

Simulace možného výskytu horkých míst při únicích radioaktivity při neobvyklých povětrnostních epizodách.

Petr Pecha, Ondřej Tichý

Programový systém **HARP** - **HA**azardous **R**adioactivity **P**ropagation

Hlavní určení: Modelování náhodných trajektorií toxického mraku, inverzní modelování pro upřesnění skutečných parametrů úniku, pravděpodobnostní přístup, kdy jsou hledány pravděpodobnostní odpovědi na otázky hodnocení následků.

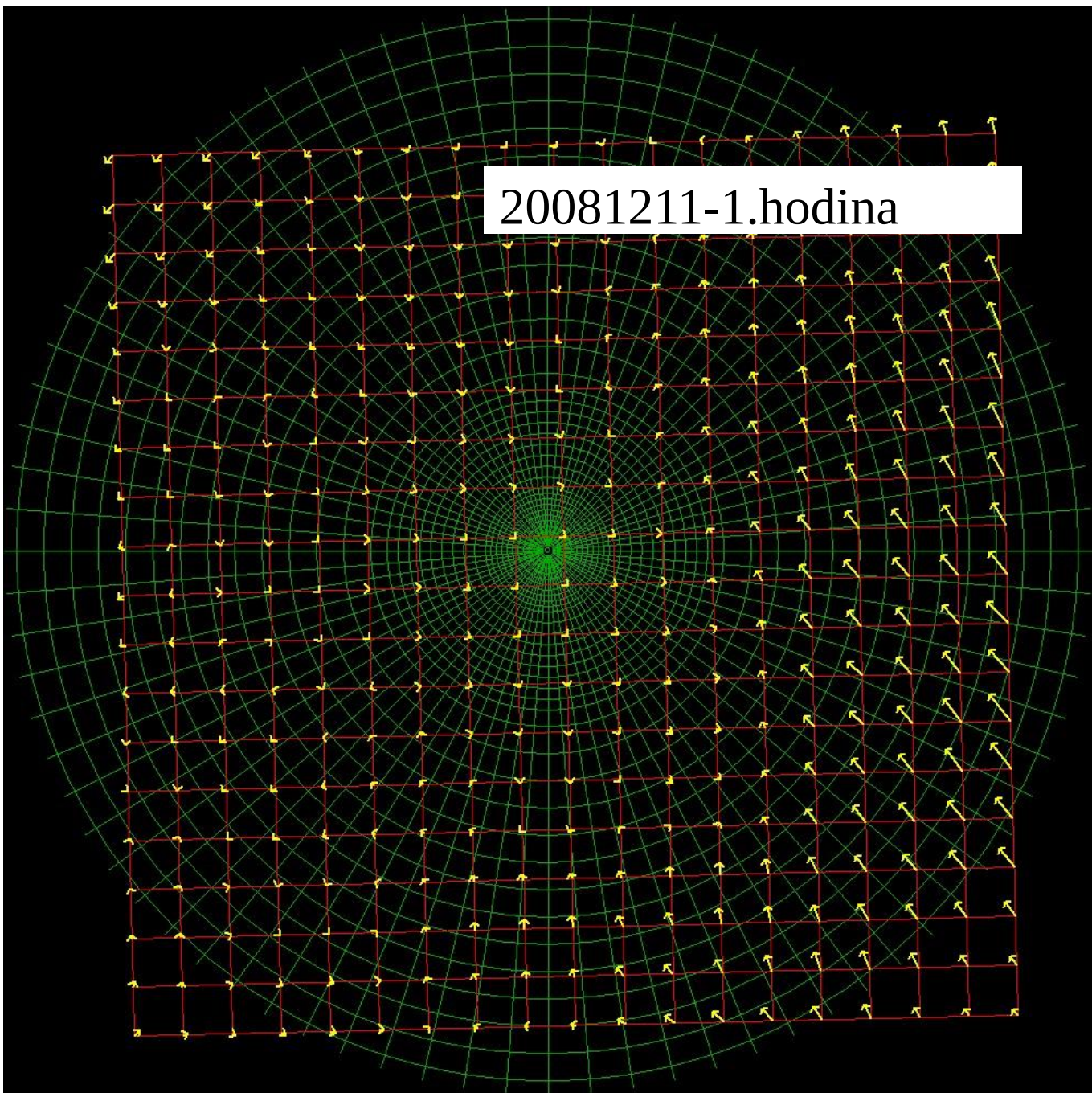
Deterministická verze řešila ad hoc celou řadu speciálních scénářů z oblasti worst-case analýz, dílčí úlohy pro Černobyl, Fukušimu, únik jódu v Maďarsku, transport $\text{Te132} \rightarrow \text{I132A}$ na terénu, vodní clona, orkán Kirill, analýzy dávek pro kritické skupiny obyvatel, průchod mraku pásmem deště, atd.

Zde příspěvek k problematice:

Možné důsledky mimořádných úniků radioaktivity při malých rychlostech větru až bezvětrí (CALM situace)

Celoevropsky: pravděpodobnost výskytu 8 až 15 % ($u < 0.5 \text{ m/s}$)

20081211-1.hodina



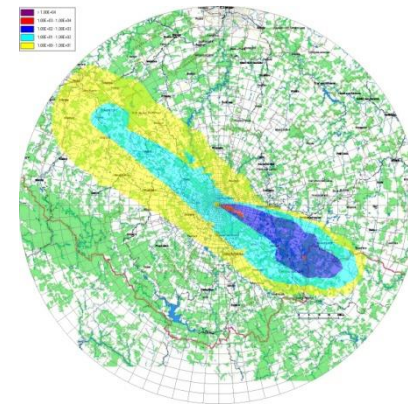
FECZ data - ETE:

.....					
2009010120	F	0.6	308	0.00	-8.6
2009010121	F	0.4	305	0.00	-8.7
2009010122	F	0.4	264	0.00	-8.5
2009010123	F	0.5	229	0.01	-8.6
2009010200	D	0.3	245	0.00	-5.8
2009010201	D	0.2	245	0.00	-6.3
2009010202	D	0.1	297	0.00	-6.6
2009010203	F	0.1	303	0.01	-6.6
2009010204	F	0.1	34	0.03	-6.6
2009010205	F	0.1	130	0.05	-6.6
2009010206	F	0.0	169	0.04	-6.7
2009010207	F	0.1	26	0.02	-6.9
2009010208	D	0.2	3	0.01	-6.6
2009010209	C	0.2	315	0.01	-6.1
2009010210	A	0.6	322	0.01	-5.3
2009010211	B	1.1	338	0.01	-4.5
2009010212	B	1.3	344	0.00	-3.5
2009010213	B	1.4	351	0.06	-3.2
2009010214	B	1.7	355	0.03	-3.3
.....					

