

Országos Környezetegészségügyi Intézet,  
Országos Tisztifőorvosi Hivatal

## Az egészségkockázat értékelésének szempontjai a vörösiszap katasztrófában érintett területen

Dr. Dura Gyula, Ph.D.,  
Dr. Faludi Gábor ny. orvosezredes, Ph.D.,  
Dr. Szabó Zoltán,  
Demeter Zoltán,  
Szalay Brigitta,  
Dr. Rudnai Péter,  
Dr. Páldy Anna, Ph.D.

*Kulcsszavak: vörösiszap, környezeti expozíció, mennyiségi egészségkockázat becslés, kockázat kezelés*

A Kolontáron 2010. október 4.-én bekövetkezett gátszakadás okozta vörösiszap katasztrófa első időszakában a közegészségügyi intézkedések mindenekelőtt a mentési és kárelhárítási munkákban résztvevők, valamint a lakosság expozíciójának minimálisra csökkentését (védőeszközök használatát), a levegőminőség és az ivóvíz fokozott monitorozását és a vörösiszap pontosabb kémiai jellemzését célozták. A kárenyhítést követően a közegészségügy figyelme a környezetegészségügyi kockázatok elemzésére irányult. Mindjárt látható volt, hogy a kockázatbecslési paradigmát jelentősen módosítja a probléma kiterjedtsége (másfél millió m<sup>3</sup> vörösiszap több mint 1 000 hektárnyi területet árasztott el), továbbá a veszélyessegelemzés (a szervesetlen anyagok sokfélesége és különböző kémiai formáinak előfordulása miatt) a kockázat jelentős bizonytalanságára utalt és nem utolsó sorban a kockázat elfogadhatóságát nagymértékben befolyásolták a pszichés, társadalmi és a kártérítéssel összefüggő tényezők. A dolgozatban összefoglalják a környezetegészségügyi kockázat értékelés különböző aspektusait, nevezetesen az expozíciós modellvizsgálatokon alapuló környezeti expozíció becslését, az egyszerűsített mennyiségi egészségkockázat becslés tájékoztató jellegű eredményeit. Bemutatják a humán biomonitorozással (a vizelet fémkoncentrációjának vizsgálatával) végzett expozíció mérés és a lakosság egészségi állapot-felmérésének szükségességét a humán kockázatbecslésben. Végül áttekintik a vörösiszap-katasztrófa kockázat-kezelése során figyelembe vett/veendő tényezőket.

## Bevezetés

Az ipari katasztrófák sorában a bányák zagytározóinak gátszakadása nem tartozik a ritkaságok közé. 1998-ban dél-spanyolországban az aznalcóllari piritbányánál bekövetkezett gátszakadás során közel 5 millió m<sup>3</sup> kadmiummal, ólommal, talliummal, cinkkel és rézzel szennyeződött iszap 4 600 hektár mezőgazdasági területet öntött el. 2000 január végén százezer köbméternyi cianid- és nehézfém-tartalmú szennyvíz zúdult az aranyosással foglalkozó nagybányai Aurul bányavállalat létesítményéből a Lápos folyóba, onnan a Szamosba, majd a Tiszába. A gyöngyöSOROSZI felhagyott ólom- és cinkbánya zagytározójából hosszabb időn keresztül a Toka patak mentén mintegy 150 ezer m<sup>3</sup> flotációs zagy folyt le. A timföldgyártás történetében azonban még sehol a világon nem történt hasonló katasztrófa. Kolontáron ugyanis a X. számú tároló gátszakadásának következtében másfél millió m<sup>3</sup> erősen lúgos vörösiszap árasztotta el Kolontár, Devecser és Somlóvásárhely települések mélyebben fekvő részeit és a mezőgazdasági művelés alatt álló, összességében több mint 1 000 hektárnyi területet.

A katasztrófában tíz ember halt meg. A legtöbb sérült a lúgtól vegyi égési sérülést szenvedett. A közvetlen hatás súlyos, de lokalizált, elsősorban kémiai égésből származó korrozív bőr és szemsérülésekre (colliquativ nekrozisra) korlátozódott. A legsúlyosabb sérült testfelületének közel 70 százaléka égett meg. A poszttraumás stressz kezeléséhez helyben rendelkezésre álltak szakemberek.

A vörösiszap erősen lúgos pH-jának semlegesítésére és a korrozív hatások kiküszöbölésére az érintett területen gyors intézkedések történtek mind az emberi egészség védel-

mére, mind a Duna vízének szennyezés-megelőzésére. Ezzel egyidejűleg sürgősen intézkedni kellett a levegőminőség vizsgálo rendszer telepítéséről oly módon, hogy az alkalmas legyen a közel azonos idejű levegőminőség értékelésre és a lakosság megfelelő tájékoztatására, valamint a katasztrófa lehetséges hosszabbtávú egészségi hatásának ellenőrzéséről.

## Anyag és módszer

### a.) Kockázatbecslési modellvizsgálatok

Az elszennyezett talaj, illetve talajvíz környezeti és egészségkockázatának felmérésére vonatkozó előírásokat "A felszín alatti vizek védelméről" szóló 219/2004. (VII.21.) számú Kormányrendelet (részletesen a 7. számú melléklete) tartalmazza, amely előírja a szennyező anyagok minőségének, mennyiségének, koncentrációjának bemutatását, valamint a környezet-minőségi határértékekhez való viszonyítását, továbbá a mennyiségi kockázatfelmérés eredményeinek közlési formáját.

