



Slovak Teachers Programme 2007



Životné prostredie a urýchľovače: Príklad LHC

Pavol Vojtyla
CERN, Safety Commission

<http://www.cern.ch/environment>

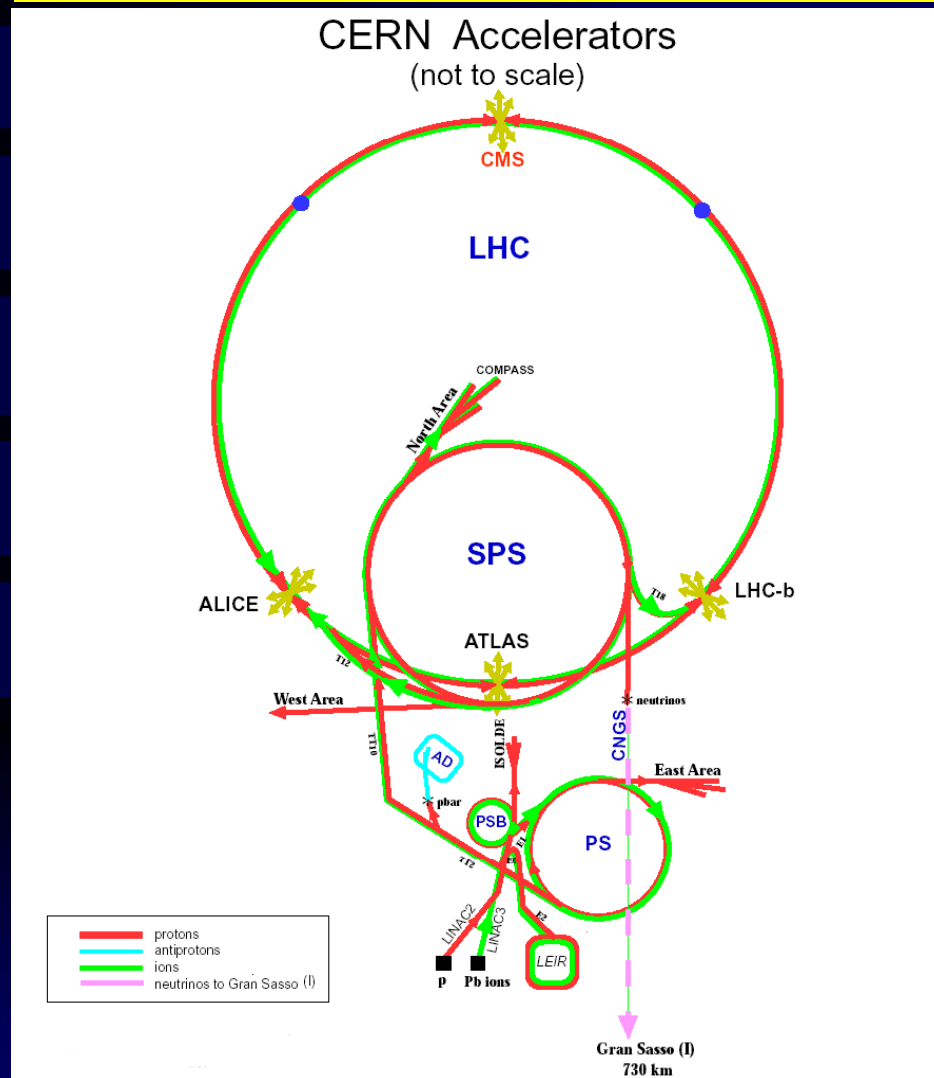
Environmentálne aspekty

- Aspekt: Activita alebo proces, ktoré môžu mať vplyv na ŽP
 - Konvenčné
 - Chladienie vodou (teplá voda, biocídy, *legionella*)
 - Regenerácia iónových výmenníkov (kyseliny a zásady, ťažké kovy)
 - Priemyselné activity (perchóretylén, kyseliny/zásady, iné chemikálie)
 - PCB v elektrických zariadeniach (minulosť, ale stopy znečistenia pretrvávajú)
 - Ropa v LHC tuneli
 - Produkcia ozónu a oxidácia dusíka vo vzduchu na NO a NO₂
 - Rádiologické
 - Zaujímavejšie pre fyzikov
 - Budeme sa im venovať v ďalšom

Prehľad

- Urýchľovače v CERNe
- Zdroj problému: straty zväzku
- Žiarenie a aktivácia materiálov
- Monitorovanie
- Ohodnotenie vplyvu na ŽP
- Skutočný vplyv na ŽP (2003)
- Výhľad do budúcnosti

Urýchľovače v CERNe



- Linacy
- PSB
- PS
- SPS
- (LHC)
- Experimentálne zóny
 - ISOLDE
 - AD, LEIR, n-TOF
 - East Hall, West Hall
 - Préveessin
 - CNGS

