai anyagok exkréciója a nyállal, a verejtéssel és a könnyel.

1.3.8. A xenobiotikumok biotranszformációja

A felszívódott xenobiotikumok többségét a szervezet, különböző átalakítások és lebontások után üríti ki. Azokat a folyamatokat, melyek során a toxikus anyagok kémiai szerkezete enzimek közreműködésével, vagy egyéb reakciókban, a szervezetben megváltozik, biotranszformációnak, más szóval metabolizmusnak nevezzük. A biotranszformációban keletkezett termékeket összefoglaló néven metabolitoknak hívjuk. A biotranszformáció szerepe az, hogy a nehezen ürülő, nem poláros, lipidoldékony xenobiotikumokat átalakítsa poláros, vízben oldódó molekulákká, melyek könnyen ürülnek az epével és a vizelettel. A metabolizmus eredménye lehet detoxikáció, vagyis toxikológiailag inaktív vegyület kialakulása, vagy aktiváció, ami azt jelenti, hogy az eredeti molekulánál még mérgezőbb metabolit jön létre. A kémiai anyagok átalakítását és lebontását enzimek végzik. Metabolizáló enzimekben különösen gazdagok a májsejtek, ezért a biotranszformáció legfontosabb szerve a máj. A xenobiotikumok átalakításának két fő formáját (és szakaszát) az I-es és II-es fázisú biotranszformációs reakciók jelentik. A legfontosabb I-es fázisú reakciók az oxidáció, a redukció és a hidrolízis, míg a II-es fázisúak a különböző típusú konjugációs reakciók.

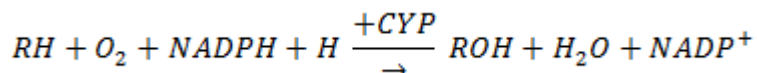
I-es fázisú biotranszformációs reakciók

Oxidációs reakciók

A xenobiotikumok biotranszformációjának leggyakoribb formája az oxidáció, melyet a májsejtek endoplazmatikus retikulumában található enzimek, a citokróm-C-P450 monooxigenázok (a továbbiakban CYP)

végeznek. (A citokróm P450 elnevezés onnan ered, hogy az izolált citokróm enzimek fényelnyelése 450 nm-en maximális.) Az oxidáció enzimeinek szubsztrátspecifitása kicsi, ezért a kevert funkciójú oxidáz enzimrendszer elnevezés is használatos. A CYP működéséhez az oxigénmolekulán kívül redukált nikotinadenin-dinukleotidfoszfát (NADPH) segédenzim szükséges. Egy RH xenobiotikum oxidációja az enzim-szubsztrát komplexben lejátszódó, egymást követő elektrontranszportok végeredménye, és a következő általános reakcióegyenlettel írható le:

1.20. ábra - eq_1.png



A CYP rendszeren kívül más enzimek is részt vesznek a xenobiotikumok oxidációjában. Ezek nem az endoplazmatikus retikulumban, hanem a májsejtek mitokondriumaiban találhatóak.

Redukciós reakciók

A xenobiotikumok redukciója a szervezetben nem gyakori, mivel a sejtek megfelelő működéséhez aerob körülmények szükségesek. Bizonyos vegyületek azonban redukálódhatnak is. A reakciókat ezekben az esetekben a CYP egyik komponense, a NADPH-citokróm-C-P450-reduktáz, valamint a májsejtek plazmájában található aldehid-, illetve karbonil-reduktáz (ketoreduktáz) enzimek katalizálják. Fontos még megjegyezni, hogy a xenobiotikumok redukciója a belekben is végbemehet, mivel az ott található bélbaktériumok sok redukáló enzimet tartalmaznak.

Hidrolízis

Bizonyos xenobiotikumok, például az alkének és az aromás vegyületek oxidációjakor keletkezett epoxidok hidrolízissel alakulnak át. A reakciókban közreműködő enzimek főleg a májsejtek endoplazmatikus retikulumában találhatóak.

II-es fázisú biotranszformációs reakciók

Az I-es fázisú biotranszformációkban a xenobiotikumok molekuláin különböző reakcióképes funkciók csoportok jönnek létre. Az így kialakult reaktív csoportok a II-es fázisú metabolikus utakon a szervezetben lévő endogén molekulákkal (például aminosavak) konjugálódnak. Így tehát az I-es fázisú biotranszformációs reakciókat közvetlenül a II-esek követik. A konjugációk még tovább fokozzák az I-es fázisban keletkezett metabolitok vízoldékonyságát, ezért a xenobiotikumok exkréciója jelentősen felgyorsul. A II-es fázisú biotranszformációs reakciókat szintetikus átalakulásoknak is szokták nevezni. Az endogén molekulák és a funkciók csoportok kapcsolódása, azaz a II-es fázisú reakciók energiát igényelnek, ezért a folyamatokat szintén enzimek katalizálják. A II-es fázisú reakciók általában sokkal gyorsabban végbemennek, mint az I-esek. A reaktív csoportokhoz kapcsolódó endogén molekulák típusa alapján többféle szintetikus átalakulás mehet végbe a májsejtekben. A konjugációk típusait, és a folyamatokban résztvevő enzimeket ebben a tananyagban nem ismertetjük. A keletkezett konjugátumok poláros, vízben jól oldódó vegyületek, melyek a vizelettel ürülnek, vagy az epén át a bélcsatornába jutnak, és a székllettel távoznak a szervezetből.

2. A környezeti expozíciók toxikus hatásainak megjelenési formái

A xenobiotikumok a szervezetben történő eloszlásuk során elérik a célszerveket, amelyekben toxikus hatásaikat kifejtik. A kialakuló károsodás mértékét elsősorban az határozza meg, hogy a célszervben milyen koncentráció ér el és mennyi ideig tartózkodik a toxikus anyag. Az expozíció és a mérgezés tüneteinek megjelenése között eltelt időtartam alapján megkülönböztetünk akut, szubakut és krónikus hatásokat (részletesebben lásd a fogalomtárban), melyek számos célszervet és célmolekulát károsíthatnak. Ebben a részben a xenobiotikumok szervspecifikus toxikus hatásait tekintjük át.

2.1. Neurotoxikus hatás

Sok lipidoldékony xenobiotikum eljut a lipidekben gazdag idegsejtekhez, majd felhalmozódik bennük. Ezek a neurotoxikus hatású anyagok, melyek befolyásolják, illetve károsítják mind a központi, mind a perifériás

idegrendszer működését. Krónikus mérgezésben fáradtság, tanulási nehézségek, memóriazavar, álmatlanság, koncentráció- és az intellektuális képesség csökkenése, érzés- és mozgászavarok, valamint személyiségváltozások észlelhetők. Az akut hatások közül az eszméletvesztés, kóma és halál a legsúlyosabbak.

2.2. Hepatotoxikus hatás

A máj az anyagcsere legfontosabb szerve, nemcsak a szénhidrátok, lipidek, fehérjék anyagcseréjében, hanem a xenobiotikumok transzformációjában is központi szerepet játszik. A tápcsatornában felszívódott vegyi anyagokon kívül, a légutakon és a bőrön keresztül abszorbeálódott vegyületek is a májba jutnak a vérkeringéssel, s koncentrációjuk ott általában magasabb, mint a többi szervben. Ezzel magyarázható, hogy számos xenobiotikum májkárosító, azaz hepatotoxikus hatású. Ennek legkorábbi jele az epeutak hámszéljei és a májsejtek által termelt enzimek [g-glutamil-transzpeptidáz (g-GT), aszpartát aminotranszferáz (AST)] aktivitásának emelkedése a vérplazmában, ami a sejtmembrán permeabilitás megnövekedésének következménye. Krónikus expozíció esetén a májsejtek elhalása, a máj kóros elzsírosodása, májgyulladás és májszögör alakulhat ki. Akut mérgezésben a leggyakoribb a sárgasággal járó májgyulladás.

2.3. Nefrotóxicus hatás

A legtöbb toxikus anyag a vese glomerulusain a vérplazmából filtrációval a vesetubulusokba választódik ki, majd ürül a vizelettel, míg a szervezet számára fontos kismolekulájú vegyületek (ásványi anyagok, aminosavak, vitaminok) és a 40 kD-nál kisebb molekulatömegű plazmaproteinek (beta-2-mikroglobulin, retinokötő protein) a tubulusokban újra felszívódnak (reabszorpció). Az exkréció során azonban a vesében a xenobiotikumok koncentrációja lényegesen magasabb, mint a vérben és egyéb szövetekben. Azok a vegyi anyagok, amelyek a vesékben felhalmozódva károsodást okoznak, nefrotóxicus hatásúak. Krónikus mérgezésben a vesetubulusok károsodásának korai jele a kis molekulatömegű fehérjék fokozott ürítése (reabszorpció csökkenése miatt) és megjelenése a vizeletben. A ~60 kD molekulatömegű albumin exkréciója elsősorban a glomerulusok károsodására utal. Mindezek következtében először enyhe, majd súlyos veseelégtelenség alakulhat ki. Akut expozíció a tubulussejtek elhalását okozza.

2.4. Mielotóxicus hatás

A csontvelő a vérképzés legfontosabb szerve, egyaránt szerepet játszik a különböző fehérvérsejt szubpopulációk, vörösvértestek, valamint a vérlemezkék (trombociták) termelésében. A mielotóxicus anyagok a csontvelőt károsítják, hatásukra csökkenhet az egyes sejttípusok, vagy valamennyi sejtféleség produkciója. A fehérvérsejtek termelésében ezzel ellentétes változások is bekövetkezhetnek, ami különböző típusú leukémiák kialakulásához vezethet.

2.5. Immuntóxicus hatás

Az immunrendszer kulcsfontosságú a szervezet baktériumokkal és vírusokkal szembeni védekezésében. Az utóbbi évtizedekben állapították meg, hogy számos környezetszennyező anyag károsan befolyásolja az immunrendszer működését, azaz immuntóxicus hatású. Az immuntóxicus hatású anyagok csökkenthetik a szervezet mikroorganizmusok elleni természetes és specifikus védezőképességét (immunszuppresszió). Az immunszuppresszió következménye a baktériumok és a vírusok által okozott fertőző betegségek gyakoriságának fokozódása. Más esetekben a toxikus anyagokkal szemben túlérzékenység (hiperszenzitivitás) alakulhat ki, ami allergiához vezethet. Az allergiás eredetű betegségek általában a légzőszervekben (asztma), és a bőrön (bőrgyulladás) fejlődnek ki.

2.6. Reprodukciós toxikus hatás

A reprodukciós toxikus hatású anyagok károsan befolyásolják a férfi, illetve a női ivarszervek működését. Férfiaknál csökkenthetik a spermiumok számát és mobilitását, ami a megtermékenyítő képesség zavaraihoz vezet, míg a nőknél a fogamzóképeség csökkenését okozzák.

2.7. Teratogén hatás

A teratogén hatású anyagok átjutnak a placentán és a fogamzástól a születésig károsíthatják a magzat fejlődését. Az expozíció következményei attól függenek, hogy az a terhesség melyik időszakában következett be. Embernél az első két hét során bekövetkező expozíciók valószínűleg az embrió halálát okozzák. Az embrió a 2. – 12. hét

közötti periódusban a legérzékenyebb a teratogén hatásokra. A főbb fizikai fejlődési rendellenességek (testi hibák) ekkor, a szellemiek pedig többnyire a 20. héttől a születésig alakulhatnak ki.

2.8. Genotoxikus és mutagén hatások

Számos környezetszennyező vegyület genotoxikus hatása következtében olyan eltérések jönnek létre a sejtmagban található dezoxiribonukleinsav (DNS) molekulákban, melyek a DNS által tárolt genetikai információt megváltoztatják. A kialakult, úgynevezett elsődleges károsodásokat a sejtek DNS reparációs mechanizmusa kijavíthatja. Ha ez nem sikerül, akkor a károsodások rögzülnek és a sejtek genetikai állományában maradandó és az utódsejtekre átöröklődő változások jönnek létre. A DNS molekulák szekvenciáiban bekövetkezett eltérések okozhatnak génmutációt, megváltoztathatják a kromoszómák számát és szerkezetét. Az ivarsejtekben kialakult mutációk öröklődnek és több generáción keresztül fennmaradhatnak. A genotoxikus hatások meghatározó szerepet játszanak a fejlődési rendellenességek, daganatos betegségek kialakulásában. Így például a rákkeltő vegyi anyagok többsége mutagén hatású is, ezeket genotoxikus karcinogéneknek nevezzük.

2.9. Karcinogén hatás

A környezetben előforduló toxikus anyagok rosszindulatú daganatos betegségeket is okozhatnak. Ezek a rákkeltő, vagy másképpen karcinogén hatású xenobiotikumok. A daganatos betegségek kifejlődése komplex, egymást követő génmutációk eredménye, azokban genotoxikus és nem-genotoxikus mechanizmusok egyaránt szerepet játszhatnak. A DNS károsodások indukciója és a transzformált sejtek inváziója között általában hosszú, akár 15-30 év lappangási idő is eltelhet. A környezetben és a munkahelyeken megtalálható kémiai anyagok lehetséges rákkeltő hatásait világszerte szisztematikusan vizsgálják. A kutatások eredményeit 1974 óta összegzi a Lyonban működő Nemzetközi Rákkutató Intézet [International Agency for Research on Cancer (IARC)] és az adatok elemzése alapján a vegyi anyagokat négy kategóriába sorolja. Az első kategóriába az emberben bizonyítottan, a 2A kategóriába az emberben valószínűleg, a 2B kategóriába az emberben feltételezhetően rákkeltő hatású kémiai anyagok tartoznak, míg a 3. kategóriába soroltak esetében a humán karcinogenitás nem igazolt. A 4. kategóriába sorolt anyagok emberben valószínűleg nem rákkeltők.

3. A környezeti ártalmak megelőzésének lehetőségei

Az ipari és mezőgazdasági eredetű környezetszennyezés, valamint az ipari balesetek következtében a levegőbe, felszíni vizekbe, talajba és az élelmiszerekbe került toxikus anyagok napjainkra nemcsak a természetet veszélyeztetik jelentősen, hanem az emberi egészséget is. A környezeti expozíciók során a xenobiotikumok általában kis dózisban, ugyanakkor hosszú időn keresztül, akár egy életen át bejuthatnak a szervezetbe és a lakosság tömeges egészségkárosodását idézhetik elő. Ezért a kemizáció súlyos következményeinek, köztük a környezeti eredetű betegségeknek a megelőzése a környezet-egészségügy egyik legfontosabb feladata, melynek megvalósítása 3 szinten lehetséges. Az elsődleges megelőzés (primer prevenció) alapvető célja a vegyi anyagok emberi szervezetbe jutásának megakadályozása vagy korlátozása. A különböző egészségkárosodások és betegségek korai felismerése a másodlagos (szekunder), míg a kialakult betegség súlyosbodásának megakadályozása a harmadlagos (tercier) prevenció. Mivel a szekunder és terciér prevenció kifejezetten az egészségügyi ellátás feladata, ebben a fejezetben csak az elsődleges megelőzéssel foglalkozunk.

3.1. Primer prevenció

A primer prevenció három fontos eleme a műszaki környezetvédelem, a környezet-egészségügyi határértékek megállapítása és az adekvát intézkedések megtétele, beleértve azok hatásosságának ellenőrzését is.

A műszaki környezetvédelem mérnöki feladat, melynek fő célja a káros kémiai anyagok emissziójának megakadályozása, illetve csökkentése. Ez megvalósítható a gyártási technológia korszerűsítésével, a környezetre és az egészségre kevésbé veszélyes anyagok felhasználásával, az ipari és egyéb szennyvizek tisztításával, megfelelő csatornázással, a veszélyes hulladékok helyes kezelésével és ártalmatlanításával, az energiatermelés- és felhasználás modernizálásával, stb. A műszaki megoldások mellett fontos a mérgező anyagok gyártásának, alkalmazásának, tárolásának, a környezetből való eltávolításának jogi szabályozása is. A környezetvédelmi intézkedések végrehajtását és eredményességét Magyarországon a Környezetvédelmi Felügyelőségek, a megyei kormányhivatalok területileg illetékes népegészségügyi szakigazgatási szervei, valamint a kistérségi népegészségügyi intézetek végzik.

Az expozíció mértékének csökkentését szolgálják a környezet-egészségügyi határértékek. Ezek az egyes szennyező anyagoknak azon koncentrációi a környezeti mátrixokban, amelyek még hosszú távú expozíció esetén sem okoznak egészségkárosodást. A lakossági expozíciók kontrollálása szempontjából legfontosabbak a levegőben, ivóvízben és az élelmiszerekben előforduló toxikus anyagokra vonatkozó határértékek. Megállapításuknál figyelembe veszik az adott vegyi anyag akut, krónikus, genotoxikus és karcinogén hatásait. Állatkísérletes, sejteken és sejtenyészeten végzett toxikológiai vizsgálatokban meghatározzák a szennyező anyagnak azt a legkisebb koncentrációját (lowest-observed-adverse-effect level: LOAEL), amely már káros hatást vált ki, illetve azt a legnagyobb koncentrációját (no-observed-adverse-effect level: NOAEL), amely még nem okoz károsodást. Az állati és emberi szervezet, valamint az egyes emberek xenobiotikumokra való érzékenysége közötti különbségek áthidalására úgynevezett biztonsági faktorokat alkalmaznak. Ez azt jelenti, hogy az emberre vonatkoztatott határértékek megállapításához a LOAEL, NOAEL értékeit általában 100-zal, bizonyos esetekben 1000-rel, sőt 10 000-rel osztják el. Az így kapott adatok és egy átlagos tömegű felnőtt fiziológias szükségleteinek (levegő-, víz- és élelmiszerigény) ismeretében a toxikus anyag határértéke kiszámítható. Magyarországon a légszennyezettségre vonatkozó határértékek betartását a Környezetvédelmi Felügyelőségek, az ivóvízre érvényes határértékeket a szolgáltató vízművek és a népegészségügyi szakigazgatási szervek, élelmiszerekre vonatkozókat az állategészségügyi intézetek ellenőrzik.

3.2. Kémiai biztonság

A kemizáció káros következményeinek megakadályozására az ENSZ nemzetközi összefogást javasolt és 1972-ben Stockholmban megrendezte az első Környezetvédelmi Kongresszust. Ezt követően hirdették meg a nemzetközi kémiai biztonsági programot, mely jelentős részeredményeket hozott a világméretű környezetszennyezés visszaszorításában. Teljes sikert azonban nem aratott, ezért fejlesztésre szorult. Ez a korszerűsítés az 1992-ben Rio de Janeiróban megtartott Környezet és Fejlődés Világkonferencián a „Feladatok a 21. századra” című (Agenda 21) dokumentum elfogadásával folytatódott. Ez a program az emberi egészség és a környezet védelme mellett a társadalom és a gazdaság fejlődésének fenntartását is célul tűzte ki. Mindezek figyelembevételével került sor Magyarországon a kémiai biztonsági törvény (Kbtv) kidolgozására. A Kbtv-t az Országgyűlés 2001. 04. 11-én fogadta el és az 2001. 01. 01-én lépett hatályba (2000. évi XXV. törvény).

A törvény „preambuluma” kiemelten hangsúlyozza, hogy a kémiai biztonság több mint állampolgári jog, minden Magyarországon tartózkodó ember alanyi joga. A bevezetésben röviden és egyértelműen van megfogalmazva a Kbtv célja, ami nem más, mint a kemizáció káros hatásainak prevenciója, kockázatainak elfogadható szintre való csökkentése. E cél megvalósítása minden magyar állampolgár, az ország állandó vagy ideiglenes lakosának kötelezettsége. A kilenc fejezetből álló törvény hatálya kiterjed az embert és a környezetet veszélyeztető, veszélyesnek minősülő anyagokra és készítményekre.

Az I. fejezetben szerepel a kémiai biztonság fogalmának meghatározása. Eszerint az „a kemizációból, a vegyi anyagok életciklusából származó, a környezetet és az ember egészségét károsító kockázatok kezelését, csökkentését vagy elkerülhetővé tételét célul kitűző, illetőleg megvalósító intézmények, tevékenységek olyan összessége, amely egyidejűleg tekintetbe veszi a fejlődést fenntarthatóságának szükségességét.”

A Kbtv végrehajtásában kiemelt szerepet kaptak a megyei kormányhivatalok területileg illetékes népegészségügyi szakigazgatási szervei. A törvény hatályba lépése nemcsak országunk kémiai, hanem közegészségügyi biztonsága területén is jelentős előrelépés, és csatlakozás az Európai Unió ezt a területet érintő szabályozási rendszeréhez.

2. fejezet - A vizek környezetegészségügyi hatásai

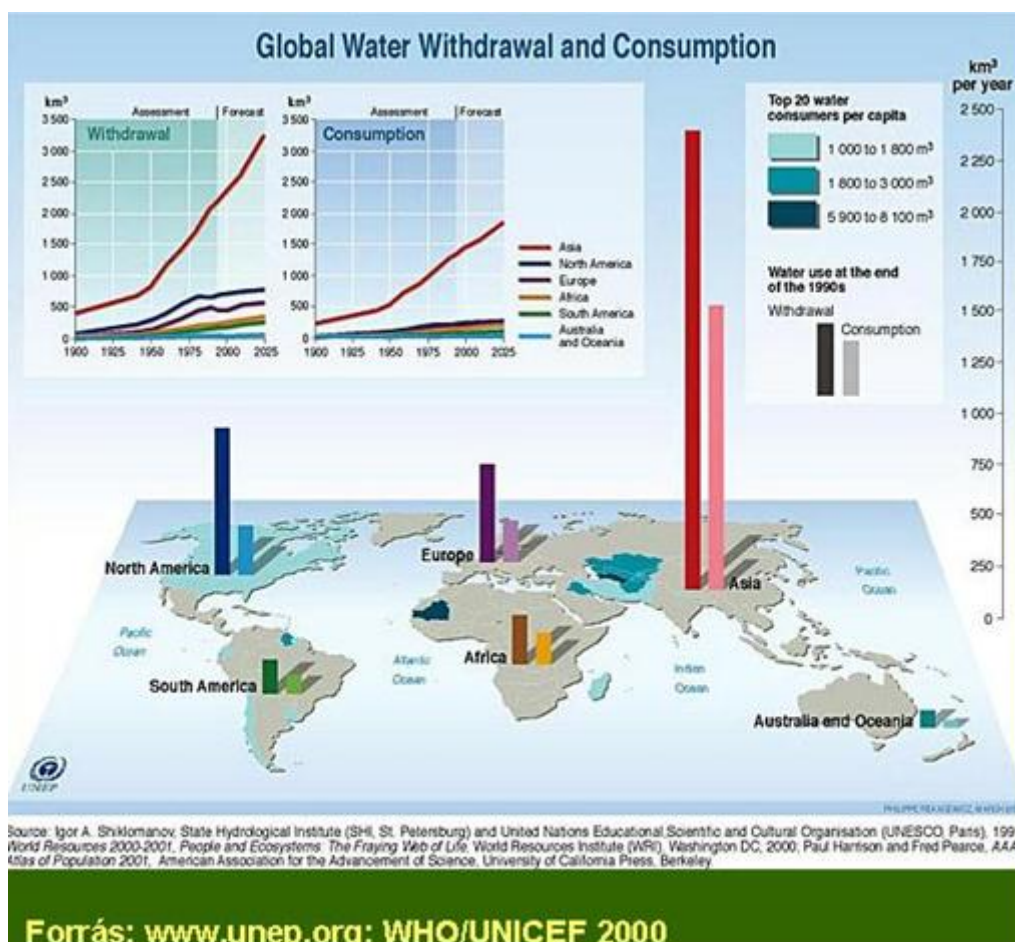
1. Az ivóvíz fogalma, szerepe és forrása

1.1. Az ivóvíz szerepe

Az emberi test víztartalma igen jelentős, víz nélkül az élet lehetetlen. Egy átlagos testtömegű (70 kg) ember kb. 40 liter vizet hordoz, melynek 70%-a intracellulárisan, míg 30%-a extracellulárisan található. Az emberi szervezet normál körülmények között naponta körülbelül 2,7 liter vizet veszít elsősorban az extracelluláris részből (vizelet, bőr, légzés, széklet.) Ezt a mennyiséget pótolni kell, melyből jelentős részt, 1,5 litert folyadék alakjában vesz fel (friss ivóvíz vagy az abból készült italok). Ezt egészíti ki a táplálék víztartalma (kb. 0,8 liter), valamint az emberi szervezet oxidációs folyamatai során képződő víz (0,3- 0,4 liter). Az emberi tevékenységhez szükség van további vízigényre. A napi személyi tisztálkodásra, a háztartási tevékenységekhez is szükséges a megfelelő minőségű víz, melyet kb. 30-40 liter/nap/fő mennyiségre becsülnék. A mezőgazdaság és az ipar vízszükséglete ennél 10-15-ször nagyobb.

A Föld népességének robbanásszerű növekedése azt eredményezi , hogy mind az egészséges ivóvíz iránti igény, mind a mezőgazdaság és az ipar vízigényének biztosítása egyre nagyobb erőfeszítést igényel. A világ vízkivételének és fogyasztásának adatai alapján igen jelentős Ázsia szerepe.

2.1. ábra - A világ vízkivétele és fogyasztása az 1990-es évek végén



Az édesvíz szűkösség legfőbb okai három alapvető csoportba sorolhatók:

- a forrás vagy utánpótlás megsérüléséből adódó szűkösség
- a kereslet növekedéséből adódó szűkösség
- a társadalmi változásokból fakadó szűkösség

A vízszűkösséget kialakító tevékenységek között kiemelkedő szerepük van az alábbi tényezőknek:

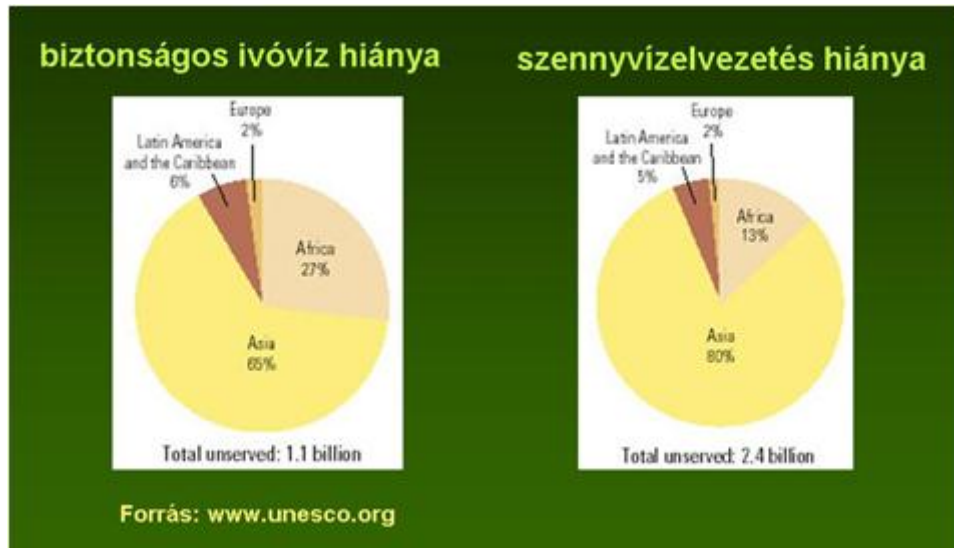
- a Föld sivatagi és félsivatagi területein alacsony az éves csapadékmennyiség, eloszlása gyakran kiszámíthatatlan
- a több ország területét érintő folyók esetén az egyes országok a saját érdekeiket helyezik előtérbe a vízgazdálkodás során
- a világ népességszámának növekedése
- a városlakók arányának növekedése
- a mezőgazdasági és ipari vízfelhasználás növekedése
- vízszennyezés (a felhasznált víz kb. 40%-a szennyezett jut vissza a víz körforgásába)

2.2. ábra - A világ ivóvíz és szennyvízelvezetés ellátottsága 1990-ben és 2000-ben



A világ ivóvíz-ellátottságának biztosítása elsősorban a városi települések igényeire helyezi a hangsúlyt. Ugyanez jellemző a keletkezett szennyvizek tisztítására is. A vidék vízellátása és szennyvízelvezetése igen alacsony szintű.

2.3. ábra - Biztonságos ivóvíz és szennyvízelvezetés hiánya



A biztonságos ivóvíz ellátás és szennyvízelvezetés hiánya elsősorban Ázsia és Afrika országaira jellemző, holott az igény ezen kontinensek országaiban is növekszik. A globális klímaváltozás (átlaghőmérséklet folyamatos emelkedése) növeli az aszályos területek nagyságát, amely újabb vízigényt generál.

Tudod-e?

A XXI. század kettős kihívás előtt áll: egyrészt a vízkészletek hiányával és az e tekintetben fokozódó nyomással kell szembenéznie, másrészt biztosítania kell a szegény népességszámára a vízhez való hozzáférést. Ezek a problémák rendkívül súlyosak a fejlődő országokban, különösen afrikai földrészen, amelynek népessége ötven év alatt a háromszorosára emelkedett. A víz iránti igények növekedése 2025-ig előreláthatóan szakadatlan lesz: mintegy 40%-kal nő a háztartási fogyasztás, 17%-kal az öntözés, valamint jelentős mértékben az ipari és energetikai célokra történő felhasználás.

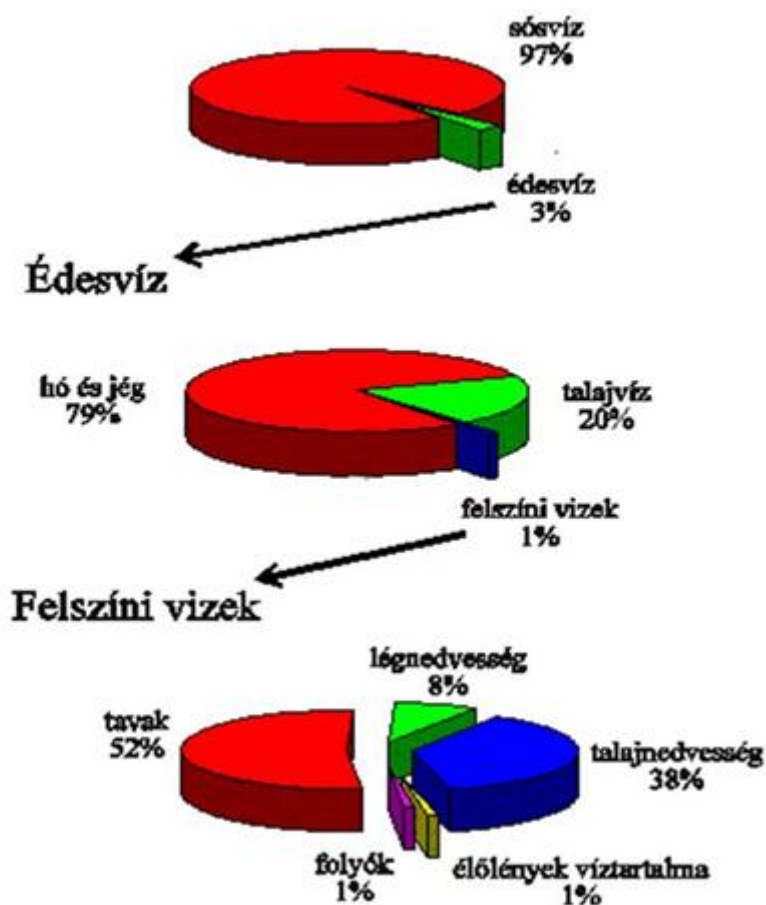
Becslések szerint 2015-ig 1,1 milliárd ember (ebből 400 millió Afrikában) nem juthat majd megfelelő ivóvízhez, és 2,6 milliárd ember (ebből 410 millió Afrikában) nem rendelkezik majd megfelelő higiéniai körülményekkel (WHO/UNICEF JMP 2004)¹. Ennek a problémának a megoldása 365 milliárd USD értékű beruházást igényelne a fejlődő országokban (30 milliárd USD összeget évente). Ez az összeg az e téren 1990 és 2000 között befektetett összeg négyszerese. E kihívásokkal szemben a nemzetközi közösség azt a célt tűzte ki maga elé, hogy 2015-ig a felére kell csökkenteni azok számát, akik ma még nem jutnak egészséges ivóvízhez és megfelelő higiéniai körülményekhez.

A Földön 6,2 milliárd ember él, közülük 1,1 milliárd nem jut ivóvízhez, és 2,6 milliárd ember számára nem állnak rendelkezésre a megfelelő higiéniai körülmények. Afrika és Ázsia országaiban a víz az évszakok szerint bekövetkező szélsőséges ingadozások függvényében áll rendelkezésre, és a száraz időszakokat rendszeresen pusztító áradások követik. A Millenniumi Fejlesztési Célok szerint az ésszerűen biztosítandó szükséges vízmennyiség egy vízforrástól számított egy kilométeres sugarú körben legalább 20 liter víz, fejenként és naponta

1.2. A Föld vízkészlete, a víz körforgása

A Föld vízkészletének jelentős része (95%) a litoszférában található, amely csak magas hőmérsékleten szabadítható fel. A maradék 5% alkotja a hidroszférát, azonban ennek 99,9%-a tengervíz és 1%-a a sarkvidéki jég.

2.4. ábra - A Föld vízkészlete



A vízkészlet 0,1%-a a felszíni és a felszín alatti vizekben található amely alkalmas az ivóvíz szükséglet kielégítésére.

A felszíni és felszín alatti vizek a hidrogeológiai ciklusban kapcsolódnak össze. A Föld felszíni vizeiből a párolgó víz ködöt illetve a magasabb légrétegekben felhőt képez.

2.5. ábra - A víz körforgása



Az alacsonyabb hőmérséklet kondenzálja a vízpárát, így csapadék képződik, mely visszajut a Föld felszínére, majd innen a mélybe halad. Ha a felszínhez közeli első vízzáró réteg tartja meg a lehullott csapadékot, akkor ezt talajvíznek nevezzük. Ez a mélység a felszínhez viszonyítva néhány métertől 20-30 méterig terjed. Ez a vízzáró réteg igen sérülékeny mind a kémiai mind a mikrobiológiai szennyeződések vonatkozásában. A rétegvíz, nagy mélységi víz két vízzáró réteg között helyezkedik el, melynek mélysége 20 métertől néhány ezer méterig terjedhet. A vízzáró rétegek összetételétől függ, hogy ez a víz mennyire sérülékeny.

A rétegvizet, ha oldott ásványi anyag tartalma meghaladja az 500 mg/l értéket ásványvíznek nevezzük. Ásványvíznek minősíthető továbbá az a rétegvíz amelyben egy-egy biológiailag aktív komponens koncentrációja egy nemzetközileg elfogadott értéket meghaladja.

