

Měření napětí v bezстыkové koleji

Klíčová slova: *bezстыková kolej, napětí, metody měření.*

1 Úvod

U klasické konstrukce kolejového roštu s bezстыkovou kolejí (BK) jsou kolejnicové pásy fixovány k pražcům, takže je eliminován jejich teplotní podélný posun v upevnění.

Teplotní rozdíly pak způsobují vznik tlakových nebo tahových napětí v kolejnicových pásech dle toho, jestli skutečná teplota kolejnice se nachází v oblasti vyšší nebo nižší, než je upínací teplota. Uvedené síly (v případě, že bezстыková kolej je řádně zřízena a udržována) jsou odpovídajícím způsobem zachycovány a eliminovány konstrukcí kolejového roštu a pražcového podloží.

Existují však místa v trati, kde nabývají na účinnosti tzv. přídavné hodnoty napětí, které mohou svým interakčním charakterem v určitých mezních případech způsobit narušení spolehlivosti konstrukce BK. Jedná se především o oblouky malého poloměru, výhybková spojení, přejezdy a přechodové oblasti mezi zemním tělesem a umělými stavbami bez průběžného kolejového lože. V těchto místech mohou vzniknout v zimním období značná tahová napětí (s nebezpečím výskytu lomu kolejnic) a v létě pak zase tlaková napětí s potenciálním nebezpečím narušení stability BK (vychýlení, resp. vybočení). Uvedené jevy mohou být pochopitelně znásobeny technologickou nekázní, kdy dochází při nesprávně prováděných opravných výkonech k narušení příčného a podélného odporu kolejového lože nebo u upevnění kolejnic s nedostatečnou drážebností k prokluzu kolejnicových pásů v upevnění (zejména v aktivních koncích BK), což má za následek porušení základního axiomu teorie BK- prvotního posunu kolejového roštu jako celku.

V uvedených případech je nesmírně důležité zjistit měřením skutečných hodnot napětí ve svařených kolejnicových pásech bezpečnostní rezervu konstrukce BK.

Dosud běžně používanými metodami lze zjistit skutečnou hodnotu napětí pouze dodatečným měřením neutrální teploty kolejnice (zpravidla nebývá totožná s evidovanou upínací teplotou). Při tomto postupu musí být kolejnicové pásy v okolí místa měření uvolněny v upevnění a rozděleny řezem. Finanční vícenásobky spojené s touto metodou empirického měření (nutnost opětového svaření narušeného úseku BK) prakticky znemožňují její běžné používání nejenom u ČD, ale i u zahraničních železničních správ.

Proto je nesmírně důležitý vývoj nedestruktivní metody měření napětí ve svařených kolejnicových pásech, která by nevyžadovala dělení již zřízené BK.

Uvedená problematika byla již řešena v např. v rámci Frage D 150 ORE, aniž by se však podařilo najít uspokojivou a zejména v praxi použitelnou metodu měření.

Z tohoto důvodu byla problematika nedestruktivního měření napětí znovu zařazena do programu práce výboru D 202 ERRI, který se zabýval zlepšením znalostí o silách v BK, včetně výhybek.

Ing. Zdeněk Hřebíček, CSc., nar. 1952, VUT FAST Brno, obor konstrukce a dopravní stavby, vedoucí oddělení technologie traťových prací, Výzkumný ústav železniční Praha.

Z předložených měřicích systémů byly vybrány a dále zkoumány:

- ultrazvuková metoda DB a
- Barkhausenova metoda MÁV.

2 Metoda DB

2.1 Popis metody

Je všeobecně teoreticky známo, že rychlost šíření ultrazvukových vln v isotropních tělesech není konstantní, ale její hodnota se mění lineárně s velikostí napětí. Ačkoliv je uvedený efekt slabý a obtížně zachytitelný, lze jej se současnými měřicími prostředky k požadovanému účelu využít.

Při přesné znalosti vlastností materiálu, jeho struktury a samozřejmě i teploty je proto možné touto metodou přesně zjistit absolutní hodnoty napětí.

Uvedený efekt se již podařilo využít např. při měření vlastních tangenciálních napětí v obručích kol železničních vozidel.

