

4.4 Postup zpracování měřených vzepětí

PŘIBLIŽNÝ ZPŮSOB ŘEŠENÍ OBLOUKOVÝCH SOUŘADNIC

Ing. PAVEL HÁNEK, CSc.,

České vysoké učení technické

625.1004.67 Železniční technika 8, 1982, č. 12 (po naskenování mírně upraveno)

I. Úvod

Způsob, o kterém bude jednáno, není ve své podstatě novinkou. U nás byl uveden v ([1], část C včetně tab. XII) a zřejmě obdobně i u řady dalších železničních správ. V praxi je pro svou přibližnost a omezenou působnost neužívaný, stejně tak jako jeho mechanické řešení pomocí kalkulátorů Bienfeit –Matissa.

Cílem dále uvedených úprav je naznačit možné, zajímavé použití v některých případech praxe, kdy při řešení se nejen nevyžaduje nebo není možná přítomnost geodeta, ale u řešitele se nepředpokládá ani jakékoli odborné vzdělání. Stejně nenáročná je i materiální vybavení. Půjde o následující dvě skupiny prací:

a) rychlá obnova tratě (např. po haváriích, živelních pohromách apod.) s cílem umožnit její průjezdnost třeba i bez ohledu na většinu technických podmínek, platných v běžné situaci,

b) úprava tratě směrovacími stroji. V úvodu je třeba upozornit, že přesnost této metody není srovnatelná s geodetickými metodami rektifikace železničních tratí, které byly stručně popsány a hodnoceny např. v [2]. Celé řešení je vedeno zásadou maximální jednoduchosti. Následující text se bude zabývat pouze úpravou oblouků, protože rektifikace přímé trati je prostá.

Ve zmiňném předpise [1] nesla původní verze této metody název „metoda jednotlivých příčných posunů“. V dalším ji budu jmenovat „přibližným způsobem řešení“ obloukových souřadnic (PZ) protože v současnosti se jako metoda příčných posunů (MPP) označuje velmi výhodný, zpracovaný způsob doc. Z. Nováka, užívající programovatelných kalkulátorů vyšší úrovně. Tato metoda, zmiňovaná a hodnocená ve [2], bude sloužit k posouzení přesnosti uváděného přibližného způsobu zpracování.

2. Podstata metody

Měřickým základem jsou vzepětí h , měřená mechanickým způsobem uprostřed nad tětivy stejné délky $t \approx 2s$, kde s je vzdálenost sousedních podrobných bodů, dočasně vyznačených na vnější kolejnici. V dalším se předpokládá milimetrová přesnost jejich určení, běžně dosažitelná soupravou pro mechanická měření vzepětí, opatřenou libelami. Při hrubším měření se úměrně sníží výsledná přesnost celého postupu.

Předpis [1] jako základní podmínky řešení klade:

a) změna vzepětí v libovolném bodě má za následek poloviční změnu vzepětí na obou sousedních bodech s opačným znaménkem,

b) součet těchto oprav dává nulu. Prvý požadavek je možno ihned logicky rozšířit tak, že se poloviční opravy nemusí vázat jen na bezprostředně sousední body, ale na body stejně vzdálené od středu. Tak např. zápis

$$-2 \quad +4 \quad -2$$

je možno upravit na tvar

$$-2 \quad +4 \quad -2,$$

kde symbol „..“ představuje libovolný počet „přeskočených“ podrobných bodů. Stejný význam mají dále užitě znaky „...“, „*“, „**“, které číselně mohou být i shodné. Jejich velikost je omezena celkovou délkou úpravy bez ohledu na to, na který trasovací prvek (kružnice, přechodnice, příp. přímá) oprava vzepětí vyjde. Můžeme pak psát též

$$-1 \quad .. \quad -1 \quad +4 \quad -1 \quad .. \quad -1$$

nebo

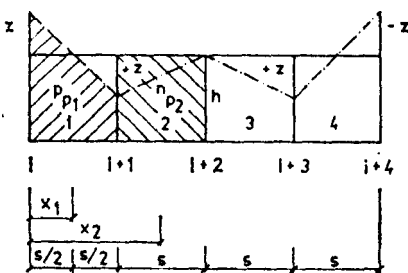
$$-2 \quad .. \quad +2 \quad +2 \quad .. \quad -2$$