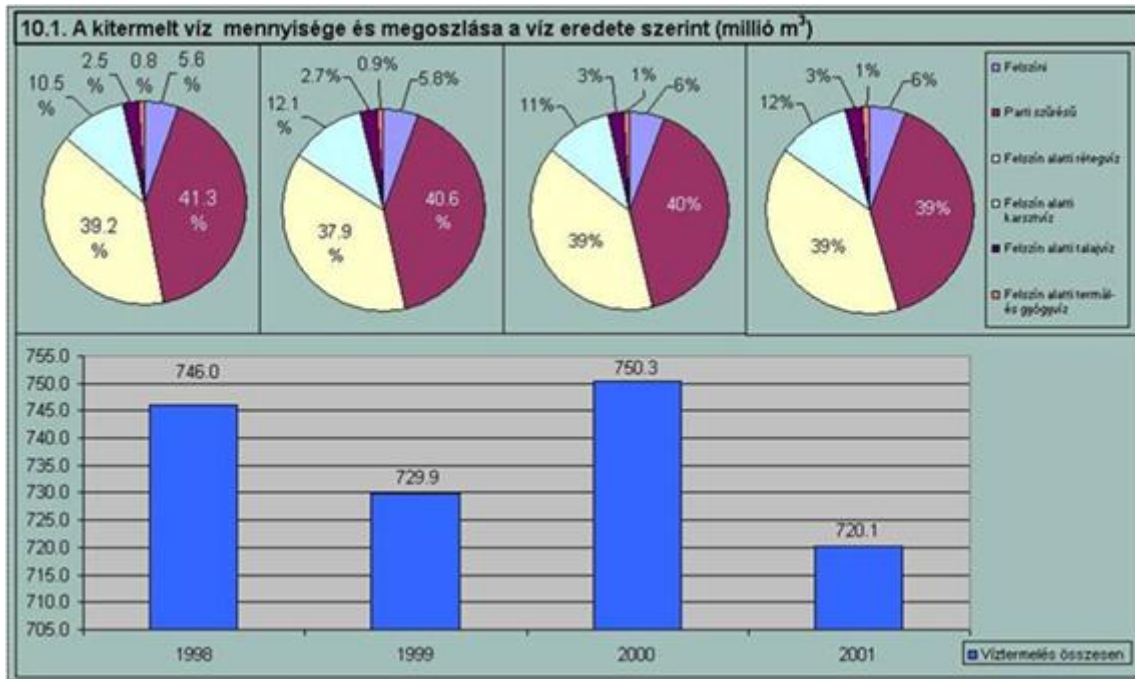
Termákvíznek nevezzük azt a rétegvizet, amelynek hőmérséklete a 26 °C-t meghaladja. Amennyiben a termákvíz oldott sótartalma megfelel az ásványvíznek, akkor hévízről beszélünk.

A csapadékvíz a mészkőhegységek repedékein átszivároghat barlangokban gyűlik össze, amelyet karsztvíznek nevezünk. A felszíni vizek, amelyeket elővíznek nevezünk (folyó, tó) csak megfelelő tisztítást, vízkezelést követően alkalmasak vízellátásra.

1.3. Az ivóvíz forrásai, a vízellátás

Az ivóvíz előállításához a kezelendő nyersvizet felszíni vagy felszín alatti vízbázisokból nyerhetjük. Magyarországon az ivóvízellátásban meghatározó szerep jut a felszínalatti vizeknek, ezen belül is a felszín alatti rétegvíznek és a karsztvíznek. A felszíni vízből származó ivóvíz aránya a nyolcvanas években sem érte el a 15%-ot, napjainkban pedig 5-6% között változik. A nagymértékű csökkenés oka elsősorban a kilencvenes években bekövetkezett ivóvízfogyasztás csökkenésében keresendő. A Balaton térségében, az Északi Középhegységben és a Szolnokon létesített felszíni-víz tisztító üzemek ma is termelnek, hiszen az adott térségekben nem állnak rendelkezésre felszínalatti vizek megfelelő mennyiségben és minőségben.

2.6. ábra - A kitermelt víz eredet szerinti csoportosítása



A felszíni vízbázisok körébe tartoznak:

- tározók
- tavak
- folyók

Az ivóvízellátásban felhasználásra kerülő felszínalatti vizek alapvetően négy csoportba sorolhatók:

- talajvíz
- mélységi vizek
- parti szűrésű víz
- karsztvíz

A vizet helyi és központi vízellátás formájában lehet eljuttatni a fogyasztóhoz. A helyi vízellátáson a forrásokat és a kutakat értjük.

A központi vízellátás vízművek segítségével valósul meg, mely magában foglalja a kútrendszert, a vízkezelő telepeket, víztározó rendszert és a csőhálózatot, amelyen keresztül eljut az ivóvíz a fogyasztóhoz.

A talajvizek részesedése az ivóvízellátásban ma már nem nevezhető jelentősnek, melynek elsősorban az, az oka, hogy a talajra jutott, vagy a talajban nem megfelelő körülményekkel elhelyezett szennyezőanyagok, valamint a növénytermesztésben alkalmazott műtrágyák egy része eljutott a talajvízbe. Mivel a felszínhez közel található talajvíz minősége változó, ivóvíz céljára csak akkor használható fel, ha elég mélyen fekszik, a domborzati alakulatok biztosítják az állandó áramlást és a talaj szűrőképessége is megfelelő. Ilyen esetben a víz állandó mozgásban van, cserélődik. A talajvizek gyűjtésére többféle módon készítenek kutat:

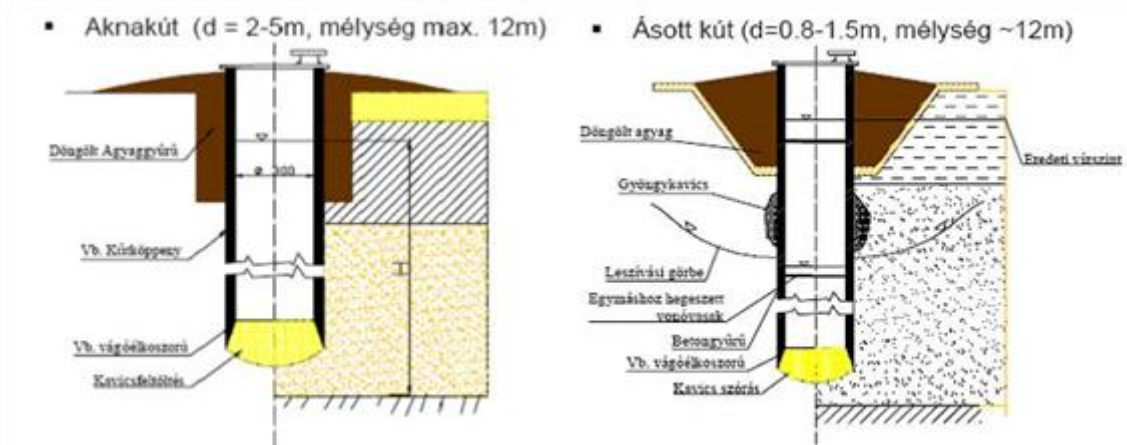
Aknás kút

Ásott kút, amelynek falát téglával vagy betongyűrűkkel rakják ki. Ha a kút mélysége a talajvízszintjét eléri, akkor még 2–3 m mélyre tovább ásnak. Ha ez a mélység a vízszigetelő agyagréteget nem éri el, akkor ún. lebegő-kútról, ha a szigetelő réteget eléri akkor teljes kútról beszélünk. Ez utóbbi esetben az alsó betongyűrűnek, vagy egyéb falazatnak vízáteresztőnek kell lennie, hogy a víz áramolhasson, cserélődhessen. A felső betongyűrű peremének a talaj felszíne felett legalább 30 cm-re kell lennie és a felső 1,5 m-es részét körben a csapadékvíz, és a szennyező anyagok bemosódásának meggátolása miatt agyaggal kell bedöngölni. Ajánlatos

a kutak felső részét lezárni, mert a vödörös, ún. kerekakutakba belekerülhet por, szemét, de a vödört piszkos kézzel megfogva is elszennyezhető a kút. A jól megtervezett és kiépített aknás kút minden szennyező forrástól (ól, istálló, pócegdőr, trágyadomb, árok vagy vízvezető csatorna) legalább 20 m-re épüljön

A talajvíz áramlása a szennyező forrásokkal ellentétes irányú legyen. A magasabban helyet elfoglaló, korábbi kutaktól is legalább 15 m távolságot kell hagyni. A kút közelében mosni, állatokat tartani, vagy itatni nem ajánlott. Ha mégis szükséges, az itatót legalább 5 m távolságba kell elhelyezni. Időnként az ilyen kutakat tisztítani kell, amit a teljes víz kiemelésével, a kút aljának tisztításával, zúzottkő- vagy kavicsréteg elhelyezésével és fertőtlenítéssel kell elvégezni.

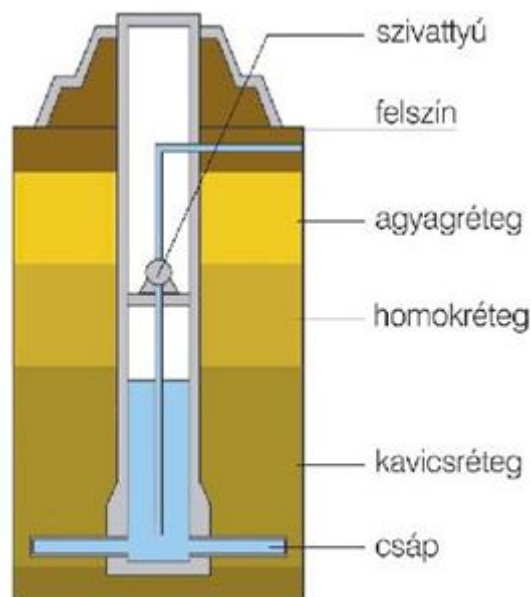
2.7. ábra - Különböző típusú kutak



Csápos kút

Az aknás kút továbbfejlesztett változata, amellyel nagyobb vízhozamot lehet elérni. Lényege az, hogy az akna falát a vízszűrő réteg magasságában megfúrják és a fúraton keresztül hidraulikusan egy megfelelően réselt és kihegyezett acélsövet sajtolnak kifelé. Ha a sajtoló elérte az akna falát, akkor további csöveket hegesztenek a meglévőre, és a sajtolás folytatódik tovább. Így a csáp akár a 70 m hosszúságot is elérheti. A legvégén a csapot körbe szigetelik. A legvégén a csapot körbe szigetelik. Ilyen csápból különböző irányban többet is el lehet készíteni. Nagy hozama miatt a csápos kutat az ipari víztermelésben alkalmazzák.

2.8. ábra - Csápos kút



Vert kút

Lényege, hogy egy hosszú, lyukakkal ellátott vascsövet a talajvíz szintjébe levernek, a lyukakon át telítődik vízzel, amely közvetlenül kitermelhető. Hátránya, hogy vízhozama kicsi, és nem tisztítható. Az ilyen kút vize csak akkor megfelelő, ha a talajvíz nem szennyeződik. Az ország nagy területén a rendelkezésre álló talajvizek a vezetékes ivóvízellátásba csak költséges vízkezelési technológiák alkalmazását követően vonhatók be. Az elmúlt 15-20 évben több vízmű-telep működését kellett leállítani, szüneteltetni, vagy korlátozni a víz határértéket meghaladó nitrát tartalma miatt

A Mecsek, a Dunántúli Középhegység, az Aggteleki Karszt és a Bükk karsztvíz tartóiban található karsztvíz egy részét rendszeresen felhasználjuk a lakossági ivóvízellátásban. Karsztvizeink minősége az esetek többségében az ivóvízellátás céljaira megfelel, a fertőtlenítésen kívül egyéb vízkezelési technológia alkalmazása nem szükséges. A karsztvíztartók vízgyűjtő területén azonban nem mindenütt fordítanak megfelelő figyelmet a vízbázis védelemre, és ennek következtében fennáll a vízkészletek elszennyeződésének veszélye. A Balaton-felvidéken egyes karsztvíz tartókban a nitrát ionok koncentrációja meghaladja a hazai ivóvízszabványban rögzített határértéket.

Magyarország területének nagy részén a mélységi vizek - ha nem is mindig elegendő mennyiségben és megfelelő minőségben - megtalálhatók, és elsősorban ez indokolja, hogy részesedésük a lakosság ivóvízellátásában meghaladja a 30%-ot. A rétegvizek széleskörű felhasználását az is indokolja, hogy a védett víztartókból kitermelt víz utánpótlódása lassú folyamat, ezért jelenleg felszíni eredetű, antropogén szennyezés a vízben nem található. Néhány komponens koncentrációja azonban - annak ellenére hogy természetes eredetű - meghaladja az ivóvízszabvány határértékeit, így vízkezelési technológia alkalmazása szükséges annak érdekében, hogy a kitermelt víz ivóvízként felhasználható legyen. A lakosság vízellátásában több mint 40%-kal részesednek partiszűrésű vizeink. Partiszűrésű vízbázisaink a Duna, a Dráva a Rába és a Hernád mentén található. Bár a partiszűrésű vizek minősége mind a folyó, mind a hátoldal felől érkező szennyezőanyagokkal szemben nem eléggé védett, egy-két kivételtől eltekintve szerves és szervesetlen mikroszennyezők, kellemetlen szagot és ízt okozó anyagok ma még nem jelennek meg a kitermelt vízben. Meg kell azonban jegyezni, hogy a nem szerencsés mederveviszonyok következtében egyes partiszűrésű vízbázisaink vízében határértéket lényegesen meghaladó mennyiségű vas, mangán és ammónium ion fordul elő. Kezelésre szoruló partiszűrésű vizeink esetében azonban elegendő a hagyományos vas- és mangántalanítási technológiákat alkalmazni, jelenleg nincs szükség ózonos és granulált aktív szenet tartalmazó adszorber beiktatására a vízkezelési technológiákba.

2.9. ábra - Vert kutak



Vízminőség tekintetében alapvető különbség van a felszíni és felszín alatti vízbázisok között. A felszíni vizekre jellemző:

- gyakori, egyes komponensek tekintetében periodikus, vízminőség változás
- rendkívüli szennyezések előfordulhatnak, de viszonylag gyorsan levonulnak
- folyamatosan változó vízhőmérséklet.

A felszín alatti vizekre jellemző:

- stabil, lassan változó vízminőség

- stabil hőmérséklet
- több éves igénybevétel esetén változhat a vízminőség.

Jellemző szennyezőforrások és szennyezőanyag komponensek

Talajvíz

- kommunális hulladékok rendezetlen lerakása
- a veszélyes hulladékok nem megfelelő elhelyezése
- szakszerűtlenül kialakított szennyvízszikkasztók
- szennyvizek gondatlan elhelyezése a talajban
- mikroorganizmusok (kórokozók és nem-kórokozók)
- ammónium, nitrit és nitrát ionok
- vas és mangánvegyületek

Mélységi vizek

A víztartó felett egy vagy több vízzáró réteg helyezkedik el amennyiben ezek a vízzáró rétegek nagy kiterjedésűek és sérüléseket nem tartalmaznak, a víztartóban elhelyezkedő vízbe felszíni (tehát emberi) eredetű szennyezőanyagok nem jutnak el

A mélységi vizek potenciális szennyezőanyag komponensei a következők:

- mikroorganizmusok (egyedszámuk nagyon kicsi)
- ammónium ionok
- vas és mangán vegyületek
- humin, lignin és fulvin anyagok
- illékony szerves anyagok (pl. vízben oldott metán gáz)
- nagy sótartalom (oldott!)
- nagy mennyiségű oldott szén-dioxid
- oldott állapotú arzén vegyületek (geológiai, geokémiai eredetű!)

Karsztvíz

A karsztvíz minőségét alapvetően két szennyeződési lehetőség fenyegeti. Az egyik a felszíni vízgyűjtő területről történő szennyezőanyag bemosódás, a másik a felszínalatti vízgyűjtő területen elhelyezett hulladéktárolók. Ezek közé tartoznak az adott terület csatornázottságának hiányában megvalósított szabálytalan szennyvízelhelyezések is.

A karsztvizek potenciális szennyezőanyag komponensei a következők:

- mikroorganizmusok (kórokozók és nem-kórokozók)
- ammónium és nitrát ionok
- zavarosság (lebegőanyag)
- oldott állapotú szerves anyagok
- szerves és szervetlen mikroszennyezők

Parti szűrésű víz

Egyes vízfolyások adott szakaszain kialakuló kavicsteraszokon összegyűlt, rövid idő alatt megújuló felszínalatti víz, melynek forrása elsősorban a folyó, de részben a folyó felé áramló felszín-közeli víz. Tekintettel arra, hogy a partiszűrésű víz döntő többsége a folyóból a viszonylag jó vízvezető tulajdonságokkal rendelkező parti rétegen átszűrődve jut el a víznyerő helyre, egyes vélemények szerint ez felszíni víz. Magyarországon a partiszűrésű vizet a felszínalatti vizek közé soroljuk.

Folyók, tavak, tározók

Potenciális szennyezőanyag komponensei a következők:

- zavarosság (lebegőanyag és alga)
- patogén és nem patogén mikroorganizmusok
- szerves anyagok (szennyvízbevezetések)
- humin, lignin és fulvin anyagok
- kőolaj és származékai
- szerves és szervesetlen mikroszennyezők
- ammónium ionok (elsősorban hideg vizekben)

2. Az ivóvíz minőségi követelményei és az egészségügyi határértékek

Az ivóvíz az emberi szervezet számára nélkülözhetetlen tápanyag. Az emberi eredetű szennyezések következtében a természetben található vizek jelentős része azonban közvetlen emberi fogyasztásra alkalmatlan. Ismert, hogy bizonyos típusú természetes eredetű szennyezőanyagok is előfordulhatnak olyan mértékben a vízben, hogy azok tartós fogyasztása a szervezetre káros lehet

Az a víz, amely megfelel az aktuális ivóvízszabvány követelményeinek, ivóvíznek tekinthető. A vezetékes ivóvízzel való ellátottság dinamikusan nőtt az elmúlt évtizedben. A kiépített vízvezeték hálózat hossza 2004-ben 64,4 ezer km, ami 18,7%-al meghaladja az 1991-es évit. 1991-ben még csak a települések 84,1%-a volt ellátva vezetékes ivóvízzel, ma már ez az arány közel teljes körű 99,9 %. Hazánkban 1991-ben a lakások 86,4%-a, 2004-ben már 93,7 %-a volt bekapcsolva a vízvezeték hálózatba. A lakosság vízellátási komfortjában jelentős különbségek vannak. A lakásbekötéses színvonalú ellátás mellett ma még a lakosság egy része az alacsonyabb komfortot jelentő udvari csapolóhelyekről és utcai közki-folyókról hordott vízzel elégíti ki ivóvízszükségletét. A lakások 4,5-5 %-a a hálózatra kötött közutas ellátásból nyeri a vizet, azaz ezt is beszámítva a háztartások több mint 98 %-a vezetékes ivóvízzel ellátott. A háztartások maradék kb. 2 %-a a településektől távolabb, talajvízre telepített kútjából látja el magát. (ÖKO Zrt., 2005)

Az ivóvízzel szembeni elvárások a következők:

- színtelen
- szagtalan
- kellemes ízű
- hőmérséklete: 8 – 12 °C
- ne tartalmazzon
 - kórokozó mikroorganizmusokat
 - mérgező anyagokat
 - lebegőanyagot, vagy egyéb zavarosságot okozó anyagot

- kellemetlen szagot vagy ízt okozó anyagot
- ne legyen nagy a sótartalma
- ne legyen nagy a szerves anyag tartalma

Az ivóvizek minőségével kapcsolatos szabályozások a különböző ajánlásokon, illetve szabványokon keresztül történnek. Mint ahogy a nevükben is szerepel: az ajánlás nem kötelező érvényű, a szabvány azonban kötelező érvényű szabályozási eszköz. A WHO (World Health Organization – Egészségügyi Világszervezet) ajánlásai azonban nagy befolyással vannak az egyes szabványokban meghatározott határértékekre, így ezek az ajánlások végeredményben beépülnek az egyes szabványokba.

Kiterjedés szerint három csoportba sorolhatjuk a szabályozásokat:

- **globális (világméretű);** pl.: WHO Guidelines (Az Egészségügyi Világszervezet ajánlásai)

http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/index.html

- **regionális;** pl.: EU Direktívák (Szabvány)

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:05:32000L0060:HU:PDF>

- **országos szabványok**

Az ivóvíz minőségére vonatkozó szabványok az egyes komponensek maximálisan megengedhető koncentrációit (MAC érték) határozzák meg. Az adott határértékek rendszeresen felülvizsgálatra kerülnek és a legújabb kutatási eredmények alapján sor kerül változtatásukra (általában szigorításukra)

A '70-es és a '80-as években a hazai ivóvízszabvány (MSZ 445-1978, MSZ 445-1989) kialakításakor a WHO irányelveit vették figyelembe. Az EU csatlakozás miatt azonban a '90-es évek második felétől már az EU Direktívák váltak irányadóvá. Az ivóvíz minőségére vonatkozó előírásokat jelenleg a 201/2001. (X. 25.) sz. Kormányrendelet szabályozza, amely 2001 októberében lépett életbe.

Hosszú előkészítő munka és egyeztetési folyamat után, 2000. december 22-től a többi tagállammal egy időben, hazánkban is érvényes az Európai Unió új vízügyi szabályozása, a Víz Keretirányelv (2000/60/EK, rövidítve VKI).

http://www.vizeink.hu/files/VGT_tajekoztato_20100618.pdf

Általános célkitűzései a következők:

- a vizekkel kapcsolatban lévő élőhelyek védelme, állapotuk javítása
- a fenntartható vízhasználat elősegítése a hasznosítható vízkészletek hosszú távú védelmével
- a szennyezőanyagok kibocsátásának csökkentésével a vízminőség javítása
- a felszín alatti vizek szennyezésének fokozatos csökkentése, és további szennyezésük megakadályozása
- az árvizeknek és aszályoknak a vizek állapotára gyakorolt kedvezőtlen hatásainak mérséklése

A vizsgálatok típusait három csoportra lehet bontani:

- organoleptikus (szag,- íz, zavarosság stb.)
- bakteriológiai
- kémiai

A vízminőség ellenőrző vizsgálatok lehetnek ellenőrző és részletes vizsgálatok. Az ellenőrző vizsgálatok célja az, hogy rendszeresen tájékoztasson az ivóvíz organoleptikus és mikrobiológiai minőségéről, egyes kémiai vízminőségi jellemzőkről, a vízminőség esetleges változásáról, vízkezelés hatékonyságáról.

Az ellenőrző vizsgálat keretében a következő vízminőségi jellemzőket kell meghatározni:

- I. oszlop: mindig vizsgálandók
- II. oszlop: bizonyos feltételektől függően vizsgálandók
- III. oszlop: bizonyos esetekben, de kisebb gyakorisággal vizsgálandók

2.1. táblázat - Vízminőségi jellemzők

I.	II.	III.
Vízminőségi jellemző	Vízminőségi jellemző	Vízminőségi jellemző
Szín	Alumínium	Arzén
Szag	Klorid	Lúgosság
Íz	Mangán	Keményesség
Ammónium	Nitrát	Klorit
Nitrit	pH	Kötött aktív klór
Permanganát-index(KO ₁ ps)	Zavarosság (10 000 m ³)	Szabad aktív klór
Vas	Enterococcusok	Szulfát
Vezetőképeség	Clostr.perfr. (sporák is)	Trihalometánok
E. coli	Ps. aeruginosa	Összes szerves szén (TOC)
Telepszám 22 °C-on	Mikroszkópos biológiai vizsgálat	
Coliform bakt.	Mikroszkópos biológiai vizsgálat	
	Telepszám 37 °C-on	

Védett vízbázisok vize esetében a peszticidek, benzol, 1,2-diklór-etán, tetraklór-etilén, triklór-etilén, cisz-1,2-diklór-etilén és - nem klórozott vizek esetében - a trihalometánok csak az első felméréskor - és ha nem voltak kimutathatók az alsó mérés határt, illetve a határérték 10%-át meghaladó koncentrációban -, akkor utána csak 10 évenként egyszer, illetve vízszennyezés gyanúja esetén mérendők.

2.2. táblázat - Mikrobiológiai vízminőségi jellemzők

Vízminőségi jellemző	Határérték (szám/100 ml)
Escherichia coli (E. coli)	0
Enterococcusok	0

2.3. táblázat - Tartályban forgalmazott vízre vonatkozó értékek

Vízminőségi jellemző	Határérték
Escherichia coli (E. coli)	0/250 ml
Enterococcusok	0/250 ml
Pseudomonas aeruginosa	0/250 ml
Telepszám 22 °C-on	100/ml
Telepszám 37 °C-on	20/ml

2.4. táblázat - Kémiai vízminőségi jellemzők

Vízminőségi jellemző	Határérték	Egység
Akrilamid	0,1	µg/l
Antimon	5	µg/l
Arzén	10	µg/l

Vízminőségi jellemző	Határérték	Egység
Benzol	1	µg/l
Benz(0)pirén	0,01	µg/l
Bór	1	mg/l
Bromát	10	µg/l
Kadmium	5	µg/l
Króm	50	µg/l
Réz	2	mg/l
Cianid	50	µg/l
1,2-diklór-etán	3	µg/l
Epiklórhidrin	0,1	µg/l
Fluorid	1,5	mg/l
Ólom	10	µg/l
Higany	1	µg/l
Nikkel	20	µg/l
Nitrát	50	mg/l
Nitrit	0,5	mg/l
Peszticidek	0,1	µg/l
Összes peszticid	0,5	µg/l
Policiklusos aromás szénhidrogének	0,1	µg/l
Szelén	10	µg/l
Tetraklór-etilén és triklór-etilén	10	µg/l
Összes trihalo-metán	50	µg/l
Vinil-klorid	0,5	µg/l
Cisz-1,2-diklór-etilén	50	µg/l
Klorit	0,2	mg/l
Kötött aktív klór	3	mg/l

3. A vízszennyeződés okozta ártalmak

3.1. Az ivóvíz kémiai szennyeződése és hatása az emberi egészségre

A természetes vizek tartalmazhatnak eredetileg is egészségre káros anyagokat, azonban a vizek szennyeződésének fő oka az emberi tevékenység következményeivel azonosítható. A szennyeződés forrása lehetne a levegőből leülepedő aeroszesztonok , a talajból kimosott vegyszerek , műtrágyák, azonban a legfontosabb forrás a szennyvíz.

A keletkezését illetően a szennyvíz lehet :

- háztartási (nagy szervesanyag tartalom, mosószerek, emberi bélflóra)
- mezőgazdasági (szervesanyag tartalom, állati bélflóra, műtrágya, növényvédő szerek)
- ipari (szerves és szervetlen vegyipari termékek)

Hazánkban a keletkező szennyvizek kb. 30%-a tisztítatlanul kerül a környezetbe (talaj, felszíni vizek) ami mintegy 400 millió m³ szennyvizet jelent évente. Amennyiben a szennyeződés nem ér el magas fokot, a víz képes öntisztulásra, amely néhány héttől néhány hónapig tart. Ebben a folyamatban az ülepedés felhígulás, a

különböző anyagokat bontó baktériumok, valamint a kórokozókat pusztító bacteriophagok és egy bacteriolysist eredményező vibrió játszanak szerepet.

A vizeink kémiai szennyeződésének főbb forrásai:

- természetes szennyezés
- mesterséges szennyezés

A természetes szennyezés elsősorban a felszín alatti vizekre jellemző, főbb formái:

- ásványi anyagok (NaCl, MgCO₃, CaCO₃, arzén)
- nitrát szulfát
- radioaktív anyagok (radon, rádium)

A szennyezés forrása a vízzáró rétegekből, kőzetekből kioldódó vegyi anyagok. A mesterséges szennyeződés a felszíni és karsztvizekre jellemző, de természetesen a sérülékeny vízbázisok esetén a felszín alatti vizeket is érintheti.

Főbb formái:

- oxigénigényes szerves hulladékok (szennyvíz, trágya)
- vízben oldható szervesanyagok (savak, sók, toxikus nehézfémek és vegyületeik)
- szervesanyagok (nitrát, foszfát)
- szerves vegyületek (olaj, kőolaj származékok, peszticidek, detergens)
- fizikai szennyeződés (radioaktív anyag, kő)

Hazánkban és a világ országaiban számos katasztróféként emlegetett nagymértékű vízszennyeződés történt:

- Rába habzása Magyarországon
- Tisza cianid és nehézfém szennyeződése (2000)

2.10. ábra - Tiszai cianid és nehézfém szennyeződés (2000)



- Exxon Valdez katasztrófa Alaszka partjainál (1989, 40 millió liter nyersolaj)

•

2.11. ábra - Exxon Valdez katasztrófa (1989)



- Mexikói öböl olajszennyeződése (felrobbant fűrótorony 2010 ápr. 20)

•

2.12. ábra - Mexikói öböl olajszennyeződése (2010)



3.2. A víz természetes és mesterséges szennyeződésének következményei

Vízkeménység

A meszes, vagy alkáli földfémeket tartalmazó talajból származó vizek különböző mennyiségben tartalmaznak kalcium- és magnézium- karbonátot és bikarbonátot , valamint szulfátot , kloridokat és nitrátot. Ezen sók alkotják a víz összes keménységét, amelyet CaO/l értékben adnak meg.

A coronária mortalitást jelentősen megnöveli a víz nagy keménysége. A lány ivóvizet fogyasztó terhes anyák körében a fejlődési rendellenességgel született csecsemők aránya megnövekszik (szájpadlášhasadék, spina bifida).

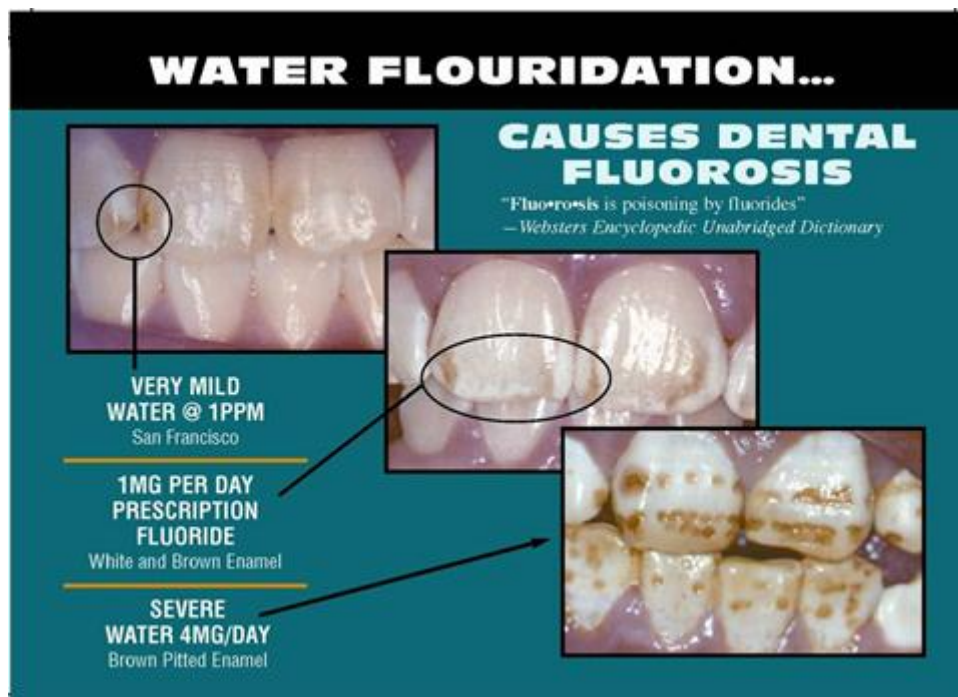
Ammónia, nitrit, nitrát ion

Az ammónium és nitrit ion jelenléte friss fekális szennyeződése utal, míg a baktériumok által átalakított nitrát ionok régebbi szennyeződésre utalnak. Amennyiben az ivóvíz nitrát tartalma magas (40mg/l) az 1-3 hónapos, mesterségesen táplált csecsemőknél methaemoglobinaemia alakulhat ki. A tápszer elkészítéséhez használt víz nitrátionja a baktériumok hatására a csecsemő gyomrában nitritionná redukálódik. Felszívódva behatolnak a vörösvérsejtekbe gátolják a kataláz enzim működését. Ennek hatására H_2O_2 molekulák szaporodnak fel, melyek a haemoglobin ferrovasát átalakítják ferriovassá. Az így képződött methaemoglobin oxigént szállító funkciója sérül. A folyamathoz hozzájárul az is, hogy a csecsemő vörösvérsejtjei nagy mennyiségű fetális hemoglobint tartalmaznak, amely könnyebben alakul át methaemoglobinná. A megbetegedés klinikai tünete igen jellegzetes, a csecsemő hirtelen cyanoticussá válik és súlyos légzési zavar alakul ki amely orvosi beavatkozás nélkül halálhoz vezet (kék baba).

Fluor

A víz magas fluortartalma (>2mg/l) hatására a fogzománc foltossá válik, amelyet fluorosis –nak neveznek.

2.13. ábra - Fluorosis



Az alacsony fluortartalom (<1mg/l) szerepet játszik egyéb tényezők mellett a fogszuvasodás gyakoriságának növekedésében.

Arzén

A rétegvizek természetes eredetű szennyeződésének eredménye az ivóvíz magas arzéntartalma. Tartós fogyasztás esetén az arsenosis kórkép alakul ki, melyre a tenyerek és talpak hyperkeratosisa és a lábszárnak bőrének barnás elszíneződése jellemző. Epidemiológiai adatok alapján az ilyen állapot a bőrrák kialakulásához vezet.

2.14. ábra - Arzénmérgezés



Jód

Ha a talaj jódkoncentrációja alacsony akkor valószínűsíthető, hogy az ivóvizek jódtartalma is alacsonyabb. Az elégtelen jódbevitel egyik lehetséges oka az ivóvíz alacsony jódkoncentrációja amely szerepet játszik az endémiás golyva kialakulásában.

Higany

A szennyezés ipari tevékenység hatására jön létre. A szerves higany lerakódva az iszapban, az ott élő baktériumflóra hatására mono és dimetil higannyá alakul át, amely a kagylók és a halak húsában feldúsult. Ezen állatok húsának rendszeres fogyasztása vezet a Minamata betegség kialakulásához. A körkép főbb tünetei, az ujjak, ajkak, nyelv részleges bénulása, ataxia, tremor, nagyothallás, fejfájás.

Kadmium

Japánban a kadmium ötvözetet előállító üzem szennyvizét a rizsföldekre vezették, melynek következménye lett a kadmium feldúsulása a rizsszemekben. A táplálékként fogyasztott szennyezett rizs hatására csontosodási zavar alakul ki, a lumbális csigolyák felritkulnak, összeroppannak, melyek heves fájdalom kíséri. Ezt a betegséget nevezték el itai-itai kórnak, mely japánul jajgatást jelent.

Rákkeltő anyagok

Természetes eredetű szennyeződés mely elsősorban a rétegvizekre jellemző. A magas nitrátkoncentráció és a 3,4 – benzpirén potenciálisan rákkeltő anyagok.

A huminsav tartalmú ivóvizek klórral történő fertőtlenítése során trihalometán képződik, mely szintén potenciálisan rákkeltő.

Az ivóvíz rendszeres vizsgálatának eredményei alapján ezek a vegyületek nincsenek jelen olyan koncentrációban, ami önmagában rizikófaktort jelentene.

3.3. Az ivóvíz járványügyi jelentősége

A mikroorganizmusok az ivóvíz vagy öntözővíz közvetítésével bejuthatnak az emberi szervezetbe. A fertőzött víz fogyasztása ivóvízjárványokhoz vezet, míg a nyersen fogyasztott fertőzött vízzel mosott gyümölcs/zöldség vagy szennyvízzel öntözött zöldségfélék élelmiszerjárványokhoz vezethetnek.

