

Monitorování aktivit ^{14}C v okolí jaderných elektráren České Republiky

**M. Fejgl^{2,1}, I.Světlík^{1,2}, T. Kolář³, M. Rybníček³, L. Tomášková¹,
P.P. Povinec⁴**

1 Oddělení dozimetrie záření, Ústav jaderné fyziky AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8

2 SURO, v.v.i., Bartoškova 28, Praha 4

3 Ústav nauky o dřevě, Lesnická fakulta Mendelovy univerzity, Zemědělská 3, Brno

4 Ústav jadrovej fyziky a biofyziky, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského, Bratislava

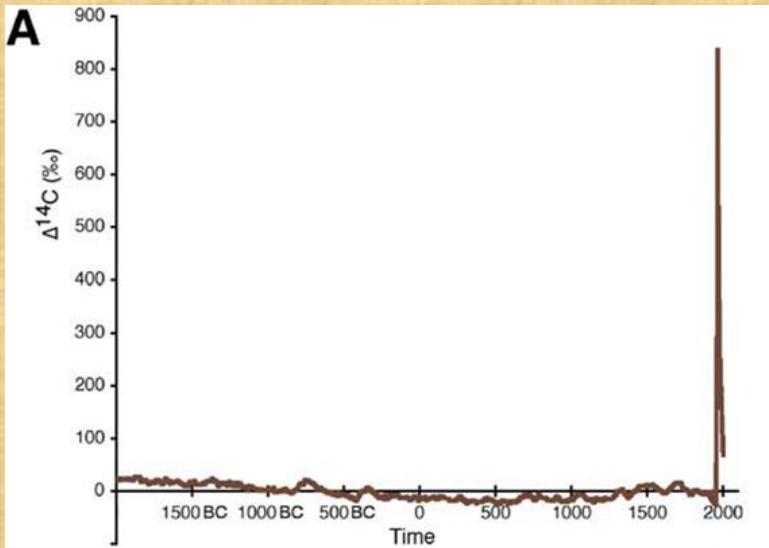
^{14}C a radiační ochrana

- Uhlík je biogenní prvek, snadno vstupuje do živých organismů
- Pro kvantifikaci dávek se uplatňuje aktivitní přístup bez využití přestupových koeficientů
- Referenční člověk - střední zastoupení uhlíku v těle dospělého člověka je 16 kg , denní příjem uhlíku 0,3 kg za den, biologický poločas uhlíku je 40 dní (ICRP 68, 1994, ICRP 71, 1995).
- V současnosti je specifická aktivita ^{14}C asi 226 Bq/kg uhlíku
- Celková aktivita v lidském těle je asi 3600 Bq ^{14}C (odpovídá 16 kg uhlíku).
- Konverzní faktor pro inhalaci a ingesci ^{14}C má hodnotu $5,8 \cdot 10^{-10} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$

- Vliv provozovaného jaderně-energetického zařízení na dávkové zátěže obyvatelstva je obvykle vyjadřován pomocí úvazků efektivních kolektivních dávek normalizovány na jednotku produkované elektrické energie (UNSCEAR 2000)