(1)

$$-1 * -1 \quad .. \quad +2 \quad +2 \quad .. \quad -1 * -1,$$

$$-1 ** -1 * +1 \quad .. \quad +1 \quad +1 \quad .. \quad +1 * -1 ** -1.$$

Základní podmínkou je symetrie rozdělení oprav podle osy zápisu. (Pozn. úplně vlevo má být popis $-z$.)



Obr. 1

Platnost např. zápisu (1) dokážeme pomocí **obr. 1**. Postup důkazu by byl stejný pro všechny další zápisy.

V obr. 1 je s vzdálenost podrobných bodů, h vzepětí navrhovaného stavu, z rozdíl vzepětí (oprava, změna) mezi původním a navrhovaným stavem.

Rameno statického momentu soustavy (tj. x - souřadnice těžiště obrazce vzepětí), rozložené na jednoduché základní obrazce, se pro původní starý stav (čerchovaný zákras, index p) i pro navrhovaný nový stav (plná čára, index n) počítá ze vzorce

$$x = [(\sum p_i x_i) / \sum p_i] \quad (2)$$

kde p_i je plocha základního obrazce, x_i příslušné rameno statického momentu; Σ je užívaným znakem součtu.

S užitím běžně známých vzorců rovinné geometrie pro výpočet ploch platí pro původní stav

v obrazci 1:

$$p_1 = [|h - z| + |h + z|] \cdot (s/2) = 2h \cdot (s/2),$$

$$p_1 x_1 = 2h \cdot (s^2/4),$$

v obrazci 2:

$$p_2 = |2h + z| \cdot (s/2),$$

$$p_2 x_2 = |2h + z| \cdot (3s^2/4),$$

v obrázci 3:

$$p_3 = |2h+z| \cdot (s/2), \\ p_3 x_3 = |2h+z| \cdot (5s^2/4),$$

v obrázci 4:

$$p_4 = 2h \cdot (s/2), \quad p_4 x_4 = 2h \cdot (7s^2/4).$$

Po vytvoření součtu $\sum p_i$, $\sum x_i p_i$, dosazení do (2) a úpravě:

$$x_p = (2s^2 \cdot (4h+z)) / (s \cdot (4h+z)) = 2s. \quad (3)$$

Obdobně pro navrhovaný stav; plocha základních obrazců p_i je v případě obr. 1 stejná:

$$p_i = h \cdot s,$$

a potom také součiny

$$p_i x_i = h \cdot s \cdot (2i-1) s / 2, \quad i \in \langle 1; 4 \rangle.$$

Stejným postupem jako výše dostaneme:

$$x_n = (h \cdot (s+3s+5s+7s)) / (2 \cdot (4hs)) = 2s. \quad (4)$$

Porovnáním rovnic (3) a (4) zjistíme, že

$$x_n = x_p. \quad (5)$$

Z rovnice (6) plyne, že navrhovanou úpravou vzepětí se nemění statický moment těžiště obou obrazců vzepětí vzhledem ke krajnímu podrobnému bodu, který je počátkem výpočtu, a stejný zůstává součet vzepětí. Potom je zachován středový úhel oblouku, čímž je zajištěna návaznost úpravy na starý stav, a nemění se ani umístění oblouku — body ZP (resp. ZO) a KP (KO) jsou prakticky stálé.

