

**HUN  
REN**



Energiatudományi  
Kutatóközpont

**HUN-REN**  
Magyar Kutatási Hálózat

# HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont

Radonleányelemek bomlásából származó  
sugárterhelés számítása a tüdőben

dr. Furi Péter  
furi.peter@ek.hun-ren.hu

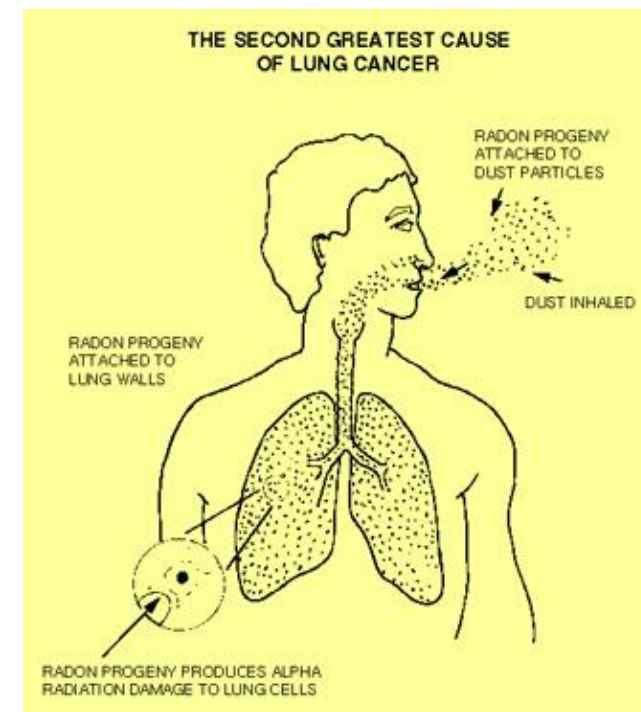
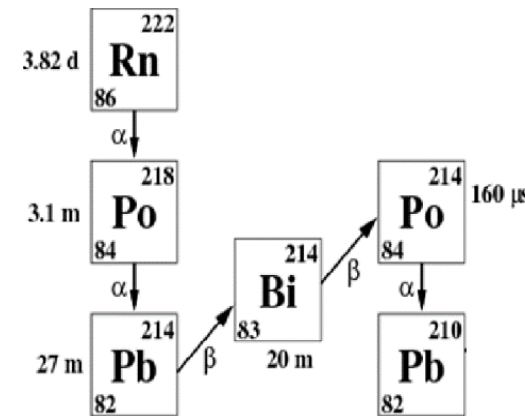
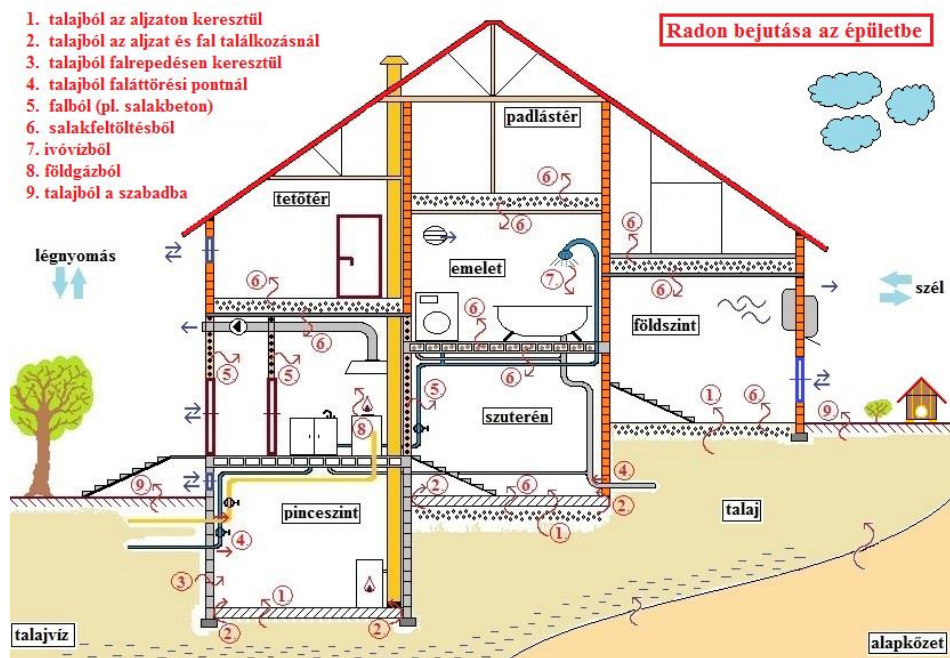


**RadoNorm**  
Managing risks from radon and NORM

Kutatás. Innováció. Hatás.

