

Kyncl, Josef

Příspěvek k metodice dendrochronologie : (standardizace a synchronizace letokruhových křivek s využitím regresní analýzy a korelací)

Archaeologia historica. 1977, vol. 2, iss. [1], pp. 317-330

Stable URL (handle): <https://hdl.handle.net/11222.digilib/139198>

Access Date: 11. 11. 2024

Version: 20240829

Terms of use: Digital Library of the Faculty of Arts, Masaryk University provides access to digitized documents strictly for personal use, unless otherwise specified.

Příspěvek k metodice dendrochronologie

(Standardizace a synchronizace letokruhových křivek s využitím regresní analýzy a korelací)

JOSEF KYNCL

Rozvoj střeoevropské dendrochronologie, k němuž došlo během posledních tří desetiletí, je úzce spojen se soustavou metodik, již počátkem 40. let navrhl Huber (1941) a jež ve svých principech dodnes nedoznala změn. Co do rychlosti postupu byla výrazně zdokonalena Ecksteinem a Bauchem (1969), kteří pro ni sestavili program strojně-početního zpracování dat. Během 35 let se chronologům Huberovy školy podařilo vytvořit 4 srovnávací regionální střední křivky dubu, a to: středoněmeckou (Huber et al. 1964), porýnskou (Hollstein 1968), křivku Šlesvicka-Holštýnska s přilehlým územím (Eckstein et al. 1970) a širšího okolí Hamburku (Eckstein et al. 1972) a konečně středoněmeckou křivku jedle (Becker et Giertz-Siebenlist 1970). Všechny uvedené střední křivky zasahují svým počátkem hluboko do středověku a většinou překračují počátek našeho tisíciletí. Počet objektů, podle nich úspěšně odatovaných, již dosáhl několika tisíc.

Huberovu školu lze z hlediska pracovní metodiky charakterizovat takto:

1. Základním kritériem pro synchronnost polohy dvou srovnávaných křivek je okulární odhad jejich podobnosti. Pomocným kritériem je procento proti- či souběžností; toto druhé kritérium je důležité zejména při strojním zpracování dat, neboť počítač polohy s vysokým procentem souběžností vyhledává a registruje.

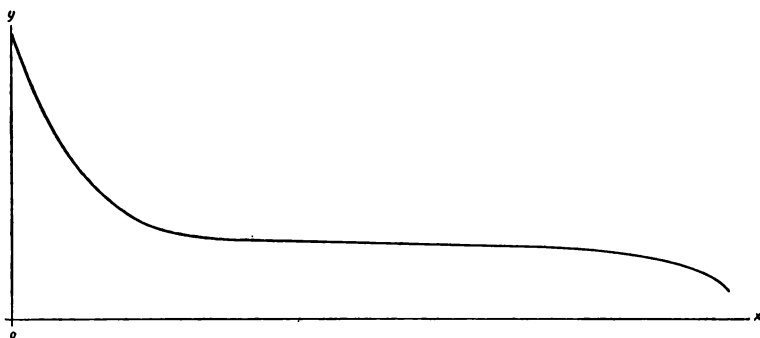
2. Letokruhová křivka není pro synchronizační operace standardizována. Růstový trend, rozdílný pro různé křivky, často charakteru dlouhodobého kolísání, ve střeoevropských poměrech zpravidla asynchronního, je, aby nerušil při vizuálním odhadu, tlumen kreslením křivek na semilogaritmický papír.

Pracovním metodám Huberovy školy lze, srovnáme-li je s pracovními postupy jiných škol, vytknout zejména dva nedostatky:

1. Procento proti- či souběžností je velmi nedokonalým kritériem pro stanovení míry podobnosti dvou křivek ve srovnání s korelačním koeficientem dvou křivek v definici Frittsově (viz dále); zatímco „procento“ bere v úvahu jen souběžnost či protiběžnost odpovídajících si úseků křivek (podrobněji: Kyncl 1973, s. 112–113) bez ohledu na míru sou- či protiběžnosti, korelační koeficient vyjadřuje míru podobnosti tvaru křivek jako celku.

2. Letokruhové křivky zůstávají zatíženy řadou rušivých (asynchronních) prvků, které by bylo možno odstranit standardizací.

Přes uvedené nedostatky má však zřejmě Huberova škola v území, kde vznikla a kde je rozvíjena, své hluboké oprávnění na existenci a naději na další rozvoj. Německé území, snad kromě severovýchodních částí, je velmi bohaté na původní dřevo ve starých stavbách. Regionální střední křivky, vyjme-



Obr. 1. Přirozená růstová křivka.

nované v úvodních řádcích, jsou díky tomu průměrem velikého množství dílčích křivek, jdoucích souběžně. Např. celá středoněmecká křivka dubu je od 9. století až do naší doby složena průměrně z 57 souběžně jdoucích dílčích křivek, v některých úsecích až ze 150 (Huber et Giertz-Siebenlist 1969, 1970). Díky tomuto mnohonásobnému proložení je datovací křivka dokonale „vyčištěna“ od asynchronních prvků bez potřeby standardizace. Nestandardizované křivky ovšem nelze srovnávat pomocí korelačního koeficientu. Ale možnosti kontrolního přemostění křivek přes jiný materiál, umožněné jeho bohatstvím, tento nedostatek dokonale vyrovnají.

Zcela jiná situace než na německém území je bohužel u nás. Průzkum možností, týkající se přítomnosti starých dřev v historických stavbách, jeho druhového složení a chronologické zpracovatelnosti, který začal být realizován po výzvě k jeho ochraně a registraci (Kyncl 1973) je sice stále v začátcích,¹ přesto však, jak se zdá, ukazuje podstatně nižší prezenci materiálu vhodného ke konstrukci regionálních středních letokruhových křivek oproti německému území. Je nutno předpokládat, že naše regionální střední křivky, pokud se vůbec podaří je v dohledné době sestrojít, budou průměrem jen malého počtu dílčích křivek a že budou proto velmi ohroženy nesynchronními prvky. Proto je třeba uvažovat o dokonalejších početních metodách eliminace těchto prvků a o dokonalejších početních metodách srovnávání letokruhových křivek, jejich synchronizace a zvláště hodnocení spolehlivosti získaných výsledků. Přitom je třeba si uvědomit, že není možno paušálně převzít komplex pracovních metod kterékoliv z jiných dendrochronologických škol, např. skandinávské nebo americké. Tyto metody jsou totiž většinou úzce přizpůsobeny přírodním podmínkám oblastí, kde vznikly a pro něž jsou určeny. Návrh pracovních metodik, přibližujících se splnění uvedených požadavků, je obsahem předkládané práce. Navrhované postupy je možno stručně charakterizovat takto:

1. Standardizace letokruhových křivek pomocí regrese na spline funkce.
2. Srovnávání křivek a jejich synchronizace pomocí korelační analýzy.
3. Hodnocení spolehlivosti dosažených výsledků pomocí počtu pravděpodobnosti.

