

# NOVÁ AMS MILEA V ŘEŽI: RADIOUHLÍKOVÉ DATOVÁNÍ

KATEŘINA PACHNEROVÁ BRABCOVÁ  
ÚSTAV JADERNÉ FYZIKY AV ČR

# Projekt

OP VVV MŠMT „RAMSES“

2018 – 2023

Cíl: vybudovat AMS laboratoř

Tři partneři:

Ústav jaderné fyziky AV ČR

Archeologický ústav AV ČR

FJFI ČVUT

# AMS MILEA

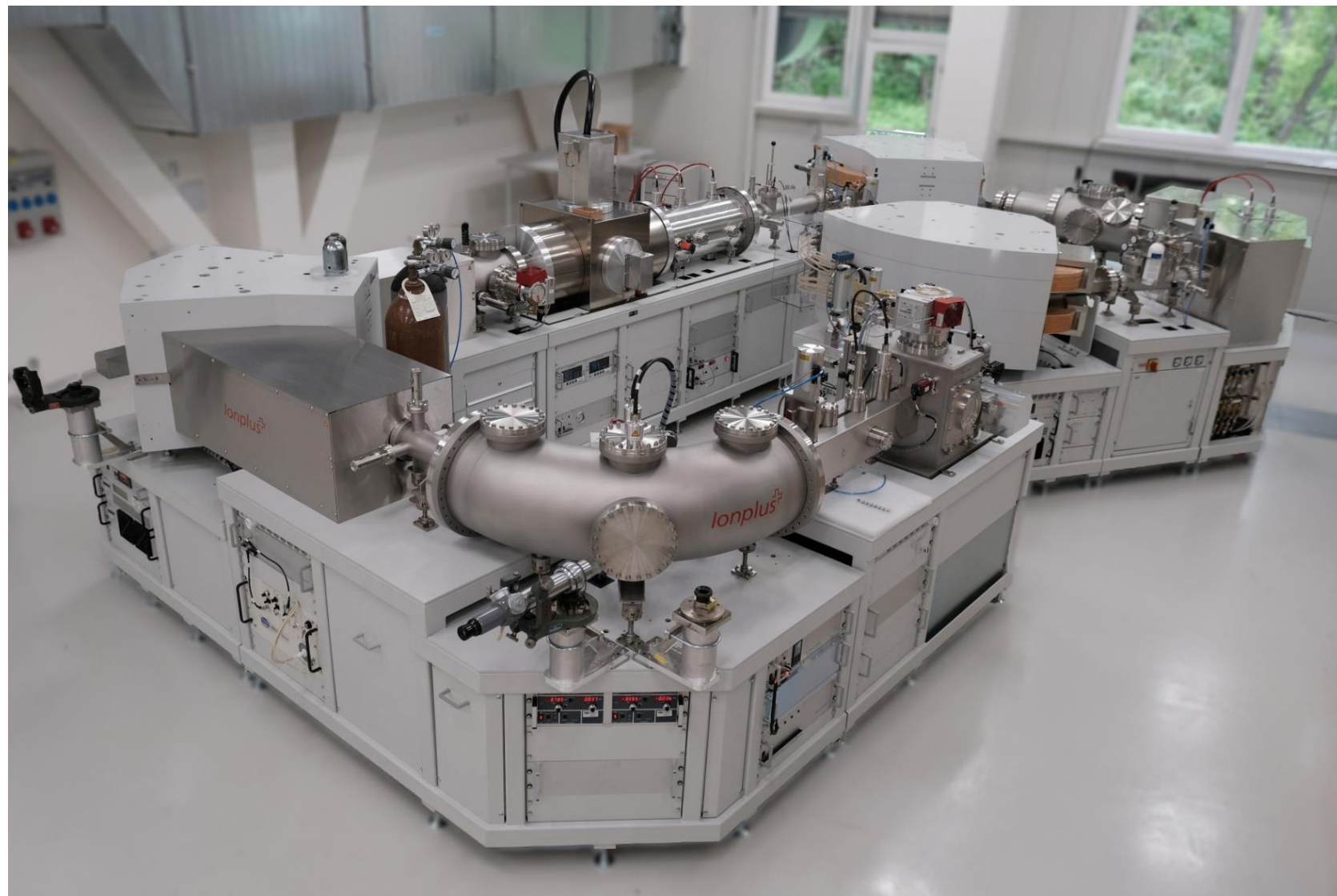
Ionplus, Švýcarsko

300 kV tandetron

Cs sputter

He stripper

$^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  
 $^{129}\text{I}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  a  
další aktinoidy



# Rozvrh

03 2018	Projekt začal
2019 - 2020	Výstavba budovy
02 2019	Podpis smlouvy s Ionplus
25.5. 2020	První data v MILEA databázi
08 2020	Dokončeny FAT
09 2020	MILEA přijela do Prahy
05 2021	Start instalace
20.5. 2021	MILEA se probudila v Praze
06 2021	Dokončeny SAT

# Rozvrh

06 2021

2 a 2 týdny školení

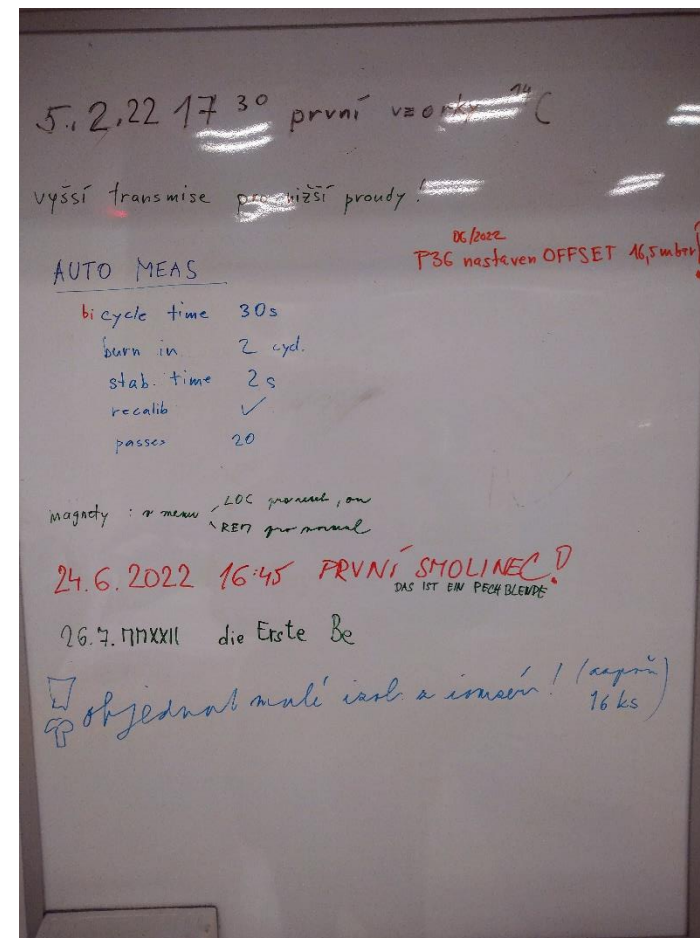
09 21 – 01 22

Testy, tápání, zoufalost



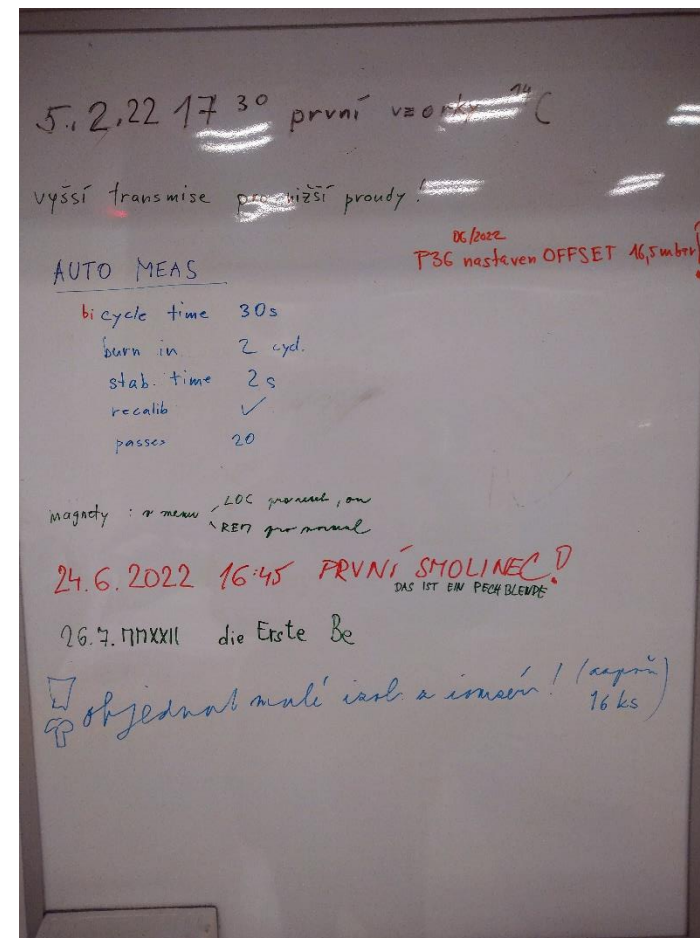
# Rozvrh

06 2021	2 a 2 týdny školení
09 21 – 01 22	Testy, tápání, zoufalost
5.2. 2022	První radiouhlíkové vzorky