- A radonleányelemek légúti kiülepedése és bomlása a **természetes eredetű sugárterhelés legfontosabb forrása és a tüdőrák második legfontosabb okozója.**
- A  $^{218}\text{Po}$ , a  $^{214}\text{Pb}$  és a  $^{214}\text{Bi}$  nagy része környezeti aeroszolrészecskékhez tapadtan kerül a légutakba (94%-a a potenciális alfa-energia koncentrációnak). **A légutakban kiülepedve hosszú idejük van elbomlani!**
- **Sugárérzékeny sejtek az alfa-részecskék hatótávolságán belül**

- **Kitapadt** ( $d=230\text{ nm}$  de  $460\text{ nm}$  a higroszkopicitás miatt) és **ki nem tapadt** ( $d=1\text{ nm}$ ) leányelemek



### A légutak felépítése:

Felső légutak-bronchiális-acináris légutak

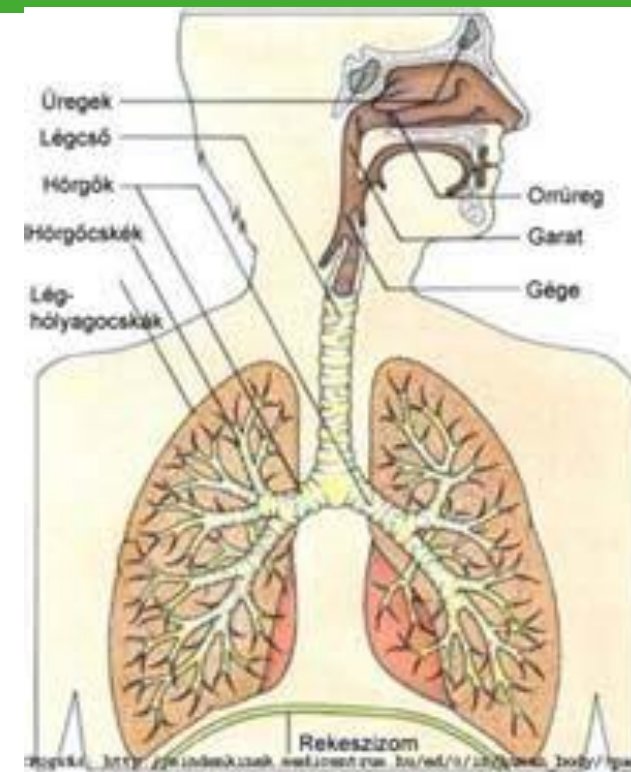
Bronchiális régión belül: BB (nagy bronchiális légutak gen.1-8), bb (kis bronchiális gen. 9-15) (ICRP 66)