Fürdés közben is lehet enterális fertőzést kapni, ez azonban inkább kisgyermekkorban figyelhető meg.

Az így létrejött víz által közvetített fertőzések lehetnek sporodikusak és járványos jellegűek. A patogén kórokozók egészséget veszélyeztető minősége, a vízben az életképesség megőrzésének mértéke és fertőzőképessége eltérő.

2.5. táblázat - Patogén kórokozók- Baktériumok

Patogén kórokozó	Egészségügyi veszély	Életképesség megőrzése ^a	Klórral szembeni ellenállóképesség ^b	Relatív fertőzőképesség ^c
Baktériumok				
Burkholderia pseudomallei	igen jelentős	szaporodhat	alacsony	alacsony
Campylobacter jejuni, C. coli	igen jelentős	közepes	alacsony	közepes
Escherichia coli – Pathogenicf	igen jelentős	közepes	alacsony	alacsony
E. coli – Enterohaemorrhagic	igen jelentős	közepes	alacsony	magas
Francisella tularensis	igen jelentős	hosszú	közepes	magas
Legionella spp	igen jelentős	szaporodhat	alacsony	közepes
Leptospira	igen jelentős	hosszú	alacsony	magas
Mycobacteria	alacsony	szaporodhat	nagy	alacsony

Patogén kórokozó	Egészségügyi veszély	Életképesség megőrzése ^a	Klórral szembeni ellenállóképesség ^b	Relatív fertőzőképesség ^c
(nontuberculous)				
Salmonella Typhi	igen jelentős	közepes	alacsony	alacsony
Other salmonellae	igen jelentős	szaporodhat	alacsony	alacsony
Shigella spp	igen jelentős	rövid	alacsony	magas
Vibrio cholerae	igen jelentős	közepes	alacsony	alacsony

2.6. táblázat - Patogén kórokozók- Vírusok-

Patogén kórokozó	Egészségügyi veszély	Életképesség megőrzése ^a	Klórral szembeni ellenállóképesség ^b	Relatív fertőzőképesség ^c
Vírusok				
Adenovirus	közepes	hosszú	közepes	magas
Astrovirus	közepes	hosszú	közepes	magas
Enterovirus	magas	hosszú	közepes	magas
Hepatitis A vírus	magas	hosszú	közepes	magas
Hepatitis E vírus	magas	hosszú	közepes	magas
Norovirus	magas	hosszú	közepes	magas
Rotavirus	magas	hosszú	közepes	magas
Sapovirus	magas	hosszú	közepes	magas

A vízjárványok főbb jellemzői a következők:

- a megbetegedés helye egybeesik a vízellátás területével
- a megbetegedések hirtelen, egyszerre kezdődnek és nagyszámú embert érint
- az ivóvízben – az esetek egy részében - kimutatható egy vagy több kórokozó
- a vízadó lezárását, kiiktatását követően nagyszámban a megbetegedés nem jelentkezik, de sporadikus esetek a kontakt fertőzések miatt előfordulhatnak

A felszíni vizek szennyeződése elsősorban a nem kellően tisztított nagy mennyiségű szennyvíz bevezetésével lehetséges. A befogadó folyó vízhozama, a tó térfogata befolyásolja a szennyvíz hígulását, valamint az öntisztulási folyamatok képesek kisebb szennyeződést megszüntetni. A felszín alatti elsősorban rétegvizek a kút védőövezetében lévő árnyékszék, trágyadomb, szennyvíz szennyezheti, mely a vízvédelmi előírások durva megsértésének következménye. Sokkal sérülékenyebbek a karsztvizek és a parti szűrősű kutak.

A Miskolcon 2006. júniusában bekövetkezett enterális járvány melynek következménye közel 4000 megbetegedést jelentett.

A Miskolci ivóvízjárványt végül egy hónapos munkával sikerült felszámolni.

Az ivóvízből a kórokozó kimutatása igen nehéz, ezért az ivóvíz vizsgálatát szabályozó jogszabály alapján az un. Indikátor baktériumok rendszeres ellenőrzése kötelező. (20 °C –on és 37 °C –on kitenyészthető baktériumok). Különösen jelentős a 37 °C –on tenyészthető faecalis szennyeződésre utaló coliform és faecalis enterococcusok csíraszám, vagy annak növekvő tendenciája.

4. A hazai ivóvíz mennyiségi és minőségi jellemzői

A települések közműves vízellátását számos probléma terheli, melyek megoldása különböző eszközök alkalmazását teszi szükségessé, kiemelten a vízközművekről és a víziközmű-szolgáltatásról szóló törvényi szabályozás megvalósítását, a Vízbázis védelmi és az ivóvízminőség- javító program végrehajtását, valamint az

Ivóvíz Irányelv korszerűsítési folyamatával összhangban a vízbiztonsági szemlélet elterjesztését, az ún. Vízbiztonsági Terv (Water Safety Plan) rendszer bevezetését

Az emberi fogyasztásra szánt víz minőségét az Európai Unióban a 98/83/EK Irányelv határozza meg, melynek alapja a WHO ajánlása. Az Irányelv előcsatlakozási időszakunk jogharmonizációja keretében az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló – a 47/2005. (III. 11.) Korm. rendelettel módosított - 201/2001. (X.25.) Kormányrendelet formájában került máig hatályos jogszabályként Magyarországon bevezetésre.

Nemzetközi felmérések szerint naponta 25 ezren halnak meg vízhiány miatt világszerte, két és fél milliárd ember nem jut egészséges ivóvízhez.

A világ ivóvíz-készlete folyamatosan csökken. Az egyre fenyegetőbb vízhiány a politikában is érzeteti a hatását, hiszen Indiától Izraelig, Törökországtól Botswanaig heves viták folynak, incidensek történnek a vízforrásokon.

Ugyanakkor az igazsághoz tartozik, hogy fejlett országokban is gondot jelent az édesvíz mennyiségének drasztikus csökkenése, amely részben a fogyasztás megnövekedésével, a sokszor indokolatlan, pazarló vízhasználattal, részben a környezetet károsan befolyásoló emberi tevékenységgel magyarázható.

Hazai viszonyaink sok tekintetben mások, de nekünk is vannak gondjaink. Az ország rendelkezésére álló vízkészletei meghaladják az európai átlagot, de a helyben keletkező felszíni vizeket tekintve - adottságaink révén - messze a legrosszabbul ellátottak vagyunk. Felszíni vizeink döntő hányada a Duna és Tisza vízgyűjtő területéről, az országhatáron kívülről érkezik hozzánk, és távozik is tőlünk.

Jelentősen kedvezőbb a helyzet a felszín alatti vizek tekintetében, hiszen a Kisalföldön és a Nagyalföldön európai viszonylatban is számottevő, védett vízkészleteink vannak.

Magyarországon már a csatlakozás előtt is az EU.-előírások jelentették a mércét, vagyis nem álltunk rosszul korábban sem ivóvízminőség szempontjából. 1998-ban azonban tovább szigorították a határértékeket, az arzénét például ötven mikrogramm/literről tízre. Ugyanígy probléma a bór, a fluorid és a nitrit határértéket meghaladó mennyisége. Mivel az ivóvízminőség-javítás szükségessége Magyarországon kilencszáz települést és több mint kétmillió embert érint, haladéktól kaptunk az uniótól, és elindítottuk az Ivóvízminőség-javító Programot.

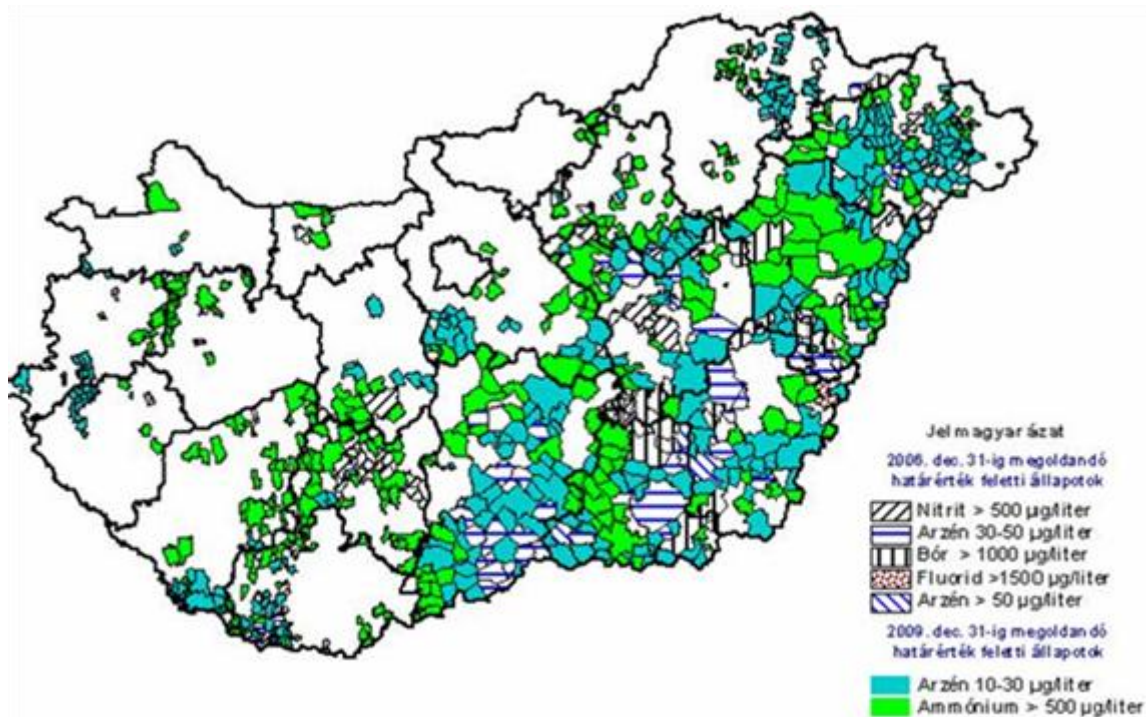
2.15. ábra - Ivóvíz minőségét javító programban megoldandó problémák

Az ivóvíz minőség javító program keretében megoldandó problémák

Szennyezők	EU határértékeknek megfelelően	
	Érintet települések száma	Érintett lakosság száma
Arzén (As1: 10 to <30	381	1.262.215
Arzén (As 2: 30 to <50	64	147.451
Arzén (As 3: >50 µg/L)	7	10.103
Bór (B >1000 µg/L)	42	73.157
Fluorid (F ⁻ 1: 1.51 to 1.70	9	24.148
Fluorid F ⁻ 2: >1,70 mg/L)	2	1.528
Jodid (I ⁻ : >500 µg/L)	29	143.577
Vas (Fe)	728	2.596.135
Szerves anyag (COD _{ps})	77	247.423
Mangán (Mn)	709	2.200.223
Ammonium (NH ₄)	653	2.455.854
Nitrite (NO ₂)	76	121.893
Nitrate (NO ₃)	20	57.923
Összesen	1472	4.641.357

Egyik legkomolyabb egészségügyi kockázatot jelentő probléma az arzén határértéket meghaladó koncentrációban való jelenléte. Ez Magyarországon körülbelül 2,5 millió – első sorban az Alföldön élő - embert érint.

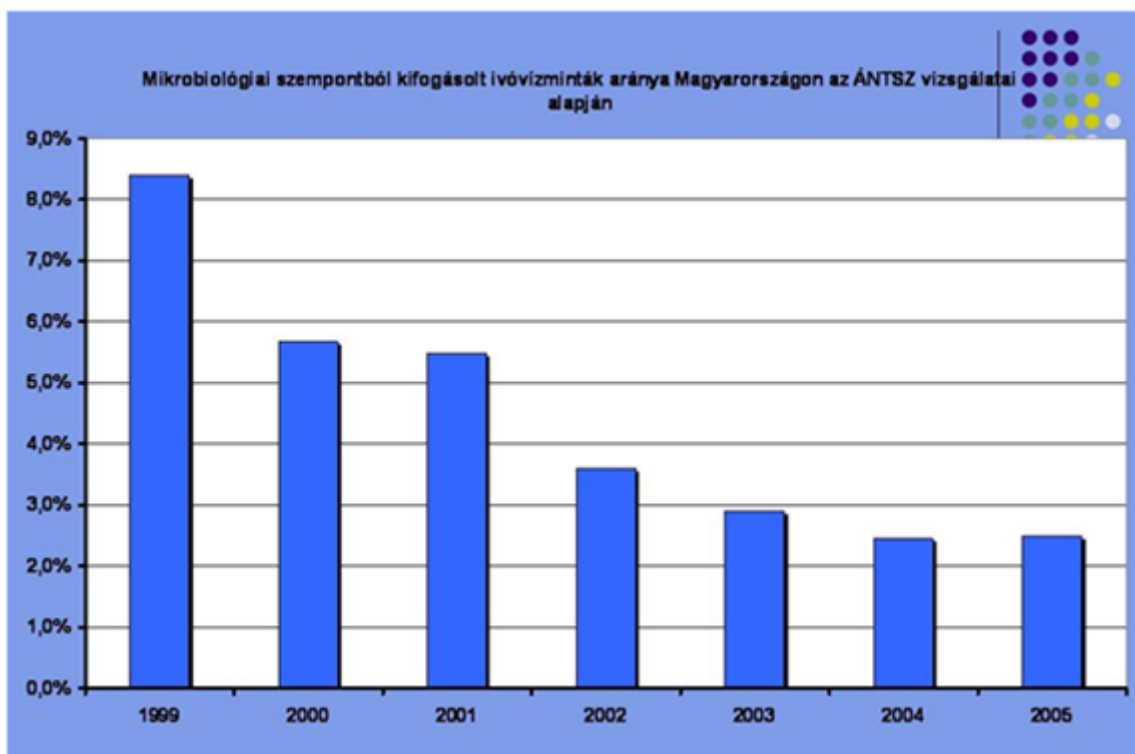
2.16. ábra - Magyarországi helyzet



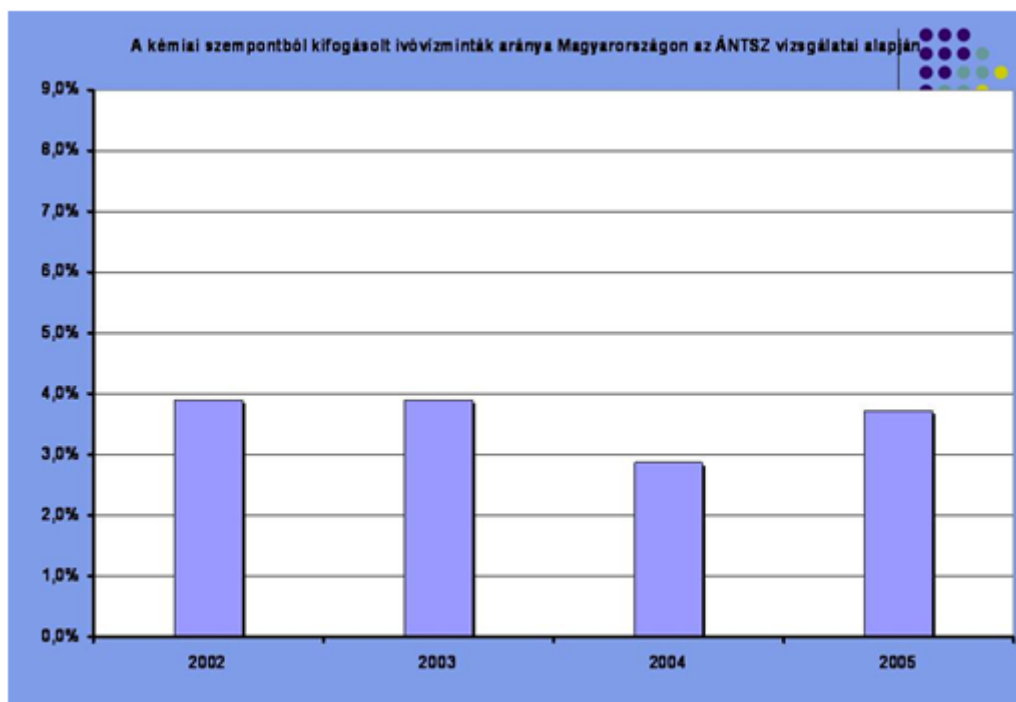
2.7. táblázat - Az ivóvíz-javító programban érintett települések és lakosok száma az egyes régiókban

Régió	Településszám	Lakónépesség (fő)
Dél-Alföld	224	1 222 590
Észak-Alföld	219	637 373
Dél-Dunántúl	203	263 100
Észak-Magyarország	101	164 647
Közép-Magyarország	26	112 309
Nyugat-Dunántúl	72	61 340
Közép-Dunántúl	28	34 146
Összesen	873	2 538 505

2.17. ábra - Mikrobiológiai kifogásolt ivóvíz-miták

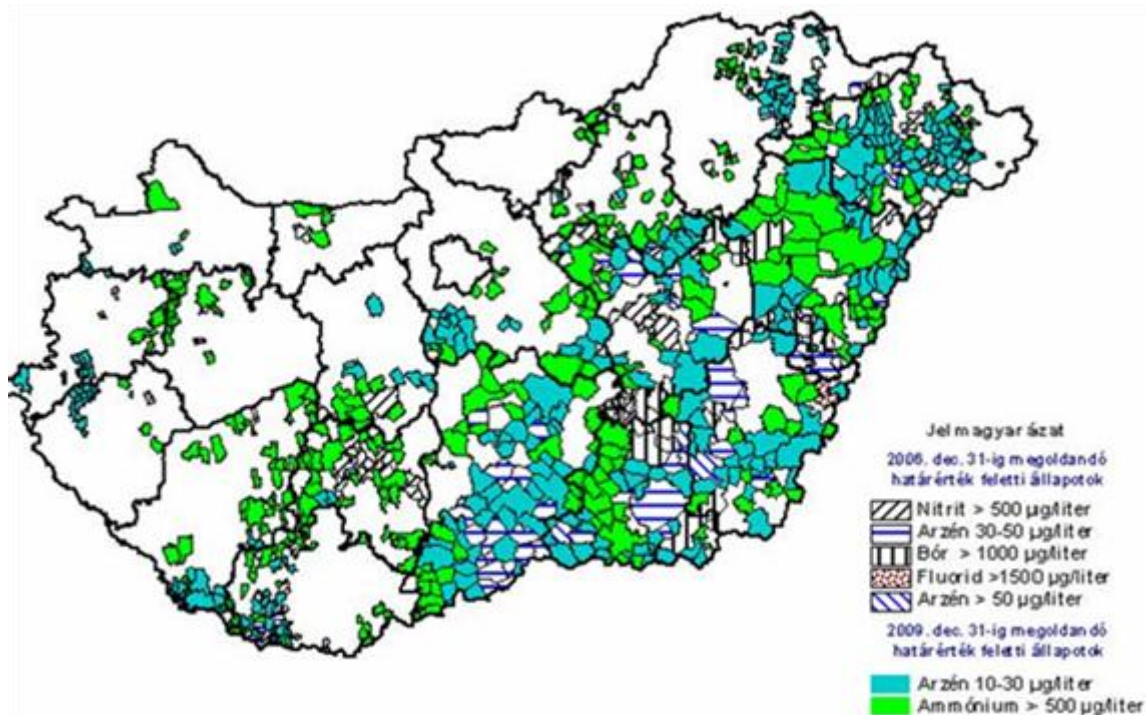


2.18. ábra - Kémiaileg kifogásolt ivóvíz-művek



Az Európai Unió 98/83/EK Irányelvében meghatározott egészségügyi határértékektől való eltérést a 201/2001. (X.25.) Kormányrendelet településekre lebontva tartalmazza

2.19. ábra - Egészségügyi határértékektől való eltérés



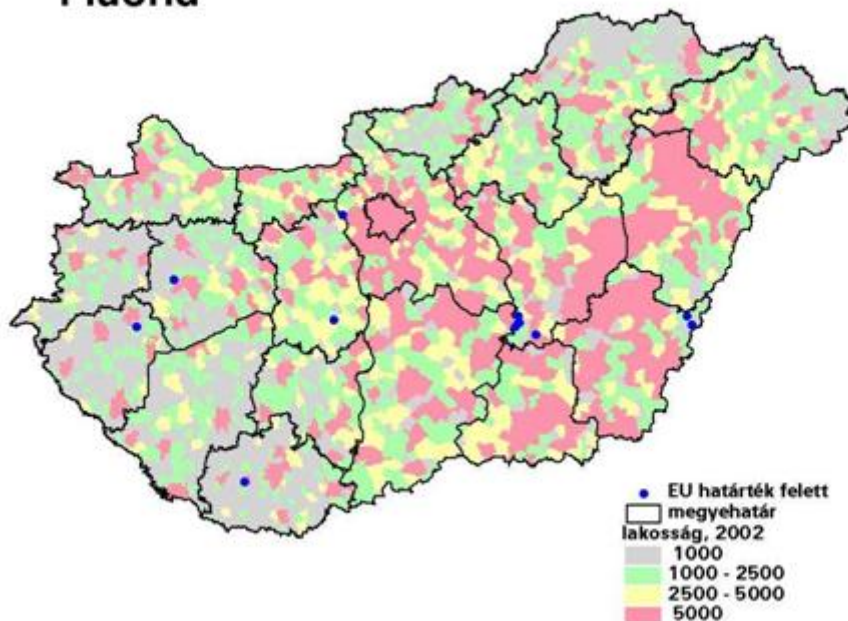
Az EU Csatlakozási Szerződésben vállalt 2009-es határidők tekintetében az érintett települések jelentős része nem tud megfelelni a vállalt kötelezettségeknek, mert a pályázatok megvalósításához szükséges tervek és tanulmányok elkészítése időigényesebb folyamatnak bizonyult, mint ahogyan azt az előzetes becslések alapján prognosztizálták. Ugyanakkor mind az Ivóvíz Irányelv, mind a Csatlakozási Szerződés további halasztási lehetőséget biztosít Magyarország számára (bór, fluorid és nitrit esetében 2006-hoz viszonyítva 3 év, arzén tekintetében 2009-hez viszonyítva 3 év).

A lehetőségekkel élve Magyarország a bór, fluorid, nitrit problémával érintett 129 település vonatkozásában 3 éves halasztást jelentett be az Európai Bizottságnak, melyre végleges válasz még nem érkezett. Hasonlóképpen kell eljárni 2009-ben az arzén szempontjából érintett azon települések esetében, ahol addig a szükséges ivóvízminőség-javító beavatkozások nem fejeződnek be.

A Dél-alföldön mintegy 1,2 millió embert érint a probléma, az Észak-alföldi régióban hétszáz ezret, a Dél-Dunántúlon 260 ezret, régióként kétszáz települést - ez jól tükrözi hazánk településszerkezetét is. A többi régióban kevesebb településen fordul elő ivóvíz-minőségi probléma. Az érintett területeken a vízellátás felszín alatti vizekből történik, az arzén, a bór, az ammónia és a fluorid előfordulása geológiai eredetű.

2.20. ábra - Fluorid helyzet

Fluorid

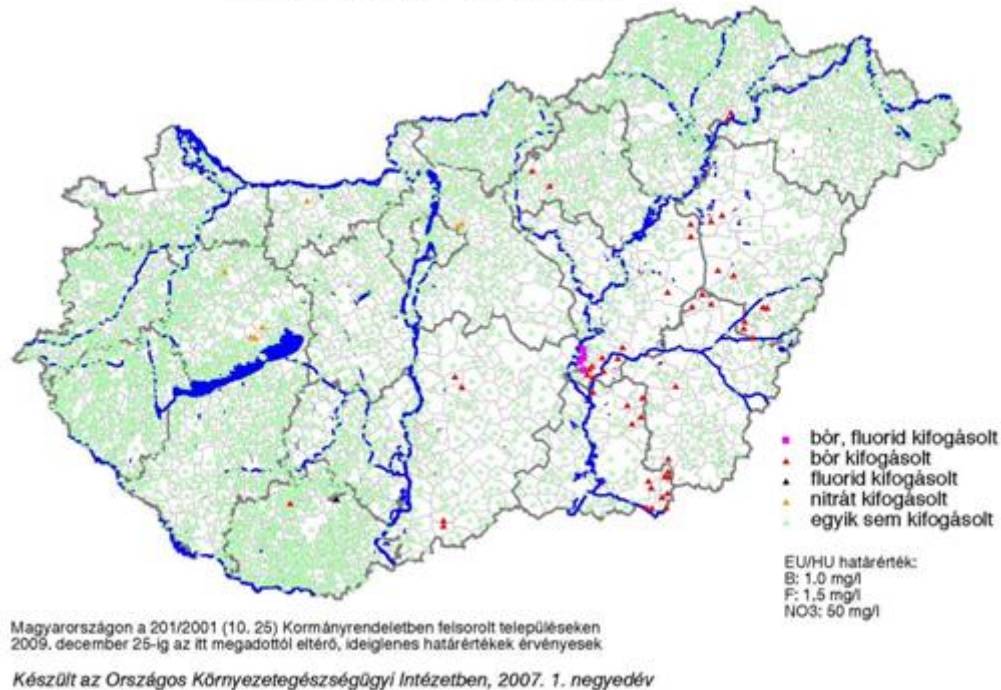


Az egészségügyi kockázatok értékelése állat-kísérletek és/vagy nagyobb embercsoportokon végzett járványtani/epidemiológiai megfigyelések eredményein alapul.

A daganatkeltő/rákkeltő anyagok esetében a határértékeket úgy állapítják meg, hogy azt tartalmazó ivóvíz egész életen keresztül (70 évig, napi 2 l mennyiségben) történő fogyasztása legfeljebb százezer fogyasztó közül egy esetben jelentsen daganatbetegség kockázatot. Ezért a határértékek túllépése csak az általa előidézett betegség kialakulásának – a határérték túllépésének fokától függő mértékben – emelkedett kockázatát jelenti, és semmiképpen sem annak biztos megnyilvánulását.

2.21. ábra - Területi térkép: bór, fluorid, nitrát

Vezetékes ivóvizek bór (B), fluorid (F) és nitrát (NO₃) tartalma Magyarországon



Bór:

- határérték: 1 mg/l (mikrogramm/liter)
- ivóvízben talajtani réteg eredetű
- felszíni vízben: szennyvízzel kerül (pl. mosószerek bejutása)
- Dél-alföldi régióban: 16 településen mutatták ki a jelenlétét a vízben
- Országosan összesen: 53 település érintett
- Állatkísérletek: hím állatok szaporító szervein (elsősorban heréin) jelentkeztek toxikus hatások, illetve patkányokon, egerekben, nyulakban a fiatal egyed fejlődésére káros hatást gyakoroltak. Eltávolítása: az ivóvízből: gazdaságos vízkezelés nincs, így megoldást jelenthet más megfelelő minőségű forrás bekapcsolása a vízellátásba

Arzén:

- határérték: 10µg/l (mikrogramm/liter)
- ivóvízben réteg eredetű
- Dél-alföldi régióban: 149 település érintett
- Országosan összesen 475 település érintett

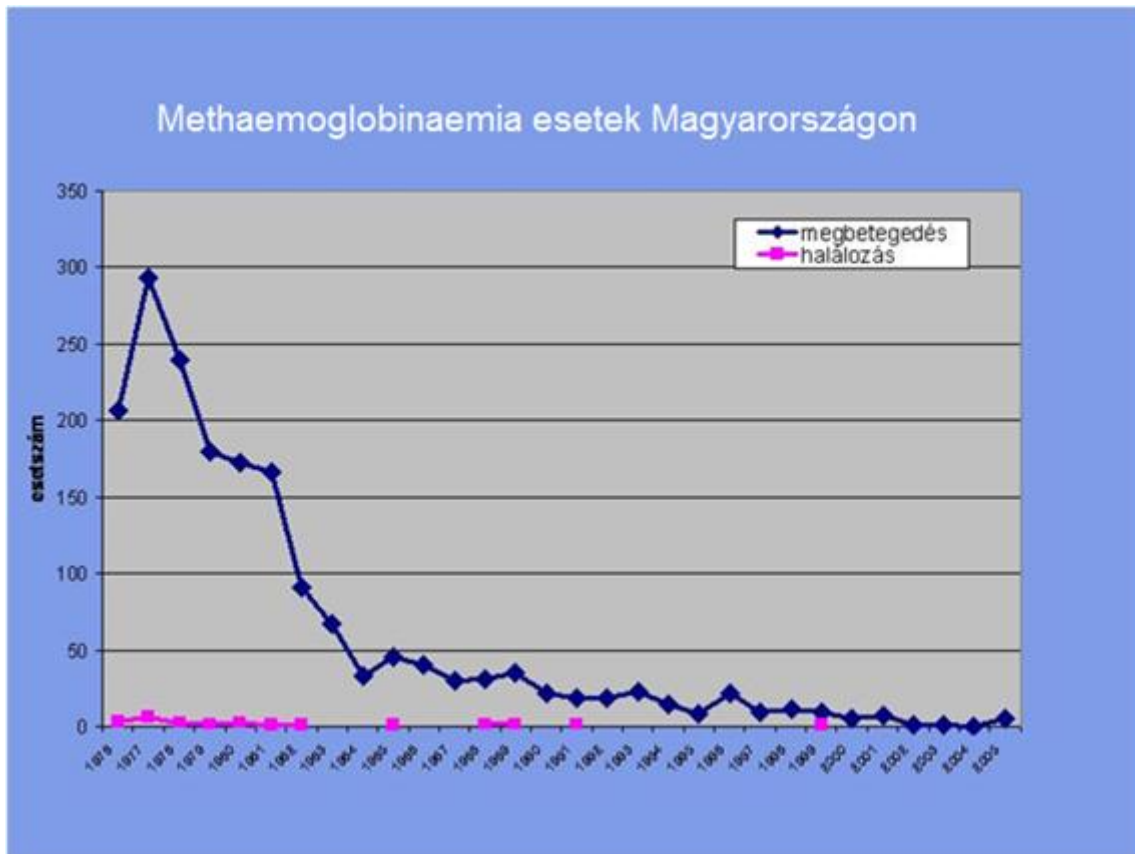
Közegészségügyi szempontból különösen fontos tény, hogy ez az egyetlen olyan paraméter, amelyről a WHO által hivatkozott korábbi vizsgálatokkal egybehangzóan egy friss hazai epidemiológiai kutatás (2004) is kimutatta az ivóvíz határérték feletti szennyezettségének hatását a bőr-, és tüdőrák, nagyobb koncentrációknál pedig ezeken felül még a hólyag és veserák kockázatának növekedésére.

Eltávolítása: megfelelő technológiák rendelkezésre állnak, de sok esetben gazdaságosabb más megfelelő minőségű forrás bekapcsolása a vízellátásba (vízkeverés, új kút)

Nitrit (NO₂), nitrát(NO₃):

- határértékek: nitrit: 0,5 mg/l; nitrát: 50 mg/l
- Dél-alföldi régióban: 4 település érintett
- Előfordulása ivóvízben: emberi tevékenységből ered (állattenyésztés, műtrágyázás)
- Nitrátot, nitritet határérték feletti koncentrációban tartalmazó ivóvíz – de esetenként egyéb táplálékok (pl: zöldségek) a terhések, újszülöttek és a csecsemők egészségét veszélyezteti.» kékkór vagy más néven methemoglobinémia
- Nitrát szennyezéssel kapcsolatos alapvető feladat: megelőzés, fennálló szennyezés esetén a szennyező forrás kiiktatása, vagy új vízforrás (pl. állattartásból származó hígtrágya elszállítását szennyvíztisztítóra)
- Nitrit szennyezés esetében is a megelőzés a legjobb megoldás. Az esetek többségében ez a meglévő technológia és a vezetékhalózat gondos üzemeltetését (tisztítását), illetve az ammónia eltávolítását jelenti.

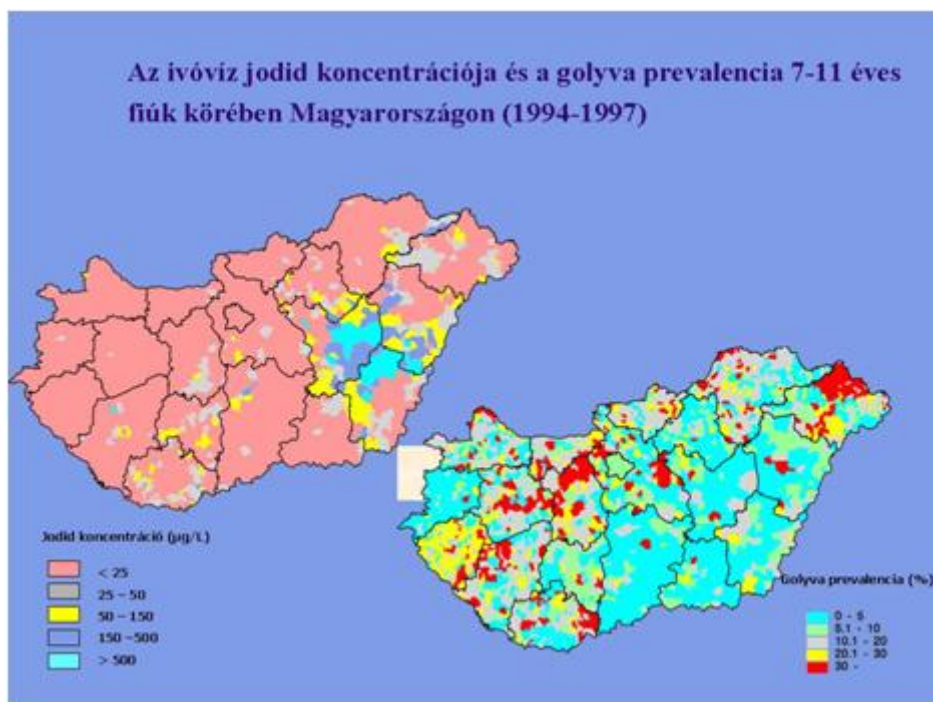
2.22. ábra - Methaemoglobinaemia



jód

- Az ivóvíz jód tartalma nem befolyásolható, azonban a jodid koncentráció mértéke erősen befolyásolja a golyva kialakulásának gyakoriságát. Egyéb tényezők (táplálékkal bevitt jód mennyisége) mellett az endémiás golyva gyakorisága függ az ivóvíz jódtartalmától. Az emberi szervezet a szükséges jód mennyiségét ivóvízből, táplálékból veheti fel.
- Magyarországon a lakosság 80%-a jódhiányos területen él, jódban szegény ivóvizet és élelmiszereket fogyaszt.
- A jódhiányos állapotot a pajzsmirigy nagyságának mérésével és a vizelettel történő jódürítéssel lehet feltárni, mivel a napi jódbevitel 90%-a a vizelettel távozik el. A 90-es években felismerték, hogy az enyhe jódhiány is okozhat jódhiány-betegséget.

