

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Ján Chrapan; Vladimír Jakobčín; Anna Polášková
Stav a trendy uhlíkovej chronometrie

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 34 (1989), No. 2, 97--105

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137574>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1989

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

a výchozím bodem mnoha nových koncepcií, ale i zdrojem inspirace pro nové generace fyziků.

Literatura

- [1] NAKAJIMA, S.: *Progr. Theor. Phys.* 20 (1958), 948.
- [2] ZWANZIG, R.: *Physica* 30 (1964), 1109.
- [3] PEIER, W.: *Physica* 57 (1972), 565.
- [4] ČÁPEK, V.: *Czech. J. Phys. B* 34 (1984), 130.
- [5] ARGYRES, P. N., KELLEY, P., L.: *Phys. Rev.* 134 (1964), A98.
- [6] PAULI, W.: v *Probleme der Modernen Physik, Festschrift zum 60. Geburtstag A. Sommerfelds.* Hirzel, Leipzig 1928, str. 30.
- [7] WILLIS, C. R.: *Phys. Rev.* A9 (1974), 1343.
- [8] SHIBATA, F., HASHITSUME, N.: *Z. Physik* B34 (1979), 197.
- [9] FULIŃSKI, A., KRAMARCZYK, W. J.: *Physica* 39 (1968), 575.
- [10] GZYL H.: *J. Stat. Phys.* 26 (1981), 679.
- [11] HASHITSUME, N., SHIBATA, F., SHINGU, M.: *J. Stat. Phys.* 17 (1977), 155.
- [12] SHIBATA, F., TAKAHASHI, Y., HASHITSUME, N.: *J. Stat. Phys.* 17 (1977), 171.
- [13] PETRÁK, F., ČÁPEK, V.: *Czech. J. Phys. B* 35 (1985), 865.
- [14] ABRIKOSOV, A. A., GORKOV, A. P., DZALOŠINSKIĪ, I. E.: *Metody kvantovoj teorii polja v statističeskoj fizike.* GIFML, Moskva 1962.
- [15] ČÁPEK, V.: *Czech. J. Phys. B* 36 (1986), 1095.

Stav a trendy uhlíkovej chronometrie

Ján Chrapan, Vladimír Jakabčín, Liptovský Mikuláš, Anna Polašková, Bratislava

Štyri desaťročia existencie rádiouhlíkovej metódy datovania organických materiálov (prvýkrát publikoval základnú myšlienku tejto metódy Libby v roku 1946 [1]) znamenali pokrok v štyroch smeroch:

- meracia technika,
- využitie znalostí o obsahu rádiouhlíka,
- unifikácia postupov Libbyho metódy a spresnenie uhlíkovej chronologickej stupnice,
- počítačové spracovanie informácií.

Prehľad využívania metódy ^{14}C poskytujú práce [2, 3, 4].

Stav a trendy meracej techniky

Pôvodná Libbyho aparátúra a aparátúry päťdesiatych rokov využívali techniku Geigerových-Müllerových a proporcionálnych počítačov, tienených látkovými krytmi a GM počítačmi v antikoincidenzii. Z meranej vzorky sa extrahoval uhlík a tento sa nanášal na steny detektorov [5]. Iná cesta viedla cez spálenie vzoriek. Takto získaný, rádiouhlíkom značený oxid uhličitý, poslúžil ako pracovná náplň proporcionálnych počítačov. Fyzikálne podmienky merania si vyžadujú zvýšenie obsahu uhlíka v pracovnej náplni. Dosahuje sa to zvyšovaním tlaku náplne detektorov alebo premenou vzorky na značený metán. Zavedenie scintilačných metód detekcie ^{14}C v šesťdesiatych rokoch viedlo k syntéze značeného benzénu ako rozpúšťadla v scintilačných detektoroch [6].

V šesťdesiatych a v prvej polovici sedemdesiatych rokov sa naplno rozvinula metodika interných plynových proporcionálnych počítačov rozmanitých konštrukcií. Využívali sa proporcionálne detektory, tienené samostatnými detektormi plynovými i scintilačnými v rozmanitej geometrii rovnako, ako detektory so spoločnou náplňou ^{14}C a bezstenové koaxiálne a mnohovláknové detektory. V druhej polovici sedemdesiatych rokov sa rozvinuli principiálne nové metódy merania obsahu ^{14}C , založené na využití urýchľovačov [7] a laserovej spektrometrie [8], ale aj na obohatení vzoriek využitím laserov. Klasické metódy plynových a scintilačných detektorov pokročili využívaním miniatúrnych detektorov (mikrosystémov) a komôr s veľkým účinným objemom (megasystémov).