A kockázatbecslést a Környezetvédelmi Minisztérium által készített "Szennyezett területek részletes mennyiségi kockázatfelmérése" kármentesítési kézikönyv [1] és "A mennyiségi kockázatfelmérés módszertana" útmutató [2] alapján végeztük.

Az expozíció és az egészségkárosító (toxikus) hatás függvényeként jellemezhető kockázat becslése teszi lehetővé, hogy a szennyező forrástól az expozíciós utakon át az embert érő vegyi terhelést számszerűen kifejezzük.

A kockázatfelmérési irányelvet követve az emberi egészség védelme érdekében figyelembe kellett venni valamennyi szennyező anyagot és koncentrációjukat, valamint az emberi expozíció útjait és mértékét. Az



expozíciót (kítettséget) a szennyező anyag és a szervezet érintkezésével, annak mértékével, időtartamával, gyakoriságával jellemeztük.

A szennyező anyagnak – lenyeléssel, belélegzéssel vagy bőrön keresztül – szervezetbe jutott mennyisége, más szóval a bevitel adja meg az átlagos napi dózist (ÁND), amelynek kiszámítása az alábbi tényezők figyelembe vételével történik:

$$\text{ÁND (mg/kg.nap)} = \text{Ck} \cdot \text{BM} \cdot \text{EG} \cdot \text{EI} / \text{TT}$$

ahol Ck az anyag koncentrációja a szennyezett közegben /talajban, levegőben/  
 BM lenyelt/belélegzett/bevitt mennyiség (mg/nap)  
 EG az expozíció gyakorisága (nap/év)  
 EI az expozíció időtartama (év)  
 TT testtömeg (kg)

A kiszámított átlagos napi dózist a toxicitás szempontjából megengedhető (tolerábilis vagy referencia) dózisokhoz viszonyítottuk. A tolerábilis, az egészségkárosodást már nem okozó referencia dózisokat, koncentrációkat (RfD, RfC) nemzetközi szervezetek ellenőrzött toxikológiai adatbázisaiból vettük [3, 4].

A toxikus anyagokból eredő egészségkockázat akkor ítéhető elfogadhatónak, ha az ember szervezetébe belélegzéssel, lenyeléssel jutó, felszívódó szennyező anyag átlagos napi mennyisége nem haladja meg a megengedhető dózist, azaz a kockázati mutató egyenlő nem nagyobb ( $\leq 1$ ).

#### Talaj szennyezettségi adatok

A számításokat a vörösiszappal szennyezett 15 kolontári és devecseri mintavételi hely talaj mintáinak szennyezettségi koncentrációival végeztük, amelyet a Pannon Egyetem munkatársai 2010. október 5.-én

vettek, illetve analizáltak [5]. A kockázatbecsléshez a vizsgált 21 szennyező anyag közül kiválasztottuk a toxikus, környezetminőségi határértékkel rendelkező, illetve környezet-geokémiai szempontból jelentős anyagokat (arzén, kadmium, kobalt, összes króm, nikkel, ólom, stroncium, mangán, alumínium, vas, nátrium, kalcium, titán). A földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről szóló 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben előírt talajszennyezettségi (B) határértékekhez való viszonyítás mellett alapvető szempont volt, hogy a szállópor szerves komponenseire vonatkozóan is álljanak rendelkezésre mérési adatok.

#### A szállópor ( $PM_{10}$ és $PM_{2,5}$ ) szennyezettségi adatok

A vörösiszap borította területeken a levegő szállópor szennyezettségének rövid és hosszabbtávú hatásának megítélése elsőrendű kérdésként vetődött fel, amelyet a kárelhárítási és kármentesítési tevékenységek, a lakosság tájékoztatásával kapcsolatos határozott elvárások még inkább fokoztak. A szállópor terhelés mérésére és összetételének vizsgálatára, a Közép-Dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség (KD KTVF) szorosan együttműködve az Országos Környezetegészségügyi Intézettel (OKI) 13 mérőpontból álló szakaszos és folyamatos pormérő lokális hálózatot épített ki és működtetett. 2010. októbertől a 10  $\mu\text{m}$ -nél kisebb átmérőjű részecskék (szállópor) tömegkoncentrációjának meghatározása történt szakaszos, aktív, 24 órás méréssel. 2010 novemberétől a 2,5  $\mu\text{m}$ -nél kisebb átmérőjű részecskék elkülönített mérése is folyt. A KD KTVF a mintákból az ólom, kadmium, nikkel, alumínium, arzén, vas és nátrium meghatározását is elvégez-

te és az adatokat az ÁNTSZ rendelkezésre bocsátotta. Az OKI október 7-13. között Devecseren és a kontrollként választott Karakószörcsökön vett szállópor mintákból 33 különböző fém-összetevő koncentrációját is vizsgáلتatta.

A kockázat számításához a szennyezettségi adatokat tömöríteni kellett. A szennyező anyagok koncentrációiból az átlagokon kívül kiszámítottuk az átlag értékek 95%-os megbízhatósági felső határát (UCL) az alábbiak szerint:

$$UCL = x + t (s/\sqrt{n})$$

ahol UCL az átlag 95%-os megbízhatóság felső határa  
 x átlag  
 s szórás  
 t Student t próba 95% UCL értéke  
 n mintaszám