2.23. ábra - Jódhiányos területek



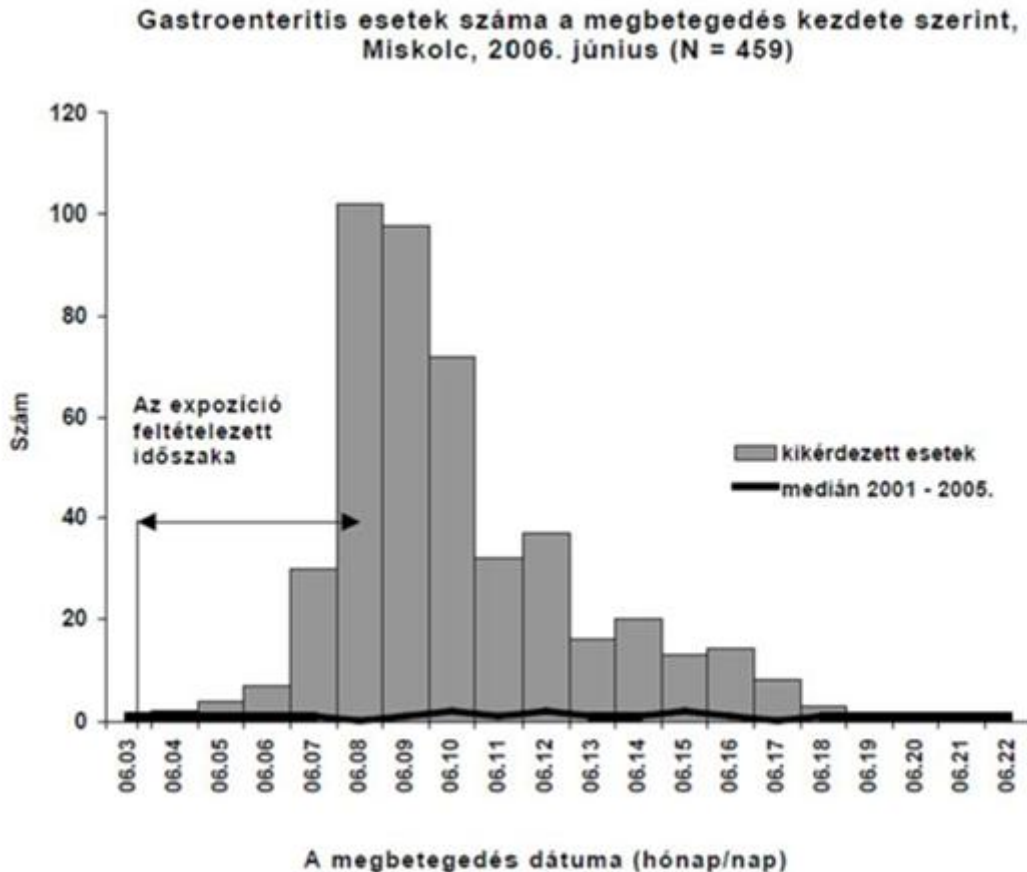
A WHO, a UNICEF és a Nemzetközi Jódbizottság javaslata (1996) szerint a napi jódszükséglet a következő:

- 50 mg a csecsemő 12 hónapos koráig
- 90 mg a gyermek 6 éves koráig
- 120 mg az iskoláskorúak számára (7-12 éves kor)
- 150 mg a felnőttek (12 éves kor felett!) számára
- 200 mg terhes és szoptató anyák számára

4.1. Miskolci ivóvízjárvány, 2006

A június 8-án kirobbant miskolci vízjárvány miatt naponta jelentésre kötelezett orvosok információi és az eddig elvégzett járványügyi vizsgálatok alapján, a június 22-ig összegyűjtött adatok szerint összesen 3 611, június 4-22 között észlelt gastroenteritis megbetegedés hozható kapcsolatba a szennyezett ivóvízzel [járványhoz tartozó eset: olyan – beteg vagy tünet-mentes – személy, aki ivóvíz közvetítésével terjedő fertőző betegségben szenved/a betegség kórokozóját üríti, és aki június 3-8. között fogyasztott a szennyezett miskolci vezetékes vízből (primer eset), vagy kapcsolatba került a szennyezett vizet fogyasztó beteggel (szekunder eset) – illetve e beteggel kontaktusba került beteggel/betegekkel (tercier stb. eset)]. Kórházi ápolásra június 22-ig a járványhoz tartozó 179 beteg szorult. 459 beteg járványügyi vizsgálata alapján a járványgörbe az alábbiak szerint alakult (az ábrán a medián a Miskolc városában a 2001-2005-ös évek júniusának megadott napjain kezdődött enteritis infectiosa megbetegedések számának mediánját jelöli, mely ezen időszakban 0-2 megbetegedés között változott). A jellemző tünet a hányás és/vagy a hasmenés, csupán a betegek negyedénél jelentkezett láz.

2.24. ábra - Miskolci ivóvízjárvány



A jelentés összeállításáig a járványhoz tartozó betegek közül 69-nél történt ELISA módszerrel calicivírus-vizsgálat, mely 20 esetben igazolta a kórokozó etiológiai szerepét. Pécssett, a Gastroenterális Vírusok Nemzeti Referencia-laboratóriumában a Miskolcon ELISA módszerrel vizsgált 13 (5 pozitív és 8 negatív) minta közül PCR módszerrel 12 esetben megerősítették a humán calicivírus jelenlétét. A vírusantigén székletről történő kimutatásán alapuló, 48 esetben rotavírus, illetve 27 esetben adenovírus irányában végzett vizsgálatok negatív eredménnyel zárultak. 521 beteg székletbakteriológiai vizsgálata során 75 esetben campylobacter speciést izoláltak, a jelentés írásáig 10 izolált törzs tipizáló vizsgálata 9 esetben C.jejuni, egy esetben C.coli kórokozót azonosított (a vizsgálatok folytatódnak). A június 22-ig megvizsgált 521 székletmintából Salmonella, Shigella, Yersinia, E.coli O124 nem tenyésztett ki, enteropatogén E.coli kimutatása 150 mintából negatív eredménnyel zárult. 48 mintából Giardia-t hagyományos módon illetve 30 esetben Giardia antigént ELISA módszerrel nem sikerült kimutatni. 21 beteg székletmintája festett kenetnek Cryptosporidium irányában végzett mikroszkópos vizsgálata negatív eredménnyel zárult.

Környezeti vizsgálati eredmények

Június 2-án a Színva és a Garadna-patak áradása miatt a Miskolc vízellátását biztosító vízbázisok egy része feltehetően sérült, mivel a város nyugati részén a víz zavarosodását észlelték. E miatt az ÁNTSZ megyei intézete felhívta a lakosság figyelmét, hogy az érintett városrészben a vezetékes ivóvizet csak forralás után fogyasszák, továbbá elrendelte, hogy a vízszolgáltatók a hálózat mintavételezéssel egybekötött vizsgálatát. A város déli részét ellátó, és utóbb a járványt okozó szennyezett, vezetékes ivóvízzel kapcsolatba hozható Tapolcai Vízmű egyik kútját (Új-kút) – vízének zavarossága miatt – június 3-án este a szolgáltató saját hatáskörben kizárta a vízszolgáltatásból. Nem sokkal később a kutat néhány órára újra a hálózatra kapcsolták, de kb. 6000 m³ víz hálózatba juttatását követően június 4-én 5 órakor a kutat újra kizárták a szolgáltatásból (és azóta sem kapcsolták vissza).

A Miskolci Vízmű Rt. június 8-án délelőtt juttatta el az ÁNTSZ Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Intézetéhez a június 6-án, az esőzésekre tekintettel soron kívül vett vízminták vizsgálati eredményeit. Június 6-án a Tapolcai Új-kútról vett mintában 3 025/1 ml telepszám (22 °C) mellett 200/100 ml Coliform számot, az Egyetemvárosban vett mintában 1 650/1 ml telepszám (22 °C) mellett 200/100 ml Coliform számot, a Miskolc-

Görömbölyön vett mintában 290/1 ml telepszám (22 °C) mellett 80/100 ml Coliform számot regisztráltak. (Mindhárom mintavételi pont a Tapolcai Vízmű ellátási területéhez tartozik.) Ezek az eredmények – összefüggésben a szintén június 8-án 12 óra után több orvos által jelentett gastroenteritisek halmozódásával – már ekkor felvetették az ivóvízjárvány gyanúját.

Az Országos Közegészségügyi Központ Országos Környezet-egészségügyi Intézete (OKK-OKI) Vízhigiénés osztályának munkatársa június 9-én helyszíni szemlét végzett a Miskolctapolca Új-kút nevű objektumnál és az attól légvonalban 800-900 m távolságra, a kút szintje felett elhelyezkedő, a kút szennyezésével gyanúsított tónál. A tó környezetében elöntés nyomai voltak láthatók, a vízszintje a korábnál (melyet a környező növényzetén lévő szennyeződés jelzett) legalább 2 méterrel alacsonyabb volt. A június 2-3-án észlelt esőzések által felduzzasztott tó vizének hiányzó része feltehetően a karszt irányába távozott, ami felvetette a kút közvetlen szennyeződésének lehetőségét. Az OKK-OKI szakembere mikrobiológiai és kémiai vizsgálat céljára 120 liter vízmintát vettek a hálózathoz kizárt Új-kútból, továbbá a tó vizéből is.

Az OKK-OKI laboratóriumában elvégzett vizsgálat szerint a kút vize június 9-én nagy koncentrációban tartalmazott szennyezésjelzőket (920 Coli-form/100 ml, 810 E.coli, 83 fekál enterococcus, 32 C.perfringens/100 ml). A tó vizének mikrobiológiai vizsgálati eredményei jobbak voltak, mint a kútból származó vízmintáé.

20 liter vízminta parazitológiai vizsgálata során – ugyan nem életképes állapotban, de – 0,35/liter koncentrációban *Cryptosporidium parvum*, továbbá 0,05/liter koncentrációban *Giardia duodenalis* volt kimutatható. 5 liter vízminta vizsgálata nem mutatott ki termotoleráns *Campylobacter*t.

65 liter vízmintából készített koncentrátumnak az Országos Epidemiológiai Központ Vírusdiagnosztikai osztályán elvégzett virológiai vizsgálata során immunkromatográfiás módszerrel adenovírust azonosítottak, azonban rota-vírus nem volt kimutatható. ELISA vizsgálattal GI és GII genotípusban tartozó calicivírust azonosítottak. Az összefoglaló elkészítésének időpontjáig a koncentrátumban RT-PCR módszerrel sem calicivírus, sem hepatitis A vírus jelenlétét nem sikerült igazolni.

Az OKK-OKI által kiadott szakvélemény szerint a fent ismertetett vizsgálati eredmények masszív fekális szennyezésre utalnak, ami feltehetően komoly mértékű utánpótlással rendelkezik. Ennek alapján tisztázni szükséges az elmúlt időszak esőzései hatására a kút környezetében bekövetkezett karszthidrológiai folyamatokat, és a szennyeződés felszámolásának lehetőségeit. Ezek a legfontosabb feltételei a kút ismételt üzembehelyezésének.

Forrás: Epiinfo 13. évfolyam, 24.szám OEK.

3. fejezet - A levegő környezetegészségügyi hatásai

1. A levegőszennyezés és hatása az emberi szervezetre

1.1. Az atmoszféra felépítése és összetétele

Az atmoszféra Földünket több, mint 100 km vastagságban burkolja. A levegőt alkotó gázkeverék összetétele kb. 80 km magasságig változatlan, ezért ezt a réteget homoszférának nevezzük. A homoszférán belül a hőmérséklet változása szerint a következő rétegeket különböztetjük meg:

- troposzféra (felhőöv), átlagos vastagsága 12 km (vastagsága az Egyenlítő fölött a legnagyobb – 17 km)
- tropopauza (felhőket nem tartalmaz, állandó hőmérsékletű), 12-15 km-es magasságban található
- sztratoszféra (a hőmérséklet a Földtől távolodva emelkedik), 15-50 km-es magasságban található. Alsó rétege az ozonoszféra (az ózon legnagyobb koncentrációban itt található), felső része az ionoszféra
- mezoszféra, az 50-90 km-es magasságban található réteg
- a mezoszféra felett a termoszféra (ami kb. a 120 km-es magasságig tart), a felett pedig az exoszféra található

3.1. ábra - A homoszféra tagolódása



Forrás: hu.wikipedia.org

A légköri levegőt gázok, szilárd halmazállapotú részecskék és cseppfolyós anyagok alkotják. A gáz fázis összetétele a következő:

- nitrogén 78%
- oxigén 21%

- argon 0,93%
- szén-dioxid 0,03%

Az alapgázokon kívül a levegőt szennyező gázok (pl. kén-dioxid, nitrogén-dioxid), vízgőz (0,1-4%) és szilárd halmazállapotú részecskék (por, korom, füst) alkotják.

A levegőszennyezésnek globális és lokális hatásai is vannak. A következő fejezetben a levegőszennyező anyagokat általánosan vizsgáljuk, majd, a levegőszennyezés globális hatásait, az ózonréteg elvékonyodását és a klímaváltozás okait és hatásait ismerjük meg. Végül a legfontosabb környezeti és belső légszennyező anyagok emberi egészségre gyakorolt hatásait ismertetjük.

1.2. A levegőszennyezők

A légszennyezés különböző anyagok vagy energiák levegőbe jutása olyan koncentrációban, amely ártalmas az ökológiai rendszerekre, veszélyezteti az élővilágot és az ember egészségét.

A légszennyező anyagok alapvetően kétféle forrásból származhatnak:

- természetes
 - biológiai folyamatok
 - természeti jelenségek
- antropogén
 - közlekedés
 - ipar
 - mezőgazdaság
 - lakosság

3.2. ábra - Füst a Sakura-jima vulkánból, Japán



(forrás: UND - Észak Dakotai Egyetem, fotó: Mike Lyvers)

A természetes biológiai folyamatok közé tartozik a szerves anyagok lebomlása, illékony szerves vegyületek (izoprének, terpének) zöld növények általi kibocsátása, a természeti jelenségekhez tartoznak pl. az erdőtüzek, vulkánkitörések, kozmikus por, talajok pora, a levegőbe kerülő spórák, pollenek. A természetes légszennyezők határozzák meg a globális háttérszennyezettséget.

3.3. ábra - Antropogén (ipari) légszennyezés



Forrás: www.freefoto.com

Az antropogén légszennyezés az ipari forradalom óta vált számottevővé. Korábban, az 1960-as évekig a városi légszennyezésért az ipar volt felelős, jelenleg azonban - mivel a gyárakat a városok mellé kitelepítették - a legnagyobb szennyező a közlekedés (kb. 50%). Az ipari tevékenység (a fosszilis tüzelőanyagok elégetése, vegyszerek, oldószerek használata) mintegy 20-30%-kal járul hozzá a szennyezéshez. A mezőgazdaság a hulladékok lerakása és égetése, a lakosság a fűtés, hűtés, főzés, dohányzás és hulladéklerakás, égetés révén járul hozzá a légszennyezéshez.

A szennyező anyagoknak a forrásból a levegőbe való kerülését **emisszióknak** nevezzük. Mértékegysége: g/óra, t/év. A szennyező forrás lehet pontszerű (pl. gyár, erőmű), vonal (pl. úton közlekedő autók, vasút), vagy területi (diffúz) (pl. egy adott területen a családi házak gázkazánjait nem pontszerű forrásnak tekintik, hanem területinek, mert együttesen fejtik ki szennyező hatásukat). A levegőbe került szennyezőanyagok az időjárási és földrajzi viszonyoktól függően különböző távolságra jutnak el a kibocsátás forrásától, közben felhígulnak, illetve – reakcióba lépve a légkörben lévő más gázokkal és a vízgőzzel – átalakulnak, ülepednek (szedimentáció) és kimosódnak a légkörből, ezzel koncentrációjuk jelentősen csökken. Ezt a folyamatot **transzmisszióknak** nevezzük. A szennyezőanyagok a 1,5-2 m magasságban (belégzési szintben) mérhető koncentrációját **imisszióknak** nevezzük, mértékegysége a :g/m³ (10⁻⁶ gramm légszennyező anyag /1 m³ levegő, mg/m³).

A légszennyezés jellemzésére használt egyéb mértékegységek:

ppm = (parts per million) 1 mól (6x10²³ db) molekula /1 millió mól gáz; egy m³ levegő egy cm³-nyi gázt tartalmaz (0,0001 térfogat%),

ppb = (parts per billion) 1 mól (6x10²³ db) molekula /1 milliárd mól gáz.

A légszennyező anyagok csoportosítása

A légszennyező anyagokat kétféleképpen csoportosíthatjuk.

A WHO négy csoportba sorolja azt a 35 szennyezőanyagot, amelyek jelentős szennyezést okoznak az Európai Régióban és befolyásolják az ember egészségét.

3.1. táblázat - A légszennyező anyagok csoportosítása a WHO szerint

Klasszikus	Szerves	Szervetlen	Beltéri
nitrogén-dioxid (NO ₂)	benzol butadién	arzén	Dohányfüst mesterséges üvegszál
ózon (O ₃) és egyéb fotokémiai oxidánsok	1,2-dikloroetán diklorometán	azbeszt, fluor	radon
szuszpendált részecske (szálló por - PM)	formaldehid policiklikus aromás szénhidrogének (PAHs)	higany hidrogén-szulfid	
kén-dioxid (SO ₂)		kadmium	

A levegő környezetegészségügyi
hatásai

Klasszikus	Szerves	Szervetlen	Beltéri
	poliklórozott bifenilek (PCBs)	Króm mangán	
	poliklórozott dibenzodioxinok és dibenzofuránok (PCDDs/PCDFs)	nikkel ólom platina vanádium	
	szén-monoxid, sztírén, tetrakloroetilén, toluol, trikloroetilén, vinil-klorid		

Forrás: Air Quality Guidelines for Europe; second edition. WHO, 2000.

A másíkszempon szerint a légszennyező anyagokat két csoportba soroljuk:

- elsődleges
- másodlagos

Az elsődleges légszennyezők közvetlenül a forrásból jutnak a légkörbe, míg a másodlagos légszennyezők az elsődleges légszennyezőkből keletkeznek az egymással vagy a légkört alkotó más anyaggal lejátszódó kémiai reakciókban.

1.2.1. Az elsődleges légszennyezők

- kén-dioxid (SO₂)
- nitrogén-oxidok (NO_x)
- szén-monoxid (CO),
- az illékony szerves vegyületek (VOC),
- szálló por (PM).

3.2. táblázat - Az elsődleges légszennyező anyagok legfontosabb forrásai

kéndioxid (SO ₂)	fosszilis tüzelőanyagok égetése (szén, olaj)
Nitrogén-oxidok (NO _x)	fosszilis tüzelőanyagok magas hőmérsékleten való égetése
Szén.monoxid (CO)	fosszilis tüzelőanyagok tökéletlen égése (szén, olaj)
Illékony szerves vegyületek (VOC)	gázt vagy üzemanyagot tartalmazó tartályokból, szerves oldószerekből (festékek) párolgással; fosszilis tüzelőanyagok égetése (el nem égett vagy részlegesen elégett VOC-k)
Szálló por (PM)	fosszilis tüzelőanyagok és a biomassza égetése

Érdeemes tudni!

Az üzemanyagok ólomtartalma

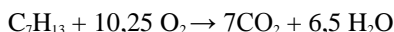
Korábban az üzemanyagok ólomtartalmú adalékot is tartalmaztak. Magyarországon 1999. április 1-jén történt meg az ólmozott benzin kereskedelmi forgalomból való teljes kivonása, ami jelentősen javította a nagyvárosok levegőminőségét.

A fosszilis tüzelőanyagok kéntartalma 1-5% között mozog. A fejlett országokban (így Magyarországon is) a motorbenzinből és gázolajból eltávolítják a kén nagy részét (2005-től Magyarországon kénmentes motorbenzin és max. 10 ppm-et tartalmazó gázolaj kerül forgalomba).

Érdeemes tudni!

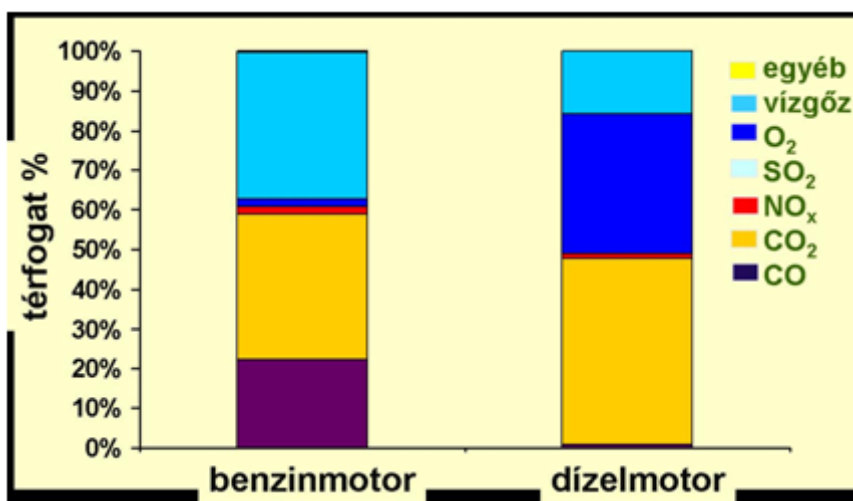
A kipufogógázok összetétele

A gépjárművek a felhasznált üzemanyag szempontjából benzin és dízelüzemű kategóriába tartoznak. A benzin tökéletes égésekor CO₂ és víz keletkezik. A lejátszódó reakciót a következő képlet mutatja be:



Az égés azonban általában tökéletlenül megy végbe, ennek következtében szén-monoxid (CO), szénhidrogének (CH), nitrogén-oxidok (NO), policiklikus aromás szénhidrogének (PAH-ok), illékony szerves vegyületek (VOC-k) és szálló por jön létre, amelyek megjelennek a kipufogófüstben. A benzin és dízelüzemű járművek kipufogófüstjének összetételét mutatja be a következő ábra.

3.4. ábra - A kipufogógázok átlagos összetétele



Mint látható, a benzinüzemű gépjárművek kipufogófüstjében a CO₂ mellett inkább CO és vízgőz, míg a dízelüzeműekben O₂ és vízgőz a jellemző összetevő. Azt is érdemes tudni, hogy a dízelmotorok szuszpendált részecske kibocsátása sokkal nagyobb (10-szeres) a benzinüzeműekéhez képest. Az International Agency for Research on Cancer (IARC) a dízelüzemű gépjárművek kipufogófüstjét a valószínűleg rákkeltő (2A), míg a benzinüzemű gépjárművek kipufogófüstjét a lehetséges rákkeltő (2B) kategóriába sorolta.

A katalizátorok

A katalizátorok feladata, hogy csökkentsék a gépjárművek károsanyag kibocsátását. A katalizátorok kerámiából készülnek, felületükön katalizátorként palládiumot, platínát és ródiumpot tartalmaznak. A palládium és a platína a CO és szénhidrogének szén-dioxiddá, míg a ródiumpot a NO_x nitrogénné és oxigénné történő átalakulását katalizálja.

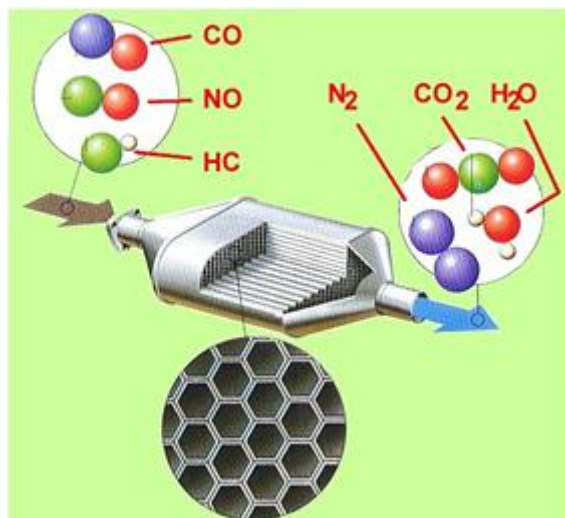
3.5. ábra - eq_13.png



3.6. ábra - eq_14.png



3.7. ábra - A katalizátor működése



Forrás: www.ndsmondeo.hu

1.2.2. A másodlagos légszennyezők:

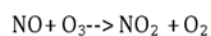
- nitrogén-dioxid (NO₂) jelentős része
- ózon (O₃)
- peroxi radikálok (pl. peroxi-acetil-nitrát)
- másodlagos szálló por

A nitrogén-oxidok/ózon rendszer

A nitrogén-oxidok kibocsátása elsősorban (95%-ban) nitrogén-monoxid formájában történik az égetés során. A nitrogén-dioxidnak sokkal jelentősebb a szerepe az ember egészségére, mint a nitrogén-monoxidnak. A nitrogén-monoxid nitrogén-dioxiddá való átalakulásához ózonnal van szükség, ami különböző forrásokból rendelkezésre áll, így pl. a sztratoszférából transzport révén juthat ózon a troposzférába. A reakció során kialakuló NO₂ a napfény energiájának abszorbeálásával visszaalakulhat NO-vá és mellette oxigénatom keletkezik, ami az oxigénmolekulával reagálva ózont hoz létre.

A három reakció:

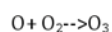
3.8. ábra - eq_16.png



3.9. ábra - eq_17.png



3.10. ábra - eq_18.png



A reakció lejátszódásához napfényre és ózonnal van szükség, ezért a reakció inkább a városi környezettől távol játszódik le.

A troposzférikus (földközeli) ózon forrásai

Az ózon másodlagos légszennyező, mely három forrásból származik. Az egyik a már említett sztratoszférikus ózon transzportja a troposzférába, ami a föld közeli ózon mennyiségének mintegy felét adja. Az ózon a troposzférában a fent leírt kémiai reakciókban keletkezhet, de csak kis mértékben járul hozzá az földközeli ózon mennyiségéhez, mert ahogy keletkezik a 3. reakcióban, úgy el is használódik az 1-ben. Más a helyzet, amikor

napsütés van és szénhidrogének rendelkezésre állnak. Ekkor a szénhidrogének oxidációjával átmeneti, reaktív ún. peroxi gyökök képződnek, amelyek reakcióba léphetnek a szennyezett területeken jelen lévő NO-al NO₂ képezve.

3.11. ábra - eq_19.png

NO + RO₂ (alkil-peroxid) → NO₂ + RO

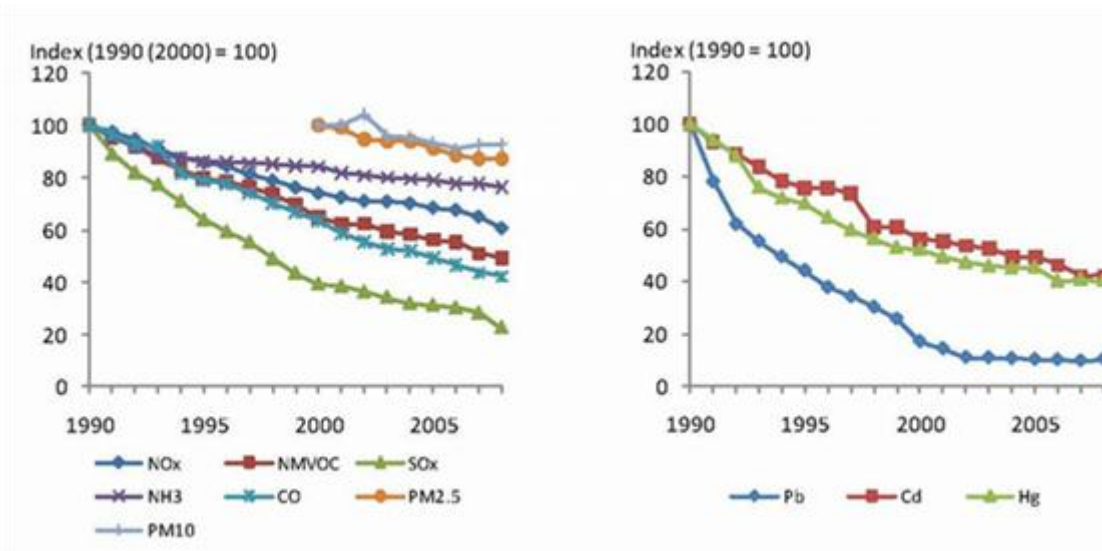
Így a peroxi radikálok oxidálják a NO-t ózon molekula felhasználása nélkül. Amikor ez a negyedik reakció kiegészíti az első hármát, nagy mennyiségű ózon keletkezik, mialatt peroxi radikálok is képződnek. A reakcióban természetes forrásból származó peroxi radikálok is részt vehetnek (pl. az óceánokból származó metán, szén-monoxid). Mivel mindkettő életideje hosszú, jelentősen hozzájárulnak az ózon keletkezéséhez. A szennyezett levegőjű városokban az antropogén eredetű szénhidrogének nagy mennyisége jellemző. Ahol az NO₂ magas koncentrációban van jelen és süt a nap, nagyon gyorsan nagy mennyiségű ózon tud keletkezni (pl. a Los Angeles típusú szmogban). A peroxi radikálok reakcióba lépésével azonban a városokban gyakran a NO₂ mennyisége növekszik meg, az ózonkoncentráció viszont alacsonyabb, mint a város környezetében, mert a kibocsátott NO felhasználja a természetből származó ózont.

1.2.3. Légszennyező anyagok kibocsátása az EU-ban

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (European Environmental Agency – EEA) honlapján (www.eea.europa.eu) sok hasznos információ található a víz, a talajszennyezés és a klímaváltozás mellett a levegőszennyezésről is. Az Európa Tanács 2000-ben hozta létre az Európai Szennyezőanyag-kibocsátási Nyilvántartást (European Pollutant Emission Register - EPER), amely a levegőbe és vízbe történő szennyezőanyag kibocsátással kapcsolatos információkat tartalmazza, amely szintén az Európai Környezetvédelmi Ügynökség honlapján található meg.

A honlap adatai szerint Európában 1990 óta számos légszennyező anyag kibocsátása jelentősen csökkent (pl. 1990-hez képest 2008-ra a SO_x kibocsátás kb. 80%-kal, az NO_x kibocsátás 40%-kal, az ammónia kibocsátás 24%-kal csökkent az EU országaiban), így a régió levegőjének minősége javult. Ugyanakkor a szálló por és a levegőben található ózon koncentrációja 1997 óta a kibocsátás visszaesése ellenére sem mutatott jelentős javulást. Európa városi lakosságának jelentős része még mindig olyan városokban él, ahol a levegőszennyezettségi értékek rendszeresen meghaladják az EU emberi egészség védelmét szolgáló levegőminőségi határértékeket.

3.12. ábra - A fő légszennyező anyagok és a nehézfémek kibocsátása (%) az EU27 országaiban



Forrás: European Union emission inventory report 1990-2008. EEA, Copenhagen, Denmark, 2010

Magyarországon Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat üzemel, melyeken a klasszikus légszennyező anyagokat (NO₂, SO₂, O₃, PM₁₀) mérik. A budapesti légszennyezettség adatok on-line az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapján (www.met.hu/omsz.php?almenu_id=atmenv&pid=legszenyezettseg&mpx=0&pri=0) és az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat honlapján (www.kvvm.hu/olm/map.php) érhetőek el.

1.3. A szmog

Maga a szó egy szóösszetételből származik, a smoke (füst) és a fog (köd) szavakból. Az első légszennyezéssel kapcsolatos intézkedést I. Edward angol király hozta, amikor 1306-ban betiltotta Londonban a széntüzelést. Az első szmogot 1930-ban Belgiumban a Meuse folyó völgyében jegyezték fel, ahol több bánya és ipari létesítmény működött (pl. szénbányák, kohászati üzemek, cementgyár). A 6 napig tartó szmog több száz megbetegedését és 63 halálesetet okozott az ott lakók körében. 1948-ban az USA-ban Donora-ban (Pennsylvania) történt hasonló esemény, mely 600 megbetegedéssel és kb. 20 többlethalalózással járt.

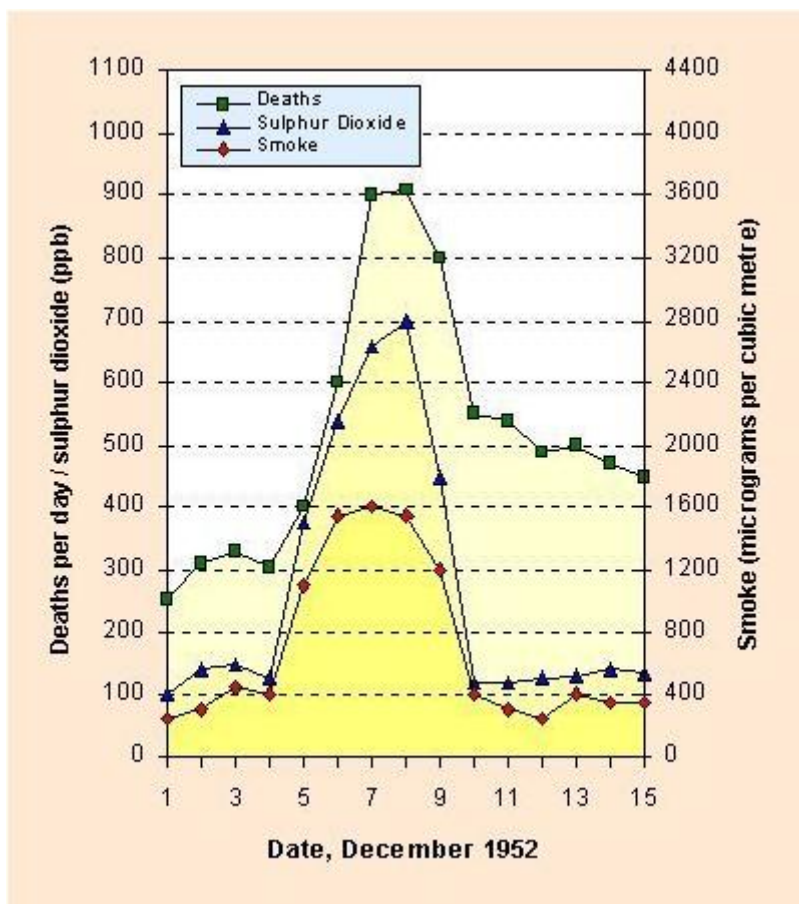
A szmognak két alapvető fajtáját különböztetjük meg: a London típusú (redukáló) és a Los Angeles típusú (oxidáló) szmogot.

A **London típusú szmog** fő összetevői a por, korom, CO, SO₂. Leggyakrabban decemberben, januárban alakul ki, a kora reggeli órákban, magas páratartalom, 0°C körüli hőmérséklet és szélcsend mellett, amikor köd keletkezik. Ebben az időjárási környezetben a szennyezőanyagok nagy koncentrációban felhalmozódnak. A korom szolgál redukáló ágensként. Tipikus megnyilvánulása ennek a típusú szmognak az 1952-es Londoni ködkatasztrófa volt.

Az 1952-es Londoni ködkatasztrófa (1952. dec. 1-15.)

December elején magas nyomású légrétegek érkeztek Anglia felé, amelyek száraz, hideg levegőt hoztak. A szél elállt és a Temze völgyében hőmérsékleti inverzió alakult ki, aminek hatására a talaj közelében a hideg levegő csapdába került, míg fölötte melegebb légréteg helyezkedett el. Köd alakult ki, melyben az ipari üzemekből és a lakosság által használt széntüzelésből származó szennyezőanyagok dúsultak fel. A következmény több, mint 4000 többlethalalozás és a későbbiekben kb. 8000 haláleset következett be a légzőrendszeri szövödmények miatt. A tünetek fejfájás, kötőhártyagyulladás, mellkasi fájalmak, hányás és felsőlégúti fájalmak voltak. A halálesetek nagy része a szív- és érrendszeri betegségben és a légzőrendszeri betegségben szenvedők és a csecsemők közül került ki.

