



# TERJEDÉSI MODELLEK A NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEK KÖRNYEZETI DÓZISAINAK BECSLÉSÉRE

**Deme Sándor és Homolya Emese**  
*MTA Energiatudományi Kutatóközpont*

38. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Hajdúszoboszló, 2013. április 23-25

# Mit jelent a cím?

## TERJEDÉSI MODELLEK A NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEK KÖRNYEZETI DÓZISAINAK BECSLÉSÉRE

**TERJEDÉSI MODELLEK**: kibocsátás a légkörön és a vízen át

**A NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEK**: amit így definiál a

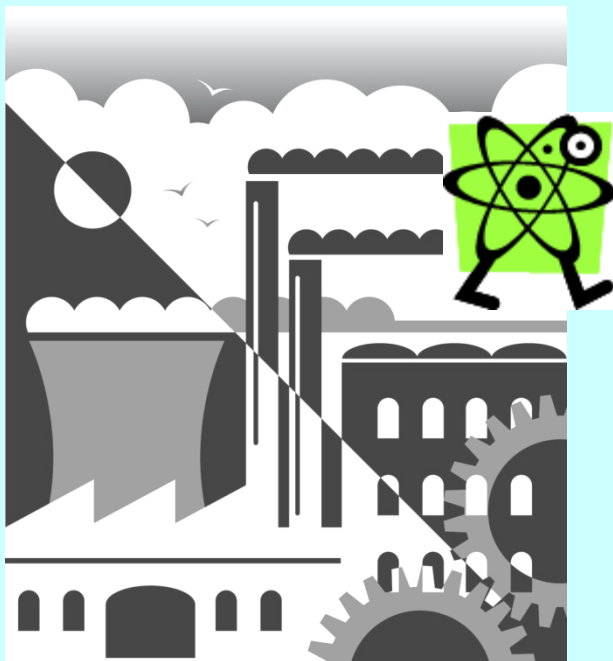
hatóság, pl. atomerőmű, atomreaktor, izotóplaboratórium, ...

**KÖRNYEZETI DÓZISAINAK**  $\Rightarrow$  a környezetben élő embert  
érő mindenféle dózis (újabban a "mindenfélék" dózisa is)

**BECSLÉSÉRE** becslés, mert a számítások bizonytalansága  
nagyon nagy. A számítás módja:

- normál üzem – konzervatív, kibocsátás alapján
- baleset – legjobb közelítés, kibocsátási/mért adatok alapján

# Terjedési modellek



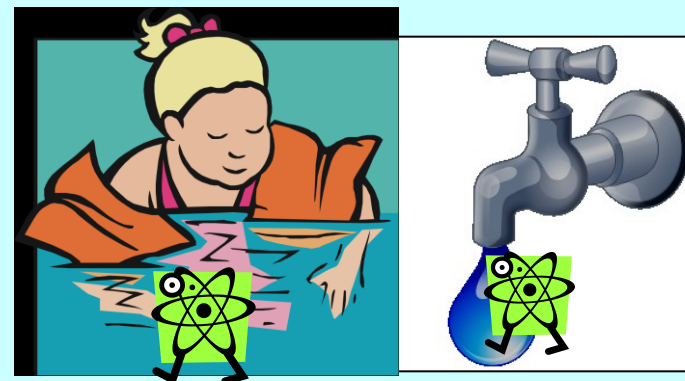
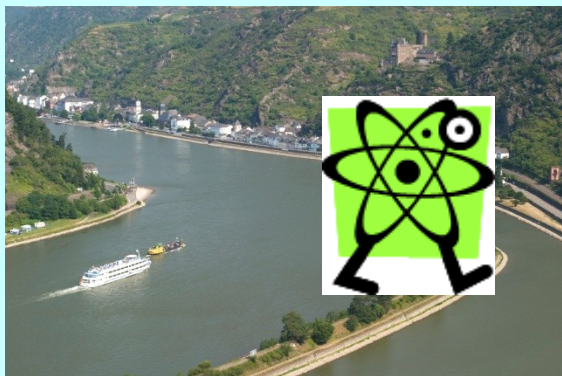
**légköri**