Základná myšlienka detekcie ^{14}C pomocou urýchľovačov [9] spočívala v nahradení počítania elektrónov, pochádzajúcich z premien beta jadier rádiouhlíka, počítaním samotných iónov ^{14}C . Realizácie tejto myšlienky, opierajúce sa o využitie upravených hmotnostných spektrografov, neboli úspešné. Až v roku 1977 prišla skupina z General Ionex Corp. [10] a z rochesterskej univerzity [11] so správou o meraní obsahu ^{14}C v organických vzorkách tandemovým lineárnym urýchľovačom. Muller [12] opísal využitie malého cyklotrónu na účely datovania. Firma General Ionex začala v krátkom čase ponúkať lineárny urýchľovač, ktorého cena je pol milióna US dolárov. Získanie, inštalovanie a oživenie tohto meracieho systému stojí niečo okolo štyroch miliónov US dolárov [13]. Tieto náklady sú však vyrovnané skrátením doby merania na stotinu doby, potrebnej pri „klasicknej“ meracej technike a skutočnosťou, že hmotnosť potrebnej vzorky sa proti klasickým meracím metódam zníži až tisíckrát. Preto sa koncom sedemdesiatych rokov rozpracováva „urýchľovačová metóda“ detekcie rádiouhlíka na viacerých miestach v USA, vo Veľkej Británii (Oxford), Francúzsku (Grenoble), v Holandsku (Utrecht), v Švajčiarsku (Bern) a v Kanade (Toronto). Na X. medzinárodnej konferencii rádiouhlíkovej chronometrie v Berne a Heidelbergu (1979) predstavil Purser [14] zariadenie firmy General Ionex v systéme MACS (Mass and Charge Spectrometry), na ktorom môže byť 100krát rýchlejšie zmeraná vzorka 100krát menšej hmotnosti s rovnakou presnosťou ako pri klasických metódach. Bez zakalkulovania amortizácie zariadenia je cena jedného datovania asi 75 US dolárov. V rokoch 1979–1983 sa pokúšali využiť na datovanie rádiouhlíkom upravený sovietsky implantátor VEZUVIJ Beňovič a prvý z autorov tohto článku. Neprekonali problém vysokého obsahu iónov ^{14}N [15]. Neúspešný bol aj pokus využiť na potlačenie dusíkového pozadia vyššiu prenikavosť ^{14}C , spôsobenú

nižším protónovým číslom Z . Pri dosahovanom vákuu ióny dusíka ^{14}N perforovali tenké separačné diafragmy.

Prudký rozvoj laserovej techniky v druhej polovici šesťdesiatych rokov [16] dáva možnosť rozvoja laserovej spektrometrie. Prvá práca, ktorá hovorí o využití laserového žiarenia pri určovaní koncentrácie ^{14}C patrí skupine vedenej Oeschgerom [17]. Hovorí o výsledkoch pokusov s absorpciou infračerveného žiarenia $4,5\ \mu\text{m}$ molekulami CO_2 značenými rádiouhlíkom. Konštatuje sa, že dostatočne citlivým zariadením možno dosiahnuť uspokojivé informácie o koncentrácii ^{14}C . Meraním v absorpčnej komore dlhej $10\ \text{m}$ dosiahli počas $3600\ \text{s}$ citlivosť na úrovni $0,004$ súčasnej vzorky NBS. Tento výsledok dáva možnosť datovať objekty do $45\ 000$ rokov, čo je porovnateľné s výsledkami „klasických“ metód [18, 19].

Druhá cesta využitia laserov pri datovaní rádiouhlíkom spočíva v obohacovaní vzoriek fotolýzou vyvolanou laserovým žiarením. Karl a Innes [20] využili fotodisociáciu $\text{C}_2\text{H}_2\text{N}_4$ žiarením s vlnovou dĺžkou $550\ \text{nm}$. Molekuly $\text{C}_2\text{H}_2\text{N}_4$ sa však ťažko syntetizujú z CO_2 získaného spaľovaním organických vzoriek. Preto tento postup napriek tomu, že je už viac ako desať rokov známy, nenašiel praktické využitie. Fuss a Schmid [21] zistili, že selektívna fotolýza je zvlášť výrazná v prípade CF_3I , ktorého molekuly sú stabilné voči laserovému žiareniu s vlnovou dĺžkou $9,3\ \mu\text{m}$ len vtedy, ak obsahujú ^{14}C . V prípade, že ich tvorí ^{12}C , pod účinkom žiarenia disociujú. Týmto postupom sa dosahuje až 90 násobné obohatenie rádiouhlíkom. Dobré výsledky sa získali [22] fotolýzou formaldehydu (CH_2O). Účinkom laserového žiarenia vlnovej dĺžky 300 až $360\ \text{nm}$ prechádza $^{14}\text{CH}_2\text{O}$ na ^{14}CO a H_2 . Takto sa dosahuje 100 až 150 násobné obohatenie. Krátky čas, potrebný na fotolýzu ($10\ 000\ \text{s}$), pri nevelkých výkonoch laseru ($5\ \text{mW}$) zvyhodňuje túto metódu obohacovania vzoriek pred tradičnými metódami, napríklad obohacovaním na základe termomodifúzie, ktoré si vyžaduje až desaťkrát dlhšie časy pri desaťnásobne nižšom obohatení.