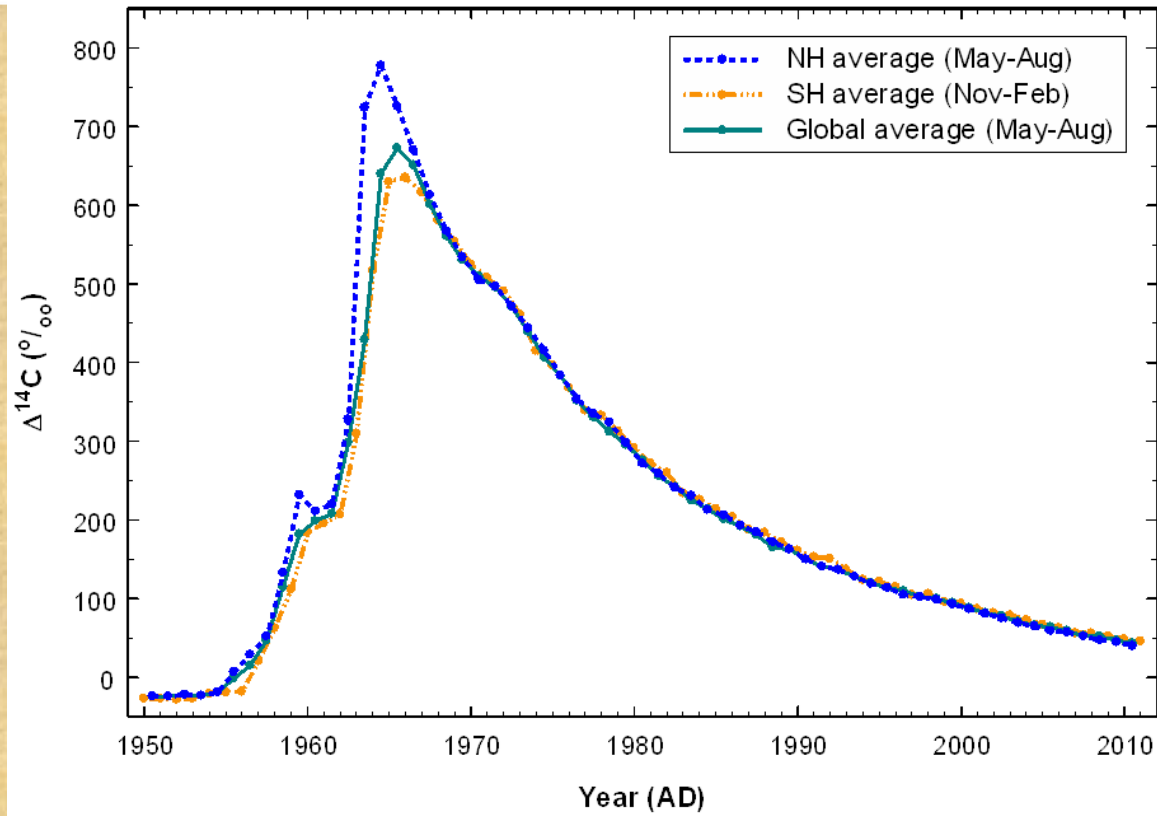
	Typ reaktoru				
	PWR	BWR	HWR	LWGR	FBR
Celkový únik ^{14}C (PBq/5 let)	0,041	0,035	0,015	0,01	0,000048
Kolektivní dávka (man sv)	10	9,5	4,1	2,8	0,013
Produkce elektrické energie (GW/rok)	163,1	66,4	12,7	7,93	0,40
normalizovaná kolektivní dávka man Sv.GW _F ⁻¹ .rok ⁻¹	0,061	0,14	0,32	0,35	0,033

^{14}C způsobuje nejvyšší dávkové zátěže obyvatelstva ze všech radionuklidů, vypouštěných za rutinního provozu elektráren (PWR) do plyných výpustí



- Aktivita ^{14}C – vyjadřuje se podle konvence prostřednictvím parametru $\Delta^{14}\text{C}$.
- Do roku 1950 jen mírné výkyvy aktivity ^{14}C v atmosféře

- Testy jaderných zbraní
- Aktivita ^{14}C v atmosféře byla v roce 1963 téměř zdvojnásobena
- Od té doby pokles aktivit především přestupem ^{14}C do jiných rezervoárů a díky Suessovu efektu