3. Praktické řešení

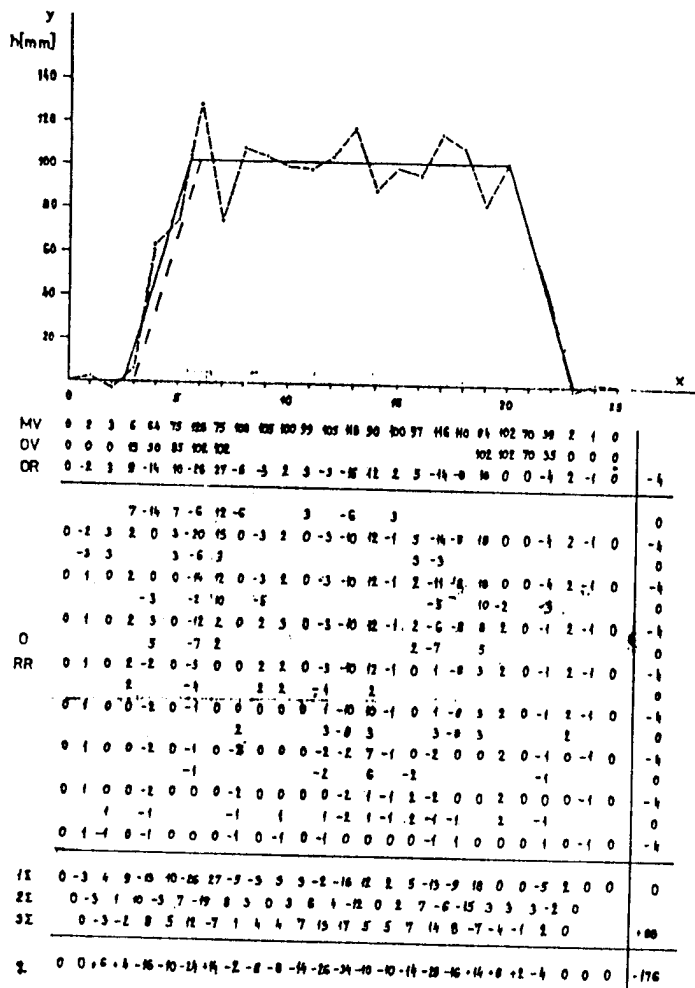
Obrázec vzepětí starého stavu se vynese na milimetrový papír (z důvodů grafických zde není použit), obvykle v měřítku délek 1:1000 nebo 1:500 na vodorovnou osu x , vzepětí na svislou osu y v měřítku 1:1 nebo blízkém. Do tohoto zákresu se navrhne obrazec vzepětí nového stavu.

Podmínkou řešení je výskyt střídavých znamének rozdílů mezi starým a novým stavem; to vede k požadavku přibližné rovnopločnosti obou obrazců, tedy na podmínku minimálního součtu posunů ($\sum q = 0$). Z toho plynou minimální změny délky oblouku. Není tedy možné výrazněji měnit parametry dosavadního skutečného stavu. Jak uvidíme dále na příkladě složeného oblouku, lze docílit splnění podmínky nulového posunu v určitém bodě ($q_i = 0$). Tyto možnosti vyhovují v úvodu naznačeným cílům. Při návrhu nového stavu se postupuje tak, že se z průběhu čáry obrazce vzepětí původního určí odhadem poloha vlastního kružnicového oblouku. Příslušné vzepětí nového stavu se vypočte prostým aritmetickým průměrem měřených vzepětí, ležících v tomto intervalu. Navržený kružnicový oblouk se zobrazí jako úsečka, rovnoběžná s osou x . Tím je splněna základní podmínka řešení. Zkusmo se zobrazí (šikmými úsečkami mezi osou x a zákresem kružnice) obě krajní přechodnice. S ohledem na požadovanou maximální jednoduchost zpracování se v navrženém obrazci vzepětí nezaobluje styk přechodnice a kružnice, resp. přímé. Úloha se zjednoduší, je-li známa poloha hlavních bodů — např. orientačním zaměřením zajišťovacích značek k podrobným bodům, nebo z dokumentace. Tento případ by měl být běžný zejména při případném použití k práci směrovacích strojů pro údržbu svršku; hodnota vzepětí kružnice, tedy jinými slovy velikost poloměru, se musí i zde počítat ze starého stavu.