Modifikácie klasických detekčných metód, známe ako detekčné systémy typu MIKRO, sú opisované od konca sedemdesiatych rokov. Ich podstata vychádza zo známeho vzťahu pre minimálnu merateľnú aktivitu [23, 24]

$$A_{\min} = \frac{1 + 2\delta \sqrt{n_p T}}{\delta^2 F T}.$$

Z uvedeného vzťahu vidieť, že pri danej relatívnej chybe a pri určitej efektívnosti detektora F závisí minimálna merateľná aktivita A_{\min} , a teda efektívnosť celého meracieho systému pri zvolenej dobe merania T , od početnosti od pozadia n_p . Pri klasických netienených interných plynových detektoroch je to $0,01\ \text{s}^{-1}$. Detekčné systémy typu MIKRO, ktorých jednotlivé detektory majú objem cca $1\ \text{cm}^3$ a tlak náplne $0,5$ až $0,6\ \text{MPa}$, majú pomer signál šum blízky 10 [25]. Cena systémov MIKRO používaných vo svetových laboratóriách presahuje $50\ 000$ US dolárov.

Od konca sedemdesiatych rokov pracujú v rádiouhlíkových laboratóriách v Seattle detekčné systémy typu MEGA s celkovým objemom okolo $8\ \text{l}$. Takýto detekčný systém pri tlaku náplne $0,6\ \text{MPa}$ obsahuje až dva moly uhlíka. Technicky sa systém rieši ako súbor, z jedného centra plnených detektorov, čo nekladie enormné požiadavky na

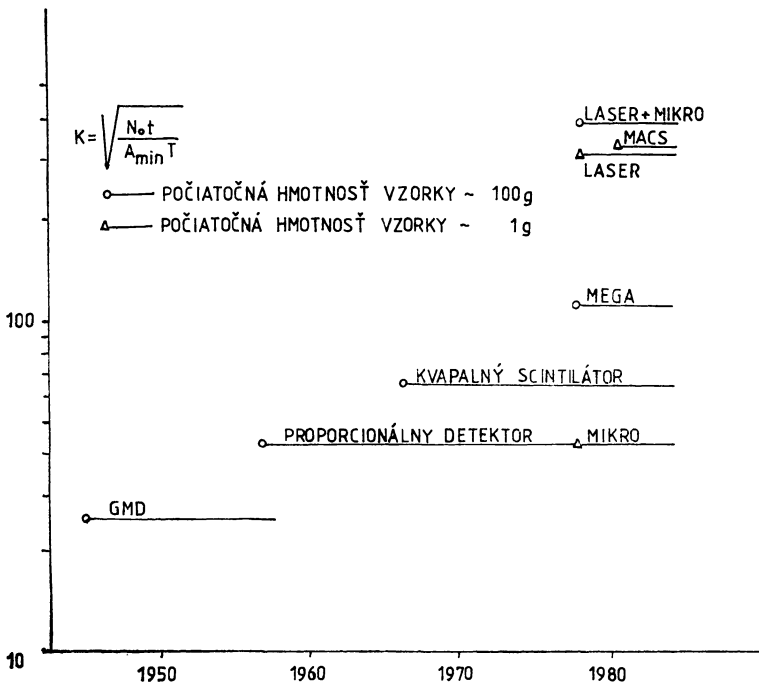
pracovné napätie jednotlivých interných plynových detektorov, plnených klasicky CO_2 alebo CH_4 . Súbor troch proporcionálnych detektorov, plnených CO_2 na tlak 0,6 MPa, ktoré sú pre zníženie pozadia vzájomne v antikoincidenzii, pracuje v ^{14}C laboratóriu Sliezkej techniky v Gliwiciach [26]. Pomer signál-šum pri tomto systéme dosahuje hodnotu 4,2.