## b.) A kockázati tényezők áttekintése

Hely-specifikus mennyiségi kockázatfelmérés végzése akkor indokolt, ha a humán expozíció szempontjából releváns környezetben daganatkeltők vannak jelen (EU Karcinogén Kategória 1. és 2.) vagy a szennyező anyagok veszélyessége kifejezett, nagyon súlyos és maradandó egészségkárosodást okozhat; továbbá túlérzékenységet vált ki; öröklődő genetikai károsodást okozhat (mutagén hatású lehet); a születendő gyermeket, a szoptatott újszülöttet és csecsemőt károsíthatja, illetve fennáll a környezeti veszélyeztetés (nagyon mérgező a vízi szervezetekre és a vízi környezetben hosszantartó károsodást okozhat). Értelemszerűen indokolt a mennyiségi kockázatfelmérés, ha a szennyezettségi koncentrációk jelentősen meghaladják a 'B' talaj szennyezettségi határértéket. A felsorolt kockázati tényezők, különösen az utóbbi nem voltak jellemzőek a vörösiszappal érintett területre, következésképpen a részletes, hely-specifikus multimedia, diszperziós, hígulási, megoszlási, szorbciós folyamatokat is figyelembe vevő expozíciós modell alkalmazását nem tartottuk megfelelőnek. Ezért választottuk az egyszerűsített mennyiségi kockázatfelmérési módszert [6].

tett területre, következésképpen a részletes, hely-specifikus multimedia, diszperziós, hígulási, megoszlási, szorbciós folyamatokat is figyelembe vevő expozíciós modell alkalmazását nem tartottuk megfelelőnek. Ezért választottuk az egyszerűsített mennyiségi kockázatfelmérési módszert [6].

## c.) Környezetegészségügyi felügyeleti tevékenység

A közép- és hosszútávú egészségi hatások értékelése nem nélkülözhetette a térségben élő lakosság egészségének alapállapot felvételét a későbbi monitorozás során észlelt elváltozások viszonyíthatósága érdekében.

A káresemény bekövetkezte utáni héten kialakított környezetegészségügyi surveillance célja annak felderítése volt, hogy a lakosságot érték-e (a közvetlen dermális érintkezés során elszenvedett légúti égési sérüléseken kívül) akut egészségkárosító hatások. A mentési műveletek után az iszap eltávolításának megkezdésekor jelentős kiporzás keletkezett. Meg kellett győződni a nyálkahártya- és légúti irritációk mérséklésére használt védőmaszkok használatának, illetve a légúti expozíciók csökkentésére irányuló intézkedések hatékonyságáról.

Ezért kiemelt fontosságú kérdésként kezeltük az iszap kiszáradását követő felporzásból eredő – a szállópor mért koncentrációival alátámasztott – légúti megbetegedések előfordulási gyakoriságának elemzését. Ennek érdekében az érintett területen a családorvosok, illetve a házi gyermekorvosok heti jelentési alapján értékeltük a légúti megbetegedésekkel újonnan orvosukhoz forduló gyermekek illetve felnőttek számát.

## Eredmények

Az ÁNTSZ veszprémi intézete kolontári és devecseri talajvizsgálatainak eredménye [7]



szerint a vörösiszappal szennyezett talajban a geokémiai jelentőségű elemek között az alumínium, a vas, a nátrium, valamint a mangán és titán g/kg koncentrációban fordultak elő, a toxikus fémek meghaladták a 'B' szennyezettségi talaj-határértéket a kárlyvizes feltárást követő analitikai vizsgálatokban.

Az MTA Talajtani Kutatóintézetének munkatársai Kolontáron (Kossuth utca 20.) és Devecserben (Vadvirág utca 5.) 2010. október 8.-án 1 méter mélységig 7 rétegből vettek talajmintákat, melyek laboratóriumi vizsgálata az ÁNTSZ és a Pannon Egyetem eredményeihez hasonló szennyezettséget mutattak. Azt is megállapították, hogy 4 nappal a vörösiszap ömlés után a

vörösiszapban található legkockázatosabb, legmobilisabb nehézfémek sem jutottak 10 cm-nél mélyebbre a talajban, ezáltal a felszínalatti vizet nem veszélyeztették. A talaj pH értékei lúgosságot (pH = 8,5 -9,0) mutattak a felső 10 cm-es rétegben, a mélyebb rétegekben gyenge lúgosságot mértek. Az „összes” nehézfém-tartalmon kívül talajból desztillált vizes és acetát pufferes kivonattal kioldható és a növényi felvehetőség (Lakanen – Erviö kivonat) szempontjából fontos frakciókat is mérték. A toxikus fémek (As, összes Cr, Co, Ni, Mo, Pb) oldható koncentrációi a szennyezettségi határérték alattinak bizonyultak [8].

A Közép-Dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség

	'B'	átlag	maximum	szórás	n	95%UCL
arzén	15	40,3	55,8	8,1	14	44,6
kadmium	1	1,35	1,70	0,42	14	1,57
kobalt	30	43,8	67,8	8,3	14	48,1
össz-króm	75	268,1	364,0	61,6	14	300,4
nikkel	40	205,1	587,0	115,3	14	265,5
ólom	100	94,6	117,3	15,7	14	102,8
stroncium	50-150*	183,3	243,0	33,3	14	200,8
mangán	300-600*	1835,71	2200,0	253,004	14	1968,2
alumínium (g/kg)	0,7-1,1%*	3,90	5,00	0,88	14	4,36
vas (g/kg)	0,9-1,5%*	18,01	22,70	2,92	14	19,54
nátrium (g/kg)	0,01-0,05%*	2,17	3,04	0,81	14	2,60
kalcium (g/kg)	2-10%*	4,07	5,23	0,69	14	4,43
titán (g/kg)						
Jelölés: 'B' szennyezettségi határérték 6/2009 (IV.14.) számú KvVM-EüM-FvM rendelet szerint * jellemző értékek (Kádár I, Németh T., Ragályi P. in Magyarország környezetgeokémiai állapota szerkesztette Szendrei G., 2006) n minták száma UCL az átlag felső megbízhatósági szintje						