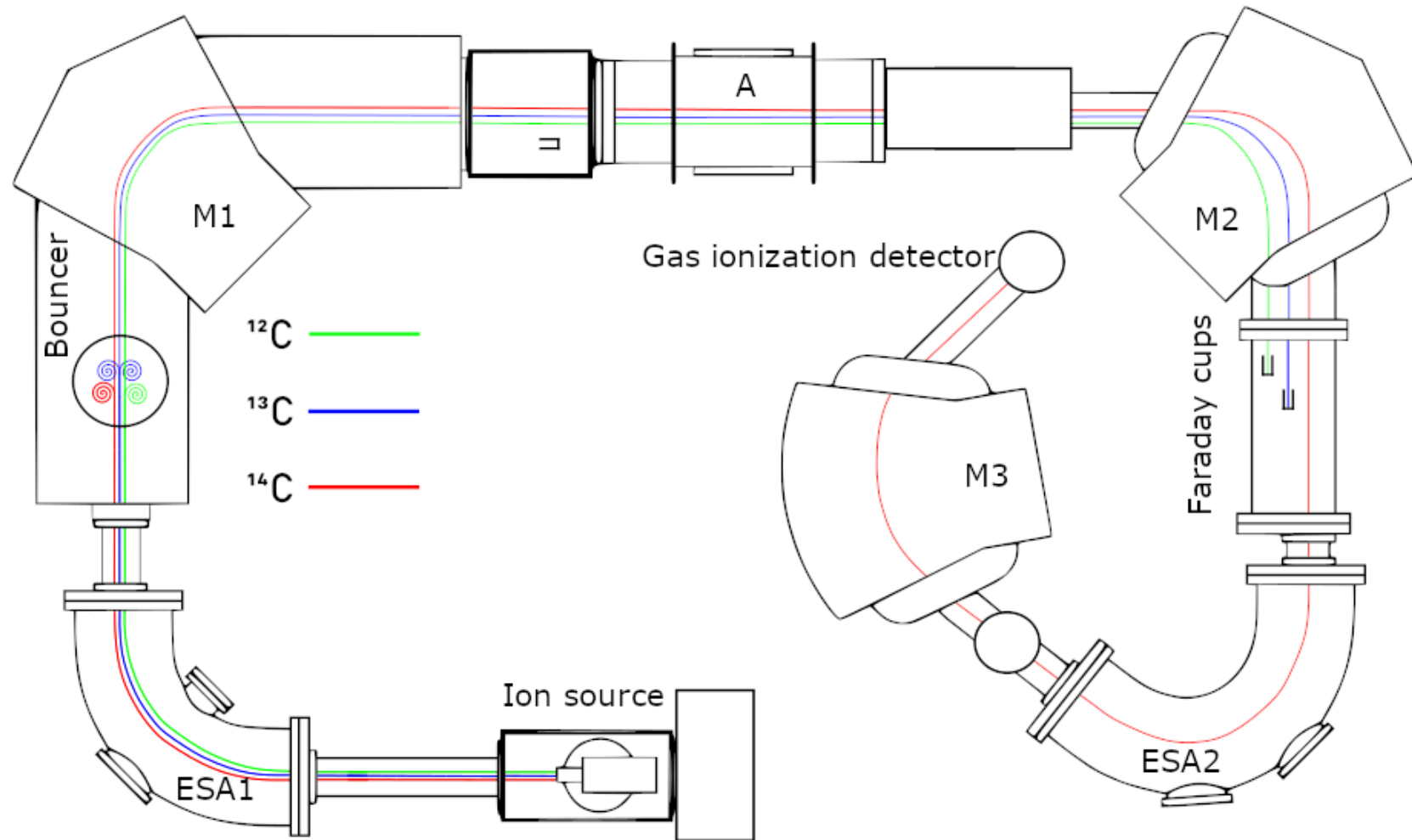


# Rozvrh

06 2021	2 a 2 týdny školení
09 21 – 01 22	Testy, tápání, zoufalost
5.2. 2022	První radiouhlíkové vzorky
24.6. 2022	První uranové vzorky
26.7. 2022	První beryliové
léto 2022	První jodové



# Princip





# Výsledek AMS měření

$${}^x\text{C} = I_x/t.e \rightarrow {}^{14}\text{C}/{}^{12}\text{C} \text{ a } {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$$

Korekce na interference v detekčním systému: odhad podílu nestripovaných molekul v  ${}^{14}\text{C}$  signálu

Odečtení pozadí

Oprava na frakcionaci: příprava, odprašování...

Normalizace na standard: kyselina šťavelová z roku 1977

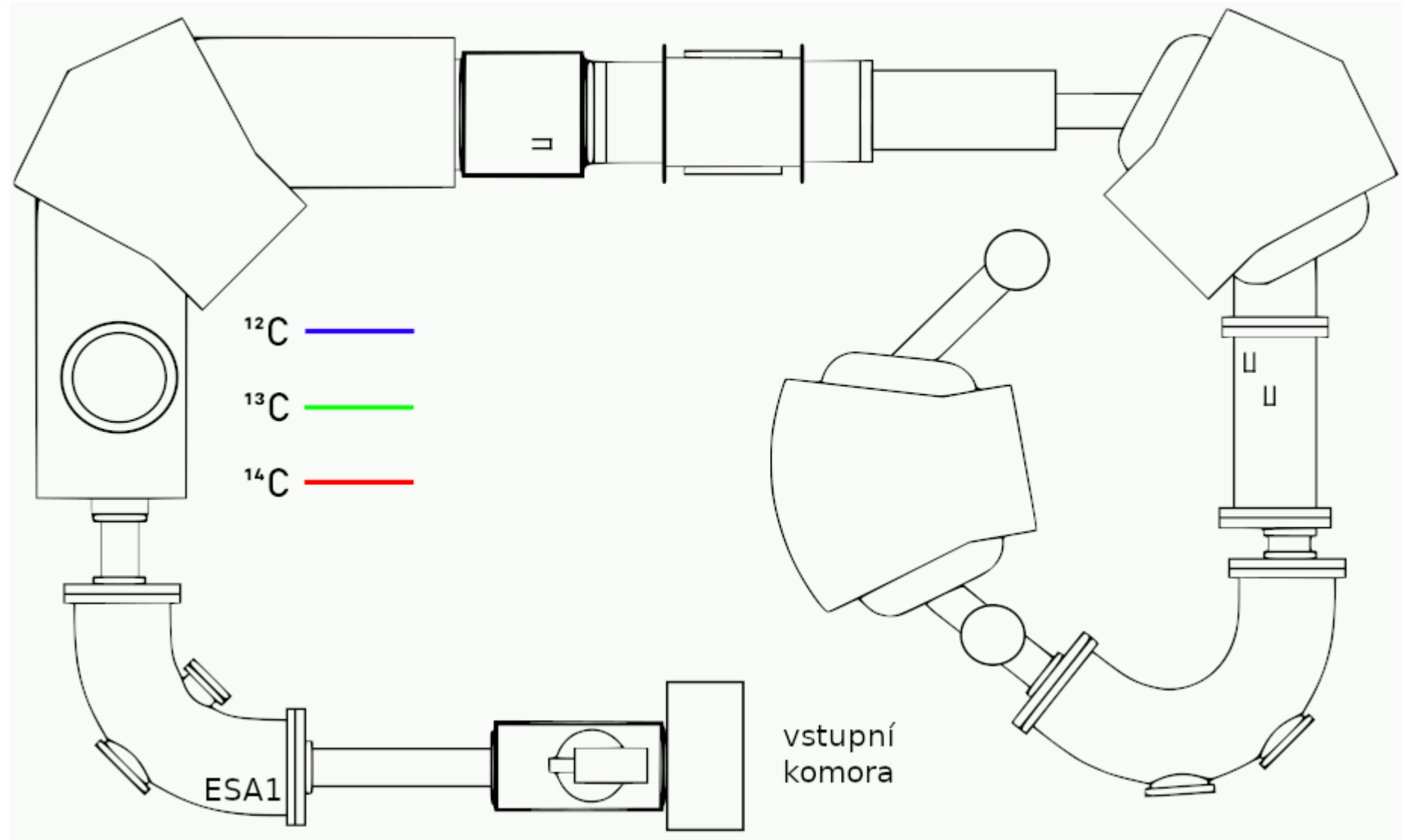
... pro každé **jednotlivé měření**, z toho průměr

