

Inž. Josef V a n í č e k , inž. Rudolf S v o b o d a , VÚHU:

VYUŽÍVÁNÍ KOLEJOVÉHO SVRŠKU U VLAKOVÉ DOPRAVY  
NA POVRCHOVÝCH HNĚDOUHELNÝCH DOLECH

1. Úvod

V resortním úkolu č. 2, zabývajícím se silovými poměry u vlakové dopravy při různých režimech, má VÚHU zařazen dílčí úkol - měření namáhání kolejí, prazců a kolejového lože na stabilních i pohyblivých kolejích. Výsledky měření mají v první řadě sloužit k hospodárnému využívání kolejového materiálu a dále jako podklad oborových norem pro železniční svršek stálých a pohyblivých kolejí obou užívaných rozchodů 1 435 mm a 900 mm. I když nové a rekonstruované velkolomy s delší životností budou mít nepřetržitou dopravu pásovými dopravníky, rozsah kolejové dopravy na povrchových hnědouhelných dolech v ČSR zůstane ve svém objemu i v budoucnu zachován. Investiční i provozní náklady kolejového svršku představují každoročně nemalou položku celkových nákladů na těžbu uhlí a je proto nutné znát namáhání kolejového materiálu, aby ho bylo možno co nejhospodárněji využívat.

Řešení tohoto úkolu předpokládá dokonalou znalost únosnosti železničního svršku a jeho částí. Přímá aplikace s poměry u ČSD na hnědouhelných povrchových dolech není možná, neboť vozidla pojíždějící po kolejích na povrchových dolech mají nápravné tlaky 25 Mp, případně ještě vyšší, kdežto u ČSD jen 20 Mp; materiál kolejového lože hlavně u pohyblivých kolejí je ze škváry případně i z pálených jílu a kolejový spodek není většinou tak únosný a pečlivě upravován jako u ČSD. Naproti tomu pojížděcí rychlosti jsou na povrchových dolech podstatně nižší než u ČSD, obvykle dle předpisů maximálně  $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Železniční svršek se od většiny běžných stavebních konstrukcí liší především tím, že je za provozu přímo vystaven účinkům stálých i proměnných sil od pohybujících se vozidel všech druhů. Jeho rozměry závisejí nejen na velikosti těchto sil, vyvozovaných vozidly, ale v podstatné míře též na pružnosti podkladu, na němž kolejový rošt spočívá. Určit tuto pružnost matematicky je velmi obtížné, protože pružná poddajnost podpor kolejnic, již se vyjadřuje ve výpočtech pružnost podkladu, je dána součtem deformací závislých na konstruktivním uspořádání kolejového roštu, na



pružnosti kolejového lože i pláne spodku. Většina uvedených hodnot, zejména pružnost kolejového lože, jsou prakticky stále proměnné, a to v místě i čase. V této okolnosti tkví největší nespolehlivost všech výpočtů statických hodnot konstrukce železničního svršku. Bylo prokázáno různými autory, že dosud žádný z navržených empirických vzorců nedává ve svém základním tvaru výsledky shodné se skutečným stavem napětí v konstrukci kolejového svršku, a proto je nejvhodnější provést měření jednotlivých hodnot přímo v provozu.

Tento názor byl potvrzen VÚHU i Výzkumným ústavem dopravním v Praze /VÚD/, který s podobnými měřeními má již zkušenosti a provádí je na železničním svršku ČSD. VÚD ochotně informoval VÚHU o současném stavu a výsledcích výzkumných prací i o současné metodice měření uvedené problematiky a umožnil shlédnout na zkušebním okruhu ČSD ve Velimi prováděná dynamická měření průhybů kolejnic. VÚD dosud nemá vyvinuty dózy pro měření rozkladu měrného tlaku v kolejovém loži.

VÚHU využil zkušeností i doporučení VÚD a zajistil si potřebná měřicí zařízení, případně vhodně přizpůsobil některé přístroje a pomůcky, které měl k dispozici tak, aby mohl provádět potřebná měření namáhání železničního svršku. Měření rozkladu měrného tlaku v kolejovém loži bylo zařazeno do druhé etapy, aby se zabránilo duplicitě ve vývoji měřicích dóz a VÚHU mohl využít poznatků VÚD, který vývoj dóz pro tato měření provádí.

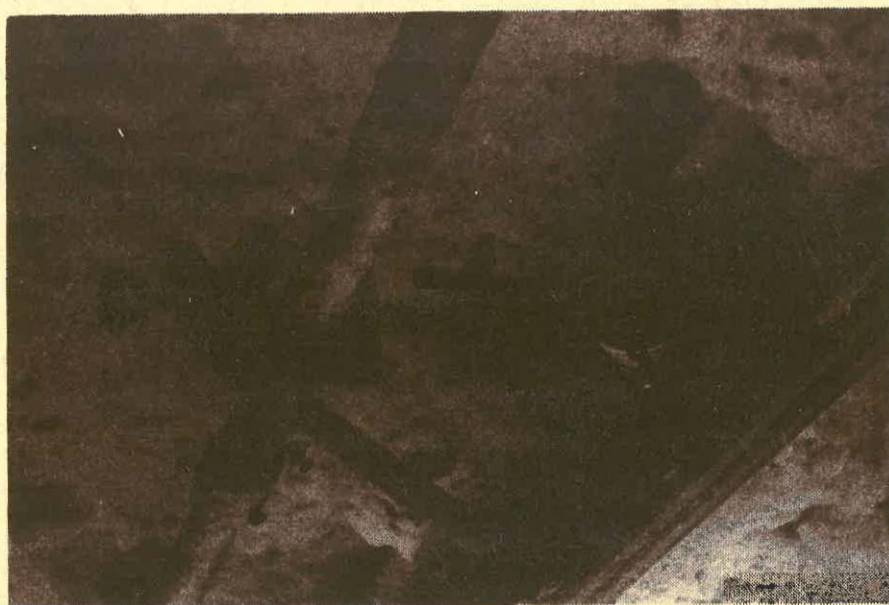
Bylo rozhodnuto provést v důlním provozu řadu statických a dynamických měření tak, aby byly získány poznatky o svislých průhybech kolejnice v průřezech mezi pražci i nad nimi, o průběhu napětí v kolejnici i o přenosu tlaku z kolejnice na pražec (podporové reakce), pokud možno při různém ojetí profilu kolejnice, při různé rozteči pražců, při různém materiálu kolejového lože i při různých provozních rychlostech na stabilních i pohyblivých kolejích obou užívaných rozchodů. Ze získaných poznatků navrhnout pak nejvhodnější tvary kolejnic pro jednotlivé řady kolejí, optimální klad pražců pro ně i maximálně přípustné ojetí kolejnic v provozu.

## 2. Měřicí technika

Svislé průhyby kolejnice byly při statickém měření snímány a odečítány na více místech kolejnice současně pomocí číselníkových úchylkoměrů s dělením po 0,01 mm výroby n.p. Somet. Tyto úchylkoměry byly upevněny pomocí třmenových držáků na horizontální trubce, která byla na obou koncích upevněna na pilotách, zasazených dostatečně hluboko v kolejovém spodku, aby údaje nebyly ovlivněny poklesy kolejového



svršku. Detail upevnění indikátorových hodin je na obr. č. 1.



Obr. č. 1

Svislé průhyby kolejnice při dynamickém měření byly zaznamenávány přístroji "Geiger" výroby NDR s mechanickým záznamem měřeného jevu a časové základny na odvíjející se záznamní pásku. Přístroje byly připevněny na zvláštní lávku, spočívající opět na pilotách, aby jejich údaje byly co nejméně ovlivňovány deformacemi a chvěním kolejového svršku i spodku za jízdy vozidel. Registrace svislých úchylek kolejnice byla prováděna ve zvětšeném měřítku 3 : 1 neb 5 : 1 pomocí převodových pák a ocelového lanka na voskovanou papírovou pásku širokou 50 mm. Registrační přístroje byly z bezpečnostních důvodů upraveny na dálkové elektrické ovládání, tj. zapnutí chodu pásky i časové základny na dobu průjezdu vlakové soupravy i jeho vypnutí se provádělo z bezpečné vzdálenosti od koleje. Časová základna byla vytvořena značkami v jednovteřinových intervalech. Celkový pohled na registrační přístroje včetně elektrického rozváděče pro dálkové ovládání je na obr. č. 2.

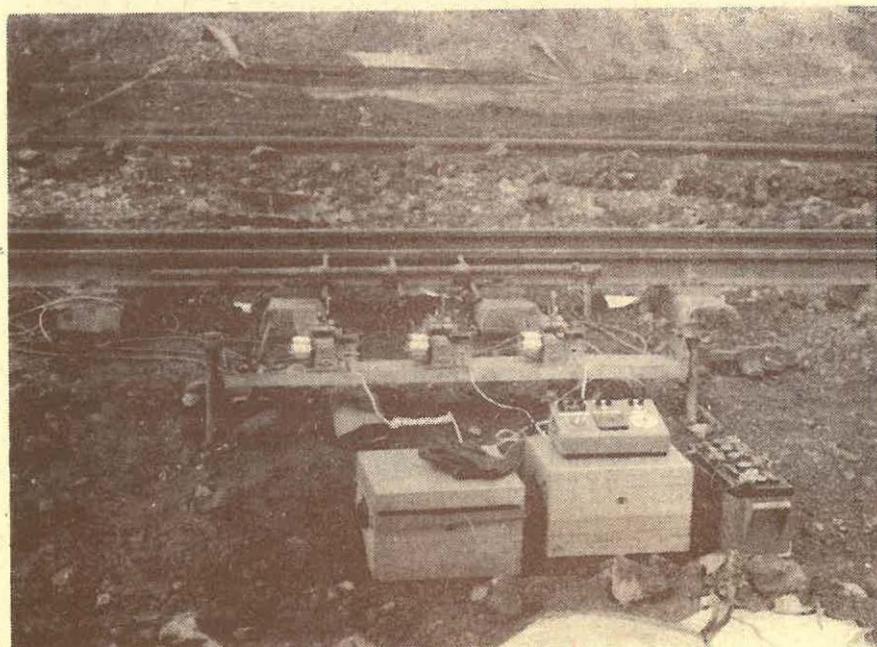
Detail uchycení kolejnice a přenos svislých úchylek pomocí ocelového lanka vedeného přes kladku je na obr. č. 3.