Porovnanie detekčných metód ^{14}C

Uvedené metódy porovnáme, vyberúc: pomer početnosti od súčasnej vzorky N a minimálnej vybranou metódou merateľnej aktivity A_{\min} , ktorý určuje dosah tejto detekčnej metódy t . Ako ďalší nutný parameter sme vybrali pomer dosahu metódy a potrebnej doby merania T . Na všeobecné porovnanie metód sme takto vytvorili koeficient:

$$K = \left(\frac{N_{0t}}{A_{\min}T} \right)^{1/2}.$$

Skupiny metód, ktoré sme vyššie uviedli, porovnáваме podľa K na obrázku v logaritmickej mierke, kde na vodorovnú os nanášame približný čas ich zavedenia do praxe. Metódy využívajúce Geigerove-Müllerove detektory sa pri radiouhlíkovom datovaní prestali rozvíjať koncom päťdesiatych rokov. Koeficient K na obrázku treba chápať ako typický pre metódu, nie pre jednotlivé laboratóriá.



Využitie poznania obsahu rádiouhlíka

Obsah rádiouhlíka vo vzorkách sa pôvodne zisťoval so zreteľom na určenie veku organických vzoriek. Postupom času, zvlášť v šesťdesiatych rokoch, sa z obsahu rádiouhlíka začalo usudzovať na vplyv civilizačnej činnosti na životné prostredie. Suessovo zistenie, že spaľovanie fosilných palív od čias technickej revolúcie natoľko ovplyvnilo obsah CO_2 v atmosfére, že vzorky z devätnásteho storočia sa javia staršími, poukázalo na možnosť kontrolovať antropogénny vplyv na migráciu rádionuklidov geosférami [27]. V päťdesiatych rokoch, v období častých jadrových skúšok, vzniklo v atmosfére veľké množstvo rádiouhlíka (reálne odhady hovoria o 500 kg nuklidu ^{14}C [28]). V roku 1963 takto v dôsledku „bombového efektu“ relatívne prevýšenie obsahu ^{14}C dosiahlo takmer 100%.

Koncom sedemdesiatych rokov v spojitosti s opätovne vzrastajúcim záujmom o zachranu životného prostredia vzrástla aktuálnosť využitia ^{14}C na skúmanie zmien izotopových pomerov v geosférach vyvolaných civilizačnou činnosťou. Väčšina takýchto prác sa dotýka miestnych pomerov [29] v oblastiach veľkých aglomerácií [30]. Potenciálny význam majú merania koncentrácie rádiouhlíka v okolí pripravovaných, resp. činných jadrových elektrární. Takéto merania sa sústreďujú na obsah ^{14}C v atmosfére, rastlinstve, vo vodách a v potravinách. Organizujú sa hygienickou službou, samotnými elektrárňami aj ochrannými organizáciami. Niekde sú samozrejmosťou súčasťou bezpečnostných opatrení. Samostatným a novým smerom využitia rádiouhlíka pri sledovaní znehodnocovania životného prostredia vo veľkomestách je určovanie jeho obsahu v tuhom atmosferickom výpadku. Práce tohoto druhu sa organizujú od začiatku osemdesiatych rokov [31].

Výsledky bádání antropogénnych zmien rádiouhlíka v životnom prostredí do začiatku osemdesiatych rokov sumarizovala XI. medzinárodná konferencia rádiouhlíkovej chronometrie (Seattle USA, 1982).

Na samostatný smer využitia ^{14}C poukázali od začiatku osemdesiatych rokov viacerí autori. Ide o aplikovanie predstáv „horninovej archeológie kozmického žiarenia“, ktoré formuloval v roku 1972 Lal [32]. Ide o poznanie zmien v izotopovom zložení a kryštalickej štruktúre zložiek hornín pod účinkom kozmického žiarenia. Aplikujú tieto predstavy na obsah rádiouhlíka v biologických materiáloch dostávame napr. prostriedok na sledovanie variácií fluencie neutrónov z povrchu Slnka a Mesiaca. Povinec a ďalší na tomto základe potvrdil 11ročné variácie kozmického žiarenia [33, 34].

Dosiaľ sa len sporadicky využíva ^{14}C ako stopovač (traser) v hydrológii [35] a meteorológii [36]. V tovaroznalectve sa rádiouhlík využíva v spojení s trícium, napríklad na určenie veku vín a destilátov, čím sa predchádza falzifikácii vo veľkom.