Z toho tzv nekalibrované uhlíkové stáří

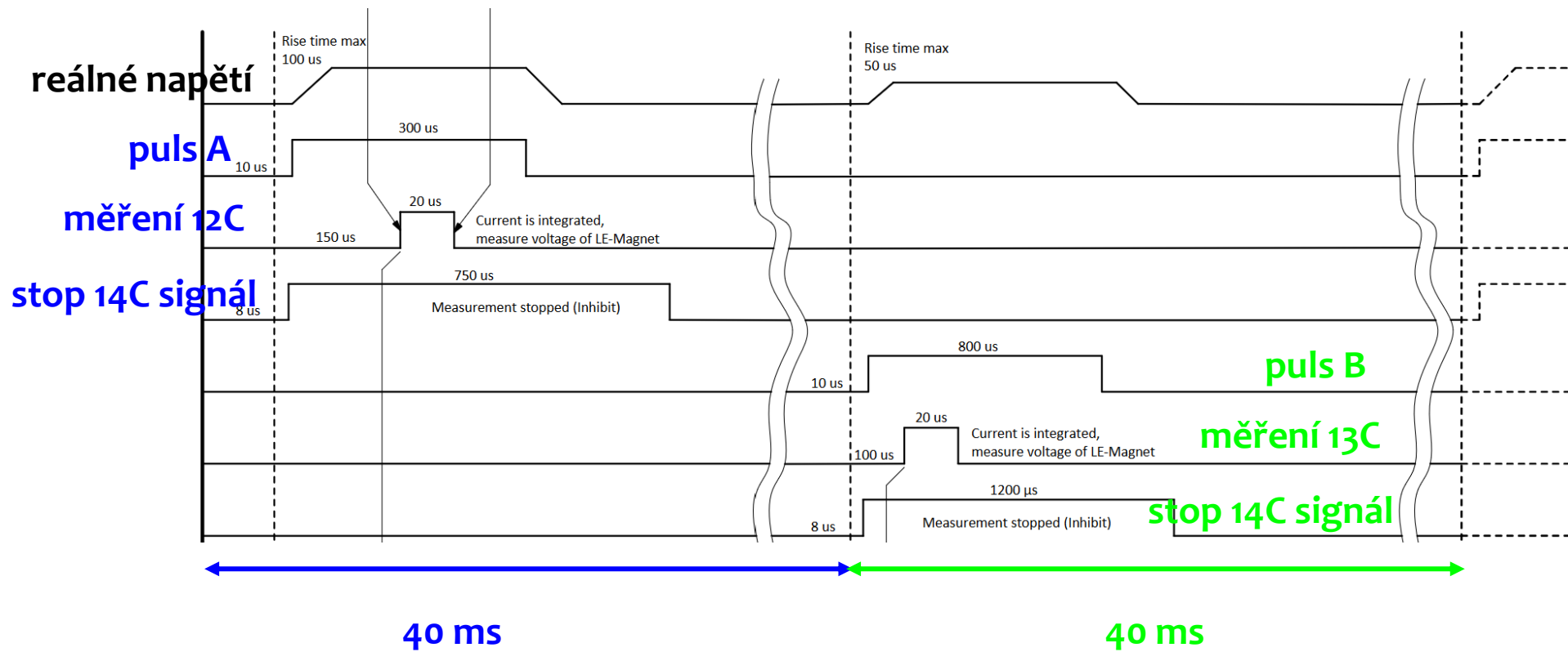
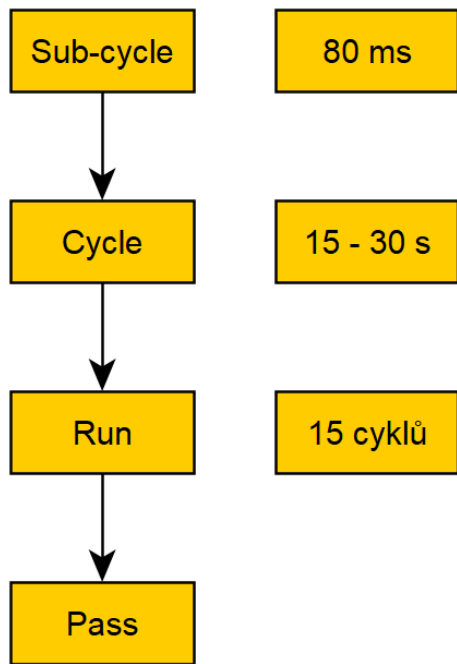
# Schéma měření

$^{14}\text{C}/^{12}\text{C} \sim 10^{-12}$

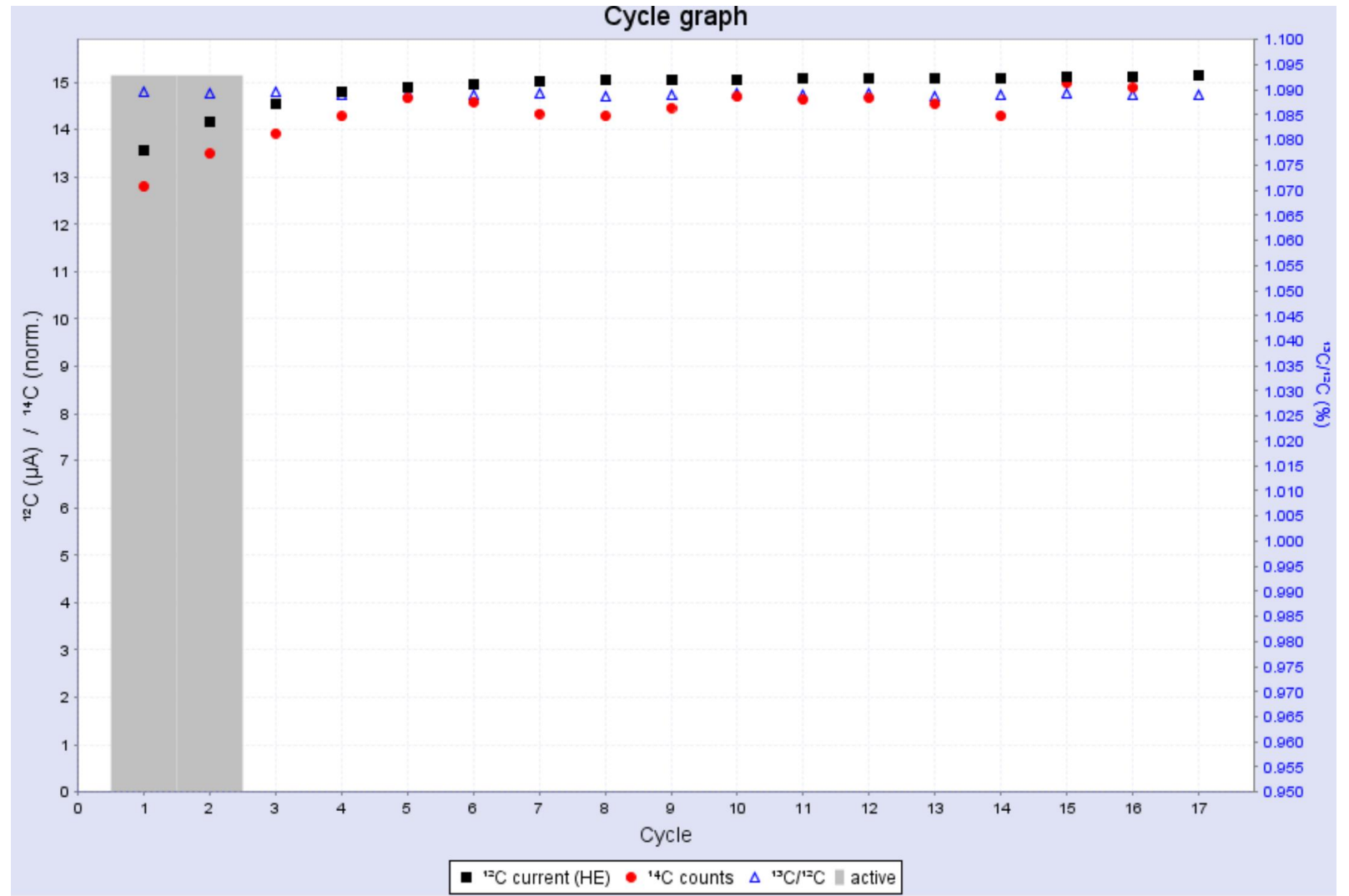
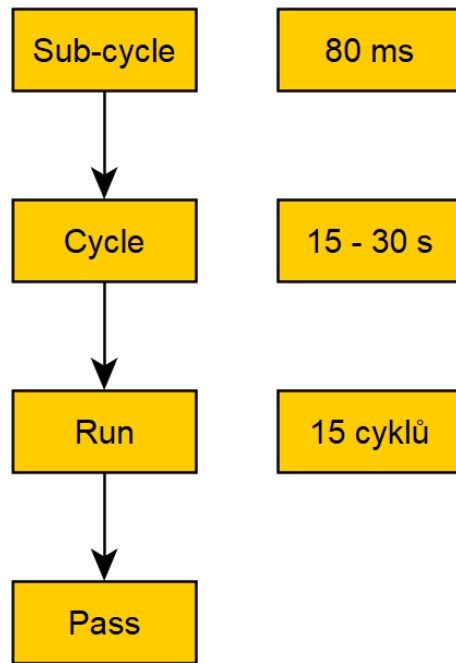
$^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \sim 10^{-2}$