Detailní záběr na uspořádání tří snímačů na kolejnici je na obr. č. 4.

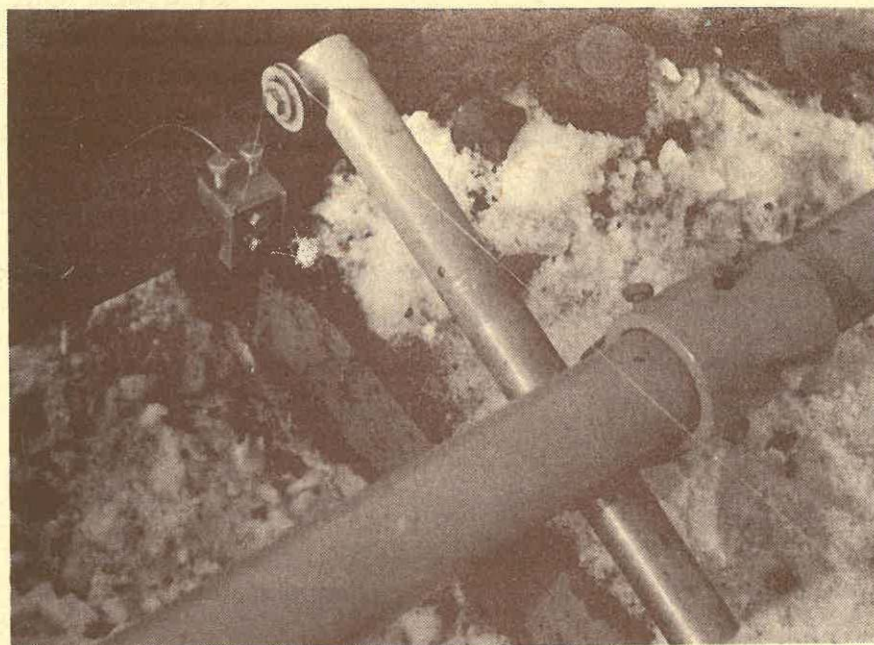
Přenos tlaku kolejnice na prazec byl měřen snímači, vloženými mezi patu kolejnice a podkladnici. Snímače (měřicí dózy) byly kruhového tvaru s vrchní částí mírně kuželovitou. Uvnitř každého snímače byl přitmelena odporový tenzometr typu M 120



o elektrickém odporu  $120\Omega \pm 0,5\%$ , který snímal napětí v tahu na dolních vlákních klenby snímače při zatížení. Snímače byly zapuštěny 10 mm do rozponové podkladnice tvaru T 5, jak je zřejmo z obr. č. 5.

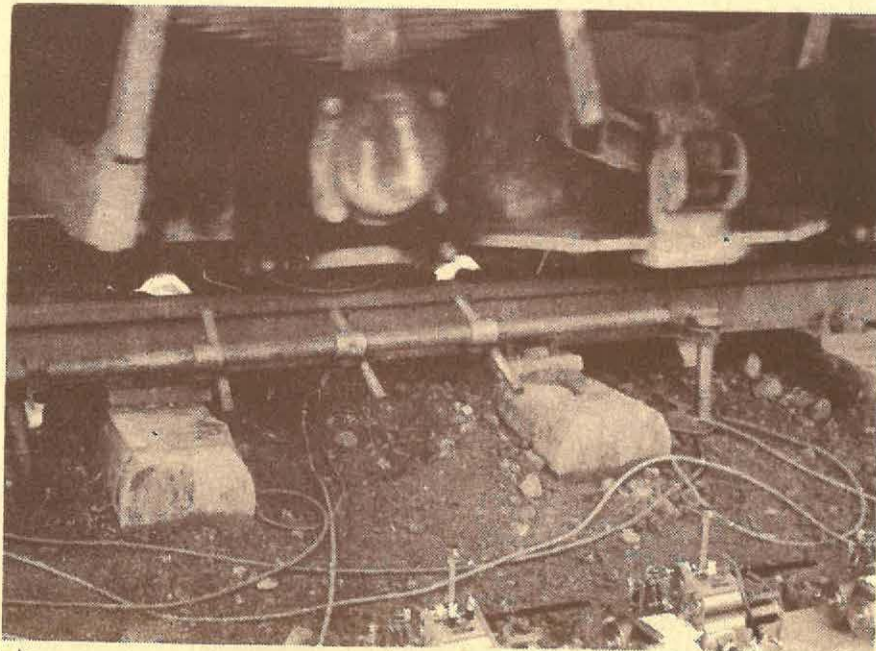


Obr. č. 2

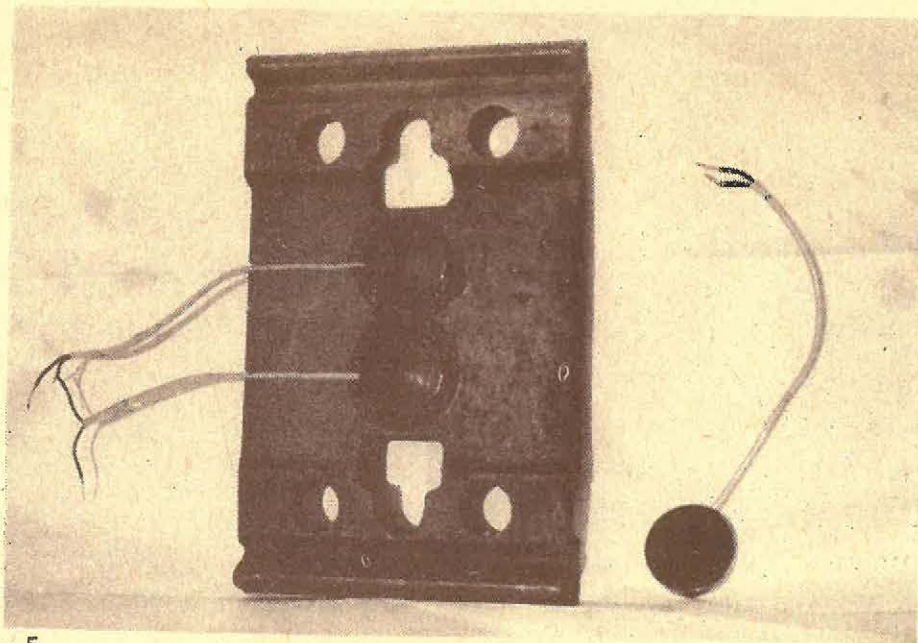


Obr. č. 3





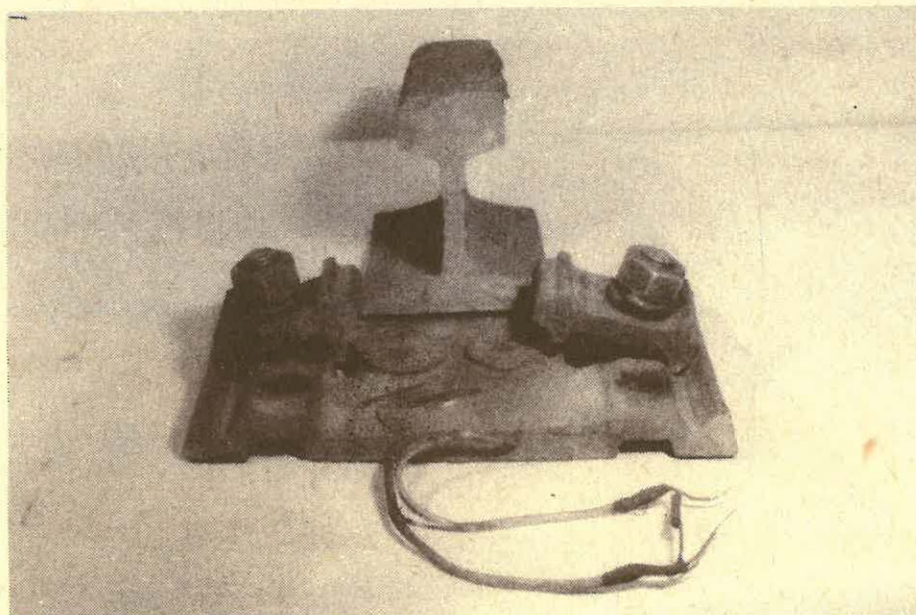
obr. 4



obr. 5



Do jedné rozponové podkladnice byly umístěny dva snímače v sériovém zapojení, aby bylo možno přímo měřit celkový tlak kolejnice na podkladnici, tj. podporovou reakci. Cejchování snímačů v podkladnici bylo provedeno v laboratořích VÚHU na hydraulickém lisu do maximálního tlaku 8 Mp. Aby při cejchování byly co nejvíce napodobeny provozní podmínky, byla na podkladnici se snímači upevněna svěrkami část kolejnice, přes kterou byl tlak při cejchování přenášen - viz obr. č. 6.