**I. táblázat:** A vörösiszappal szennyezett kolontári és devecseri talajminták "összes" (cc.HNO<sub>3</sub> feltárással nyert) toxikus szennyezőinek koncentrációi (mg/kg) [5]

	határérték*	átlag	maximum	szórás	n	95%UCL
Kolontár						
PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24 órás)	50	44,46	180,00	30,41	90	50,74
ólom ( $\text{ng}/\text{m}^3$ 24 órás)	300	15,39	156,00	25,19	89	20,62
kadmium ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	5	0,22	1,42	0,23	89	0,27
nikkel ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	25	1,19	6,18	1,03	89	1,40
alumínium ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	-	298,06	2418,00	402,57	89	381,69
arzén ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	10	1,24	3,33	0,61	89	1,37
vas ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	-	322,41	2497,00	420,82	89	409,83
nátrium ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	-	734,83	6139,00	1460,27	89	1038,21
Devecser						
PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24 órás)	50	40,62	90,98	21,01	54	46,23
ólom ( $\text{ng}/\text{m}^3$ 24 órás)	300	10,78	74,20	11,49	54	13,85
kadmium ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	5	0,30	1,12	0,24	54	0,36
nikkel ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	25	1,20	17,40	2,28	54	1,81
alumínium ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	-	68,18	300,00	61,44	54	84,56
arzén ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	10	1,19	2,87	0,44	54	1,30
vas ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	-	66,89	174,00	43,41	54	78,47
nátrium ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	-	260,18	2579,00	507,35	54	395,50
króm ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )**	-	150				
mangán ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )**	-	18,68	69,80	28,57	11	35,56
stroncium ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )**	-	5,41	169,90	31,76	10	25,10
vanádium ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )**	-	3,59	125,50	29,92	11	21,27
Jelölés:						
*határérték: A levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 4/2011. (I. 14.) VM rendelet szerint						
n a vizsgált minták száma						
** Országos Környezetegészségügyi Intézet 2010 október 7- október 17 közötti adatai						

II. táblázat: A levegő szállópor ( $\text{PM}_{10}$ ) koncentrációja és fém-tartalma

(KD-KVTF) mérési adatai szerint Kolontáron és Devecserben a polgármesteri hivataloknál elhelyezett mérőállomásokon 2010. október és 2011. április között vett szállópor minták fémtartalmát mutatja a II. táblázat.

A mérőállomások adatai a szállópor szennyezettség jelentős ingadozását mutatták, az átlagos  $\text{PM}_{10}$  szennyezettség 2010. októ-

ber - 2011. április között – sok más településhez hasonlóan – gyakran meghaladta a napi  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es határértéket. 2010. november 13-tól a szállópor  $\text{PM}_{2,5}$   $\mu\text{m}$ -es, a légutakba könnyen lejutó frakcióját is mértük. Azt találtuk, hogy a  $\text{PM}_{2,5}$  és  $\text{PM}_{10}$  aránya Kolontáron és Devecseren hasonló, 0,8 körüli. Az alumínium, vas és nátrium nagyobb koncentrációban fordult elő a  $\text{PM}_{10}$  mintákban, mint a  $\text{PM}_{2,5}$ -ben, ebben a te-



	Kolontár átlag (maximum)	Devecser átlag (maximum)	Csillebérc átlag [9]	Bpest belváros átlag [9]	határérték
ólom	15,4 (156)	10,8 (74,2)	14	27	300 *
kadmium	0,22 (1,4)	0,3 (1,1)	n.a.	n.a.	5 **
nikkel	1,2 (6,2)	1,2 (17,4)	1,5	3	25 **
arzén	1,2 (3,3)	1,2 (2,8)	1,7	3	10 **
vas	322,4 (2497)	66,9 (174)	415	2343	6 mg/m <sup>3</sup> ***
nátrium	734,8 (6139)	260,2 (2579)	49	394	2 mg/m <sup>3</sup> ***
alumínium	298 (2418)	68,2 (300)	460	1 538	6 mg/m <sup>3</sup> ***

*Jelölés* \*24 órás határérték (A vidékfejlesztési miniszter 4/2011. (I. 14.) VM rendelete a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről)

\*\*éves határérték (A vidékfejlesztési miniszter 4/2011. (I. 14.) VM rendelete a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről)

\*\*\*munkahelyi levegő határérték (25/2000.(IX.30.) EüM-SzCsM együttes rendelet a munkahelyek kémiai biztonságáról)

### III. táblázat: A szállópor ( $PM_{10}$ ) fém-tartalma (ng/m<sup>3</sup>)

kintetben nem volt különbség a kolontári és devecseri minták között.

A 80-160. nap közötti időben már a kolontári mintákban is a fém-tartalom inkább a  $PM_{10}$  frakcióban jelenik meg.

A kockázatbecsléshez a szállópor fém-tartalmának átlagkoncentrációival számoltunk. A kontroll városnak tekintett Ajkán valamivel magasabb volt az arzén és a kadmium tartalom, mint Kolontáron és Devecserben, a vas és az alumínium koncentrációja viszont Kolontáron volt jelentősen magasabb (II. táblázat). A Devecserben mért szállópor 6 hónapos átlag koncentrációit és maximális értékeit a levegőhigiénés éves határértékekhez és budapesti szennyezettségi értékekhez [9] viszonyítva megállapítható, hogy a fémterhelés a megengedhető tartományon belüli (III. táblázat) maradt.