Zdroj problému: straty zväzku

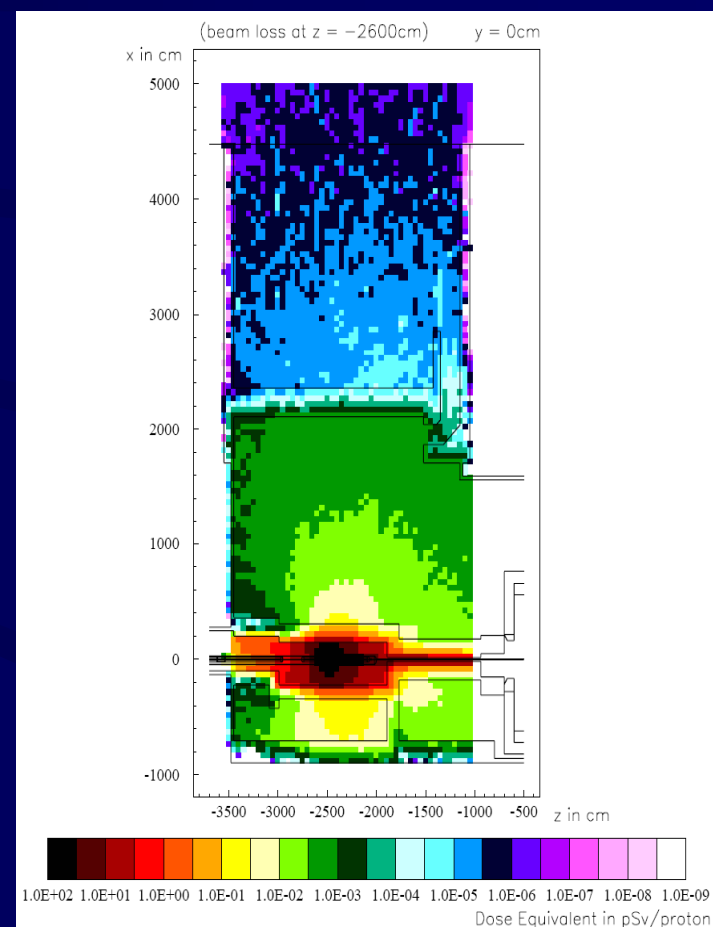
- Častice s vysokou energiou musia interagovať s hmotou aby generovali žiarenie a produkovali rádionuklidy
 - Elementy čistenia zväzku (kolimátory)
 - Elementy extrakcie zväzku (kicker)
 - Terčičky
 - Detektory
 - Absorbéry zväzku (beam dump)

Fundamentálny rozdiel

- Hadrónové urýchľovače (p, ŤI) • Leptónové urýchľovače (e^+e^-)
 - Hadrónové kaskády (p, n, n-bar, p-bar, $\pi^{0,\pm}$, K, γ , e^\pm , μ^\pm)
 - Aktivácia materiálov
 - Synchrotrónové žiarenie zanedbateľné
- Príklad: SPS, LHC
- Leptónové urýchľovače (e^+e^-)
 - Iba elektromagnetické kaskády (γ , e^\pm , μ^\pm)
 - Synchrotrónové žiarenie
 - Aktivácia materiálov zanedbateľná
- Príklad : LEP

Rozptýlené žiarenie

- Aby preniklo do ŽP musí preniknúť hrubými vrstvami materiálu
 - Tienenie (účel)
 - Zemina (podzemné zariadenia)
- Musí byť **penikavé**
 - Neutróny
 - Mióny
 - Fotóny



Rozptýlené žiarenie: Neutróny

- Vyparené z vysoko excitovaných jadier
- Proces moderácie v hrubom tienení
- Energie od tepelných po ~ 10 MeV (väzbová energia nukleónu)
- Silne smerovo rozptylované (difúzia chodbami a galériami)
- Aktivujú materiály [napr. (n, γ) reakcie]

Rozptýlené žiarenie: Mióny

- Potomstvo z π^\pm
- Všetky energie
- Obvykle minimálne ionizujúce častice ($\sim\text{GeV}/c$)
- Dajú sa len ťažko absorbovať "rozumnými" hrúbkami absorbéroov
- Zostávajú fokusované
 - V rovine kruhového urýchľovača pod zemou (SPS, LHC)
 - Možno ich magnetom odkloniť, do oblohy alebo do zeme (experimenty s pevným terčikom)

Rozptýlené žiarenie: Fotóny

- Šíriaca sa elektromagnetická kaskáda
- Zmes γ a e^\pm
- Nižšie energie v spektre sú doplňované Comptonovsky rozptýlenými fotónmi z oblasti vyšších energií
- Až po 10 MeV (neutron shoulder)

Rozptýlené žiarenie: Časová štruktúra

- Dôležitá vlastnosť pre monitorovanie: Pulzné žiarenie
- Dva extrémne prípady:
 - PS super-cyklus: $\sim 0.1 \mu\text{s}$ každých 12 s
 - Collider: Postupnosť uzlov / niekoľko desiatok ns medzi dvoma uzlami: prakticky spojitá štruktúra
- **Neutróny** sú desynchronizované v procese spomaľovania
- **Fotóny** a **mióny** sledujú časovú štruktúru zväzku

Rádioaktívne látky (1)

- Reakcie trieštenia (neutróno-deficitné rádionuklidy, β^+ , EC)
- Záchyt pomalých neutrónov (rádionuklidy s prebytkom n, β^-)
- β/γ žiariče, **žiadne** α na rozdiel od JE
- Závislosť od terčového materiálu: väčšie $A \Rightarrow$ viac možností \Rightarrow pestrejšia ZOO
- Široká škála polčasov rozpadu
- Čím je kratší polčas rozpadu, tým je väčšia aktivita: $A = \lambda N$
- Avšak veľmi krátkožijúce rádionuklidy sa rozpadnú skôr ako preniknú do ŽP a ich zvyšky sú rádiologicky nevýznamné

Rádioaktívne látky (2)

- Zanášané do ŽP vzduchom a vodou
 - Vzduch
 - Ventilácia zón so zväzkom (chladenie vzduchom)
 - Voda
 - Okruhy chladenia vodou (obvykle uzavrené, primárne okruhy sú vybavené iónovými výmenníkmi, ktoré zachytávajú rádioaktívne ióny, napr. ${}^7\text{Be}^+$, ${}^{24}\text{Na}^+$)
 - Úniky vody (nedajú sa v praxi vylúčiť na 100%)
 - Infiltrácia dažďovej vody do tunelov
 - Čiastočky zeminy a betónu, korózne fragmenty a prach

Rádioaktívne látky: Vzduch

- Priama aktivácia
 - Terčikové jadrá: O₂, N₂, Ar, CO₂
- Aerosol
 - Tak ako zemina a betón
 - Prediskutujeme neskôr
- Dominujúce krátkožijúce
 - ¹¹C, ¹³N, ^{14,15}O (β⁺)
 - ⁴¹Ar (β⁻, (n,γ) na ⁴⁰Ar)
- Dominujúce dlhožijúce
 - ⁷Be (EC)
 - ³H (HT), ²²Na
- Iné
 - ¹⁰Be, ¹⁴C, ¹⁹O, ¹⁸F, ^{23,24}Ne, ²⁴Na, ²⁵Na, ^{27,28}Mg, ^{26,28,29}Al, ^{31,32}Si, ^{30,35,32,33}P, ^{37,38}S, ^{34m,36,38,39,40}Cl, ^{37,39}Ar, ^{38,40}K