Bifurkációk- egy anyaág, két leányág

### Légúti generáció:

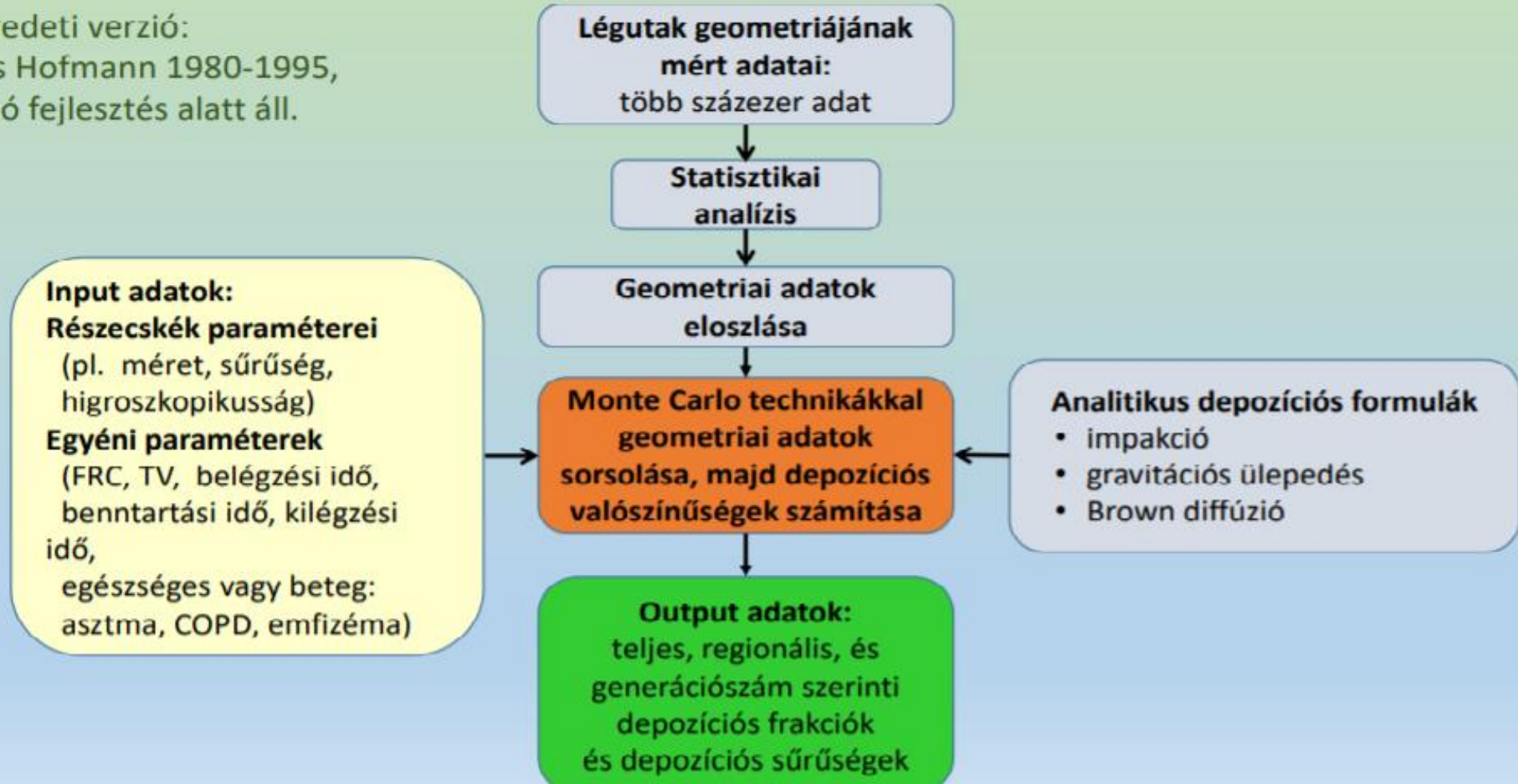
Adott bifurkációs szint- első a gége

- Légutak egyes részei **jelentős sugárterhelést kapnak**- jellemzően a nagy bronchiális légutak karina régiója
- Komplex struktúra: Rengeteg apró légút, nyáktisztulás
- Kiülepedés Mérése? Modellezés!
- **Sztochasztikus Tüdőmodell**- Belélegzett radonleányelemek légúti kiülepedésének számítása gyermekek és asztmás, COPD-s alanyokra is.



## A Sztochasztikus Tüdőmodell felépítése

Eredeti verzió:  
Koblinger és Hofmann 1980-1995,  
de állandó fejlesztés alatt áll.



Kiülepedett részecskefrakció:

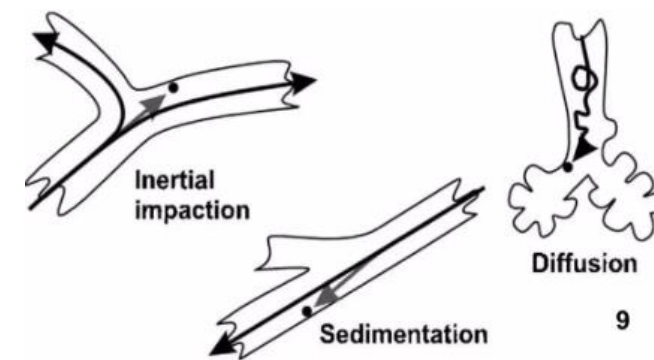
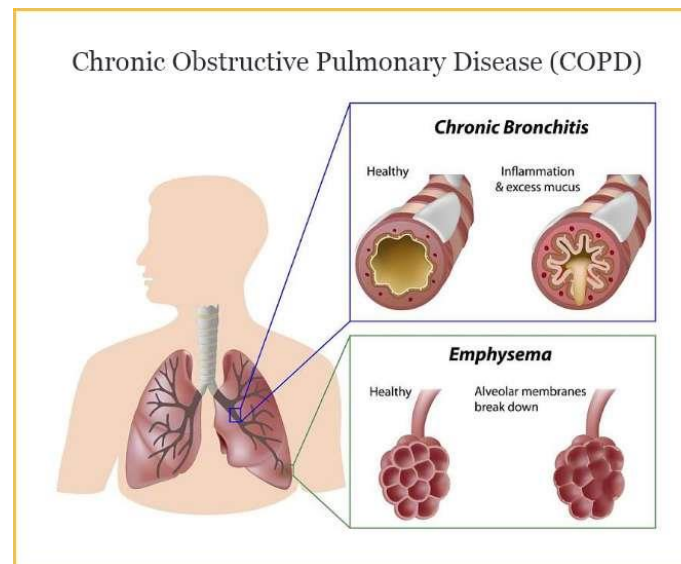
kiülepedett/belélegzett részecske darabszám

Ez függ a **légzési mintázattól** és a **légúti geometriától (csövek átmérője, hossza)** is.