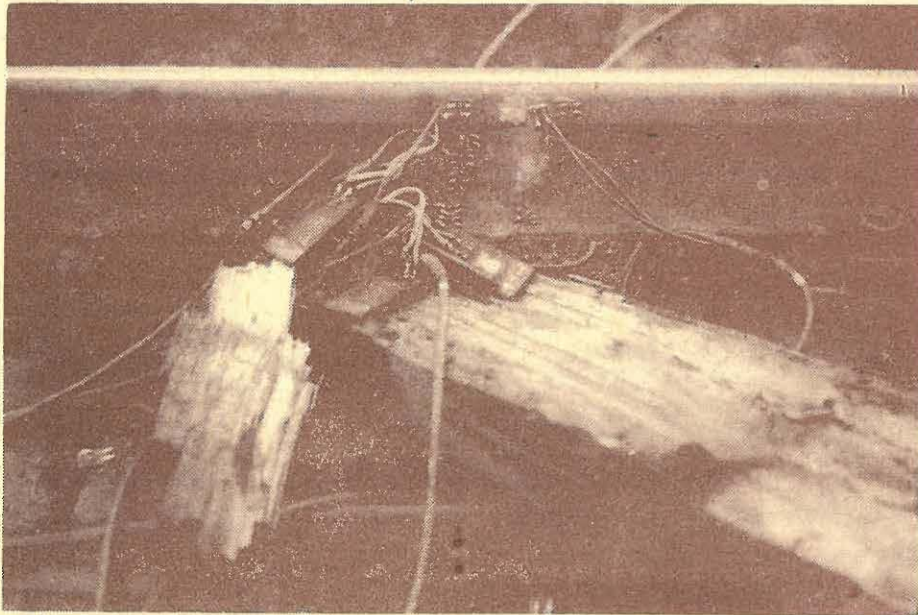
obr. 6

Obr. č. 6

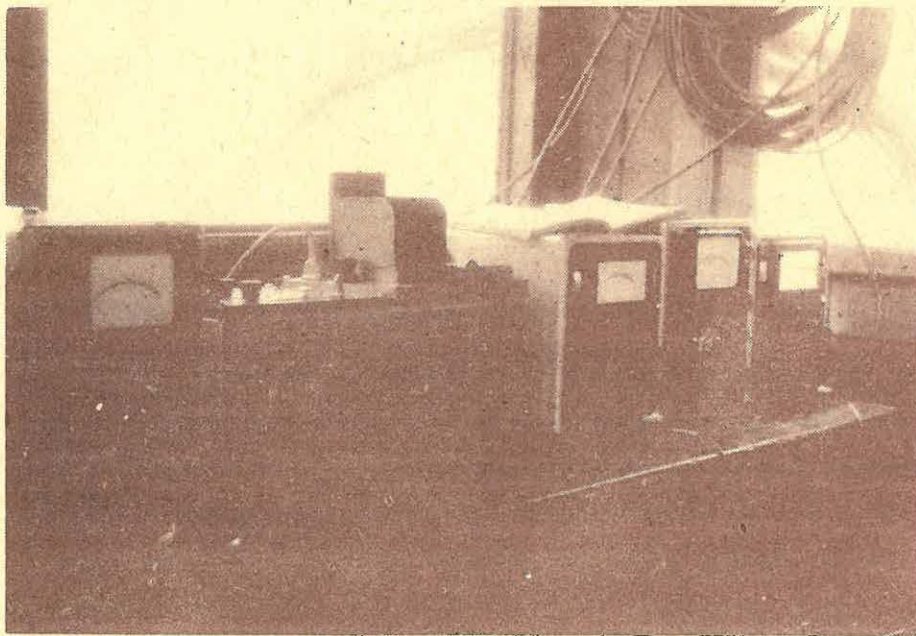
Napětí v kolejnici byla při statickém i dynamickém měření snímána elektrickými drátovými odporovými průtahoměry - tenzometry podélného tvaru pro měření deformací typu  $M 120 \Omega \pm 0,5\%$  s Gange faktorem  $G = 2,1$ . Tenzometry byly přitmeleny v podélném směru na povrchu profilu kolejnice v zaměřených místech. Detail kolejnice s tenzometry je na obr. č. 7.

Změny elektrických odporů tenzometrů, vyvolávaných deformacemi kolejnice při jejím zatěžování, byly zaznamenávány soupravou tenzometrických můstků Hottinger a Philips ve spojení se dvěma třísmýčkovými oscilografy RFT s fotografickým záznamem snímaného jevu. Použitá aparatura umožňovala snímat napětí na kolejnici současně na šesti místech. Celá souprava byla napájena střídavým proudem z osvětlovací sítě 220 V, 50 Hz. Pohled na část měřicích přístrojů umístěných na stanovišti je na obr. č. 8.





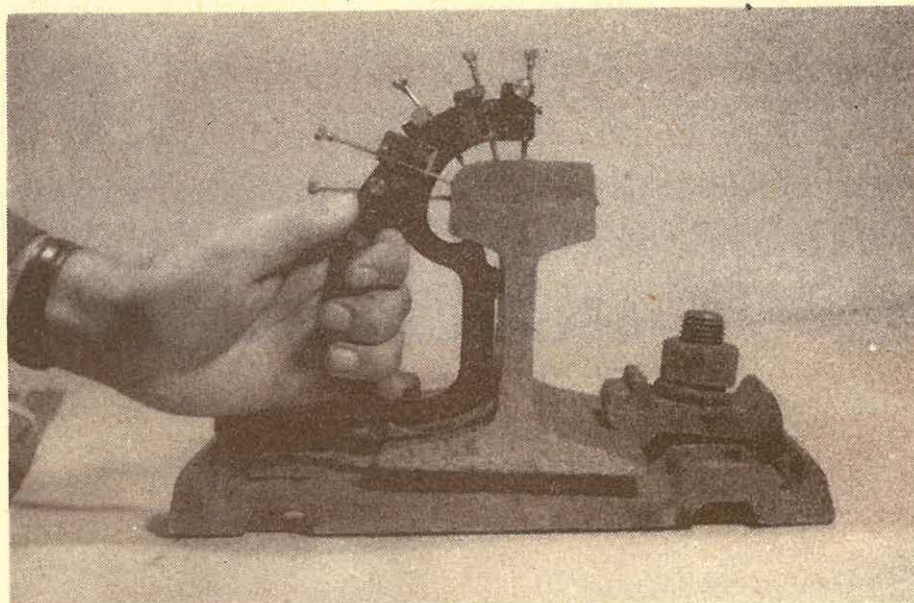
obr. 7



- obr. 8



Zjištěná napětí v různých místech profilu kolejnice byla dle pravděpodobného průběhu napětí v kolejnici převedena na krajní vlákna a tak byla zjištěna maximální napětí v krajním vláknu hlavy i paty kolejnice, která za provozu nastala. Měření byla prováděna na běžně udržovaném železničním svršku, aby byly zjištěny skutečné provozní hodnoty. Ojetí profilu kolejnice tvaru T bylo měřeno Fričovou měrkou upravenou ve VÚHU na odečítání pěti hodnot - viz obr. č. 9.



Obr. č. 9

Naměřené hodnoty opotřebení kolejnice byly pro každé měřené místo převedeny na srovnané opotřebení.

### 3. Vlastní měření

Měření byla postupně prováděna na stabilních i pohyblivých kolejích obou rozchodů. O každém měření byl sepsán podrobný měřicí protokol, obsahující situační náčrtek měřeného stanoviště, umístění tenzometrů a tlakových snímačů v proměřovaných průřezích koleje, technické údaje o koleji, technické údaje o projetých vozidlech, naměřené hodnoty a výsledky měření v tabulkách i grafech.

#### 3.1 Svislé průhyby kolejnice

Statická měření průhybů kolejnice byla provedena na stabilní koleji s železničním svrškem tvaru T na štěrkovém loži s kolejnicemi délky 25 m na dřevěných praž-



cích s kladem "d", tj. s normalizovanou roztečí mezilehlých pražců 606 mm. Na měřených místech se vlivem nerovnoměrného kladu pražců vyskytovaly rozteče 570, 580 a 625 mm. Kolejové lože bylo běžně udržované. Na číselníkových úchylkoměrech byly odečteny postupně u různých vozidel maximální poklesy kolejnice oproti jejímu nezátíženému stavu.

Největší svislý pokles byl naměřen při loženém vozu Talbot 88 m<sup>3</sup>, když jeho druhá náprava stála uprostřed mezi pražci prostředního pole, a to 5,3 mm. Elektrická lokomotiva 150 t na téže místě vyvolala pokles 5,1 mm při třetí a čtvrté nápravě. U LH vozu 40 m<sup>3</sup> loženého skryvkovou zeminou byla naměřena maximální úchylka 5 mm. Uvedené hodnoty byly odečteny na úchylkoměrech až po úplném zastavení poklesu kolejového svršku, tj. po stabilizaci, která nastala po zatížení až po několika minutách.

Z naměřených hodnot poklesu kolejnice v průřezu mezi pražci a nad nimi byly zjištěny tyto relativní statické průhyby kolejnice mezi pražci o rozteči 580 mm:

|                                                |         |
|------------------------------------------------|---------|
| u loženého vozu Talbot 88 m <sup>3</sup> ..... | 0,35 mm |
| u elektrické lokomotivy 150 t .....            | 0,3 mm  |
| u loženého LH vozu 40 m <sup>3</sup> .....     | 0,3 mm. |

Dynamická měření, provedená na třech měřicích stanovištích na stabilních kolejích se šterkovým ložem ukázala, že za jízdy vozidel nedosahují poklesy kolejnice maximálních hodnot statických. V průřezu mezi pražci o rozteči 650 mm, opět při kladu pražců "d", tj. 42 pražců na jedno kolejové pole délky 25 m s jmenovitou mezilehlou roztečí pražců 606 mm, byly naměřeny tyto maximální poklesy kolejnice:

|                                                |         |
|------------------------------------------------|---------|
| u loženého vozu Talbot 88 m <sup>3</sup> ..... | 3,0 mm  |
| u elektrické lokomotivy 150 t .....            | 2,8 mm  |
| u loženého vozu LH 40 m <sup>3</sup> .....     | 2,8 mm. |

Maximální hodnoty poklesu kolejnice vůbec byly při tomto měření zjištěny nad nedostatečně podbitým pražcem s mezilehlými roztečemi pražců 650 a 600 mm, kdy činil pokles:

|                                                |         |
|------------------------------------------------|---------|
| u loženého vozu Talbot 88 m <sup>3</sup> ..... | 4,2 mm  |
| u elektrické lokomotivy 150 t .....            | 4,0 mm  |
| u loženého vozu LH 40 m <sup>3</sup> .....     | 4,0 mm. |

U ostatních provedených měření na šterkovém loži byly průhyby kolejnice menší. Hodnoty poklesu kolejnice na pohyblivé koleji se škvárovým ložem byly sledová-



ny na 1. řezu skřívky velkodolu ČSA opět s kladem pražců "d". V průřezu mezi pražci o rozteči 640 mm byly naměřeny maximální poklesy kolejnice u elektrické lokomotivy a loženého LH vozu 40 m<sup>3</sup>, a to 4,3 mm. Maximální hodnoty poklesu vůbec byly opět v průřezu nad nedostatečně podbitým pražcem s mezilehlými roztečemi 600 a 645 mm, kdy bylo naměřeno u el. lokomotivy 5,7 mm a u loženého vozu LH 5,5 mm.

### 3.2 Přenos tlaku na pražec (podporová reakce)

Přenos tlaku kolejnice na pražec byl měřen pouze dynamicky při různých rychlostech vlakových souprav.