Standardizace letokruhové křivky

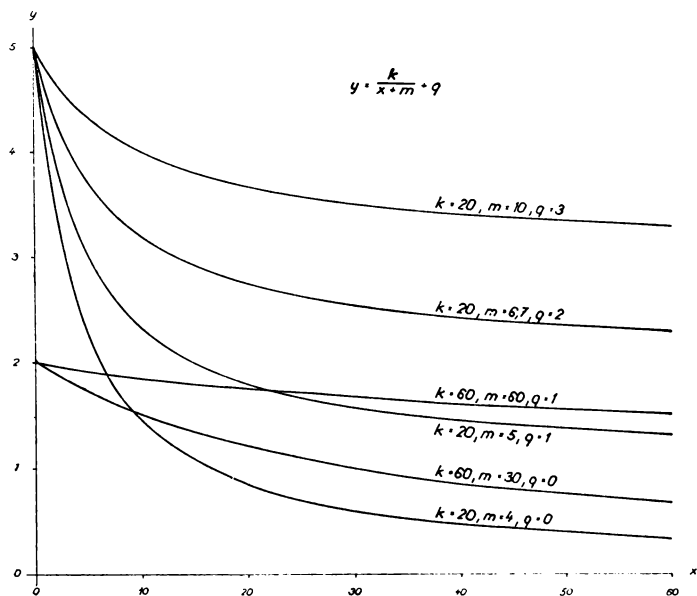
Šířka letokruhu je závislá jednak na individuálních vlastnostech či podmínkách jedince, jednak na podmínkách prostředí, které působí v širším okolí a tak shodně ovlivňují celou populaci v rámci oblasti, v níž působí.

První skupina faktorů, faktory odlišné pro každé individuum, tedy dodává letokruhové křivce její zvláštnost a je příčinou, proč se od křivek jiných jedinců liší. K nejvýznamnějším činitelům této skupiny patří přirozená závislost přírůstu na věku a bonitě stanoviště, vlastní každému druhu dřeviny a též změny přírůstu, způsobené měnicími se světelnými poměry jedince, rostoucího v zápoji lesního porostu. Vliv těchto činitelů se projevuje převážně dlouhodobým trendem letokruhových křivek a jeho změnami.

Druhá skupina faktorů, faktory působící shodně na celou populaci, naopak působí na letokruhové křivky jako jednotící složka a vtiskuje letokruhovým křivkám příslušníků téže populace společné rysy. Nejvýznamnějším činitelem této skupiny je souhrn meteorologických faktorů, proměnlivý ve střední Evropě krátkodobě, „z roku na rok“.

Z hlediska teorie informace představují pro dendrochronologii prvky druhé skupiny signál, kdežto prvky první skupiny šum. Jedním z účelů standardizace je co nejvyšší potlačení šumu a zesílení signálu. Přitom lze u středoevropského materiálu vycházet z předpokladu, že signál má povahu spíše krátkodobého, kdežto šum spíše dlouhodobého kolísání šířek letokruhů.²

Tloušťkový roční přírůst dřeviny je největší v nejmladším věku dřeviny; s rostoucím věkem klesá. Křivka tloušťkového přírůstu, zvaná též biologická či ideální křivka růstu, se zhruba podobá protáhlému, vlevo nakloněnému otazníku (obr. 1). Biologická křivka růstu je v typickém případě křivka klesající, s jedním inflexním bodem, vlevo od něj konvexní, vpravo konkávní. Její konvexní část (období mládí a dospělosti stromu) je několikrát delší než její konkávní část (období stáří). Uvedené pochopitelně platí pro strom, který se dožil přirozeného věku. Průběh křivky je závislý nejen na věku, ale i na bonitě stanoviště; proto je jiná pro každého jedince. Vzhledem k tomu, že dendrochro-



Obr. 2. Hyperbola regresní funkce : $y = \frac{k}{x+m} + q$ pro různé parametry (k, m, q).

nologii zajímá právě závislost přírůstu na faktorech působících na celou populaci, je záhodno tento vliv věku a bonity, a případně též dalších dlouhodobě působících faktorů, je-li jejich působení v křivce nežádoucí, vyloučit. A to je úkolem standardizace.

Princip standardizace je následující:

- a) nalezne se vhodná regresní funkce, co nejbližší biologické růstové křivce resp. schopná vyjádřit i jiné dlouhodobé růstové trendy,
- b) stanoví se její parametry tak, aby ji bylo možno co nejlépe proložit konkrétní letokruhové křivce,
- c) regresní funkce se proloží letokruhové křivce, obvykle metodou nejmenších čtverců;
- d) vlastní standardizace: Letokruhový index i je vyjádřen vztahem:

$$i = \frac{z}{y}$$

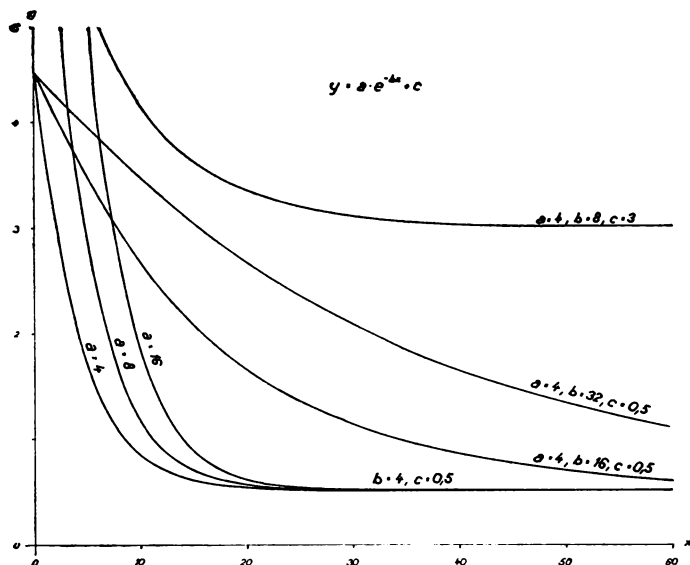
kde z je naměřená šířka letokruhu

y je hodnota standardizační funkce, příslušná letokruhu.