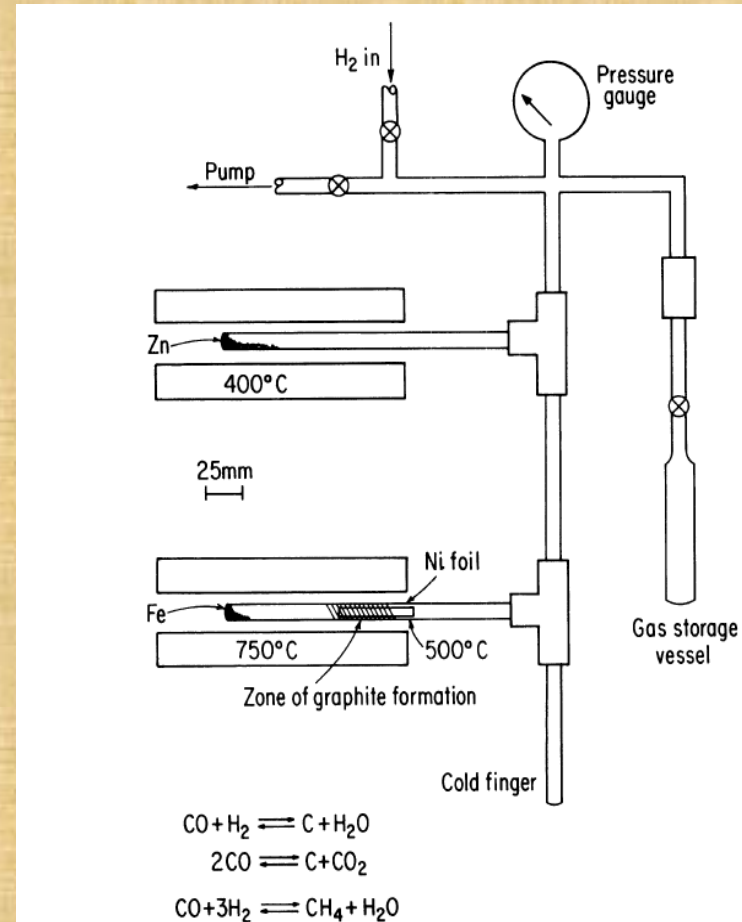


Stanovení aktivit ^{14}C -metody používané v ČR

- **Kapalinová scintilační spektrometrie**
- Převedení vzorků do formy benzenu + zdlouhavé proměřování (přibližně 3 dny)
- Minimální potřebné množství uhlíku k analýze je asi 10 gramů
- **Preparace mikrovzorků, měření pomocí AMS**
- Předvedení vzorků do formy grafitu
- Od 2014 je preparace provozována na pracovišti ODZ ÚJF AV ČR
- AMS měření prováděna na pracovišti ATOMKI Debrecen
- Standardní množství vzorku k analýze = 2 mg uhlíku od vzorku