Špecifickým problémom je datovanie netypických materiálov, charakterizovaných pre Libbyho metódu neobvykle malým obsahom uhlíka alebo neobvyklým vznikom. Do prvej skupiny možno zaradiť výrobky zo železa, keramiky [37], omietky [38]. Metodika takýchto prác je známa už od konca šesťdesiatych rokov [39], no v detailoch sa stále rozvíja. Obzvlášť v spojení s pokrokom v meracej technike pomocou urýchľovačov a miniatúrnych proporcionálnych detektorov sa pristupuje k absolútnemu datovaniu vzácnych umeleckých diel a rukopisov.

Neobvyklý vznik z hľadiska Libbyho metódy majú sintre a pôdy. Ani kosti nie sú vďačným objektom datovania. Vzorky tohoto druhu vyžadujú prárne predbežné spracovanie. Pri sintroch sú potrebné kontrolné merania izotopových pomerov $^{12},^{13},^{14}\text{C}$, pôdy a kosti vyžadujú zdĺhavú chemickú separáciu humínových kyselín [40] a kolagénu [41].

Od päťdesiatych rokov sa kontroluje vo vzorkách izotopový pomer ^{13}C a ^{14}C . Cieľom týchto prác bolo určovanie vplyvu prímiesi anorganických karbonátov s následnými korekciami časovej interpretácie nameraného obsahu rádiouhlíka v datovaných vzorkách. Až na konci sedemdesiatych rokov upozornili niektorí autori na skutočnosť, že z nameraného obsahu ^{14}C a $\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$ je podiel rozdielu nameraného obsahu ^{13}C a obsahu ^{13}C v neorganických látkach k tomuto obsahu vyjadrený v %) možno usudzovať na druh prevládajúcej stravy datovaného živočícha. Tauber [42] takto ukázal z izotopového zloženia kolagénu, extrahovaného z niekoľkých desiatok vzoriek ľudských kostí nájdených na pobreží Dánska, že podľa $\delta^{13}\text{C}$ jestvujú výrazné skupiny. Ukázal, že tieto skupiny sú z obdobia mezolitu rozložené od -11% po -16% . Zistil, že tieto hodnoty odpovedajú morským organizmom. Dosvedčil tým, že ľudia z datovanej oblasti v určenom období získavali potravu prevážne z morského prostredia. Z obdobia neolitu a doby bronzovej nameral hodnoty $\delta^{13}\text{C}$ od -18% do -28% . Ukázal, že takéto hodnoty odpovedajú organizmom suchozemským. Konečne zistil, že stredoveká a súčasná izotopová skladba (hodnota $\delta^{13}\text{C}$) odpovedá hraniciam -11% až -16% , teda strava stredovekých a súčasných Dánov odpovedá skôr strave mezolitických lovcov z dánskeho pobrežia.

Unifikácie postupov Libbyho metódy a spresňovanie uhlíkovej chronologickej stupnice

Metodika rádiouhlíkoveho datovania je dobre rozpracovaná. Známe sú kroky, podstatné pre výsledky datovania. Známa je aj ich závažnosť. Dnes sa datuje vo viac ako v stovke laboratórií, roztrúsených po celom svete. Potreba korelovať výsledky týchto laboratórií viedla už od konca päťdesiatych rokov k snahe unifikovať postupy a jednotne kvantifikovať najdôležitejšie parametre, ktoré ovplyvňujú výsledky. Z tejto snahy vzišla na Prvej konferencii o rádiouhlíkovom datovaní v Cambridge (júl 1962) dohoda o konvenčnej, všeobecne v laboratóriách ^{14}C používanej hodnote polčasu premeny rádiouhlíka [29]. Ďalšou rozhodujúcou vzťažnou hodnotou pre určenie veku vzorky je merný obsah rádiouhlíka v tzv. súčasnej vzorke. Medzinárodný úrad pre štandardy (NBS) poskytuje od šesťdesiatych rokov „súčasný štandard ^{14}C “ – rádiouhlíkom značenú kyselinu šľaveťovú. Zo vzťahu pre výpočet veku vzorky

$$t = \frac{T}{\ln 2} \ln \frac{N_0}{N},$$

v ktorom N_0 je početnosť štandardu NBS a T polčas premeny rádiouhlíka, vidíme, že špecifikum laboratórií ostáva v spoľahlivosti a v presnosti určenia početnosti jadrových premien ^{14}C vo vzorke, teda v určení hodnoty N . Rozdiely, ktoré toto špecifikum prináša, sa vyrovnávajú organizovaním medzilaboratórnej kontroly meraní. V tomto smere je známych viac vzájomne nezávislých programov [43, 44]. Jestvuje napríklad program

takejto kontroly medzi poľskými a našimi laboratóriami s využitím následného merania: Jedno laboratórium pripraví CO_2 a určí v ňom obsah ^{14}C . Ďalšie z neho pripraví CH_4 a obsah ^{14}C určí v detektore, ktorého pracovným plynom je metán. Tretie laboratórium pripraví z tej istej vzorky značený benzén a obsah ^{14}C určí metódou kvapalnej scintilácie.