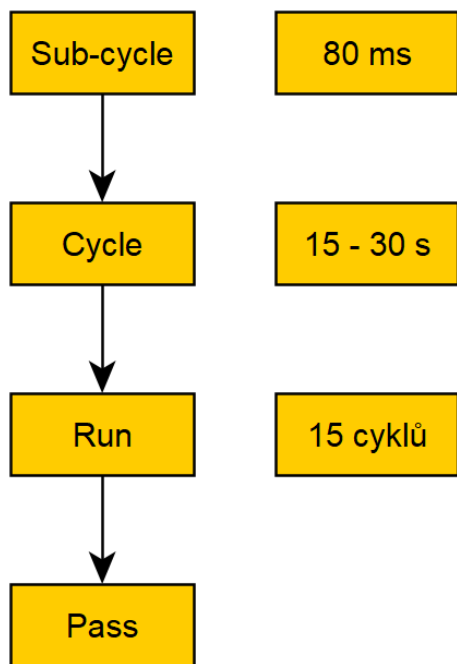
# Vnořené cykly



# Vnořené cykly



# Vnořené cykly



run	run	pos	target ID	sample description	sample type	<sup>14</sup> C	<sup>12</sup> C (HE) (μA)	<sup>13</sup> C (HE) (nA)	<sup>12</sup> C (LE) (μA)	<sup>14</sup> C/ <sup>12</sup> C (10 <sup>-12</sup> )	err	chi2	<sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C (%)	F <sup>14</sup> C	d <sup>13</sup> C (%)	trans	<sup>13</sup> C <sub>H</sub> (nA)	r-time	cyc	
AC25290	25290	2	885.2.1	H1120	oxa2	61,270	15.00	163.4	29.6	1.4919	0.006	1.1	1.0891	1.3438	-26.1	50.7	0.3	438.5	15	✓
AC25291	25291	3	886.1.1	H1169	oxa2	78,290	18.69	207.8	35.0	1.5315	0.005	0.7	1.1120	1.3231	-5.6	53.4	0.5	438.3	15	✓
AC25292	25292	4	887.1.1	H1171	oxa2	69,745	16.86	186.4	31.8	1.5225	0.006	0.5	1.1059	1.3298	-11.0	53.1	0.6	435.4	15	✓
AC25293	25293	5	888.1.1	H1172	oxa2	71,147	16.90	187.0	31.8	1.5386	0.006	1.5	1.1062	1.3432	-10.8	53.2	0.5	438.4	15	✓
AC25294	25294	6	889.1.1	H1174	oxa2	76,014	18.29	202.7	33.8	1.5194	0.006	0.7	1.1084	1.3213	-8.9	54.0	0.4	438.3	15	✓
AC25295	25295	7	890.1.1	T464	bl	57	18.60	203.5	35.2	0.0011	0.000	0.6	1.0938	0.0010	-21.9	52.8	0.4	439.0	15	✓
AC25296	25296	8	891.1.1	T468	bl	42	16.54	180.5	31.3	0.0009	0.000	1.1	1.0915	0.0008	-23.9	52.9	0.4	439.0	15	✓
AC25297	25297	9	892.1.1	T474	bl	47	17.40	190.3	32.9	0.0010	0.000	1.0	1.0933	0.0009	-22.3	53.0	0.5	439.0	15	✓
AC25298	25298	10	893.1.1	T475	bl	53	17.42	190.3	32.8	0.0011	0.000	1.0	1.0928	0.0010	-22.8	53.1	0.4	439.1	15	✓
AC25299	25299	11	894.1.1	T476	bl	63	17.63	192.8	33.2	0.0013	0.000	0.9	1.0938	0.0012	-21.9	53.1	0.5	436.0	15	✓
AC25300	25300	12	895.1.1	22 0179	sample	48,410	17.34	190.0	32.8	1.0196	0.005	0.6	1.0954	0.9075	-20.4	52.9	0.4	438.6	15	✓
AC25301	25301	13	896.1.1	22 0180m	sample	17,462	6.14	66.4	12.3	1.0385	0.008	1.4	1.0816	0.9481	-32.8	50.1	0.1	439.9	15	✓
AC25302	25302	14	897.1.1	22 0181l	sample	6,420	2.37	25.4	4.9	0.9901	0.012	0.6	1.0744	0.9160	-39.2	48.2	0.0	439.0	15	✓
AC25303	25303	15	898.1.1	22 0182	sample	22,539	8.22	88.9	16.2	1.0013	0.007	0.7	1.0822	0.9132	-32.3	50.7	0.2	438.8	15	✓
AC25304	25304	16	899.1.1	22 0183	sample	53,325	18.30	201.3	34.7	1.0645	0.005	1.2	1.1000	0.9396	-16.3	52.7	0.5	438.6	15	✓
AC25305	25305	17	900.1.1	22 0184m	sample	20,791	7.86	85.2	15.6	0.9659	0.007	0.8	1.0839	0.8781	-30.8	50.5	0.2	438.8	15	✓
AC25306	25306	18	901.1.1	22 0186	sample	49,415	17.98	198.1	34.1	1.0040	0.005	1.0	1.1018	0.8832	-14.7	52.7	0.4	438.6	15	✓
AC25307	25307	19	902.1.1	22 0187m	sample	50,089	18.56	204.1	35.1	0.9856	0.004	0.6	1.0993	0.8711	-17.0	52.8	0.6	438.6	15	✓
AC25308	25308	20	903.1.1	22 0188m	sample	46,637	17.07	187.4	32.5	0.9977	0.005	1.2	1.0975	0.8847	-18.6	52.5	0.6	438.6	15	✓
AC25309	25309	21	904.1.1	22 0189m	sample	49,489	18.03	198.3	33.9	1.0028	0.005	0.9	1.1001	0.8850	-16.3	53.1	0.5	438.6	15	✓
AC25310	25310	22	905.1.1	22 0190m	sample	51,489	18.71	206.1	35.4	1.0055	0.004	0.9	1.1019	0.8845	-14.7	52.8	0.5	438.6	15	✓
AC25311	25311	23	906.1.1	22 0191m	sample	51,315	18.47	203.2	35.0	1.0150	0.004	0.7	1.0999	0.8960	-16.4	52.8	0.5	438.6	15	✓
AC25312	25312	24	907.1.1	22 0192m	sample	47,821	17.46	191.6	33.2	1.0003	0.005	0.6	1.0971	0.8876	-19.0	52.7	0.5	438.6	15	✓
AC25313	25313	25	908.1.1	22 0193m	sample	35,383	13.09	142.6	25.3	0.9870	0.005	1.5	1.0893	0.8884	-25.9	51.7	0.4	438.7	15	✓
AC25314	25314	26	909.1.1	22 0194m	sample	34,816	12.81	139.6	24.8	0.9928	0.005	1.0	1.0897	0.8929	-25.6	51.7	0.4	438.7	15	✓
AC25315	25315	27	910.1.1	22 0195m	sample	41,819	15.17	165.8	29.1	1.0066	0.005	1.3	1.0930	0.9000	-22.6	52.1	0.4	438.7	15	✓
AC25316	25316	2	885.2.1	H1120	oxa2	62,539	15.24	165.9	30.1	1.4993	0.006	1.5	1.0889	1.3509	-26.3	50.6	0.4	438.5	15	✓
AC25317	25317	3	886.1.1	H1169	oxa2	78,572	18.69	207.5	35.4	1.5367	0.005	0.7	1.1104	1.3314	-7.0	52.8	0.6	438.3	15	✓
AC25318	25318	4	887.1.1	H1171	oxa2	77,352	18.39	203.5	34.8	1.5373	0.006	0.8	1.1063	1.3419	-10.7	52.8	0.6	438.4	15	✓
AC25319	25319	5	888.1.1	H1172	oxa2	77,481	18.43	203.8	34.9	1.5370	0.006	1.3	1.1063	1.3416	-10.7	52.7	0.5	438.4	15	✓
AC25320	25320	6	889.1.1	H1174	oxa2	85,600	20.51	227.2	38.5	1.5260	0.005	0.4	1.1081	1.3276	-9.1	53.2	0.5	438.3	15	✓
AC25321	25321	7	890.1.1	T464	bl	51	18.72	204.9	35.6	0.0010	0.000	0.8	1.0943	0.0009	-21.5	52.6	0.4	439.0	15	✓
AC25322	25322	8	891.1.1	T468	bl	44	17.64	192.5	33.6	0.0009	0.000	0.8	1.0916	0.0008	-23.9	52.5	0.4	439.0	15	✓
AC25323	25323	9	892.1.1	T474	bl	63	18.00	196.8	34.1	0.0013	0.000	0.9	1.0929	0.0011	-22.7	52.8	0.5	439.1	15	✓
AC25324	25324	10	893.1.1	T475	bl	49	18.34	200.3	34.8	0.0010	0.000	0.5	1.0924	0.0009	-23.1	52.6	0.5	439.0	15	✓
AC25325	25325	11	894.1.1	T476	bl	55	18.31	200.2	34.8	0.0011	0.000	0.7	1.0935	0.0010	-22.2	52.6	0.6	439.0	15	✓
AC25326	25326	12	895.1.1	22 0179	sample	50,037	17.96	196.6	34.2	1.0179	0.005	0.6	1.0949	0.9068	-20.9	52.5	0.5	438.6	15	✓
AC25327	25327	13	896.1.1	22 0180m	sample	17,994	6.31	68.2	12.7	1.0411	0.008	1.0	1.0801	0.9530	-34.1	49.5	0.1	438.8	15	✓
AC25328	25328	14	897.1.1	22 0181l	sample	7,492	2.72	29.2	5.7	1.0052	0.012	0.8	1.0735	0.9316	-40.0	47.8	0.0	439.0	15	✓
AC25329	25329	15	898.1.1	22 0182	sample	24,023	8.88	96.1	17.7	0.9875	0.006	1.1	1.0818	0.9012	-32.6	50.2	0.2	438.8	15	✓
AC25330	25330	16	899.1.1	22 0183	sample	56,375	19.32	212.5	36.9	1.0660	0.004	0.8	1.1001	0.9409	-16.3	52.3	0.5	438.5	15	✓
AC25331	25331	17	900.1.1	22 0184m	sample	21,721	8.13	88.0	16.3	0.9757	0.007	0.6	1.0825	0.8892	-32.0	49.9	0.2	438.8	15	✓
AC25332	25332	18	901.1.1	22 0186	sample	51,188	18.54	204.2	35.3	1.0084	0.004	1.2	1.1011	0.8883	-15.4	52.5	0.5	438.6	15	✓
AC25333	25333	19	902.1.1	22 0187m	sample	51,589	19.28	211.8	36.7	0.9777	0.004	1.2	1.0988	0.8648	-17.4	52.5	0.6	438.6	15	✓