2.2 Pracovní program

Pro dosažení optimálních výsledků při výzkumu praktického využití uvedené metody byl ERRI stanoven následující postup (pracovní program):

- výzkum akusticko elastických konstant materiálu a jejich teplotních závislostí u kolejnic tv. UIC 60 nejdůležitějších výrobců,
- výzkum vlastního napětí a jeho prostorového šíření u nových a užitých kolejnic,
- výzkum teplotní závislosti vlastního napětí,
- výběr vhodného typu ultrazvukových vln,
- vývoj optimálního typu měřicí hlavice,
- výzkum optimálního umístění měřicí hlavice na kolejnici,
- výzkum teplotní závislosti měřicí hlavice,
- zkušební měření kolejnice v laboratorních podmínkách s definováním vneseného podélného napětí a srovnávací měření s využitím optické metody a metody délkových změn; vyhodnocení dosažené přesnosti měření,
- zkušební měření v provozované koleji, diferencované dle typu kolejnic jednotlivých výrobců a dle teploty zkušebních úseků,
- vyhodnocení výsledků měření, dosažených v praktických podmínkách,
- návrh konstrukčního řešení měřicího přístroje.

Vývoj přístroje provedl (na základě doporučení DB) Fraunhofer- Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren Saarbrücken.

2.3 Provedená měření

V průběhu prací byly zkoumány následující možné principy měření:

- měření SH- vlnami, které se šíří v povrchové vrstvě pojízdne plochy kolejnice, po vnější straně hlavy kolejnice a ve stojině kolejnice,
- měření transversálními vlnami, které se šíří po celé výšce kolejnice a oscilují paralelně k délce, resp. šířce kolejnice,
- měření transversálními vlnami, které se šíří stojinou kolejnice a oscilují paralelně k její délce, resp. výšce.

V první fázi výzkumu byl sledován vliv doby pojíždění kolejnic na měřené hodnoty, na vyvozené napětí a na specifické materiálové akusticko elastické konstanty.

Sledovány byly kolejnice typu:

- Thyssen UIC 60,
- Krupp UIC 60,
- S 54 a
- R 65.

Měření byla prováděna postupně až do hodnoty 2 mil.t projeté zátěže a byla při nich zjišťována doba šíření (průniku) SH a transversálních vln.

Při výzkumu se ukázalo, že zjišťování akusticko elastických konstant pro každý „zátěžový stupeň“ je příliš technicky a časově náročné. Předmětné fyzikální veličiny byly proto stanoveny u všech sledovaných kolejnic pro stav po projetí 2 mil. t provozní zátěže.

Po projetí příslušné zátěže byla prováděna v úsecích kolejnice o délce 1 m ve 20 mm délkových intervalech následující měření:

- doby šíření SH- vln v pojízdne ploše, na vnější straně hlavy kolejnice a na stojině kolejnice,
- doby šíření dvou navzájem kolmo oscilujících transversálních vln při jejich šíření po výšce kolejnice, hlavou kolejnice z její vnější strany a stojinou kolejnice rovněž z její vnější strany.

Uvedená měření byla provedena u kolejnic:

- Thyssen UIC 60-1 po 2 mil t projeté zátěže,
- Thyssen UIC 60-2 po 0, 0,2, 0,4, 0,8 a 2 mil. t projeté zátěže,
- Thyssen S 54 po 0, 0,2, 0,4, 0,8 a 2 mil. t projeté zátěže,
- Krupp UIC 60 po 0, 0,2, 0,4, 0,8 a 2 mil. t projeté zátěže,
- Krupp S 54 po 0, 0,2, 0,4, 0,8, 2 a 10 mil. t projeté zátěže,
- R 65 po 0, 0,2, 0,4 , 0,8 mil. t projeté zátěže.

2.4 Výsledky měření

Doba šíření SH- vln, šířících se v pojízdne ploše kolejnice, byla systematicky ovlivňována změnami struktury materiálu kolejnic, způsobenými jejich provozním zatížením. Obr. 2.1 v horní části znázorňuje situování měřící ultrazvukové hlavice a rovněž směr šíření a oscilace vln.

S vyšší hodnotou provozního zatížení kolejnice byly zjištěny menší hodnoty doby šíření vln. Změna naměřených hodnot v závislosti na projeté zátěži je ale rozdílná.