Pod grafickou částí se pod čísly podrobných bodů uvedou postupně v řádcích měřená vzepětí starého stavu (v **obr. 2 a 3** ozn. MV), odsunutá vzepětí nového stavu (OV) a jejich vzájemný rozdíl (OR — nový minus starý). Součet těchto tzv. očekávaných rozdílů se má blížit nule; odchylky jsou způsobeny převážně polohou některé nebo obou přechodnic. Jistou početní kontrolou je, že se součet očekávaných rozdílů v kružnici musí rovnat nule, až na chybu vzniklou zaokrouhlením průměrného vzepětí a vliv krajních bodů přidaných nebo ubraných při návrhu přechodnic. Styk přechodnice s kružnicí nebo přímou samozřejmě většinou neleží v podrobném bodě. Zákres přechodnice je možno zkusmo posunovat tak, aby se součet očekávaných rozdílů v jejím průběhu zmenšil. (Např. v **obr. 2** posun levé přechodnice vně oblouku o 5 m přinesl změnu součtu o +49 mm. Původní návrh je vyznačen čárkovaně.) Vzhledem k cílům a přesnosti zpracování není vyžadován větší souhlas. Ve výjimečných případech většího poškození jedné větve oblouku by možno dojit k volbě nesympetrických přechodnic. Součet rozdílů OK se uvede za posledním podrobným bodem a slouží ke kontrole dalšího postupu.

Vlastní řešení má začínat postupným odstraňováním rozdílů ve středu úseku nebo v místě největších očekávaných rozdílů. Lze současně provádět opravy na několika místech při zachování jejich vnitřní symetrie a nulového součtu, který se značí do kontrolního sloupce (za svislou čarou vpravo). Pod řádkem oprav (O) se uvede řádek redukovaných rozdílů (RR) na jednotlivých bodech (OR minus O). Jeho součet se musí samozřejmě rovnat původnímu součtu OR . Tímto způsobem se pokračuje tak dlouho, až po poslední redukci jsou zbylé redukované rozdílů nulové, blízké nule nebo stejné velikosti a stejného znaménka, takže provádění dalších oprav už je bezúčelné. Potom se sečtou s ohledem na znaménko všechny opravy na jednotlivých bodech, tj. svisle. Tato řádka (v **obr. 2 a 3** ozn. 1Σ) musí mít nulový součet a při úspěšném řešení by se měla blížit řádce očekávaných rozdílů v záhlaví. Součet jejich hodnot s posledním zápisem redukovaných rozdílů po bodech je roven velikostem očekávaných rozdílů. Následují dvě postupné sumace se zápisem vždy o $s/2$ vpravo (2Σ a 3Σ). Kontrolou je, že první nenulové číslice na levém okraji těchto tří řádků mají stejnou hodnotu a znaménko, na pravém okraji sice opět stejnou hodnotu (obecně odlišnou od levé), ale u prostřední řádky s obráceným znaménkem.

Na závěr záporný dvojnásobek posledního řádku (3Σ) dává hledané příčné posuny q mezi starým a novým stavem. Znaménko plus označuje posun ven, znaménko minus dovnitř oblouku.