3.13. ábra - A korom és a kén-dioxid koncentrációjának, valamint a halálozás számának az alakulása a Londoni ködkatasztrófa idején (1952)



Jelölések: death: halálozás; sulphur-dioxide: kén-dioxid; smoke: korom

Forrás: Wilkins, 1954

A Los Angeles típusú szmog fő alkotói a közlekedési eredetű NO_x , CO és a belőlük keletkező másodlagos légszennyezők, a O_3 , peroxiacetil-nitrát (PAN), hidrogén-peroxid, aldehidek, salétromsav. Keletkezéséhez erős napsugárzásra, gyenge légmozgásra van szükség. Általában olyan városokban alakul ki, ahol nyáron (augusztus, szeptember) nagy a forgalom, a város katlanban fekszik, ezért megreked a száraz levegő. A szmog a reggeli órákban kezd kialakulni, csúcskoncentrációját délben éri el. A másodlagos légszennyezők a fentebb mar részletezett reakciókban jönnek létre. A fotokémiai szmog erősen irritálja a nyálkahártyát.

(A PAN keletkezése: $\text{O}_3 + \text{szénhidrogének} + \text{NO} \rightarrow \text{PAN}$)

Érdeemes tudni!

Határokon átívelő légszennyezés

A szél a levegőszennyezést egy adott helyről képes elszállítani akár más országokba is és így a szennyezés hatásai még a kibocsátás forrásától távol is jól érzékelhetőek. Jó példa erre az úgynevezett "**Fekete Háromszög**", amely terület a lengyel, német és a cseh határ találkozásánál helyezkedik el. Itt három nagy lignitmező található: Turoszow, Lusatian és az Észak-Cseh mező, összesen hét erőművel, amelyek együttesen 16000 MW áramot termelnek. 1989-ben ez a térség mindössze 32400 km_2 -en terült el, mégis az európai SO_2 kibocsátás 30%-át adta, jelentősen hozzájárulva a savas esők előfordulásához. Ez okozta Európa legnagyobb erdőpusztulását, ami a Szudétákban előfordult. 1981-1987-es időszakban 11000 ha lucfenyő károsodott, amiből 10000 a Nyugat Szudétákban volt. Ugyanekkor, Északnyugat-Csehország területein és Szászországban összesen 15000 ha erdő pusztult ki. A három ország együttműködésének köszönhetően, az 1990-es évek elején belekezdtek egy, a természetes környezetet javító tevékenységbe. 1992-ben 43 egységből álló automata mérőállomás hálózatot alakított ki Lengyelország, Németország és Csehország. A SO_2 források kibocsátását az erőművek és a fűtőrendszerek korszerűsítésével sikerült jelentősen korlátozni. A másik tényező, ami hozzájárult a levegőminőség javulásához, az a közép-európai országok gazdasági válsága, és ezzel együtt az ipari termelés csökkenése volt.

(Forrás: Environmental Science Published for Everybody Round the Earth)

1.4. A légszennyezés hatása az ember egészségére

A légszennyező anyagok közül részletesen az elsődleges szennyezőanyagok hatásait tárgyaljuk.

Szén-monoxid

Expozíció:

A szén-monoxid színtelen, szagtalan gáz, mely a szénhidrogének tökéletlen égése során keletkezik. A normál háttérkoncentrációja: 0,05-0,12 ppm. Elsődleges forrása a közlekedés. A városi levegőben koncentrációja általában 17 ppm. Olyan zárt terekben azonban (pl. autó, garázs, jégpálya, alagút, lakóház), amelyeknek rossz a szellőzése sokkal magasabb koncentrációt is elérhet (100 ppm). A dohányfüst is nagy mennyiségben tartalmazza.

Élettani hatás:

Erősen mérgező gáz. Mérgező hatása azzal magyarázható, hogy a vörösvértestek hemoglobinjában található vasatomhoz 200-250-szer erősebben kötődik, mint az oxigén, stabil komplexet képezve vele, amivel megakadályozza az oxigén kötődését és transzportját. A CO-hemoglobin komplexet karboxi-hemoglobinnak (CO-Hb) nevezzük. A CO-Hb vérben mért mennyiségével monitorozható a szén-monoxid expozíció. A szén-monoxid az izomsejtek mioglobinjához, a citokróm P450-hez és a citokróm oxidázhoz is képes kötődni. Mivel a hipoxiára a szívizom és az idegrendszer a legérzékenyebb, ezért az ezekhez a szervekhez kötődő tünetek dominálnak CO expozíció esetén.

Akut hatások: fejfájás, szédülés, émelygés, a látás- és hallásképesség csökkenése.

CO koncentráció:

200 ppm (0,02 %) Enyhe fejfájás, fáradtság, szédülés, hányinger 2-3 óra alatt.

400 ppm (0,04%) Homloktáji fejfájás, 1-2 órán belül, az élet veszélyeztetése 3 óra elteltével.

800 ppm (0,08%) Hányinger, szédülés, eszméletvesztés 2 óra elteltével, 2-3 órán belül halál.

1600 ppm (0,16%) Fejfájás, szédülés, hányinger 20 percen belül, halál 1 órán belül.

3200 ppm (0,32%) Fejfájás, szédülés, hányinger 5-10 percen belül, halál 15-20 percen belül.

Krónikus hatások: a szívizmot ellátó koszorúerek keringését csökkenti, szűkíti a koszorúereket, növeli az angina és a szívinfarktus kockázatát a koronáriás szívbetegségben szenvedő betegeknél. A terhes nőknél növeli a magzat perinatális halálózását és a születési súly csökkenését eredményezi.

Kén-dioxid

Expozíció:

A fosszilis tüzelőanyagok (kőolaj, szén) elégetése során keletkezik (közlekedés, ipar), azonban – ahogy fentebb már említettük – az utóbbi időben folyamatosan csökken a koncentrációja a fejlett országok városi levegőjében (átlag: 0,007 - 0,021 ppm), ami az üzemanyagok kénmentesítésének köszönhető. Ipari tevékenység során is keletkezhet pl. műtrágyagyártás, alumíniumipar, acélgégyártás.

Élettani hatásai:

A kén-dioxid vizes közegben salétromossavat alkot ($\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$). Ez a folyamat a nyálkahártyákon játszódik le, a keletkező sav izgatja a nyálkahártyákat. A vérbe jutva a hemoglobinnal szulf-hemoglobint képez, ezzel gátolja az oxigén szállítást.

Akut hatások:

A tüdőkapacitás csökkenését, a légutak ellenállásának növekedését, fokozott váladékképződést és köhögést okoz. A tüdőbetegek (asthmások) és a gyerekek különösen érzékenyebbek.

Krónikus hatás:

Krónikus expozíciója légúti betegséget okozhat (pl. bronchitis). Néhány tanulmány szerint növeli az össz mortalitást, a kardiovaszkuláris és a légzőrendszeri mortalitást, növeli a kórházi felvételek számát, különösen a krónikus obstruktív tüdőbetegségben (COPD) szenvedők esetén, bár a kén-dioxid hatását nehéz elkülöníteni más légszennyező anyagok hatásától.

Hatás az ökoszisztémára: A kén-dioxidból és kén-trioxidból képződő salétromsav és salétromsav a savas esők fő alkotórészei, amelyek a növényeket károsítják, pusztulásukat okozhatják.

Nitrogén-dioxid

Expozíció:

A nitrogén-dioxid nagyon reakcióképes, erősen oxidáló tulajdonságú gáz. Mennyisége a városi levegőben tág határok között változik (20 - 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), mert a természetes háttérmennyisége is nagyon változó (0,4 - 9,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Belső terekben koncentrációja a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ átlagos értéket, a csúcskoncentrációja a 230-2055 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ értéket is eléri.

Élettani hatás:

A nedves légúti nyálkahártyához kötődve salétromos- ill. salétromsavvá alakul, és helyileg károsítja a szöveteket. Felszívódva a véráramba jut, ahol a hemoglobint methemoglobinná oxidálja, így az nem képes az oxigént szállítani. A tüdő szerkezetének (emphysema szerű elváltozások) és bizonyos metabolikus folyamatoknak (lipid és antioxidáns rendszer) a megváltozását okozza.

Akut hatások:

A tüdőfunkciók csökkenése figyelhető meg a krónikus légzőrendszeri betegségben (elsősorban az asztmások, COPD-ben) szenvedők körében, bár az adatok ellentmondásosak. A nitrogén-dioxid azonban a bronchusok reaktivitását fokozza és a légzőrendszerben gyulladást okoz. A metabolikus folyamatok elsősorban akut expozíció hatására változnak meg. Nagy koncentrációban kötő- és nyálkahártya izgalmat, köhögési, hányási ingeret, fejfájást, szédülést okoz, ezek a tünetek azonban átlagos városi koncentrációnál nem jelentkeznek.

Krónikus hatások:

Nagy koncentrációjú krónikus expozíció állatkísérletekben a tüdő szerkezetének, metabolizmusának változását és a baktériumok, vírusok elleni védelem csökkenését okozták. Humán megfigyelések a gyermekeknél a légzőrendszeri betegségek gyakoriságának növekedését mutatták ki. Növeli a légzőrendszeri és a szívbeteg kórházi felvételét, fokozza az asztmások tüneteit.

Hatás az ökoszisztémára: A nitrogén-dioxidból és nitrogén-trioxidból képződő kénssav és kénsav a savas esők alkotórészei, amelyek károsítják a növényeket.

Ózon

Expozíció:

Az ózon keletkezését az előző fejezetben részletesen tárgyaltuk. A háttérmennyisége 0,02 - 0,035 ppm között változik, ami elsősorban antropogén eredetű. Európában a maximális koncentrációja az urbanizált régiókban 0,18 ppm-et, a vidéki területeken a 0,15 ppm-et is meghaladhatja.

Élettani hatás: Hatásai erősen oxidáló tulajdonságából erednek. Rövid idejű expozíció hatására a légutak diffúz gyulladása alakul ki. A gyulladáshoz markerek szisztémásan is megjelennek. Az ózon csökkenti a tüdő védekezőképességét (csökkenti a mukociliáris clearance-t, a makrofágok és a keringő lymphociták aktivitását). Krónikus expozíciója strukturális változásokat okoz (nyáktermelés növekszik, bronchusok szűkülnek, alveoláris fibrózis alakul ki).

Akut hatások:

Egészséges egyének esetén is irritálja a szemet, az orr- és toroknyálkahártyát, köhögést és fejfájást okoz, csökkenti a tüdőkapacitást. Növeli a tüdő válaszkészségét egészséges és asztmás egyéneknél. Kardiovaszkuláris hatásai: csökkenti a szívfrekvencia variabilitást és szívbetegknél növeli a pitvarfibrilláció kialakulásának

esélyét (az eredmények megerősítésére további vizsgálatok szükségesek). Növekszik a légzőrendszeri problémák (COPD, asztma) miatti kórházi felvételek száma és rontja az asztmások tüneteit. Növeli a légzőrendszeri betegségek miatti és az ösztimortalitást.

Krónikus hatások:

Növeli a tüdő baktériumok iránti fogékonyságát, gyulladást és morfológiai elváltozásokat okoz (elsősorban a terminális bronchiolusokban) a tüdőben. Különösen érzékenyek az asztmások, tüdő- és szívbetegék és az idős emberek.

Illékony szerves vegyületek

Formaldehid

Az illékony szerves vegyületek közül csak egy képviselőjük a formaldehidet tárgyaljuk, amely mind a külső, mind a belső légszennyezésben szerepet játszik.

Expozíció:

A formaldehid a belső terekben nagyságrendekkel nagyobb koncentrációt ér el, mint a külső környezetben. A dohányfüstben különösen magas koncentrációban van jelen (60 – 130 mg/m³)

Élettani hatása: A nyálkahártya felszínéhez kötődik, roncsolja a fehérjéket.

Akut hatások:

Irritálja a szemet, az orr és garat nyálkahártyáját, köhögést, hányást és nehézlégzést, a tüdőben ödémát, tüdőgyulladást, végül halált okoz a koncentráció növekedésével.

Krónikus hatások:

Genotoxikus hatása, valószínűleg humán rákkeltő (az International Agency for Research on Cancer – Nemzetközi Rákkutató Ügynökség a 2A kategóriába sorolja). Erre több humán megfigyelés utal. Nasopharingeális (orr és garat) és sinonasalis (orrüregi) daganatot okozhat.

Szuszpendált részecske - szálló por (particulate matter - PM)

A szálló por tulajdonképpen egy aeroszol. Az aeroszolak kisméretű szilárd vagy folyadék részecskék, amelyek a levegőben szuszpendált formában vannak jelen.

Az aeroszolak fő típusai:

- por: szilárd magot tartalmazó aeroszolkészecske (ülepedő por, szálló por, szuszpendált részecske)
- füst: égetésből származó szilárd és folyadék fázisú anyagokat tartalmazó aeroszol (szilárd fázisú komponense a hamu)

A szuszpendált részecskék keletkezésük szerint lehetnek elsődleges és másodlagos légszennyezők. Átmérőjük alapján négy kategóriát különböztetünk meg, ami meghatározza az emberi egészségre kifejtett hatásukat is.

3.3. táblázat - A szuszpendált részecskék csoportosítása átmérő szerint

Átmérő	Bejutás a légzőrendszerbe
>100 µm	a felső légutakban kiszűrődnek, ezért számottevő egészségkárosító hatásuk nincs
2,5 – 10 µm (PM _{2,5-10}) – durva részecske	lejutnak az alsó légutakba
<2,5 (PM _{2,5}) - finom részecske	lejutnak az alsó légutakba, az alveolusokba
<0,1 (PM _{0,1}) - ultrafinom részecske	lejutnak az alsó légutakba, az alveolusokba

A durva részecskék elsősorban a nagyobb részecskékből fizikai behatásra keletkeznek (útkopás, por, bányászat, a pollenek, baktérium részecskék is ide tartoznak). A finom partikulumok gázokból keletkeznek (kondenzációval és koagulációval), illetve égetésnél is keletkezhetnek (pl. diesel autók kipufogófüstjében).

Expozíció

A szuszpendált részecskék mérésére használt legelterjedtebb indikátor a 10 µm átmérőnél kisebb részecskék mennyiségi meghatározása (PM₁₀). A különböző földrészek városaiban a PM₁₀ értéke széles határok között változik (15-220 µg/m³). Az európai, észak-amerikai városokban értéke alacsonyabb, a legmagasabb koncentrációkat az ázsiai városokban mérték. Ázsiában a természetes háttérmennyisége is magasabb ezeknek a partikulumoknak (sivatagi por, erdőtüzek). A kínai városokban különösen magas a szuszpendált részecskék koncentrációja, ami elsősorban a szén és biomassa elégetéséből, a közlekedésből, illetve a széntüzelésből felszabaduló SO₂-ből másodlagosan keletkező partikulumokból származik. Megjegyzendő, hogy a fejlődő országokban a PM, mint belső téri légszennyező sokkal jelentősebb a külsőnél. A PM_{2,5} jobb indikátora lenne a szuszpendált részecskék egészségre gyakorolt hatásának, de csak kevés helyen mérik.

Bár a WHO a PM₁₀-re és PM_{2,5}-re meghatározott határértéket, hangsúlyozza, hogy nincs olyan alacsony koncentrációja, ami ne jelentene kockázatot az egészségre, ezért arra kell törekedni, hogy minél inkább csökkentjük a mennyiségét.

Élettani hatás

A hatásukat az eredeti összetételük, vízdékonyságuk, átmérőjük, a felületükön megkötött anyagok határozzák meg. A kis átmérőjű, de hosszú, tűszerű részecskék felületükön különböző anyagokat, így pl. nehézfémeket is meg tudnak kötni, ami növeli toxicitásukat.

Tüdő:

- gyulladási reakciót váltanak ki (gyulladásos mediátorok termelése növekszik)
- a légzőszervi betegségben szenvedők (COPD, asztma) tüneteinek rosszabbodása
- növekszik a légzőszervi betegségben szenvedők (COPD, asztma) kórházi felvételeinek száma és mortalitása (COPD)
- a tüdő védekezőképességének csökkenése jellemző (pl. baktériumok okozta fertőzéssel szemben)
- genotoxikusak, karcinogének – légzőrendszeri daganatok

Szív- és érrendszer:

- növekszik a trombózis kialakulásának veszélye
- gyakoribb az akut miokardiális infarktus és a stroke
- endothel és vaszkuláris diszfunkció
- krónikus expozíció fokozhatja az ateroszklerózist
- a szív- és érrendszeri betegségek miatti kórházi felvételek számának növekedése
- növekszik a szív- és érrendszeri betegségek miatti halálozás

Általános hatások:

- szisztémás gyulladás
- diabetes mellitusban szenvedők kórházi felvétele és mortalitása növekszik

Belső téri légszennyezők

A WHO 2005-ös adatai szerint a világ lakosságának több, mint 50%-a használ a főzéshez és a fűtéshez szilárd tüzelőanyagot (fát, szenet, mezőgazdasági hulladékot, állati trágyát) sokszor kémény nélküli helyiségekben, ami

belső téri légszennyezéshez vezet. A légszennyező anyagok beltéri koncentrációja a többszöröse lehet a kültérinek, pl. a szuszpendált részecskék esetén 100-szoros a különbség. A WHO becslése szerint a belső téri légszennyezés a 8. legfontosabb rizikófaktor és a globális betegségteher 2,7%-ért felelős, ami a külső légszennyezés hatásának az 5-szöröse. Évente – a legtöbben a fejlődő országokban - mintegy 1,6 millió ember hal meg a belső téri légszennyezés miatt, különösen a nők és a gyermekek veszélyeztetettek, akik a legtöbb időt töltik a lakóépületekben.

A belső téri légszennyezők forrásai:

- a szilárd tüzelőanyagok elégetése,
- dohányzás,
- a bútorzat,
- az építmények anyagaiból származó partikulumok,
- a külső légszennyezők,
- a levegőztető és légkondicionáló berendezések nem megfelelő működtetése

A legfontosabb belső téri légszennyező anyagok a szuszpendált részecskék (PM₁₀), a CO, NO_x, SO₂, PAH-ok, aldehidek, VOC-k, peszticidek, azbeszt, ólom, radon. A fejlett országokban a dohányfüst mellett az NO_x, a természetes eredetű radongáz és a bútorokból származó VOC-k fordulnak elő leggyakrabban.

3.14. ábra - Beltéri légszennyezők



Forrás: www.freefoto.com, fotó: Ian Britton

A belső téri légszennyezők egészségi hatásai

Erős kapcsolat van:

- az 5 éven aluli gyermekek alsó légúti fertőzései (pl. tüdőgyulladás),
- a 30 évnél idősebb felnőttek krónikus légzőrendszeri betegségei (pl. COPD),
- a 30 évnél idősebb felnőttek tüdőrákja (csak a széntüzelés estén)

és a belső téri (elsősorban a szilárd tüzelőanyagok elégetéséből származó) légszennyezők között.

Kapcsolatot találtak az asztmával, a TBC-vel, a szürkehályoggal is. Lehetséges, hogy van kapcsolat a belső téri légszennyezők és a szövődményes terhességi kimenetel (koraszülés, alacsony születési súly), az ischaemiás szívbetegség és a nasopharyngealis és laryngeális (gége) daganatok között is.

1.5. A levegőszennyezés csökkentésére hozott intézkedések az EU-ban

Mivel a levegőszennyezés esetében az országhatárok nem jelentenek akadályt, a probléma megoldására nemzetközi összefogásra van szükség. Az Egyesült Nemzetek Egyezményét a Nagy távolságra jutó, országhatárokon áterjedő levegőszennyezésről (*Convention on Long range Transboundary Air Pollution [LRTAP]*) 1979-ben 51 ország írta alá. Ez az Egyezmény szolgál a levegőszennyezés elleni nemzetközi küzdelem alapjául.

Ezzel egyidőben az EU szintén kidolgozott olyan irányelveket, amelyek az egyes tagállamok összkibocsátásának korlátozására irányultak és jogilag kötelező határértékeket szabtak meg. Ezt az EU „Nemzeti kibocsátási határértékekről szóló irányelve” (*National Emissions Ceiling Directive [NECD]*) tartalmazza. Az irányelv négy légszennyező anyag tekintetében szab meg felső határértéket: kén-dioxid (SO₂), nitrogén-oxidok (NO_x), illékony (nem metán) szerves vegyületek (NMVOCs) és ammónia (NH₃). A tagállamoknak ezeket a határértékeket 2010-re kellett elérniük.

Az EEA véleménye szerint további kibocsátásmérséklésre van szükség ahhoz, hogy megfelelő védelmet lehessen biztosítani a környezet és az egészség szempontjából. Egy, a legfrissebb NECD-adatokat vizsgáló EEA-elemzés szerint várhatóan 27 EU tagállamból 15 tagállam nem fogja teljesíteni a négy közül legalább az egyik határértéket; 13 tagállam pedig nem fogja elérni a 2 nitrogéntartalmú szennyezőanyagra (NO és NH₃) vonatkozó határértékeket.

A NECD mintájára a levegőminőségi irányelvek is határ- és célértékeket tartalmaznak a fő légszennyező anyagok tekintetében. A legújabb, „Tisztább levegőt Európának” (*Cleaner Air For Europe [CAFE]*) irányelvet 2008. áprilisában fogadták el. Ebben első alkalommal határoztak meg jogilag kötelező határértékeket a PM_{2,5}- (finom részecskék) koncentrációjára, amely határértékeket 2015-re kell elérni. Az Európai Bizottság ugyanakkor ellenőrzi, hogy mely országok nem teljesítették a korábban meghatározott határértékeket, és amennyiben ezen országok nem dolgoznak ki megfelelő intézkedéseket teljesítményük javítására, a Bizottság jogsértési eljárást indít ellenük.

A levegőminőséggel kapcsolatos magyarországi jogszabályok a Vidékfejlesztési Minisztérium honlapjának jogszabályok pontja alatt (<http://www.vkszi.hu/almenu.php?id=583>) érhetőek el.

2. A levegőszennyezés globális hatásai

2.1. Az ózonlyuk kialakulása és az ózonréteg elvékonyodásának hatása az ember egészségére

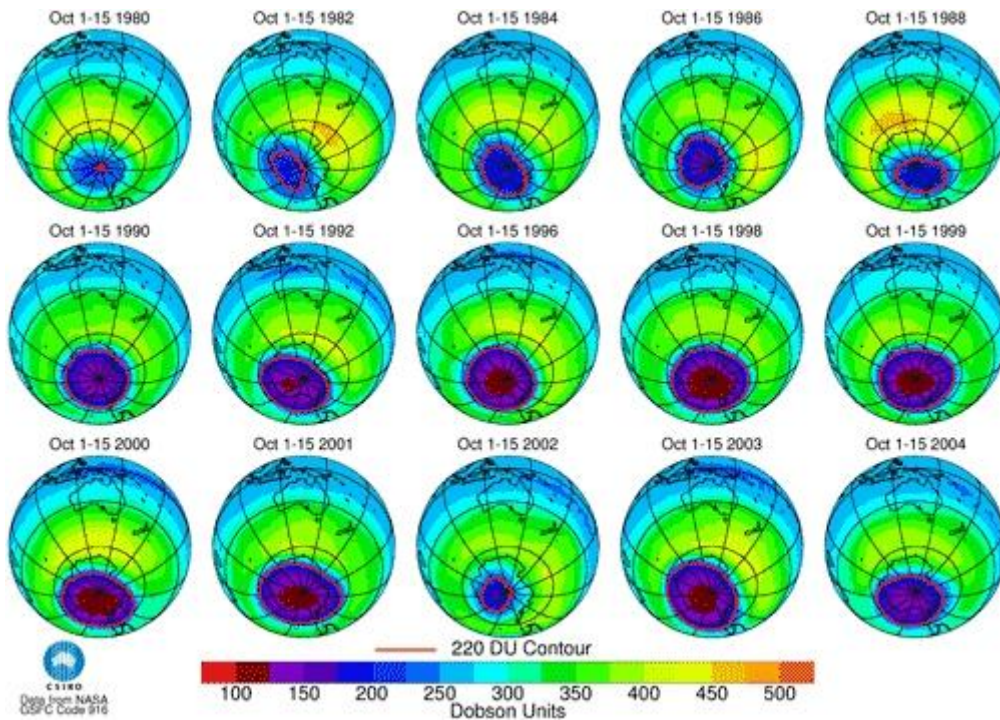
2.1.1. Az ózon keletkezése, bomlása és szerepe a sztratoszférában

Az ózonlyuk kialakulása, a sztratoszférikus ózon mennyiségének csökkenése – a klímaváltozás mellett - tipikus példája az emberi tevékenység környezetre gyakorolt hatásának. A környezet változása azonban visszahat az ember egészségére, ami arra készíti az emberiséget, hogy olyan egyezményeket, rendelkezéseket alkosson, amelyek segítségével megpróbálja helyreállítani környezete eredeti állapotát.

Az ózonlyuk felfedezése

Az ózonlyuk kialakulását először az 1980-as évek elején figyelték meg, ami nagy meglepetést okozott az atmoszférát kutató tudós társadalom körében is. Az Antarktison működő brit és japán megfigyelőállomások adatai azt mutatták, hogy a késő téli és tavaszi hónapokban (szeptember, október, november) a déli sark felett a sztratoszférában az ózon mennyisége az átlagos 300 Dobson Unitről (DU) 200 DU-ra csökkent az 1957 óta tartó mérési adatokhoz képest. A földi mérőműszerek mérési adatait nem sokkal később a műholdas mérési adatok is bizonyították. Kimutatták, hogy az ózon mennyiségének csökkenése minden tavasszal megfigyelhető az Antarktisz felett, kiterjedése meghaladja a kontinens nagyságát és nagyjából egy kör alakot formáz, innen ered az elnevezése.

3.15. ábra - Az ózonlyuk kialakulása az Antarktisz felett (1980-2004)

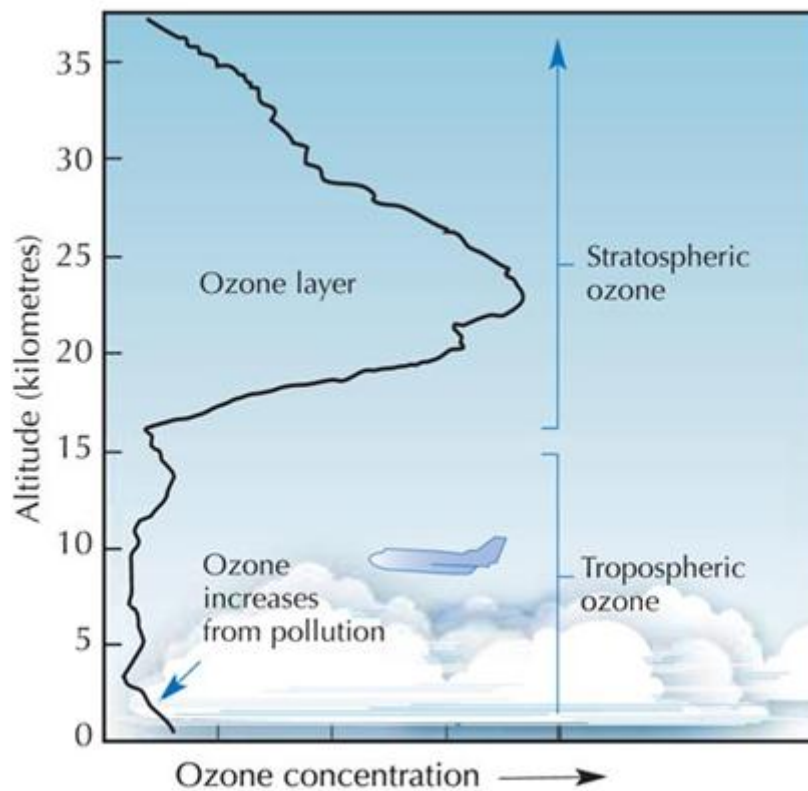


Forrás: NASA

Az ózon keletkezése és bomlása a sztratoszférában

Az ózon kb. 90%-a a sztratoszférában található, legnagyobb koncentrációját 20-25 km-es magasságban éri el.

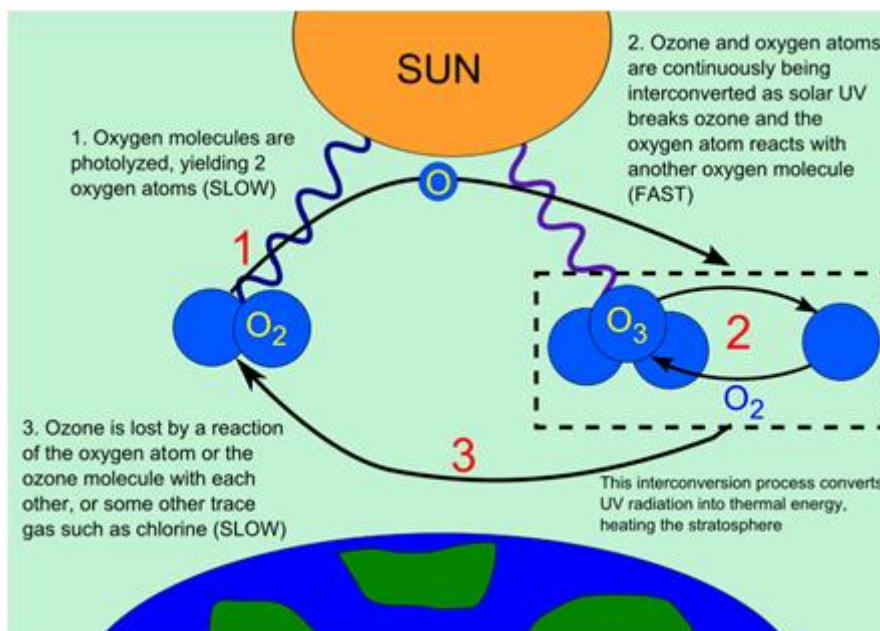
3.16. ábra - Az ózonréteg vastagsága a tengerszint feletti magasság függvényében



Forrás: commons.wikimedia.org

Az ózon keletkezése és bomlása dinamikus egyensúlyban van. Az ózonomolekula keletkezése kétlépcsős kémiai reakcióban történik. Az első lépésben az oxigénmolekula (O_2) a napfény energiájának hatására két oxigénatomra bomlik (2 O). A második lépésben a két oxigénatom egy-egy oxigénmolekulával lép reakcióba, így két ózonomolekula keletkezik (O_3). A reakció bárhol lejátszódik a sztratoszférában, ahol ultraibolya sugárzás jelen van. Legnagyobb mennyiségben a trópusok feletti sztratoszférában keletkezik az ózon.

3.17. ábra - Az ózon keletkezése és bomlása a sztratoszférában



Forrás: hu.wikipedia.org

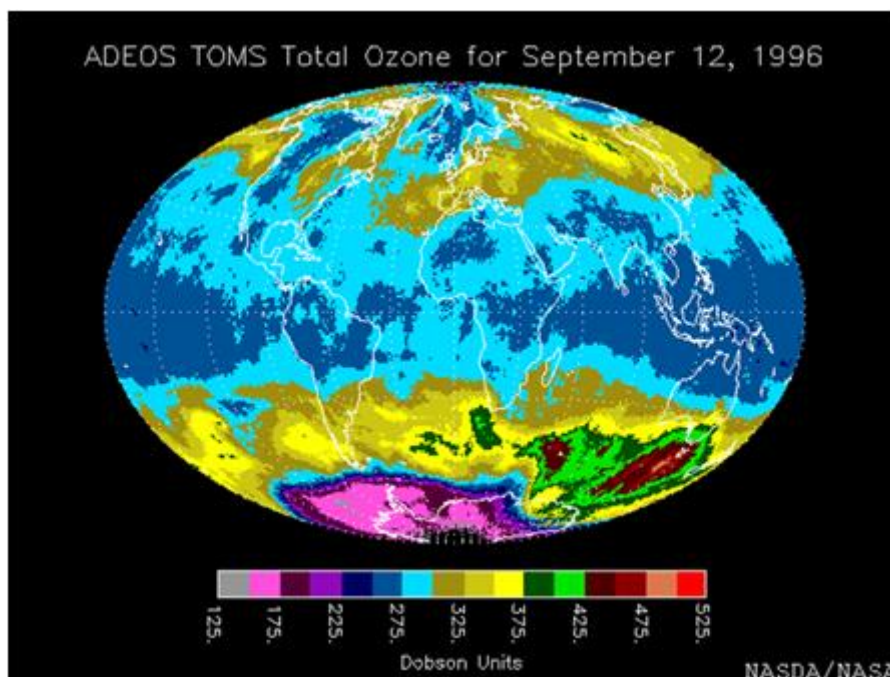
Az ózon bomlása különböző kémiai reakciókban történik, melyek során az ózonomolekulákból oxigénmolekulák képződnek. Az ózon a keletkezéséhez hasonló reakcióban felbomolhat a napsugárzás hatására, illetve természetes és mesterséges kémiai anyagokkal is reakcióba tud lépni. Az ózon lebomlásában részt vevő gázok közül a klórt és brómot tartalmazóak a legfontosabbak.

A sztratoszférikus ózon mennyiségét tehát a keletkezés és bomlás dinamikus egyensúlya határozza meg. Az egyensúlyt a reakcióban részt vevő gázok mennyisége és a reakciók lejátszódásához szükséges tényezők befolyásolják. Ha az atmoszférában a feltételek változása az ózon keletkezésének kedvez, az ózonkoncentráció nőni fog, míg ahol az ózon bomlásának feltételei adottak, ott ez a folyamat gyorsul fel. Az ózon globális mennyiségét a keletkezés és bomlás folyamata mellett a légmozgás is befolyásolja.

Az ózonkoncentráció eloszlása a sztratoszférában

Az ózon nem egyenletesen oszlik el a sztratoszférában a Földön. Mennyisége általában 200 és 500 DU között változik. A legkisebb mennyiségben az egyenlítő fölött, míg a legnagyobb mennyiségben a közepes és magas szélességi fokokon (közel a pólusokhoz) található meg. Ez egyrészt azoknak a sztratoszférikus széláramlatoknak köszönhető, amelyek az ózonban gazdag trópusi levegőt a pólusok felé szállítják, másrészt a lokális időjárási viszonyok, az ózon keletkezésében és bomlásában szerepet játszó tényezők egyensúlya befolyásolják az ózonkoncentrációt. Az ózon mennyisége az egyenlítő feletti régióban a legalacsonyabb – eltekintve az antarktisi ózonlyuktól - részben azért is, mert itt a troposzféra magasabbra terjed ki.