# Nestabilita systému



# Nejistota výsledku AMS měření

Četnost měření

Molekulární korekce

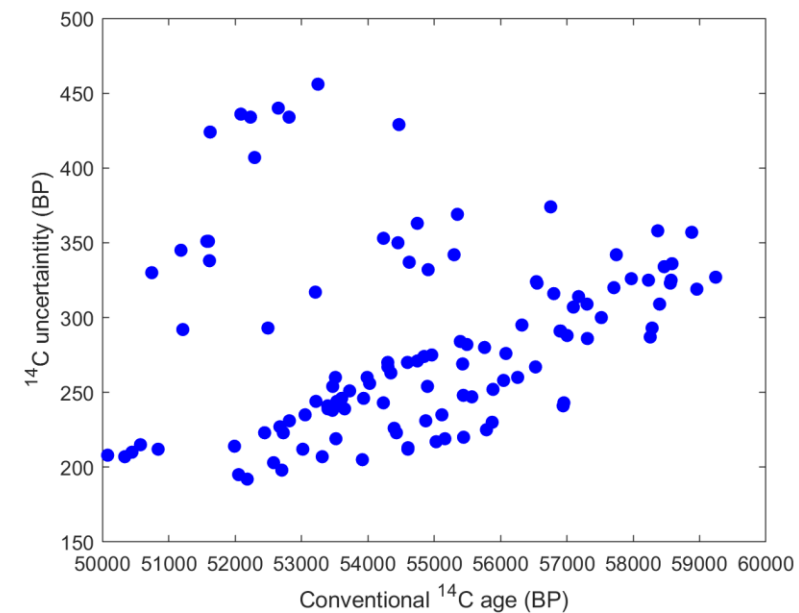
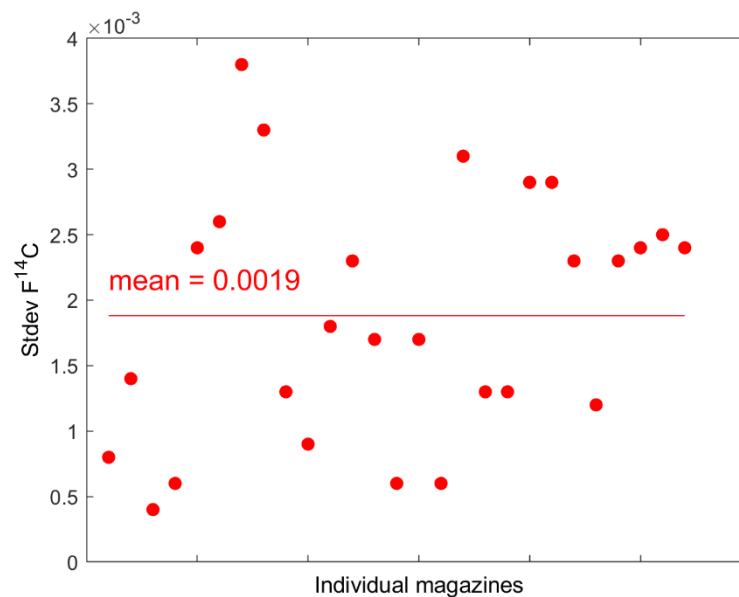
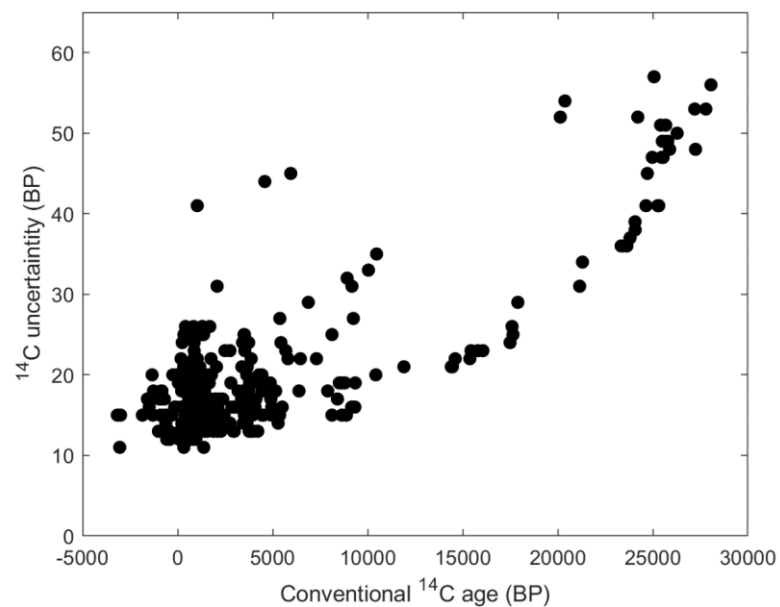
Rozptyl pozadí

Externí nejistota: nestabilita měření, variace při přípravě, instrumentační možnosti, naše  $\sigma_{ex} 1 - 1,5\%$