První měření se uskutečnilo na stanovišti, zřízeném na dole ČSA na pevné koleji se šterkovým ložem. Na tomto stanovišti byla namontována jedna adaptovaná rozponová podkladnice tvaru T 5 s dvojicí měřicích dóz. Železniční svršek o normálním rozchodu byl tvořen z kolejnic 25 m dlouhých tvaru T na dřevěných pražcích průřezu 25 x 15 cm. Klad pražců odpovídal rozdělení "d". Srovnané ojetí hlavy obou kolejnic nepřevyšovalo 1 mm. Maximální naměřená hodnota podporové reakce činila 8,35 Mp a byla vyvozena 4. nápravou loženého LH vozu 40 m<sup>3</sup>. U elektrické lokomotivy 150 t byla naměřena maximální hodnota 7,15 Mp. Tyto hodnoty jsou cca 68 % kolového tlaku u LH vozů a 57 % kolového tlaku u elektrické lokomotivy. Na ukázkou je uveden v příloze č. 1 registrační záznam průběhu měřené podporové reakce na šterkovém loži při průjezdu různých vozidel.

Měření byla provedena též na kolejích o rozchodu 900 mm, a to na dole Jirásek u dopravního stanoviště J 10 na pohyblivé koleji na loži z pálených jílu. Na tomto stanovišti byly zamontovány tři pražce se šesti rozponovými podkladnicemi s měřicími dózami. Dynamická měření provedená současně všemi šesti snímači ukázala, že podporová reakce se u jednotlivých pražců liší a závisí podstatně na podbití pražce. U elektrické lokomotivy 64 t byla naměřena maximální hodnota 6 Mp, tj. 75 % jmenovitého statického kolového tlaku. U loženého vozu LH 25 m<sup>3</sup> bylo toto maximum 7,2 Mp, tj. 90 % statického kolového tlaku. Vysoké naměřené hodnoty u LH vozů možno vysvětlit nerovnoměrným ložením skřívkovou zeminou, stavem jejich podvozků se zřetelem na eventuálně plochá kola, ale hlavně tím, že jejich měrné zatížení koleje je při jejich plném ložení vyšší než u lokomotiv. Měření bylo provedeno bezprostředně po výměně pražců a jejich podbití, takže kolejové lože netvořilo ještě dostatečně pružné poddajný podklad a podporové reakce nebyly rozloženy po větší délce koleje.

### 3.3 Napětí na kolejnici

Statická měření byla provedena jako měření kontrolní, protože pro únosnost kole-



jového svršku v daných provozních podmínkách jsou směrodatné hlavně výsledky dynamických měření, tj. při jízdě kolejových vozidel v rozsahu povolených rychlostí.

U statického měření se velmi obtížně ustavovaly jednotlivé nápravy nad proměřovanými průřezy kolejového svršku. Při odečítání hodnot napětí za klidu soupravy bylo zjištěno, že maximální napětí v kolejnici vzniká bezprostředně při poloze kol nad proměřovaným profilem kolejnice. Vzhledem k obtížím při přesném najíždění kol a zastavením nad proměřovaným průřezem, bylo toto měření nahrazeno dynamickým měřením s velmi malou rychlostí vlakové soupravy  $2,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Toto rozhodnutí bylo provedeno v souladu s doporučeními a zkušenostmi dosaženými ve VÚD Praha. Část registračního záznamu z tohoto měření je uvedena v příloze č. 2. Pozoruhodné je zde to, že na záznamu se jeví v okamžiku přejezdu kol vozidel nad měřeným průřezem náhlé změny napětí v hlavě kolejníc - viz na registračním záznamu průběh č. 9, 10, 13. V patě kolejnice tyto změny nenastávají. Hlavní příčinou jsou příčné deformace materiálu hlavy kolejnice vlivem kolového tlaku v proměřovaném průřezu, když kolo je nad měřeným místem. Tyto příčné deformace kompenzují částečně v hlavě kolejnice tlaková namáhání vyvozená průhybem kolejnice. Tento jev byl zjištěn i zahraničními autory; nepodařilo se ho však dosud jednoznačně definovat.

Při dynamických měřeních byly snímány hodnoty napětí na kolejnici při různých rychlostech až do bezpečné rychlosti na sledovaném úseku trati. Při měření provedeném na velkodole ČSA na stabilních kolejích na dřevěných pražcích ve šterkovém loži s kolejnici délkou 25 m a kladem pražců "d", byla měřena při srovnatelném ojetí kolejníc  $3,7 \text{ mm}$  napětí na kolejnici v rozsahu rychlostí od  $2,2$  do  $16,3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . V příloze č. 3 jsou z tohoto měření v tabulce sestaveny hodnoty napětí měřené jednotlivými tenzometry v okamžiku průjezdu náprav nad proměřovaným průřezem mezi pražci o rozteči  $580 \text{ mm}$ . Hodnoty se znatelně v závislosti na rychlosti vozidel neliší.

Měření na kolejovém svršku jsou dosti složitá i obtížná a při nepříznivých povětrnostních podmínkách je nelze provádět vůbec. VÚHU se proto pokusil o porovnání naměřených hodnot s hodnotami stanovenými výpočtem, a to podle Winklerových vzorců, podle kterých se posuzuje u železniční správy ČSD únosnost konstrukce železničního svršku pro zatížení klidné a pohyblivé až do rychlosti  $65 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Pro porovnání byl použit vzorec, podle kterého se počítá napětí v kolejnici pro rychlosti menší než  $65 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , a to :

$$\gamma_{II} = \frac{\gamma_I}{1 - 0,0000007 v^2 \frac{P \cdot a}{I}} \quad / \text{kp} \cdot \text{cm}^{-2} /,$$



kde  $\gamma_1$  je napětí pro klidné zatížení, které se určuje podle vzorce:

$$\gamma_1 = \frac{0,1888}{w} P \cdot a \quad / \text{kp} \cdot \text{cm}^{-2} /, \text{ kde}$$

$a$  = osová vzdálenost pražců v cm,

$w$  = průřezový modul kolejnice  $\text{cm}^3$ ,

$l$  = moment setrvačnosti kolejnice  $\text{cm}^4$ ,

$P$  = tlak kola v kp,

$v$  = rychlost v  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Porovnání bylo provedeno pro pevnou kolej s dřevěnými pražci na šterkovém loži s kolejnicemi tvaru T, srovnané ojetí bylo 3,7 mm, klad pražců "d" při skutečné rozteči v měřeném místě 650 mm pro rychlost vlakové soupravy 13  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Podle Winklerových vzorců by mělo být napětí pro klidné zatížení:

$$\gamma_1 = \frac{0,1888}{232} \cdot 12\,500 \cdot 65 = 6,6 \cdot 10^2 = 660 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2},$$

pro rychlost 13  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  pak:

$$\begin{aligned} \gamma_{II} &= \frac{660}{1 - \left[ 7 \cdot 10^{-8} \cdot 13^2 \frac{12\,500 \cdot 65}{1749} \right]} = \frac{660}{1 - \left[ 7 \cdot 10^{-8} \cdot 13^2 \cdot 465 \right]} = \\ &= \frac{660}{1 - 0,0055} = 665 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}. \end{aligned}$$

V provozu byly však za uvedených podmínek naměřeny VÚHU hodnoty, které po přepočtení na krajní vlákna dosahovaly hodnot až 1 480  $\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$  v patě kolejnice a - 1460  $\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$  v hlavě kolejnice. Potvrdilo se tím, že empirický vzorec nevystihuje všechny provozní vlivy, které působí namáhání kolejí v důlním provozu a není proto možno vzorec používaný u ČSD na povrchových hnědouhelných dolech aplikovat.

Proto byla provedena celá řada dalších měření. Vzhledem k tomu, že kolejnice jsou namáhány cyklicky a rozhodující pro jejich životnost je patřičná únavová bezpečnost, byly výsledky měření porovnány s mezí únavy materiálu kolejnic. Protože kolejnice dodávané dolům jsou vyráběny z ocelí třídy 10 700, 10 750 a 10 800 a doávky pro doly jsou většinou jen třetí jakosti, byl pro zjištění únavové bezpečnosti použit pro porovnání materiál s nejnižšími hodnotami, tj. pro uhlíkovou ocel o minimální pevnosti 70  $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$ . Pro tento materiál byl sestaven Smithův diagram meze únavy a do něj zakresleny maximální naměřené hodnoty přepočtené na kraj-



ní vlákna profilu kolejnice.

Smithův diagram byl sestaven na základě těchto hodnot:

a/ mez únavy v ohybu:

$$\sigma_c = \sigma_{oc} \cdot b \cdot c = 33,0,93 \cdot 0,75 = 23 \text{ kp} \cdot \text{mm}^{-2},$$

kde  $\sigma_{oc}$  je mez únavy v ohybu malé leštěné zkušební tyčinky v  $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$ ,

b je součinitel jakosti povrchu, u kolejnic 0,93,

c je součinitel velikosti součásti, u kolejnice tvaru T = 0,75,

b/ mez kluzu:

$$\sigma_k = 0,6 \sigma_p = 0,6 \cdot 70 = 42 \text{ kp} \cdot \text{mm}^{-2},$$

kde  $\sigma_p$  je pevnost materiálu v  $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$ ,

c/ mez únavy při míjivém napětí (při kterém je záporný kmit napětí = 0) :

$$\sigma_{hc} = 0,25 (\sigma_p + \sigma_k) + 5 = 0,25 (70 + 42) + 5 = 33 \text{ kp} \cdot \text{mm}^{-2}.$$

Ve Smithově diagramu byla označena oblast pružných deformací jako část I, oblast tvárných deformací jako část II. Protože se vyskytovala při měřeních též záporná střední namáhání, byl diagram rozšířen i pro zakreslení těchto hodnot - viz příloha č. 6.