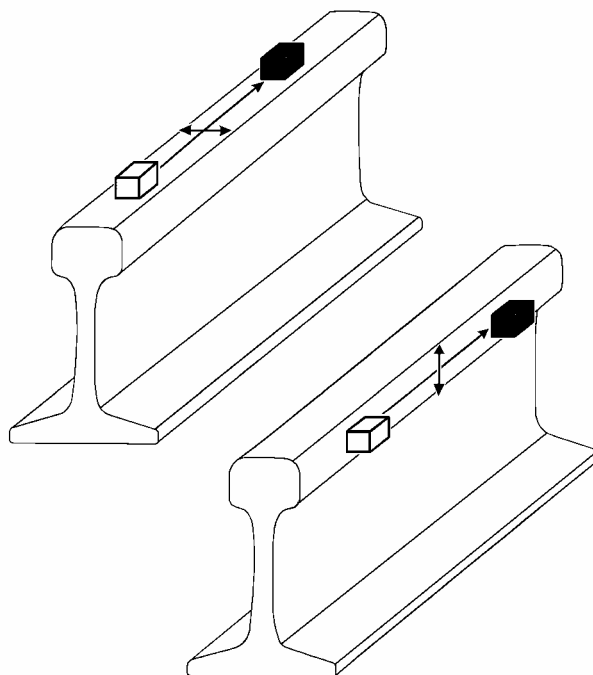
U kolejnic tv. Thyssen UIC 60-2 nebyla zjištěna žádná změna po projetí 0,2 a 0,4 mil. t provozní zátěže.

U kolejnic Thyssen S 54 se vyskytly nesystematické výsledky po projetí 0,2 mil.t; po projetí 0,4 mil. t a 0,8 mil. t jsou zjištěné časy porovnatelné.

U kolejnic Krupp UIC 60 bylo po projetí 0,2 mil t dosaženo rovněž nesystematických výsledků.

Výsledky zjištěné u kolejnic Krupp S 54 vykazují největší rozdíly; po projetí 0,2 a 0,4 mil t byly však i zde naměřeny shodné doby šíření vln.

Rovněž u kolejnic Thyssen UIC 30-1 byly zjištěny po projetí 2 mil. t provozní zátěže kontinuální změny doby šíření vln v porovnání s nezatíženým stavem.



Obr.2.1

U kolejnic R 65 byly zjištěny největší lokální změny měřených veličin; profily časového šíření vln dle jednotlivých zatěžovacích stupňů však největší měrou odpovídají předpokládané systematické.

Možnost opakování měření byla základním požadavkem při zahájení výzkumných prací; v jednotlivých případech pak byla relevantnost měření dodatečně ověřena. Opakovaná měření byla prováděna bezprostředně po měřeních základních. V případě, že se naměřené hodnoty v místě měření zřetelně odlišovaly, bylo provedeno kontinuální lokální ověření. Na jeho základě byly extrémní hodnoty eliminovány, aniž by došlo ke zpochybnění systematických změn v místě měření.

Doby šíření SH- vln působících na vnější straně hlavy kolejnice nevykazovaly žádné systematické změny v závislosti na provozní zátěži. Poloha měřicí hlavice je znázorněna na obr. 2.1 (dolní část obr.).

Z výsledků měření s transversálními vlnami po výšce kolejnice při polarizaci v podélném a příčném směru (viz horní část obr. 2.2) vyplývají následující skutečnosti.

U všech typů kolejnic byla zjištěna při polarizaci v podélném směru větší doba šíření vln (měřeno v oscilačním směru paralelním k šířce kolejnice). Tato relativní diference, která je jedním z kritérií elastické anisotropie nebyla však zcela jednoznačně změněna u všech typů kolejnic následkem jejich pojiždění železničním provozem. Např. u kolejnic Thyssen UIC 60-2 nebyla zjištěna žádná diference. Zmenšení anisotropie bylo zjištěno u kolejnic Thyssen S 54 a Krupp UIC 60.

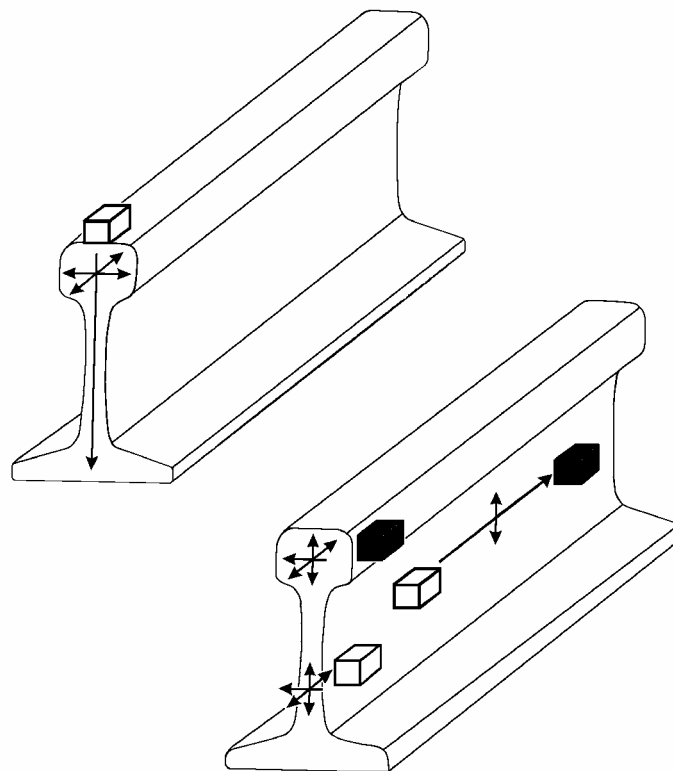
Elastická anisotropie, vyskytující se u nových, dosud nepojížděných kolejnic může být vyvolána texturou, resp. vlastním napětím kolejnice. Obě příčiny nelze vzájemně separovat; je však patrné, že změna textury nenastává účinky provozního zatížení.