FECZ data - EDU:

.....					
2009052004	F	0.4	337	0.00	9.4
2009052005	F	0.4	327	0.00	11.4
2009052006	C	0.2	288	0.00	14.2
2009052007	A	0.0	192	0.00	16.3
2009052008	A	0.1	293	0.00	18.0
2009052009	A	0.2	200	0.00	19.2
2009052010	A	0.2	211	0.00	20.1
2009052011	A	0.5	197	0.00	21.0
.....					

HIRL-20090509_00



FECZ data - EDU:

.....					
2009011618	F	0.9	17	0.00	-5.4
2009011619	F	0.4	360	0.00	-6.0
2009011620	F	0.4	358	0.00	-6.4
2009011621	F	0.3	33	0.00	-7.0
2009011622	F	0.1	99	0.00	-7.2
2009011623	F	0.2	170	0.00	-7.0
2009011700	F	0.2	166	0.00	-7.3
2009011701	F	0.1	134	0.04	-6.9
2009011702	F	0.1	130	0.02	-6.6
2009011703	F	0.4	227	0.01	-6.2
2009011704	F	0.4	191	0.01	-5.9
2009011705	F	0.6	198	0.02	-5.6
.....					

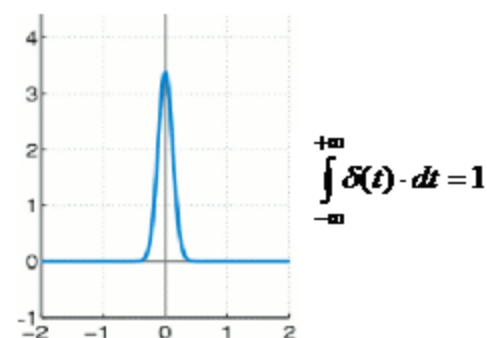
SCÉNÁŘ ÚNIKU: trvání bezvětrí 2 hodiny

6 diskretních pulzů radioaktivity (po 20ti minutách)

vždy celkový únik za 20 min v [Bq]

(obecně jiný vzhled, izotop. složení úniku, ...)

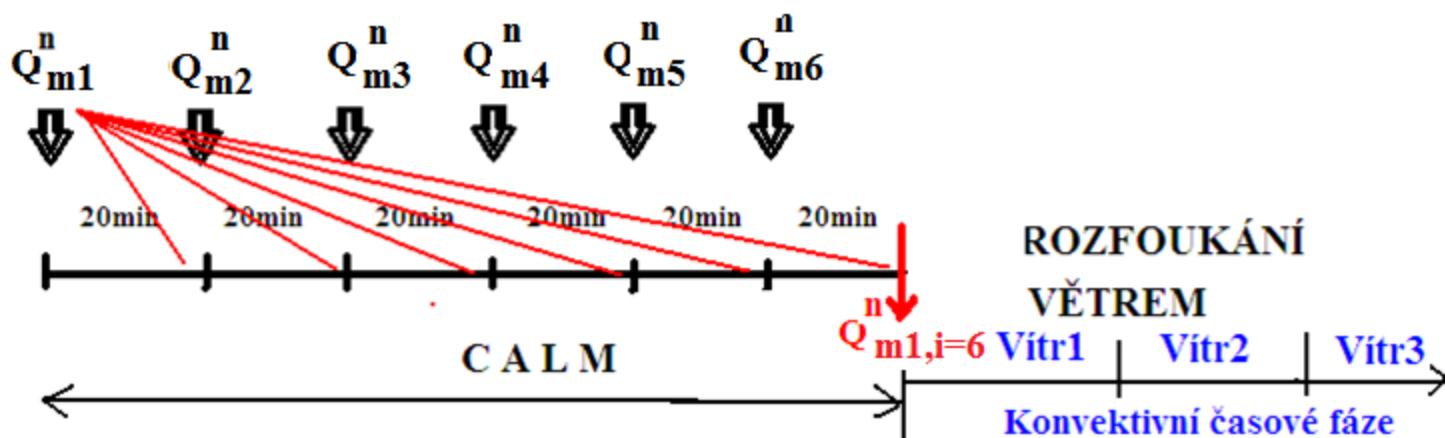
Modelujeme stáří i pulzu zrozeného v m : $Q_{m1,i=6}^n$