Do Smithova diagramu byly vynášeny z jednotlivých měření maximální naměřené hodnoty a ty vyhodnoceny pro kolejový svršek:

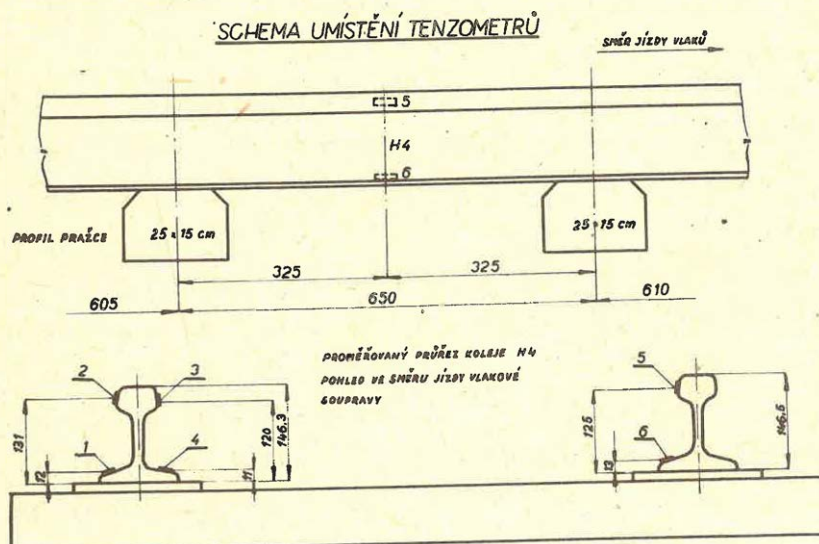
- a/ rozchodu 1 435 mm na šterkovém loži (pevná kolej),
- b/ rozchodu 1 435 mm na škvárovém loži (pohyblivá kolej),
- c/ rozchodu 900 mm na smíšeném loži šterk - pálené jíly (pevná kolej),
- d/ rozchodu 900 mm na loži z pálených jílu (pohyblivá kolej).

Jako příklad je uvedeno vyhodnocení napětí na kolejnici tvaru T u normálněrozchodné koleje na šterkovém loži. Měření bylo provedeno na velkodole ČSA na provozní koleji mezi hradlem A 10 a hradlem A 9, poježděné hlavně vlakovými soupravami s devíti LH vozy 40 m<sup>3</sup> loženými skryvkovou zeminou. Délka kolejnic 25 m, dřevěné pražce průřezu 25 x 15 cm, klad pražců "d". Kolejové lože bylo nedostatečně odvodněno, bylo s větším počtem bahnitých míst. Klad pražců nebyl rovnoměrný a proto, aby bylo zjištěno namáhání za nejnepříznivějších provozních podmínek, vybrána byla rozteč pražců pro měřicí místo 650 mm. Srovnané ojetí profilu u levé kolejnice bylo 3,7 mm, u pravé 3,5 mm. V proměřovaném průřezu koleje uprostřed mezi pražci byly umístěny 4 tenzometry na levé kolejnici a 2 na pravé kolejnici ve směru jízdy. Schéma umístění odporových tenzometrů je uvedeno na obr. č. 10.



| Kategorie<br>vlaků      | Druh<br>vozidla                   | Měření | Měřená místa                                      |        |       |       |        |       |
|-------------------------|-----------------------------------|--------|---------------------------------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|
|                         |                                   |        | 1                                                 | 2      | 3     | 4     | 5      | 6     |
|                         |                                   |        | Hodnoty napětí v $\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ |        |       |       |        |       |
| 13 km · h <sup>-1</sup> | Elektrická<br>lokomotiva<br>150 t | 1      | + 920                                             | - 1000 | - 572 | + 940 | - 1000 | + 870 |
|                         |                                   |        | - 380                                             | + 390  | + 234 | - 410 | + 250  | - 300 |
|                         |                                   | 2      | + 900                                             | - 830  | - 936 | + 910 | - 950  | + 800 |
|                         |                                   |        | - 380                                             | + 390  | + 234 | - 410 | + 360  | - 330 |
|                         |                                   | 3      | + 1000                                            | - 940  | - 575 | + 660 | - 950  | + 870 |
|                         |                                   |        | - 380                                             | + 370  | + 208 | - 410 | + 280  | - 270 |
|                         |                                   | 4      | + 1250                                            | - 1100 | - 780 | + 750 | - 1000 | + 800 |
|                         |                                   |        | - 380                                             | + 400  | + 234 | - 410 | + 330  | - 300 |
|                         |                                   | 5      | + 1250                                            | - 1100 | - 730 | + 625 | - 1100 | + 860 |
|                         |                                   |        | - 334                                             | + 420  | + 234 | - 410 | + 300  | - 230 |
|                         |                                   | 6      | + 1170                                            | - 1000 | - 730 | + 750 | - 1100 | + 770 |
|                         |                                   |        | - 350                                             | + 440  | + 260 | - 410 | + 330  | - 340 |

Tab. č. 7



obr. 10



Změny elektrických odporů tenzometrů byly měřeny šesti tenzometrickými můstky ve spojení se dvěma třísmýčkovými oscilografi RFT s fotografickým záznamem snímaného jevu. Na měřicím stanovišti byla sledována namáhání kolejnice při průjezdu deseti různých provozních vlakových souprav, jež dosahovaly rychlosti až  $13,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Maximální namáhání byla zjištěna při průjezdu elektrické lokomotivy 150 t, která projela měřeným úsekem rychlostí  $3,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , tj.  $13 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Průběh napětí na měřených místech 1 až 6 je uveden v příloze č. 4. Z oscilogramu napětí je patrné, že nápravy vozidel vyvozovaly cyklické, nesouměrné namáhání kolejnice. Z toho důvodu byly v tabulce č. 1 uvedeny pro každé měřené místo dvě krajní hodnoty napětí.

U měřeného místa č. 1 na patě kolejnice vyvozovala každá náprava vozidla nejprve tahové namáhání a po přejetí sledovaného průřezu postupně tlakové namáhání. U snímače č. 2 upevněného na hlavě kolejnice bylo tomu naopak. Za účelem zjištění maximálního napětí v profilu kolejnice byly naměřené hodnoty napětí graficky přepočteny na krajní vlákna hlavy a paty kolejnice. Přepočet byl proveden za předpokladu lineárního průběhu napětí podél profilu kolejnice, vždy pro jednu dvojici tenzometrů 1 - 2, 3 - 4, 5 - 6. V příloze č. 5 je uveden grafický přepočet hodnot tenzometrů 1 a 2. Vychází zde napětí v horním vláknu hlavy kolejnice v rozsahu - 1420 až + 540  $\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$  a u krajního vlákna paty kolejnice v rozsahu - 460 až + 1480  $\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ . Obdobně bylo toto vyhodnocení provedeno i pro ostatní dvojice tenzometrů. Maximální napětí krajního vlákna hlavy kolejnice bylo v rozmezí - 1460 až + 500  $\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$  při  $\sigma_m = - 480 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ , v patě kolejnice - 460 až 1480  $\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$  při  $\sigma_m = 510 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ , kde  $\sigma_m$  je střední napětí. Měření na provozních kolejích s maximálním přípustným rovnáním ojetím kolejnice tvaru T nebylo možno provést, a proto byl proveden přepočet napětí na maximálně přípustné opotřebení pomocí rovnice, která určuje obecně napětí v libovolném bodě nosníku namáhaném na ohyb:

$$\sigma = \frac{M \cdot z}{I} \quad / \text{kp} \cdot \text{cm}^{-2} /,$$

kde  $M$  je ohybový moment /  $\text{kp} \cdot \text{cm}$  /,

$z$  je kolmá vzdálenost bodu od neutrální osy / $\text{cm}$ /,

$I$  je moment setrvačnosti průřezu k neutrální ose / $\text{cm}^4$ /.

Napětí pro maximální srovnané ojetí 20 mm bylo pak určeno ze vztahu:

$$\sigma_{20} = \sigma_{3,7} \cdot \frac{I_{3,7}}{I_{20}} = \frac{1749}{1273} \sigma_{3,7} = 1,37 \sigma_{3,7}$$



kde  $I_{3,7}$  = moment setrvačnosti a  $\sigma_{3,7}$  = napětí při srovnaném ojetí  $h = 3,7$  mm,

$I_{20}$  = moment setrvačnosti a  $\sigma_{20}$  = napětí při srovnaném ojetí  $h = 20$  mm.

Obdobně byla napětí přepočítána i pro srovnané ojetí 10 mm a sestavena do následující tabulky:

| Krajní vlákno   | Rozmezí namáhání krajního vlákna                | Srovnané ojetí kolejnice /mm/ |       |       |
|-----------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|
|                 |                                                 | 3,7                           | 10    | 20    |
| paty kolejnice  | od $\text{kp.cm}^{-2}$                          | - 460                         | - 515 | - 630 |
|                 | do " "                                          | +1480                         | +1660 | +2030 |
|                 | střední namáhání $\sigma_m$ $\text{kp.cm}^{-2}$ | + 510                         | + 573 | + 700 |
| hlavy kolejnice | od " "                                          | -1460                         | -1630 | -2000 |
|                 | do " "                                          | + 500                         | + 560 | + 685 |
|                 | střední namáhání $\sigma_m$ $\text{kp.cm}^{-2}$ | - 480                         | - 535 | - 658 |

Hodnoty uvedené v tabulce byly vyneseny do Smithova diagramu meze únavy - viz příloha č. 6. Hodnoty leží v oblasti pružných deformací materiálu kolejnice. V téže příloze je graficky uvedena závislost bezpečnosti namáhání na srovnaném ojetí kolejnice. Při nejvýše přípustném srovnaném ojetí kolejnice 20 mm klesá bezpečnost na 1,33, když u neojeté kolejnice je 1,85.

#### 4. Vyhodnocení provedených měření

Svislé průhyby kolejnice tvaru T jsou vyhovující pro všechny materiály kolejového lože a nepřesáhly v provozních poměrech hodnotu 6 mm.

Podporové reakce vztahené na jmenovitý statický kolový tlak se zvyšují bezprostředně po podbití koleje. Účinkem provozu se postupně snižují a vyrovnávají v celém kolejovém poli. Při křížových dírách se zvyšují až téměř na jmenovitý kolový tlak, zatímco na koleji dobře udržované jsou v rozmezí 0,55 až 0,7 kolového tlaku.