Veľký význam pre metodiku rádiouhlíkových prác má medzinárodná spolupráca pri zázname a publikovaní výsledkov [45]. V snahe riešiť tieto otázky sa v roku 1959 v Groningen dohodlo, že všetky výsledky medzinárodne registrovaných laboratórií sa budú jednotnou formou uverejňovať v ročenke, ktorá odvtedy vychádza pri American Journal of Science v dvoch zôšitoch pod názvom „Radiocarbon“. Tento čin bol v svojej dobe prínosom ku snahám po unifikácii.

Pre užívateľov výsledkov datovacích prác má veľký význam koordinované spracovanie jednotlivých verzií kalibrácie rádiouhlíkovej časovej škály. Výsledky dosiahnuté v tomto smere [46] sú pokrokom v usporiadaní situácie vyvolanej používaním niekoľkých, ťažko korelovateľných kalibrácií rádiouhlíkovej časovej stupnice, vypracovaných koncom sedemdesiatych rokov [47].

Počítačové spracovanie informácií

Nesporný význam rádiouhlíkovej metódy pre rôzne vedné oblasti má za následok známe starosti s explóziou informácií. Pri syntetických prácach je potrebný prehľad o výsledkoch jednotlivých laboratórií. V súčasnosti už Radiocarbon neobsiahne všetky potrebné informácie, zvlášť ak uvážime, že je pomerne úzko zameraný na registráciu jednotlivých vzoriek a iným problémom súvisiacim s Libbyho metódou venuje len málo miesta. Okrem toho údaje, ktoré obsahuje, sú časovo a priestorovo často veľmi vzdialené. Zostavenie dát podľa laboratórií je značne neprehľadné v prípade, že sa tieto dáta majú použiť na rozsiahlejšie chronologické syntézne štúdie regionálne alebo na koreláciu rôznych kultúr či klimatických podmienok. Z minulosti sú známe pokusy o preklenutie týchto problémov zostavovaním bibliografií a syntetických katalógov rádiouhlíkových dát [48]. Súčasná počítačová technika, vybavená príslušným systémovým programom, rieši otázku operatívneho vyhľadávania a spracovávanía údajov. V tomto smere dala veľa práca Dilette Polacha [49]. Sústreďuje sa na databázu INSPEC-PHYSICS, Geomarchiv, SCI, CA, SSCI, NTIS, SPKN a Meteorological and Geostrophysical Abstracts, obmedziac sa na anglicky písané práce. Ukazuje sa, že archeologické údaje podchyťava len Social Science Citation Index (SSCI). V ostatných bázach sa tieto údaje vyskytujú len sporadicky alebo tam vôbec chýbajú. D. Polach spracoval obdobie rokov 1948 až 1968 a zahrnul 3 300 prác. Dá sa predpokladať, že k roku 1988 by to bolo viac ako 10 000 prác. Príručná databáza ^{14}C laboratória v Gliwiciach obsahuje asi 1000 prác, z ktorých časť je písaná aj v slovanských jazykoch. V ostatných rokoch sa pripravujú zásady organizácie počítačového spracovania údajov relevantných pre archeológiu. V roku 1981 navrhol v Groningen A. Gob [50] zostaviť atlas dát európskeho mezolitu. Z rokov 1983 sú známe projekty [51, 52] podchytenia a využitia všetkých rádiouhlíkových datovaní urobených pre archeologické účely. Dosiaľ sa vôbec neriešila otázka strojového spracovania výsledkov datovaní urobených pre nearcheologické potreby

iných prírodných vied, tovaroznaectva, súdnictva a už vôbec nie pre účely ekológie. Dá sa odhadnúť, že tieto rádiouhlíkové práce majú až trojnásobne väčší objem ako práce z oblasti archeológie. Predpokladá sa, že do konca osemdesiatych rokov bude možné exploatovať na archeologické účely medzinárodnú databázu výsledkov metódy ^{14}C dosiahnutých v stovke svetových laboratórií.