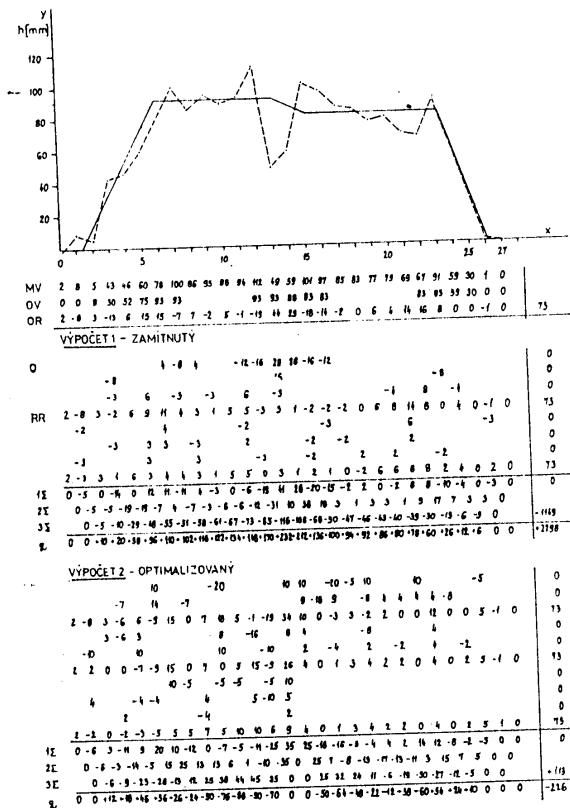
Obr. 2

Na obr. 2 je uvedeno kompletní zpracování jednoduchého oblouku se symetrickými krajními přechodnicemi; umístění hlavních bodů nebylo známo. Pro názornost a krátkost bylo voleno poměrně jednoduché zadání.

Střední chyba vypočtených posunů m_q byla stanovena pro případ jednoduchého i složeného oblouku z oprav nezávislých vyhodnocení. Obdobně praktické řešení, i když s poněkud jiným postupem zpracování, uvádí [3] pro jednoduché případy. Způsob řešení a výpočtu posunů má za následek, že největší nepřesnost je uprostřed oblouku, pokud se redukce provádí symetricky po celém obrazení. U oblouků s většími očekávanými rozdíly by mohly posuny přesáhnout hranici, po kterou je možno měnit v příčném směru polohu koleje na svršku. Potom je třeba u bodu zhruba ležícího ve středu přibližně splnit podmínku nulového posunu. Toho dosáhneme tím, že se snažíme obě části opravovat odděleně, i když ve vhodných případech je možné vyrovnání v obou částech najednou, ale lépe v malých hodnotách oprav.

4. Řešení složitějších oblouků

Uvedeným způsobem je možno zpracovávat též složitější případy, více vyhovující úvodním předpokladům, např. oblouky složené. Protisměrné oblouky se musí rozdělit v bodě obratu a každou část řešit zvlášť. Příklad stejnosměrného složeného oblouku s mezilehlou přechodnicí je uveden v obr. 3. Mezilehlá přechodnice byla zvolena na základě znalosti hlavních bodů; je tím umožněno přímé srovnání s výsledky zpracování metodou přísných posunů. Pro úsporu místa nejsou v obrázku vypisovány všechny redukované rozdíly, což při určité praxi není ani třeba. V tab. I jsou uvedeny dva výpočty. Prvý je proveden známým způsobem; jeho výsledné posuny jsou poměrně značné, zejména vlivem velkých očekávaných rozdíly v místě mezilehlé přechodnice. Při druhém výpočtu bylo požadováno, aby dva body s největšími rozdíly nevykazovaly posun. V tomto případě se tedy postup rozpadá na zpracování dvou nezávislých částí. Shodným řešením by byla při jinak formulovaném zadání dodržena podmínka průchodu nové polohy pevným bodem, v tomto případě dokonce dvojicí sousedních bodů. Nulový posun pouze v jednom bodě vznikne tehdy, stýkají-li se výpočty obou částí právě v tomto bodě.



Obr. 3

Srovnáním posunů obou těchto nezávislých řešení se projeví výhodnost druhého, tzv. optimalizovaného výpočtu z hlediska umístění nové trasy na svršku. Výpočet takovýchto oblouků je třeba většinou provádět ve dvou krocích - po prvním, který dává příliš velké posuny, použít ve druhém popsanou optimalizaci.

Rozdělením na libovolné úseky je možno snadno zpracovat dlouhé úpravy nebo upravovat jen úseky, které vyžadují zásahu, kdežto části, které jsou v pořádku, nebudou dotčeny.