- külső
- belső

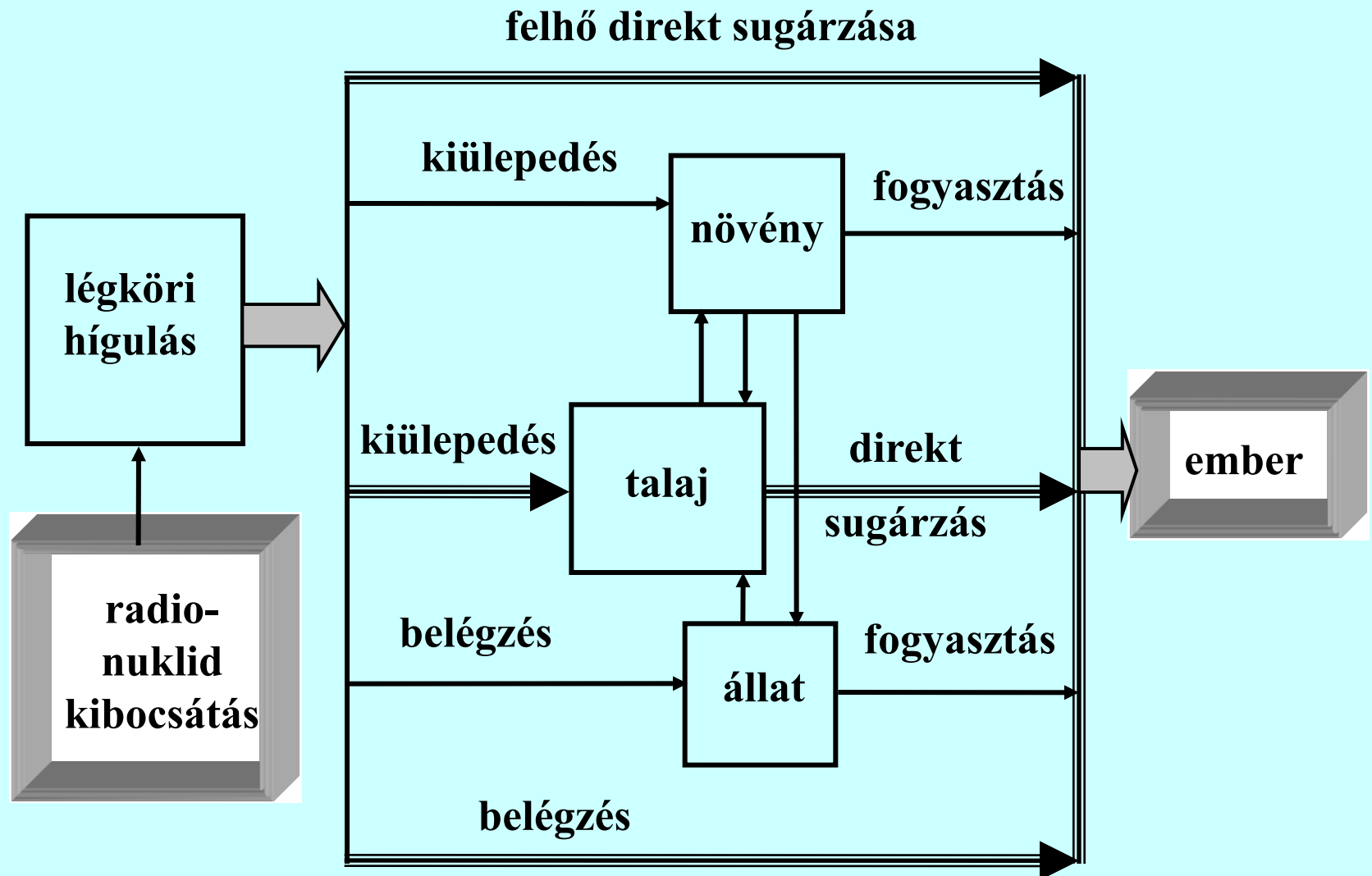


**vízi**

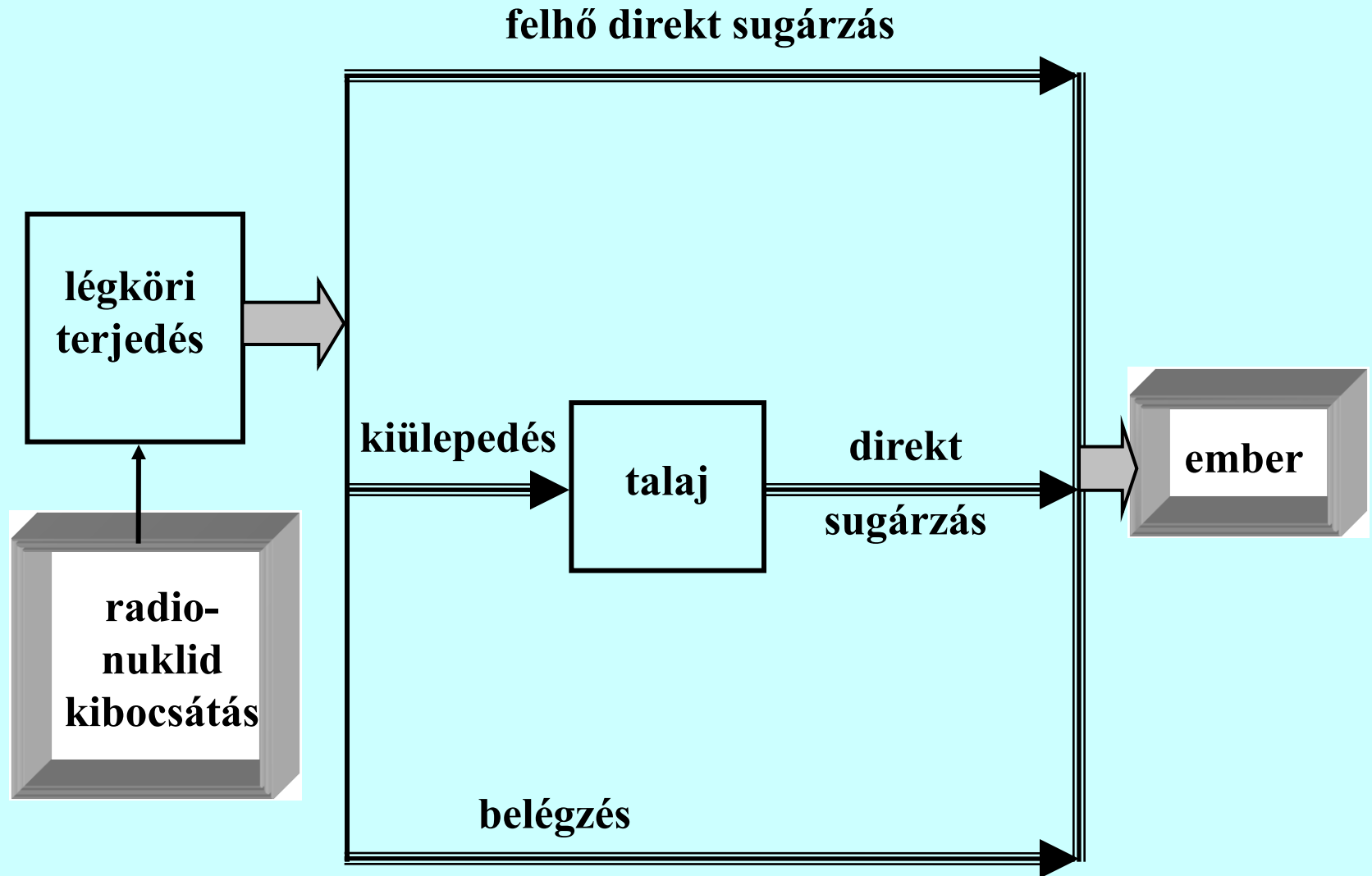
- külső
- belső



# Terjedés a légkörön át



# Közvetlen összetevők



# Közvetlen összetevők

- **Direkt (felhő) besugárzás:**  
béta-besugárzás ~ közeli levegőaktivitás-koncentráció  
gamma-besugárzás: teljes felhő (térfogati integrál)
- **Talajszennyezettség:** béta- és gamma-dózistér  
száraz kiülepedésből és kimosásból
- **Belégzés:** ~ talajközeli levegőaktivitás-koncentráció

*Csökkenés: épület védőhatás (árnyékolás, jelentős légszigetelés)*

# **Mi kell a közvetlen összetevők meghatározásához?**

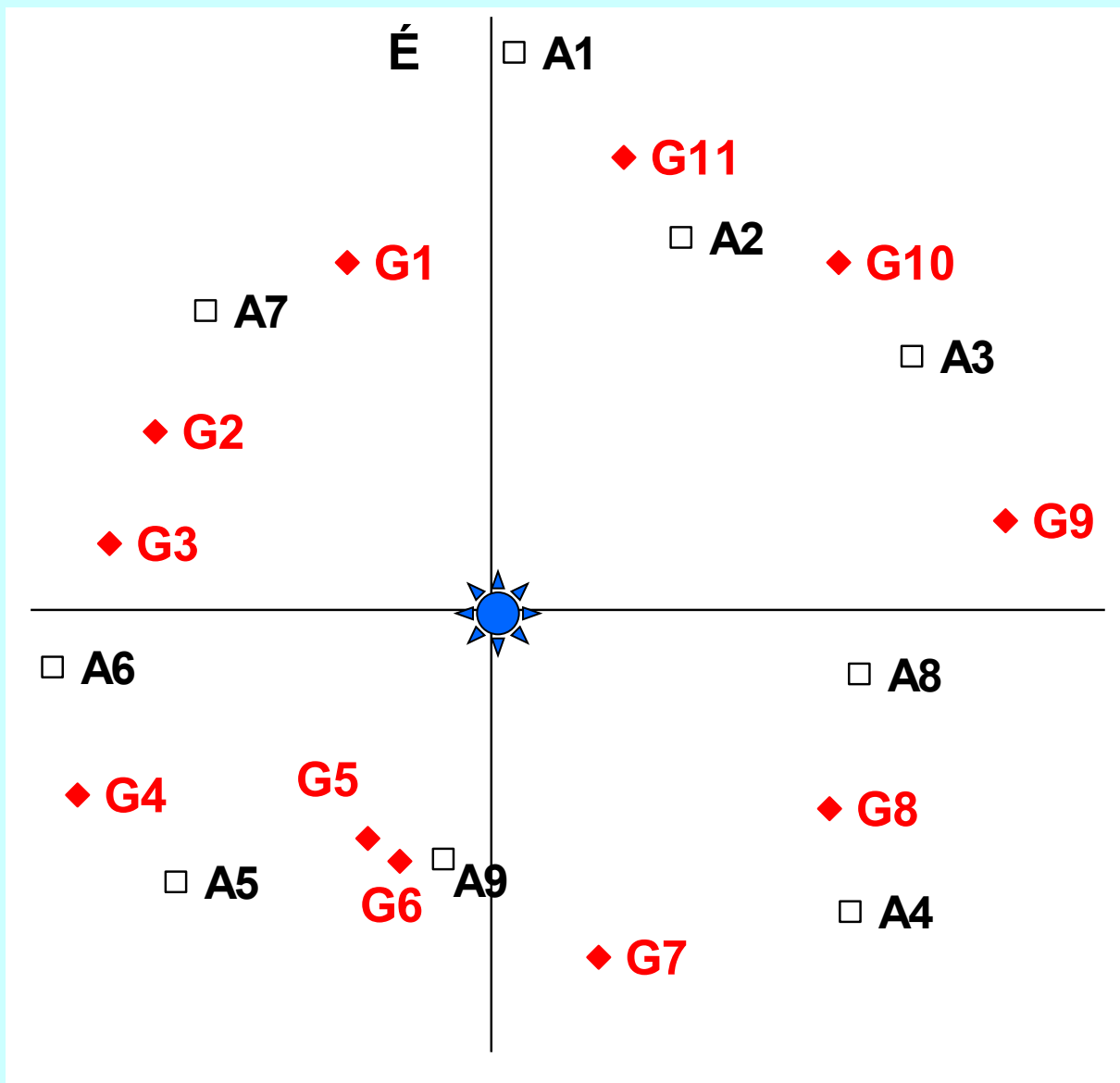
- 1. Kibocsátási adatok  
mikor, mi, mennyi, hol (magasság)**
- 2. A meteorológiai adatok  
szélirány, szélesebesség, diszperziós jellemzők, keveredési réteg, csapadék**
- 3. topográfiai adatok és felszíni jellemzők (növénytakaró)**
- 4. radioökológiai adatok (a reprezentatív személy jellemzői)**

# Kibocsátási adatok

- 1. Kibocsátás mért ponton, pl. szellőzőkémény. Kell a nuklidonkénti aktivitás, radiojódnál a forma is.**
- 2. Kibocsátás nem mért ponton, pl. súlyos üzemzavar esetén. Ebben az esetben lehetőség van modellszámításra, de többnyire kevés az adat, környezeti mérés alapján a kibocsátás csak becsülhető.**
- 3. Balesetnél még kell a jövőben várható kibocsátás, ez technológiai kérdés.**



# Dózisteljesítmény és légszennyezettség távmérő állomások



A - komplex  
G - csak gamma-  
dózisteljesítmény  
mérés

# Meteorológiai adatok

- 1. Elsődlegesen fontos a kibocsátási pontra vonatkozó adatsor, de kell térben távolabbi és időben előre jelzett adatbázis.**
- 2. A szélirány és szélsébség adott helyen is magasságfüggő.**
- 3. A diszperziós jellemzők (a csóva vízszintes és függőleges szétterülése) több féle módon is megadhatók, keveredési réteg csak közelítőleg.**
- 4. csapadék (talajszennyezettség, csóvaszegényedés)**

# Topográfiai adatok és felszíni jellemzők

- 1. Síkvidéken viszonylag egyszerű a helyzet, de a nagy vízfelületek zavaróak.**
- 2. Hegyvidéken az áramlások nagyon helyfüggők (pl. Budapesti Kutatóreaktor), a helyfüggés szélirány és szélesebességfüggő.**
- 3. A növénytakaró befolyásolja a diszperziót és a száraz kiülepedést.**

# Korrektációs tényezők

- **Épületek árnyékoló hatása**
  - **Árnyékolási korrektációs tényezők**
  - **Külön tényezők vonatkoznak a felhősugárzásra, a talajsugárzásra, az inhalációra és a bőrre való kiülepedésre**
- **Épületben való tartózkodás**
  - **benntartózkodási időhányad**
- **Óvintézkedések bevezetése után megváltoznak az árnyékolási viszonyok**
- **Korrektációs faktor  $\Rightarrow$  korrigált dózisok szervenként  $\Rightarrow$  épülethatás**

# Radioökológiai adatok (1)

**Normál üzemben a dózismegszorítás a kritikus csoportra vonatkozik, ezt ki kell jelölni (új definíció: reprezentatív személy)**