3.18. ábra - Az ózon eloszlása a Föld légkörében



A sztratoszférikus ózon szerepe

A sztratoszférikus ózont „jó ózonnak” is nevezzük, mert képes abszorbeálni a napfény bizonyos hullámhosszúságú ultraibolya sugárzását, amelyek károsak az élőlények számára. Az ultraibolya sugárzásnak (UV) három típusát különböztetjük meg hullámhosszúságuk alapján:

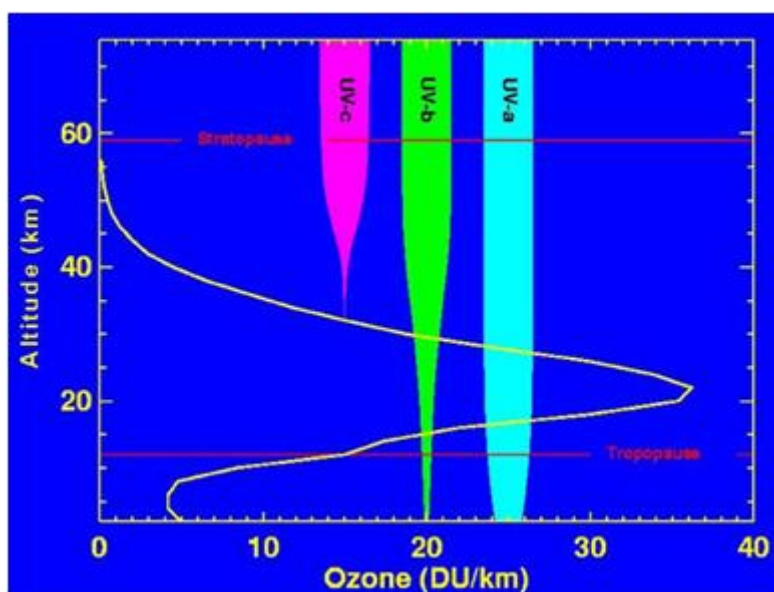
UV-A (315-400 nm);

UV-B (280-315 nm);

UV-C (100-280 nm).

A sztratoszférikus ózonréteg az UV-C sugárzást teljes mértékben, az UV-B sugárzás 90%-át nyeli el (4. ábra). Az UV sugárzásra szüksége van az emberi szervezetnek pl. az aktív D vitamin kialakulásához, mely elsősorban a Ca beépülését segíti elő a csontokba, de egyéb más fontos szabályozó funkciói is vannak.

3.19. ábra - Az ózonréteg vastagsága a tengerszint feletti magasság függvényében és az UV abszorbeáló képessége



Altitude: magasság; DU: Dobson Unit; Forrás: hu.wikipedia.org

2.2. A halogén tartalmú gázok és szerepük az ózonréteg elvékonyodásában

A halogén tartalmú gázok

Halogén tartalmú gázoknak (halogénezett szénhidrogének) nevezzük azokat a gázokat, amelyek klórt vagy brómot tartalmaznak. Eredetük szerint lehetnek természetesek és mesterségesek. A természetes halogén tartalmú gázok (pl. metil-bromid (CH_3Br), metil-klorid (CH_3Cl), bromoform (CHBr_3) az óceáni és a szárazföldi ökoszisztémákból származnak. Életidejük rövid (0,5-1 év), ezért a sztratoszférában található klór és bróm mennyiségéhez csak kis mértékben járulnak hozzá (17%-kal a klór és 30%-kal a bróm esetén). A mesterségesen előállított halogénezett szénhidrogének legfontosabb képviselői a klorofluorokarbonok (CFC-k) és a halonok. A legismertebb CFC-k a szén-tetraklorid (CCl_4) és a metil-kloroform (CH_2Cl_2). Gyártásukat az 1920-as években kezdték meg. A CFC-k életideje az atmoszférában 5-100 év, ami miatt nagymértékben hozzájárulnak az ózonréteg bomlásához. A halonok (pl. metil-bromid) elsősorban a tűzoltásban és a mezőgazdaságban használatosak. A halogén tartalmú gázok felhasználása:

- a hűtőgépekben hűtőközegként,
- az elektronikai iparban oldószerként,
- habosító és fűjőanyagként,
- spray-kben, dezodorokban aeroszol hajtóanyagként,
- tűzoltókészülék töltőanyagként,
- vegyi oldószerként,
- zsírtalanító anyagként,
- a háztartások, házak számára készült szilárd habszerű szigetelőanyagok alapvető összetevőjeként,
- az anyagok csomagolásakor szigetelő habként,
- a mezőgazdaságban növényvédőszerként.

A halogén tartalmú gázok szerepe az ózonréteg elvékonyodásában

A CFC-k a legfontosabbak a halogéntartalmú gázok közül, melyek az ózonréteg bomlásában szerepet játszanak. Ezek az emberi tevékenység révén a troposzférába kerülnek és ott – mivel nem reaktívak és nem oldódnak vízben - feldúsulnak. Végül a sztratoszférába kerülnek, ahol az UV sugárzás hatására reaktív halogén gázokká alakulnak. Az átalakulás aránya a halogén gáz élettartamától függ. A hosszú élettartamú gázok (több év) a troposzféra és a sztratoszféra között többször cirkulálnak, míg a teljes átalakulásuk megtörténik. A halogén gázokból a kémiai átalakulás során keletkező reaktív gázok bontják az ózont a sztratoszférában. A halogéntartalmú gázok ózontöltési potenciálját (ozone depletion potential – ODP) is meg szokták határozni, ami a gáz életidejétől, a benne található klór és brómatomok számától függ. A CFC-11 ODP-je definíció szerint 1. A brómot tartalmazó gázok ODP-je nagyobb (pl. halonok), mert a bróm kb. 60-szor hatékonyabban bontja az ózont, mint a klór. Néhány év elteltével a sztratoszférában található légtömeg visszatér a troposzférába és ott az eső kimossa a reaktív halogén gázokat, melyek a Föld felszínén rakódnak le. A rövid életidejű halogén gázokból nagyrészt már a troposzférában reaktív gázok keletkeznek, melynek csak kis mennyisége kerül a sztratoszférába, így ezek minimális mértékben járulnak hozzá az ózon bomlásához.

A sztratoszférában lejátszódó kémiai reakciók

Mint láttuk a sztratoszférába kerülő halogéntartalmú gázok természetes és mesterséges forrásból származnak. A halogén tartalmú gázoknak kémiai átalakuláson kell keresztül menniük ahhoz, hogy reaktív halogén gázokká alakuljanak, amelyek képesek bontani az ózommolekulát. Ehhez UV sugárzás és napfény szükséges.

A CFC-k (és más halogénezett szénhidrogének) felbomlása további reakcióhoz vezet a klór-monoxid (ClO) gyökökkel, melyek reakcióba lépnek a nitrogén-dioxiddal NO_2 és klórnitrátot (ClONO_2) hoznak létre, a nitrogén

monoxiddal (NO) és a metánnal (CH₄) sósavat (HCl) alkotnak. Az ezen reakciókból származó ClONO₂ a HCl-dal salétromsavat (HNO₃) alkot. A sósav és a klórnitrát nem lép kölcsönhatásba az ózonnal, de képesek átalakulni az ózont közvetlenül bontó molekulákká, ezért ezeket rezervoár gázoknak nevezzük. A leginkább reakcióképes halogén gázok a klór-monoxid, a bróm-monoxid (BrO), a klór és a bróm atomok.

Az ózon bomlásához szükséges feltételek

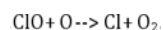
Az ózon bomlásához szükséges molekulák és atomok kialakulásához speciális feltételek szükségesek, amelyek az Antarktisz felett adóttak. Az ózonlyuk kialakulásának teljes egészében való megértése 2-3 év intenzív kutatómunkájának az eredménye.

1. Az egyik tényező az ózon bontásában szerepet játszó molekulák kialakulásában katalizátor szerepet játszó sztratoszférikus felhők létrejötte. Az Antarktisz felett szélsőségesen alacsony sztratoszférikus hőmérséklet alakulhat ki az antarktisi poláris éjszaka idején (-80°C, vagy még hidegebb). Ilyen feltételek mellett a salétromsav és a jég sztratoszférikus jégfelhőket hoz létre (-78 °C alatt). Ezen jégkristályok felszínén a HCl és a ClONO₂ reakcióba lép egymással és klór-monoxidot képeznek. Mivel a reakció csak az Antarktisz felett játszódik le, ezért a ClO mennyisége itt a legnagyobb. Ez a magas ClO koncentráció egy-két hónapig tart.

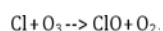
2. A klór-monoxid (ClO) molekulából szabadul fel az ózon bomlását katalizáló klóratom. Ez nem történik meg addig, míg az UV sugárzás nem bontja szét az ózon vagy oxigén molekulákat, amiből a reakció első lépéséhez szükséges oxigénatom szabadul fel.

1. ciklus

3.20. ábra - eq_21.png

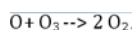


3.21. ábra - eq_22.png



Összesen:

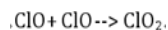
3.22. ábra - eq_23.png



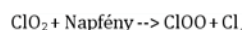
A reakció ClO-val vagy Cl atommal is kezdődhet. Mivel a Cl, illetve ClO az ózonmolekula lebontása után újra kialakul, a reakció sokszor végbemegy. Az ózon bomlásában szerepet játszó 1. ciklus a trópusok feletti és a közepes magassági fokok feletti sztratoszférában jellemző, ahol magas az UV sugárzás.

2. ciklus

3.23. ábra - eq_24.png



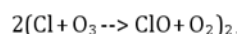
3.24. ábra - eq_25.png



3.25. ábra - eq_26.png

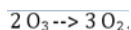


3.26. ábra - eq_27.png



Összesen:

3.27. ábra - eq_28.png



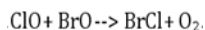
3. ciklus

3.28. ábra - eq_29.png



vagy

3.29. ábra - eq_30.png

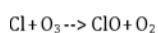


vagy

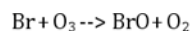
3.30. ábra - eq_31.png



3.31. ábra - eq_32.png



3.32. ábra - eq_33.png



Összesen:

3.33. ábra - eq_34.png



A 2. ciklus lejátszódása elsősorban az Antarktisz feletti sztratoszférában jellemző. Az ózon bomlásában szerepet játszó reakciók fenntartásához tehát látható napfény is szükséges. A napfény az antarktisi tavasz kezdetén áll rendelkezésre. Ennek a következménye, hogy az Antarktisz felett minden év szeptemberében és októberében megfigyelhető meg az ózonlyuk. Egyetlen klór vagy brómatom több száz ózonmolekulát képes felbontani, így kora tavasszal az Antarktisz felett naponta az ózon mennyiségének 2-3%-a elbomlik. A láncreakció egészen addig tart, míg a jégben lévő más reagensek fel nem olvadnak, és a Cl gyökök ezekkel reakcióba nem lépnek.

3. A ClO vegyület forrásai általában magasabban vannak, mint az ózonréteg. A sztratoszférában a lefelé irányuló mozgás a ClO-t alacsonyabb magasságokba szállítja. Ez csak a sarkok fölött játszódik le, az úgynevezett poláris örvényben (poláris vortex). Itt, az Antarktisz körül a sarok körüli (cirkumpoláris) szél speciális meteorológiai feltételeket biztosít kialakulásához.

Az ózonréteg elvékonyodásának bizonyítékai

Az ózonréteg vastagságára vonatkozó adatok az 1950-es évek végétől állnak rendelkezésre. Az ózonlyukat az 1980-as évek elején észlelték először az Antarktisz felett. Azóta minden év tavaszán megfigyelhető az ózonlyuk kialakulása. A reaktív halogén gázok mennyiségének a jelentős növekedését is kimutatták a sztratoszférában a XX. sz. második felében. Az ózonmennyiség egyértelműen csökkent a pólusok felett 1980-tól és viszonylag stabil volt 1990 és 2000-es évek eleje között, a 2002-es évet kivéve (a 2002-es év az átlagosnál melegebb volt, ezért az ózonmennyiség csökkenése kisebb volt a vártnál, melynek következményeként az ózonlyuk két kisebb darabra vált szét szeptemberben). Az Arktisz felett is megfigyelhető az ózonmennyiségben bekövetkező csökkenés tavasszal, de ez jóval kisebb mértékű, mint az Antarktisz felett (maximum 30%-os csökkenés).

2.3. Az ózonréteg elvékonyodásának (az UV sugárzás) hatása az emberi egészségre

Az ózonréteg elvékonyodása miatt a Föld felszínét nagyobb UV-B sugárzás éri el. Az UV-B sugárzás sejtszinten DNS károsodást okoz, timindimerek alakulnak ki.

Az UV sugárzásnak akut és krónikus hatásai vannak.

Az **UV sugárzás akut hatásai:**

- a bőr sejteiben pigmentképződést (melanin) indukál,
- a túl sok sugárzás leégéshez (erythema) vezet,
- extrém expozíció hatására fotokeratitis alakulhat ki.

A **krónikus UV sugárzás** károsítja

- a bőrt,
- a szemet,
- az immunrendszert.

Bőr

A krónikus UV sugárzás hatására a bőr **öregedése** felgyorsul, ami a bőr sejteinek, a bőr alatti kötőszövet (az UV hatására az elasztin és kollagénrostok széttöredeznek) és az erek károsodása miatt alakul ki.

A bőrön **rosszindulatú daganatok** keletkezhetnek. A bőr rosszindulatú daganatait két nagy csoportra osztjuk:

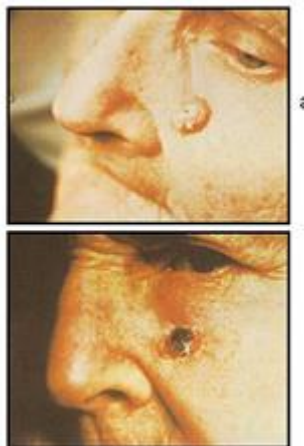
- nem melanómás (pl. squamosus sejtes laphámrák, basalioma) és
- melanómás (melanoma malignum) bőrdaganatok.

A világon évente több, mint 2 millió nem melanómás bőrdaganatot és 200 000 malignus melanómát regisztrálnak. A sztratoszférikus ózon mennyiségének 10%-os csökkenése becslések szerint 300 000 nem melanómás és 4500 melanómás esettel növeli a bőrdaganatok számát évente. Magyarországon 2001-2005 között 1300-ról 1800-ra emelkedett az új bőrdaganatos esetek száma.

Nem melanómás bőrdaganatok

A nem melanómás bőrdaganatok képezik a bőrből kiinduló daganatok mintegy 90%-át. A basalioma 75%-a és a squamosus sejtes laphámrák (epidermoid carcinoma) fele a napfénynek kitett bőrterületeken (arc, nyak, felkar, kéz) alakul ki (5. ábra). A bőrdaganatok incidenciája az egyenlítőhöz közeledve növekszik és azoknál, akik 50 év felettek és a szabadban dolgoztak gyakrabban fordul elő. A fehér bőrű, kék szemű egyének különösen érzékenyek az UV sugárzásra.

3.34. ábra - Basalioma



Forrás: commons.wikimedia.org

Melanóma

Bár a melanóma a bőrdaganatoknak csak mintegy 5-10%-át alkotja, sokkal veszélyesebb, mint a nem melanómás bőrdaganatok. A melanóma ugyan olyan gyakran jelentkezik a bőr napfénynek kitett és kevésbé kitett helyein (6. ábra), ami azt mutatja, hogy az UV csak egy rizikófaktor a sok közül, a melanoma malignum kialakulásában más tényezők (pl. genetikai) is szerepet játszanak. A melanóma is gyakrabban fordul elő a kevésbé pigmentált bőrű egyéneknél és azoknál, akik gyerekkorukban gyakran leégtek. A napfény, illetve az UV sugárzás kóroki szerepét támasztja alá az a tény, hogy a bőrdaganatok gyakorisága, valamint a melanoma malignum előfordulási gyakorisága Ausztráliában és Új-Zélandon a legmagasabb. Ausztráliában a nők körében 10-szer a férfiak körében 20-szor magasabb a melanóma gyakorisága az európai értékekhez képest. A melanóma prevalenciája az európai országok közül Skóciában és a skandináv országokban a legmagasabb és az utóbbi években a legtöbb országban a melanoma malignum incidenciájának növekedését tapasztalható, így Magyarországon is. A Nemzeti Rákregiszter adatai szerint Magyarországon 2003-ban a melanoma malignum incidenciája 18,2/100 000 volt, míg 2008-ban 26/100 000.

3.35. ábra - Melanoma_malignum



Forrás: commons.wikimedia.org

Szem

A cornea (szaruhártya) károsodása

Fotokeratitis – az intenzív UV sugárzás a szaruhártya gyulladáshoz vezethet, mely jelentős fájdalommal és a látás csökkenésével jár. Elsősorban olyan környezetben alakul ki, ahol a fényvisszaverődés erős (pl. hóval borított területek - hóvakság). A tünetek 1-2 nap alatt megszűnnek.

A conjunctiva (kötőhártya) károsodása

Pterygium (kúszóhályog) – a szem felszínén jelentkező érburjánzás, ami gyulladásra hajlamos. Ha a pterygium a cornea közepét is elfedi, akadályozza a látást is. Műtéttel eltávolítható. Részben az UV sugárzás is hozzájárul a kialakulásához.

A retina (ideghártya) károsodása

A retinát a szemet érő UV sugárzásnak 1%-a éri el, a többit a szaruhártya és a szemlencse nyeli el. Az **időskori makuladegeneráció** kialakulásában szerepet játszhat az UV sugárzás, amely az időskorban kialakuló vakság leggyakoribb oka a fejlett országokban

Katarakta (szürkehályog)

A világon a legtöbb vakságot okozó szembetegség. Évente 12-15 millióan vakulnak meg katarakta miatt a világon, aminek kb. 20%-a (kb. 3 millió eset) tulajdonítható az UV sugárzásnak.

Immunrendszer

Az immunrendszer UV sugárzás okozta szuppresszióját az emberi szervezetben még nem sikerült egyértelműen bizonyítani, de állatkísérletek és bizonyos humán megfigyelések ezt valószínűsítik. Megfigyelések szerint a bőrt érő UV sugárzás a fertőzésre való hajlam növekedését, az oltások hatékonyságát és a bőrrák elleni védekezés csökkenését eredményezi. Ezek a folyamatok bőrszíntől függetlenek. Az UV sugárzás leggyakrabban megfigyelt következménye a *herpes simplex* vírus okozta elváltozások visszatérő megjelenése az ajkakon. Az immunszuppresszív szerekkel kezelt embereknél a melanóma gyakrabban jelenik meg, mint a normál populációban.

2.4. Az ózónréteg elvékonyodását okozó gázok kibocsátását korlátozó intézkedések és a hatások egyéni megelőzés

Egyéni szint

A napsugárzás elkerülése

Az UV sugárzás a legintenzívebb a déli órák körül, ezért kerülendő a napon tartózkodás 11.00 és 15.00 óra között. Felhős időben is ér minket UV sugárzás, de természetesen a vastagabb felhőtakaró nagyobb védelmet biztosít. A hideg, szeles, de felhőtlen nyári napokon is leéghetünk. A víz mellett könnyebben le lehet égni, mert a víz visszatükrözi az UV egy részét. E miatt veszélyes a hó is.

Egyéni védelem

Megfelelő ruhával, napszemüveg, kalap használatával védjük bőrünket és szemünket a túlzott napsugárzástól. A gyermekek bőre különösen érzékeny, ezért náluk a bőr fedése még fontosabb. A fényvédő krémek alkalmazása a ruhával nem fedett bőrterületeken ajánlott. A fényvédő krém hatékonyságát az ún. fényvédő faktorról jellemzik (sun protection factor – SPF). Az SPF 4 azt jelenti, hogy ha egy adott időt a napon töltünk, a bőrt érő UV expozíció az 1/4-e annak, mint amit akkor szenvedünk volna el, ha nem alkalmazzuk a krémet. A megfelelő védelem elérése érdekében legalább 15-ös SPF-el rendelkező és széles spektrumú (UV-A és UV-B védelem) krémet kell alkalmazni és a bőrünket 2 óránként érdemes újra bekenni.

Kormányzati, politikai intézkedések

Oktatás

Oktatási programok kidolgozása tanárok, egészségügyi dolgozók és a gyermekgondozásban és a szabadban dolgozók számára.

A munkahelyeken

A veszélynek kitett dolgozók oktatása és UV védelmet biztosító felszerelésekkel való ellátása.

Média

A médiában a híradásban vagy az időjárás előrejelzésben az UV index használata segítségével figyelemfelhívás az UV káros hatásaira.

Nemzetközi szerződések

A Montreali Jegyzőkönyv

A Montreali Jegyzőkönyvet 1987-ben 46 résztvevő ország írta alá. 2007-ig összesen 191 ország csatlakozott a szerződéshez és ratifikálta az egyezményt. A szerződés célja a CFC-k mennyiségének csökkentése, majd gyártásuk fokozatos megszüntetése volt (A CFC-k gyártásának befagyasztása az 1986-os szinten, majd gyártásuk csökkentése 50%-kal a fejlett országokban 1999-re). Az egyezményt többször módosították. Az 1995-ös bécsi módosítás szerint a CFC-k és halonok esetén 2010-ig el kell érni a kitűzött célokat a fejlődő országokban is, a hidroklorofluorokarbonok (HCFC-k) esetén a gyártást és felhasználást meg kell szüntetni a fejlett országokban 2030-ig, a fejlődő országokban 2040-ig. További módosítás, hogy a peszticidként (növényvédőszer) használt metil-bromid (2005-re a fejlett országokban, 2015-re a fejlődő országokban) és a tűzoltásban használt halonok (2003-ra a fejlett országokban) gyártását és felhasználását is nagymértékben korlátozták, illetve betiltották.

Az EU szintjén 1994-ben fogadták el az ózon bomlását okozó anyagok kontrolljára vonatkozó szabályozást, ami 2000-ben lépett hatályba és szigorúbb, mint a Montreali Jegyzőkönyv előírásai. Mivel a CFC-k a klímaváltozásban is szerepet játszanak, a Montreali Egyezmény hozzájárul a globális felmelegedés csökkentéséhez is. Az intézkedések ellenére az ózonlyuk kiterjedése 2006 októberében meghaladta az eddigi legnagyobb mértéket az Antarktisz felett. A mostani előrejelzések szerint az antarktisi ózon mennyisége a XXI. század végére fogja elérni a '80-as évek előtti szintjét. Mindezek ellenére a Montreali Jegyzőkönyvet tartják a legeredményesebb környezetvédelmi egyezménynek, ami eddig született. Hatására az ózon bomlását okozó és az egyezményben nevesített CFC-k 95%-ának a gyártását és felhasználását sikerült megszüntetni, aminek hatására a CFC-k mennyisége a sztratoszférában kimutathatóan és nagymértékben csökkent. A legnagyobb problémát az jelenti, hogy a fejlődő országok egy részében továbbra is folyik ezek gyártása, valamint a régebbi készülékekben (pl. hűtőgépek) még mindig nagy mennyiségű CFC található, ami fokozatosan a légkörbe kerül. A HCFC-k gyártása az utóbbi időben a fejlődő országokban felgyorsult, melyet a CFC-k kiváltására használnak. Ugyan kisebb mértékben, mint a CFC-k, de ezek is hozzájárulnak az ózonréteg elvékonyodásához, ami indokolja a gyártásuk korlátozását, megszüntetését. Jelentős a CFC-k fekete kereskedelme is

3. A klímaváltozás hatása az ember egészségére

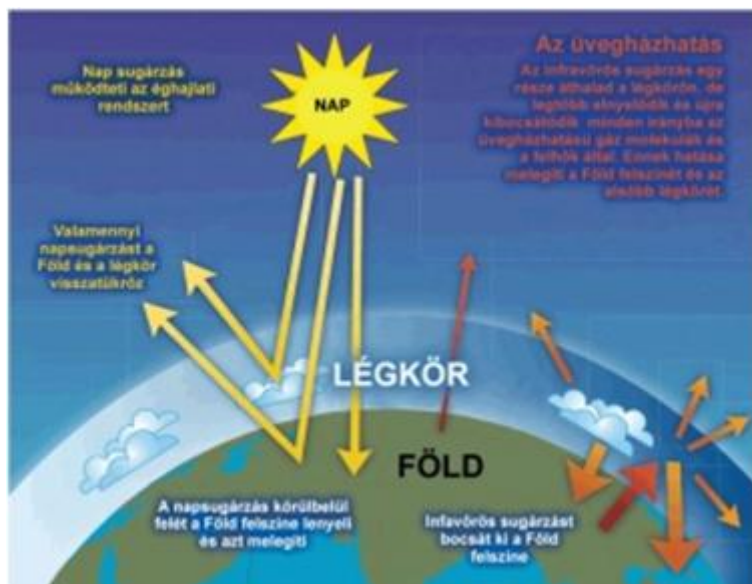
Ma már széleskörűen elfogadottá vált a tudós társadalom körében, hogy a Föld éghajlata az utóbbi száz évben megváltozott, felmelegedés tapasztalható, ami jelentős hatással van a környezetünkre és ezen keresztül befolyásolja az egész emberiség társadalmi-gazdasági viszonyait. Továbbra is megoszlanak a vélemények arról, hogy az emberi tevékenység milyen mértékben járul hozzá a globális felmelegedéshez, az viszont bizonyított, hogy jelentős szerepet játszik benne.

3.1. Az üvegházhatás

Az üvegházhatás

A Föld hőmérsékletét a Naptól érkező és a Föld felszínéről a világűrbe távozó sugárzási energia egyensúlya határozza meg. A Nap felszínéről széles spektrumú elektromágneses sugárzás lép ki. A Föld felszínét főleg a látható és infravörös tartományba tartozó sugarak érik el, melynek felét a fölfelszín elnyeli. A felszínről visszasugárzott (hő)energia (hosszúhullámú infravörös sugárzás) egy része nem jut ki a légkörből, mert a benne található üvegházhatású gázok elnyelik. Ettől az alsó légkör felmelegszik, s ezek is hősugarakat bocsátanak ki magukból, ezáltal a talaj közelében tartják a meleget. Az üvegházhatás természetes folyamat, amely nélkül a földi átlaghőmérséklet kb. 30°C-kal lenne alacsonyabb.

3.36. ábra - Az üvegházhatás kialakulása



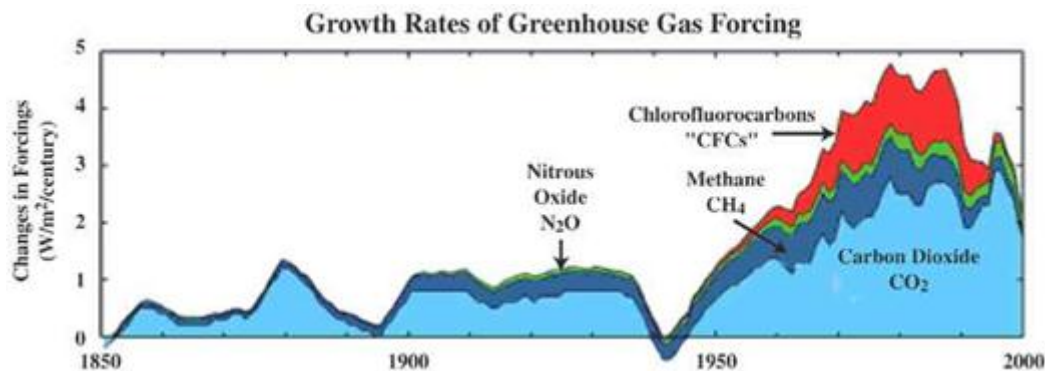
Forrás: IPCC 4. értékelő jelentés, 2007

3.2. Az üvegházhatást okozó gázok

A legfőbb természetes üvegházhatású gázok (ÜHG) a vízgőz (H_2O), a szén-dioxid (CO_2), a metán (CH_4) és a dinitrogén-oxid (N_2O), valamint hozzájárulnak még a klímaváltozáshoz a fluorozott szénhidrogének és a kénhexafluorid is. A legnagyobb mértékben (36-66%) a vízgőz járul hozzá az üvegházhatáshoz. Mennyiségét leginkább a természetes folyamatok, valamint a légkör hőmérséklete határozza meg, tartózkodási ideje a légkörben nagyon rövid, körülbelül 10 nap. Ezzel szemben a másik három gáz légköri tartózkodási ideje viszonylag hosszú (10-200 év), a be- és kikerülési arányukat és így légköri koncentrációjukat az emberi tevékenységek jobban meghatározzák.

Az ipari forradalom óta az emberiség fosszilis tüzelőanyag-felhasználása és a fokozódó mezőgazdasági termelés növelte az összes, hosszú tartózkodási idejű üvegházhatású gázkibocsátást. Az ÜHG antropogén eredetű kibocsátása mintegy 70%-kal növekedett 1970 és 2004 között. Az ÜHG kibocsátás növekedéséért elsősorban az energiaellátás, közlekedés és ipar volt felelős 1970 és 2004 között, míg a lakóházak, kereskedelmi célú épületek, az erdőgazdálkodás és a mezőgazdaság kisebb mértékben növekedtek. Az egyes országok között jelentős eltérések tapasztalhatók az egy főre jutó bevétel, az egy főre jutó kibocsátás és energia intenzitás között. A fejlett országok, amelyekben a lakosság 20%-a él, a világ GDP-jének 57%-át termelte meg és az ÜHG kibocsátás 46%-áért volt felelős. Az utóbbi időben egyre nagyobb figyelmet kap a mezőgazdasági tevékenységek és ezen belül az állattartás szerepe az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásában. Az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezetének (FAO) 2006-os jelentése, „Az állattartás hosszú árnyéka” azt a következtetést vonta le, hogy az állattartó ágazat ezeknek a kibocsátásoknak a 18%-áért felelős (az állattartás állítja elő az ember-okozta szén-dioxid 9%-át, a metán 37%-át, és a dinitrogén-oxid 67%-át). Az egyes ipari tevékenységek a fent említett természetes üvegházhatású gázok mellett mesterséges üvegház-hatású gázokat is kibocsátanak, ilyenek például a fluorozott szénhidrogének (HFC-134a), a perfluor-karbonok (HFC-23) és a kénhexafluorid (SF_6). Minden üvegházhatású gáz különböző mértékben járul hozzá a globális felmelegedéshez sugárzási tulajdonságától, molekula tömegétől és légköri tartózkodási idejétől függően.

3.37. ábra - Üvegházhatást okozó gázok koncentrációjának emelkedése



Forrás: commons.wikimedia.org

Szén-dioxid (CO₂): Koncentrációja a légkörben az ipari forradalom kezdete óta folyamatosan nő, az 1750-es 280 ppm-ről a 2007-es 383 ppm-re (1 ppm: 1 részecske 1 millió közt, milliomod rész), ami az utóbbi 650 ezer év legmagasabb koncentrációja. Ebből 50 ppm növekedés az utóbbi 33 évben következett be. Az évente kibocsátott CO₂ mennyisége 80%-kal növekedett 1970 és 2004 között és a teljes antropogén ÜHG kibocsátás 77%-át tette ki. Az üvegházgázok közül legnagyobb koncentrációban van jelen a légkörben, és ott a leghosszabb az élettartama (50-200 év), viszont a többihez képest egységnyi koncentrációjának sokkal kisebb az üvegházhatása.

Metán (CH₄): Az 1750-es szinthez képest koncentrációja több mint a duplájára nőtt (2006-as szintje 1782 ppb (1 ppb: 1 részecske 1 milliárd között), az ipari forradalom előtti szintje 715 ppb volt). Lényegesen rövidebb ideig tartózkodik a légkörben, mint a CO₂, élettideje 10,8 év. A szén-dioxidhoz képest 23-szor erősebb az üvegházhatást okozó potenciálja 100 évre átlagolva, és 67-szer olyan erős 20 évre átlagolva. A metán esetében igen nagy probléma, hogy nemcsak emberi tevékenység hatására juthat a légkörbe. Hatalmas mennyiségű metán tárolódik metán-hidrát formájában a siberiai tundra fagyott mocsaraiban, és az óceánok alján. Ha ezekből a természetes tárolókból nagy mennyiségű metán jutna a légkörbe, az a globális felmelegedést nagymértékben felgyorsítaná.

Dinitrogén-oxid (N₂O): Koncentrációja 2006-ban 320 ppb volt, ez 50 ppb növekedést jelent az 1750-es 270 ppb szinthez képest. Tehát koncentrációja a szén-dioxidhoz képest alacsony, viszont üvegházhatást okozó potenciálja egységnyi koncentrációra több, mint 290-szerese a szén-dioxidénak, és több, mint 100 évig tartózkodik a légkörben.

A klímaváltozást alátámasztó bizonyítékok

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) 2007. év folyamán közzé tett negyedik értékelő jelentése szerint:

- a hőmérsékleti feljegyzések azt jelzik, hogy a Föld hőmérséklete világátlagban 0,7°C-ot melegedett a múlt század kezdetétől. A tizenegy legmelegebb év – az 1850-es feljegyzések óta – 1995 után következett be. A valaha mért legmelegebb év 1998 volt, de 2005 is majdnem rekordot döntött. Az átlaghőmérséklet 1956 és 2005 között 0,13°C-ot emelkedett évtizedenként.
- a Föld északi féltekéjének hóval fedett területe 7%-kal csökkent az 1900-as évek óta, és a világ nagy részén a gleccserek jelentősen visszahúzódtak
- a tengerszint évente 1-3 millimétert emelkedett a 20. században (1,8 mm/év 1961-2003 és 3,1 mm/év 1993-2003 között), főképp az óceánok hőtágulása és a gleccserek olvadása következtében.
- az arktikus tengeri jég 40%-kal vékonyodott a késő nyári időszakban az elmúlt évtizedekben, és 1950 óta késő nyáron 15%-kal csökkent a kiterjedése.
- csak az elmúlt évtizedben 8%-kal csökkent a tengeri jég területe. A tengeri jég olvadása nem emeli ugyan a tengerszintet, de a jégpáncél eltűnése megkönnyíti a kontinentális jég óceánba való áramlását, ami viszont hozzájárul a tengerszint emelkedéséhez, valamint módosítja a földfelszínsugárzás visszaverő képességét is. Amíg a jégfelszín a ráeső sugárzás körülbelül 90%-át visszaveri, addig az óceán vize a ráeső sugárzás alig több mint 10%-át.

- az eső mennyisége a 1900 és 2005 között jelentősen növekedett Észak- és Dél-Amerika keleti részén, Európa északi, illetve Ázsia északi és középső részén, míg a csapadék mennyiségének csökkenése volt megfigyelhető a Száhel övezetben, a mediterrán vidékeken, Afrika déli részén és Ázsia egyes déli vidékein.
- 1970 óta a trópusi ciklonok száma is növekedett Észak-Amerikában.

A globális felmelegedés regionálisan eltérő mértékben jelentkezett. Nagyobb hőmérsékletemelkedés következett be a szárazföldek felett, még nagyobb az északi félteke magasabb szélességein (északi irányban). Az Arktiszon a hőmérséklet a globális átlaghoz képest kétszer gyorsabban nőtt az 1970-es évek közepe óta, de az alaszka átlaghőmérséklet is különösen gyorsan melegedett az elmúlt két évtizedben, ami drámai hatással volt a környezetre, a növényekre, állatokra és emberi társadalmakra.

3.3. A klímaváltozás jövőbeni kilátásai

A 21. században az IPCC által meghatározott különböző kibocsátási forgatókönyvek mindegyike szerint a globális átlaghőmérséklet emelkedése várható. Ha az ÜHG kibocsátása az IPCC által előrejelzetnek megfelelően alakul, a következő két évtizedben a hőmérséklet 0,2°C-kal, ha a kibocsátás szintje a 2000-es év szintjén marad, 0,1°C-kal fog emelkedni évtizedenként. A változást előrejelző forgatókönyvek szerint a földi átlaghőmérséklet 2090-2100-ban minimum 1,8°C-kal (1,1-2,9°C), maximum 4°C-kal (2,4-6,4°C) lesz magasabb az 1980–1999 közötti időszak átlaghőmérsékleténél. Ugyanehhez az időszakhoz képest 2090-2100-ra a világtengerek szintje is emelkedni fog minimum 0,18-0,38, maximum 0,26–0,59 méterrel elsősorban a felmelegedés hatására bekövetkező óceáni víz hőtágulása miatt. Az előrejelzésekben (főleg, ami a tengerek szintjének emelkedésre vonatkozik) jelentős bizonytalanság van, ami egyrészt a Föld globális éghajlatát meghatározó folyamatok komplex megértésének hiányából, másrészt az ÜHG kibocsátás jövőbeni alakulásának becsléséből, illetve az átlaghőmérséklet emelkedésének pólusokon lévő jégmezőkre gyakorolt hatásából származik. Az emberi tevékenységek által előidézett felmelegedés és ennek hatására a világtenger szintjének emelkedése a 21. század során tehát még akkor is folytatódik, ha az üvegházhatású gázok kibocsátását sikerül szinten tartani.