Zmíněným vztahem je řada hodnot šířek letokruhů (původní letokruhová křivka) transformována do řady hodnot letokruhových indexů (křivka letokruhových indexů, standardizovaná letokruhová křivka), která má v celé své délce střední hodnotu rovnou 1 a homogenní rozptyl v průběhu času. Efekt standardizace je zřejmý z obr. 4 a 5.

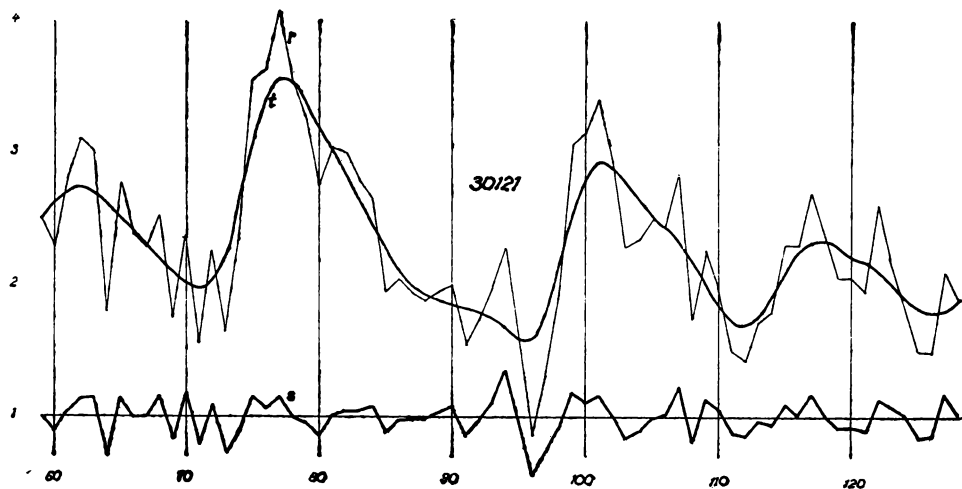
Někteří autoři, zejména američtí, u nás Vinš (např. Vinš et Šindelář, 1973), používají k vyjádření standardizačních křivek rovnice hyperboly s asymptotami rovnoběžnými s osami souřadnic (obr. 2):

$$y = \frac{k}{x + n} + m \quad k > 0, n > 0, m > 0$$

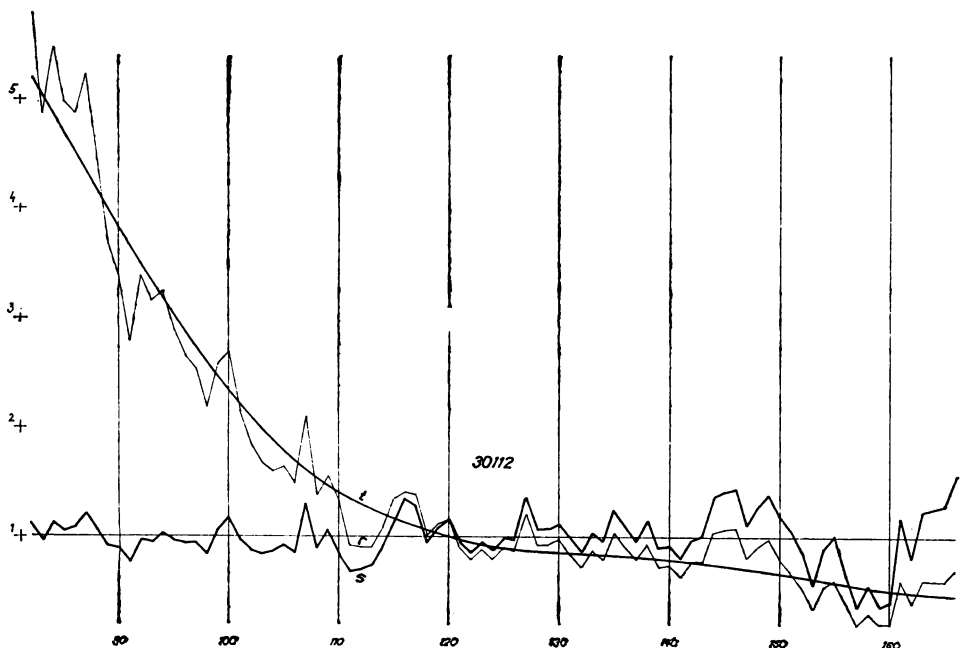


Obr. 3. Exponenciální regresní funkce : $y = a e^{-bx} + c$ pro různé parametry (k, m, q).

Graf zmíněné funkce je v intervalu $(n; \infty)$ klesající a konvexní; inflexních bodů nemá. Velmi dobře vystihuje průběh biologické růstové křivky stromů skácených v mýtním věku nebo dřívě. Jiné dlouhodobé trendy, zvláště pokud mají charakter vzestupu nebo kolísání, však vyjádřit nedovede. Standardizaci pomocí rovnice hyperboly volí proto pracovníci, kteří potřebují z křivek eliminovat pouze biologickou růstovou zákonitost, jako dendroklimatologové, fy-



Obr. 4. Grafické znázornění standartizace křivky 30121 z Mostu r = letokruh, t = spline funkce, s = standartizační letokruh.



Obr. 5. Grafické znázornění standartizace křivky 30112 z Mostu.

topatologové a někteří američtí dendrochronologové (viz pozn. 2); potřebám naší dendrochronologie nevyhovuje.

Velmi podobné vlastnosti má i exponenciální regresní funkce, navržená a často užívaná rovněž americkými autory (např. Fritts et al. 1969):

$$y = a.e^{-bx} + k \quad a > 0, b > 0, k > 0$$

Graf této funkce je při stanovených podmínkách v intervalu $(-\infty; \infty)$ klesající a konvexní, bez inflexního bodu; blíží se shora k hodnotě k . Co se týče jeho vlastností vzhledem k našim požadavkům na standardizaci, platí zde totéž, co bylo řečeno o hyperbole. Exponenciální funkce použil Židek (1972, 1973, 1975) pro standardizaci letokruhových křivek dubu z archeologického výzkumu v Mikulčicích.