Následkem provozního zatížení kolejnic dochází ale ke změně podélného a příčného napětí v hlavě kolejnice.

Změny podélného napětí ve smyslu zmenšených tahových, resp. zvýšených tlakových sil způsobují zmenšení doby šíření transversálních vln, oscilujících paralelně k délce kolejnice. Rovněž vznik tlakových napětí v příčném směru snižuje se vzrůstající provozní zátěží dobu šíření vln oscilujících v příčném směru.

Relativní diference doby šíření vln může zůstat nezměněna v případě, že se oba druhy napětí mění shodným způsobem. Relativní diference dosahuje nejmenších hodnot v případě dominujících napětí v podélném směru.

U všech typů sledovaných kolejnic bylo zjištěno, že doba šíření transversálních vln v hlavě kolejnice a ve stojině kolejnice a rovněž doba šíření SH- vln ve stojině se značně mění v závislosti na místě měření. Lokální změny dle měřícího místa jsou dokonce větší než diference zjištěné při jednotlivých stupních provozního zatížení kolejnic. Umístění měřících hlavic je znázorněno v dolní části obr. 2.2.



Obr.2.2

Pro názornost byly výsledky měření shrnuty do závěrečného doporučení. Jedná se o doby vlnového šíření transversálních vln hlavou kolejnice paralelně k délce a výšce kolejnice, doby šíření transversálních vln stojinou při polarizaci paralelně k délce a výšce a doby šíření SH- vln ve stojině kolejnice.

Měření transversálními vlnami na vnější straně hlavy kolejnice a ve stojině jsou k danému účelu nevhodná. Pro měření s SH- vlnami je nevhodná oblast neutrální osy stojiny kolejnice. Ve všech těchto případech je totiž změna hodnoty napětí od provozního zatížení kolejnic menší než lokální difference dle místa měření.

2.5 Závěrečná doporučení

K provádění napěťové analýzy v kolejnicích se doporučuje na základě provedeného výzkumu kombinované použití SH- vln, které se šíří v pojízdne ploše kolejnice a na vnější straně hlavy kolejnice. Přitom doba šíření SH- vln v pojízdne ploše kolejnice je pro měření napětí nejdůležitější a vykazuje nejvyšší citlivost měření. Následkem postupného provozního zatěžování se posouvá hodnota napětí v pojízdne ploše ve směru zmenšujících se tahových, resp. zvětšujících se tlakových sil. Zjištěné změny doby šíření vln, tedy jejich rychlosti, odpovídají uvedeným změnám napětí.

Doba šíření SH- vln v oblasti vnější strany hlavy kolejnice se využívá ke korekci elastických vlastností kolejnicové oceli, měnících se s délkou kolejnice. Tyto změny jsou v prvé řadě zapříčiněny rovnáním kolejnic při jejich výrobě. Rozdílné plastické přetváření jednotlivých kolejnicových částí při jejich rovnání má za následek změnu elastických vlastností a tím i rozdílné vlnové rychlosti a doby šíření vln. Napětí v oblasti vnější strany hlavy kolejnice je rovněž nezanedbatelným způsobem ovlivněno následným působením provozního zatížení.

Možnosti, které skýtají navzájem kolmo oscilující transversální vlny působící ve vertikálním směru (po výšce kolejnice) nebyly ještě z hlediska napěťové analýzy zcela vyhodnoceny. Určité výsledky v této oblasti již publikovalo DB Versuchszentrum Kirchmöser, které se zabývalo měřením délkových změn nových kolejnic v porovnání s provozně zatěžovanými kolejnicemi a rovněž problematikou tzv. „vlastního“ napětí nových kolejnic

3 Metoda MÁV

3.1 Popis metody

Při magnetizování feromagnetických materiálů vznikají elektromagnetické a akustické ozvuky, které jsou označovány jako Barkhausenovy šelesty. Jejich hodnota je závislá na napětí materiálu.