Rádioaktívne látky: Voda

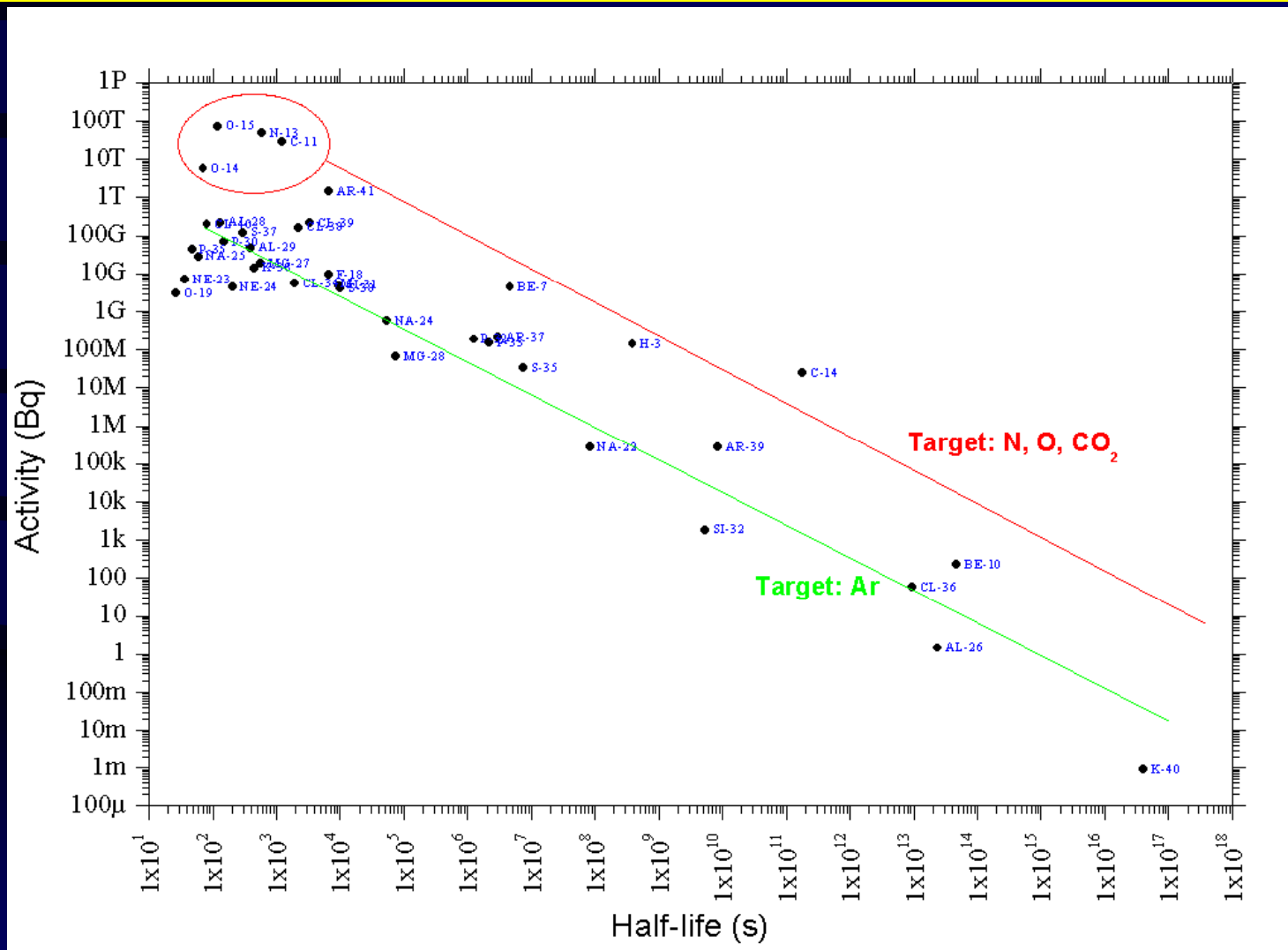
- Priama aktivácia
 - Terčikové jadrá: H_2O
- Čiastočky
 - Tak ako zemina a betón
 - Prediskutujeme neskôr
- Minerály a prímiesy
 - ^{24}Na
- Vyluhované
 - ^3H , ^{24}Na , ^{22}Na (rozpustné)
- Dominujúce krátkožijúce
 - ^{11}C , ^{13}N , $^{14,15}\text{O}$ (β^+)
- Dominujúce dlhožijúce
 - ^3H (HTO)
 - ^7Be (EC)

Rádioaktívne látky: Čiastočky

- Terčové jadrá s vysokými A
 - Rádioaktívny rozpad vs. mobilita
 - Selekcia
 - Niekedy aj rádionuklidy , ktoré by sme neočakávali!
- ^3H , ^7Be ,
 - ^{22}Na , ^{24}Na
 - ^{46}Sc , ^{48}V , ^{54}Mn ,
 - ^{56}Co , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co
 - ^{65}Zn
 - ^{134}Cs (!)
 - ^{152}Eu (!)

S výnimkou ^3H sú ich activity o 2 – 3 rády nižšie ako aktivita ^7Be , ale treba is brať do úvahy.