Uvedené standardizační funkce jsou vhodné pro materiál, o němž můžeme předpokládat, že byl skácen alespoň v mytním věku. U archeologicky získaného materiálu nelze ovšem tento předpoklad vždy položit. Kromě toho, na letokruhových křivkách velmi často pozorujeme dlouhodobé kolísání přírůstu mnohem složitějšího průběhu, než je biologická růstová křivka, většinou s řadou výrazných lokálních extrémů (obr. 4). Jeho původci jsou dlouhodobě proměnlivé faktory, v případě staršího materiálu snad často měnící se světelné poměry jedince, rostoucího v složitém korunovém zápoji lesního porostu pralesního charakteru nebo obhospodařovaného živelným výběrem, tedy převážně faktory povahy šumu, jejichž vliv je záhodno z křivek vyloučit. Je zřejmé, že tento úkol nemůže splnit žádná ze vzpomenutých užívaných funkcí; probíhají totiž vesměs bez lokálních extrémů a inflexních bodů.

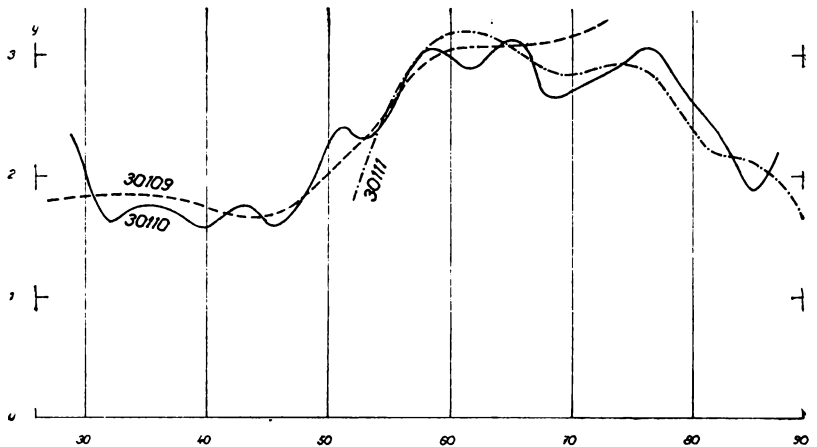
Stojí za zmínku, že v dosud zpracovaném materiálu ze středověkého Mostu (výdřeva fekálních jímek 2, 5, 6: Kyncl 1977a, č. 3, 8: dosud nepubl.) naprosto převažují křivky s výrazným dlouhodobým kolísáním, které zpravidla zcela překrývá prvky přirozené růstové křivky (obr. 4, 6 až 8, 10). Toto kolísání je pro materiál z různých jedinců naprosto asynchronní. Průběh odpovídající přirozené růstové křivce mají vlastně z celého souboru dosud zpracovávají dřev jen dvě křivky: 30112 a 30113 z jímky 5 (obr. 5 a 9), obě zjevně pocházejí z téhož jedince. Z toho důvodu jsme se, společně s Židkem (1977) zajímali o využití spline funkcí k vyrovnání letokruhových křivek. Spline funkcí doposud nebylo v dendrochronologii použito.³ Hřebíček (1974) zkonstruoval vyrovnávací funkci $f(x)$, která je tvořena kubickými parabolami

$$f(x) = a_i + b_i(x-x_i) + c_i(x-x_i)^2 + d_i(x-x_i)^3 \quad x: \leq x < x_{i+1}, \quad i = 0(1)n-1$$

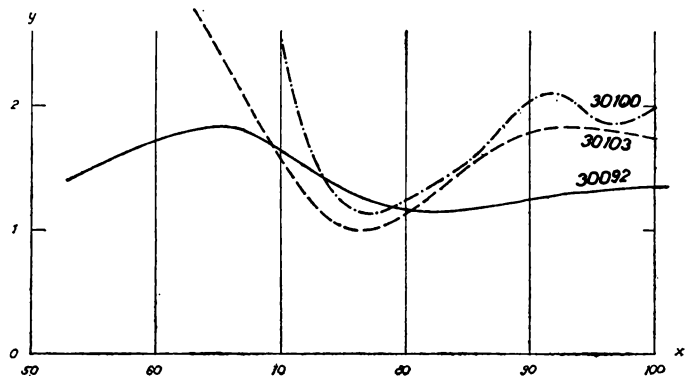
takovými, že funkce $f(x)$, $f'(x)$, $f''(x)$ jsou spojité v celém intervalu $(x_0; x_n)$, tj. i v bodech x_i , a sestavil podprogram SPLINE, který umožňuje stanovit koeficienty těchto parabol.⁴

Spline funkce má obecně neomezený počet lokálních extrémů a tím i inflexních bodů; dovede tedy, je-li použita jako funkce standardizační, velmi dobře „sledovat“ a vyhladit i složité dlouhodobé kolísání letokruhové křivky. Prakticky to potvrdila standardizace pomocí spline-funkcí na mosteckém materiálu (obr. 4 až 10) i dobrá synchronizovatelnost takto získaných křivek letokruhových indexů (Kyncl 1977a). Z toho důvodu byla standardizace pomocí spline funkcí zařazena do navržené soustavy metodik jako jediná standardizační metoda.