Měření s Barkhausenovou metodou je založeno na uvedeném vztahu mezi velikostí Barkhausenových šelestů a hodnotou napětí zkoumaného materiálu. Magnetický signál vzniká na povrchové ploše materiálu a jeho závislost na napětí v elastické oblasti materiálu je nesporná.

Uvedený efekt se již předtím podařilo využít v různých oblastech, např. k měření napětí mostních a jiných velkých ocelových konstrukcí.

Pro stanovení závislosti mezi velikostí ozvuků a hodnotou napětí materiálu musí být nejprve provedeno kalibrační měření zkušebního tělesa, které je vyrobeno ze shodného nebo podobného materiálu. Tento měřicí postup je citlivý na existenci tzv. „zbytkového“ napětí.

MÁV vyvinuly dva systémy měření:

- metodu RAILSCAN a
- metodu RAILTEST.

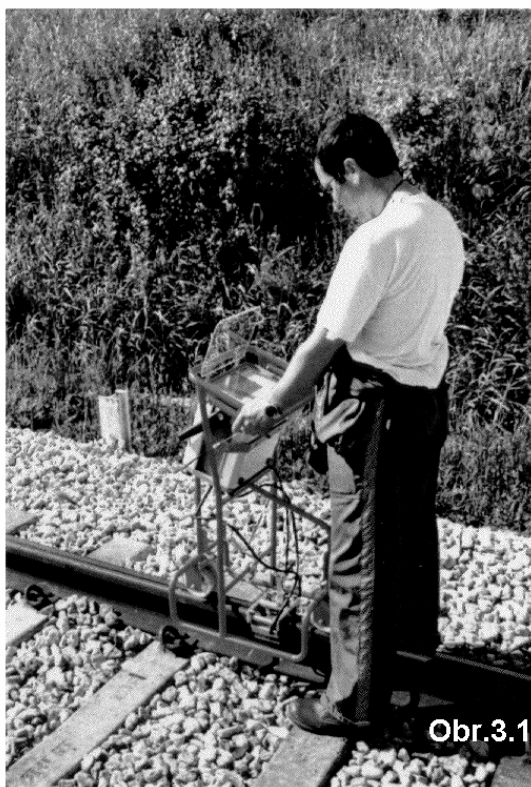
3.2 Magnetoelastické měření metodou RAILSCAN

Základem měření je předpoklad, že magnetické vlastnosti kolejnicové oceli jsou závislé na napětí v kolejnici. Tato závislost je ovlivněna kvalitou materiálu a rovněž vlastním napětím, pocházejícím z výroby kolejnicového pásu.

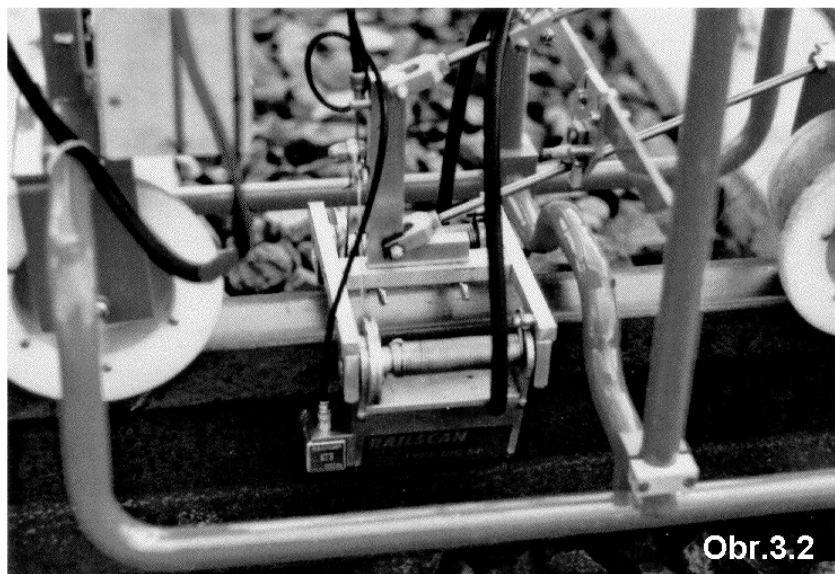
Vyvinutý měřicí systém předpokládá existenci konstantní kvality materiálu pouze v části kolejnice a eliminuje tak vliv vlastního napětí z výroby. Z uvedeného důvodu je nutno provádět u zkoumaných typů kolejnic tzv. kalibrační měření.

Metoda RAILSCAN je určena pro stanovení rozdělení neutrální teploty bezstykové koleje, která se mění dle místa a času měření.