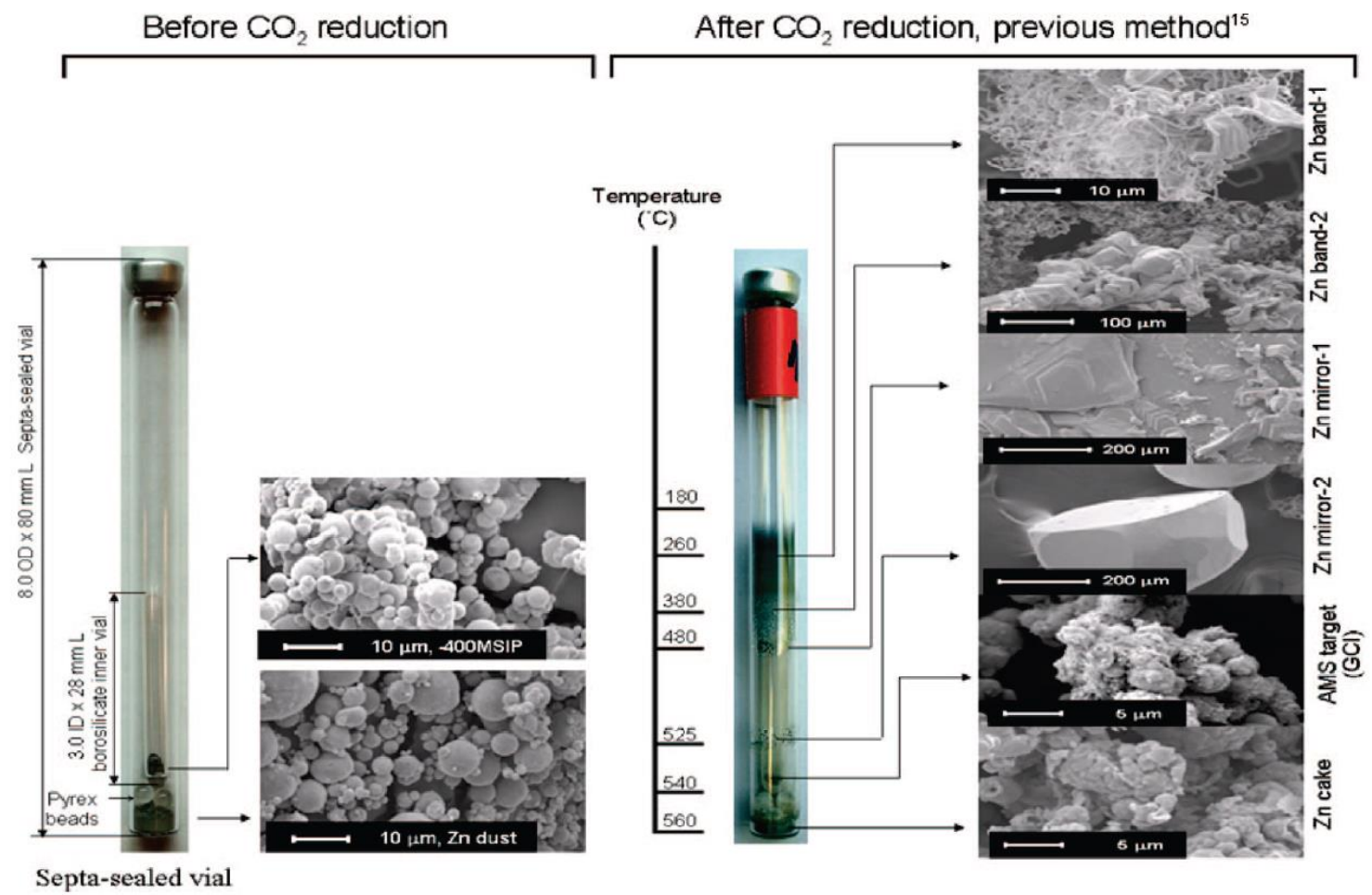
Grafitizace CO₂

	Katalyzátor	Redukční činidlo	Chemické reakce	Využití
1	Fe	plynný vodík	$2CO \Rightarrow C + CO_2$ $CO + H_2 \Rightarrow C + H_2O$ $CO_2 + 2H_2 \Rightarrow C + 2H_2O$	Datování, biologické a biomedicínské studie
2	Fe a Ni	Zn a plynný vodík	$Zn + CO_2 \Rightarrow ZnO + CO$ $2CO \Rightarrow CO_2 + C$ $H_2 + CO \Rightarrow C + H_2O$	Datování, biologické a biomedicínské studie
3	Fe, Co, nebo Ni	Zn	$Zn + CO_2 \Rightarrow ZnO + CO$ $2CO \Rightarrow CO_2 + C$	Datování
4	Fe nebo Co	Zn a TiH ₂	$TiH_2 \Rightarrow Ti + H_2$ $H_2O + Zn \Rightarrow H_2 + ZnO$ $CO_2 + H_2 \Rightarrow CO + H_2O$ $CO + H_2 \Rightarrow C + H_2O$ $2CO \Rightarrow C + CO_2$	Biologické a biomedicínské studie, datování
5	Fe (obvykle)	Zn (H ₂ je produkován z vody vlastního vzorku po spálení vzorku)	$Zn + H_2O \Rightarrow ZnO + H_2$ $Zn + CO_2 \Rightarrow ZnO + CO$ $CO_2 + H_2 \Rightarrow CO + H_2O$ $CO + H_2 \Rightarrow C + H_2O$ $2CO \Rightarrow C + CO_2$ $CO_2 + 2H_2 \Rightarrow C + 2H_2O$	Biologické a biomedicínské studie



(Jull et al., 1986)