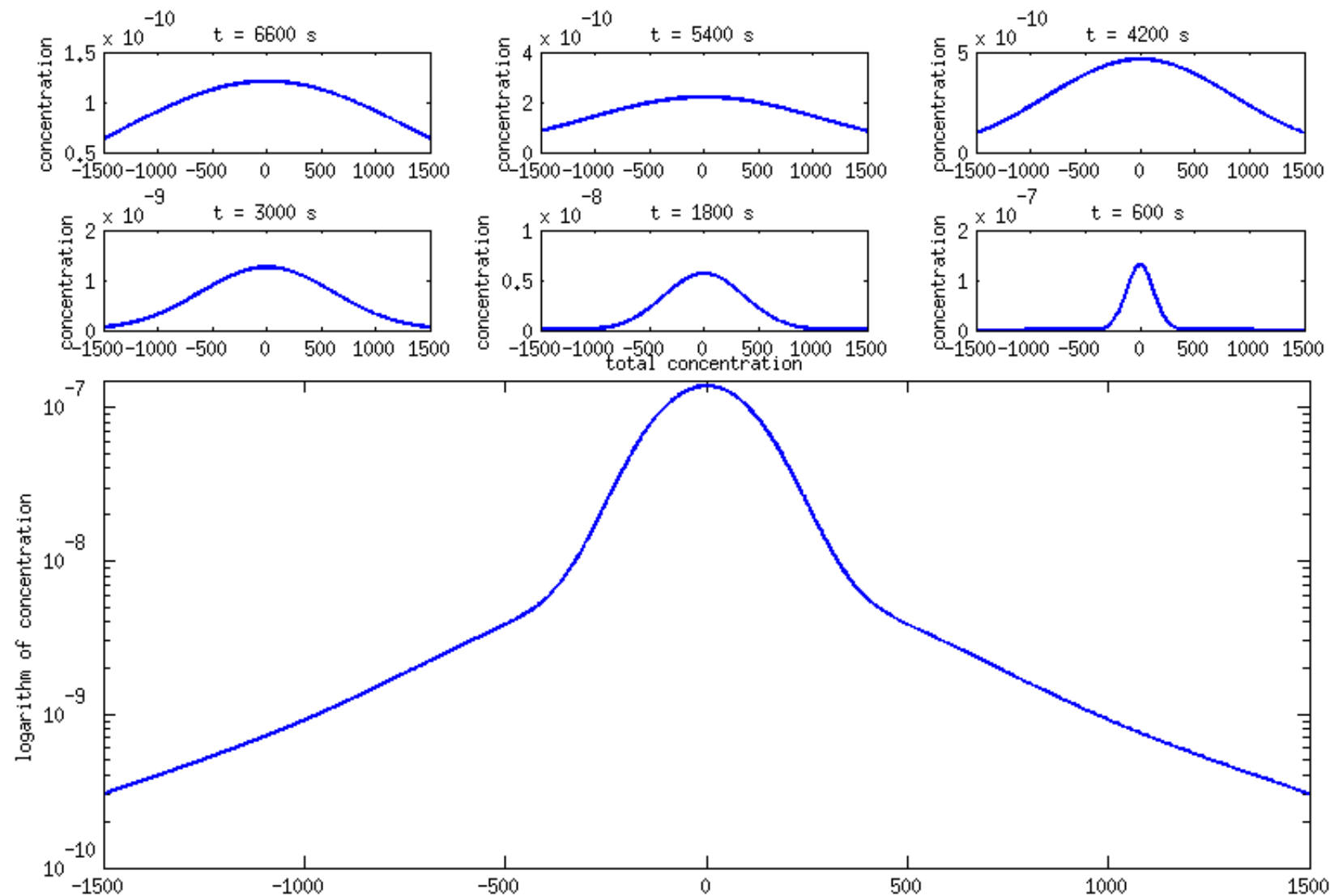


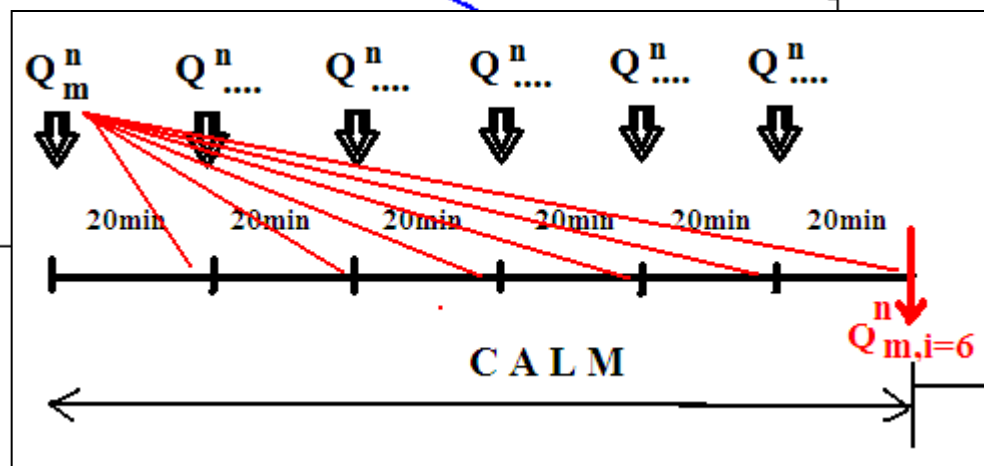
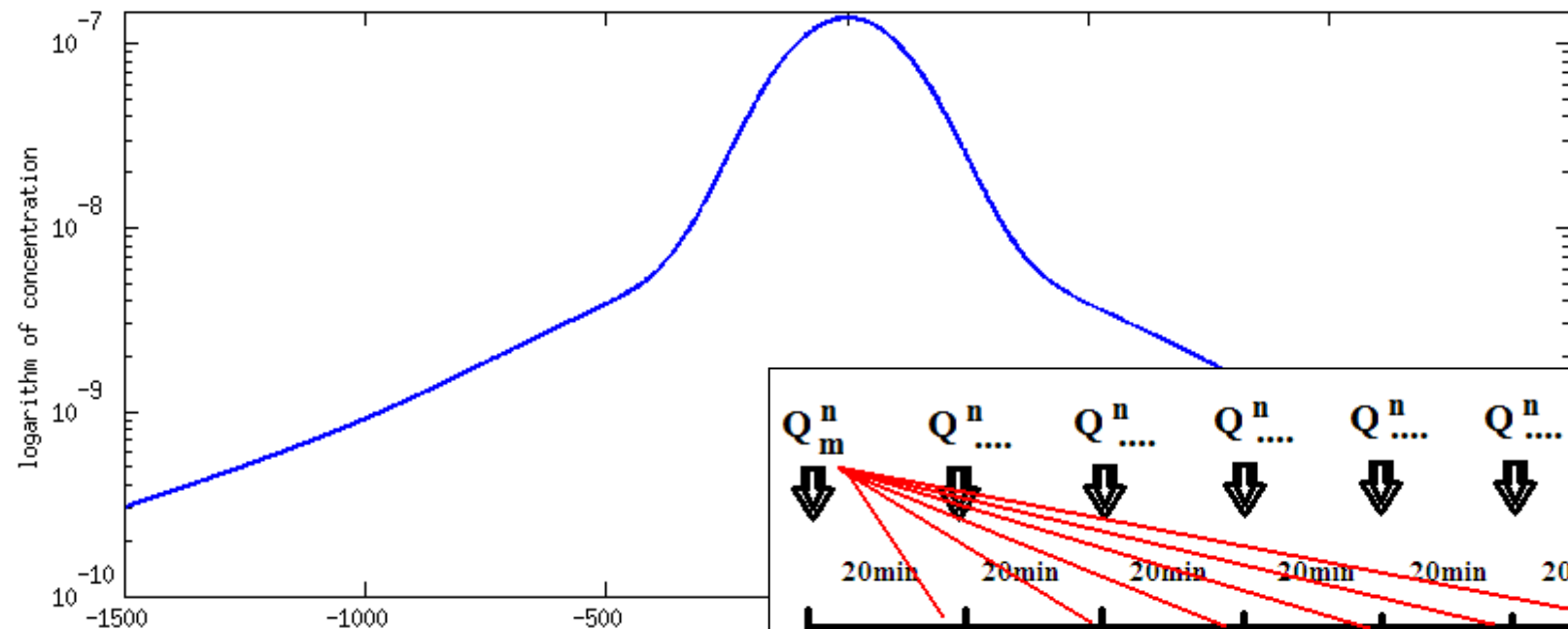
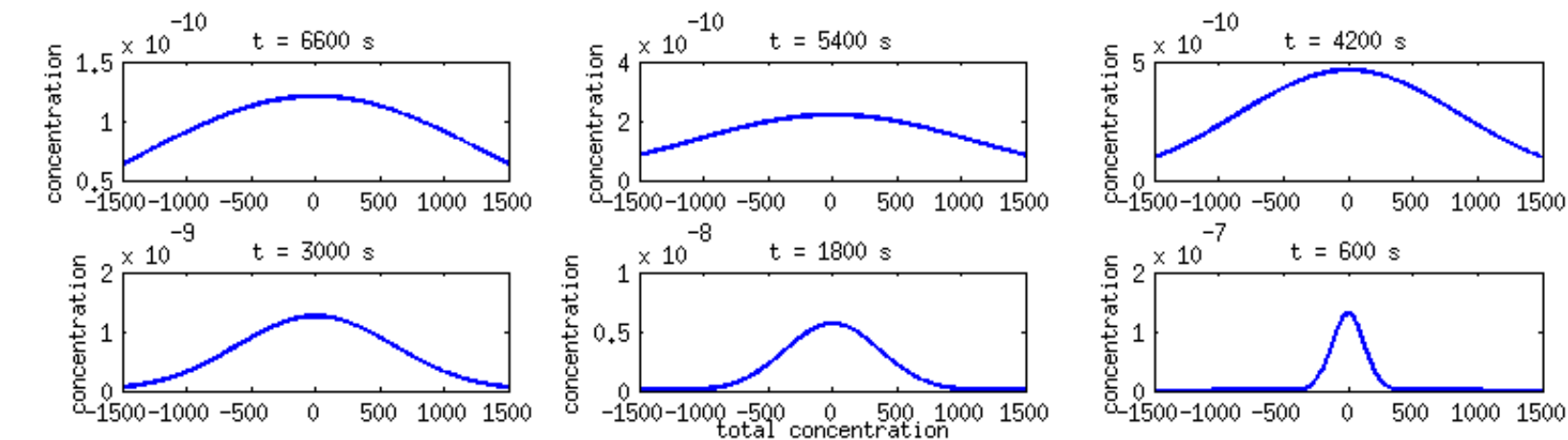
další disperze pulzu:

molekulární difúze

$\sigma_r(t)$, $\sigma_z(t)$







Duální charakter (podvojnost) problému

1) **Calm situace:** formulace v čase pro rozptyl v nehybném prostředí

$$C_m^n(r, z, t) = \frac{2 \cdot Q_m^n(t)}{(2\pi)^{3/2} \cdot \sigma_r^2(t) \cdot \sigma_z(t)} \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{2 \cdot \sigma_r^2(t)}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z - h_{ef})^2}{2 \cdot \sigma_z^2(t)}\right)$$

m je id pulzu zrozeného v $t_0=0$

Koeficienty ochuzení původního zdroje:

$$Q_m^n(t) = Q_m^n(t=0) \cdot f_R^n(t_0 \rightarrow t) \cdot f_F^n(t_0 \rightarrow t) \cdot f_W^n(t_0 \rightarrow t)$$

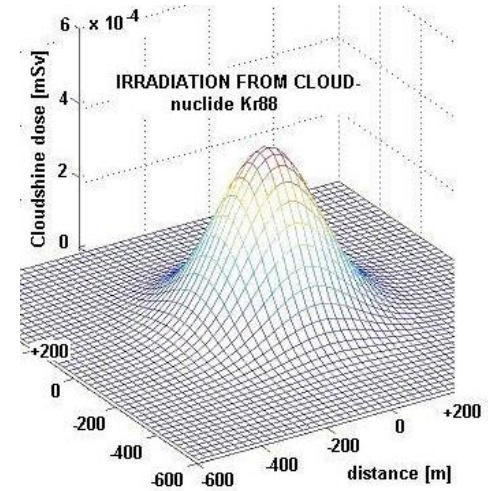
2) **Konvektivní proudění:** formulace v prostorových souřadnicích: relativní disperze 3-D obláčků, to vše unášené absolutní rychlostí proudění ve směru x

$$C_m^n(r, z, x) = \frac{2 \cdot Q_m^n(x)}{(2\pi)^{3/2} \cdot \sigma_r^2(x) \cdot \sigma_z(x)} \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{2 \cdot \sigma_r^2(x)}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z - h_{ef})^2}{2 \cdot \sigma_z^2(x)}\right)$$

$\sigma_r(x)$, $\sigma_z(x)$ absolutně

Koeficienty ochuzení zdroje během konvektivní fáze:

$$Q_m^n(x) = Q_m^n(x=x_0) \cdot f_R^n(x_0 \rightarrow x) \cdot f_F^n(x_0 \rightarrow x) \cdot f_W^n(x_0 \rightarrow x)$$



Poznámky ke koeficientům ochuzení zdroje

a) Radioaktivní rozpad:

$$f_R^n(t_0 \rightarrow t) = \exp[-\lambda \cdot (t - t_0)] \dots \text{CALM}$$

$$f_R^n(x_0 \rightarrow x) = \exp\left(-\lambda \cdot \frac{x - x_0}{u(x)}\right) \dots \text{KONVEKT}$$

b) Vymývání srážkami (WASHOUT):

$$f_W^n(t_0 \rightarrow t) = \exp[-\Lambda \cdot (t - t_0)] \dots \text{CALM}$$

$$f_W^n(x_0 \rightarrow x) = \exp\left(-\Lambda \cdot \frac{x - x_0}{u(x)}\right) \dots \text{KONVEKT}$$

c) Suché vypadávání z 3-D obláčku (FALLOUT):

c1) naznačení pro CALM:

Bilanční rovnice usazované aktivity:

$$\frac{dQ_{mi}^n(t)}{dt} \equiv \frac{d\Omega_{mi}(t)}{dt} = -vg_{grav}^n \cdot \int_0^\infty C^n(i, r, z=0) \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr$$

..... atd.....atd.....atd.....

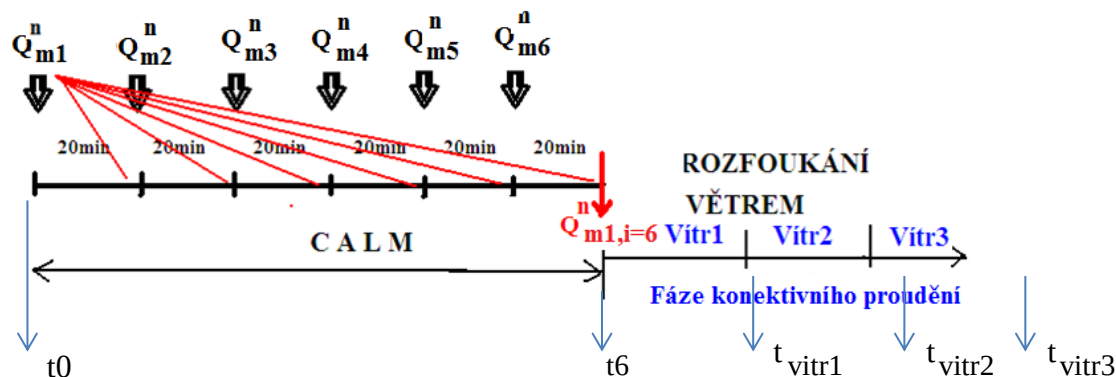
c2) naznačení pro KONVEKT:

Bilanční rovnice usazované aktivity:

$$\frac{dQ_m^n(x)}{dx} \approx -vg^n \cdot C(r, z=0, x)$$

..... atd.....atd.....atd.....