**OTH 40-6/1998.**

**a Paksi Atomerőmű telephelyére vonatkozó dózismegszorítás  $100 \mu\text{Sv}/\text{év}$ ,  
az erőmű járuléka  $90 \mu\text{Sv}/\text{év}$  lehet.**

**A lakosság vonatkoztatási csoportja:**

**1-5 éves gyermekek hipotetikus csoportja,**

**a légköri kibocsátásokat tekintve csámpai,**

**a vízi kibocsátások vonatkozásában gerjeni lakóhellyel**

**$\Rightarrow$  kibocsátási határérték (30% a bejelentési érték)**

## **Radioökológiai adatok (2)**

**Üzemzavar esetén csak zónák vannak, az intézkedések a várható dózisokra vonatkoznak. Eddig a megtakarítható dózisokat kellett meghatározni, az új ICRP ajánlás alapján már a kritikus szint az irányadó.**

# A légköri terjedés modellezése (1)

**A terjedési modellek célja:**

**egy adott forrásból származó szennyezőanyag nyomon követése, eloszlásának meghatározása az adott környezeti viszonyoknál**

- **Emisszió: kibocsátás, különböző forrástípusokból történhet: pont, vonal, területi.**
- **Transzmisszió: a szennyezőanyagok transzportja**
  - **Advekción**
  - **Diszperzió**
  - **Kiülepedés, kimosás**
  - **(Reszuszpenzió)**

## A légköri terjedés modellezése (2)

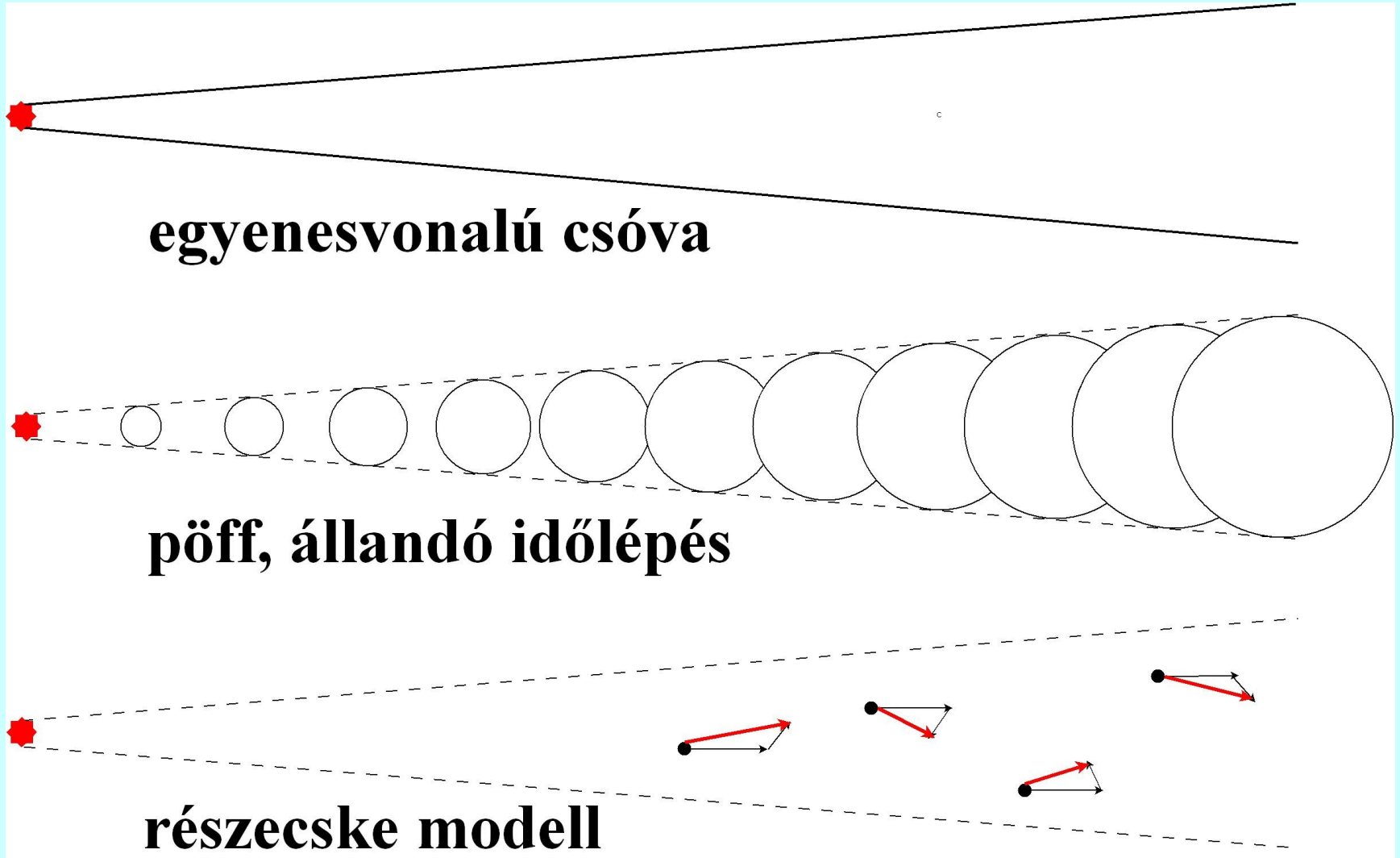
- **A térgeometriai megközelítés szempontjából kétféle szemléletmód létezik:**
  - **Lagrange: mozgó koordinátarendszer, légrészecskén belüli változások nyomon követése**
  - **Euler: rögzített koordinátarendszer, térbeli vizsgálódás**
- **Terjedési modellek**
  - **Stacionárius kibocsátás**
  - **Dinamikus kibocsátás**
- **Modelltípusok:**
  - **Csóva modell**
  - **Pöff modell**
  - **Részecske modell**



# Légköri modellek

- ***Csóva modell*** (Gauss-eloszlás vagy szektorátlagolt)
  - állandó szélirány és szélesebesség
- ***Pöfff modell*** (a csóva felbontása háromdimenziós Gauss-eloszlásra)
  - változó szélirány és szélesebesség
- ***Részecske modell*** (sok részecske egyéni pályával)
  - komplex felszín és széladat

# A légköri modellek



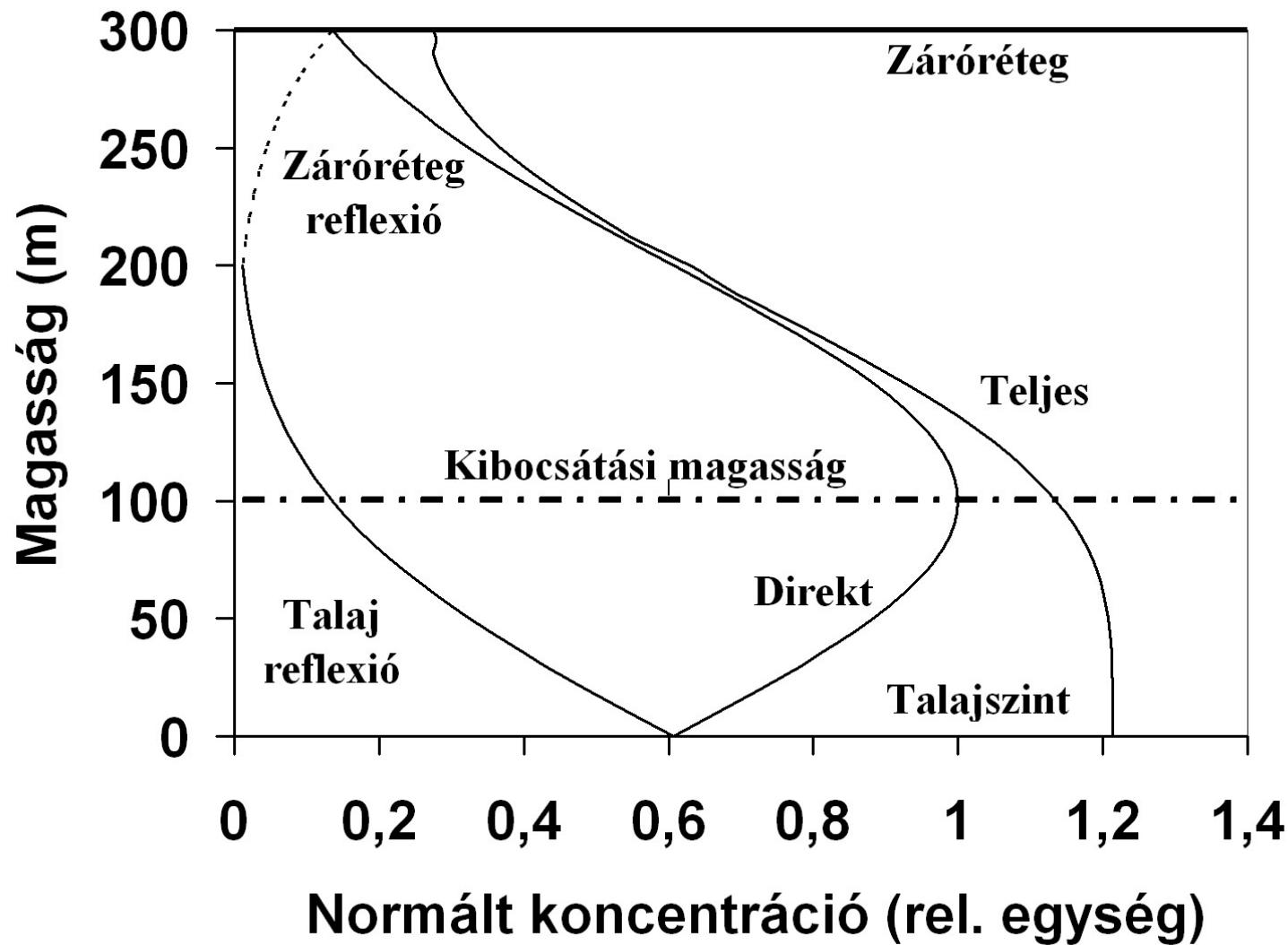
# A légköri koncentráció számítása

- **A csóvamodell egyenes irányú terjedést tételez fel.**
- **A lineáris hígulást a szélesség szabja meg.**
- **A csóvatengelyre merőleges irányokban Gauss-eloszlást tételez fel, amely függ az időjárástól (a talaj besugárzásától).**
- **A talajról (és a zárórétegről) teljes visszaverődés lép fel.**

$$C_A = \frac{Q_0}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[ \exp\left[-\frac{(z - H_{\text{eff}})^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z + H_{\text{eff}})^2}{2\sigma_z^2}\right] \right]$$