3.4. A klímaváltozás jövőbeni kilátásai Magyarországon

A legeggyöntetűbb változások a hőmérséklet tendenciájában tapasztalhatók. Az országos átlag jól követi a globális változásokat, annál valamivel nagyobb melegedési értéket (pontbecslés alapján 0,77 °C) jelez. Ennek évszakos felbontása már nagyobb eltéréseket mutat. Amíg a telek és a tavaszok döntően az éves átlagnak megfelelően melegszenek, addig a nyarak jobban (mintegy 1 °C), az őszyk kevésbé (0,4-0,5 °C) követik ezt a melegedést. Az elmúlt 30 évben gyorsult a melegedés. A két utolsó évtized átlaghőmérsékletének különbsége helyenként a fél fokot is meghaladja hazánkban. A melegedés elsősorban a keleti és az észak-nyugati területeken erőteljesebb. Hazánkban a minimum- és maximumhőmérsékletek hasonló mértékben növekszenek. A 20 °C feletti minimumhőmérsékletű napok száma növekszik.

Az éves csapadékmennyiség a 20. században jelentősen csökkent. Elsősorban tavasszal, amikor az évszakos csapadékösszeg a század eleinek mintegy 75%-a. A nyári csapadékmennyiség összege lényegében nem változott az elmúlt száz évben. Régebben is voltak száraz nyarak, azonban a fokozatosan növekvő nyári hőmérséklet miatt az újabb száraz időszakok káros hatása jóval nagyobb. Az őszi és a téli csapadékcsökkenés 12-14%-os. A kevesebb csapadék intenzívebben érkezik, ami egyrészt a csapadék hasznosulását, vagyis a vízháztartást rontja (kevesebb víz szivárog be a talajba), másrészt növeli a lefolyást (az árvízveszély fokozódik). Ha az egész csapadékjelenség hevesen zajlik le (nyári zivatarok) és kis vízgyűjtőn következik be, akkor a felszínborítottság és a domborzat függvényében hirtelen árhullámok alakulhatnak.

3.5. A klímaváltozás hatásai

A klímaváltozás jelentős hatást gyakorol a földi ökoszisztémára, az ember természeti környezetére, ami közvetlenül befolyásolja a mezőgazdasági termelést, a vízgazdálkodást, ivóvízellátást, az ember egészségét és épített környezetét. Ezek a változások visszahatnak az egész emberi populáció gazdasági-társadalmi viszonyaira, megváltoztathatják, befolyásolják a mezőgazdasági, ipari termelést, a természeti és társadalmi javak eloszlását, a kereskedelmet.

Ökoszisztéma, természeti környezet

- a növény és állatfajok 20-30%-a ki fog halni abban az esetben, ha az átlaghőmérséklet emelkedése meghaladja a 1,5-2,5°C-ot
- ha az átlaghőmérséklet emelkedése meghaladja a 1,5-2,5°C-ot és a CO₂ koncentrációja emelkedik, az az ökoszisztéma struktúrájában és működésében jelentős változásokat fog okozni, ami a fajok közti ökológiai interakciót és változásokat, valamint a földrajzi elterjedést befolyásolja
- megfigyelték, hogy egy sor növény- és állatfaj húzódott északabbra, a pólusok felé az elmúlt évtizedekben
- a grönlandi és a nyugat-antarktiszi jégtakarók elolvadása, amelyek a világtenger szintjének akár 12 méteres emelkedésével is járhat
- csökkenhet az Észak-atlanti áramlás erőssége, amely 2–3 °C-os hűtő hatást gyakorol az európai régióban
- a jelenleg még fagyott északi mocsarak kibocsátókká válhatnak azzal, hogy az olvadás hatására az eddig fagyott földből metán szabadul fel
- a tengerek és óceánok hőmérsékletemelkedése, az oxigén és a só mennyiségének változása és az áramlatok megváltozása jelentősen befolyásolja a tengeri ökoszisztémát, megváltozik az algák, planktonok és halak mennyisége és eloszlása (a nagyobb szélességi fokon és a magasabban fekvő tavakban nő a mennyiségük)
- a szélsőséges időjárási jelenségek - mint amilyenek a hurrikánok is - egyre intenzívebbek lesznek

Mezőgazdaság, élelmiszertermelés

- a közepes és magas szélességi körön fekvő országokban az előállított termény mennyisége kis mértékben nőni fog a lokális átlaghőmérséklet 1-3 °C-os emelkedés hatására, ezt követően azonban bizonyos területeken csökkenés várható
- az alacsonyabb szélességi fokon fekvő átmenetileg száraz és trópusi régiókban az előállított élelmiszer mennyisége csökkenni fog már 1-2 °C-os lokális átlaghőmérséklet emelkedés hatására is, ami éhínséghez vezet
- globálisan az előállított élelmiszerek mennyiségének növekedése várható az átlaghőmérséklet 1-2 °C-os emelkedésének hatására, azután viszont a termelés csökkenni fog
- az esővíz mennyisége és eloszlása, a vízbázisok és az ivóvíz mennyisége is meg fog változni. A mediterrán országokban, az USA nyugati részén, Afrika déli, Brazília észak-keleti részén vízhiány alakul ki
- gyakoribbak lesznek a hirtelen, nagy mennyiségű esővel járó viharok, amik áradásokhoz, árvizekhez vezetnek. A Föld lakosságának 20%-a fog olyan területeken élni 2080-ban, ahol gyakoribbak lesznek az áradások.

Tengerpartok

2080-ra a partmenti városokat (pl. Tokió, New York, Bombay) és a mélyebben fekvő területeket (főleg Ázsia, Afrika) súlyos áradások érik, ami több millió ember migrációjához vezet.

Ipar, települések, társadalom

A legsérülékenyebbek azok az iparágak, települések és társadalmak, amelyek tengerparton vagy folyódeltában találhatóak, azok, amelyeknek gazdasága klímaérzékeny erőforrásokhoz kötődik és amelyek a szélsőséges időjárási eseményeknek ki vannak téve. A szegény közösségek, társadalmak különösen sérülékenyek.

A klímaváltozással nem csak szélsőséges időjárási események gyakoribbá válásával kell számolni, hanem - közvetett hatásként - társadalmi konfliktusokkal is. A klímaváltozás érezhető gazdasági költséget fog jelenteni különösen a fejlődő országoknak: a mezőgazdasági termés visszaesése, szélsőséges időjárási jelenségek és az ezekből fakadó migráció mind nehezítik a gazdasági fejlődést. A klímaváltozás kielezi az erőforrás-hiányt, s ez elvándorláshoz vezethet a kedvezőbb természeti adottságokkal rendelkező régiók irányába.

3.6. A klímaváltozás hatása az ember egészségére

- A hőmérséklet okozta káros egészségügyi hatásokra a 2003. évi, franciaországi hőhullám okozta 15 ezer fő halálozási többlet hívta fel a figyelmet.
- A magasabb nyári hőmérséklet fokozottan veszélyezteti a városi lakosságot, ahol a hőmérséklet több fokkal magasabb, gyengébb a természetes szellőzés, és a délutáni enyhülés kezdetét az épületek kisugárzása órákkal későbbre tolja.
- A klímaváltozás hatásaira a 4 év alatti gyerekek, a 65 év feletti idősök, a túlsúlyos emberek és az ágyban fekvő betegek a legérzékenyebbek.
- Az egyre melegebb nyarak és enyhébb telek miatt a vírusok, baktériumok, kórokozók elterjedése, populációja lényegesen megnőhet. A hőmérséklet növekedésével gyakoribbá válnak a vektorok okozta megbetegedések (pl. kullancs okozta encephalitis, Lyme-kór; szúnyog terjesztette malária, a rágcsálók által terjesztett hantavírus-fertőzés, a szúnyogok által terjesztett nyugat-nílusi vírusfertőző).
- Változik a vektorok elterjedése, ezáltal újabb, az adott területen nem gyakori betegségek léphetnek fel.
- Az allergén növényfajok virágzásának kezdete, időtartama megváltozik, fokozódik a pollenterhelés.
- A klímaváltozás következményeként a lakossági kitelepítéseknél (árvizek, özönvízszerű esők, földcsuszamlások) sérülések, fertőzések, táplálkozási és pszichológiai károsodások léphetnek fel.
- A felhőzet csökkenése következtében a növekvő UV sugárzás hatására növekszik a rosszindulatú bőrdaganatok (nem festékes és festékes bőrdaganatok) előfordulásának gyakorisága
- A vízzel és élelmiszerekkel előforduló kórokozók a fokozódó meleg miatt szintén nagyobb veszélyt jelentenek. Például a nemzetközi adatok szerint az 1 °C fokos hőmérséklet növekedés 2-5%-kal növeli a salmonellosis megbetegedés gyakoriságát.
- Szintén várható az egyéb bakteriális, vírusos és protozoon megbetegedések számának növekedése (Campylobacteriosis, Hepatitis A, cryptosporidiosis). Az aszályos időszakokban az egyre melegebb vízhőmérséklet kedvez egyes kórokozók szaporodásának.
- A hirtelen lezúduló esőzések és az emiatt kialakuló áradások – a szennyvízkiömlések és bemosódások révén – szennyezhetik a sérülékeny ivóvízbázisokat és ezzel növelik a fertőzésveszélyt.
- Az éghajlatváltozás bizonyos időjárási körülmények között negatívan érinti a légszennyező anyagok koncentrációját. Hosszan tartó napsütés és csekély légmozgás következtében megemelkedik a felszín közeli ózon koncentrációja a nagyvárosokban és azok környezetében. Reális veszélyt jelenthet a közlekedésből származó nitrogén-oxidok, nitrogén-dioxidok különösen magas koncentrációja, amely szélsőséges esetekben szmog kialakulásához is vezethet. A légszennyező anyagok magas koncentrációja növeli a légzőszervi megbetegedések számát.

3.7. A klímaváltozás hatásainak csökkentésére hozott intézkedések

A Kiotói Jegyzőkönyv (1997)

A Jegyzőkönyv a fejlett országokra, illetve a közép- és kelet-európai országokra vonatkozó az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának szabályozását érintő kötelezettségeket rögzítette. A fejlődő országok semmilyen jogilag kötelező korlátozást nem fogadtak el.

A Jegyzőkönyv értelmében az iparosodott államok és az „átmeneti gazdaságú” országok vállalták, hogy az 1990-es szinthez képest kibocsátásukat átlagosan 5,2%-kal csökkentik a 2008-2012 közötti időszak alatt. A kelet-közép-európai országok eltérhettek a viszonyítási szinttől, így Magyarország esetében ez az 1985-1987 közötti időszak.

Az USA aláírta a jegyzőkönyvet, de a szenátus nem ratifikálta. Oroszország csak 2004 második felében csatlakozott a jegyzőkönyvhöz. Ennek következtében a Kiotói Jegyzőkönyv 2005. februárjától lépett jogilag hatályba.

A Kiotói Jegyzőkönyv konkrét kibocsátás-szabályozási előírásokat csak 2012-ig tartalmaz, és sok fejlett állam még addig sem lesz képes a jegyzőkönyvben rögzített kibocsátási szint elérésére. Az üvegházhatású gázok kibocsátása és az éghajlatváltozás kockázata viszont tovább növekszik, s ezek mérséklésére az eddigieknél határozottabb lépések szükségesek.

2005 decemberében tartották meg az éghajlatváltozással foglalkozó egyezményben részes államok 11. ülészeit Montrealban. A montreali ülészen a következő kérdésekről tárgyaltak:

- (a) az egyezmény hatálya alatt – tehát minden állam részvételével – a kibocsátás-szabályozás további teendőiről;
- (b) a Kiotói Jegyzőkönyv hatálya alatt az ahhoz csatlakozott fejlett államok további kibocsátás-csökkentési kötelezettségeiről a 2012 utáni időszakra;
- (c) azon tárgyalások előkészítéséről, amelyek általában a Kiotói Jegyzőkönyv felülvizsgálatára vonatkoznak (ez a fejlődő országokat is érintheti);
- (d) az önkéntes kibocsátás-mérséklési programokra kész országok ilyen irányú kezdeményezéseinek elismeréséről.

A montreali ülészen eredményeivel egy fontos időszakot zárt le az ember által kiváltott globális környezetváltozás növekvő veszélyével szembeni eddigi nemzetközi együttműködés folyamatában, s egyúttal megnyitotta az utat ahhoz, hogy új tárgyalások kezdődhessenek a további – remélhetően hathatósabb – közös fellépésről.

Szükséges megjegyezni, hogy a kiotói kötelezettségek teljes mértékű teljesítésekor sem csökken lényegesen a légkör üvegházhatást okozó gázainak koncentrációja. A veszélyes mértékű éghajlatváltozás Európában akkor kerülhető el, ha a földfelszín globális átlaghőmérséklete legfeljebb 2 °C-kal haladja meg az ipari forradalom előtti szintet, ami már ma is mintegy 0,6-0,7 °C-kal magasabb. A 2 °C-t nagy valószínűséggel csak akkor nem lépjük túl, ha az üvegházhatású gázok légköri koncentrációja nem haladja meg a 450 ppm szén-dioxid mennyiséget. A folyamat mérsékléséhez a fejlett országoknak 2020-ig 15-30%-kal, 2050-ig pedig 80–95%-kal kell csökkenteniük az üvegházhatást okozó gázkibocsátásukat az 1990-es szinthez képest. A globális probléma megoldásában, az üvegházhatású gázok kibocsátásának jelentős mérséklésében a gazdaságilag gyorsan növekvő fejlődő országoknak is részt kellene vállalniuk.

Az Európai Unió

Az EU következetes a Kiotói Jegyzőkönyv kötelezettségeinek teljesítésében, sőt az abban megfogalmazottakon túli vállalást tett, 8%-os csökkentésre tett ígéretet. Ezt a célt az energiahatékonyság növelésével, energiatakarékosággal és a megújuló természeti erőforrások növekvő felhasználási arányával kívánja megvalósítani. A vállalat teljesítése érdekében, 2005. január elsejével az EU mind a huszonöt tagállamára kötelező jelleggel beindította a kibocsátási jogok kereskedelmét lehetővé tevő saját belső rendszerét. Ennek keretében mintegy tizenkétezer – EU tagállamban működő – ipari létesítmény kereskedhet szabadon a szén-dioxid kibocsátására jogosító engedélyekkel, amelyek egyúttal a korlátozást is magukban foglalják.

Továbbá az Európai Unió már kötelezettséget vállalt arra, hogy 2020-ig az üvegházhatást okozó gázkibocsátását 20%-kal csökkenti, valamint energiaellátásának 20%-át megújuló energiaforrásokból fedezi. Az EU – bár erről még nem született döntés – kész arra, hogy bizonyos feltételek teljesülése esetén a 2020-ra megvalósítandó kibocsátás csökkentési célkitűzését 30%-ra módosítsa.

Magyarország

A globális felmelegedés és az éghajlatváltozás növekvő kockázata miatt a hazai klímapolitika – elsősorban az alkalmazkodásra való felkészülés – tudományos megalapozása érdekében, a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, valamint a Magyar Tudományos Akadémia 2003 júniusában egy hároméves kutatási projektet indított. A projekt neve: „A globális klímaváltozás hazai hatásai és az arra adandó válaszok”, illetve a három kulcsszó (VÁltozás-HATás-VÁlaszadás) első szótagjaiból képezve: a „VAHAVA projekt”.

A projekt elsődleges célja a globális klímaváltozás negatív és esetleges pozitív hazai hatásaira való felkészülés, különféle károk megelőzése, mérséklése és a helyreállítás előmozdítása.

A kutatási projekt eredményeinek felhasználásával, az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye és annak Kiotói Jegyzőkönyve végrehajtási keretrendszeréről szóló (2007. évi LX. tv. (V. 28.) 3. §) rendelkezésének

megfelelően elkészült a „Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia” a 2008-2025 közötti időszakra. A konkrét intézkedéseket a 2 éves időszakokra szóló Nemzeti Éghajlatváltozási Programok fogják tartalmazni.

4. fejezet - Foglalkozásegészségtan

1. Munkaegészségtan

1.1. Munkaegészségtan

Az emberi **munka** alapvető feltétele volt az emberré válás folyamatának. A munkavégzés napjainkban is az emberi tevékenységek legfontosabbika, a munkahelyen eltöltött idő teszi ki mindennapi életünk jelentős részét. A munkatevékenység elengedhetetlen társadalmi szerepe mellett azonban különböző kockázatokat is rejthet. Számos munkafolyamatnál rájuk jellemző, az általános környezetben tapasztaltól jóval intenzívebb egészségkárosító hatások léphetnek fel, így a munkahelyi expozíciók jelentős befolyást gyakorolhatnak egyes betegségek kialakulására.

A **munkaegészségtan** a munkavégzéssel kapcsolatos egészségi hatások minden aspektusát felölelő multidiszciplináris tudományterület. Ezen belül megkülönböztetjük a munkavégzés orvosi vonatkozásait tárgyaló **foglalkozás-egészségtant** (foglalkozás-orvostan, üzemorvostan) és a dolgozók egészségének védelme érdekében a munkakörnyezeti kockázati tényezők felismerésével, mérésével, értékelésével és kezelésével (a határértékek betartásának ellenőrzésével és az expozíciók csökkentésére hivatott műszaki jellegű megelőző intézkedésekkel) foglalkozó **munkahigiénét**. Magyarországon az előbbiektől szervezetileg elkülönülve működött 2007-ig a munkabalesetek megelőzésével foglalkozó munkabiztonság. E három terület a munkavégzés teljes egészségi és biztonsági kérdéskörét felölelő **munkavédelemben** kapcsolódik össze.

A munkavédelmi tevékenység a biztonságos és egészséget nem veszélyeztető munkakörnyezet kialakítására és fenntartására irányul. Célja a munkában elősegíteni az optimális testi, lelki és szellemi teljesítőképesség megőrzését; a munkának a dolgozók képességeihez, testi és szellemi állapotához való adaptálásával, valamint a munkakörnyezeti kockázati tényezők figyelembevételével arra törekszik, hogy a munkavállalók számára az optimális igénybevételt tartósan biztosítsa.

4.1. ábra - A munkahelyi egészség és biztonság területei



1.2. Történeti háttér

A munkaegészségtan és munkabiztonság története a munkavégzéshez kapcsolódó egészségkárosodások felismerésével egyidős. Az első munkabiztonsági előírás már a Bibliában megjelenik, amikor Mózes V. könyve

új ház építésénél a balesetek megelőzésére megépítendő korlátról szól. A foglalkozási betegségek legrégebbi tárgyi bizonyítékai az ókori Egyiptomból származnak, ahol valaha silicosisban szenvedett elhunytak mumifikálódott sírleletei kerültek elő. Már az ókor nagy tudósa, az időszámítás előtt 460-ban született Hippocrates felismerte, hogy bizonyos környezeti hatások (táplálkozás, klíma) mellett a foglalkozás is befolyásolja egyes betegségek kialakulását. A foglalkozás-egészségtan tudományának tulajdonképpeni megteremtése Bernardino Ramazzini olasz professzor nevéhez fűződik, aki 1700-ban kiadott, „De morbis artifactum diatriba” című könyvében (a szegénység mellett) a maró, irritáló vegyi anyagok, porok és fémek egészségkárosító hatásainak veszélyéről ír 52 különböző munkatevékenységgel kapcsolatban. Az ő nevéhez fűződik a pneumoconiosisok első tudományos igényű leírása is.

4.2. ábra - Bernardino Ramazzini: De morbis artifactum diatriba, 1700



Az egyes szakmák és megbetegedések közötti összefüggések keresése később is folytatódott, így figyelték meg például a kéményseprők között a herezacskó rák, a gyapotmunkások között a byssinosis, az azbeszttel dolgozók között a mellhártya daganat (mesothelioma), újabban pedig a gépirók és számítógépen dolgozók körében a gerinc és csukló bántalmak halmozott előfordulását.

A XIX. században lejátszódó ipari forradalommal a munkahelyi veszélyforrások száma az újabb és újabb eszközök és vegyi anyagok termelési folyamatokba történő bevezetésével ugrásszerűen megnövekedett, és a figyelem fokozatosan ráirányult az ipari üzemekben és bányákban dolgozó emberek egészségi állapotára. Chadwick „A dolgozó népesség egészségügyi helyzete Nagy Britanniában” című átfogó elemzésében rámutatott a különböző foglalkozású és szociális helyzetű rétegek várható átlagos élettartamában mutatkozó jelentős eltérésekre. Ebben az időben indult meg a foglalkozás-egészségügyi hálózatok kialakulása, és megalkották az első munkavégzéssel kapcsolatos jogszabályokat. Nagy-Britanniában már 1819-ben elrendelték a dolgozók „gyógyvizsgálatát” a munkakörülmények javítása érdekében, 1833-ban pedig munkába lépett az első üzemegészségügyi felügyelő. Ezzel a fejlődéssel párhuzamosan a XIX. század második felétől a korábbi kizárólagosan gyógyító (kuratív) szemléletmód mellett megjelent és elkezdett teret nyerni a megelőző (preventív) megközelítés.

A foglalkozás-egészségügyi rendszer újabb nagy változását a II. világháború idézte elő a kialakult hadiipari óriási munkaerő-szükséglete révén. A preventív szemléletmód kiteljesedése a munkakörülmények jelentős javulásával és a munkahelyi egészség és biztonság fontosságának egyre növekvő tudatosulásával párhuzamosan az 1970-es évekre teljesedett ki. A foglalkozás-egészségügyi politika kialakításába pedig mindhárom szociális partner (kormány, munkáltatók, munkavállalók) bevonásra került. A prevención belül az utóbbi évtizedekben egyre nagyobb szerepet kapott a primer prevenció, vagyis a betegségek kiváltó okainak megszüntetésére irányuló tevékenység.

Magyarországon az első, munkahelyi eredetű egészségkárosító hatások következményeivel foglalkozó szervezet a bányaorvosi hálózat volt. A XIX. századtól a hazai közegészségügy számos kiemelkedő alakja kezdett el foglalkozni iparegészségügyi kérdésekkel. Fodor József, a budapesti orvosegyetem közegészségtan professzora, nevéhez fűződik a hazai tudományos iparegészségtan megalapítása. Korábban rendkívül korszerűnek számító foglalkozás-egészségügyi megközelítésében a munkavállalás szigorú alkalmassági vizsgához és korhatárokhoz kötése mellett szállt síkra. Az első hazai munkavédelmi törvény a gyermekmunkát szabályozta: tiltotta a 14 éven aluliak ipari, és a 16 éven aluliak magas baleseti és egészségkárosító kockázatú munkahelyeken történő foglalkoztatását. Az 1920-as években kezdődött meg a foglalkozási betegségek kártalanítása. A II. világháború után szovjet mintára alakították ki a munkahelyi dolgozók egészségvédelmére hivatott szolgálatokat.

Az 1989-től hazánkban elkezdődő politikai változások a gazdaság szerkezetét és a munkaegészségügy feladatait is gyökeresen átalakították. A rendszerváltástól 2007-ig a munkahelyi egészségért és biztonságért az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat (ÁNTSZ) szakmai felügyeletével tevékenykedő foglalkozás-egészségügyi szolgálat mellett az ÁNTSZ-en belül működő munkahigiénés szolgálat, valamint az Országos Munkabiztonsági és Munkaügyi Főfelügyelőség (OMMF) alá tartozó munkabiztonsági szolgálat együttesen volt felelős. Ezt követően a munkahigiéné feladatköre átkerült az OMMF-hez, miáltal megvalósult a munkavédelemmel kapcsolatos közigazgatási feladatok egy szervezetnél történő összevonása.

1.3. Jogi szabályozás

A munkavédelem területét legmagasabb szinten az **1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről**, valamint az **1997. évi CLIV. törvény az egészségügyről** szabályozza. A munkavédelmi törvény deklarált célja, hogy „az Alkotmányban foglalt elvek alapján szabályozza az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés személyi, tárgyi és szervezeti feltételeit a szervezeten munkát végzők egészségének, munkavégző képességének megóvása és a munkakörülmények humanizálása érdekében, megelőzve ezzel a munkabaleseteket és a foglalkozással összefüggő megbetegedéseket”. A törvény kimondja, hogy „a Magyar Köztársaság területén munkát végzőknek joguk van a biztonságos és egészséges munkafeltételekhez”; valamint hogy az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés követelményeinek megvalósítása – a munkavállalók ez irányú felelősségével összhangban – a munkáltató kötelessége” (az Európa Tanács a dolgozók munkahelyi biztonságának és egészségének fejlesztését támogató intézkedések bevezetéséről 1989-ban hozott direktívájával (89/391/EEC) összhangban). Az egészségügyről szóló törvény feladata az egészséget befolyásoló feltétel- és eszközrendszer, valamint az annak kialakításában közreműködők feladatainak meghatározása az egyén és ezáltal a lakosság egészségi állapotának javulását elősegítendő. A törvény a munkaegészségügyi tevékenység célját a munkát végző személy egészségének megóvásaként deklarálja, melyet a „munkakörnyezetből származó egészségkárosító veszélyek és kockázatok előrelátása, felismerése, értékelése és kezelés”, valamint a „munkakörnyezeti kóroki tényezők okozta és a munkavégzésből származó megterhelések, illetőleg igénybevétel vizsgálata és befolyásolása, továbbá a munkát végző személyek munkaköri egészségi alkalmasságának megállapítása, ellenőrzése és elősegítése” révén tart elérhetőnek.

1.4. Szervezeti felépítés

Jelenleg Magyarországon a munkahelyi egészség és biztonság területének intézményi felelőse az **Országos Munkavédelmi és Munkaügyi Főfelügyelőség (OMMF)**, melynek munkavédelmi felügyelői látják el a munkabiztonsági és munkahigiénés hatósági feladatokat, valamint a foglalkozás-egészségügyi szolgálat feladatainak szakmai irányítását. Az OMMF szervezetén belül működik az Országos Munkahigiénés és Foglalkozás-egészségügyi Intézet (OMFI), amely a munkahigiéné és foglalkozás-egészségügy területén végzi a központi szakmai irányítási és módszertani, tudományos kutatási és képzési feladatokat, a foglalkozás-egészségügyi szolgálat országos szintjeként funkcionál.

A dolgozók egészsége és biztonsága a munkaadó felelőssége. A munkavédelem szakszerű gyakorlati ellátásához munkabiztonsági, munkahigiénés és foglalkozás-egészségügyi szolgáltatás szükséges, melynek igénybe vételét jogszabályok írják elő. A munkabiztonsági szolgáltatást a munkaadó által foglalkoztatott munkavédelmi szakképesítéssel rendelkező személyek végzik. A munkahigiénés szolgáltatást magánszolgáltatók, az OMFI és nagyobb foglalkozás-egészségügyi központok látják el. A foglalkozás-egészségügyi szolgáltatás nyújtásában

- az alapszolgáltatást nyújtó szolgálatok
- a szakellátó helyek, és

- a foglalkozás-egészségügyi szakellátás országos szintjét képviselő OMFI

vesznek részt.

Az alapszolgáltatás tevékenységi körébe tartoznak a munkaköri alkalmassági vizsgálatok, a foglalkozási megbetegedések, fokozott expozíciós esetek kivizsgálása és bejelentése, a munkavégzés egészségkárosító hatásainak vizsgálata, az egyéni védőeszközökkel kapcsolatos tanácsadás és a munkavállalók munkakörülményeivel kapcsolatos felvilágosítás. A szolgálat közreműködik a munkahelyi veszélyforrások feltárásában, foglalkozás-egészségügyi, -fiziológiai, -ergonómiai, -higiénés feladatok megoldásában, az elsősegélynyújtás és a sürgős orvosi ellátás megszervezésében, az elsősegélynyújtók szakmai felkészítésében, a munkáltató katasztrófa-megelőző, -elhárító, -felszámoló és az előidézett károsodások rehabilitációs tervének kidolgozásában. Az alapszolgáltatásban biztosítani kell egy orvos és egy ápoló jelenlétét. Az egy alapszolgálat által ellátandó munkavállalói létszámot a munkahely baleset- és egészségkárosító kockázatait figyelembe vevő foglalkozás-egészségügyi besorolása határozza meg.

A multidiszciplináris foglalkozás-egészségügyi központokban a foglalkozás-egészségügyi alapszolgáltatáson túl pszichológiai, ergonómiai, vagy toxikológiai szolgáltatást nyújtanak a megfelelő területek szakemberei.

A foglalkozás-egészségügyi szakellátás feladatai a munkaköri alkalmasság másodfokon történő elbírálása, az álláskeresőknek, szakképzést folytató intézmények tanulóinak és a felsőoktatási intézmények hallgatóinak szakmai alkalmassági vizsgálata, szakellátás nyújtása foglalkozási megbetegedéssel vagy annak gyanújával beutaltak részére és a megváltozott munkaképességű munkanélküliek foglalkoztathatóságával kapcsolatos szakvéleményezés a munkaügyi központok számára.

Az országos szintet képviselő OMFI fekvőbeteg osztálya és speciális szakrendelése jelentik a foglalkozás-egészségügyi ellátás legmagasabb szintjét, ahol a beutalt foglalkozási betegek szakvizsgálatát, felülvizsgálatát és gyógykezelését végzik.

2. Munkavégzés élettana

2.1. Munkahelyi környezet, megterhelés és igénybevétel

Az embert körülvevő világ természeti (geoszféra, bioszféra, nooszféra, technoszféra) és társadalmi (termelési és fogyasztási szféra) **környezetre** osztható. Mivel a munkavégzés az egyik legmeghatározóbb emberi tevékenység és életünk jelentős részét a munkahelyen töltjük, a munkahelyi környezet kitüntetett szereppel bír, annál is inkább, mivel általában számottevő baleseti és egyéb egészségkárosító kockázatokat rejt.

Az élő szervezetek környezetükkel állandó anyag- és energiaforgalmat lebonyolító nyílt rendszerek. A folyton változó külső környezettel szemben a szervezet belső állandóságának fenntartására törekszik (homeosztázis), fiziológias körülmények között a változó külső körülmények támasztotta kihívásokhoz működésének kisebb módosulásával képes alkalmazkodni (adaptációs mechanizmus). Amennyiben azonban a környezet túlzott mértékű változása, vagy a szervezet adaptációs mechanizmusainak hiányossága következtében a változás mértéke túllépi a szervezet alkalmazkodóképességének határait, bekövetkezik a szervezet reverzibilis vagy – súlyosabb esetben – irreverzibilis károsodása.

A foglalkozás-egészségtan a munkavégzés és az egészség kapcsolatát vizsgálja. Egyrészt azt, hogy a munkavégzés és a munkahelyi környezet miként hat a dolgozó egészségére, másrészt, hogy a dolgozó egészségi állapota miként befolyásolja munkavégző képességét. A munkafolyamat során a dolgozó személyt **megterhelés** éri, ami tágabb értelemben mindazon külső hatásokat és a szervezetben lezajló változásokat jelenti, amelyek a belső környezet állandóságát veszélyeztetik. A megterhelések jellegük szerint lehetnek anyag-, energia-, vagy információáramlással járók, forrásuk szerint külső vagy belső környezetből származók, hatásuk alapján pedig a fiziológias határokon belüli vagy patológiás változásokat előidézők. Anyagáramlásra visszavezethető megterhelés felléphet a gázcsere, só-víz háztartás, vagy a táplálékfelvétel vonatkozásában; az energiaáramlás alapuló megterhelés lehet mechanikai (izommunka) és hő (homoiotermia fenntartása); az információáramlásból fakadóan pedig felléphet fiziológiai (szenzoros), mentális (emlékező, adatelemző), és pszichés (percepív, emocionális) megterhelés.

A megterhelés hatására bekövetkező, egyénenként és esetenként különböző mértékű, jellegű és irányú funkcióváltozások összessége az **igénybevétel**. A megterheléssel ellentétben az igénybevétel csupán összegző paraméterekkel (pl. oxigénfogyasztás, szívfrekvencia stb.) ítéltető meg. A reverzibilis és irreverzibilis

egészségkárosodások megelőzése végett a cél az igénybevétel optimális szinten tartása, ami a munkavégzésből és a munkakörnyezeti kóroki tényezőkből származó terhelés szintjének a dolgozó munkaképességét (lásd később) figyelembe vevő beállításával érhető el.

2.2. Fizikai és szellemi munka

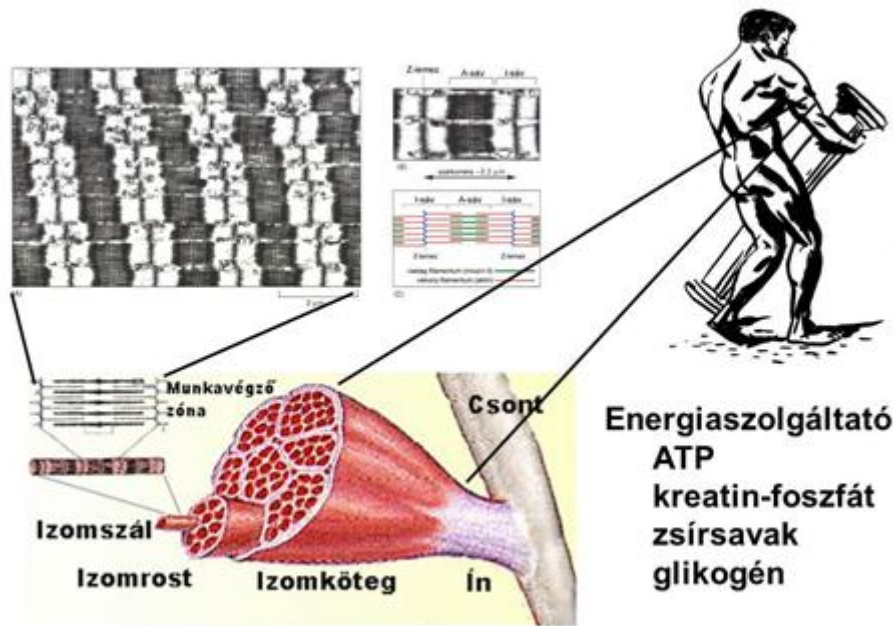
Fizikai megterhelés során igénybevétel elsősorban az izomrendszert éri. Izommunka esetén az izomzat oxigén igénye jelentősen növekszik; vérátáramlása átlagos igénybevétel esetén 12-szeresére, oxigénfogyasztása 20-szorosára (megerőltető tevékenységnél akár 50-szeresére) emelkedik. Az izommunka elején mindig megjelenő bizonyos mértékű oxigén deficit a jellemzően impulzusszerűen változó munkatevékenységek során megnövekedik (oxigén adósság), a fellépő relatív oxigénhiány következtében megkezdődik a tejsav felszaporodása. Az izomzatban értágulat jelentkezik, fokozódik a keringési perctérfogat, és fokozódik a légzés. Amennyiben a keletkező tejsav mennyisége meghaladja pufferkapacitást, tejsav-acidózis lép fel, ami a keringési- és légzőrendszer igénybevételének további fokozódásával jár. Mivel az izommunka hatásfoka 25-30%, a befektetett energia mintegy 70%-a hőként szabadul fel, amelyet a szervezet a hőleadás különféle formáival (hővezetés, hőáramlás, hőszugárzás, párologtatás) próbál meg kompenzálni. Tejsav-acidózisban ez a metabolikus hőtermelés jelentősen megnövekszik, többletterhet róva a szervezetre. Fiziológiai hatásai következtében a tejsav-acidózis a napi munkatevékenységgel tartósan összeegyeztethetetlen állapot.