Postup umožňuje provést měření v metrových vzdálenostech v délce několika stovek metrů kolejnic za hodinu (obr. 3.1 a 3.2).



Obr. 3.1



Obr.3.2

Takto lze určit úseky, které odpovídají předpokládané neutrální teplotě, nebo se naopak od uvedeného předpokladu značně liší (napěťové vrcholy).

Centrální jednotka může být umístěna na měřicím vozíku. Pod vozíkem se nachází teploměr a magnetické měřicí hlavice, která se ručně nastavuje na měřicí místo. Opětovné přesné nastavení je zajištěno označením měřeného místa.

3.3 Magnetoelastické měření napětí metodou RAILTEST

Systém RAILTEST je určen pro přesné zjištění neutrální teploty v profilech kolejnic, kde byly metodou RAILSCAN zjištěny nesystematické hodnoty (obr. 3.3).



Obr.3.3

Ve stanovených bodech profilu kolejnice jsou provedena dvě měření při teplotách, které se od sebe liší minimálně o 5 až 7 K. Měřicí body jsou vyznačeny pomocí šablony, která může být ponechána i v pojížděné koleji. Opětné přesné umístění šablony na kolejnici je zaručeno označením místa (profilu) měření.

Další měření předmětného úseku postačí pak provádět pouze při stávající teplotě kolejnice. K výbavě patří rovněž teploměr umístěný na centrální jednotce a manuálně nastavitelné magnetické měřicí hlavice. Přístroj může být v koleji umístěn i mimo průjezdný profil; měření se zahajuje vložení dat měřicího místa a umístěním šablony v profilu kolejnice.

Měření nevyžaduje rozsáhlejší čištění povrchové plochy kolejnice od rzi a nečistot; postačí pouze odstranit nejvíce znečištěná místa.

Metoda RAILTEST je určena ke všeobecnému vyšetření napětí v kolejnicích a rovněž k určení vlastního napětí kolejnice z výroby.

3.4 Měření ve zkušebních úsecích

Pro zkušební měření byly zvoleny úseky ve staničních kolejích nádraží Hatvan (odjezdové koleje ve směru Hort- Csány) a dále v odbočných kolejích nádraží Gödöllő a Szárliget.

3.4.1 Zkušební úsek Hatvan

Zkušební úsek byl zřízen na železniční trati Budapest- Miskolc v odjezdových kolejích ve směru Hort- Csány v profilech hektometricky označených 669,60 až 680,50. Traťová rychlost v daném úseku je 100 km/h, poloměr oblouku 600 m. V úseku dlouhém cca 1 090 m bylo zřízeno 56 měřících profilů v každém kolejnicovém pásu, tzn. vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o dvoukolejnou trať, čtyři měření v každém profilu.

Mezi body 1 až 42 jsou měřicí profily po 10 m, mezi body 42 a 43 je vzdálenost 30 m, mezi body 43 až 56 jsou měřicí profily umístěny po 50 m.

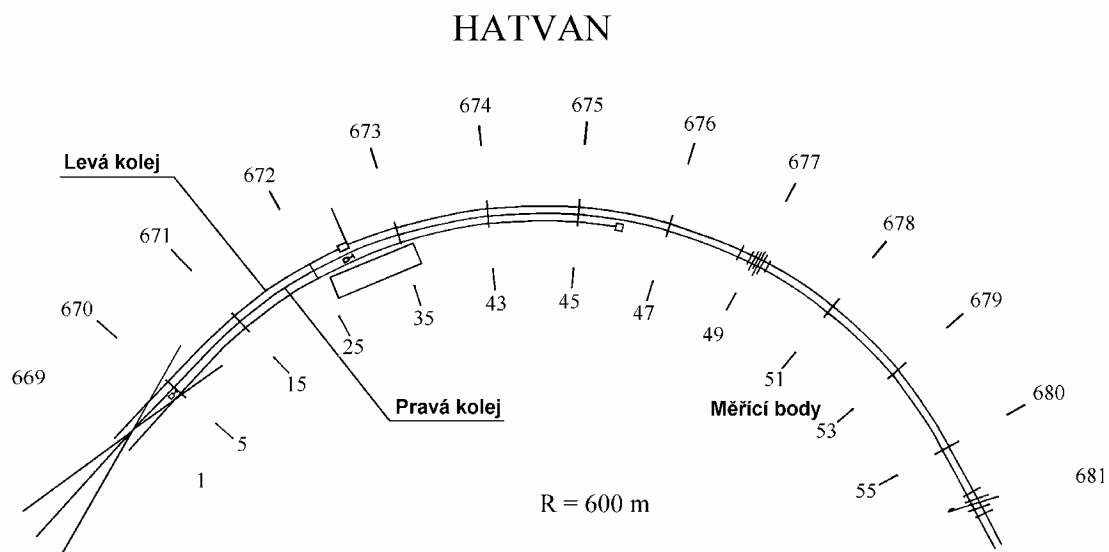
V období od 6. do 10. května 1996 bylo vyrovnáno napětí v pravé koleji mezi profily 672,60 až 677,00 a 670,25 až 680,00.