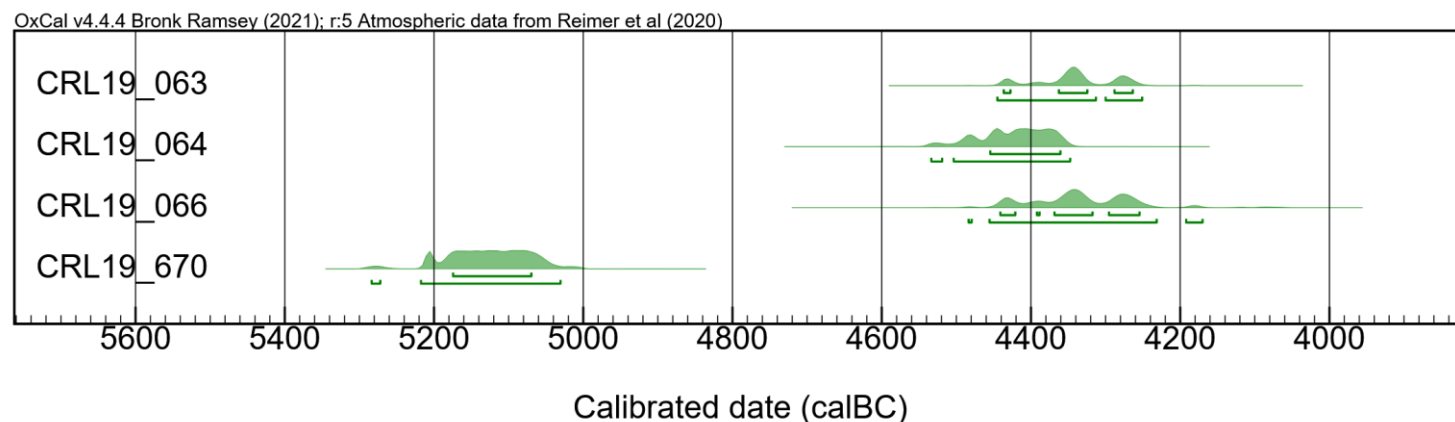
# $^{14}\text{C}$ výsledky

Zatím: 556 vzorků plus **standards** (oxa II) a **pozad'ové vzorky**

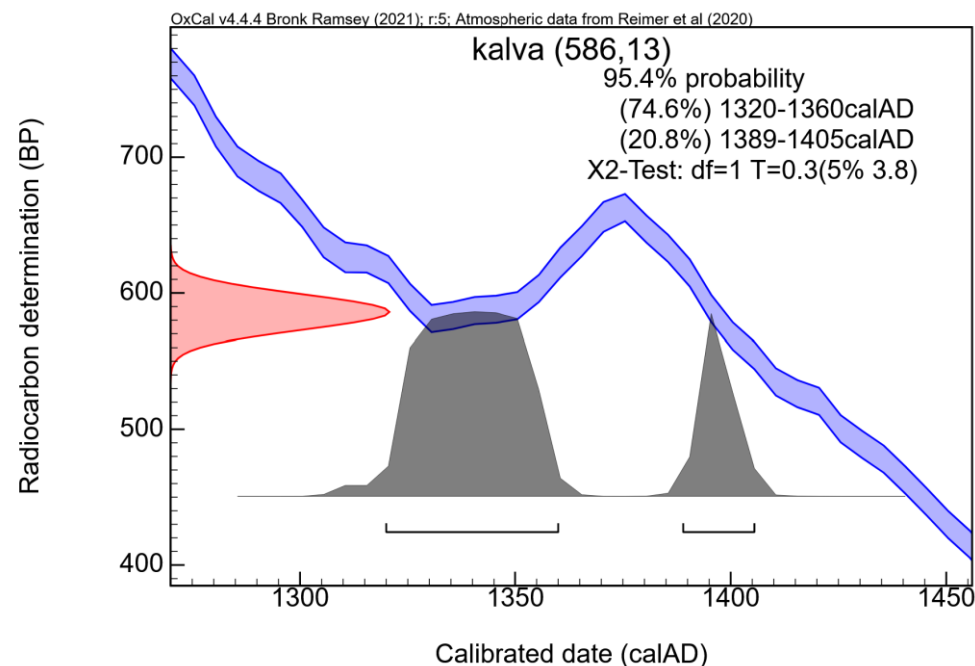


# Zajímavé $^{14}\text{C}$ aplikace poslední doby

Nejstarší jeskyní kresba v  
ČR v Kateřinských  
jeskyních



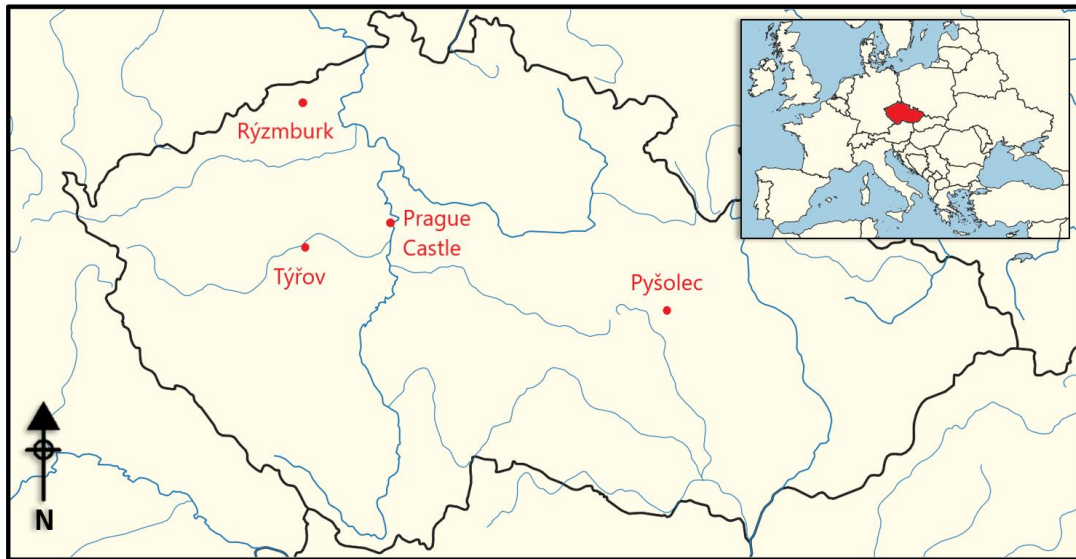
Čáslavská kalva



# Datování historických malt pomocí organických intruzí

Uhlíky, dřevo, kosti

95 vzorků, 74 datováno



# Zpracování vzorku



Dřevo, kosti, zuby, uhlíky, včelí vosk, pyly, ulity, papír, textil, listy, vlasy, kůže, rašelina...

Frézování, porcování, přebírání, mikroskopie...