Simulácia: Emisie z LHC PA7 (zóna kolimátorov)



Monitorovanie: Hlavné zložky

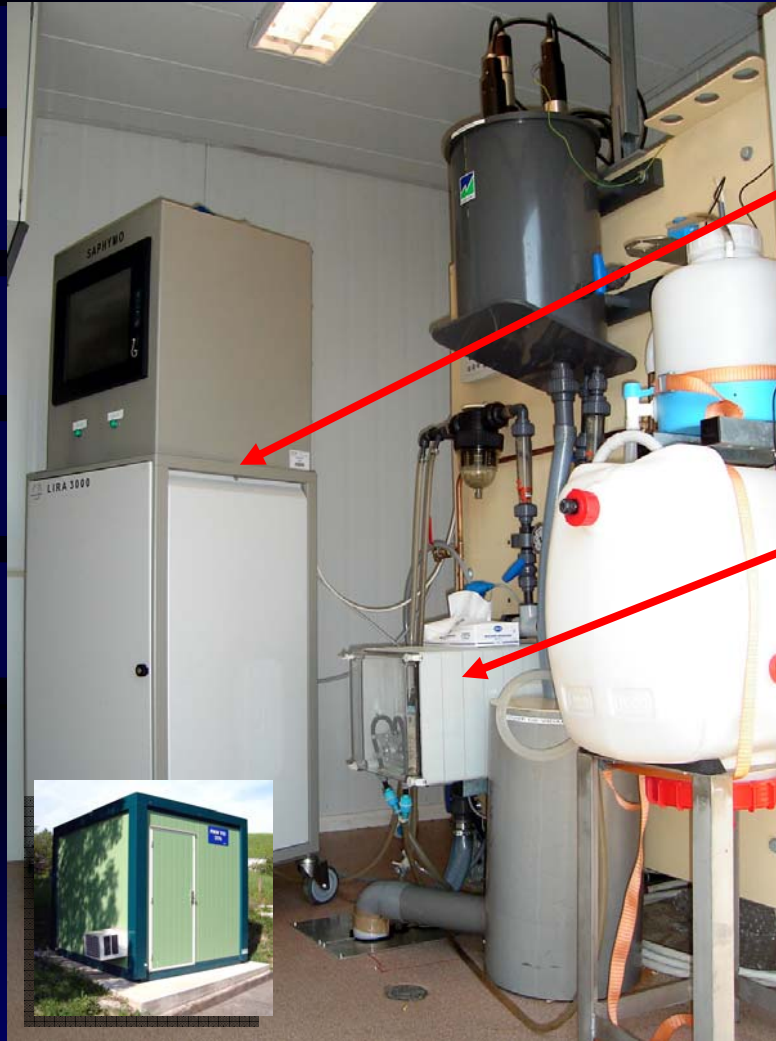
- Emisie rádioaktívnych látok (vzduch, voda)
- Monitorovanie rozptýleného žiarenia
- Merania rádioactivity v rozličných environmentálnych médiách
- Ohodnotenie ekologického a rádiologického dopadu
- Reporty
 - Manažment CERNU
 - Autority host'ovských krajín
 - Verejnost'

Monitorovanie: 18 ventilačných staníc v LHC



- Veľkoplošné Si detektory
 - Krátkožijúce rádioaktívne plyny
 - ^{11}C , ^{13}N , ^{14}O , ^{15}O , ^{41}Ar
 - Dáta v reálnom čase (on-line)
- Aerosolový filter
 - Analýza v laboratóriu
 - ^7Be , ^{22}Na , ^{46}Sc , ^{48}V , ^{54}Mn , ^{60}Co ...
- Senzor prietoku v komíne
 - Dáta v reálnom čase (on-line)
- Mesačné bilancie vypustenej activity

Monitorovanie: 9 staníc pre vypúšťanú vodu v LHC



- Na konci kanalizačnej siete
- Monitor
 - Scintilačná sonda v nádobe
 - Spektrometria pre krátkožijúce rádionuklidy (^{11}C , ^{13}N , ^{24}Na)
 - Dáta v reálnom čase (on-line)
- Sampler
 - Analýza v laboratóriu
 - ^3H , ^7Be , ^{22}Na , beta
- Sensor prietoku vody
- Mesačné bilancie vypustenej activity

Monitorovanie: Rozptýlené žiarenie



- Dva druhy žiarenia
 - Neutróny
 - Fotóny a prenikajúce nabité častice (μ)
- Dva typy prístrojov
 - Rem-counter (n)
 - Ionizačná komora (20 atm Ar)
- Dávkový príkon v reálnom čase
- Okolo 400 termoluminiscenčných dozimetrov (${}^6\text{LiF}/{}^7\text{LiF}$)
- Štvrt'ročné dávky

Monitorovanie: Rozptyl v atmosfére



- 5 ultrazvukových anemometrov na ploche 100 km²
- Okamžitý trojrozmerný vektor rýchlosti vetra
- Parametre atmosférickej turbulencie
- Presnosť: 1 cm/s
- 2 pluviometre (depozícia)
- Dáta v reálnom čase (on-line)

Monitorovanie: Vzorky zo ŽP



- Aerosolové filtre
- Tráva / pôda
- Zrážky
- Vodné toky
 - Voda
 - Sediment
 - Mach
- Spodná voda
- Poľnohospodárske produkty vrátane vína
- Analýza v laboratóriu

Monitorovanie: Environmentálne laboratórium



- Gamma spectrometria
 - 5 HPGe detektorov
- α/β merania
 - Proporcionálny detektor s automatickým výmenníkom vzoriek
- Kvapalný scintilačný počítač (^3H)
- Rozličné chemické analyzátory
- Zariadenia na spracovanie vzoriek

Ohodnotenie dopadu na ŽP (1)

- Doktrína Medzinárodnej komisie pre radiačnú ochranu (ICRP, 1991)
- ŽP je dostatočne chránené ak je dostatočne chránený Človek, ktorý v ňom žije.
- Koncept efektívnej dávky: Risk stochastických efektov je priamoúmerný dávke: $1 \text{ Sv} \Leftrightarrow 0,0076$
- Priemerná ročná efektívna dávka od prírodných zdrojov: 4 mSv
- Ročný limit pre jednotlivcov obyvateľstva = 1 mSv
- Princíp ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*): Dodržať limit nestačí. Zariadenie treba "optimalizovať"
- Požiadavka optimalizácie sa považuje za splnenú, ak je dávka jednotlivcovi obyvateľstva $<0,01 \text{ mSv}$

Ohodnotenie dopadu na ŽP (2)