Z uvedeného postupu je zřejmé, že se zpracování neřídí pevnými jednoznačnými pravidly, určujícími, kde připisovat opravy pro redukcí rozdílů. Do určité míry potom jsou posuny závislé na subjektu řešitele.

5. Hodnocení přesnosti

Hodnocení přesnosti metody přibližného řešení obloukových souřadnic lze uskutečnit na podkladě **tab. I**. V tabulce jsou obsaženy také výsledky zpracování, které nejsou uvedeny v tomto textu.

$${}^I m_q = [(\sum v_{ij} v_{ij}) / ((s-1).n)]^{1/2}, \tag{6}$$

kde n je počet bodů, s je počet nezávislých vyhodnocení a v_{ij} je oprava j -tého měření k průměru i -tého bodu; přitom je $j \in \langle 1; s \rangle$, $i \in \langle 1; n \rangle$. Tato hodnota posuzuje vnitřní přesnost zpracování, především vliv subjektivního rozhodování při redukcí rozdílů vzepětí starého a nového stavu. (Tab. I, část 2; pro jednoduchý oblouk $s = 10$, pro složený $s = 4$.) Toto posouzení je možno provádět tehdy, vstupují-li do výpočtu všechna řešení stejným počtem bodů, tj. mají-li stejný skutečný začátek a konec úpravy. V opačném případě se hodnoty střední chyby ${}^I m_q$ zvýší, stejně tak i ${}^{II} m_q$, ale kritéria plynulosti m_h a zejména m_{sh} se prakticky nezmění. Absolutní, vnější přesnost byla posouzena vztahem výsledných posunů PZ k posunům MPP . (Podmínka řešení PZ , vedoucí v odstavci 3 k zápisu $\Sigma q = 0$, má charakter optimalizace posunů především volbou poloměru. Pro srovnání je nutno u MPP volit shodnou alternativu řešení.) Rozdíly posunů obou metod mají charakter skutečných chyb ϵ , protože exaktní metoda příčných posunů, využívající programovatelného kalkulátoru HP-67, má prakticky stejnou přesnost posunů n výchozích měřených, vzepětí ($m_h \approx m_q \approx 0,4$ mm) a je o řád přesnější. Platí:

$${}^{II} m_q = [(\sum \epsilon \epsilon) / (s.n)]^{1/2}. \tag{7}$$

Umístění na tělese je patrné jak z hodnot maximálních posunů PZ (část 3 tabulky), které se numericky podstatně neliší od maximálních posunů MPP , tak i z velikosti ojedinělých maximálních rozdílů obou metod. Všechny tyto veličiny se pohybují řádově v cm, takže je možno prohlásit, že navrhovaný nový stav nepadne mimo šterkové lože. Porovnáním výsledků obou rozdílných způsobů řešení složeného oblouku v příkladech na obr. 3, uvedených v této části tabulky, je jasné zřejmá výhodnost, resp. nutnost, optimalizace pro úseky v horším stavu směrových poměrů. (Výsledky neoptimalizovaného řešení jsou uvedeny v závorkách.)