- Modellezett egyének: Ülő felnőtt férfi, 5 éves gyerek, COPD-s egyén
- Légzési mintázat és a légúti geometria függ a **kortól és az egészségi állapottól is**
- **Gyermek**- kisebb belélegzési térfogat, gyorsabb légzés
- **COPD- Krónikus Obstruktív Tüdőbetegség** (bronchitisz+emfizéma)- összeszűkült légutak + kitágult alveolusok

Enyhe súlyosság volt modellezve- itt még nem kezd el zihálni a beteg. Súlyosabb esetben már a belélegzési térfogat és a légzési frekvencia is nagyobb COPD-re.

	Belélegzési térfogat (cm <sup>3</sup> )	Belélegzési idő (s)	Belélegzett térfogat m <sup>3</sup> /óra
Ülő felnőtt férfi	750	2,5	0,54
5 éves gyerek	213	1,2	0,3195
COPD-s alany	625	2,5	0,45



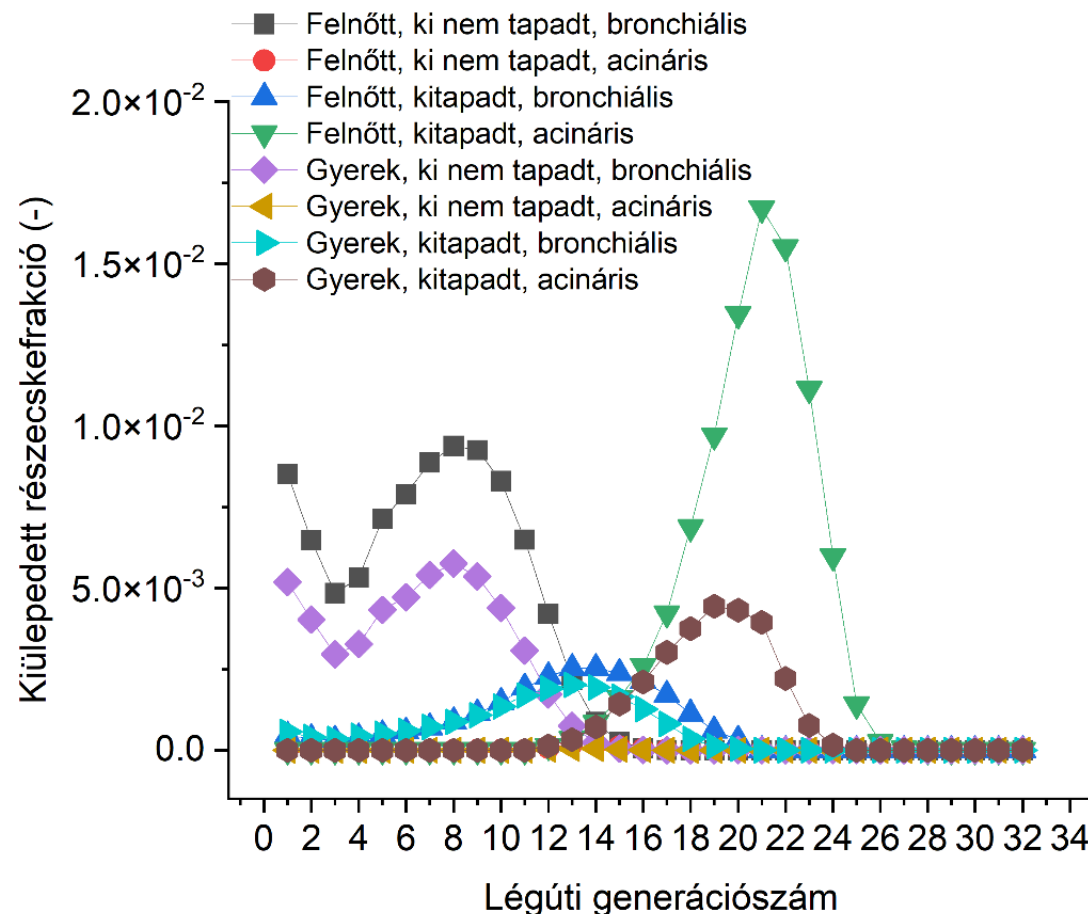
**Ki nem tapadt leányelemek:** Nagy felső légúti és BB kiülepedés- apró részecskék,- diffúzió hatása jelentős  
Majdnem 100% légúti kiülepedés.