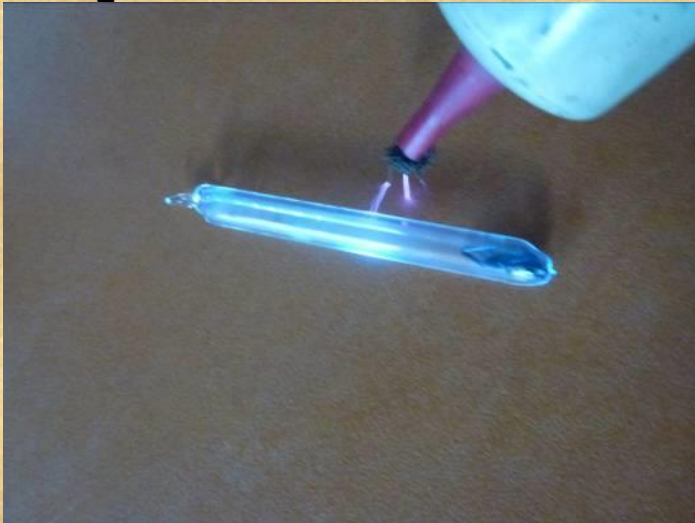
Znovuvedení metody do praxe s vyžitím teplotního gradientu



(Kim et al., 2008)

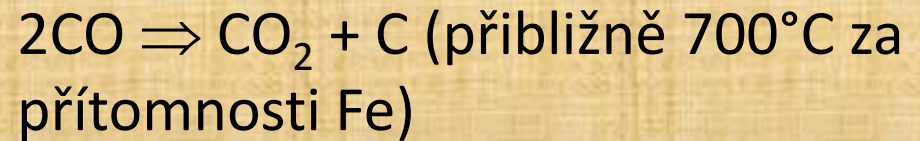
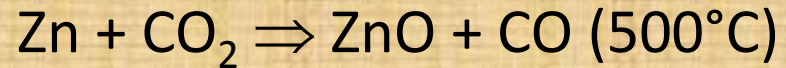
Preparace mikrovzorků

- Spalování
- $\text{CO}_2 + \text{CuO}$, teplota 950°C



Grafitizace

Katalytická redukce CO_2



Monitorování aktivit ^{14}C v okolí jaderných elektráren ČR

- 2002-2005 odběry listů opadavých stromů
- 2007-2008 odběry kopřiv
- 2014 vzorkování letokruhů

- Paralelně bylo vzorkování prováděno i v referenčních lokalitách vzdálených od JE a s podobnou hustotou dopravy, jako vykazuje okolí JE – obdobný vliv Suessova efektu
- Košetice – stálá referenční lokalita