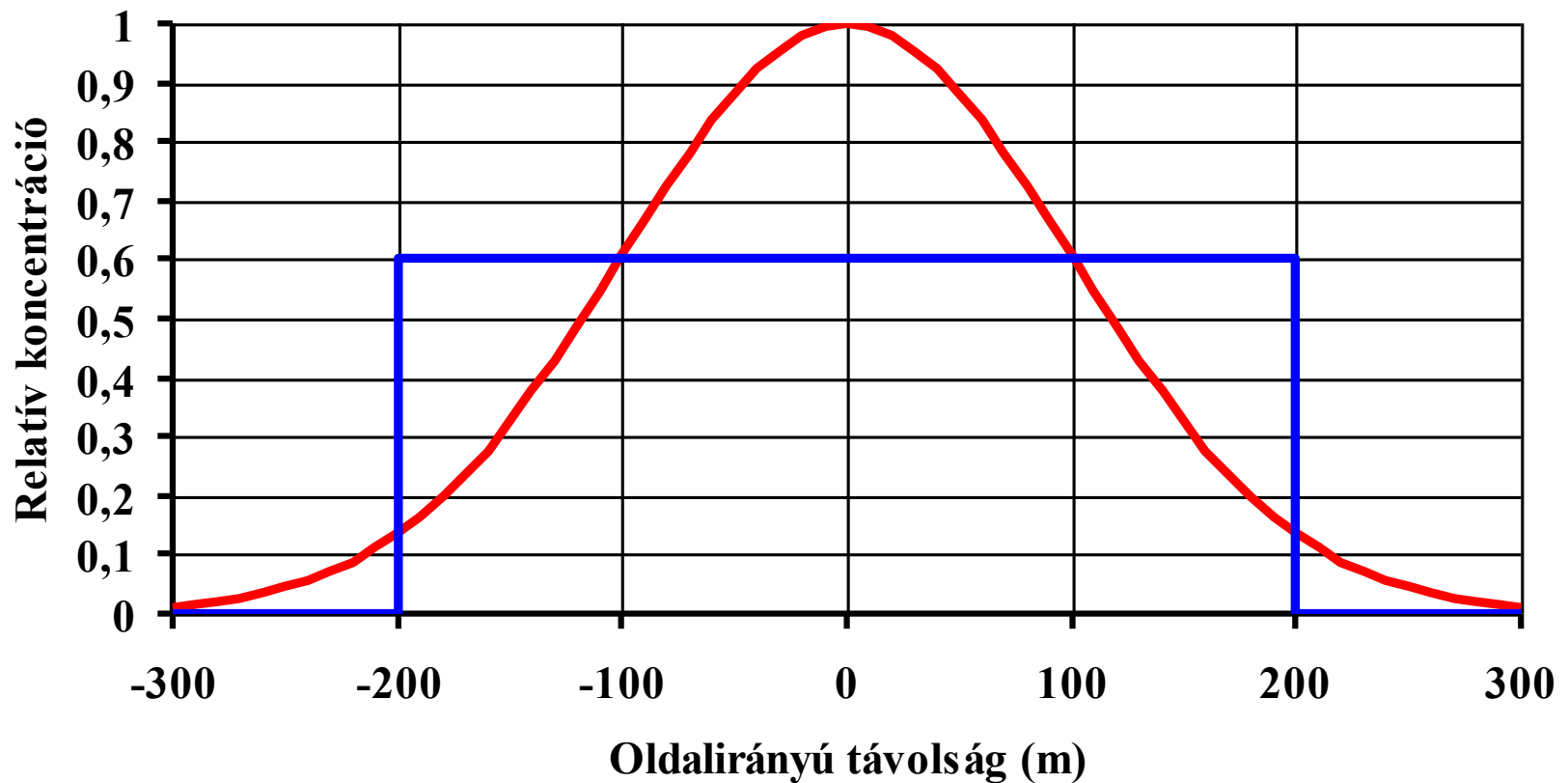
- $C_A(x,y,z)$  - adott helyen az aktivitás koncentráció (Bq/m<sup>3</sup>)
- $Q_0$  - az időegységre eső kibocsátott aktivitás (Bq/s)
- $u$  - a szélesebesség (m/s)
- $x$  - a szél irányába mutató vízszintes koordináta (m)
- $y$  - a szél irányára merőleges vízszintes koordináta (m)
- $z$  - a függőleges koordináta, a kibocsátási magasságtól mérve (m)
- $\sigma_y(x,s)$ ,  $\sigma_z(x,s)$  - diszperziós paraméterek (m)
- $H_{\text{eff}}$  - az effektív kibocsátási magasság (m)
- $s$  - Pasquill-kategória (a diszperzió mértékét adja meg)

# A szennyezés függőleges eloszlása



# A szennyezés vízszintes, keresztirányú eloszlása

Egyszerű csóvamodell (Gauss-eloszlás) - piros  
Szektorátlagolt csóvamodell (egyenletes eloszlás) - kék

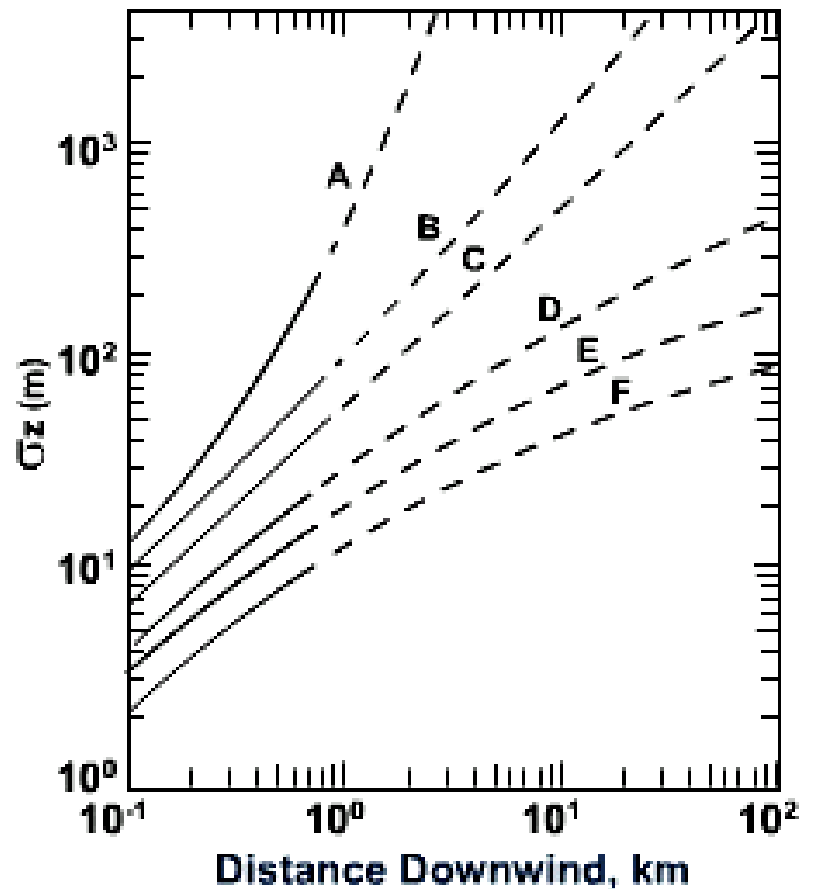
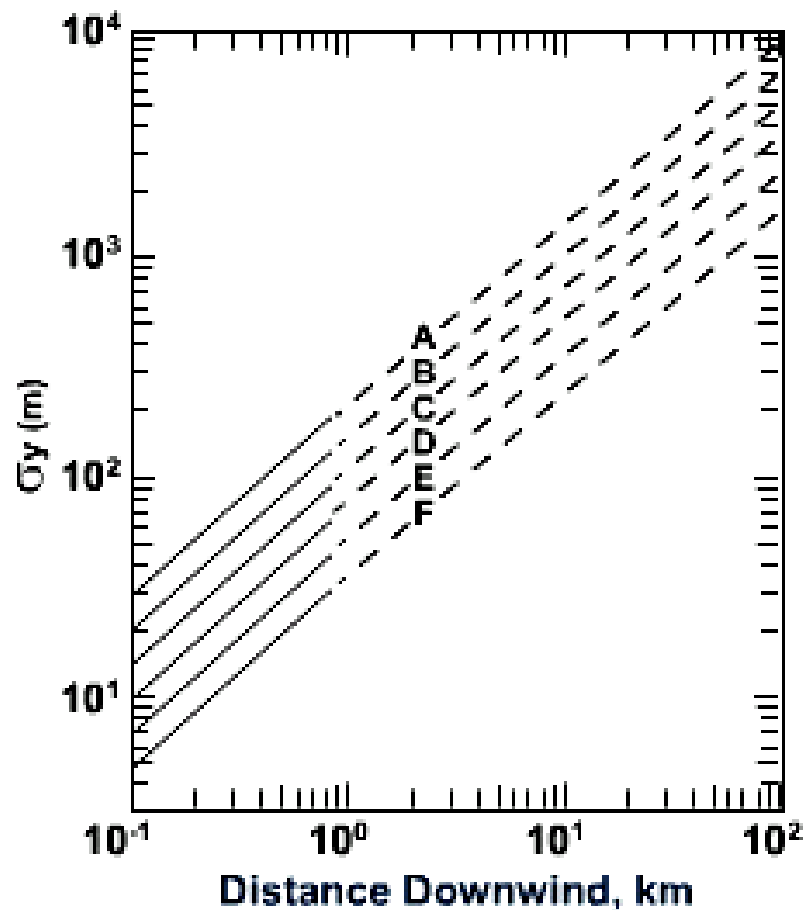