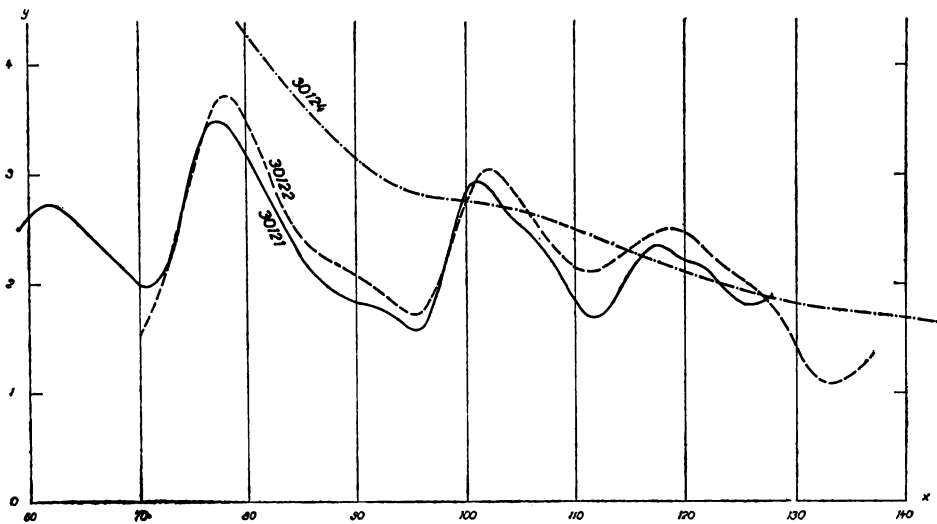
Zavedení standardizace pomocí spline funkcí umožnilo ještě jednu operaci při použití jiných standardizačních metod těžko řešitelnou,⁵ a to identifikaci jedince (stromu) z něhož dřevo pochází. Dlouhodobé kolísání letokruhové křivky je totiž více méně shodné (a synchronní) pro veškerý materiál, pocházející



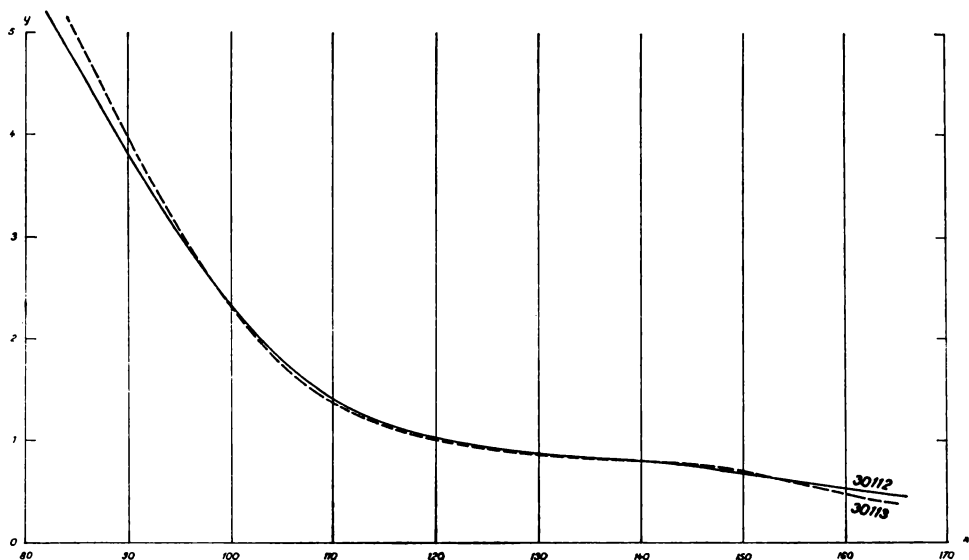
Obr. 6.-10. Dlouhodobé kolísání skupin tří křivek, případně dvou křivek, které pocházejí z jednoho jedince.



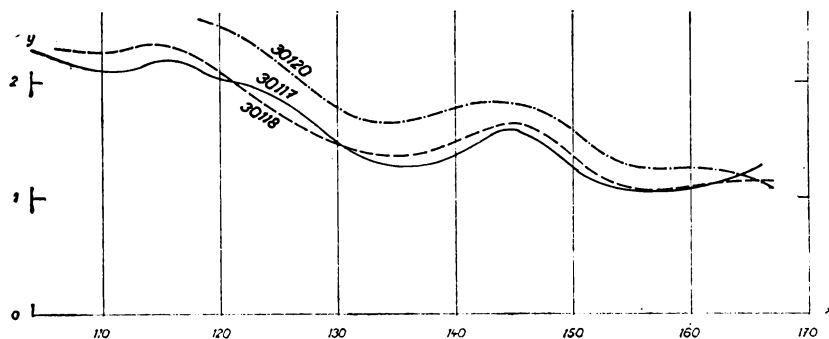
Obr. 7.



Obr. 8.



Obr. 9.



Obr. 10.

z téhož kmene. V případě materiálu z Mostu se pomocí analýzy křivek dlouhodobého trendu (grafů standardizačních spline funkcí) podařilo zjistit, že smrkové dříví použité k synchronizaci z objektu 2 pocházelo ze dvou kmenů, z objektu 6 ze tří kmenů a dřevo z objektu 5 z pěti kmenů (viz obr. 6 až 10). Právě uvedené závěry byly v naprostém souhlasu s ostatními identifikačními znaky, jako s tvarem a průměrem průřezu kmene nebo (v případě obj. 6) charakteristickým žírem kůrovců za podkorním letokruhem.

Kritéria podobnosti letokruhových křivek. Hodnocení spolehlivosti synchronizace

Autoři, kteří pracují s nestandardizovanými křivkami, např. v úvodu citovaní příslušníci Huberovy školy, jsou kromě okulárního odhadu podobnosti křivek odkázáni na jedinou metodu hodnocení míry podobnosti dvou letokruhových křivek v určitém časovém překrytí: na počítání procenta proti- či souběžnosti (Huber 1952). Na nedostatky tohoto způsobu, zejména na skutečnost, že

není přihlíženo k míře protiběžnosti, upozornila již Jazewitschová (1952); dílčí zlepšení, které navrhla, se však nikdy neujalo pro značnou pracnost.

Jsou-li obě srovnávané křivky standardizované, tj. splňují-li dva základní předpoklady

a) mají pro celou svoji délku střední hodnotu rovnou 1,

b) mají homogenní rozptyl v průběhu času,

pak lze míru jejich podobnosti v dané poloze hodnotit mnohem dokonaleji pomocí korelací v pojetí, využitím Frittssem (1963, Fritts et al. 1969). Pro každou vzájemnou polohu dvou vzorků lze vypočítat hodnotu korelačního koeficientu mezi letokruhovými indexy obou vzorků (x_i, y_i) podle vztahu

$$K = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{x_i - x_{i+1}}{y_i - y_{i+1}}$$

kde x_i, y_i (resp. x_{i+1}, y_{i+1} z následujícího roku) jsou překrývající se letokruhové indexy dvou srovnávaných křivek v hodnocené poloze, n je velikost překrytí.