**Kitapadt leányelemek:** nagyobb részecskék- 60-80%-át kilélegezzük. Kis felső légúti és BB kiülepedés, jelentős bb és acináris kiülepedés.

**Gyerek:** legtöbbször kisebb kiülepedés, mint felnőttre- gyorsabb légzés okozza- kevesebb ideje van a diffúzióknak és a gravitációs ülepedésnek.

DE: kisebb légutak- Ez fokozza a diffúzió és a gravitáció hatását. **A BB-ben a kitapadt leányelemek bronchiális kiülepedése a gyermek esetén nagyobb.**

Felső légúti kiülepedés	Ki nem tapadt %	Kitapadt %
Felnőtt	90,7	4,9
Gyerek	94	5,85
COPD	91,8	5,15

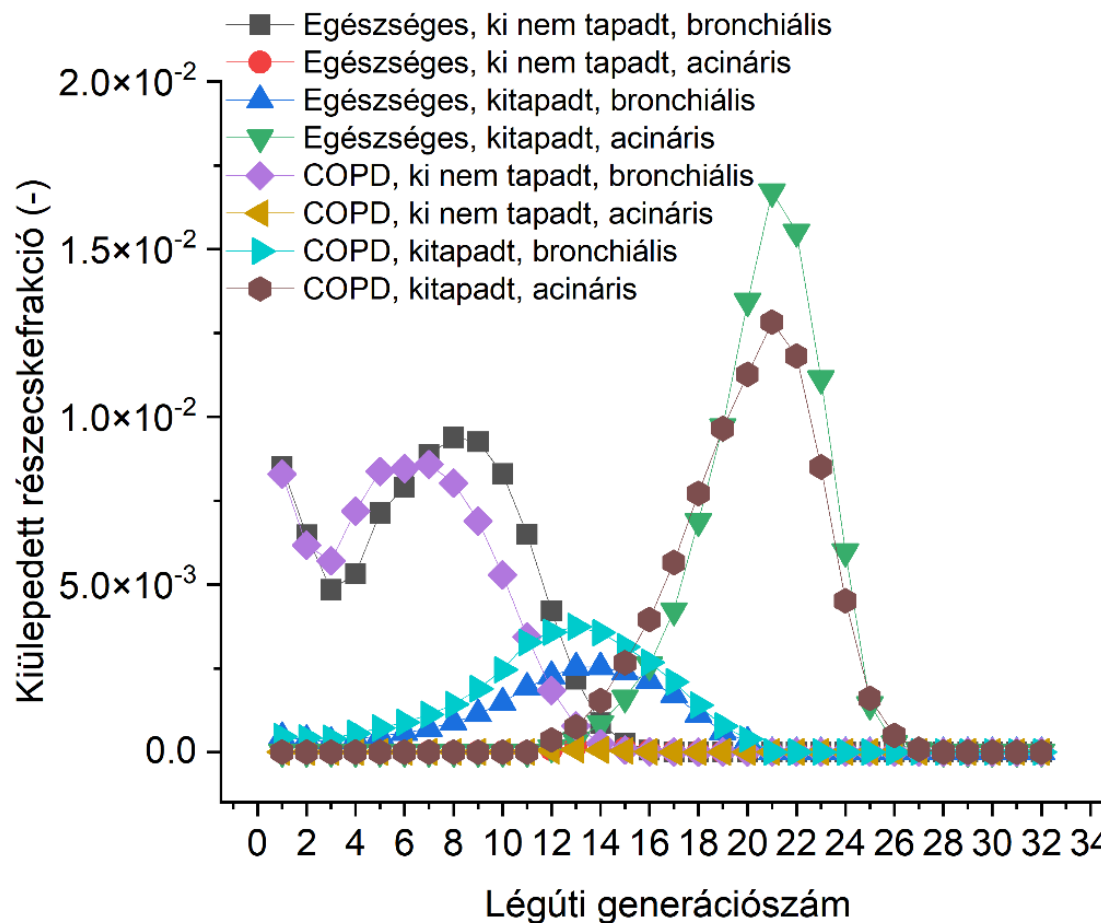


**COPD (I-II. osztály): Legtöbbször nagyobb kiülepedés, mint egészségesnél-**

összeszűkült légutak okozzák- segítik a diffúziót és a gravitációs ülepedést is.

DE: kisebb belégzési térfogat volt a modellezett esetben mint az egészségesnél- a belélegzett részecskék nem tudnak olyan mélyre menni a tüdőben- ez okozza a kisebb acináris kiülepedést.

Súlyosabb COPD esetén (III. osztály) nagyobb belégzési térfogattal már az acináris kiülepedés is nagyobb, mint egészségesre.