# A Pasquill-féle parametrizációs séma

- Hat különböző stabilitási kategóriát különböztet meg, A-tól F-ig, ahol F jelenti a legstabilabb esetet
- Pasquill a kategóriákat eredetileg a szélesebesség, a bejövő sugárzás és a felhőzet függvényében definiálta

A	Extrém instabil
B	Közepesen instabil
C	Enyhén instabil
D	Neutrális
E	Enyhén stabil
F	Közepesen stabil

Felszíni (10 m-en mért) szélesebesség [m/s]	Nappal			Éjszaka	
	Bejövő napsugárzás			Felhőzet	
	Erős	Közepes	Gyenge	$\geq 4/8$	$\leq 3/8$
<2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D



**Egy kategória változás  $\Rightarrow$  3–10-szeres koncentráció változás**



# A szükséges meteorológiai paraméterek

## A kibocsátás magasságában:

szélirány, szélesebesség. A komplex modellek több, eltérő magasságra vonatkozó adatot használnak.

## Ezen kívül:

csapadék;

a diszperzióra jellemző adat:

szélirány fluktuáció vagy

függőleges hőmérséklet gradiens vagy

besugárzás–kisugárzás egyenleg.

Mérés: 120 m-es meteorológiai torony + talajállomás

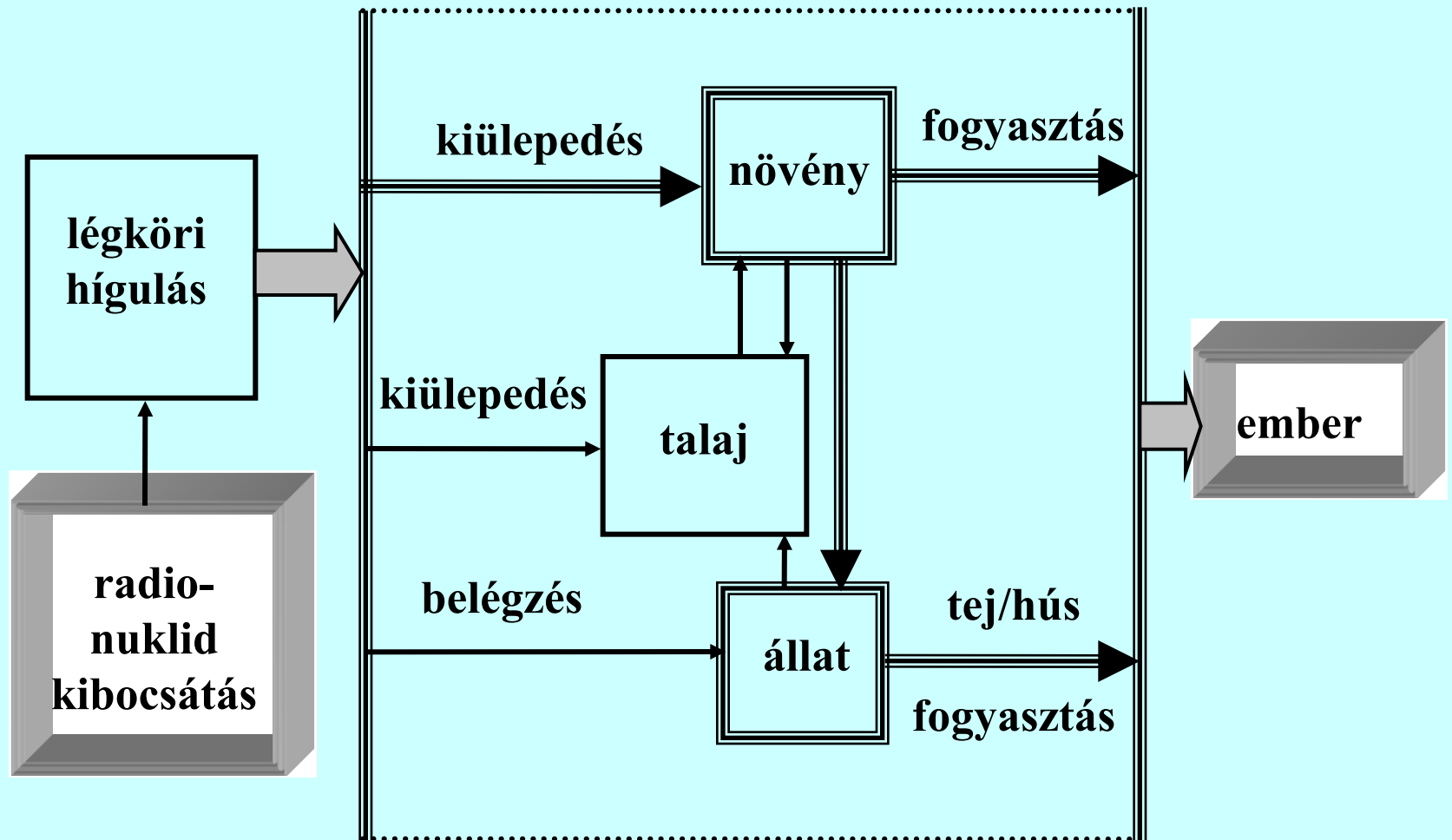
(10 perces gyakoriságú adat).

# Rövid és hosszú időre integrált dóziszok

- **A talajra kihullott radioaktív anyag a csóva elhaladása után tovább sugároz**
- **A kihullott radioaktív anyagok sugárzása a radioaktív bomlás, a lemosódás és a mezőgazdasági megművelés hatására csökken**
- **A dózis az időben csökkenő felületi szennyezettség, a dóziskonverziós tényező, valamint a talajsugárzásra és a normál életvitelre vonatkozó korrekciós tényező szorzatának az adott időintervallumra vonatkozó időbeli integrálja**

# Élelmiszerlánc

(leveles zöldség, tej, hús a kritikus útvonal)



# Élelmiszerfogyasztástól eredő dózisek

- Pl. 10 élelmiszercsoportot különböztetünk meg

<b>Tej</b>	<b>Marhahús</b>	<b>Sertéshús</b>	<b>Baromfihús</b>	<b>Pékáruk</b>
<b>Leveles zöldségfélék</b>	<b>Gumós növények</b>	<b>Gyümölcs</b>	<b>Ivóvíz</b>	<b>Egyéb élelmiszerek</b>

- **Konverziós tényezők szorzásával meghatározzuk, hogy a talajfelszínre történő kiülepedés mellett mekkora aktivitás jelenik meg az adott élelmiszerben a balesetet követő idő függvényében.**
- **A napi és negyedévi számításoknál különbséget teszünk tavaszi, nyári, őszi és téli kihullások között.**

# **Az élelmiszerfogyasztástól eredő dózisek**

- **Az aktivitás növekmény az élelmiszerkoncentráció és az adott időszak (nap, negyedév, év) alatti felnőtt, illetve gyermek fogyasztás szorzata, figyelembe véve az időszak hosszát.**
- **Az aktivitásokból a felnőttekre, illetve gyermekekre vonatkozó dóziskonverziós tényezőkkel való szorzások és súlyozott átlagolás után kapjuk a pajzsmirigy és a vörös csontvelő lekötött dóziseket, valamint a lekötött effektív dózist.**

# Légköri terjedési programok

- **Tanulmányokhoz:**
  - **PC CREAM** - normálüzemi, szektorátlagolt modell, EU
  - **PC COSYMA** - üzemzavari, csóvamodell, EU
- **On-line: DOSE\_ON** - üzemzavari, on-line, valós idejű, kis távolságok, hazai
- **Döntéshozókészítő:**
  - **SINAC (OAH)**
  - **RODOS (Katasztrófavédelem)**
  - **TREX részecskemodell (PA Zrt)**