Korelační koeficient K udává pro srovnávané křivky letokruhových indexů míru společné relativní variability letokruhových indexů, jinými slovy míru podobnosti křivek v uvažovaném posunutí. Může nabýt hodnot od -1 do $+1$.⁶

Pokud je korelační koeficient kladný, spočítá se pro něj podle vztahu

$$t(\alpha)\nu = \frac{K\alpha(\nu)}{\sqrt{1 - K^2\alpha(\nu)}} \text{ kde } \nu = n - 2$$

jeho t -kritérium ve smyslu Studentova testu významnosti, a podle toho pak pravděpodobnost P , že nejde o nahodilou koincidencei:⁷

$$P = f(t, DF)$$

kde DF je počet stupňů volnosti (počet překrývajících se letokruhů minus 2).

Pravděpodobnost P je základním kritériem pro vlastní synchronizaci. Vyjadřuje míru spolehlivosti datování, danou nejen mírou podobnosti křivek v dané poloze, ale také velikostí překrytí. (Překrývají-li se křivky jen malým počtem letokruhů, silně stoupá nebezpečí nahodilé koincidence i při vysokém korelačním koeficientu.) P může nabýt hodnot od 0 do 1.⁸ Autoři, kteří korelačního koeficientu používají, zpravidla registrují hodnoty nad 0,9 jako zdroje informace o možných synchronních polohách (hypotetická datování); za prakticky průkazné je však zpravidla pokládáno překrytí o P vyšším než 0,999.

Vlastní synchronizace letokruhových křivek

Principem synchronizace je nalezení polohy, v níž se křivky překrývají s dostatečným stupněm podobnosti a v dostatečném překrytí, tj. s dostatečně vysokým P . Příklad takové polohy je překrytí křivek S0006, S0007 a S0008 (Kyncl 1977a: obr. 4 dole). Praktický postup spočívá v postupném překrývání dvou srovnávaných křivek ve všech polohách, v nichž se kryjí alespoň jistým minimálním počtem letokruhů, např. 20. Pro každou polohu je vypočítáno a registrováno K , a pokud je kladné, rovněž t , DF a P .

Výpočet střední křivky

Střední (průměrná) letokruhová křivka je křivka, jejíž hodnoty (souřadnice y) jsou aritmetickým průměrem hodnot n standardizovaných letokruhových křivek:

$$y_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

I střední křivka standardizovaných dílčích křivek má vlastnosti standardizované křivky, svrchu charakterizované ad a, b.

Použití samočinného počítače

Použití samočinného počítače je pro aplikaci navržené metodiky nezbytně nutné. Souběžně s jejím zpracováním byl v součinnosti Archeologického ústavu ČSAV, Botanického ústavu ČSAV a Ústavu fyzikální metalurgie ČSAV sestaven program strojně-početního zpracování dat, zahrnující všechny navrhované operace, včetně samočinného kreslení letokruhových křivek pomocí kreslicího stroje Digigraf, a to systém podprogramů AUL (Kučera 1974, Židek 1977), obsahující též podprogram SPLINE (Hřebíček 1974). Při použití tohoto programu není postup zdlouhavější oproti strojně-početní aplikaci postupů Huberovy školy (Eckstein et Bauch 1969). Zpracování 10 letokruhových křivek, průměrně 60-letých, si vyžádá cca 10 minut strojového času.

Praktické výsledky

Pomocí popsané soustavy metodik je soustavně zpracováváno dřevo z archeologického výzkumu v Mostě. Charakter dosud zpracovaného materiálu z Mostu (fekální jímky č. 2, 5, 6 [Kyncl 1977a] a 3, 8 [zprac. částečně, Kyncl 1975]) ukazuje na oprávněnost použití spline funkcí ke standardizaci (viz odstavce Standardizace).

Poněkud odlišné metodiky standardizace použil Židek (1972, 1973, 1975) při zpracování materiálu dubu z archeologického výzkumu v Mikulčicích. K regresi použil exponenciální funkce.

Závěrem bych chtěl poděkovat ing. Kučerovi (Ústav fyzikální metalurgie ČSAV) za sestavení výpočetního programu pro samočinný počítač ZPA 600; bez jeho přínosu by realizace navrhované metodiky nebyla myslitelná. Významný podíl na zavedení navržených metodik má ing. Židek (Ústav ekologie lesa VŠZ v Brně). Vzhledem k některým odlišnostem v metodice práce (zejména standardizace) však své příspěvky publikujeme samostatně. Těžištěm Židkovy (1977) práce je vlastní systém podprogramů AUL a jeho praktická aplikace.

Souhrn

Systém metodik dendrochronologické analýzy dřeva, vyvinutý ve 40. letech Huberem v oblastech bohatých na historicky datovaný materiál dřeva se nejeví vhodným pro naše území, na historicky datované dřevo velmi chudé. Navržena soustava metodik, zahrnující zejména standardizaci letokruhových křivek pomocí spline funkcí a synchronizaci letokruhových křivek s využitím korelační analýzy, zpracovatelná pomocí samočinných počítačů. Smyslem návrhu je lepší izolace prvků povahy šumu z letokruhových křivek a exaktnější metoda hodnocení podobnosti křivek a spolehlivosti výsledků.

Poznámky

- 1 Dosud je kromě Mostecka soustavněji prováděna jen v Jihomoravském kraji, zásluhou Dr. Konečného (KSPPOP Brno). Ukazuje se, že ani naprostá převaha dubu, charakteristická pro německé území, není u nás pravidlem. V dosud získaném materiálu z rekonstrukce historických objektů (Brno, Náměšť nad Oslavou) naprosto převažuje jedle. V materiálu ze středověkého Mostu (výdřeva fekálních jímek) převažuje smrk za naprosté absence dubu. Práce s jinými dřevinami než s dubem pro nás znamená nejen ztrátu možnosti synchronizace s německými křivkami (v západních Čechách by snad byla myslitelná), ale i další oddálení perspektivy, již je absolutně datovaná chronologie, navázaná na letokruhové křivky žijících stromů. Máloliterá dřevina je totiž tak dlouhověká jako dub.
- 2 Posléze uvedená zákonitost neplatí pro materiál z aridních oblastí severoamerického kontinentu, kde se na vývoji letokruhových křivek výrazně podílí též dlouhodobé klimatické cykly. Právě proto používají Američané standardizační funkce, které eliminují pouze ideální růstovou křivku (např. Fritts), popř. dlouhodobé trendy změn neeliminují vůbec (regrese na přímku, Glock).
- 3 Z dosud užívaných pracovních metod jsou svým efektem (nikoli principem) spline funkcím nejbližší tzv. klouzavé průměry, v letokruhových analýzách poprvé použité Aanstadem (1934) a předtím teoreticky zpracované Frischem (1928).
- 4 Matematické principy spline funkcí podrobně rozebrány v citované Hřebíčkové práci. Možnostem jejich použití v letokruhových analýzách i mimo oblast dendrochronologie je věnována samostatná studie (Kyncl 1977b).
- 5 Lze řešit výpočtem a grafickým zobrazením průběhu klouzavého průměru. Viz pozn. 3.
- 6 Význam krajních hodnot: $K = +1$ platí pro dvojici křivek, jejichž překrývající se části jsou zcela shodné, při $K = 0$ je průběh obou křivek zcela nezávislý, $K = -1$ platí pro křivky, jejichž překrývající se části jsou si navzájem zrcadlovými obrazy.
- 7 Tj. že nejde o doplněk hladiny významnosti do jedné.
- 8 Význam krajní hodnoty ($P = 1$): „absolutní jistota“. V praxi nemůže nikdy nastat, neboť tento případ předpokládá úplnou shodnost obou křivek a nekonečně veliký počet letokruhů jejich překrytí.