Pout' 3-D obláček časem a prostorem



Bilance celkové radioaktivity ve sledovaném 3-D obláčku při jeho setrvání a následujícím postupu nad terénem:

$$Q_{m,i=6}^n = Q_m^n(t_0) \times f_R^n(t_0 \rightarrow t_6) \times f_F^n(t_0 \rightarrow t_6) \times f_w^n(t_0 \rightarrow t_6)$$

$$Q_{m,tvitr1}^n = Q_{m,i=6}^n \times f_R^n(t_6 \rightarrow t_{vitr1}) \times f_F^n(t_6 \rightarrow t_{vitr1}) \times f_w^n(t_6 \rightarrow t_{vitr1})$$

$$Q_{m,tvitr2}^n = Q_{m,tvitr1}^n \times f_R^n(t_{vitr1} \rightarrow t_{vitr2}) \times f_F^n(t_{vitr1} \rightarrow t_{vitr2}) \times f_w^n(t_{vitr1} \rightarrow t_{vitr2})$$

$$Q_{m,tvitr3}^n = Q_{m,tvitr2}^n \times f_R^n(t_{vitr2} \rightarrow t_{vitr3}) \times f_F^n(t_{vitr2} \rightarrow t_{vitr3}) \times f_w^n(t_{vitr2} \rightarrow t_{vitr3})$$

Spojité model disperze ve fázích:

(nová fáze = předchozí + dif. přírůstek nová)

$$\sigma_r(t_0 \rightarrow t_6) ; \sigma_z(t_0 \rightarrow t_6)$$

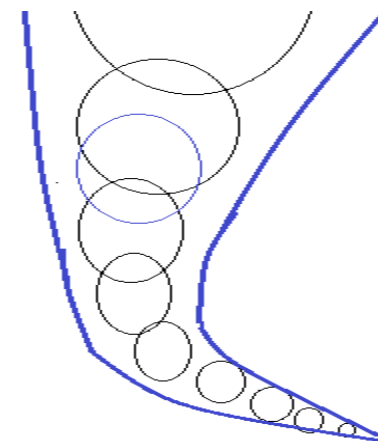
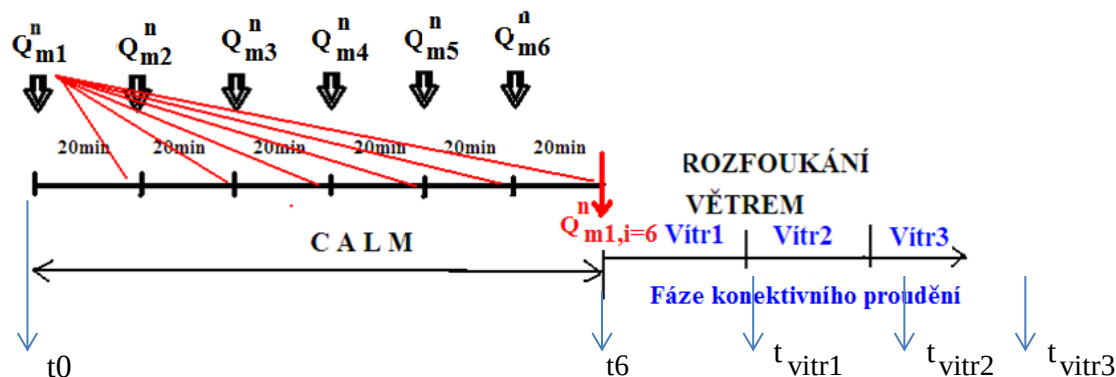
$$\sigma_r(t_6) + \Delta\sigma_r(vitr1) ; \sigma_z(t_6) + \Delta\sigma_z(vitr1)$$

$$\sigma_r(vitr1) + \Delta\sigma_r(vitr2) ; \sigma_z(vitr1) + \Delta\sigma_z(vitr2)$$

$$\sigma_r(vitr2) + \Delta\sigma_r(vitr3) ; \sigma_z(vitr2) + \Delta\sigma_z(vitr3)$$

Pout' 3-D obláčků časem a prostorem : princip PUFF modelu

PLUME x PUFF



Bilance celkové radioaktivity ve sledovaném 3-D obláčku při jeho setrvání a následujícím postupu nad terénem:

$$Q_{m,i=6}^n = Q_m^n(t_0) \times f_R^n(t_0 \rightarrow t_6) \times f_F^n(t_0 \rightarrow t_6) \times f_w^n(t_0 \rightarrow t_6)$$

$$Q_{m,tvitr1}^n = Q_{m,i=6}^n \times f_R^n(t_6 \rightarrow t_{vitr1}) \times f_F^n(t_6 \rightarrow t_{vitr1}) \times f_w^n(t_6 \rightarrow t_{vitr1})$$

$$Q_{m,tvitr2}^n = Q_{m,tvitr1}^n \times f_R^n(t_{vitr1} \rightarrow t_{vitr2}) \times f_F^n(t_{vitr1} \rightarrow t_{vitr2}) \times f_w^n(t_{vitr1} \rightarrow t_{vitr2})$$

$$Q_{m,tvitr3}^n = Q_{m,tvitr2}^n \times f_R^n(t_{vitr2} \rightarrow t_{vitr3}) \times f_F^n(t_{vitr2} \rightarrow t_{vitr3}) \times f_w^n(t_{vitr2} \rightarrow t_{vitr3})$$

Spojité model disperze ve fázích:

(nová fáze = předchozí + dif. přírůstek nová)

$$\sigma_r(t_0 \rightarrow t_6) ; \sigma_z(t_0 \rightarrow t_6)$$

$$\sigma_r(t_6) + \Delta\sigma_r(vitr1) ; \sigma_z(t_6) + \Delta\sigma_z(vitr1)$$

$$\sigma_r(vitr1) + \Delta\sigma_r(vitr2) ; \sigma_z(vitr1) + \Delta\sigma_z(vitr2)$$

$$\sigma_r(vitr2) + \Delta\sigma_r(vitr3) ; \sigma_z(vitr2) + \Delta\sigma_z(vitr3)$$