A vörösiszap ömlés érintett területeken a szállópor toxikus komponenseinek (Pb, Cd, Ni, As) több mint 6 hónapos átlag koncentrációit vagy maximális értékeit a

levegőhigiénés éves határértékekhez viszonyítva megállapítható, hogy a fémterhelés a megengedhető tartományon belüli. A vas, nátrium és alumínium tekintetében szabályozást csak a munkahelyek kémiai biztonságáról szóló miniszteri rendelet tartalmaz. Az összehasonlítás ugyan minden szakmai alapot nélkülöz, de a környezeti levegőben mért 24 órás ng/m<sup>3</sup> nagyságrendű koncentráció nem vált ki aggodalmat a munkahelyi légtérben megengedhető mg/m<sup>3</sup> tartományhoz mechanikusan viszonyítva. Azt is látni kell, hogy a devecseri és kolontári szállópor minták vas, nátrium, alumínium koncentráció nem különböznek nagy városok szállóporában monitorozott adatoktól [10].

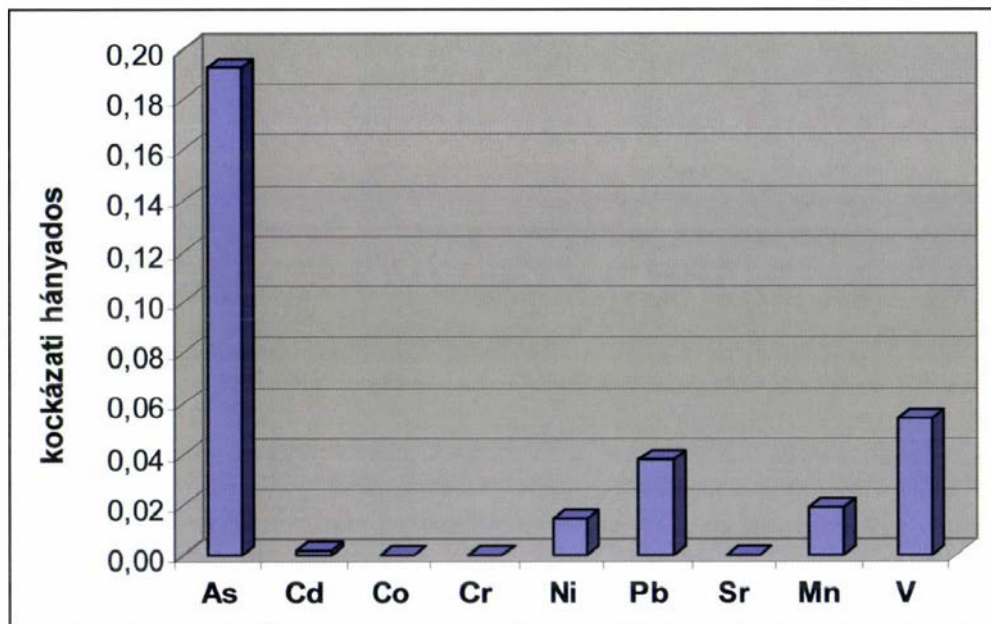
A bemutatott környezet-analitikai mérések eredményeiből végeztük az emberi szervezet által felvehető szennyezőanyag mennyiségének becslését. A napi bevitel számítása során figyelembe vettük a szennyező anyag koncentrációját a talajban és az expozíciós forgatókönyvek (USEPA) alapértelmezése szerint feltételeztük a 100 mg/nap szennye-

zett talaj lenyelését. Ugyanígy jártunk el a szállóporban mért fém-koncentrációkkal a 20 m<sup>3</sup> levegő belélegzésével bevitt mennyiség becslése során. Ezután a mg/testtömeg kg-ban kifejezett össz-bevitelt elosztottuk az egészségkárosodás nélkül megengedhető napi bevitel értékkel, hogy megkapjuk a kockázati hányadost (IV. táblázat). A talajból és a szállóporral a szervezetbe jutó toxikus fémek (As, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Sr, Mn, V) mennyiségét a megengedhető (napi tolerábilis) bevitelhez viszonyítva kis értékeket kaptunk (I. ábra). Az arzén teszi ki a 9 szennyező anyagra vonatkoztatott összkockázat 60 %-át, de ez a 0,19-es kockázati hányados is a megengedhető egyötödét jelenti. A számított kockázati hányadosok kicsi, illetve gyakorlatilag elhanyagolható veszélyeztetettséget mutattak. A kockázati hányadosok összege 0,32-nek adódott, ami még mindig nem ad okot aggodalomra annak ellenére, hogy túlzóan a biológiai hozzáférhetőséget 100 %-nak vettük.

Komplex környezeti szennyezett minták esetében mindig hasznos a biológiai tesztszrendszerek használata, különösen a lehetséges genotoxikus hatások kimutatására. A vörösiszap por *in vitro* mutagenitási vizsgálata Ames tesztben negatív eredményt adott (V. táblázat).

A nagy kiterjedésű, a lakosságot közvetlenül érintő szennyezés esetén a viszonylag gyorsan elvégezhető modell-vizsgálatok tájékoztató jellegű eredményei nem helyettesíthetik a humán expozíció mérésével és a (légúti) megbetegedések gyakoriságának szisztematikus vizsgálatával nyerhető ismereteket.