A fizikai munka jelentette megterheléshez történő alkalmazkodás főként a keringési- és légzőrendszer feladata. Bizonyos betegségekben (krónikus légzőszervi betegségek, magas vérnyomás, ischémiás szívbetegségek stb.) az adaptív válasz károsodása következtében a tejsav-acidózis küszöb alacsonyabb, és szokásos munkaterhelés mellett is fokozott igénybevétel jelentkezik jellemző tünetek kíséretében (fáradtságérzés, nehézlégzés, mellkasi fájdalom stb.). A dolgozó szervezetének edzettsége viszont növeli az adaptív kapacitását, lehetővé téve fokozott munkaterhelést.

A fizikai munka nehézsége az energiafogyasztás mértékével jellemezhető. Eszerint megkülönböztetünk könnyű (<11 kJ/perc), közepesen nehéz (11 – 14 kJ/perc) és nehéz (14 – 17,5 kJ/perc) kategóriákat (nőknél az értékek 70%-át kell figyelembe venni). A nehéz fizikai munka felső határa egyben a tartós terhelési határérték (TTH), ami a műszak során egy óránál rövidebb időtartamban léphető csak túl, és ilyen esetben még az adott órában pihenést kell beiktatni. A TTH háromszorosa a csúcsterhelési határérték (CsH), amely túllépésének időtartama maximum néhány perc lehet.

Statikus izommunkában (emelés, kényelmetlen testtartásban végzett munka) az izometriás kontrakció túlsúlya dominál, ami az izmok vér- és oxigénellátásának akadályozása révén elősegíti a tejsav-acidózis kialakulását. Gátolt az anyagcseretermékek elszállítása is, ami lokális értágulathoz, a vérátáramlás megfelelő növekedése nélkül pedig fájdalomérzet kialakulásához vezet. A vérnyomás emelkedik, a pulzusszám pedig reflexesen csökken, összességében a statikus izommunka az izomzat korábbi elfáradásához, a vázrendszer egyoldalú igénybevételéhez és a perifériás idegek nyomásos eredetű károsodásához vezethet.

4.3. ábra - Izomműködés



Pszichés megterhelés fizikai és szellemi munkánál egyaránt jelentkezhet. Fokozott a pszichés megterhelés, ha az egyébként egészséges és megfelelő képzettséggel rendelkező dolgozó az adott tevékenységet csak növekedett figyelmi koncentrációval, illetve a mozgósítható érzelmi-akarati tartalékainak kihasználásával tudja teljesíteni. Az ilyen túlzott pszichés igénybevételnél az eredetileg pozitív motiváció könnyen az adott tevékenységgel szembeni averzióba és emocionális konfliktusba, a tevékenység folytatása helyett annak beszüntetését célzó telítődésbe csap át. Ilyen konfliktushelyzetben az egyén először a munkateljesítményt csökkentő agresszióval reagál, ami hamarosan visszavonulásba, regresszióba megy át.

Amennyiben az egyén teljesítőképességét a munkavégzés jelentette megterhelés tartósan meghaladja, az a kifáradás reverzibilis állapotához vezet. A teljesítmény-készenlét és a teljesítőképesség reverzibilis csökkenését eredményező pszichés elfáradást elősegítheti a monotonia, ami a munkatevékenység okozta csökkent pszichés aktivitás, beszűkült figyelem állapota. A pszichés megterhelés az egyén képességeinek megfelelő minőségű és mennyiségű munkaterheléssel, a feladat és a felelősségi szint módosításával, az ismétlődési gyakoriság csökkentésével és a munkatempó változtatásával csökkenthető.

2.3. Munkalkalmasság

Mivel az emberek között a munkavégzés típusától függően a teljesítőképességben, illetve a káros hatásokkal szembeni érzékenységben nagy különbségek mutatkozhatnak, óriási jelentőséggel bír a munkaalkalmasság megítélése, amikor az adott munkahelyen előforduló kockázati tényezők hatásaira fokozottan érzékeny, vagy teljesítőképességüknél, személyiségüknél fogva az adott munkakör támasztotta kihívások mellett önmagukra és munkatársaikra fokozott veszélyt jelentő egyének kerülnek felismerésre.

A munkahelyi orvosi vizsgálatok közül a dolgozók egészségvédelme szempontjából a munkaalkalmasságot a munkába lépést megelőzően felmérő **előzetes munkaköri alkalmassági vizsgálatnak** a jelentősége alapvető. Célja annak a megállapítása, hogy:

1. az egyén feladatait önmaga és mások veszélyeztetése nélkül el tudja-e látni
2. illetve az egészségi állapota megengedi-e azt, hogy az adott munkakör káros hatásainak ki legyen téve.

Ez utóbbi a gyakorlatban az egészségkárosító munkafeltételek feltárását és kiküszöbölését, valamint az egyén segítségét jelenti egészségi állapotának fenntartásában, illetve javításában.

Az **időszakos munkaköri alkalmassági vizsgálatok** feladata a foglalkozási- és foglalkozással összefüggő megbetegedések, munkabalesetek folyamatos megelőzése, valamint a fiatalok munkavállalók egészségének fokozott védelme.

Fiatalkorúak esetében a vizsgálatok célja az egészséges testi- és szellemi fejlődés biztosítása, míg a fokozottan balesetveszélyes munkát végzőknél a munkabalesetek kockázatát növelő egészségi állapotok – szédüléssel, eszméletvesztéssel járó kórképek, halláskárosodás – felderítése.

Foglalkozási betegségek kockázatának kitett munkavállalók esetében a betegségek kialakulásának megelőzése a fokozott expozíciós esetek felderítésével (biológiai monitorozás, lásd korábban), valamint a célszervek megbetegedéseinek korai, még reverzibilis állapotban történő kimutatásával lehetséges. A továbbiakban foglalkozási betegségek néhány jellemző csoportjánál tekintjük át a legfontosabb, rendszeres időközönként elvégzendő vizsgálatokat.

A **oron kívüli munkaköri alkalmassági vizsgálatok** a munkavállaló egészségi állapotában bekövetkezett változástól – foglalkozási és egyéb megbetegedés, fokozott expozíció, stb. – adódó helyzet újraértékelését, a **záróvizsgálatok** pedig a dolgozó egészségi állapotának a munkavégzés befejezését követő rögzítését szolgálják.

3. Foglalkozási megbetegedés

3.1. Foglalkozási megbetegedés

Abban az esetben, ha a szervezet nem tudja kompenzálni a munkavégzésből és a munkahelyi környezetből eredő egészségkárosító hatásokat, betegség léphet fel. Azokat a megbetegedéseket tekintjük **foglalkozási betegségeknek**, amelyek a munkavégzéssel illetve a munkahellyel egyértelmű ok-okozati összefüggésbe hozhatók. E megbetegedések általában egy oki tényezőhöz kötöttek és ez alapján felismerhetők, tehát kiváltó okuk egyedül a foglalkozásban keresendő. Amennyiben egy dolgozónál kimutatható munkahelyi expozícióhoz kötött fokozott megterhelés, de az állapot még fiziológiás, **fokozott expozíciós esetről** beszélünk. A foglalkozási megbetegedések és fokozott expozíciós esetek bejelentési és kivizsgálási kötelezettséget vonnak maguk után. Amikor foglalkozási megbetegedés vagy annak gyanúja felmerül, illetve a fokozott expozíciót vizsgálati lelet bizonyítja, az azt megállapító orvos köteles az esetet 24 órán belül jelenteni az OMMF területileg illetékes munkavédelmi felügyelőségéhez, amit ezután ki kell vizsgálni és amennyiben elfogadásra kerül, nyilvántartásba kell venni.

A tényleges ok-okozati viszony megállapítása néha problémás lehet: az expozíció és a betegség kialakulása között hosszú idő telhet el, az expozíciós adatok gyakran hiányosak, nem zárható ki más oki tényező szerepe. Egy foglalkozási betegség diagnózisának felállításához a következő kritériumok mérlegelése szükséges:

1. Hatás – illeszkedjen a kialakult betegség jellemzőihez

2. Expozíció – dokumentált legyen:

- foglalkozási kórtörténet (időrendben)
- orvosi vizsgálat (az expozíció jelei)
- előrejelzés (biológiai (-hatás) monitorozás)

3. Időrend – ok és okozat

4. Lehetséges okok – mérlegelés

További megfontolandó toxikológiai szempontok:

- expozíció minimum szintje
- expozíció minimum időtartama
- maximális látencia idő
- minimális indukciós idő

Vannak olyan esetek, amikor a megbetegedés és a munka közötti ok-okozati viszony nem egyértelmű. Azokat a betegségeket, amelyek kialakulásához a munkavégzés hozzájárul, de csak egyike a kiváltó tényezőknek, **foglalkozással összefüggő megbetegedéseknek** nevezzük. Ezek a betegségek általában multifaktoriális eredetű komplex kórképek, amelynél a munkavégzésből és a munkakörnyezetből származó hatások egyéb tényezőkkel együtt játszanak szerepet a kórkép kialakulásában. Bizonyos foglalkozási csoportokban az előfordulási kockázat tehát megnő, de kialakulásukban egyéb kóroki tényezők (életmód, képzettség, szociális helyzet stb.) is hangsúlyos szerepet játszhatnak.

A leggyengébb összefüggésben a foglalkozással a **dolgozói csoportokat érintő betegségek** vannak, ahol nincs kimutatható oki kapcsolat, de amit egészséget veszélyeztető foglalkozási tényezők súlyosbíthatnak.

A foglalkozáshoz köthető egészségkárosodások külön kezelt formája a **munkabaleset**, amely a munkavállalót a szervezett munkavégzés során éri, annak helyétől és a munkavállaló (sérült) közrehatásának mértékétől függetlenül.

3.2. Foglalkozási betegségek csoportosítása

A foglalkozási betegségek okai és megjelenési formái is változatosak. Csoportosíthatók a betegség jellege alapján, vagy a kiváltó munkahelyi kóroki tényező szerint. Az USA Országos *Munkavédelmi* és Munkaegészségügyi *Intézetének (NIOSH)* felosztása alapján a foglalkozáshoz köthető egészségkárosodás legfontosabb kategóriái:

1. Foglalkozási tüdőbetegségek (azbesztózis, byssinosis, szilikózis, szénbányászok pneumokoniózisa, tüdőrák, foglalkozási asztma)
2. Csont-, izomrendszeri betegségek (gerinc és végtag degeneráció, Raynaud jelenség)
3. Foglalkozási daganatok (tüdőrák kivételével) (leukémia, mesothelioma, hólyagrák, orrüregi daganat, májrák)
4. Súlyos foglalkozási traumás sérülések (amputáció, törés, szemsérülés, horzsolás, baleseti halál)
5. Keringési betegségek (magas vérnyomás, koszorúér betegség, akut szívizom infarktus)
6. Fertilitási problémák (infertilitás, spontán abortusz, magzatkárosodás)
7. Idegi károsodás (perifériális idegkárosodás, toxikus agyvelőgyulladás, pszichózis, súlyos viselkedési zavar (expozíciós))
8. Zaj okozta halláskárosodás
9. Bőrbetegségek (dermatózis, égés, kémiai marás)
10. Pszichés betegségek (neurózis, személyiségi zavarok, alkoholizmus, drogfüggőség)

A hazai gyakorlatban a bejelentés és osztályozás az munkahelyi kóroki tényező jellege alapján történik:

1. Kémiai kóroki tényezők okozta megbetegedések
2. Fizikai kóroki tényezők okozta megbetegedések
3. Biológiai kóroki tényezők okozta megbetegedések
4. Nem optimális igénybevétel, pszichoszociális, ergonómiai kóroki tényezők okozta megbetegedések

3.3. A munkabalesetek és foglalkozási megbetegedések gyakorisága

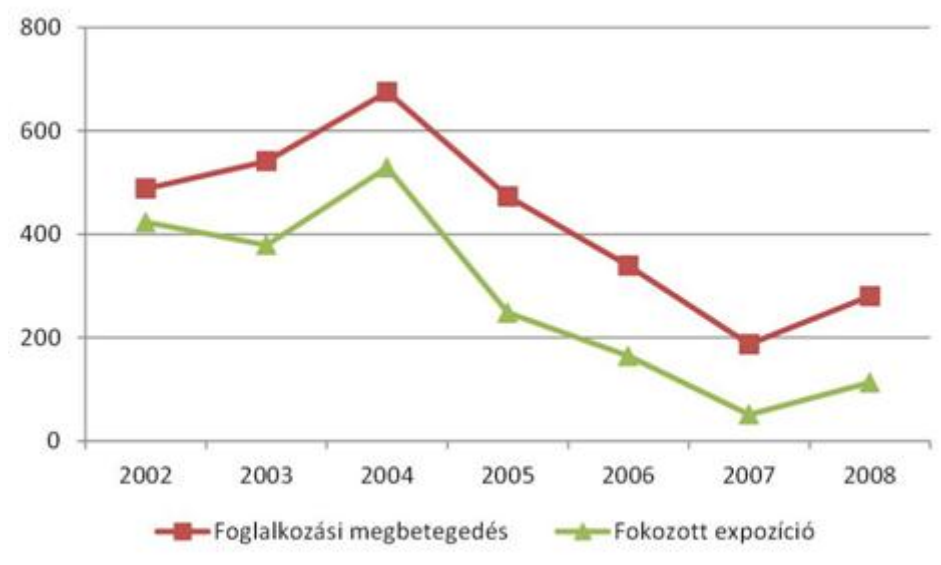
A munkabalesetek és foglalkozási megbetegedések gyakorisága alapvetően a munkahelyi egészség és biztonság szintjétől függ. A hivatalos adatok értékelésénél emellett figyelembe kell venni az adatok validitását, amit a bejelentés, kivizsgálás és nyilvántartás rendszerének a megbízhatósága határoz meg, valamint azt, hogy a munkahelyeken egészségkárosító hatásoknak kitettek száma jóval nagyobb a nyilvántartásba vett foglalkozási betegekénél.

4.4. ábra - A foglalkozási ártalmak „jéghegye”

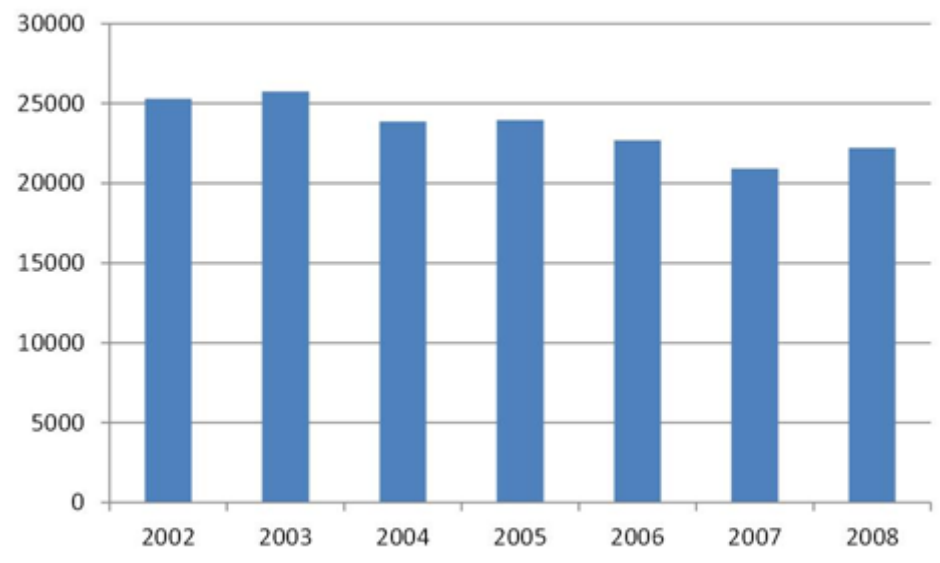


A következő ábrákon a foglalkozási megbetegedések, fokozott expozíciós esetek és munkabalesetek száma látható hazánkban.

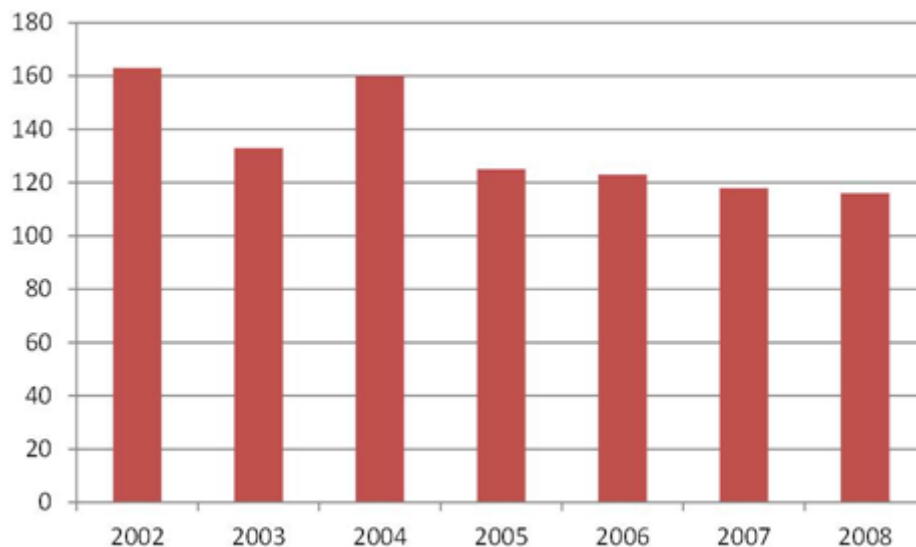
4.5. ábra - Foglalkozási megbetegedések és fokozott expozíciós esetek Magyarországon (2002-2008)



4.6. ábra - Munkabalesetek Magyarországon (2002-2008)



4.7. ábra - *Halálos munkabalesetek Magyarországon (2002-2008)*



4. Munkahelyi egészségkárosító kockázat

Számos munkahely lehet az emberi egészségre veszélyes környezet. A munkahelyi kóroki tényezők természetük alapján az alábbi csoportokba sorolhatóak:

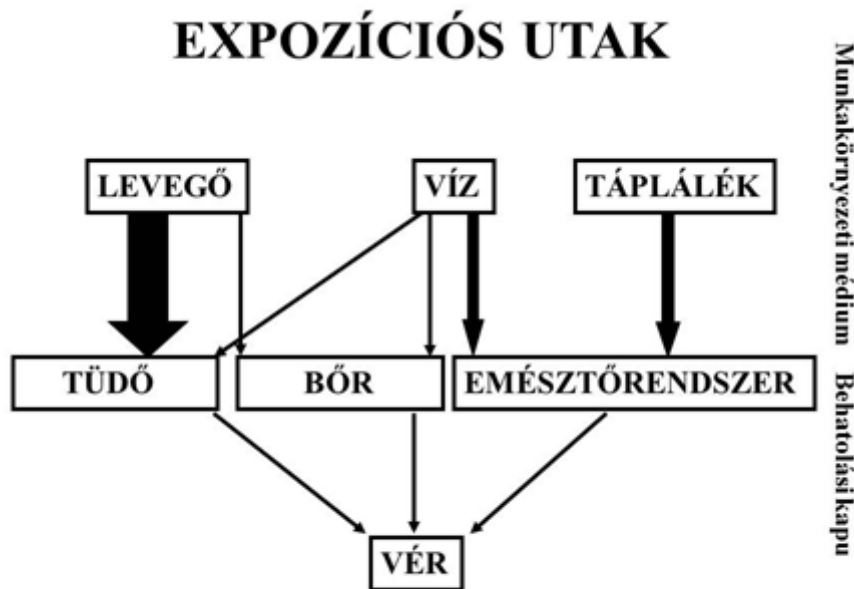
- Fizikai: zaj, vibráció, megvilágítás, hőmérséklet, nyomás, sugárzás, elektromosság
- kémiai: fémek, oldószerek, gázok, műanyagok, peszticidek, részecskék (porok, rostok)
- biológiai: baktériumok, vírusok, gombák, rovarok
- mechanikai ergonómiai: kézi tehermozgatás, repetitív mozgás, kicsavart testhelyzet, szomatometriai problémák és munkabiztonsági: munkabalesetek

- pszichoszociális: megterhelés/stressz, morál/motiváció

Minden kockázati tényezőhöz rendelhető egy potenciális egészségkárosító tulajdonság, ami azt jelzi, hogy valamilyen az egészségre káros hatás kiváltására képes. A **veszély** egy kockázati tényező mindazon tulajdonságainak összessége, amik a dózis függvényében egészségkárosodást okozhatnak.

A munkahelyen sokféle expozíció érheti az ott dolgozó embert.

4.8. ábra - Munkakörnyezeti expozíciós utak jelentősége



Az egészségkárosítás mértékét az expozíció szintje, tehát a behatás mértéke, időtartama és gyakorisága, valamint a szervezet érzékenysége határozza meg. A toxikológia tudománya foglalkozik a környezeti hatások (elsősorban testidegen anyagok) szervezetben megtett útjának (toxikokinetika) és életfolyamatokra kifejtett hatásainak (toxikodinámia) a leírásával. A felszívódás, eloszlás, metabolikus átalakulás és kiválasztás jellemzése, valamint a dózis-hatás összefüggés és más expozíciókkal megvalósuló interakciók vizsgálata alapvető fontosságú annak megállapítása szempontjából, hogy a gyakorlatban mekkora az egészségkárosodás kialakulásának kockázata.

A **kockázat** tehát valamely cselekvéssel járó veszély megvalósulásának a valószínűsége, vagyis csak egy adott környezetben és helyzetben értelmezhető fogalom. Ahol kockázati tényező jelen van, ott valamikor kockázat mindig létezik. Az emberi élet folyamatos törekvése e kockázatok lehető legkisebbre csökkentése, megengedhető szintjüket pedig nagyrészt a kockázat társadalmilag még elfogadható mértéke határozza meg. A kockázat mérőszáma a rizikó (R):

$R = \text{várható események száma} / \text{egységnyi idő alatt} / \text{kitettek száma} / \text{ugyannezen időszakban}$

1 mikrorizikó (μR) az a kockázati szint, amikor 1 millió kitett ember közül 1 esetben várható a hatás kialakulása. Ezt a kockázatot az ember általában elvállalja, a különböző országok foglalkozás-egészségügyi szabályozásában – figyelembe véve a munka nélkülözhetetlen voltát – az elfogadható kockázat határa 10 μR körüli.

Az egyén kockázat érzékelése szubjektív, nem feltétlenül egyezik meg a tudományos igényű kockázati szint meghatározás eredményével. Általában elmondható, hogy a társadalom a hasznosnak tulajdonított, megszokott, ismert, az egyén által „irányított”, befolyásolhatónak vélt, valamint az önkéntesen vállalt tevékenységeknél (pl. gépjármű vezetés, extrém sportok) nagyobb kockázatot is képes elviselni, míg a katasztrófaszerű eseményeket produkáló, „befolyásolhatatlannak vélt”, ismeretlen és/vagy késői hatásokhoz vezető

tevékenységeket (légi közlekedés, nukleáris technika, génmanipuláció) esetlegesen alacsonyabb kockázat mellett is hajlamos elutasítani.

5. Munkahelyi prevenció, munkavédelmi intézkedések

Az egészségügy tevékenységének két fő formája a gyógyító (kuratív) és a megelőző (preventív) ellátás. Az utóbbinak három szintjét különböztetjük meg:

- a primer prevenció a betegség kialakulását akadályozza meg
- a szekunder prevenció a betegség korai felismerését, így hatékonyabb gyógyítását segíti elő
- a terciér prevenció pedig a betegség progresszióját, szövődmények kialakulását előzi meg

A foglalkozási betegségek (mint minden környezeti ártalom) leküzdésére irányuló tevékenységben legfontosabb szerepe az elsődleges prevenciónak van.

5.1. Munkahelyi kockázatbecslés

A célzott megelőző tevékenységnek elengedhetetlen feltétele az egyes munkakörnyezetekben előforduló kockázati tényezők azonosítása és jellemzése, amely a **kockázatbecslés** folyamata révén valósul meg. A kockázatbecslés első fázisában történik a veszély azonosítása, vagyis a munkahelyi környezetben ható kockázati tényezők állatkísérletes és humán epidemiológiai vizsgálatok adataira alapozott felismerése. Ezt követi a dózis-hatás összefüggés elemzése, majd a munkahelyi expozíció mérése/becslése, és a kockázat kvalitatív-kvantitatív jellemzése a dózis-hatás extrapoláció segítségével.

4.9. ábra - A kockázatbecslés folyamata



A következmények elemzéséhez elengedhetetlen a megengedhető kockázati szint meghatározása és összevetése a valós kockázattal, ami alapján megállapítható a változtatás szükségessége. A lehetséges preventív intézkedések sajátosságainak összehasonlítása a kockázat-költség elemzés eredményeinek, a technikai és gazdasági lehetőségeknek a figyelembe vételével történik. A **kockázatkezelés** magában foglalja az optimális alternatíva elfogadására vonatkozó döntést, az intézkedés kivitelezését (a kivitelezés folyamatának megtervezését, a végrehajtáshoz szükséges készletek biztosítását, a kivitelezőkkel fenntartott kapcsolatot stb.), a kész rendszer működésének, hatékonyságának monitorozását, és ennek alapján a rendszer ismétlődő értékelő/átértékelő vizsgálatát (audit). A kockázatkezelés elengedhetetlen eleme a **kockázatkommunikáció**, ami a veszélyeztetettség létezésére, a kockázat szintjére, jelentékeny-jelentéktelen voltára, elfogadhatóságára vonatkozó információk megfelelő, a befogadók (szűkebb értelemben a veszélyeztetett dolgozók, tágabb értelemben a társadalom) speciális igényeihez alkalmazkodó átadását, valamint a visszajelzések fogadását és feldolgozását jelenti.

5.2. A munkahelyi prevenció legfontosabb formái

A munkahelyi kockázati tényezők által előidézett egészségkárosodások **megelőzésének** lehetséges **formái** (a kockázatkezelés lehetőségei) általánosságban:

- a kóroki tényező eliminálása (végleges eltávolítása a termelésből, ritka, általában az adott tevékenység megszűnéséhez kötött)
- a kóroki tényező helyettesítése (más azonos vagy közel azonos értékű, de kevésbé egészségkárosító anyag bevezetése)
- a termelési folyamatnak már a telepítésnél megfelelő kialakítása (pl. automatizálás, távirányítás, védőburkolatok)
- műszaki védelem, későbbi módosítás (védőberendezések, technológiák alkalmazása (mechanikus és elektronikus balesetvédelem, ventiláció, hangszigetelés, hőszigetelés, vibrációcsökkentés stb.)
- rendszeres, megfelelő karbantartás (pl. gépek mozgó alkatrészei)
- általános higiéné (takarítás, szociális helyiségek, tisztálkodási lehetőség stb.)
- munkarend szervezés, változtatás (rövidített munkaidő, nappali és éjszakai műszakok megfelelő beosztása)
- a dolgozók felvilágosítása a munkahelyi veszélyekről, és kiképzésük a kockázatcsökkentő munkavégzés gyakorlatának elsajátítására
- végül – minden más megoldás elvetése után végső esetben alkalmazandó eszközként – személyi védőfelszerelések használata (védőruha, védőcsizma, védőszemüveg, fülvédő, maszk stb.)

5.3. Monitorozás

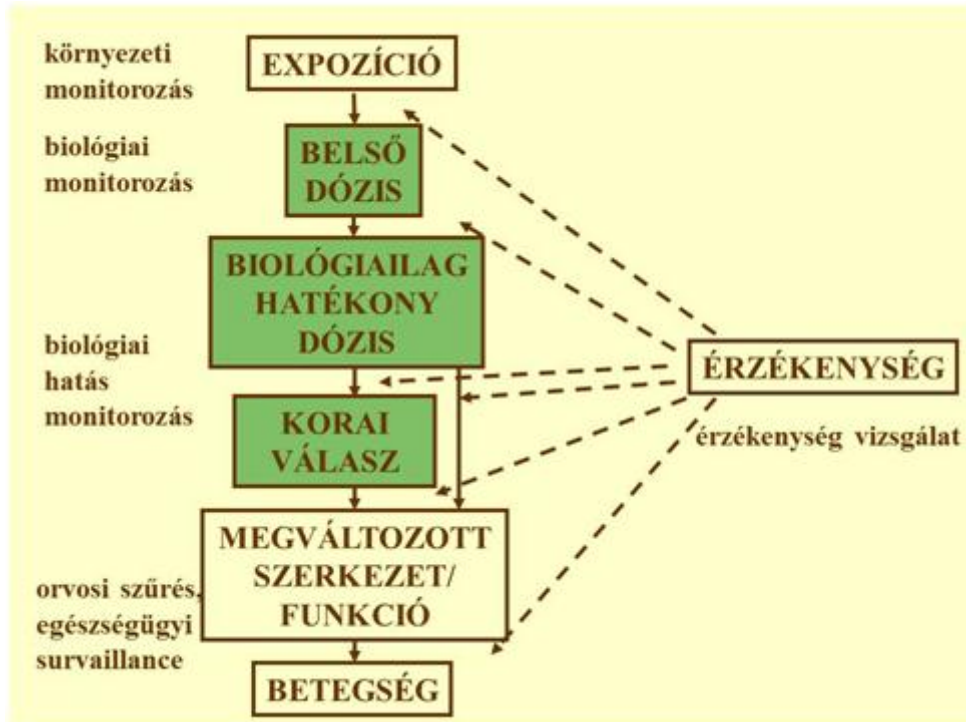
A munkahelyeken a dolgozókat érő kémiai expozíciók elleni védekezés kulcsfontosságú eleme az egyes anyagokra megállapított munkalégtér koncentrációk és biológiai expozíciós mutatók emberi egészségre biztonságos szintjeinek meghatározása és a határértékek következetes betarttatása. Egy vegyi anyag hazánkban alkalmazott **munkalégtér határértéke** lehet megengedett átlagos koncentráció (AK), ami a légszennyező anyagnak a munkahely levegőjében egy műszakra (8 órás munkaidőre) megengedett olyan átlagkoncentrációja, amely a dolgozó egészségére általában nem fejt ki káros hatást. Egyes anyagok esetében csúcskoncentráció (CK) érték is megadásra kerül. Ez a légszennyező anyagnak egy műszakon belül egy időben maximum 15 percig, egy műszak alatt összesen legfeljebb 60 percig meghaladható légtér-koncentráció értéke. A csúcskoncentráció érték jellemzően magasabb az átlagos koncentrációnál (tipikusan annak négyszerese), de egyes anyagok esetében (pl. irreverzibilis károsodást okozóknál) a két érték azonos. Sztochasztikus hatású anyagok esetében, ahol nem állapítható meg olyan küszöbérték, ami alatt egészségkárosító hatás biztosan nem következik be, maximális koncentrációt (MK) alkalmaznak, ami a műszak során eltűrt legmagasabb koncentráció, tehát egy pillanatra sem léphető túl. Maximális koncentráció értéket tipikusan rákkeltő anyagokra határoznak meg oly módon, hogy a dolgozó teljes munkaképes élete során (18 – 62 éves korig) ebben a koncentrációban végzett munka esetén a potenciális halálos kimenetelű egészségkárosító kockázat (rosszindulatú daganatos megbetegedés kockázata) az 1:105/évet (10 mikrorizikó/évet) ne haladja meg.

A munkatér levegőjében lévő vegyi anyagok koncentrációjának folyamatos, rendszeres vagy időszakos mérését és regisztrálását **munkakörnyezeti monitorozásnak** nevezzük. Ez végezhető a munkahely egyes pontjain elhelyezett mintavevőkkel (fixpontos monitorozás), és a dolgozók légzési zónájában az öltözékre rögzített személyi mintavevőkkel (doziméter). Az előbbi előnye egyszerűsége és gyakran pontosabb analitikai kiértékelhetősége, hátránya viszont az, hogy ügyelni kell a mérések megfelelő helyen és időben történő (reprezentatív) elvégzésére. A személyi mintavevőkkel jobban jellemezhető a dolgozó által ténylegesen elszenvedett expozíció, viszont használatuk körülményesebb és mérési pontosságuk olykor kifogásolható.

A munkalégtér határértékek betartása a munkahigiénés rendszabályok megfelelő alkalmazására utal, az egyéni kitettséget azonban csak indirekt módon jelzi. Az individuális kockázatot ugyanis nem csak a munkahelyen elszenvedett expozíció mértéke (külső dózis), hanem az egyéb helyeken és tevékenységek útján ható expozíciók (lakóhely, hobbi, életstílus stb.), valamint az egyéni érzékenység (végeredményben a szervezetbe bejutó összes belső dózis és biológiailag hatékony dózis) határozza meg. A belső dózis, biológiailag hatékony dózis és a korai válasz kimutatására a **biológiai monitorozás** szolgál. A vérből, vizeletből (esetleg egyéb testnedvekből, szövetekből) meghatározott **biológiai expozíciós mutató** (BEM) a vegyi anyag és az emberi szervezet kölcsönhatását jellemző paraméter, ami lehet a szervezetbe jutott anyag, vagy metabolitjának szervezetben belüli koncentrációja (expozíciós biomarker), a kiváltott károsító hatás indikátora (hatás biomarker) vagy a szervezet érzékenységét jelző mutató (érzékenységi biomarker). A biológiai expozíciós mutatók azon szintjeit tekintjük

biológiai határértékeknek, amelyek felett (vagy alatt) már közelítenek a szervezetet károsító mérgezési szinthez. Ezek a fokozott expozíciós esetek a növekedett megterhelés alatt álló, de még fiziológias állapotok. A munkahelyi expozíciók legsúlyosabb hatását a megbetegedések kialakulása jelenti, melyek korai felismerése fontos orvosi feladat.

4.10. ábra - A munkahelyi expozíció következményeinek felmérése



5.4. Üzemhigiénés vizsgálat

Az egészségkárosító kockázatok kezelésére (csökkentésére) fogantatott intézkedések ellenőrzésére irányuló helyzETFelmérés, amelynek eredményeképpen kezdeményezhető szükség esetén az intézkedések módosítása, hatékonyságuk javítása vagy további intézkedések bevezetése. A már bevezetett intézkedések betartottságának, hatékonyságának lemerése folyamatos nyomon követést igényel. A dolgozók egészségi állapotára ható tényezők (munkavégzés, szociális és fizikai munkakörnyezet, technológia, munkaeszközök, felhasznált anyagok) változhatnak. Rendkívüli események előfordulásakor, munkahelyi panaszok, tünetek halmozódása esetén, foglalkozással összefüggő betegség gyanújakor, fokozott expozíció előfordulásánál soron pedig kívüli vizsgálat indokolt.