- Rozptýlené žiarenie
 - Priamo z hodnôt nameraných monitormi po odpočítaní prírodného pozadia.
 - Dávkový príkon z prírodných zdrojov (terestriálna rádioaktivita: U, Th, ^{40}K ; kozmické žiarenie) sa meria počas odstávky urýchľovačov.
- Emisie rádioaktívnych látok
 - Všeobecne uznané radioekologické modely
 - Švajčiarska direktíva HSK-R-41
 - Špecifická situácia CERNu \Rightarrow Vlastný počítačový program

Ohodnotenie dopadu na ŽP (3)

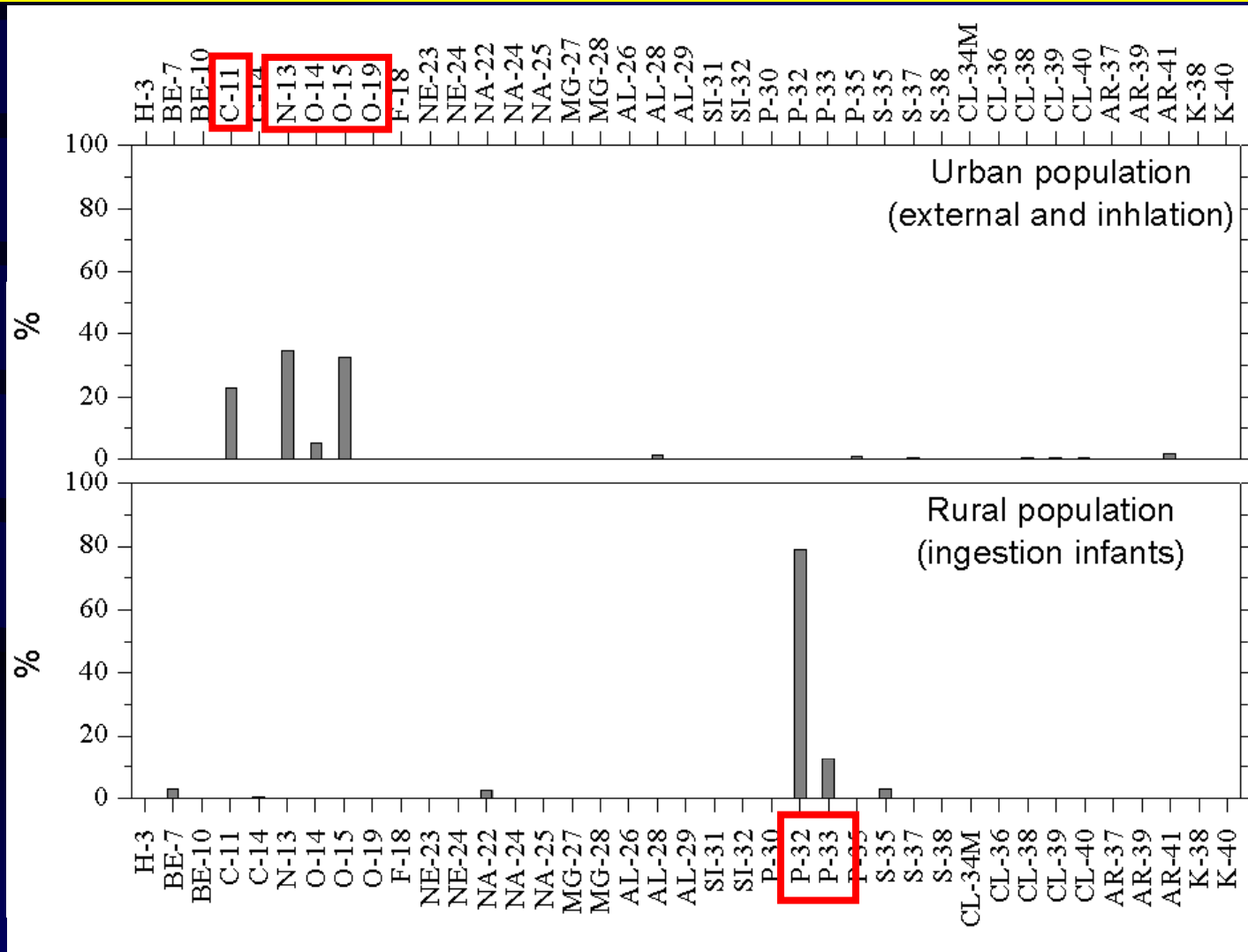
- Emisie do atmosféry
 - Scenáre
 - Krátkodobá skutočná emisia
 - Krátkodobá hypotetická emisia pre výpočet limitov
 - Krátkodobá emisia počas nehody
 - Dlhodobé emisie
 - Expozičné cesty
 - Externá expozícia z vlečky a z depozície na zemi
 - Inhalácia
 - Potraviny (ovocie, zelenina, mäso, mliečne výrobky)

Ohodnotenie dopadu na ŽP (4)