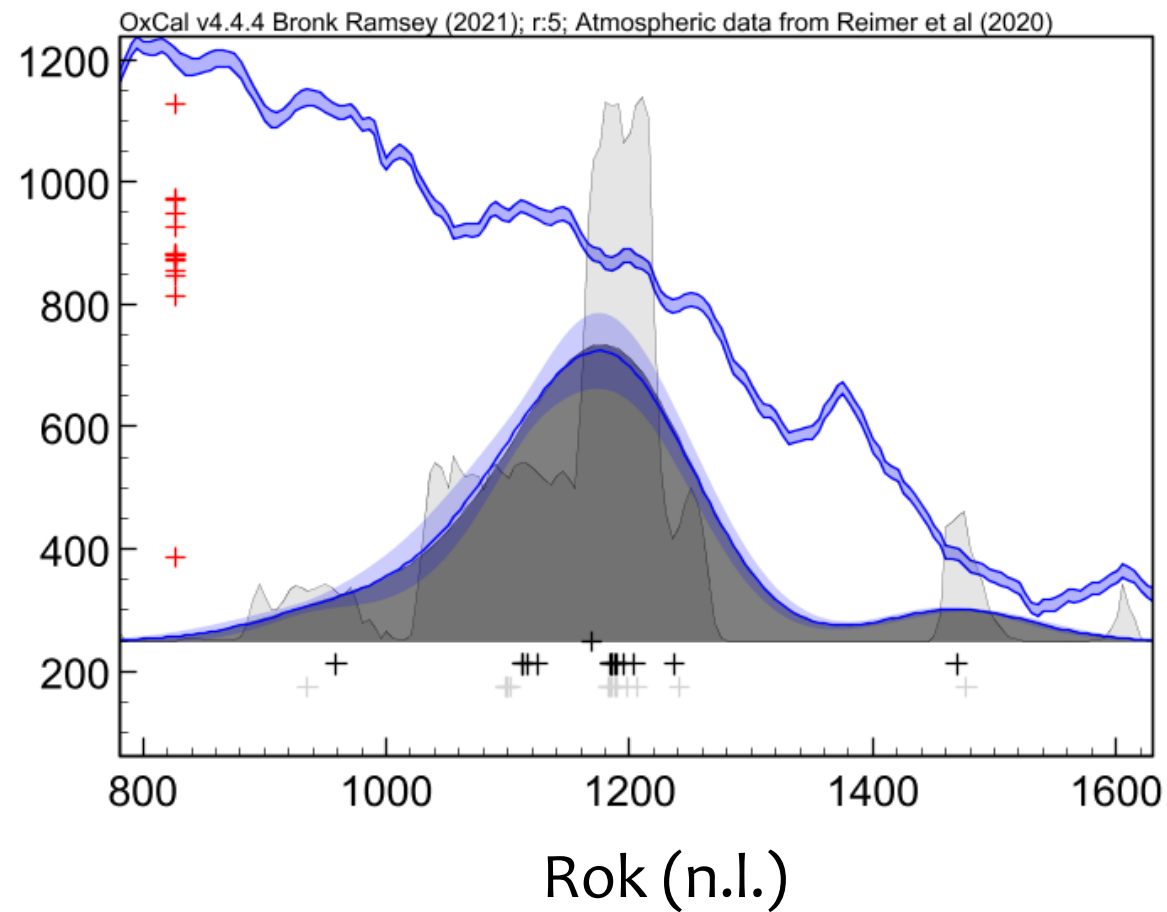
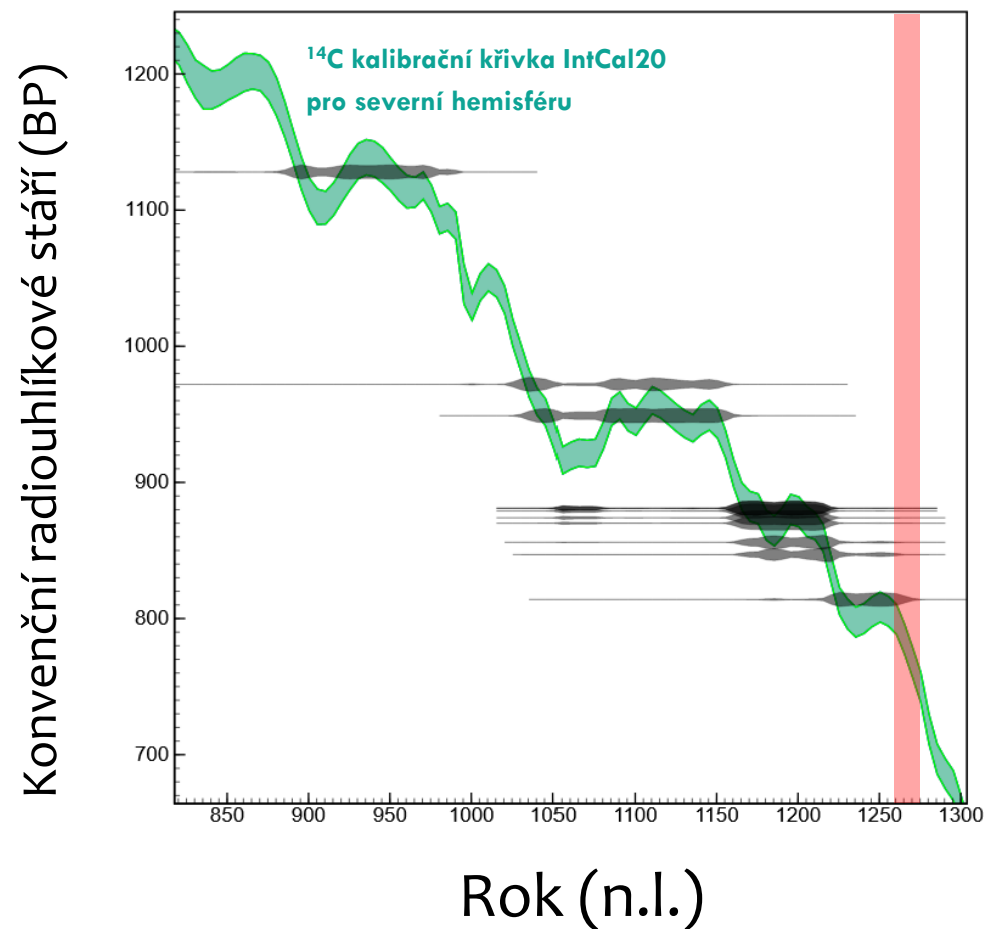
Kolagen, celulóza, elementární uhlík, keratin...

Spalování v čistém kyslíku (a přečištění)

Podle metody měření  $^{14}\text{C}$ ,  
pro AMS redukce na C

Typ vzorku	Hmotnost (mg)	
	ideální	minimální
dřevo	50	15
zuhelnatělý vzorek	20	5
uhličitany	150	50
kosti	1000	500
slonovina	200	20
rostlinné makrozbytky	200	20
papír	25	15
kůže, rohovina, hedvábí, vlasy, vlněné textilie	30	15

# Kalibrace



# Datování historických malt pomocí organických intruzí

Site	Samples found	Sampled area (m <sup>2</sup> )	Excluded*	Dissolved during ABA	Paleolithic	Young intrusion	Old wood	Young wood
Prague Castle	30	7	2	12	1	0	2	13
Týřov	18	60	1	1	0	2	1	13
Rýzmburk	10	40	0	1	0	0	0	9
Pyšolec	37	114	3	1	2	1	6	24
<b>All</b>	<b>95</b>	<b>221</b>	<b>6%</b>	<b>16%</b>	<b>3%</b>	<b>3%</b>	<b>9%</b>	<b>62%</b>

*\*Excluded as stone resembling charcoals, contaminated, or below weight limit*

# Wildlife crime

Nelegální obchod s chráněnými druhy

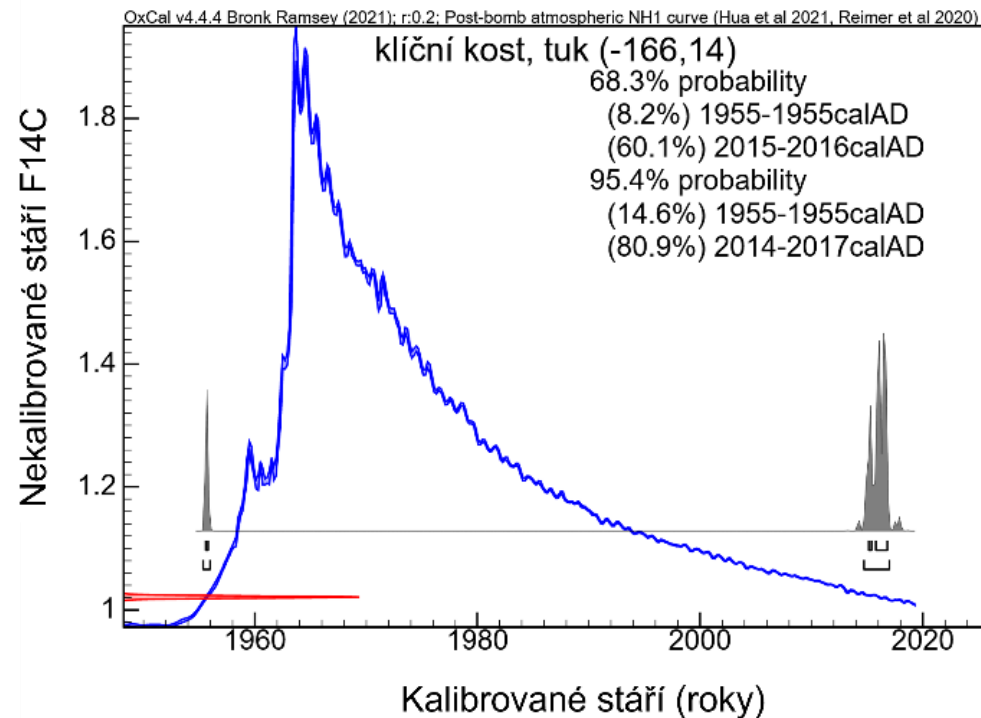
Proč: některé druhy na pokraji vyhynutí, konkurence legální ekonomiky, bezpečnostní riziko, zdravotní risk – rozšiřování zoonóz (coronavirus)

Úmluva CITES: Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora

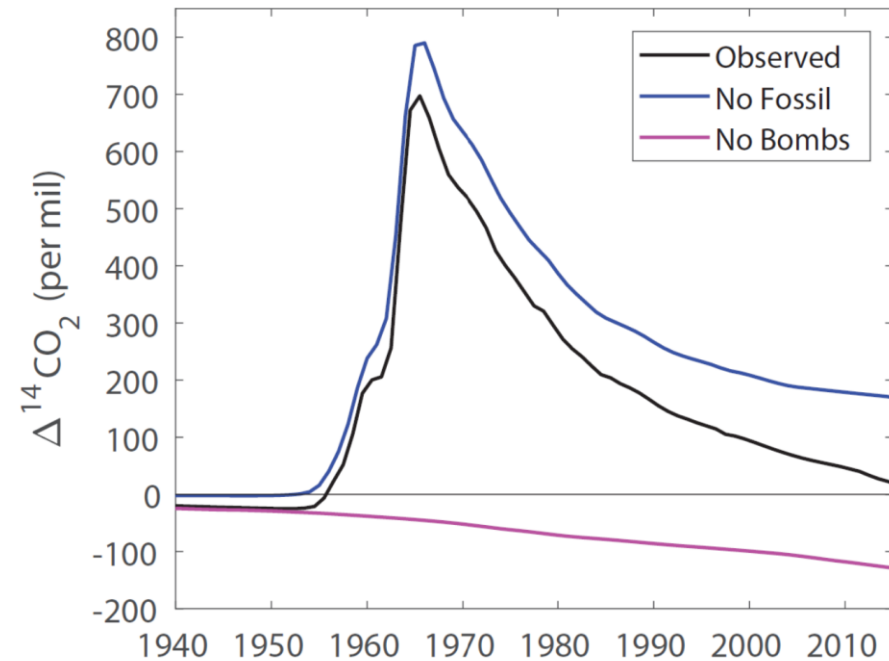
Vyšetřování: druhová (individuální) identifikace, doklady, odchov od deklarováných rodičů, původ, příčina a čas úmrtí