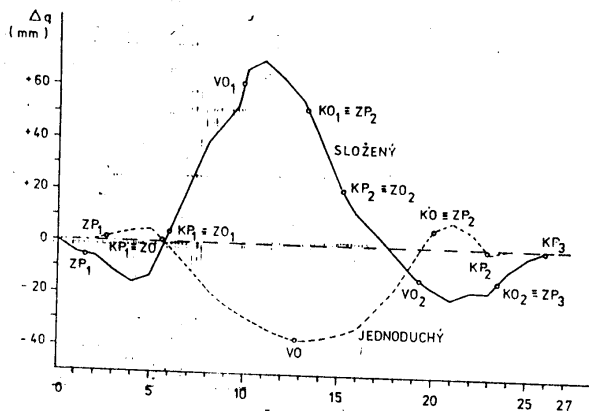
Tab. 1

| Část | Oblouk s krajními přechodnicemi | [•] | Jednoduchý | Stejnoseměrný s mezilehlou |
|------|---|---------|---------------------------------|--|
| 1 | Počet bodů vzdálených 10 m Přibližný poloměr | ks m | 26 490 | 28 565+620 |
| 2 | Střední chyba ${}^I m_q$ ${}^{II} m_q$ | mm | 7 14 | (77) / 10 ² (105) / 38 ² |
| 3 | Max. posun z výpočtu PZ MPP Max. rozdíl posunů (MPP -PZ) | mm | +46 až +24 -22 až +22 +37 | (232) +136 až +60 ² -52 až +43 (-176) / +113 ² |
| 4 | Součet posunů v PZ v MPP | mm | +310 až -16 ¹⁾ | (-2298)/-892 až -226 ²⁾ +84 |
| 5 | Střední chyba m_h $m_{\Delta h}$ Max. změna z_h $z_{\Delta h}$ | mm. | 2 3 -8 -8 | (4) / 4 ²⁾ (7) / 4 ²⁾ (-8) / +7 ²⁾ (-14) / +10 ²⁾ |
| 6 | Doba zpracování kresby výpočtu | min | 15 30-65 | 20 45-80 ³⁾ |

1) odlišné hodnoty nezávislých zpracování PZ

2) v závorce hodnoty nedoporučeného neoptimalizovaného řešení

3) při zpracování ve dvou krocích



Obr. 4

Celkový vývoj rozdílů korespondujících posunů metod MPP a PZ je znázorněn na obr. 4. Vcelku symetrický tvar křivek svědčí o nepřesném stanovení poloměru, příp. délky oblouku, a o vlivu úmyslného zjednodušení styku přechodnic se sousedními prvky. Celkové je průběh těchto rozdílů velmi plynulý a tím příznivý.

Úspěšnost dodržení podmínek zpracování, tj. požadavku minimálního součtu posunů, je možno posoudit ve 4. části tab. 1. I zde jsou závěry uspokojivé. (Podmínka $\Sigma h_p = \Sigma h_n$ je splněna automaticky postupem zpracování.)

Části 5 a 6 tabulky přímo hodnotí splnění cílů metody vytyčených v úvodu.

Rozhodující posouzení plynulosti křivky nového stavu je uskutečněno na základě výpočtu středních chyb m_h vzepětí h a rozdílů dvou sousedních vzepětí $m_{\Delta h}$ po provedení posunů q . Výpočet byl prováděn z rozdílů Δq metody příčných posunů a přibližného způsobu ($\Delta q = q_{MPP} - q_{PZ}$). Byly tedy počítány změny vzepětí z_h nového stavu, které mají pro PZ opět charakter skutečných chyb.

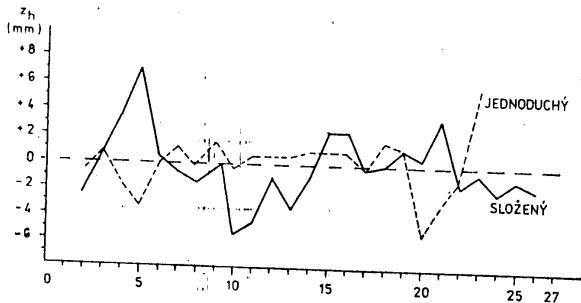
$$z_{h_{i+1}} = (\Delta q_i - 2\Delta q_{i+1} + \Delta q_{i+2}) / 2$$

$$z_{\Delta h_{i+1, i+2}} = z_{h_{i+1}} - z_{h_{i+2}} \quad (8)$$

Střední chyby m_h , $m_{\Delta h}$ byly stanoveny z hodnot (8) pomocí (7). Údaje tabulky jsou doplněny maximálními hodnotami z_h , $z_{\Delta h}$. V této části už samozřejmě není patrný rozdíl v hodnotách jednotlivých řešení složeného oblouku. Obtížnější zde neuváděný prostý oblouk poskytuje obdobné výsledky.