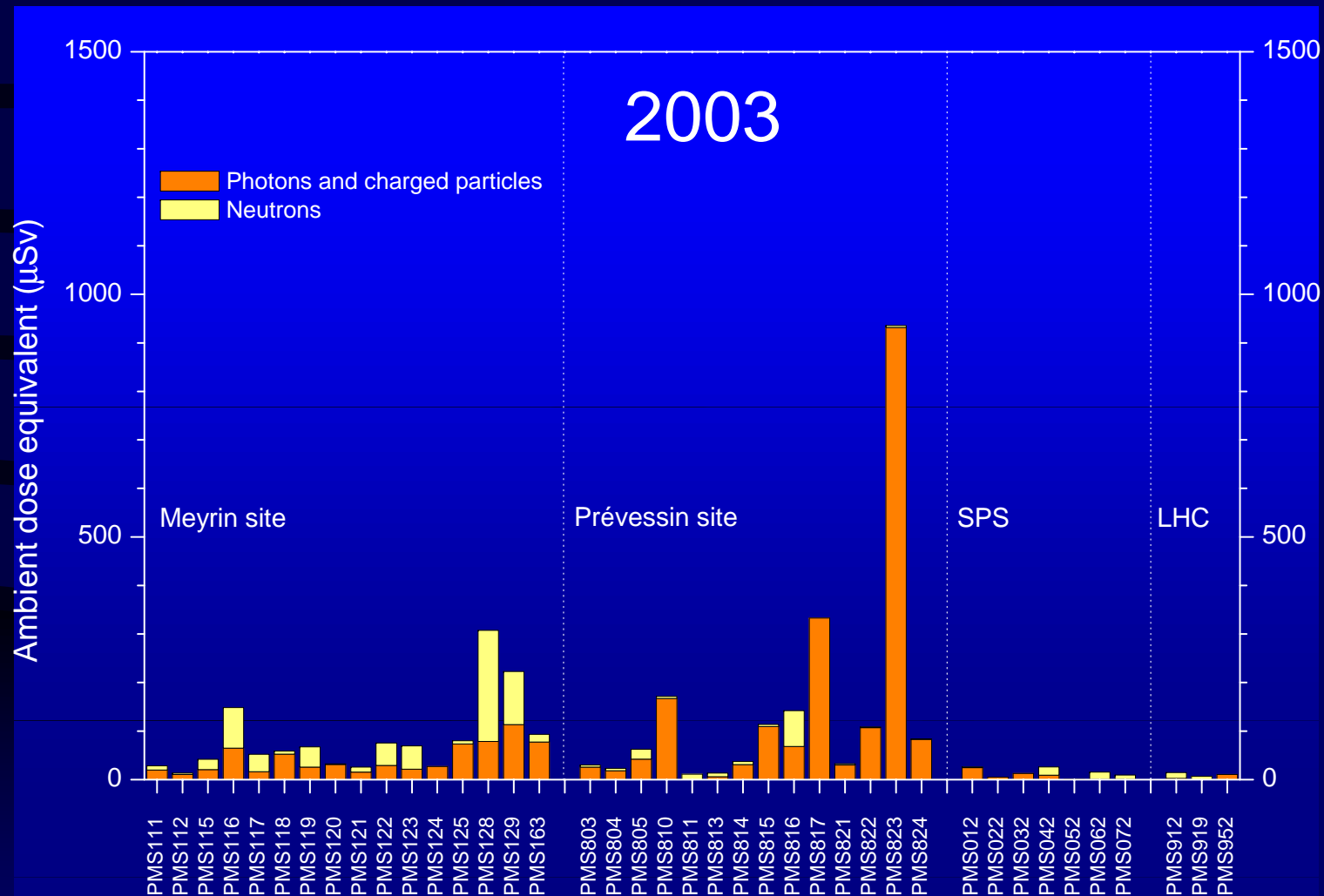
- Výpuste vody
 - Scenáre
 - Výpusť do rieky + zavlažovanie vodou z rieky
 - Výpusť do čističky odpadových vôd
 - Expozičné cesty
 - Externá expozícia z vody a zo sedimentu v rieke (v čističke)
 - Pítie vody a konzumácia rýb z rieky
 - Potraviny (ovocie, zelenina, mäso, mliečne výrobky) zo zavlažovaných polí, resp. napájaných zvierat
 - Externá expozícia a inhalácia na zavlažovaných poliach
 - Inhalácia zvířenej strusky v čističke odpadových vôd
 - Hnojenie struskou (F) alebo spaľovanie strusky (CH) z čističky