A modell-vizsgálaton alapuló expozíció becslés megerősítésére és nyomon követésére 2010. novemberétől havonta 10 ajkai és 10 kolontári és devecseri általános iskolás gyermek vizeletében a kadmium, a nikkal az arzén, a kobalt, a vanádium és a króm koncentráció meghatározására került sor. Az Országos Munka- és



1. ábra: A vörösiszap toxikus komponenseire számított kockázati hányadosok



	As	Cd	Co	Cr	Ni	Pb	Sr	Mn	V	
1	átlag konc. talajban (mg/kg)	40,3	1,3	43,8	268,1	205,1	94,6	183,3	1 836	266,3
2	100 mg talaj lenyelése esetén a napi bevitel (mg/nap)	0,00403	0,00013	0,00438	0,02681	0,02051	0,00946	0,01833	0,18357	0,02663
3	koncentráció a szállóporban (PM10) (ng/m3)	1,4	0,4216	0,000	150,000	0,9348	13,847602	5,400000	18,700000	3,200000
4	20 m3 belélegzése esetén a napi bevitel (mg/nap)	0,0000286	0,0000084	0,0000000	0,0030000	0,0000187	0,0002270	0,0001080	0,0003740	0,0000640
5	össz-bevitel mg/ testtömeg kg g-ban kifejezve [2.sor+4.sor]	0,00005804	0,00000204	0,00006258	0,00042592	0,00029323	0,00013905	0,00026338	0,00262779	0,00038127
6	egészségkárosodás nélkül megengedhető napi bevitel RfD (mg/kg nap)	3,00E-04	1,00E-03	0,6000	1,500	2,00E-02	3,60E-03	6,00E-01	0,14	7,00E-03
7	kockázati hányados: bevitel/ADI [6.sor/7.sor]	0,19347	0,00204	0,00010	0,00028	0,01466	0,03862	0,00044	0,01877	0,05447
8	kockázati mutató ( $\Sigma$ kockázati hányados)	0,32286								
9	tolerábilis kockázati szint	=<1								

IV. táblázat: Számított átlagos napi szennyező anyag bevitel alapján meghatározott kockázati értékek

Vizsgálati körülmények: SMT vizsgálat TA100 és TA98 törzsön								
Oldószer: DMSO								
Előinkubálás 30perc								
S9 frakció koncentrációja: $\pm$ 10%								
Dátum: 2010.10.26								
Vizsgálati anyag: kolontári vörösiszap minta								
DÓZIS	REVERTÁNS KOLONIAK SZÁMA							
	TA100 -S9		TA100 +S9		TA98 -S9		TA98 +S9	
mg/lemez	Átlag	$\pm$ SD	Átlag	$\pm$ SD	Átlag	$\pm$ SD	Átlag	$\pm$ SD
DMSO kontroll	176,3	9,9	182,3	15,5	38,0	5,6	50,0	1,7
185,2	167,2	12,7	195,0	13,0	35,0	1,0	44,0	9,5
555,6	155,3	6,5	187,7	18,1	41,5	13,4	48,7	19,0
1666,7	115,3	14,7	175,3	26,0	36,0	8,5	50,5	3,5
5000	68,7	7,6	189,0	15,4	30,3	15,5	58,5	6,4
pozitív kontroll	1 074,5	13,4	3 540,7	215,3	427,0	44,0	2 660,0	118,6
EREDMÉNY	NEGATÍV		NEGATÍV		NEGATÍV		NEGATÍV	

V. táblázat: A kolontári vörösiszapminták mutagenitási vizsgálatának eredménye

Foglalkozásegészségügyi Intézet (OMFI) akkreditált Kémiai Laboratóriuma a vizelet mintákból a fém meghatározásokat induk-tív csatolású plazma tömegspektrométerrel (ICP-MS) végezte. A 2010. november - 2011. április között végzett vizsgálatokból meg-állapítható, hogy a gyermekek vizeletéből mért fémek koncentrációja megfelel a nem-zetközi irodalomban az átlagos (tehát nem exponált) populációra vonatkozólag leírt értékeknek. A kolontári és devecseri gyer-mekek vizelettel ürített fém mennyisége statisztikailag nem különbözik a kontroll-nak tekintett ajkai gyermekek eredménye-itől [11].

A vörösiszap-katasztrófában érintett te-rületen Kolontáron, Devecseren és a kör-nyéki településeken, illetve Ajkán élő gyermek- és felnőtt lakosság egészségi ál-lapotának felmérését, rendszeres megfi-gyelését folyamatosan végzi az Országos Környezetegészségügyi Intézet. Az egész-ségi állapot értékelése a települések házi-orvosainak adatszolgáltatásán alapul. A háziorvosok – az ajkai kistérségi népegész-ségügyi intézet közreműködésével – meg-küldik az Országos Környezetegészségügyi Intézet számára az ellátási körzet nem-enkénti és korcsoportos összetételét, valamint heti gyakorisággal küldik a vörösiszap ka-tasztrófával, valamint a szálló por expozíci-óval kapcsolatba hozható, előre megnevezett betegségekkel vagy betegségcsoportok-kal hetenként újonnan orvoshoz fordulók számát. Az értékelés viszonyítási alapja a katasztrófát megelőző két hét átlagos beteg-forgalma az adott háziorvosi körzetben.

A 2010. október - 2011. április közötti idő-zsak heti gyermek és felnőtt betegforgalmi adatainak elemzése során azt találtuk, hogy a gyermekek heveny légzőszervi megbete-gedései közül a felső légúti hurutok fordul-tak elő a leggyakrabban 2010. októberben.