Hodnoty m_h , $m_{\Delta h}$ mohou z mezních hodnot Δf , stanovených v [4], majících charakter úplné stavební odchylky, čerpat max. 38 %. Metodn. PZ potom vyhovuje asi pro rychlost 60 km/h. Současné rozdíly sousedních vzepětí nepřekračují hranici 20 mm ani výjimečně. Doba zpracování (tab. 1, část 6) je velmi příznivá. Tyto skutečnosti potvrzují splnění cílů metody přibližného řešení obloukových souřadnic, tj. možnosti jejího použití ve dvou diametrálně vzdálených případech praxe.

Traťová rychlost, pro kterou metoda vyhovuje, je vzhledem k rychlosti zpracování při nouzovém uvedení tratě do provozu (např. po odstranění následků živelní pohromy) plně postačující. Významné je i to, že pro sejmутí starého stavu stačí nejhrubší, improvizované pomůcky - pásno, motouz, pravítko. Při takovémto zaměření pochopitelně přesnost klesá, ale postačuje pro rychlost 20 - 30 km/h. Zpracování se dá s minimálním kresličským vybavením snadno rychle provést přímo na trati (milimetrový papír není nutnou podmínkou) a je potřebné pouze základní vzdělání poučeného řešitele. Skutečnost, že střední chyba m_h , a zejména $m_{\Delta h}$ nepřekračuje 20 mm (v uvedených případech dosahuje jen 20 % této velikosti) však znamená, že by tato metoda mohla být použita k práci automatických směrovacích strojů systémem „po pevných bodech“. Následná opětovná jízda, tentokrát v režimu „samočinného vyrovnání“ by zajistila dobrý stav geometrické polohy koleje. Pokud je mi známo, výrobci těchto strojů požadují střídaté kolísání oprav starého stavu s amplitudou asi 20 mm a délkou vln 40 - 60 m. Průběh změn vzepětí z_h , způsobených nepřesnostmi PZ, pro oba diskutované případy je uveden na obr. 5.



Obr. 5

Střídání znamének je uspokojivé, nejdelší úsek beze změny znaménka je dlouhý 60 m, ovšem příslušné změny vzepětí v tomto úseku činí pouhý 1 mm. Při závěrečném hodnocení je třeba mít na zřeteli, že předkládané hodnoty tab. 1 a vyplývající závěry byly získány z poměrně malého souboru pozorování. Protože však prakticky se značnou rezervou vyhovují kritériím splnění cílů řešení, je možno předchozí závěry zobecnit.

6. Závěr

Předložená úprava přibližného způsobu řešení obloukových souřadnic po stránce přesnosti odpovídá předpokládaným možnostem použití, tj. materiálně, personálně a časově nenáročnému zjištění příčných posunů buď pro prvotní odstranění havárií, nebo naopak pro běžnou údržbu trati soudobou technikou. Metoda může samozřejmě sloužit v případě potřeby pro rychlou kontrolu. (Stejně tak ji lze použít i k úpravám kružnicových prvků např. rozlehlé zahradní architektury.)

Posouzení použitelnosti z hlediska organizačního, provozního apod. není náplní tohoto článku.

Literatura:

- [1] ČSD — S 107 Směrnice pro vytyčování a směrové opravy železničních oblouků na podkladě měřených vzepětí. Dopravní nakladatelství. Praha 1959.
- [2] Hánek, P.: Hodnocení geodetických metod pro rektifikace železničních oblouků. Železniční technika č. 3 / 1981, s. 171—173.
- [3] Niggel, F.: Eine einfache Ermittlung der Verschiebewerte. Eisenbahningenieur. 24, č. 7 / 1973, s. 171-173.
- [4] FMD - M 20/1 Předpis pro Jednotnou železniční mapu stanic a tratí. Praha 1979.