## **DOSE\_ON (Paks, on-line)**

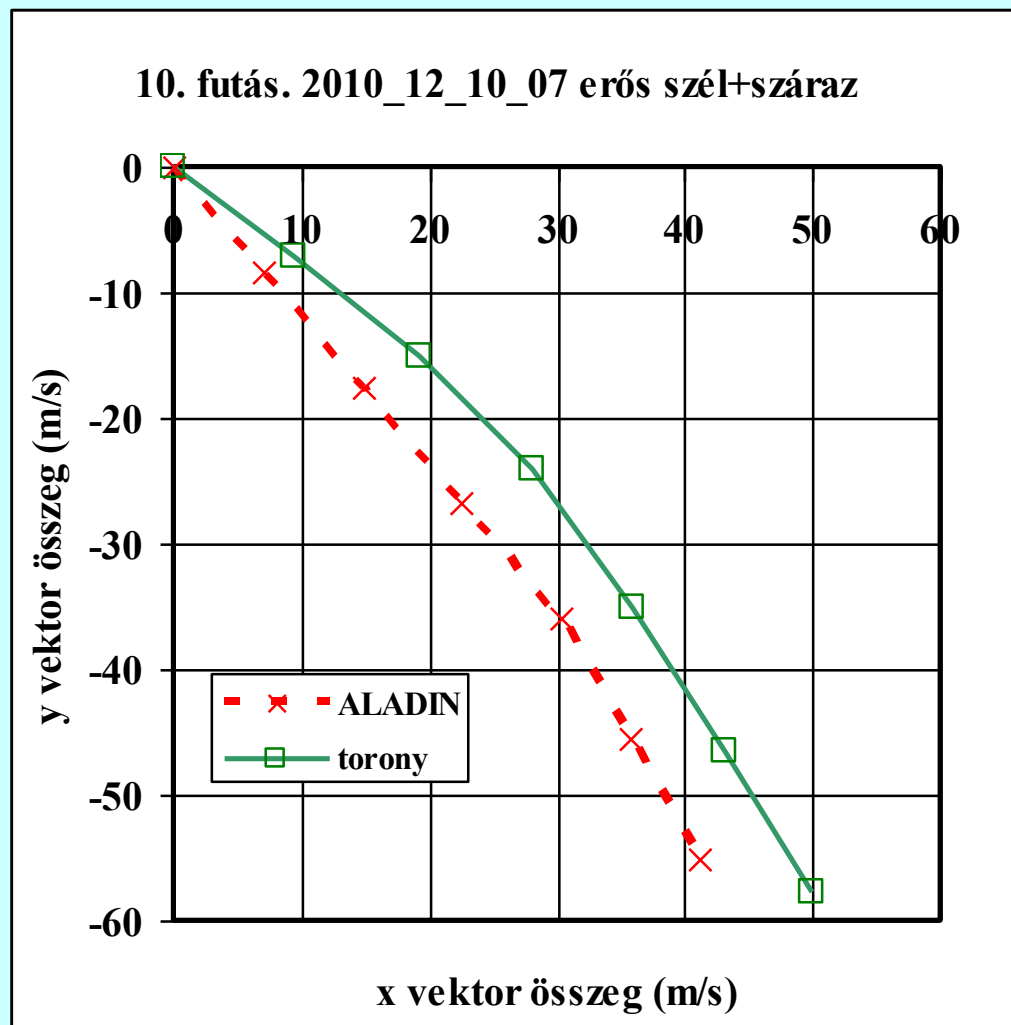
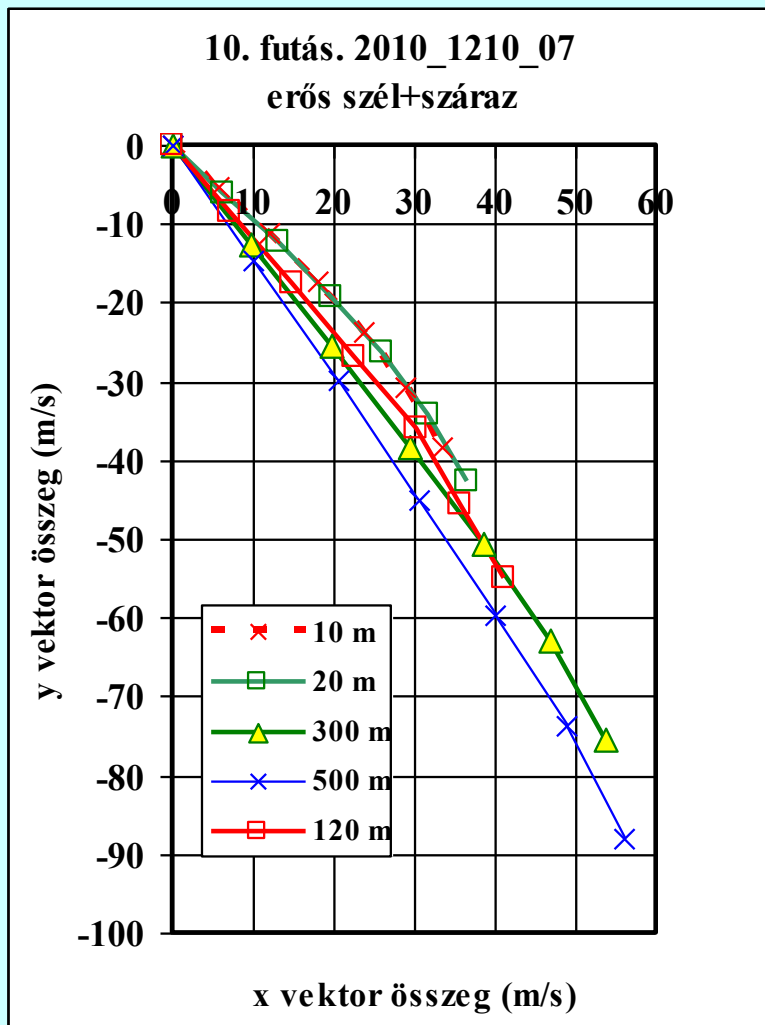
- **Üzemzavari, a mért kibocsátási és meteorológia adatok alapján számítja ki a környezeti direkt dózisokat 10 perces felbontással.**
- **Figyelembe veszi a távmérő állomások jelzését és szükség szerint korrekcióra használja fel. Ez a nem mért, nem a szellőzőkéményen át történő részleges kibocsátás esete.**

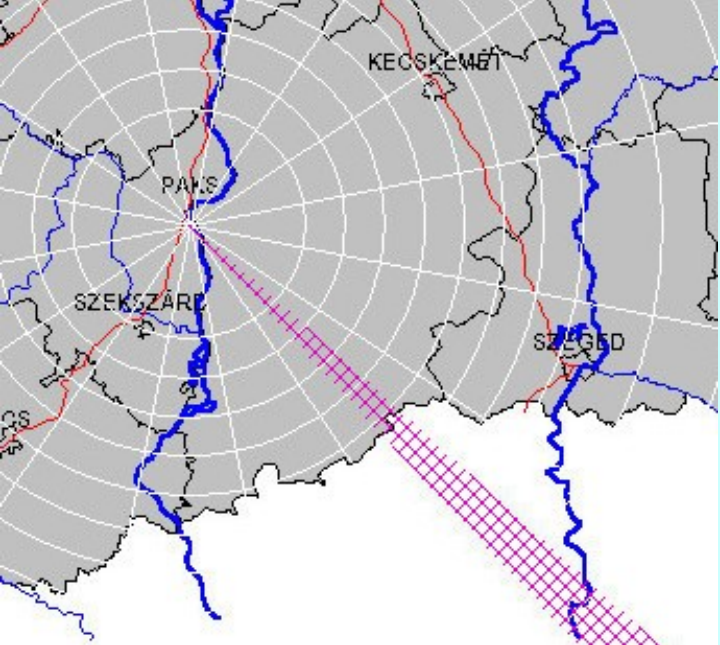
# SINAC, RODOS, TREX

- E programok segítségével meg lehet jeleníteni a környezet radiológiai állapotát, a levegőbeli radioaktív koncentrációkat, a talajra kihullott aktivitást, a felhőtől és a kiülepedésből származó dózisokat, a korai determinisztikus egészségi hatásokat, a várható későbbi állapotokat és következményeket (lekötött dózisok, késői egészségi hatások).
- A programok javaslatokat adnak a bevezetendő óvintézkedésekre, kiszámítja azok következményeit, össze lehet hasonlítani a különböző forgatókönyvek alapján végzett szimulációkat.

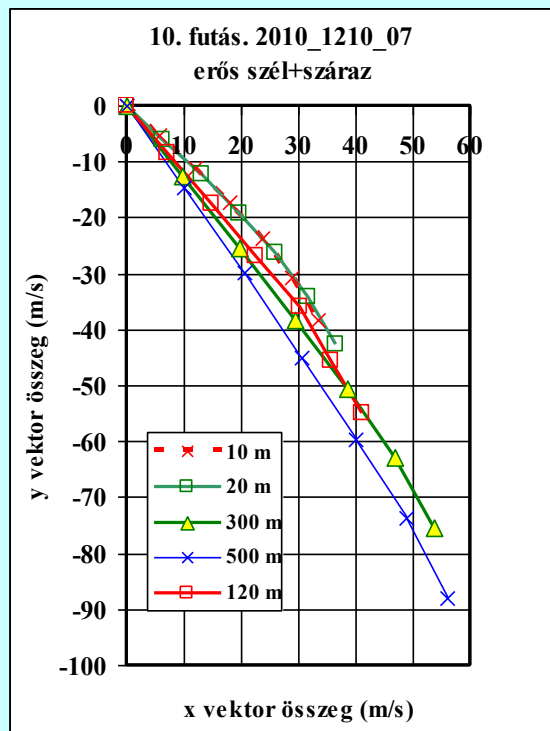
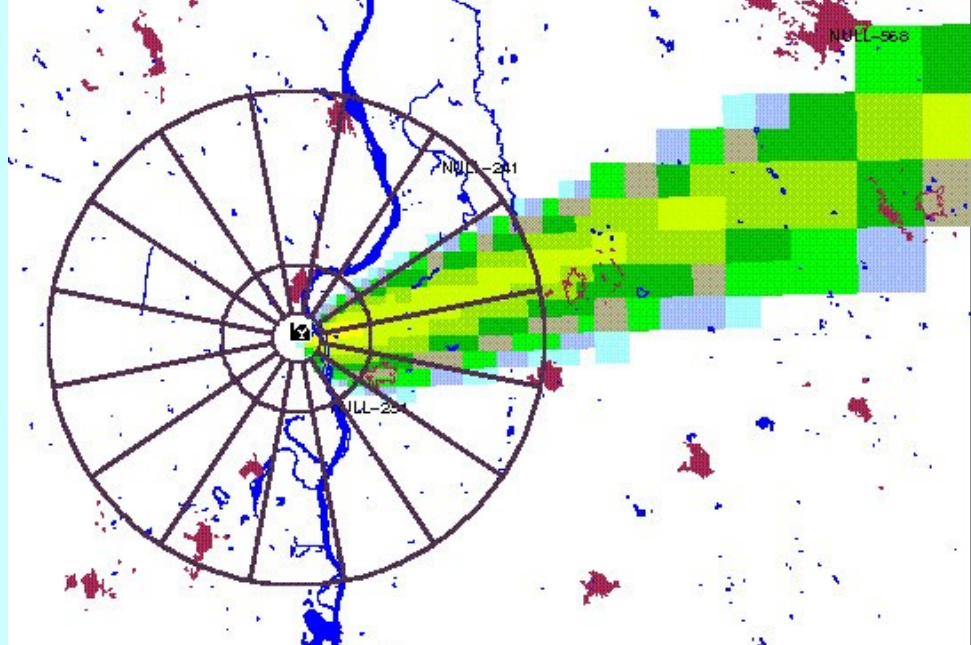