Felnőtteknél a poszttraumas stressz és al-vászavar miatti heti orvoshoz fordulás no-venber végén volt jelentős Devecseren. A kötőhártya- és bőrgyulladás valamennyi településen igen ritkán fordult elő. Heveny felső légúti hurutok, légsőhurut, idült alsó légúti hurut fellángolása novembertől janu-ár végéig váltak gyakoribbá, de figyelembe kell venni ebben az időszakban a szoká-sos téli megfázások, illetve influenzaszerű megbetegedési gyakoriság-növekedést is. A légúti betegségek heti gyakoriságának alakulása és a magas szálló por koncent-ráció görbe lefutása sok esetben hasonló volt. Összességében megállapítható, hogy a gyermekek körében szignifikáns kapcsola-tot találtunk a felső légúti hurut és az azonos heti  $PM_{10}$  koncentráció növekedés között Devecseren és Kolontáron, és Ajkán az aszt-más rohamok és a  $PM_{10}$  előző heti koncent-rációja között, míg a határérték feletti  $PM_{10}$  koncentráció előző heti átlaga és a felnőt-tek bronchitis és pneumónia megbetegedése mutatott szignifikáns összefüggést Ajkán és a négy kisebb érintett településen [12].

### Megbeszélés

Magyarországon a szennyezett terüle-tek környezeti- és közegészségügyi ér-tékelésére alkalmas kockázatbecslési módszerek kifejlesztésére az Országos Kármentesítési Program [13] és a Nemzeti Környezetegészségügyi Akcióprogram (NEKAP) [14] keretében került sor. A koc-kázatbecslés széleskörű alkalmazásra azért alkalmas, mert koherens módon integrál-ja a szennyezettségi és a toxikometriai, valamint expozíciós adatokat. A meny-nyiségi humán egészségkockázat becslést többek között a környezeti határértékek használatának korlátai teszik időszerűvé. A vörösiszap katasztrófa során különö-sen erősen érződött, hogy a jogszabályok-ban előírt szennyezettségi határértékek a



szennyezőanyagok viszonylag szűk körére terjednek ki és csak adott környezeti közegekre (levegő-, ivóvíz-, talaj-minőségre, az élelmiszerekben, szennyvízben, szennyvíziszapban megengedhető szennyező anyag maradék mennyiségre) vonatkoznak, ezáltal nincs kellőképpen figyelembe véve a komplex valóság. A humán expozíció mérésére, változásainak követésére leginkább a biomonitorozás (a szennyező anyag biológiai mintákból való kimutatása, biomarkerek vizsgálata) alkalmas, de az eljárás többnyire nagy felkészültséget kíván, munka- és költségigényes. A kockázatbecslés eredményei, megállapításai a kockázat kezelése során nyerne gyakorlati alkalmazást.

A kockázatot ugyanis emberi igények és szükségletek okozzák, amelyek kielégítése bizonyos tevékenységek formájában történik. Az emberi tevékenységek, pl. ipari termelés olyan szituációhoz vezethetnek, amelyekben az ember környezeti terhelésnek van kitéve (expozíciós helyzet). Az emberi tevékenység célja előnyök létrehozása, de ennek elkerülhetetlen velejárója a kockázati helyzet kialakulása. Ezért nem szabad a kockázatot az előnyöktől elválasztva vizsgálni, továbbá célszerű a tervezett tevékenységek és a nem tervezett események között különbséget tenni. Ez utóbbi teszi lehetővé a véletlenszerű baleseti kockázat és a kevésbé váratlan kockázat (engedélyezett kibocsátásból származó kockázat) elkülönített kezelését. A fentiekén kívül figyelmet kell fordítani a helytelen tevékenységi forma megválasztásából eredő gyakran felhalmozódó jellegű károokra.

Az ok-okozati következmények láncolata alapján írható le a kockázat keletkezése. Mivel a környezeti kockázati problémák nem egyenértékűek, a környezeti vegyi kockázatok súlyozásakor érdemes figyelembe venni a következőket:

*A kockázati probléma társadalmi jelentőségét.* Ez magába foglalja esetünkben a tim-földgyártásból eredő gazdasági haszon és a kockázat mértéke közötti összefüggést, a kockázat igazságosságának kérdését (azaz a kockázat egyenlőtlenül oszlik-e meg a lakossági csoportok között), a baleset következményeinek átháríthatóságát;

*A kockázat természetére és mértékére vonatkozó ismereteket.* Ez a lépés a kockázat keletkezésére vonatkozó ok-okozati összefüggések elemzésén alapul, a közvetlen és a közvetett, a tervezett és a nem szándékos hatások összevetését jelenti. A vegyi anyagok, termelési hulladékok előírás szerinti alkalmazása, illetve tárolása esetén sem zárható ki közvetlen és közvetett nem kívánatos hatások, de baleset kapcsán bekövetkező hatások sokkal súlyosabbak;

*A lehetséges hatások időbeli és térbeli kiterjedését.* Az időtényező befolyásolja az üzemeltető részéről a kockázat értékelését, mert az azonnali előnyöknek és a távoli lehetséges veszteségnek nagyobb az értéke. A fizikai szomszédságban bekövetkező események pedig közvetlenül érintik az ott tartózkodó, élő embereket;

*Az azonosítható és statisztikai kockázatviselőket.* Az egyik legjelentősebb megkülönböztetés az, hogy a több embert érintő kockázat (a populációs szintű kockázat) az esetek többségében személytelenített jellegű, azaz nem azonosított személyeket érint. Ha a kockázatviselő egyén vagy lakossági csoport azonosítható, szemben a pusztán statisztikai jellemzéssel, a társadalom akkor is nagyobb figyelmet szentel az azonosítható kockázatviselők kockázatának, mint a statisztikainak, ha egyébként a valószínűségek és következmények azonosak. Ha tehát az egyén közvetlenül megtapasztalhatja a következményt, akkor ezt sokkal

magasabb kockázatúnak értékeli, mint ha csupán egyik tagja lenne annak a közösségnek, amelynek egyetlen vagy néhány tagja a szóban forgó következményt megtapasztalja. Ez a megkülönböztetés nemcsak az emberi egészség, hanem bármilyen kockázatra érvényes és jelentősen befolyásolja a kockázat érzékelését;