Literatura

- Aanstad S., 1934: Untersuchungen über das Dickenwachstum der Kiefer in Solör, Norwegen. *Nyt mag. for naturvidenskaberne* 74: 120–153.
- Becker B., et Giertz-Siebenlist V., 1970: Eine über 1100-jährige mitteleuropäische Tannenchronologie. *Flora. Morphologie, Geobotanik, Oekophysiologie* 159: 310–346.
- Eckstein D. et Bauch J., 1969: Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 88: 230–250.
- Eckstein D. et al., 1970: Aufbau einer Jahrringchronologie von Eichenholz für die Datierung historischer Bauten in Norddeutschland. *Holz-Zentralblatt* 96: 674–676.
- Eckstein D. et al., 1972: Jahrringanalyse und Baugeschichtsforschung – Aufbau einer Jahrringchronologie für die Vier- und Marschlande bei Hamburg. *Abh. Verh. naturw. Ver. Hamburg* 16: 73–100.
- Frisch R., 1928: Changing harmonics and other general types of components in empirical series. *Skandinavisk Aktuartidskrift* 11.
- Fritts H. C., 1963: Computer programs for tree-ring research. *Tree-Ring Bull.* 25: 2–7.
- Fritts H. C. et al., 1969: A revised computer program for standardizing tree-ring series. *Tree-ring Bull.* 29: 15–20.
- Hollstein E., 1968: Über den gegenwärtigen Stand der westdeutschen Eichenchronologie. *Kunstchronik* 21: 159–164.

- Hřebíček J., 1974: Aproximace a vyrovnávání experimentálních dat metodou spline funkcí. Interní zpráva, Ústav fyzikální metalurgie ČSAV v Brně.
- Huber B., 1941: Aufbau einer mitteleuropäischen Jahrringchronologie. Mitt. Herrman-Göring-Akad. 1: 110–125.
- Huber B., 1952: Beiträge zur Methodik der Jahrringchronologie. I. Gegenläufigkeitsprozent und Gegenläufigkeitsstruktur. Holzforschung 6: 33–37.
- Huber B. et Giertz-Siebenlist V., 1969: Unsere tausendjährige Eichen-Jahrringchronologie durchschnittlich 57-(57–150)-fach belegt. Sitz. Österr. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Klasse 178: 37–42.
- Huber B. et Giertz-Siebenlist V., 1970: Central European dendrochronology for middle ages. Scientific Methods in Medieval Archaeology, Univ. of California Press: 201–212.
- Huber B. et al., 1964: Jahrringchronologie Hessischer Eichen. Büdinger Geschichtsblätter 5: 29–82.
- Jazewitsch W., 1952: Beiträge zur Methodik der Jahrringchronologie. II. Die fraktionierte Gegenläufigkeitsstatistik. Holzforschung 6: 82–89.
- Kučera J., 1974: AUL – systém podprogramů zpracovávající měření letokruhů. Interní zpráva. Ústav fyzikální metalurgie ČSAV, Brno.
- Kyncl J., 1973: Dendrochronologie střední Evropy a možnosti jejího využití v ČSSR. Čas. Moravského muzea, Vědy společenské 58: 109–124.
- Kyncl J., 1975: Synchronizace letokruhových křivek dřev z archeologických nálezů v Mostě pomocí regresní analýzy a korelací. Závěrečná práce postgraduálního studia biometriky, PF UJEP, Brno.
- Kyncl J., 1977a: Dendrochronologie středověkého Mostu I. Chronologie smrkové výdřevy fekálních jámek č. 2, 5 a 6. Archaeol. hist. (v tisku).
- Kyncl J., 1977b: Použití spline funkcí v letokruhových analýzách. V rukopisu.
- Vinš B. et Šindelář J., 1973: Příspěvek ke studiu struktury a vývoje smíšených porostů. Práce Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti 43: 121–138.
- Židek Vl., 1972: Výsledky ověřovací dendrochronologické analýzy dřevních vzorků z Mikulčic. Přehled výzk. Archeol. ústav ČSAV, Brno.
- Židek Vl., 1973: Dendrochronologická analýza – 1. fáze zpracování vstupních dat s využitím samočinného počítače. Přehled výzk. Archeol. ústav ČSAV Brno.
- Židek Vl., 1975: Synchronizace krátkodobých letokruhových křivek dubu z archeologického naleziště Mikulčice s využitím regresní analýzy a korelací. Závěrečná práce postgraduálního studia biometriky, PF UJEP, Brno.
- Židek Vl., 1977: Dendrochronologická analýza a její využití v archeologii. Archeol. rozhledy (v tisku).