Měření metodou RAILSCAN bylo prováděno v měřících profilech 1-56 ve vzdálenostech po šesti pražcích.

Měření metodou RAILTEST bylo prováděno ve 2. měřícím profilu, dále postupně v profilech 5, 10 a 40 a nakonec od bodu 43 do bodu 56 v každém měřícím profilu.

Pro verifikaci zjištěných údajů byla prováděna rovněž kontrolní měření metodou zjišťování délkových změn (2. profil a dále profily 5, 10, 40 a 43 až 56) a tenzometrická měření (bod 2 až 40 a 43 až 56).

Situování měřících profilů je patrné z obr. 3.4.



Obr.3.4

3.4.2 Zkušební úsek Gödöllő

Zkušební úsek se nachází rovněž na železniční trati Budapest- Miskolc mezi profily 358,00 a 360,60 traťová rychlost činí 90 km/h, poloměr oblouku 475 m. Ve zkušebním úseku dlouhém 260 m bylo zřízeno 30 měřících profilů.

Od bodu 1 až do bodu 30 jsou měřící profily zřízeny po 10 m. Mezi profily 358,00 a 360,60 bylo vyrovnáno napětí v pravé koleji 23. května a v levé koleji 21. května 1996.

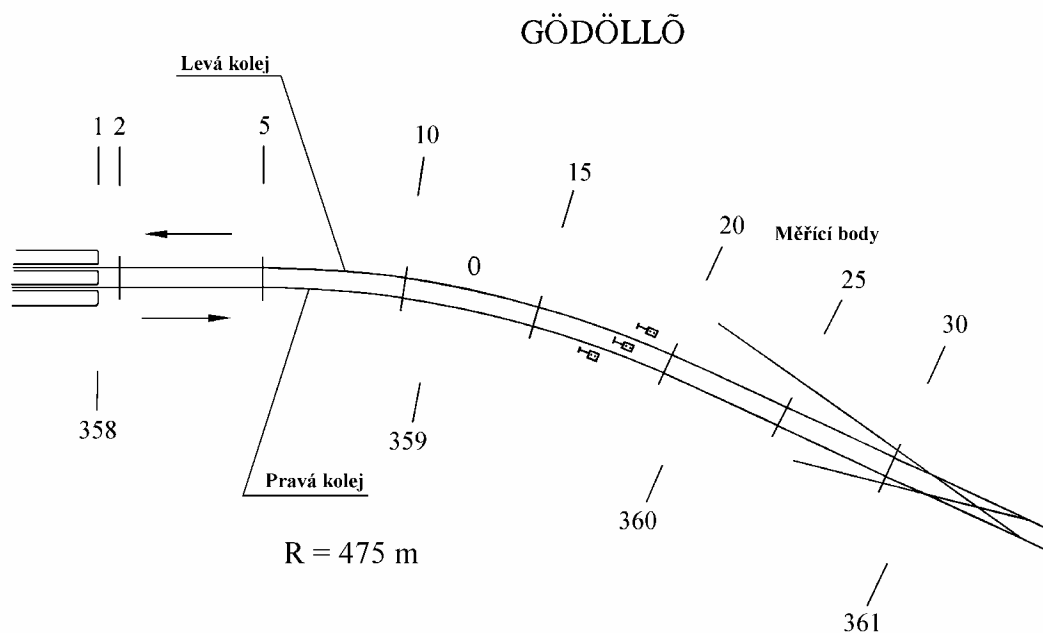
Měření metodou RAILSCAN bylo provedeno mezi měřícími profily 1 až 30 ve vzdálenosti po šesti pražcích.

Měření metodou RAILTEST bylo provedeno v měřícím profilu 2 a dále postupně v profilech 5, 10 a 30.

Kontrolní délková měření byla provedena v měřícím profilu 2 a dále 5, 10 a 30.

Kontrolní tenzometrická měření byla provedena od bodu 2 do bodu 30 v každém měřícím profilu.

Situování měřících profilů je patrné z obr. 3.5.