Při zjišťování napětí na kolejnici bylo i u ostatních měření postupováno obdobně jako u uvedeného případu. Výsledky dosud provedených měření jsou shrnuty v následující tabulce, kde jsou uvedeny vždy dva největší naměřené rozkmity napětí v krajním vlákne kolejnice přepočtené na srovnané ojetí 10 mm a 20 mm. Pro nejnepříznivější namáhání /podtržená/ jsou pro tato opotřebení vyhodnoceny bezpečnosti ve Smithově diagramu.



| ROZCHOD<br>KOLEJÍ<br>mm | DRUH<br>KOLEJE | KOLEJOVÉ<br>LOŽE     | TVAR<br>KOLEJNICE | PRAŽCE |                          | MAXIMÁLNÍ NABĚTÍ $kp \cdot cm^2$<br>V KRAJNÍM VLÁKNĚ KOLEJNICE<br>PŘEPočTENÉ NA SROVNANÉ<br>OJETÍ |                  | BEZPEČNOST PODLE<br>Smitha<br>PŘI OJETÍ |      |      |
|-------------------------|----------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|------|------|
|                         |                |                      |                   | KLAD   | SKUTEČNÁ<br>ROZTEČ<br>mm | mm                                                                                                |                  | mm                                      |      |      |
|                         |                |                      |                   |        |                          | 10                                                                                                | 20               | 10                                      | 20   |      |
| 1435                    | STABILNÍ       | ŠTĚRK                | T                 | d      | 650                      | a                                                                                                 | - 515<br>+ 1660  | - 630<br>+ 2030                         | 1,6  | 1,33 |
|                         |                |                      |                   |        |                          | b                                                                                                 | - 1630<br>+ 560  | - 2000<br>+ 685                         |      |      |
|                         | POHYBLIVÁ      | ŠKVÁRA               | T                 | d      | 675                      | a                                                                                                 | - 1520<br>+ 1350 | - 1870<br>+ 1660                        | 1,57 | 1,27 |
|                         |                |                      |                   |        |                          | b                                                                                                 | - 1140<br>+ 1530 | - 1400<br>+ 1890                        |      |      |
| 900                     | STABILNÍ       | ŠTĚRK +<br>PAL. JÍLY | A                 | b      | 780                      | a                                                                                                 | - 1840<br>+ 1130 | - 2500<br>+ 1620                        | 1,34 | 1,06 |
|                         |                |                      |                   |        |                          | b                                                                                                 | - 650<br>+ 1980  | - 887<br>+ 2690                         |      |      |
|                         | POHYBLIVÁ      | PÁLENÉ<br>JÍLY       | T                 | a      | 830                      | a                                                                                                 | - 980<br>+ 550   | - 1200<br>+ 690                         | 2,34 | 1,9  |
|                         |                |                      |                   |        |                          | b                                                                                                 | - 850<br>+ 690   | - 1050<br>+ 740                         |      |      |
|                         |                |                      |                   |        | 870                      | a                                                                                                 | - 940<br>+ 290   | - 1330<br>+ 470                         | 1,84 | 1,4  |
|                         |                |                      |                   |        |                          | b                                                                                                 | - 290<br>+ 1410  | - 470<br>+ 2000                         |      |      |
|                         |                |                      |                   |        | 890                      | a                                                                                                 | - 400<br>+ 2130  | - 500<br>+ 2620                         | 1,32 | 1,09 |
|                         |                |                      |                   |        |                          | b                                                                                                 | - 2160<br>+ 437  | - 2670<br>+ 540                         |      |      |

Tab. č. 2

Pro dosažení optimální životnosti a využití kolejového materiálu při určité rezervě vůči mezi únavy materiálu kolejnice je možno stanovit též dovolené namáhání materiálu kolejnice jakožto hlavního a rozhodujícího nosného prvku konstrukce železničního svršku též diferenciální metodou. Podle technické literatury [1] určuje se potřebná bezpečnost "n" strojní součásti touto metodou ve vztahu k mezi pevnosti, k mezi kluzu, neb k mezi únavy ze vzorce:

$$n = S \cdot K \cdot T \cdot M = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5 \cdot n_6 \cdot n_7 \cdot n_8 \cdot n_9 \cdot n_{10} \cdot n_{11}$$

kde n = potřebná maximální bezpečnost,

$$S = \text{taktický součinitel} = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3,$$

$$K = \text{konstrukční součinitel} = n_4 \cdot n_5 \cdot n_6,$$

$$T = \text{technologický součinitel} = n_7 \cdot n_8 \cdot n_9,$$

$$M = \text{součinitel kritéria pevnosti} = n_{10} \cdot n_{11}$$

Jednotliví součinitelé pro výpočet ve vztahu k mezi kluzu materiálu kolejnice jsou pro důlní koleje:

$$n_1 = \text{součinitel spolehlivosti materiálu} = 1,15$$

$$n_2 = \text{součinitel důležitosti materiálu} = 1,1 \text{ až } 1,25, \text{ byl zvolen pro řád koleje } I = 1,25, II = 1,17 \text{ a } III = 1,1$$



- $n_3$  = součinitel dynamičnosti  $\gamma = 1,2$   
 $n_4$  = součinitel přesnosti zjištěných sil; vzhledem k měření = 1  
 $n_5$  = součinitel koncentrace napětí = 1  
 $n_6$  = součinitel druhu zatížení; pro ohyb = 1  
 $n_7$  = povrchový součinitel  $= 1 + \alpha \cdot \sigma_{oc} = 1 + 0,019 \cdot 23 = 1,044$   
 $n_8$  = součinitel snížení pevnosti vlivem napětí, která vznikají při montáži = 1  
 $n_9$  = součinitel uložení - stabilní kolej = 1,2; pohyblivá kolej = 1,4  
 $n_{10}$  = součinitel počtu zkoumaných součástí a místa = 1  
 $n_{11}$  = součinitel velikosti a složitosti součástí = 1,05

Pak pro stabilní kolej je bezpečnost  $n = 1,83 n_2$

a pro pohyblivou kolej  $n = 2,13 n_2$ .

Potřebná bezpečnost je pak při dosazení součinitele důležitosti:

|                |     | u stabilní koleje | u pohyblivé koleje |
|----------------|-----|-------------------|--------------------|
| pro řád koleje | I   | 2,29              | 2,66               |
|                | II  | 2,14              | 2,5                |
|                | III | 2,01              | 2,34               |

Součinitelé byly vzaty pro výpočet ve vztahu k mezi kluzu materiálu kolejnice 42 kp.mm<sup>-2</sup>. Dovolená namáhání v kp.cm<sup>-2</sup> jsou pak tato:

|                |     | u stabilní koleje | u pohyblivé koleje |
|----------------|-----|-------------------|--------------------|
| pro řád koleje | I   | 1840              | 1580               |
|                | II  | 1960              | 1680               |
|                | III | 2090              | 1800               |

V jiné naší technické literatuře /2/ je uvedeno, že při posuzování únosnosti kolejnic podle Winklerových vzorců jsou dovolená namáhání kolejnicových ocelí od 1200 až do 1800 kp.cm<sup>-2</sup> pro zatížení klidné a pohyblivé, podle řádu kolejí. Winklerův vzorec se pro důlní dráhy nehodí, neboť vyčíslená napětí jsou příliš malá oproti skutečně zjištěným. V sovětské literatuře /3/ se uvádí pro hlavní stabilní kolej je povrchových dolů dovolená namáhání kolejnicových ocelí (například kolejnice tvaru R 43) až 2400 kp.cm<sup>-2</sup>. Za předpokladu, že rychlost vlakové soupravy nepřesáhne



$40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , se zvyšuje tato hranice až na  $2600 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ . Na pohyblivých kolejích, které mají roční projetou zátěž do  $1 \cdot 10^6 \text{ t}$  a poježděnou rychlost maximálně  $20$  až  $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , se připouští dokonce  $3000 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$  za podmínky, že mez pružnosti kolejnicové oceli je minimálně  $3500 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ . Maximální dovolené ojetí kolejnice se zde udává jen  $9 \text{ mm}$ .

Z dosud provedených měření je zřejmé, že pro stabilní koleje je vhodné kolejové lože šterkové. Znečištěné šterkové lože pálenými jíly ani u rozchodu  $900 \text{ mm}$  nevyhovuje. U pohyblivých kolejí je vhodná škvára; pálené jíly u rozchodu  $900 \text{ mm}$  též vyhoví. Na namáhání a tím i bezpečnost má největší vliv tvar kolejnice a klad pražců. Za normálních okolností vyhoví tvar kolejnice T u obou rozchodů. Klad pražců u normálního rozchodu na pohyblivých kolejích vyhoví "b" až "d" podle zatížení koleje a u rozchodu  $900 \text{ mm}$  klad pražců "b". U pohyblivých kolejí však za předpokladu, že zde maximálně přípustné srovnané ojetí kolejnice bude limitováno  $10 \text{ mm}$ .

##### 5. Závěr

Dosud provedenými měřeními na kolejovém svršku důlních drah povrchových hnědouhelných dolů a vyhodnocením naměřených hodnot bylo prokázáno, že koleje z kolejnic tvaru T jsou u normálního rozchodu i u rozchodu  $900 \text{ mm}$  plně vytíženy. U stabilních kolejí normálního rozchodu u I. řádu je bezpečnost již malá, a proto se doporučuje používat zde kolejnice tvaru R 65, když životnost dolu je ještě dostatečná a tento zásah se projeví i po ekonomické stránce za vhodný. U rozchodu  $900 \text{ mm}$  vyhoví tvar kolejnice A jen u málo vytížených kolejí III. řádu a u kolejí odstavných.

U stabilních kolejí normálního rozchodu, podle jejich řádu, vyhoví klad pražců "c" a "d" a u rozchodu  $900 \text{ mm}$  "b" a "c" s tím, že pro velmi vytížené a důležité koleje I. řádu možno použít i kladu pražců o stupeň vyššího a pro odstavné koleje i kladu pražců o stupeň nižšího. V důlním provozu, obzvláště u pohyblivých kolejí, není někdy plně zajištěna údržba kolejí tak, aby rozteče pražců při daném kladu byly stálé a pražce byly vždy dobře podbity. Z toho důvodu jsou naměřené hodnoty podporových reakcí podstatně vyšší, než je udáváno ve zprávách o měření na kolejích veřejných drah. Proto i měrné tlaky přenášené z pražce na kolejové lože jsou vyšší, což nutno brát v úvahu hlavně u pohyblivých kolejí, kde kolejové lože je z méně únosných materiálů, jako jsou škvára nebo pálené jíly, a nedostatečnou údržbou dochází k jejich znehodnocování, a tím ke snižování bezpečnosti.



Na základě provedených měření ověřil VÚHU, že oborové normy pro stabilní koleje normálního rozchodu č. ON 73 6361 a pro stabilní koleje rozchodu 900 mm číslo ON 73 6362 vyhovují i pro srovnané opotřebení kolejniče 20 mm.