Prší v poslední konvektivní fázi Vitr3

Měrná aktivita v mraku (3-D pulzu) [Bq.m⁻³] radionuklidu n v konvektivní fázi $J_{vitr}=3$:

$$C^n(x, r, z) = \frac{2 \cdot Q_m^n(J_{vitr} = 3; x)}{(2\pi)^{3/2} \cdot \sigma_r^2(J_{vitr} = 3; x) \cdot \sigma_z(J_{vitr} = 3; x)} \cdot \exp\left(\frac{-r^2}{2 \cdot \sigma_r^2(J_{vitr} = 3; x)}\right) \cdot \exp\left(\frac{-(z - h_{ef})^2}{2 \cdot \sigma_z^2(J_{vitr} = 3; x)}\right)$$

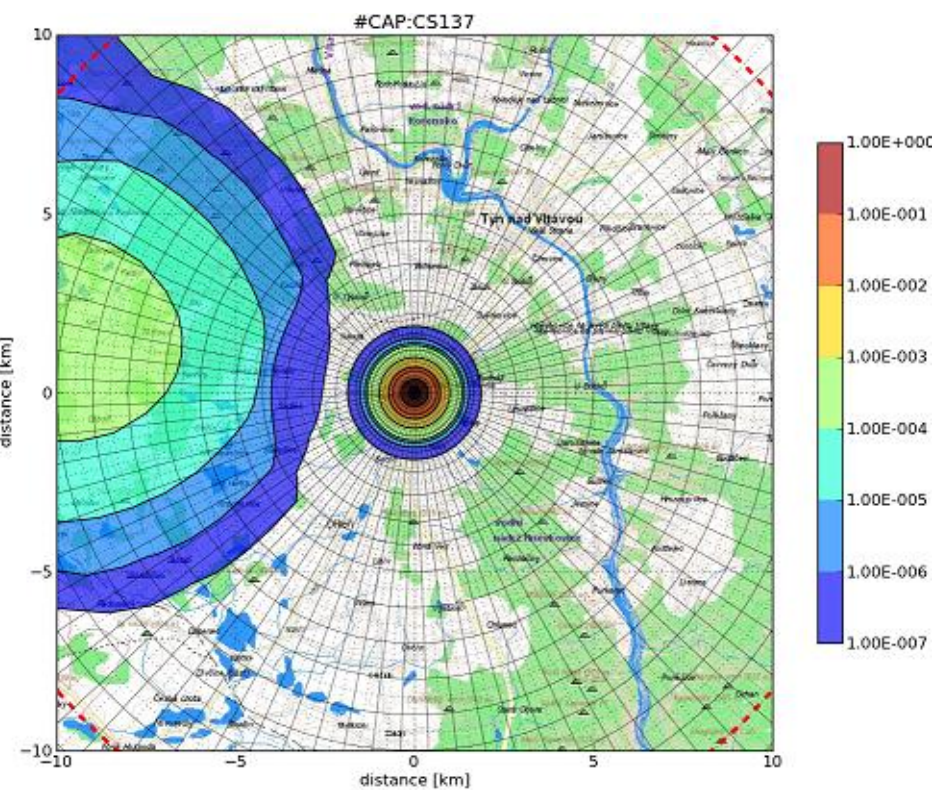
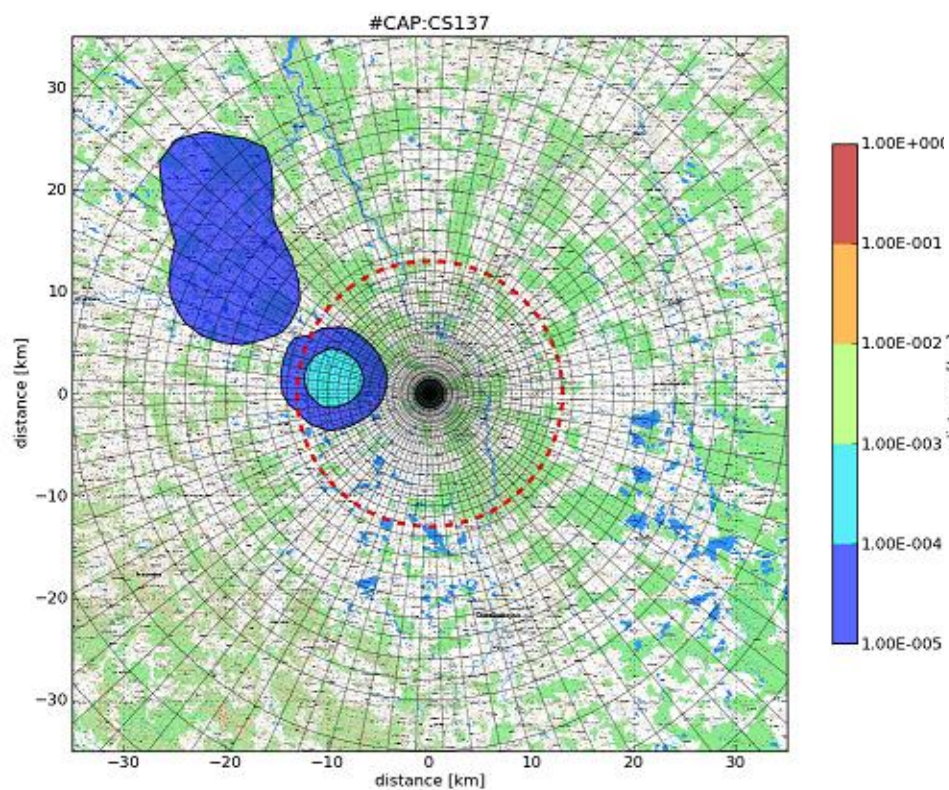
Odvození mokrého depozičního příkonu [Bq.m⁻².s⁻¹] vymytím radionuklidu n atmosférickými srážkami na zemský povrch:

$$\Omega^n(x, r) = \int_0^\infty \Lambda^n(x) \cdot C^n(x, r, z) \cdot dz$$

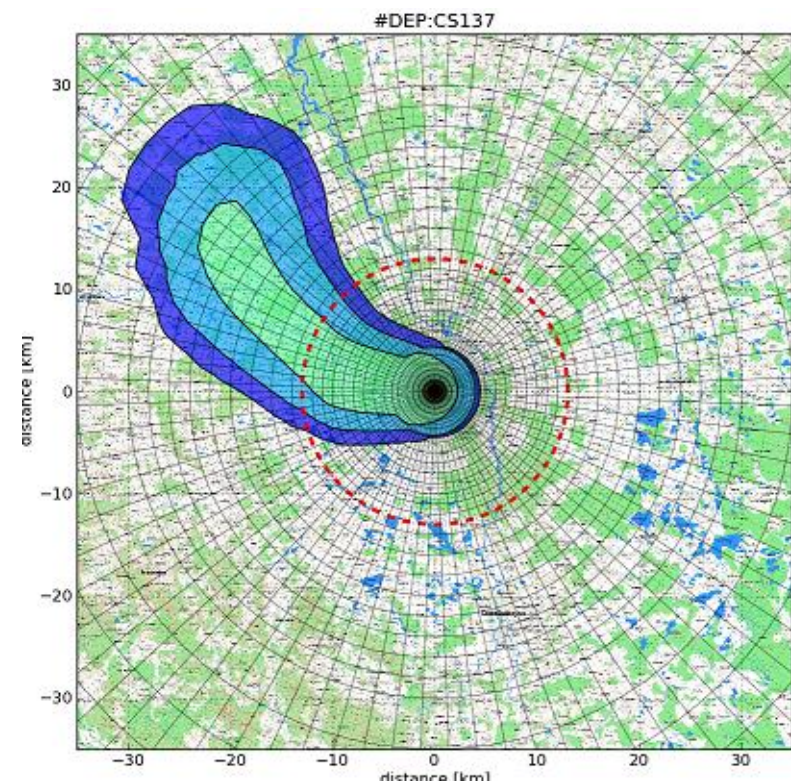
Po dosazení:

$$\Omega^n(x, r) = \Lambda^n(x) \cdot \frac{2 \cdot Q_m^n(J_{vitr} = 3; x)}{(2\pi)^{3/2} \cdot \sigma_r^2(J_{vitr} = 3; x) \cdot \sigma_z(J_{vitr} = 3; x)} \cdot \frac{\exp\left(\frac{-r^2}{2 \cdot \sigma_r^2(J_{vitr} = 3; x)}\right)}{\sigma_r^2(J_{vitr} = 3; x)} \cdot \int_0^\infty \frac{\exp\left(\frac{-(z - h_{ef})^2}{2 \cdot \sigma_z^2(J_{vitr} = 3; x)}\right)}{\sigma_z(J_{vitr} = 3; x)} dz$$

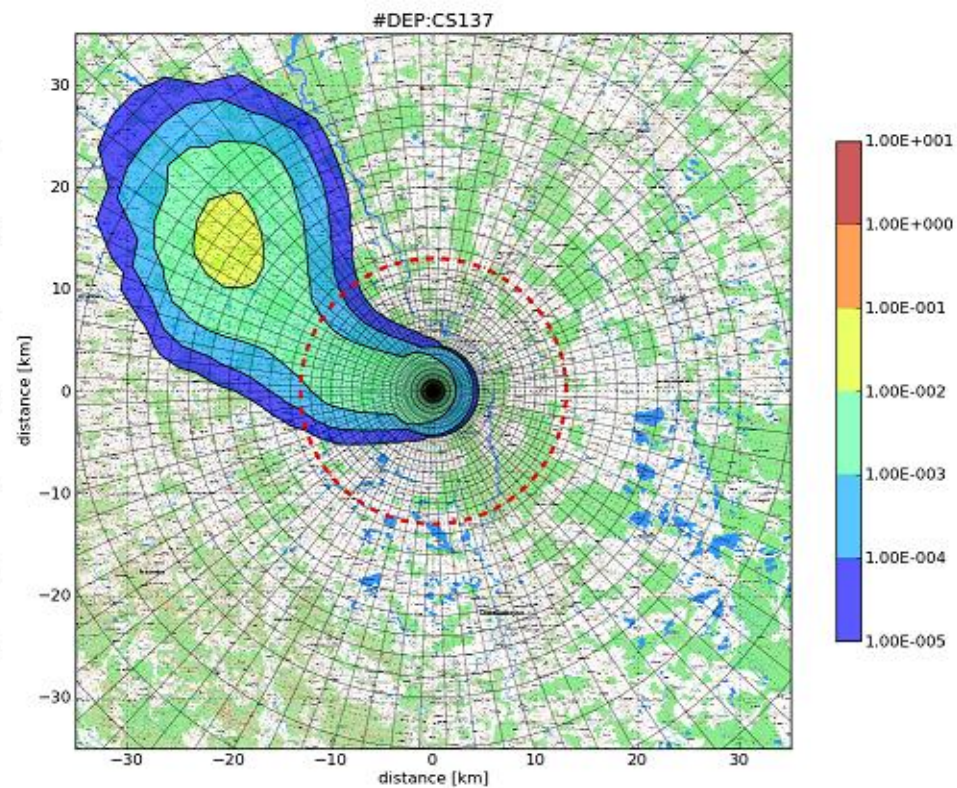
Scénář: 6 x 20 min CALM +
následují 3 hodinové fáze s větrem
($u=3,4,3$ m/sec, zadány 3 různé směry stáčení)