Záver

Libbyho metóda, samotným autorom pôvodne zamýšľaná pre využitie v archeológii, našla ďaleko širšie uplatnenie. Na Slovensku sa začala uplatňovať až v druhej polovici šesťdesiatych rokov a ani dnes nie je plne rozvinutá a využívaná. Tri jestvujúce laboratóriá ^{14}C (Bratislava, Liptovský Mikuláš a Nitra) zápasia s organizačnými ťažkosťami. Problematike sa čiastočne venujú štyria odborníci. Za daných okolností u nás chýba náležitá osveta v radoch užívateľov rádiouhlíkovej metódy. Nie je možné primerane reagovať na svetový vývoj. Medzinárodná konferencia *Low level activities*, usporadúvaná v päťročných intervaloch Univerzitou Komenského a Jednotou slovenských matematikov a fyzikov, nezaplní citeľnú medzeru. Príspevkom k zachyteniu svetových trendov vývoja metódy ^{14}C , o ktorých sme v článku hovorili, má byť aj celoštátny seminár s medzinárodnou účasťou, organizovaný JSMF k problematike radiačnej chronológie pod názvom *Mikulášske rozhovory*.

Literatúra

- [1] LIBBY, W. F.: *Phys. Rev.*, 69, 1946, s. 671.
- [2] SEREBRIANNYJ, L. R.: *Radiouglerodnyj metod i ego primenenije dla izučeniya paleogeografii četvertičnogo perioda*. Moskva 1961.
- [3] PAZDUR, M.: *Współczesny stan i kierunki rozwoju chronometrii radiowenglowej*. In: *Zes. Nauk. Pol. Sl.-Mat.-fiz.*, 46, Gliwice 1986, s. 15.
- [4] POLACH, H. A., STIPP, J. J.: *Inter. J. of Appl. Radiat. and Isotopes*, 18, 1967, s. 359.
- [5] RENK, H., CHRAPAN, J.: *Meranie exgrémne nízkej aktivity ^{14}C Geigerovými-Müllerovými počítačmi*. In: *Acta F.R.N. Univ. Comen.-Physica*. 19, Bratislava 1969, s. 61.
- [6] POLAŠKOVÁ, A.: *Meranie koncentrácie atmosferického rádiouhlíka v životnom prostredí*. In: *Zborník ved. prác VVTŠ ČSSP*. 2, 2, Liptovský Mikuláš 1984, s. 107.
- [7] BEM, H.: *Zastosowanie akceleratorów do oznaczania wieku próbek archeologicznych*. In: *Praci i materialy MAE v Łodzi — Seria Archeologiczna*. 27, Warszawa 1980, s. 229.
- [8] JUREČKA, S.: *Pokroky mat. fyz. a astronomie*, 31, 1986, s. 203.
- [9] OESCHGER, H., HOUTERMANS, J., LOOSLI, H. H., WAHLEN, M.: *The constancy of cosmic radiation from istotope studies in meteorites and on the earth*. In: *Radiocarbon variations and absolute chronology*. New York 1971, s. 471.
- [10] PURSER, K. H., LIEBERT, R. L., LITHERLAND, A. E., BEUKENS, R. S., GOVE, H. E., BENNETT, C. L., CLOVER, M. R., SONDHEIM, W. E.: *Rev. Phys. Appl.* 12, 1977, s. 1487.
- [11] BENNETT, C. L., BEUKENS, R. P., CLOVER, M. R., GOVE, H. E., LIEBERT, R. B., LITHERLAND, A. E., PURSER, K. H., SONDHEIM, W. E.: *Science*, 198, 1977, s. 508.
- [12] MULLER, R.: *Science*, 196, 1977, s. 489.
- [13] POLACH, H.: *Radiocarbon*, 22, A982, s. 997.
- [14] PURSER, K. H., LIEBERT, R. L., RUSSO, C. J.: *Radiocarbon*, 22, 1980, s. 794.