Zur Methodik der Dendrochronologie

Das von Huber aufgestellte methodische System der dendrochronologischen Holzanalyse hat sich in Gebieten eingebürgert, die reich an Holz sind, das von alten Bauten und aus archäologischen Funden der historischen Zeit Mitteleuropas, vorwiegend Deutschlands, stammt. Das Hubersche System ist jedoch für Gebiete mit geringer Präsenz solcher Materiale aus folgenden Gründen weniger geeignet:

A. Die regionalen Mittelkurven aus Gebieten mit reichen Altholzfunden entstanden als Ergebnis des Durchlegens einer großen Menge von Jahrringkurven der einzelnen Holzarten und sind deshalb von asynchronen (individuellen) Elementen gut „gereinigt“. In Gebieten, die arm an solchen Funden sind, erscheint es angebracht Methoden der Standardisierung von Jahrringkurven zu erwägen, die wenigstens zu einem bestimmten Grad asynchrone („Geräusch“) aus synchronen Elementen („Signal“) eliminieren. Bei mittelalterlichem Fichten- und Tannenholz aus Westböhmen brachte in dieser Hinsicht die Standardisierung mit Hilfe der Spline-Funktionen gute Erfolge; sie beruht darauf, daß das Signal den Charakter vorwiegend kurzfristiger Schwankungen („von Jahr zu Jahr“), das Geräusch lang-

fristiger Schwankungen der Jahrringkurven zeigte, die im gegebenen, sehr markanten Fall wohl vor allem auf die sich ändernden Belichtungsverhältnisse der im komplizierten Kronenverband urwaldartiger oder spontan ausgebeuteter Wälder wachsenden Bäume zurückzuführen waren.

B. Der Gegen- oder Gleichläufigkeitsprozensatz bietet nur eine unvollkommene Beurteilung der Ähnlichkeit der Jahresringkurven, vor allem deshalb, weil er keine Unterschiede zwischen starker und schwacher Gegenläufigkeit zum Ausdruck bringt. Dieser Mangel tritt besonders bei der Arbeit mit Mittelkurven zutage, die aus wenigen Teilkurven konstruiert wurden. Die Standardisierung der Jahrringkurven ermöglicht es den Korrelationskoeffizienten zur Wertung ihres Ähnlichkeitsgrades einzusetzen, der auch das Maß des Sinkens oder Steigens der Kurve in bestimmten Abschnitten berücksichtigt.

Das vorgeschlagene Verfahren läßt sich folgendermaßen charakterisieren:

1. Standardisierung der Jahrringkurve mit Hilfe der Spline-Funktion. Diese Funktion besitzt zum Unterschied von den zur Standardisierung verwendeten exponentiellen und hyperbolischen Funktionen eine im allgemeinen unbegrenzte Zahl lokaler Extreme und Inflexionspunkte. Sie vermag somit auch komplizierten langfristigen Schwankungen der Jahresringkurve gut zu folgen und sie auszugleichen. Prinzip der Standardisierung: Die Jahrringkurve durchlegt man mit der Spline-Funktion und berechnet die den einzelnen Jahrringen entsprechenden Werte der Spline-Funktion. Bei der eigentlichen Standardisierung wird der Jahresringindex i durch die Beziehung

$$i = \frac{z}{y}$$

z die gemessene Jahresringbreite ist, ausgedrückt, wobei.

y ist der dem Jahresring entsprechende Wert der Spline-Funktion.

Durch die Beziehung wird die Reihe der Jahrringbreitenwerte (Jahrringkurve r , Abb. 4 und 5) zur Reihe der Jahrringindexe (standardisierte Jahrringkurve s), transformiert. Diese Kurve drückt bloß kurzfristige Schwankungen der Jahrringkurve aus. Die Spline-Funktion (t) stellt nur den langfristigen Trend der Jahrringkurve dar.

2. Synchronisierung der Jahrringkurven. Das verglichene Jahrringkurven paar wird, mit einer bestimmte minimalen Überschneidung beginnend und endend, schrittweise in allen Lagen vergleichend gewertet. Für jede einzelne Lage berechnet man den Korrelationskoeffizienten K .

$$K = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{x_i - x_{i+1}}{y_i - y_{i+1}}$$

wo x_i, y_i (bzw. x_{i+1}, y_{i+1} des nachfolgenden Jahres) die sich überdeckende Jahrring-Indexe zweier verglichener Kurven in der bewerteten Lage darstellen; n ist die Überdeckungsgröße. Ist K positiv, berechnet man sein t -Kriterium (T) im Sinne von Students t -Test der Signifikanz. Aus der Größe T und der Zahl der Freiheitsgrade (DF) berechnet man die Wahrscheinlichkeit P , daß es um keine zufällige Koinzidenz geht. Die Wahrscheinlichkeit P ist das Hauptkriterium der eigentlichen Synchronisierung. Es drückt den Verlässlichkeitgrad der Datierung aus, der nicht nur durch das Maß der Kurvenähnlichkeit in bestimmten Lagen, sondern auch durch die Größe ihrer Überschneidung gegeben ist. Die Zahl 0,9 übersteigende P -Werte werden als Informationsquellen möglicher Synchronlagen tabellarisch gesondert verzeichnet, als praktisch beweiskräftig gilt jedoch die Überschneidung, bei $P > 0,999$.

3. Der ganze Vorgang wird mit Hilfe eines Computers durchgeführt.

Langfristige, im allgemeinen eher asynchrone Schwankungen der Jahrringkurven sind bei dem Material eines und desselben Baumes ausgesprochen synchron. Man kann es deshalb zur Identifizierung von Bäumen verwenden, von denen das Holz kommt. Die Kurvendreiergruppen, bzw. die Doppelkurve aus Most (Abb. 6-10) wiesen nicht nur eine beträchtliche Ähnlichkeit der langfristigen und eine besonders hohe Ähnlichkeit der kurzfristigen Schwankungen, sondern auch weitere Merkmale

auf (Zahl der Jahrringe, Form des Querschnitts, auffallend übereinstimmender Borkenkäferbefall), die für die Herkunft von demselben Individuum sprachen.

1. Natürliche Zuwachskurve.

2. Hyperbel als Regressionsfunktion: $y = \frac{k}{x + m} + q$

für verschiedene Parametergrößen (k, m, q).

3. Exponentielle Regressionsfunktion: $y = ae^{-bx} + c$

für verschiedene Parametergrößen (k, m, q).

4. und 5. Graphische Darstellung der Kurvenstandardisierung 30121 und 30112 aus Most.

r – Jahrringkurve

t – Spline-Funktion

s – Standardisierte Jahrringkurve (Jahrringindexkurve).

6. bis 10. Langfristiges Schwanken der Kurvendreiergruppen, bzw. des Kurvenpaares, die offenbar von einem und demselben Individuum stammen (Most).