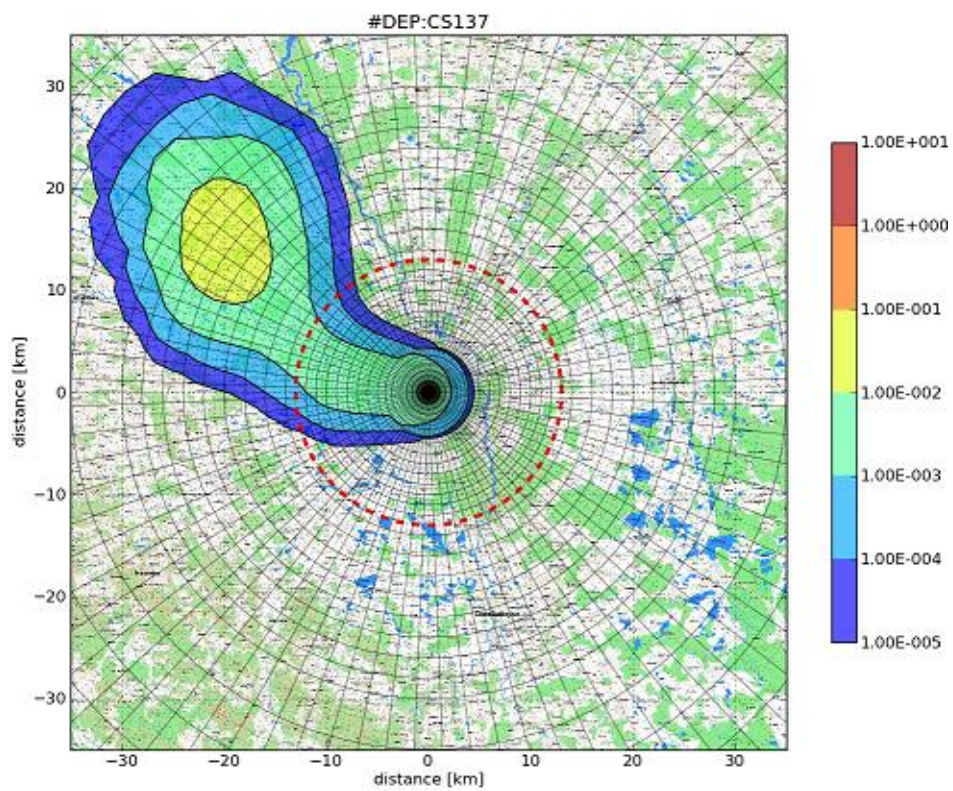
Bez srážek



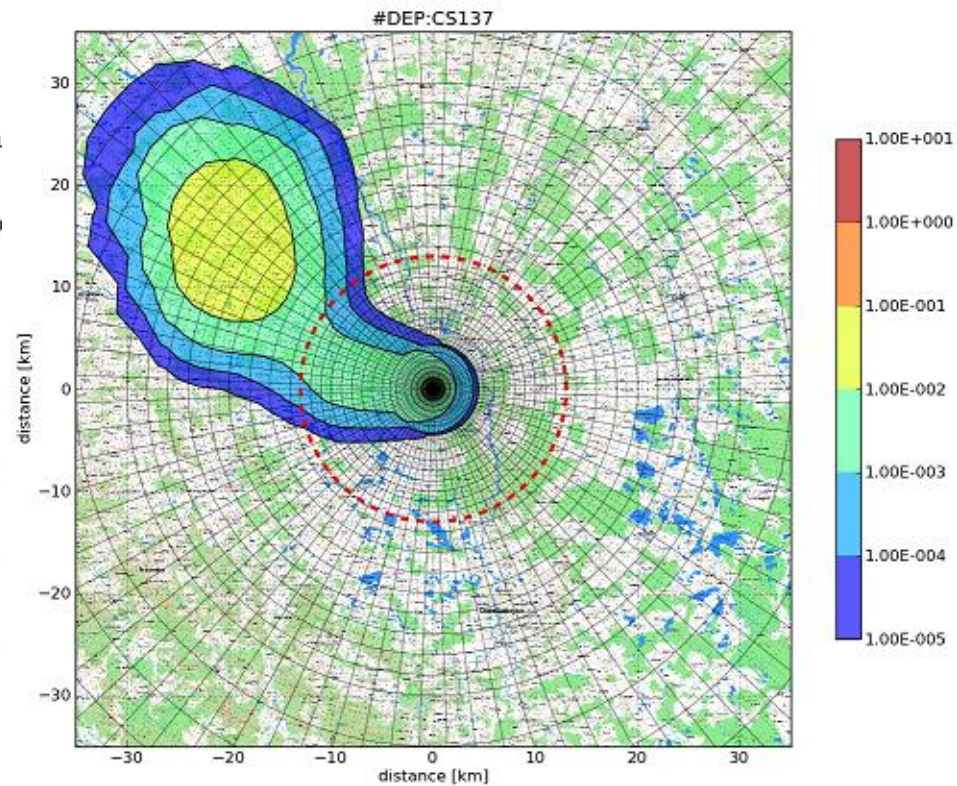
Srážky 0.5 mm/hod



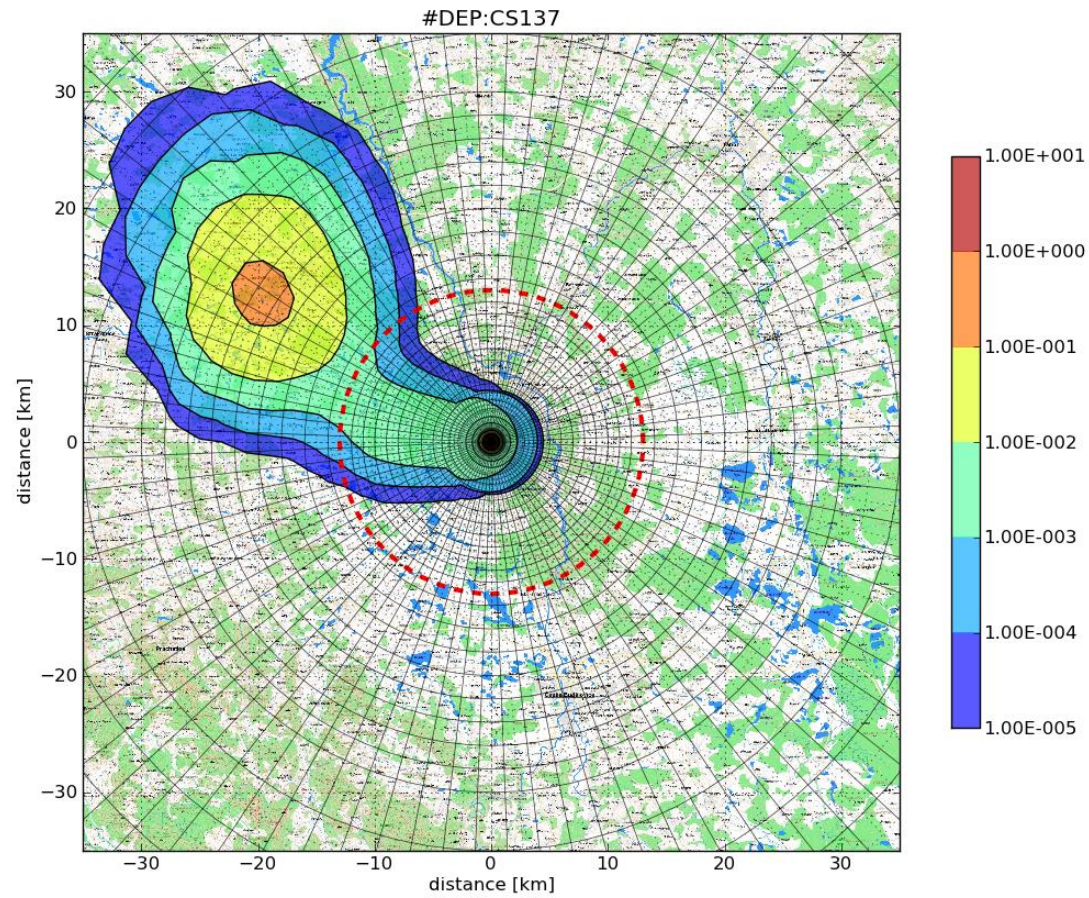
Srážky 1 mm/hod



Srážky 5 mm/hod



Srážky 25 mm/hod



A photograph of a paved area with a metal grate. The legs of two children are visible. One child is wearing white pants and blue sneakers. The other child is wearing a red and white striped skirt, blue socks, and brown sandals. The text "DĚKUJI ZA POZORNOST" is overlaid in purple.

**DĚKUJI
ZA
POZORNOST**