Výsledky monitorování aktivit ^{14}C v biotě

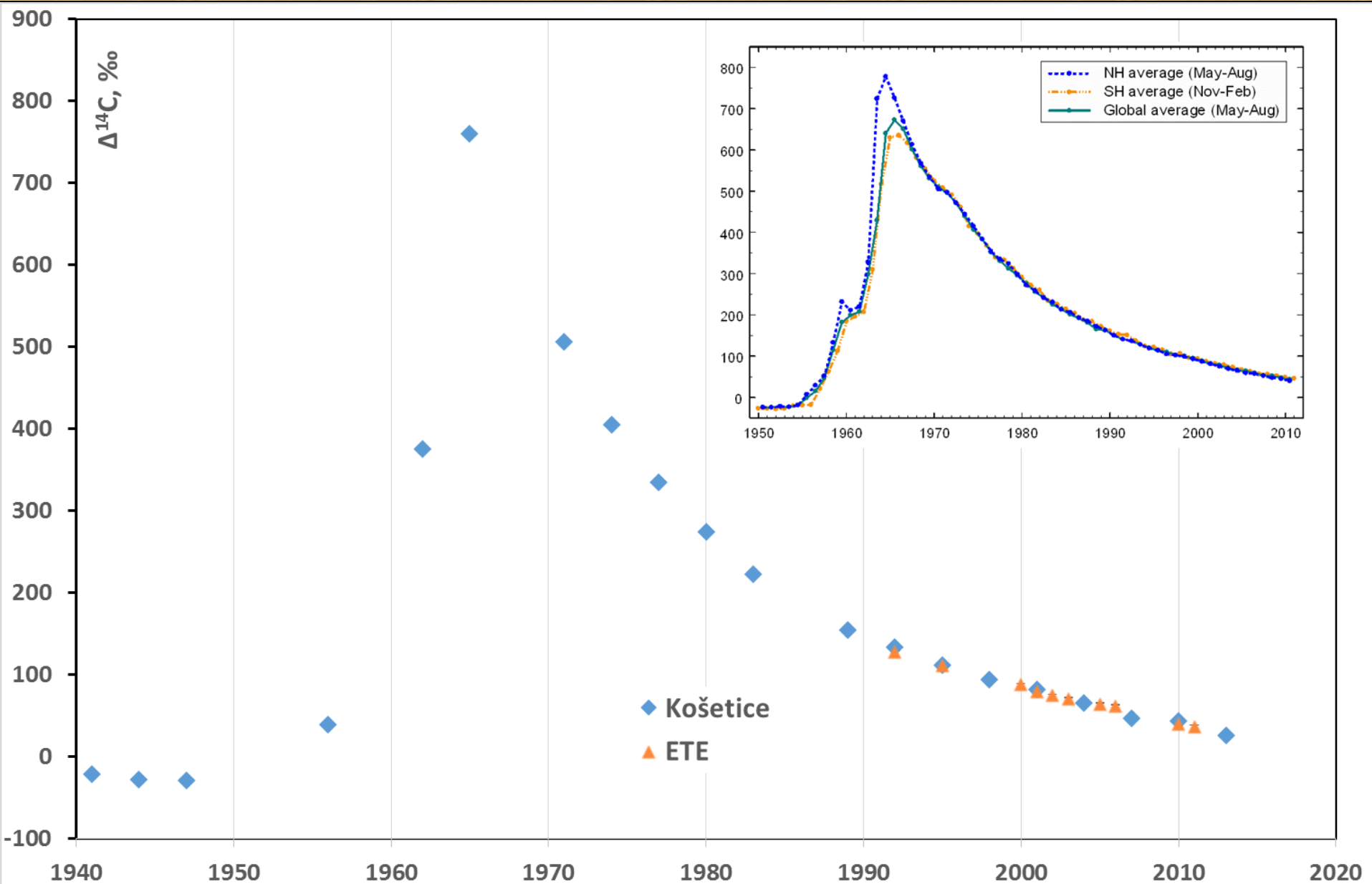
Tree leaves, 2002 - 2005, $\Delta^{14}\text{C}$, ‰	EDU	ETE	Reference localities (A)	Reference localities (B)
Average	60.1	61.0	56.2	47.4
Median	58.3	60.4	56.2	45.7
Standard deviation (s)	13.2	9.0	6.5	7.3
Variation	173	81	42.1	53.5
Number of observations	27	50	21	9
Observed maximum	95.9	84.4	67.9	58.7
Observed minimum	39.8	41.7	44.0	38.0

Couple compared	t-test, enclosures (5% probability of the first kind of observation error)
A-B	$T_o > T_c \Rightarrow$ difference is significant
EDU-A	$T_o < T_c \Rightarrow$ <i>observed difference is not significant</i>
EDU-B	$T_o > T_c \Rightarrow$ difference is significant
ETE-A	$T_o > T_c \Rightarrow$ difference is significant
ETE-B	$T_o > T_c \Rightarrow$ difference is significant
EDU-ETE	$T_o < T_c \Rightarrow$ <i>observed difference is not significant</i>

Nettle sampling, 2007 - 2008, $\Delta^{14}\text{C}$, ‰	EDU	rEDU	ETE	rETE
Average	37.9	33.2	35.4	30.0
Median	35.5	33.4	34.5	30.3
Standard deviation	7.2	4.7	4.6	2.4
Variation	52.2	22.1	21.3	5.9
Number of observations	10	6	8	5
Observed maximum	52.7	39.7	42.9	32.5
Observed minimum	30.0	26.6	28.8	27.0