Elnyeltdózisok számítása a légúti hámréteg bazális és a kiválasztó sejtjeinek magjában:

**Saját fejlesztésű Monte Carlo nyáktisztulási és radon-dozimetria modellekkel történt**

**Nyáktisztulás:** ez határozza meg a bomlásra rendelkezésre álló időt.

Fontos változók: **1. Adott légútban elbomló  $^{218}\text{Po}$  és  $^{214}\text{Po}$  szám**

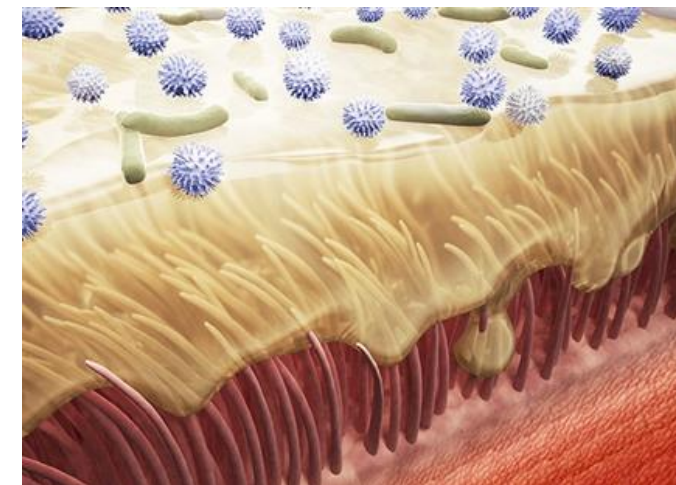
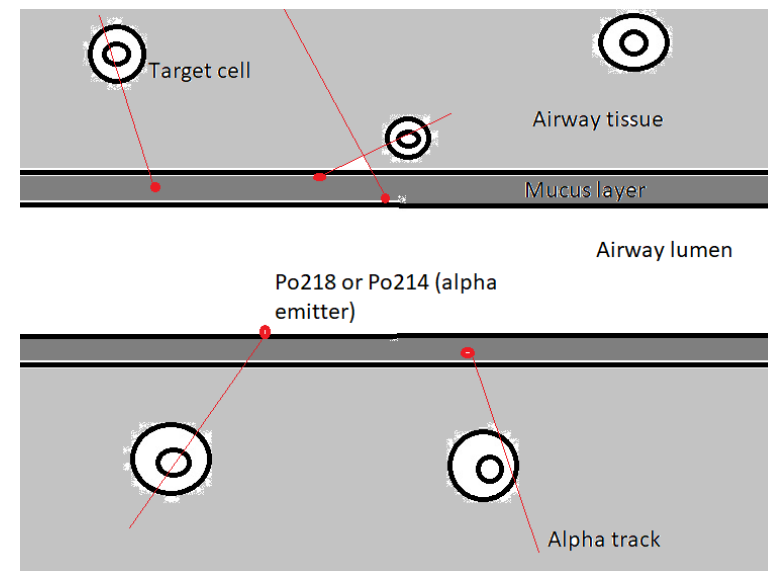
**2. Célsejtek találati valószínűsége**

**3. A célsejtek magjában leadott energia mennyisége**

**Working Level Month (WLM)**- régi mértékegység, de radon dozimetriánál gyakran ezt használják.

Uránbányákban dolgozó bányászokra- **nagyon magas radon aktivitáskoncentráció  $3700 \text{ Bq/m}^3$  170 órán át.**

Lakások: Általában sokkal kisebb radonszintek ( $40 \text{ Bq/m}^3$ ), de hosszú ideig vagyunk kitéve ennek.