*A kockázat kontrollálhatóságát.* Az elavult technológia, de a műszaki fejlődés is kockázatokat indukál, de ismereteink bővülésével az új kockázatok ellenőrizhetőek. Nehéz objektíven megítélni, hogy több kockázatot ellenőriz-e a tudomány és a technika, mint amennyit kivált. Tény azonban, hogy a kockázatok csökkentésére, mérséklésére és – az előírások betartásán alapuló – kontrollálására irányuló társadalmi igény egyre növekszik.

A felsorolt szempontok arra utalnak, hogy a vörösiszap-katasztrófa mindenek előtt operatív kockázat-kezelést tett szükségessé, amelyhez bizonyítékokat a környezetegészségügyi vizsgálatokon alapuló kockázatbecslés, valamint a lakosság egészségi állapotfelmérése és felügyelete szolgáltatott.

*Köszönetnyilvánítás:*

*Munkánk során folyamatosan élveztük a veszprém megyei népegészségügyi szakigazgatási szerv és az ajkai kistérségi népegészségügyi intézet munkatársainak kollegiális együttműködését, segítőkészségét. Technikai segítségét nyújtottak Ispán Matild, Molnár Rozália és Szalóki András.*

## IRODALOM

- [1] Szennyezett területek részletes mennyiségi kockázatfelmérése. Kármentesítési kézikönyv. KöM, 2001.
- [2] A mennyiségi kockázatfelmérés módszertana. Kármentesítési útmutató. 7. KvVM, 2004.
- [3] IRIS (US EPA's Integrated Risk Information System). <http://www.epa.gov/IRIS/>.
- [4] IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. <http://monographs.iarc.fr/>.
- [5] Horváth Erzsébet, Domokos Endre, Katona Csaba, Kalocsai Edit: <http://www.uni-pannon.hu> 2010
- [6] Dura Gy.: A szennyezett területeken a felszínelviek védelmét szolgáló egyszerűsített, illetve részletes mennyiségi kockázatfelmérés módszereinek kiválasztása. Segédanyag az egyszerűsített és a részletes mennyiségi kockázatfelméréshez. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Környezetvédelmi Hivatal, 2005.
- [7] Horváth J.: ÁNTSZ KDR intézet jelentése, 2010. október 9.
- [8] Anton A.: Elsődleges környezeti kockázatbecslést megalapozó talajvizsgálatok. In: Vörösiszap katasztrófa: Következmények és tapasztalatok. MTA konferencia 2011.március 1.
- [9] Muránszky G., Óvári M., Zárny Gy.: A budapesti aeroszol PM10 frakciójának kémiai jellemzése, konferencia kiadvány, 2006. május 25-26, Siófok, Szerk: Salma I. 51. old.
- [10] Nordberg, G. F., Fowler, B. A., Nordberg, M., Friberg, L. T.: Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd Edition. Elsevier, 2007.
- [11] Rudnai P., Nárany M., Rudnai T., Tóth Eszter, Kanizsai Judit: Néhány toxikus fém koncentrációja a vörösiszappal elárasztott területen élő gyermekek vizeletében. Népegészségügy, 2011, 89(3): 229-235.



[12] *Páldy Anna*: A vörösiszap katasztrófa által érintett lakosság heveny légúti morbiditása és a szállópor szennyezettség összefüggése. Kézirat, 2011.

[13] <http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/>

[14] [http://oki.antsz.hu/documents/nekap\\_2000.pdf](http://oki.antsz.hu/documents/nekap_2000.pdf)

**Gy. Dura, M.D., Ph.D.,**  
**Col.(ret.) G. Faludi M.D., Ph.D.,**  
**Z. Szabó,**  
**Z. Demeter,**  
**Brigitta Szalay,**  
**P. Rudnai M.D.,**  
**Anna Páldy M.D., Ph.D.**

### **Aspects of health risk assessment related to the red mud catastrophe**

Hungary's largest ecological disaster took place on October 4, 2010 when the dam of cassette of the red sludge reservoir had ruptured. Health measures were focused first of all to minimize the exposure of people taking part in rescue and damage control work as well as the population (using protective equipments) item to intensify monitoring of ambient air and drinking water quality and detailed chemical characterization of red sludge. In the phase of mitigation of damages public health activity was aimed at the analysis of environmental health risks.

At the very beginning it was clear that the extent of the problem modifies the risk assessment paradigm (more than 1,000 hectares of land were flooded by one and a half million m<sup>3</sup> of red sludge) and considerable uncertainties were indicated by the hazard assessment (due to variety of different chemical forms of occurrence) and not least the acceptability of risk in large extent influenced by psychological, social, and compensation-related factors.

The paper summarizes various aspects of health risk assessment, namely it deals with environmental exposure assessment based on model-calculations and presents results obtained by preliminary quantitative health risk assessment.

Necessity of the human biomonitoring (examination of metals in urine) and surveillance of the health status of the population (weekly reports from GPs) in human health risk assessment is underlined. Finally factors to be taken/ which were taken into consideration in risk management of the red sludge spill is overviewed.

*Key-words: red mud, environmental exposure, quantitative health risk assessment, risk management*

*Dr. Dura Gyula Ph.D.*  
 1097 Budapest, Gyáli út 2-6.