# A szélirány + szélesebesség magasságfüggése, ALADIN és toronyadat

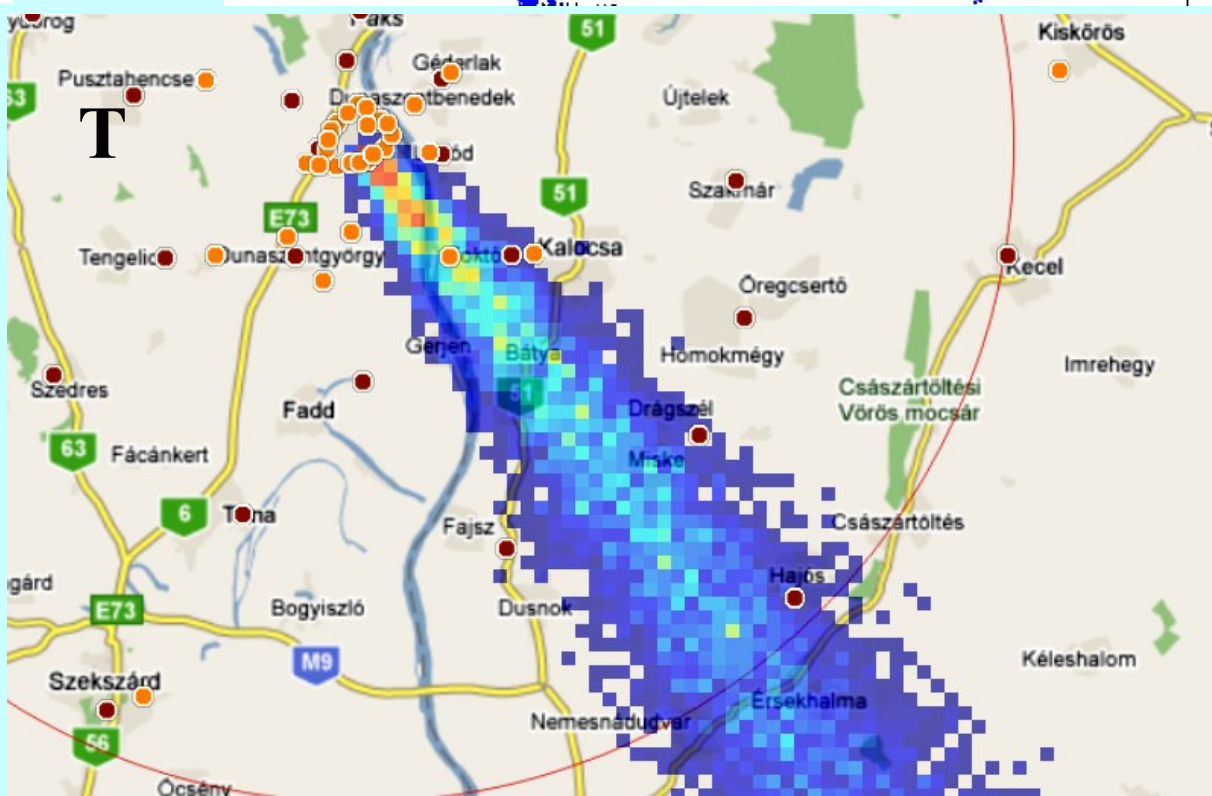




**S R**

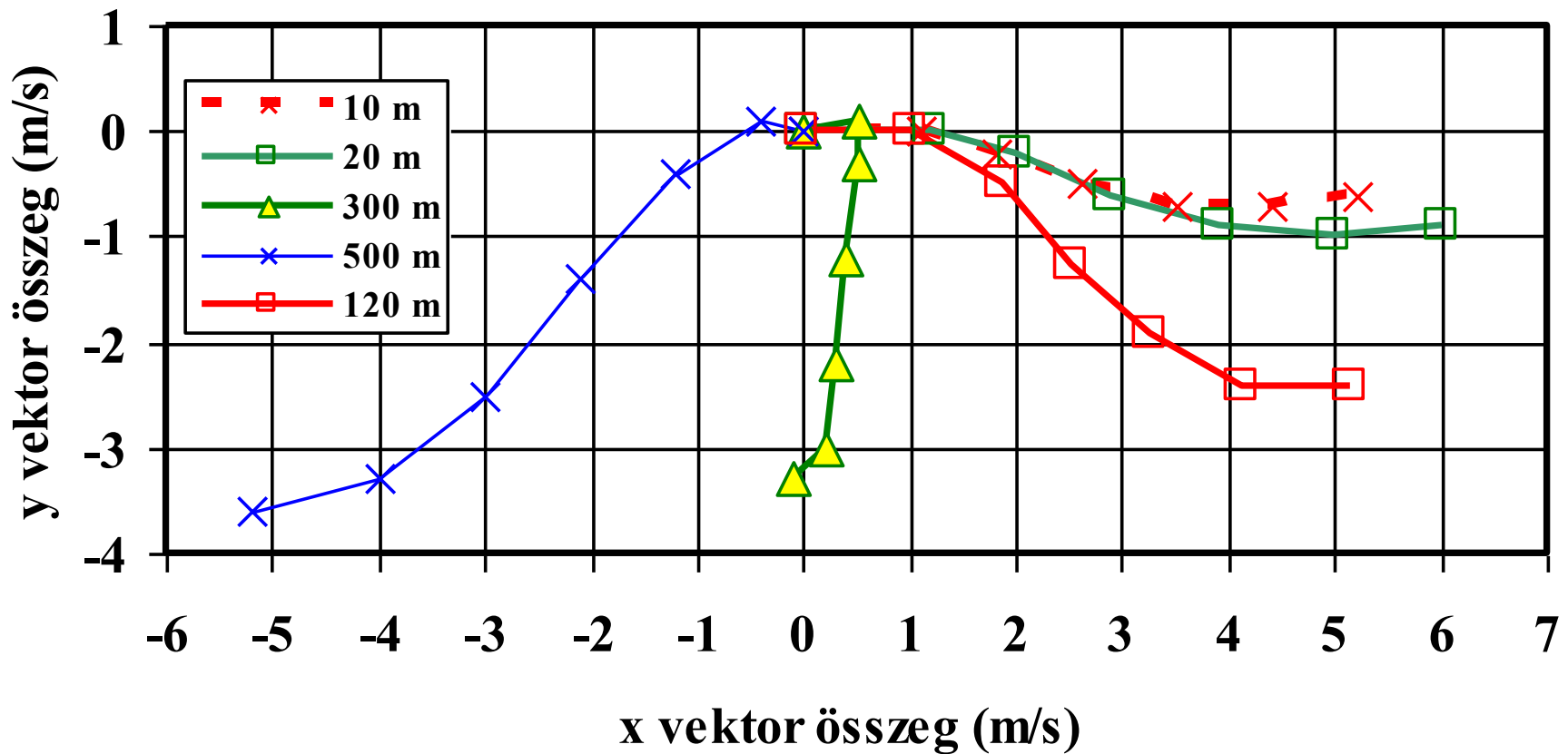


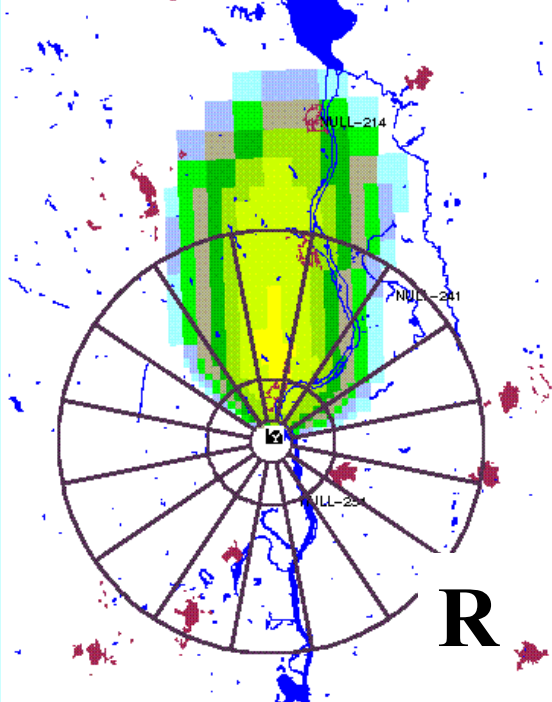
**T**



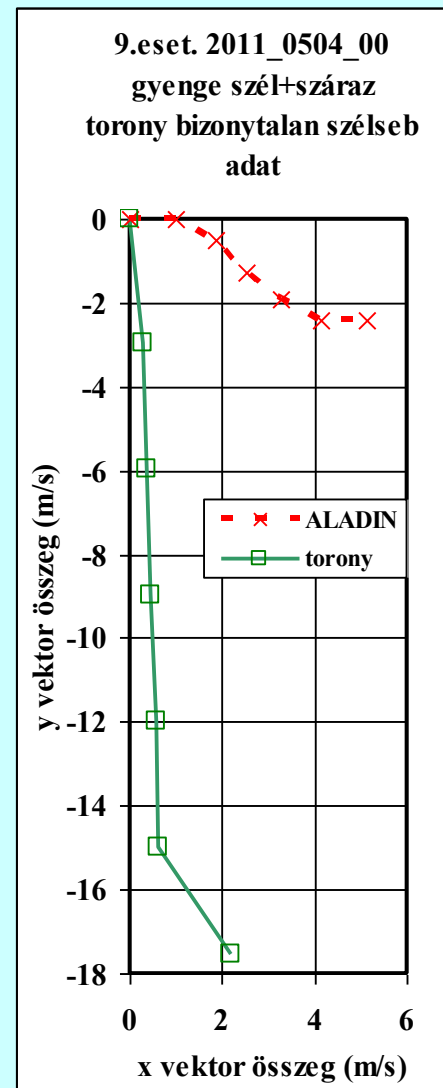
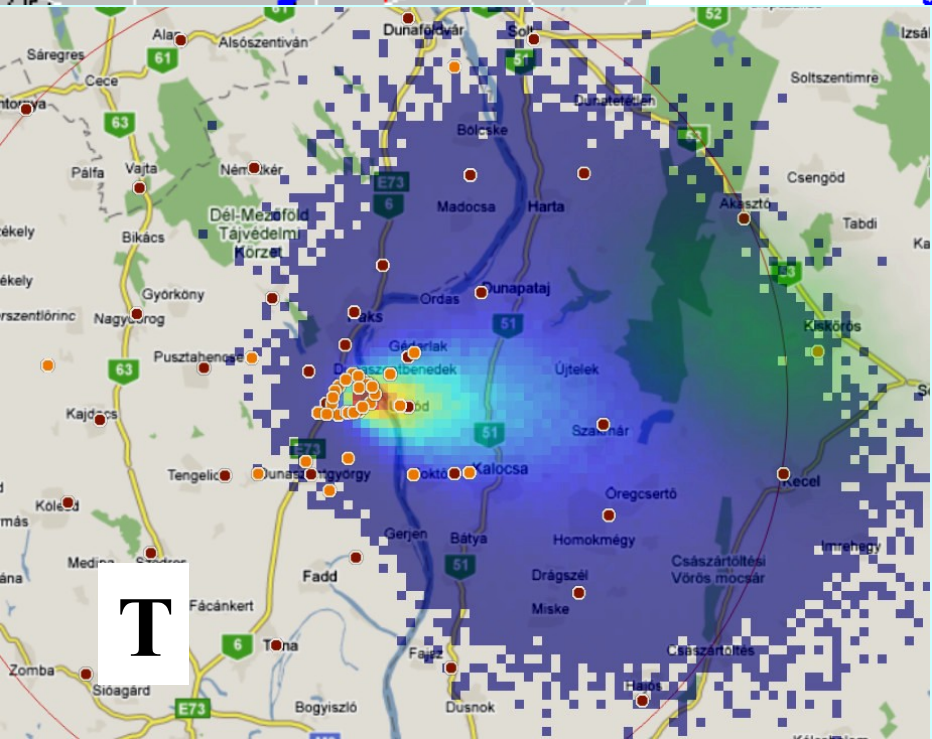
# A szélirány + -sebesség magassághfüggése ALADIN és toronyadat

9. eset. 2011\_0304\_00 gyenge szél+szárász





**Az előző esetre  
(gyenge szél)  
számított terjedés 6  
óra alatt**



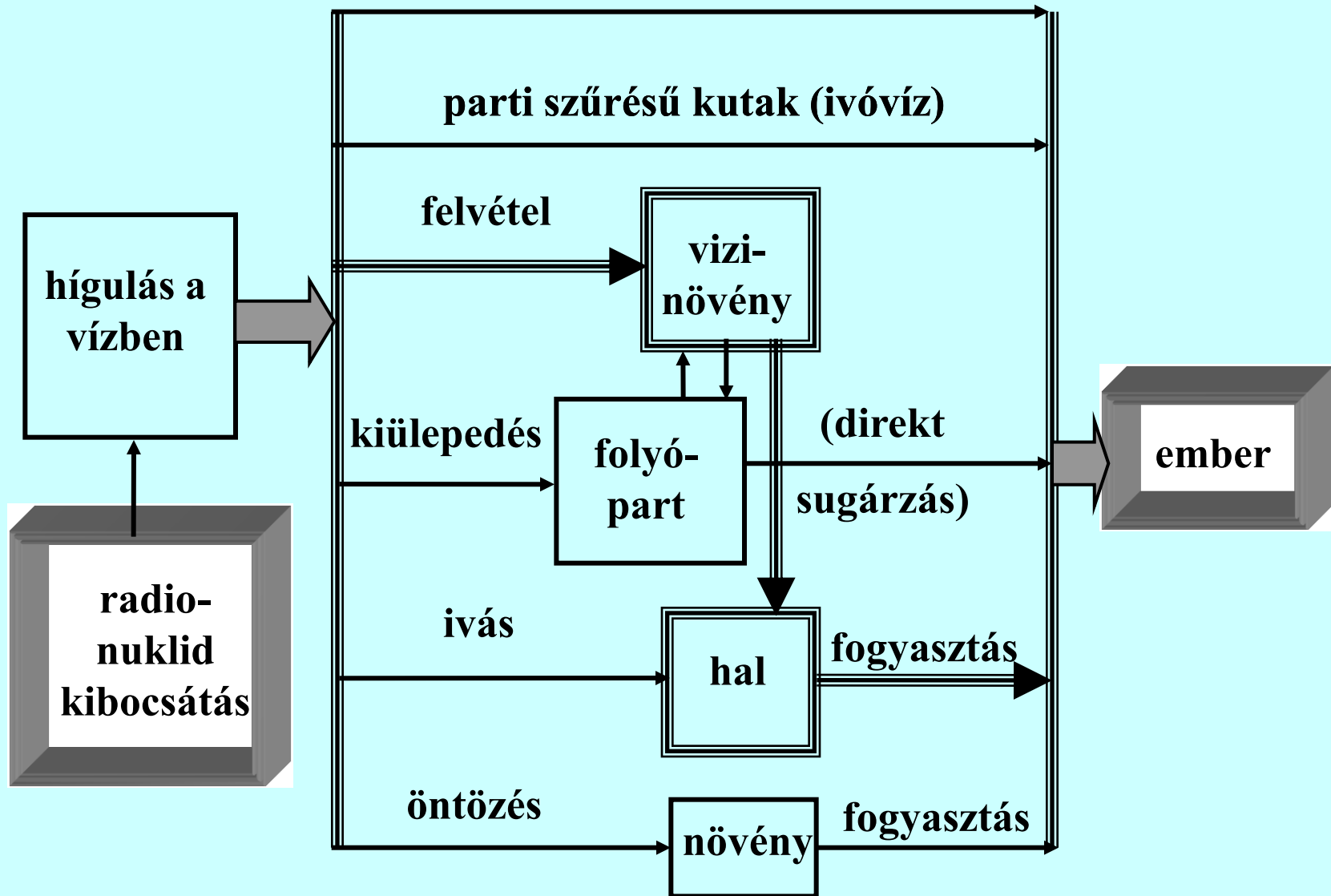
# Vízi terjedési modellek

- **A kibocsátás csak élővízbe történik.**
- **A folyamatok megegyeznek a légköri terjedési folyamatokkal, de eltérő léptékűek:**
  - **transzmisszió;**
  - **hígulás;**
  - **kiülepedés;**
  - **vízínövénny > növényevő hal > ragadozó hal > víziszárnyas**
- **Vízfogyasztás és öntözés**



# Terjedés a vízen át

direkt sugárzás vízben, parton



# A vízi kibocsátás mérése

- **Kibocsátás csak ellenőrzöten (tartályok átemelő szivattyúkkal) történhet.**  
**További ellenőrzés:**
- **Azonos rendszer a hidegvíz és a melegvíz csatornánál (+ fekáliás)**
- **Folyamatos mintavétel laboratóriumi méréshez**
- **Folyamatos gamma-aktivitáskoncentráció távmérés**
- **Vízforgalom mérés**

# Összefoglalás

**TERJEDÉSI MODELLEK:** kibocsátás a légkörön és a vízen át  
**KÖRNYEZETI DÓZIS:** végső soron a környezetben élő embert  
érintő sugárzás közvetlen és közvetett dózisa

## **BECSLÉS**

- normál üzem esetén – konzervatív, kibocsátás alapján
- balesetkor – legjobb közelítés, kibocsátási/környezetben mért adatok alapján.

**A bizonytalanság nagyon nagy,**

- ha nem mérhető közvetlenül a kibocsátás,
- ha előre kell jelezni a kibocsátást,
- ha bizonytalan a szélmező.



**itt a vége,**



**...véle!**