# Datování současných vzorků

Pomocí bombového píku, přesnost až jednotky let, jenže:



Dva vzorky známé relativní chronologie



Více vzorků známé absolutní chronologie



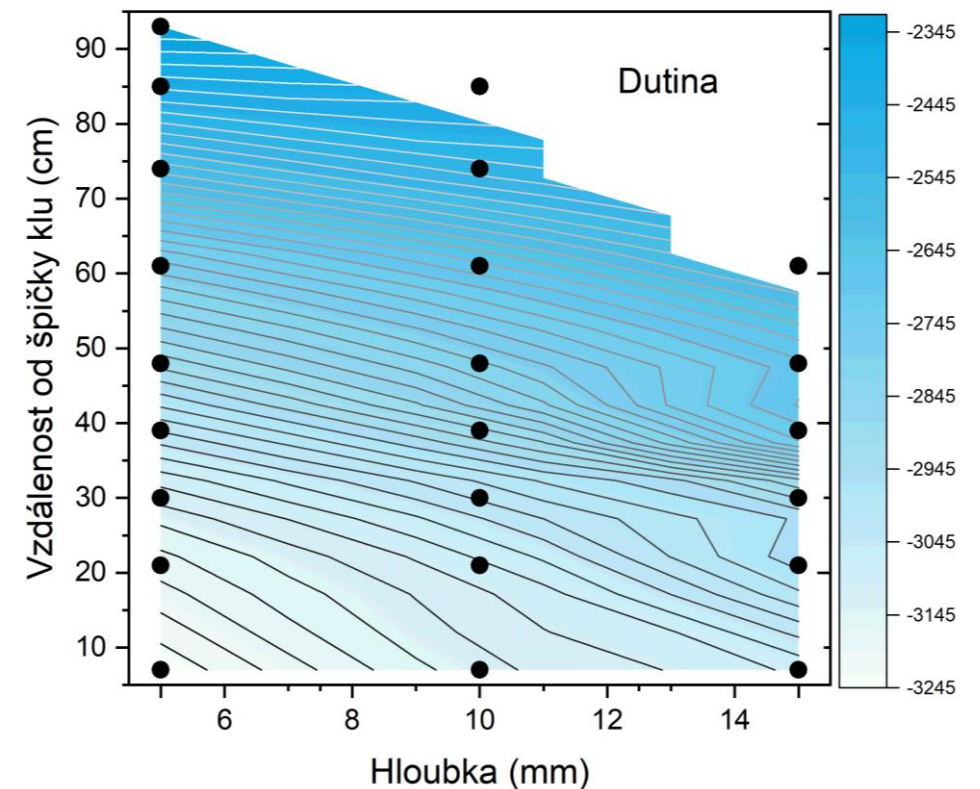
# Slonovina

25 slonovinových sošek zabavených v ČR: rozhodující rok 1947, 68% určitě mladších, zbytek nejednoznačný

Výzkum přirůstání klů:

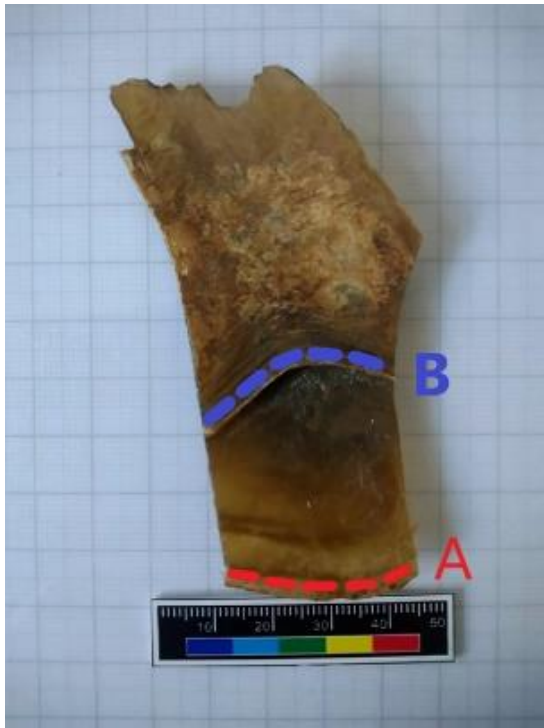
Relativní chronologie – víme, kde vzorkovat (u artefaktů ale složité)

Absolutní chronologie – kel přirůstá nelineárně, rychlost se s věkem snižuje, v mládí podstatně větší nárůst, než se předpokládá (u artefaktů velmi složité)

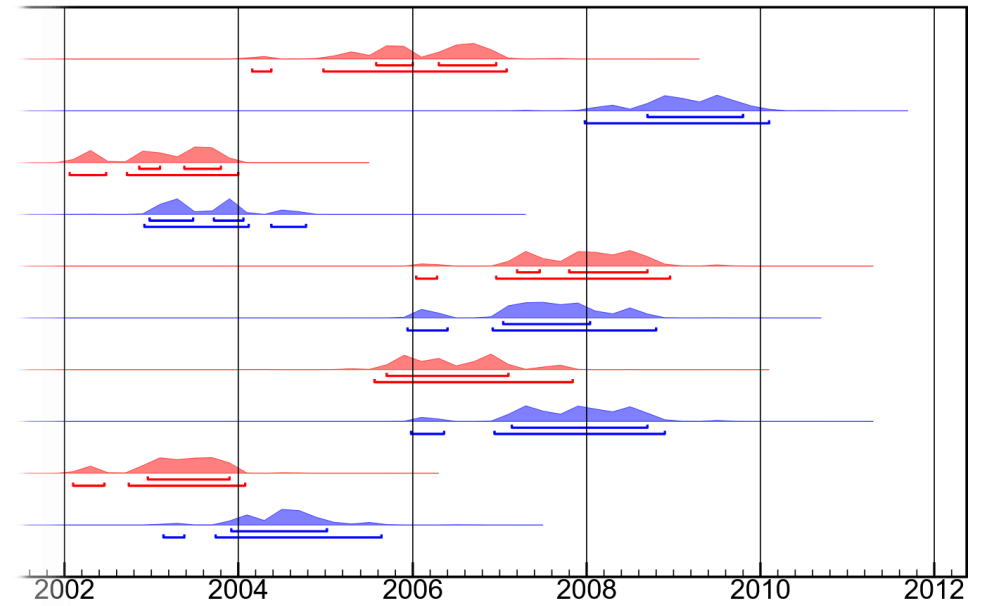
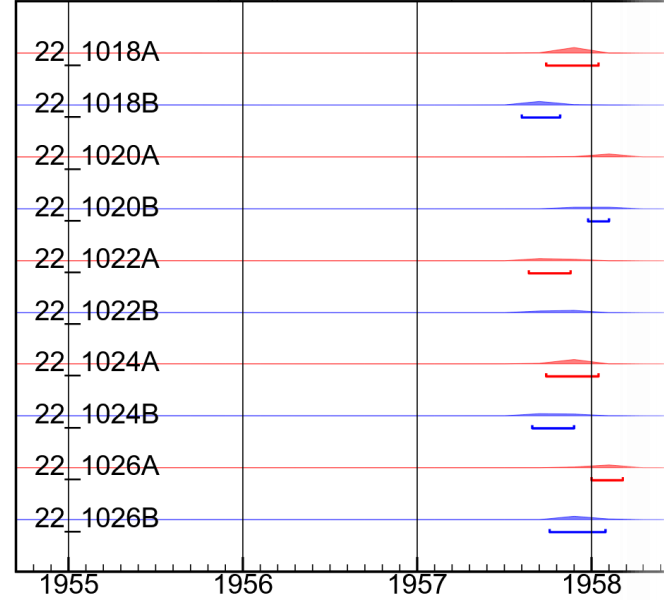


# Další tkáně

Želví krunýře, oči, medvědí kůže...



OxCal v4.4.4 Bronk Ramsey (2021); r:0.2 Post-bomb atmospheric NH3 curve (Hua et al 20



# Poděkování

Kolegyním a kolegům CRL laboratoře