- [15] BEŇNOVIČ, D.: *Štúdium migračných bariér rádionuklidov v litosfére*. [Kandidátska práca.] Bratislava 1983. Univerzita Komenského, Ústav fyziky a biofyziky.
- [16] VODILOVÁ, A., WILFERT, O.: *Rozhledy mat. fyz.* (v tlači).
- [17] LEHMAN, B., WAHLEN, M., ZUMBRUNN, R., OESCHGER, H., SCHNELL, W.: *Appl. Phys.*, 13, 1977, s. 153.
- [18] LABRIE, D., REID, J.: *Appl. Phys.*, 24, 1981, s. 381.
- [19] SCHMIDT, Z., CHRAPAN, J.: *Slov. kras.*, 8, 1970, s. 69.
- [20] KARL, R. R., INNES, K. K.: *Chem. Phys. Lett.*, 36, 1975, s. 275.
- [21] FUSS, W., SCHMIDT, W. E.: *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.*, 83, 1979, s. 1148.
- [22] HEDGES, R. E. M., MOORE, C. P.: *Nature*, 276, 1978, s. 255.
- [23] FURMANN, A. O., KOBAZEVA, E. I.: *Izvest. Timiriazevsk. s.-ch. akad.*, 5, 1962, s. 195.
- [24] PUTMAN, J.: *Intern. J. Appl. Radiat. and. Isotopes*, 13, 1962, s. 99.
- [25] POLACH, H., SOINI, E., KOJOLA, H., ROBERTSON, S., KAIHOLA, L.: *Wallac Report Turcu*, 1982, s. 3.
- [26] PAZDUR, M., PAZDUR, A., AWSIUK, R., GOSLAR, T.: *Metody preparatiki wstempnej próbek przeznaczonych do pomiarów radiowęgla*. In: *Zes. Nauk. Pol. Sl.-Mat.-fiz.*, 47. Gliwice 1986, s. 101.
- [27] SUESS, H. F.: *Natural radiocarbon and the rate of exchange of carbon dioxide between the atmosphere and the sea*. In: *Proc. of the Conf. on Nucl. Proces. in Geol. Settings*. Washington 1953, s. 52.
- [28] CHRAPAN, J.: *Radiačná chronológia*. Bratislava 1974.
- [29] FREUNDLICH, J. C.: *Fossil fuel exhaust — gas admixture with the atmosphere*. In: *Radiocarbon dating*. Berkeley—Los Angeles 1979, s. 388.
- [30] FLORKOWSKI, T., KUC, T.: *Environement Int.*, 2, 1979, s. 431.
- [31] BERGER, R., HOLMES, T. R., JOHNSON, R. M.: *Radiocarbon*, 25, 1983, s. 615.
- [32] LAL, D.: *Space Science Reviews*, 14, 1972, s. 120.
- [33] BURČULADZE, A. A., PAGAVA, S. V., POVINEC, P., TOGONIDZE, G. I., USAČEV, S.: *Nature*, 287, 1980, s. 320.
- [34] POVINEC, P., BURČULADZE, A. A., PAGAVA, S. V.: *Radiocarbon*, 25, 1983, s. 259.
- [35] POSPÍŠIL, P., HULLA, J., ŠÁRO, Š.: *Využitie nuklidov v hydrológii*. Bratislava 1981.
- [36] ZVEROV, A. S.: *Synoptická meteorológia*. (preklad z ruštiny) Bratislava 1986.
- [37] ATLEY, S. P. DE: *Radiocarbon*, 22, 1980, s. 987.
- [38] STRYDONCK, M. VAN, DUPAS, M., DAUCHOT-DEHON, M.: *Radiocarbon dating of old morters*. In: *First Int. Symp. on C-14 and Archaeology*. Groningen 1981, s. 29.
- [39] KANWISZER, A.: *Od fiziki do archeologii*. Łódź 1979.
- [40] BITTNEROVÁ, E.: *Pokus o použitie rádiouhlikovej metódy na určenie veku pôd*. [Diplomová práca] Bratislava 1978. Univ. Komenského. Prírodovedecká fakulta.
- [41] ŠELIGA, M. A. I.: *Jaderná energie*, 6, 1968, s. 230.
- [42] TABER, H.: *C-14 dating of human beings*. In: *First Int. Symp. on C-14 and Archeology*. Groningen 1981, s. 35.
- [43] CURRIE, L. A., POLACH, H. A.: *Radiocarbon*, 22, 1980, s. 933.
- [44] CAVALLO, C. M., MANN, W. B.: *Radiocarbon*, 22, 1980, s. 962.
- [45] STUIVER, M.: *Radiocarbon*, 22, 1980, s. 964.
- [46] KLEIN, J., LERMAN, J. C., DAMON, P. E., RALPH, E. K.: *Radiocarbon*, 24, 1982, s. 103.
- [47] PAZDUR, A., PAZDUR, M.: *Przeglad Archeologii*, 30, 1982, s. 5.
- [48] LANTING, J. N., MOOK, W. G.: *The pre- and protohistory of the Netherlands in terms of radiocarbon dates*. Groningen 1977.
- [49] POLACH, D.: *Radiocarbon*, 24, 1982, s. 997.
- [50] GOB, A.: *C-14 dates of European Mesolithies*. In: *First Int. Symp. on C-14 and archeology*. Groningen 1981, s. 41.
- [51] GULLIKSEN, S.: *Radiocarbon*, 25, 1983, s. 661.
- [52] MAFFETT, J. C., WEBB, R. E.: *Radiocarbon*, 25, 1983, s. 667.