U pohyblivých kolejí pro připravovanou oborovou normu, na základě dosud provedených měření VÚHU pak doporučuje:

| U POHYBLIVÉ KOLEJE ROZCHODU |                                                         |                   |                              |                                          |                                                         |                    |                              |                                          |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------------------|
| 1435 mm                     |                                                         |                   |                              |                                          | 900 mm                                                  |                    |                              |                                          |
| VÍ-<br>ŘÁD<br>KOLEJE        | PROVOZNÍ<br>ZATÍŽENÍ<br>10 <sup>6</sup> t/rok<br>brutto | TVAR<br>KOLEJNICE | ROZDĚLENÍ<br>PRAŽCŮ V KOLEJI |                                          | PROVOZNÍ<br>ZATÍŽENÍ<br>10 <sup>6</sup> t/rok<br>brutto | TVAR<br>KOLEJNICE  | ROZDĚLENÍ<br>PRAŽCŮ V KOLEJI |                                          |
|                             |                                                         |                   |                              | PŘI MEZILIBELÉ<br>ROZTEČI<br>PRAŽCŮ (mm) |                                                         |                    |                              | PŘI MEZILIBELÉ<br>ROZTEČI<br>PRAŽCŮ (mm) |
| I                           | > 12                                                    | T                 | d                            | 606                                      | > 10                                                    | T                  | b(c)                         | 755(675)                                 |
| II                          | 6 - 12                                                  | T                 | c                            | 675                                      | 5 - 10                                                  | T                  | b                            | 755                                      |
| III                         | < 6                                                     | T                 | b                            | 755                                      | < 5                                                     | T(A) <sup>NR</sup> | b(a) <sup>NR</sup>           | 755(830)                                 |

Tab. č. 3

- když x/ jsou koleje velmi vytížené a důležité,  
 xx/ jsou jen koleje podřadného provozního významu a koleje odstavné,  
 xxx/ jsou odstavné koleje podřadného významu.

U pohyblivých kolejí připouští se jen srovnané ojetí 10 mm.

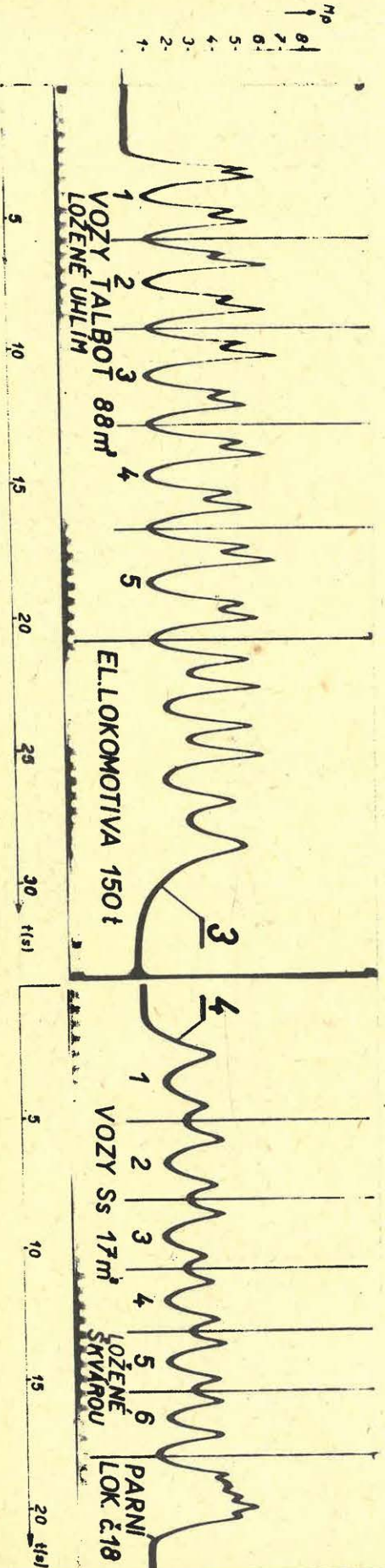
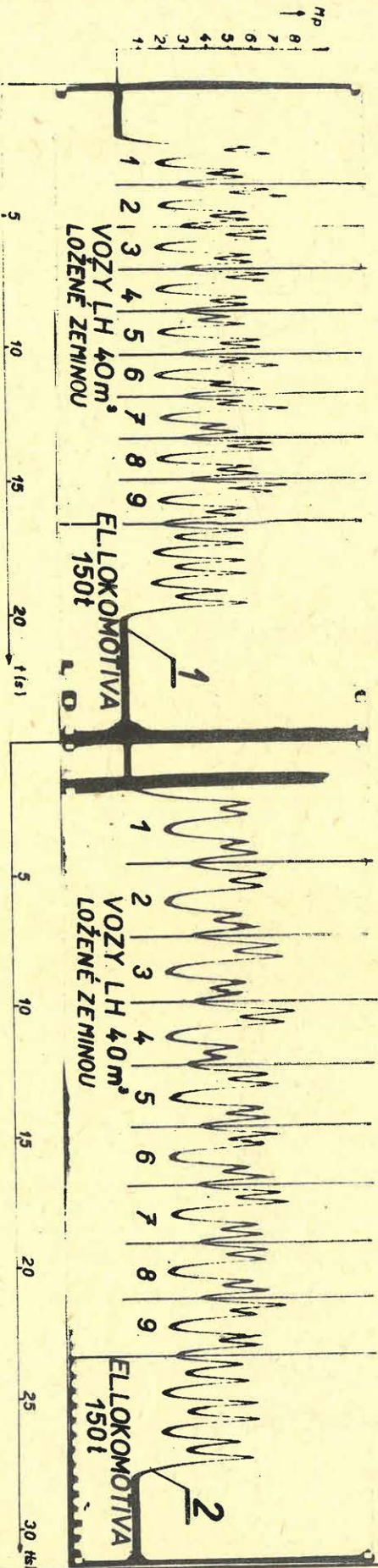
#### Literatura:

- 1/ Schmidt - Dobrovolný: Technická příručka
- 2/ Ing. Dr. Hlásný: Statické výpočty konstrukce železničního svršku a výsledky měření skutečných deformací
- 3/ Vsesvazový výzkumný ústav železniční dopravy SSSR: Volba typů železničního svršku na povrchových dolech.



PRŮBĚH PODPOROVÉ REAKCE PRAŽCE NA ŠTĚRKOVÉM LOŽÍ

| REGISTRAČNÍ<br>ZÁZNAM | POŘÁDOVÉ ČÍSLO<br>MĚŘENÍ | PRŮMĚRNÁ RYCHLOST SOUPR.<br>km/h |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------------|
| 1                     | 7                        | 23                               |
| 2                     | 8                        | 14,5                             |
| 3                     | 10                       | 14,5                             |
| 4                     | 9                        | 14                               |