Ohodnotenie dopadu na ŽP: Príklad

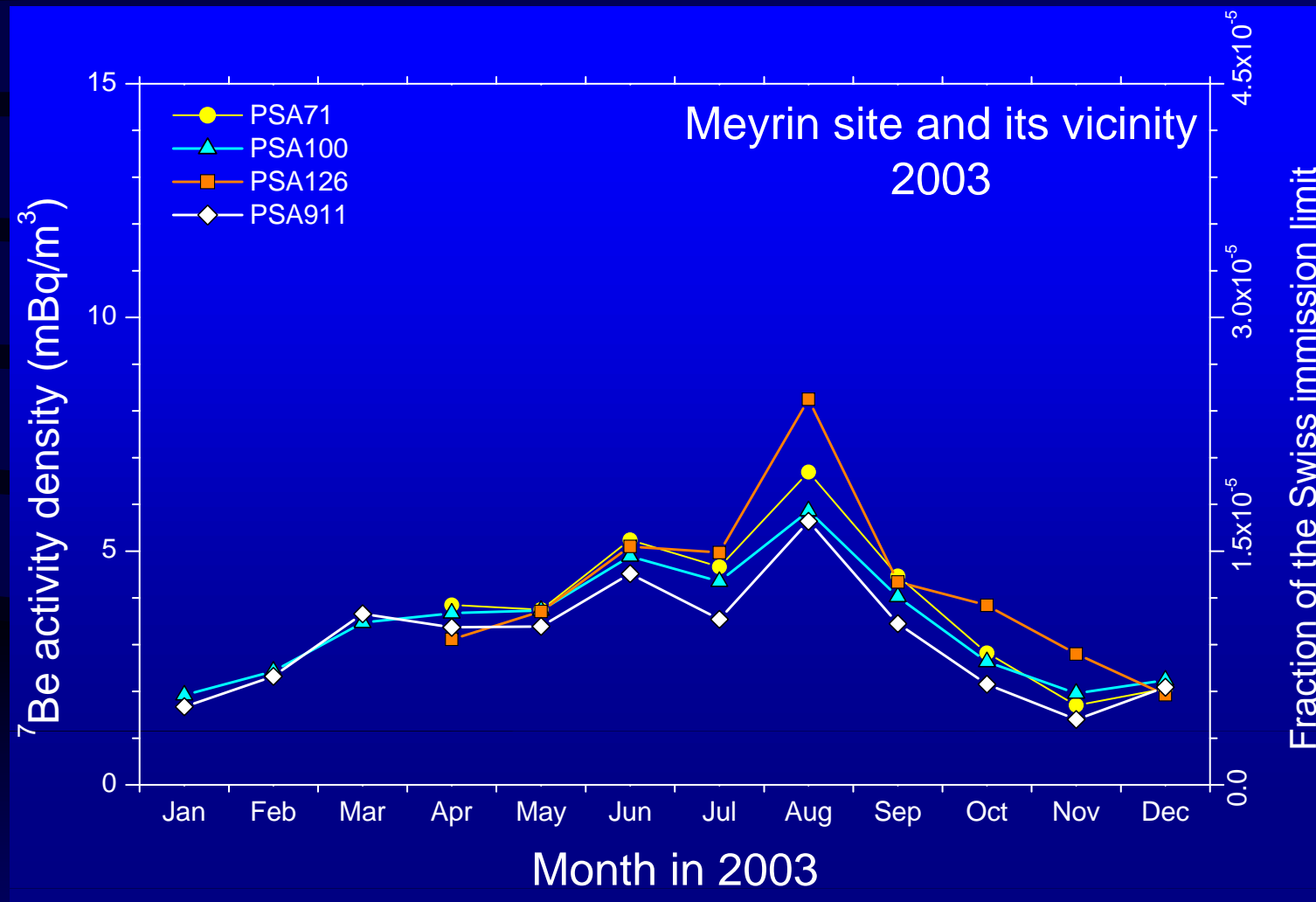
LHC PA7; zóna kolimátorov



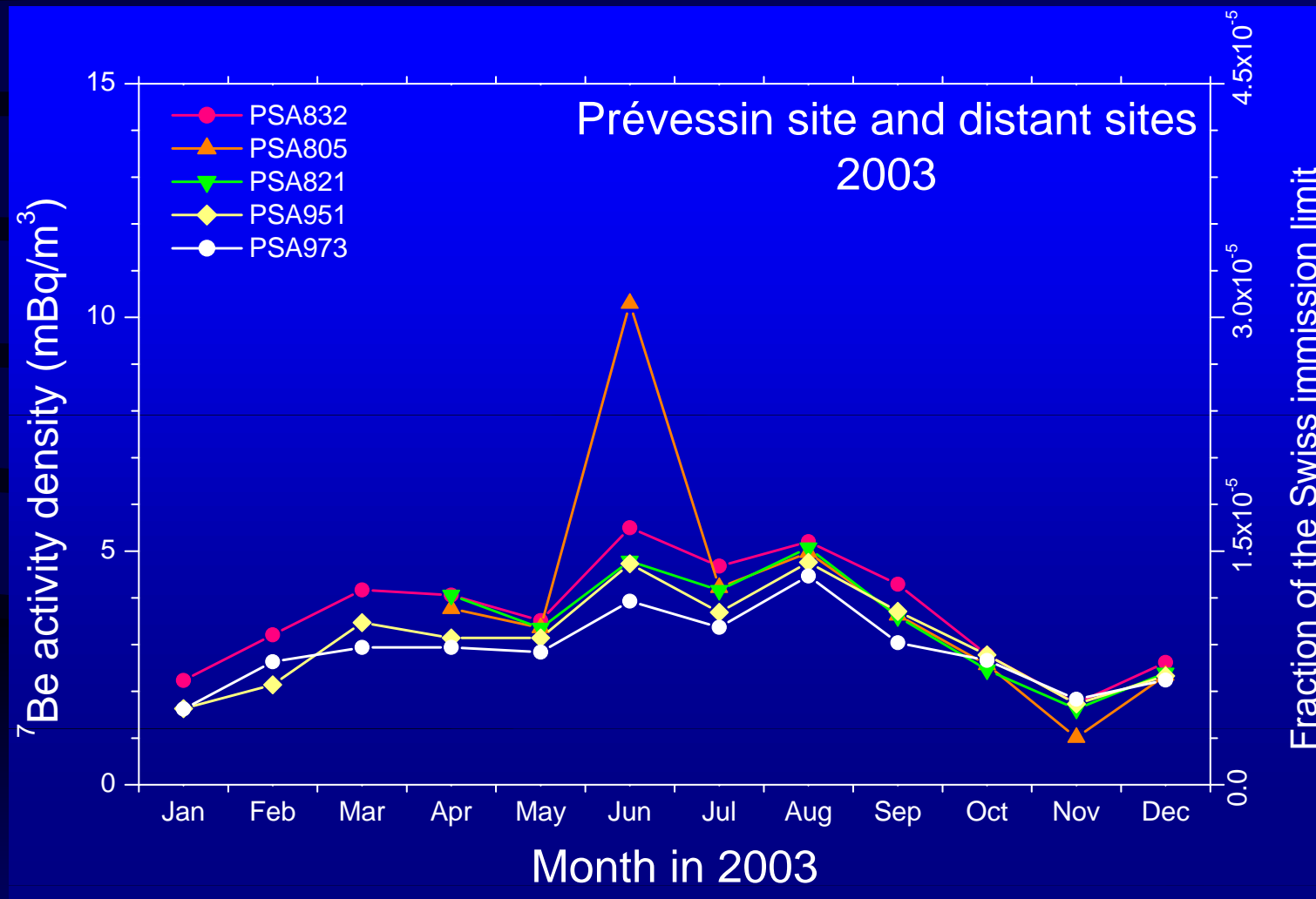
Príklad: Dávky rozptýleného žiarenia v roku 2003



Príklad: ^7Be v aerosoloch v roku 2003 (v atmosfére, 1)



Príklad: ^7Be v aerosoloch v roku 2003 (v atmosfére, 2)