Obr.3.5

3.4.3 Zkušební úsek Szárliget

Zkušební úsek leží na trati Budapest- Wien v odbočných kolejích „A“ mezi železničními stanicemi Szárliget- Tatabánya v profilech 630,60 až 635,90. Traťová rychlost činí 120 km/h. Ve zkušebním úseku dlouhém 530 m bylo zřízeno 54 měřících profilů, ve vzájemné vzdálenosti 10 m.

V pravé koleji bylo v dubnu 1996 vyrovnáno napětí v profilech 672,91 až 631,78 a 631,78 až 634,72; v levé koleji nebylo tato korekce provedena.

Měření metodou RAILSCAN bylo provedeno mezi body 1 až 54 ve vzdálenostech po šesti pražcích.

Měření metodou RAILTEST bylo provedeno postupně v bodech 15, 20, 50 a nakonec v bodě 54.

Kontrolní délková měření byla provedena v bodech 15, 20, 50 a 54. Kontrolní tenzometrické měření se uskutečnilo od bodu 2 do bodu 54.

Situování měřících profilů je patrné z obr. 3.6.

3.5 Výsledky měření

Výsledky měření byly využity k určení změny neutrální teploty v kolejnicích. Výsledky dosažené metodou délkových změn a tenzometrickým měřením se shodují. Rozdíl mezi nimi se v pohybuje v rozmezí menším než 5 K.

Odchytky při měření neutrální teploty metodou RAILSCAN se pohybují (vzhledem k neutrální teplotě zjištěné při vyrovnání napětí) v oblasti 3 K. Větší zjištěné diference byly pravděpodobně zapříčiněny nepřesnostmi při měření teploty kolejnice.

V případě porovnání těchto výsledků s výsledky, dosaženými délkovým a tenzometrickým postupem, leží odchytky rovněž v malém rozmezí.

Výsledky zjištěné rozdílnými metodami se navzájem shodují. Bylo rovněž zjištěno, že neutrální teplota kolejnice není konstantní, ale mění se dle určité roční periody. Tento poznatek je velmi pozoruhodný a do jisté míry odporuje současným znalostem v oblasti teorie

BK. Rozsah změn je s největší pravděpodobností ovlivněn a zapříčiněn způsobem a kvalitou zřizování BK ve sledovaném úseku a rovněž jeho stabilitou a vyžádá si bezpochyby dalšího zkoumání. Oproti tomu nebyl zjištěn podstatný vliv provozního zatížení zkušebních úseků na rozdělení napětí v kolejnicích.

Ve zkušebních úsecích koleje souhlasil rovněž průběh rozdělení neutrální teploty kolejnice zjištěný při vyrovnání napětí (zhruba po 3 měsících provozu) se stavem, který byl zjištěn při zřizování BK (před jejím upnutím).

3.6 Závěr

Na základě porovnání výsledků měření v kolejnicových pásech, kde byla známa neutrální teplota kolejnice, se prokázalo, že přístroj RAILSCAN je vhodný k určení skutečné neutrální teploty kolejnic. MÁV uvedenou metodu k tomuto účelu již v současné době využívají a plánují její další rozšíření.

4 Závěrečná doporučení

Zkoumané metody vykazaly pozitivní výsledky nejenom v laboratorních podmínkách, ale i v praktickém využití. Výzkumy DB je ovšem nutno ještě doplnit.

V budoucnu se jeví jako významný přínos uvedených metod rovněž jejich případné využití ve zkoumání náročné problematiky určení zbytkových napětí a rozdělení napětí v profilu i po délce svařených kolejnicových pásů.

Na základě uvedených skutečností doporučil výbor D 202 ERRI obě metody vyzkoušet i u jiných železničních správ pro získání uceleného názoru nezávislých odborníků na praktické využití těchto metod.

Literatura:

[1] Entwicklung eines Gerätes zum Messen der Längskräfte in den Schienen. ORE Frage D 150. Utrecht, 1983.

[2] Hřebíček, Z.: European Rail Research Institute, Report D 202/RP 9- Methoden der zerstörungsfreien Messungen von Kräften im lückenlosen Gleis. Utrecht, 1997. s.98.

[3] Schneider, E., Zimmer, M.: Ermittlung des Spannungszustandes im lückenlos verschweißten Gleis. Zwischenbericht. Saarbrücken, 1997.

[4] Spruch, W.: Längsspannung in Gleisen- Auswertung Dehnungs- und Längenmessungen. Versuchsbericht. Brandenburg- Kirchmöser, 1997.

V Brně, srpen 2000

Lektoroval: Ing. Oldřich Hřídel
ČD DDC O13