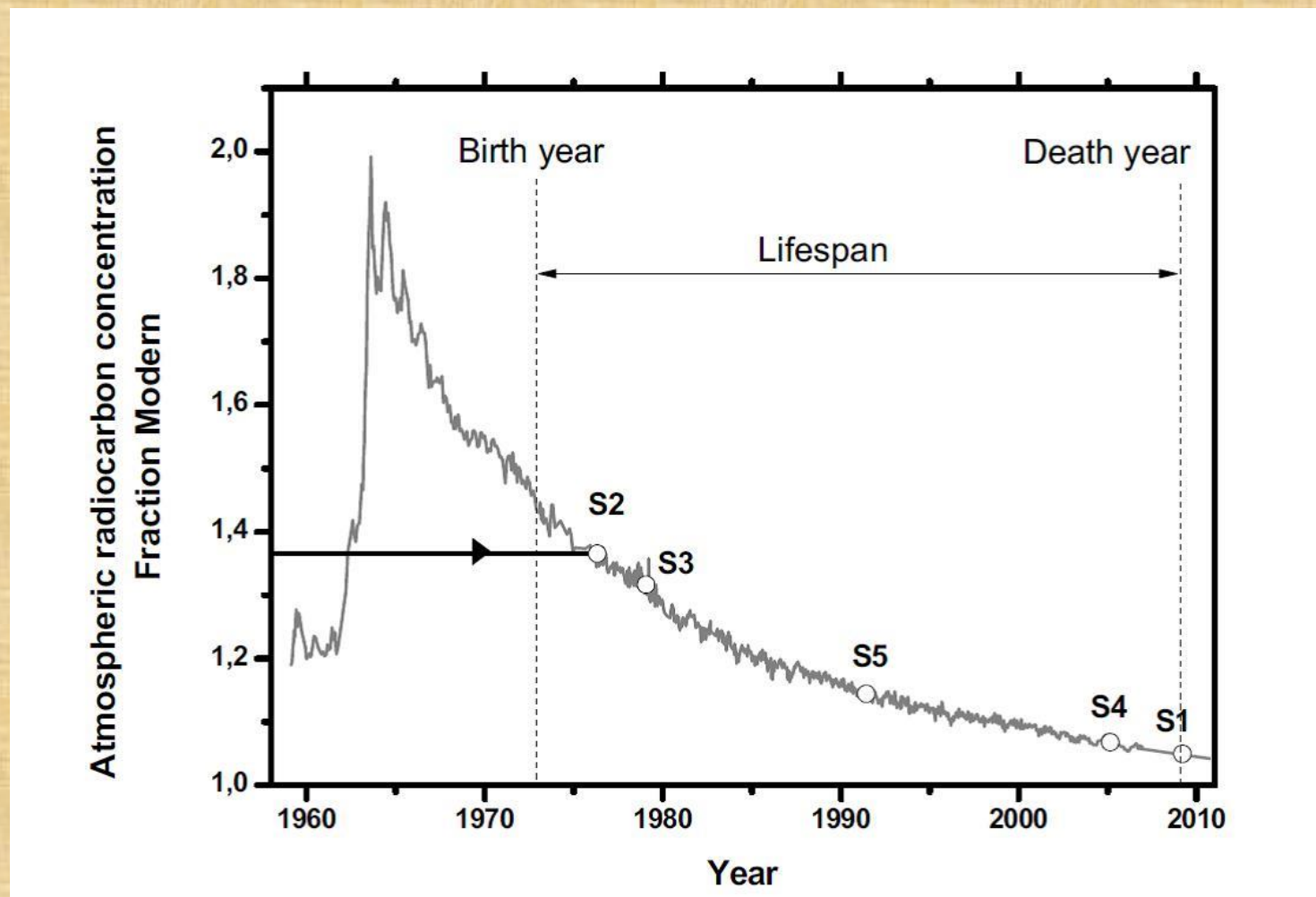
Couple compared	t-test, enclosures (5% probability of the first kind of observation error)
EDU-ETE	$T_o < T_c \Rightarrow$ <i>difference is not significant</i>
EDU-rEDU	$T_o < T_c \Rightarrow$ <i>difference is not significant</i>
ETE-rETE	$T_o > T_c \Rightarrow$ difference is significant
rEDU-rETE	$T_o < T_c \Rightarrow$ <i>difference is not significant</i>

Výsledky monitorování aktivit ^{14}C v letokruzích dřevin



Lokální průběh bombového píku

Je užitečný například pro forenzní analýzy – datování tělesných ostatků-stanovení narození, či smrti



S1-vlasy, S2, S3-zuby. Datování doby narození lze spolehlivě u osob narozených po roce 1943

Závěr

- Momentálně jsou zpracovávány letokruhy pro párový T-test Temelín - Košetice
- Možnost ještě jemnějšího retrospektivního monitorování analýzou jednotlivých pater kopřiv