Príklad: Riečny mach v roku 2003

Bq/kg dry weight

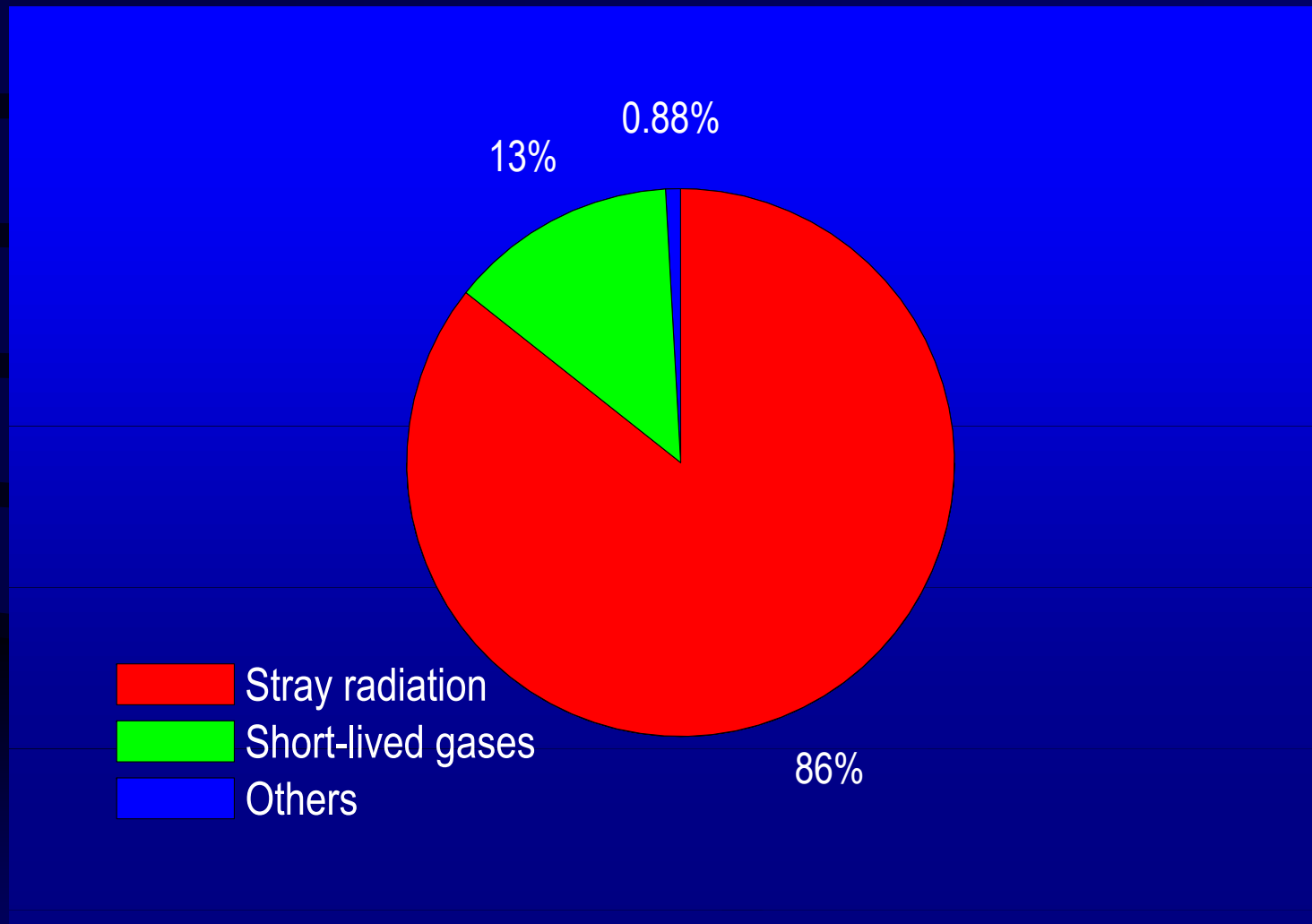
Reference river
↓

Sample	LL1	LL2	LL3	LL4	NA	VE
River	Le Lion (F)				Nant d'Avril (CH)	Versoix (CH)
Date	19/09/2003	18/09/2003	18/09/2003	19/09/2003	18/09/2003	18/09/2003
⁷ Be	1470 ± 70	300 ± 20	340 ± 20	180 ± 30	280 ± 20	380 ± 30
⁵⁴ Mn	12 ± 2	97 ± 3	< 0.5	< 3	< 2	< 2
⁶⁰ Co	< 1	2.1 ± 0.6	< 0.6	< 4	< 1	< 2
¹³⁷ Cs	16.7 ± 0.8	11 ± 2	7.1 ± 0.7	7 ± 4	14 ± 2	6 ± 2

Emisie a efektívne dávky v roku 2003

Radionuclide category	R (GBq)	D (Sv/Bq)	E (μSv)	R (GBq)	D (Sv/Bq)	E (μSv)
<i>Air releases</i>	<i>Meyrin site</i>			<i>Prévessin site</i>		
Tritium (water vapour)	170	5.7E-20	0.0097	17.0	3.8E-19	0.0065
⁷ Be (aerosol)	0.30	1.9E-17	0.0056	0.017	1.6E-16	0.0028
Short-lived gases (¹¹ C)	9600	3.4E-19	3.3	1380	5.5E-19	0.76
Other beta/gamma (⁶⁰ Co)	0.0100	1.5E-14	0.15	0.00073	1.2E-13	0.088
Radioactive iodine (¹²⁶ I)	0.0103	5.6E-16	0.0058	-	-	-
Alpha emitters (²¹² Pb)	0.0076	4.3E-16	0.0032	-	-	-
<i>Total from emissions</i>			<i>3.4</i>			<i>0.86</i>
<i>Water releases</i>	<i>Nant d'Avril</i>			<i>Le Lion</i>		
Tritium (HTO)	6.3	9.5E-20	0.00060	38	9.5E-20	0.0036
Other beta/gamma (²² Na)	0.041	7.1E-16	0.029	0.053	7.1E-16	0.037
<i>Total from water releases</i>			<i>0.030</i>			<i>0.041</i>
<i>Stray radiation</i>			<i>21</i>			<i>14</i>
Total from all sources (rounded)			25			15

Zloženie efektívnej dávky kritickej skupine (2003)



Výhled do budoucnosti

- CLIC – Compact Linear Collider (e^\pm ; čistý ako LEP)
- Budúce výzvy
 - Neutrínové továrne
 - hadrónové zväzky s MW výkonom
 - PBq rádioactivity v terčikoch
 - Rádioaktívne zväzky (zdroj fokusovaných *elektrónových* neutrín)
 - Miónové collidery
 - Expozícia neutrínami
 - Neutrínová dozimetria
 - Kritické skupiny obyvateľstva ďaleko od zdroja (v Tichomorí?)