**Az elnyeltdózisok maximuma a BB-ben van.** Itt még kevés légút van, így nagy a bomlások száma egy légútban.

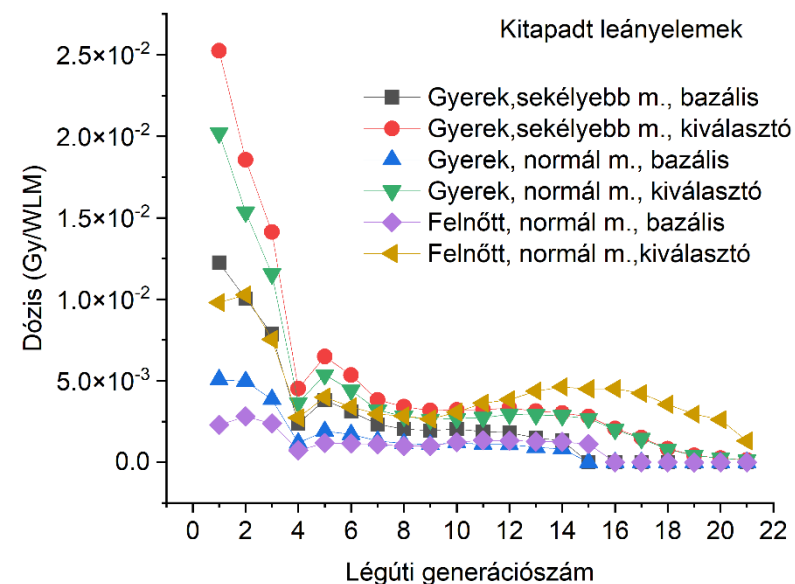
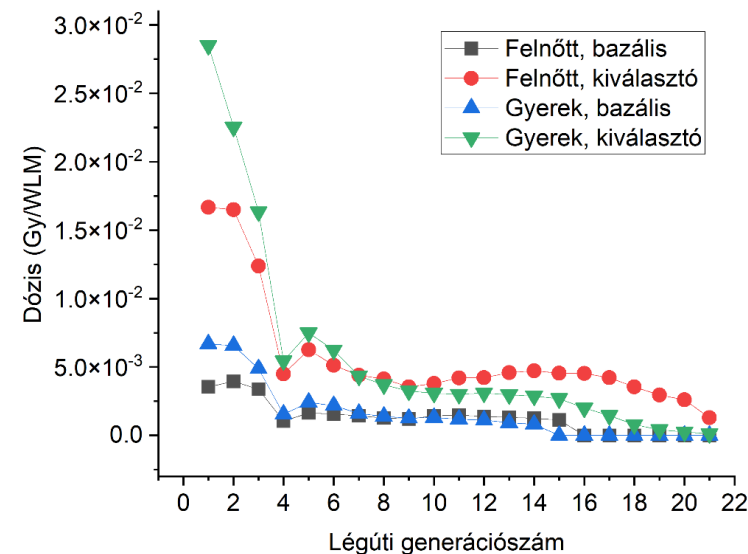
**Gyerek-** kisebb légutak, vékonyabb és lassabb nyákréteg  
Kevesebb belélegzett (és kiülepedett) radonleányelem, mint felnőttre.

De: Kisebb légutak és a vékony nyákréteg növelik a találati valószínűséget és az egy átlagos találat során leadott energiát is.

**BB: Nagyobb dózis gyerekre, mint felnőttre.**- sokkal kisebb légutak

bb: Kisebb dózis gyerekre- ezt az okozza, hogy gyerekre kisebb a bb depozíció.

**Célsejtek mélysége: A bazális és kiválasztó sejtek mélységeloszlása fontos!!!**



**COPD: Két ellentétes hatás: 1. összesűkült légutak növelik a dózist**

**2. Vastag nyákréteg**

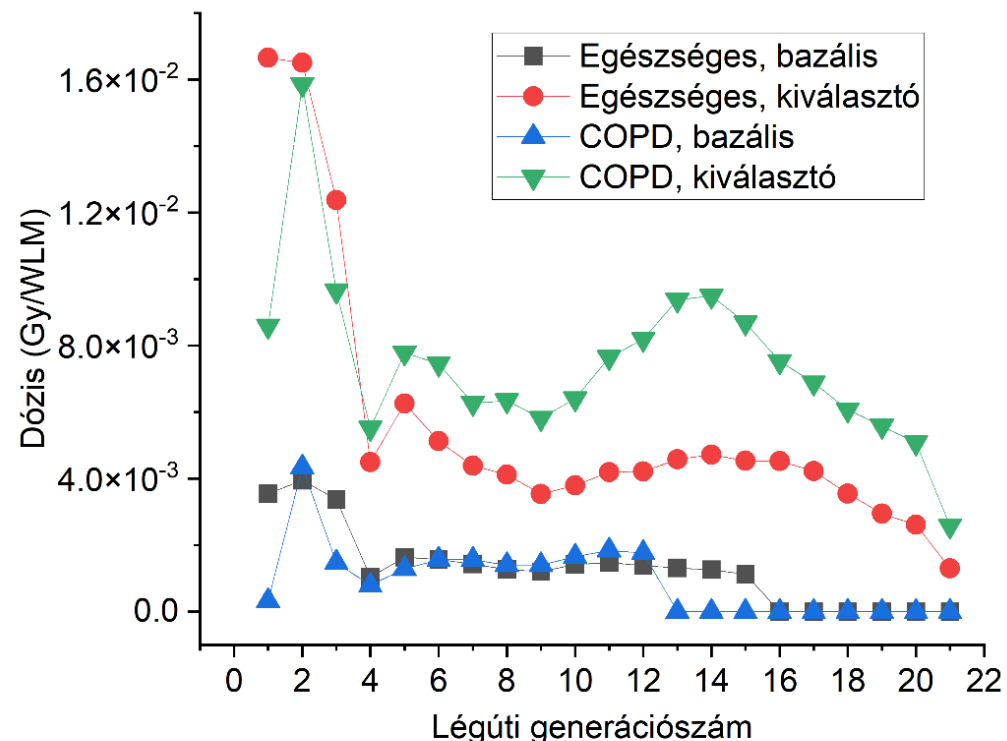
**csökkenti a dózist**

BB elején túl vastag a nyákréteg COPD-re- árnyékoló hatása van. Itt kisebb dózis COPD-re.

bb- összesűkült légutak hatása erősebb.- kisebb távolság a  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$  és a célsejtek között.

**A kis bronchiális légutakban sokkal nagyobb a dózis COPD-s esetben.**

Súlyosabb COPD esetén, 40-60%-os összehúzódás esetén még nagyobb lehet a különbség az egészséges és a beteg alany légútjainak sugárterhelése között.



## Összefoglalás

A **radonleányelemek** légúti kiülepedése és bomlása a tüdőrák második legfontosabb okozója.

A **Sztochasztikus Tüdőmodellel** kiszámítottuk a ki nem tapadt és a kitapadt radonleányelemek légúti kiülepedését. Következő lépésként egy saját fejlesztésű tisztulási + dozimetriai modellel szimuláltuk a bomlásuk okozta sugárterhelést.

5 éves gyerek, egészséges felnőtt és COPD-s alanyokat vizsgáltunk.

A **ki nem tapadt leányelemek (6%)** elsősorban a felső légutakban és a nagy bronchiális légutakban ülepednek ki. Majdnem 100% légúti kiülepedés.

A **kitapadt leányelemek (PAEC 94%-a)** nagy részét (~80%-ot) kilélegezzük. Amik kiülepednek eljutnak azonban a kis bronchusokig és az acináris légutakig is.

Légúti kiülepedés:

**Gyermekek esetén a legtöbb esetben kisebb a kiülepedés (gyorsabb légzés), de a kitapadt leányelemek kiülepedése a nagy bronchiális légutakban nagyobb gyerekre (szűkebb légutak miatt).**

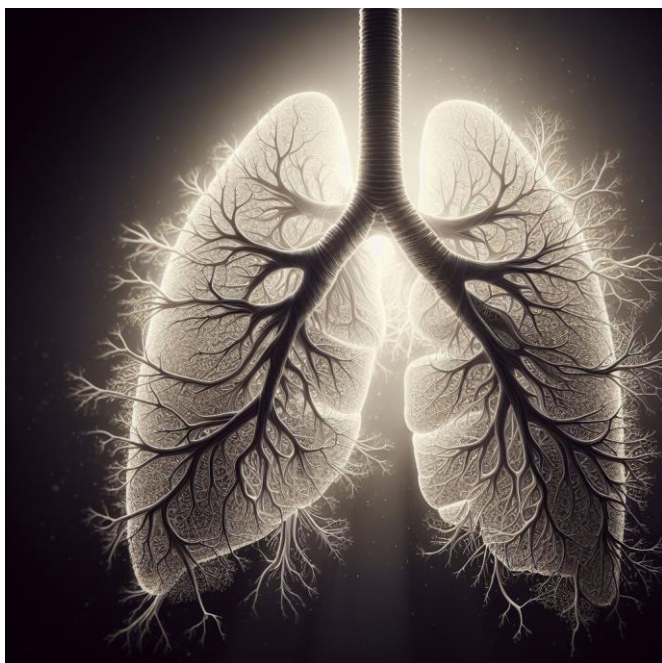
**COPD-s alanyokra: A kiülepedés nagyobb szinte mindenhol a beteg alanyra.** Kivétel a 20-24 acináris légúti generáció- ide a kisebb belégzési térfogat miatt kevesebb kitapadt leányelem jut.

Elnyeltdózisok:

**Gyerek esetén a BB-ben nagyobb a sugárterhelés, mint egészséges ülő férfire.** Ezt egyértelműen a kisebb légutak okozzák. **A bb-ben lévő kisebb dózisokat a kisebb belégzési térfogat okozza.**

**COPD esetén a dózis nagyobb szinte mindenütt (kivétel az első néhány légút).** Ezt az összeszűkült légutak okozzák (nagyobb kiülepedés+rövidebb alfa-részecske pályák).

## Köszönöm a figyelmet!



Füri Péter  
furi.peter@ek.hun-ren.hu

A tüdő, ahogy az AI látja