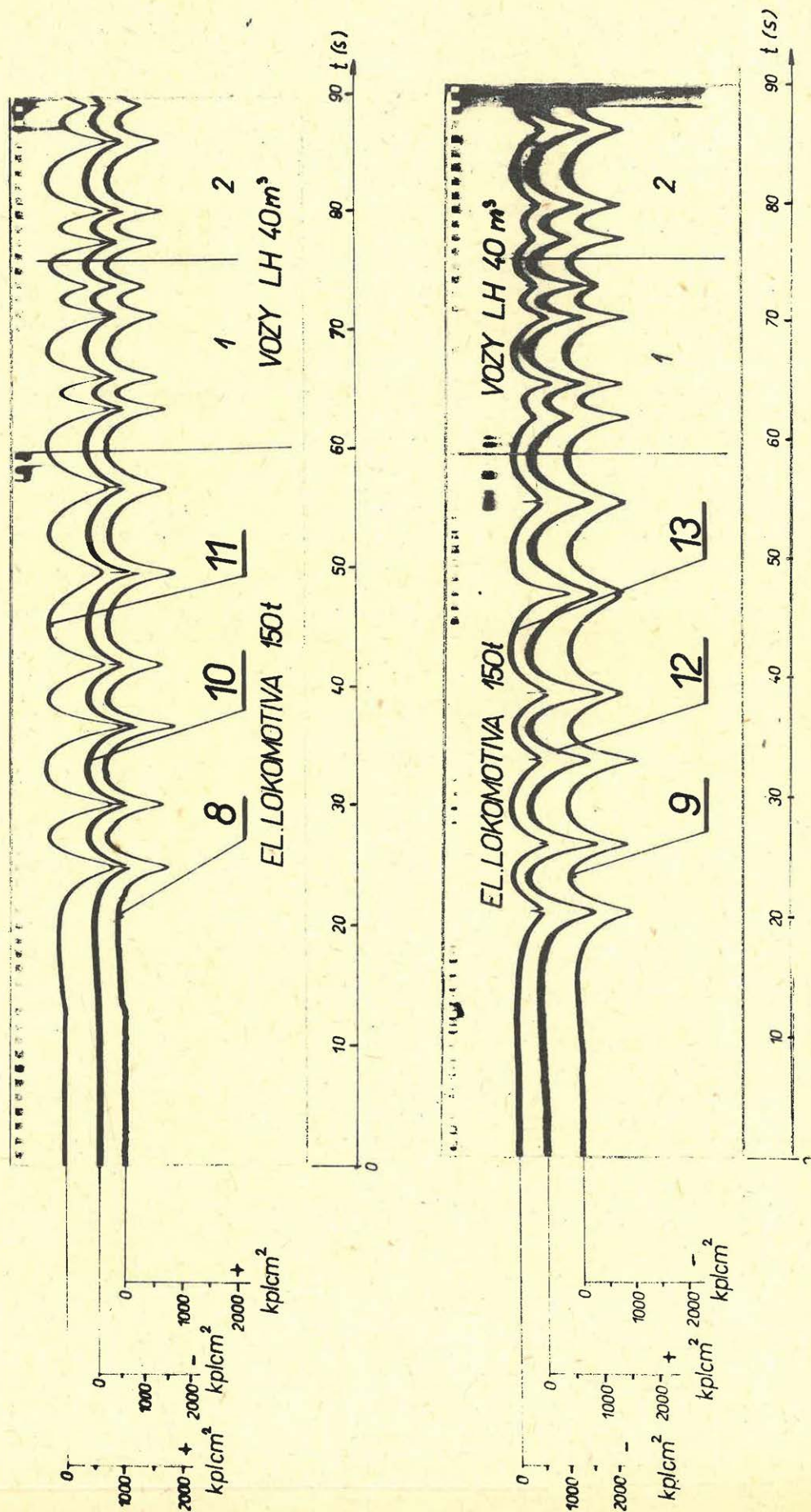


TLAKY KOLEJNICE NA PODKLADNICI

PŘÍLOHA C 1



PRŮBĚH NAPĚTÍ V KOLEJNICI  
PŘI RYCHLOSTI VLAKOVÉ SOUPRAVY 0,61 m/s



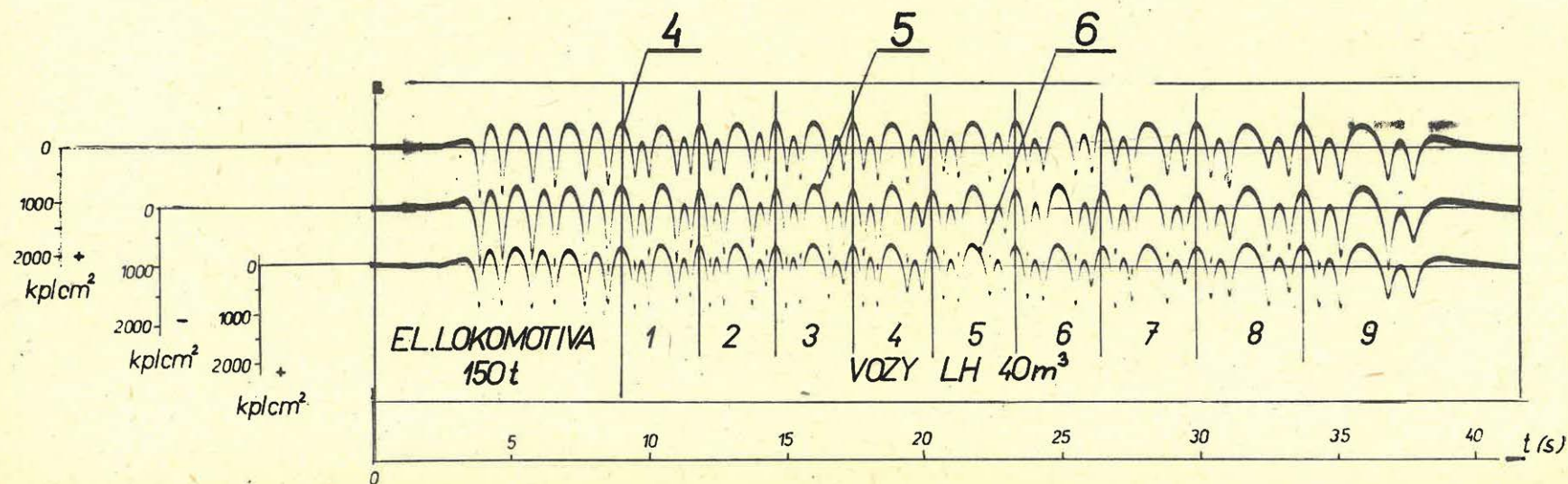
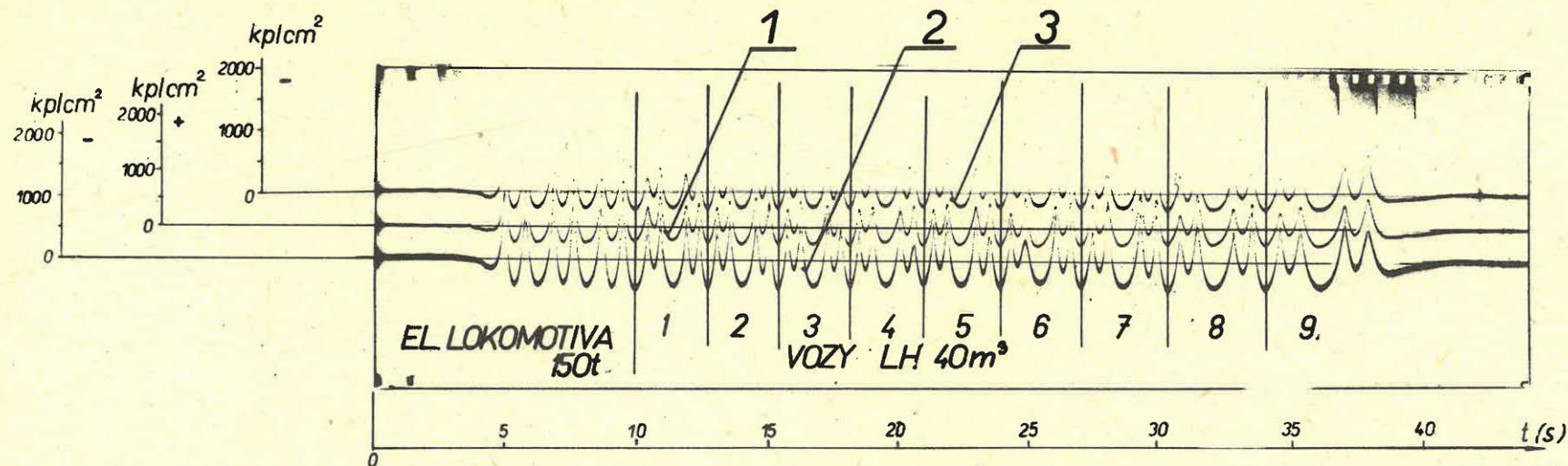


## Hodnoty napětí na kolejnicích

| Rychlost vlaku            | Druh vozidla                                                         | Náprava | Měřená místa                           |        |        |        |        |       |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
|                           |                                                                      |         | 8                                      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13    |
|                           |                                                                      |         | Hodnoty napětí v kp . cm <sup>-2</sup> |        |        |        |        |       |
| 2,2 km . h <sup>-1</sup>  | el. lokomotiva<br>150 t                                              | 1       | + 705                                  | - 835  | - 675  | + 750  | + 770  | - 430 |
|                           |                                                                      | 2       | + 865                                  | - 775  | - 1010 | + 696  | + 880  | - 985 |
|                           |                                                                      | 3       | + 646                                  | - 745  | - 607  | + 696  | + 990  | - 554 |
|                           |                                                                      | 4       | + 865                                  | - 1135 | - 945  | + 1020 | + 770  | - 430 |
|                           |                                                                      | 5       | + 646                                  | - 925  | - 675  | + 855  | + 910  | - 615 |
|                           |                                                                      | 6       | + 756                                  | - 1020 | - 945  | + 855  | + 880  | - 523 |
|                           | výklopný vůz<br>LH 40 m <sup>3</sup><br>ložený skryvkovou<br>seminou | 1       | + 324                                  | - 298  | - 540  | + 400  | + 605  | - 570 |
|                           |                                                                      | 2       | + 540                                  | - 895  | - 472  | + 855  | + 660  | - 615 |
|                           |                                                                      | 3       | + 594                                  | - 836  | - 472  | + 643  | + 605  | - 680 |
|                           |                                                                      | 4       | + 700                                  | - 955  | - 675  | + 805  | + 384  | - 570 |
| 4,5 km . h <sup>-1</sup>  | el. lokomotiva<br>150 t                                              | 1       | + 915                                  | - 715  | - 878  | + 913  | + 880  | - 493 |
|                           |                                                                      | 2       | + 810                                  | - 1070 | - 540  | + 805  | + 825  | - 985 |
|                           |                                                                      | 3       | + 755                                  | - 895  | - 608  | + 858  | + 990  | - 676 |
|                           |                                                                      | 4       | + 1030                                 | - 1030 | - 878  | + 805  | + 880  | - 985 |
|                           |                                                                      | 5       | + 810                                  | - 835  | - 878  | + 966  | + 1100 | - 493 |
|                           |                                                                      | 6       | + 755                                  | - 1070 | - 608  | + 805  | + 825  | - 924 |
|                           | výklopný vůz<br>LH 40 m <sup>3</sup><br>ložený skryvkovou<br>seminou | 1       | + 216                                  | - 480  | - 135  | + 430  | + 550  | - 675 |
|                           |                                                                      | 2       | + 755                                  | - 835  | - 608  | + 965  | + 770  | - 553 |
|                           |                                                                      | 3       | + 865                                  | - 655  | - 1020 | + 860  | + 440  | - 310 |
|                           |                                                                      | 4       | + 700                                  | - 1430 | - 405  | + 1290 | + 220  | - 430 |
| 15,2 km . h <sup>-1</sup> | el. lokomotiva<br>150 t                                              | 1       | + 756                                  | - 656  | - 540  | + 806  | + 825  | - 495 |
|                           |                                                                      | 2       | + 756                                  | - 786  | - 675  | + 915  | + 880  | - 430 |
|                           |                                                                      | 3       | + 702                                  | - 1080 | - 338  | + 860  | + 825  | - 676 |
|                           |                                                                      | 4       | + 864                                  | - 1020 | - 742  | + 915  | + 880  | - 553 |
|                           |                                                                      | 5       | + 756                                  | - 775  | - 742  | + 950  | + 880  | - 430 |
|                           |                                                                      | 6       | + 810                                  | - 1020 | - 675  | + 860  | + 825  | - 553 |
|                           | výklopný vůz<br>LH 40 m <sup>3</sup><br>ložený skryvkovou<br>seminou | 1       | + 432                                  | - 476  | - 405  | + 645  | + 550  | - 430 |
|                           |                                                                      | 2       | + 810                                  | - 835  | - 742  | + 700  | + 715  | - 430 |
|                           |                                                                      | 3       | + 664                                  | - 835  | - 607  | + 805  | + 495  | - 368 |
|                           |                                                                      | 4       | + 864                                  | - 1190 | - 607  | + 1075 | + 330  | - 246 |
| 16,3 km . h <sup>-1</sup> | el. lokomotiva<br>150 t                                              | 1       | + 705                                  | - 596  | - 675  | + 805  | + 825  | - 380 |
|                           |                                                                      | 2       | + 756                                  | - 838  | - 610  | + 860  | + 882  | - 493 |
|                           |                                                                      | 3       | + 756                                  | - 1080 | - 610  | + 805  | + 993  | - 678 |
|                           |                                                                      | 4       | + 865                                  | - 1195 | - 610  | + 1080 | + 825  | - 555 |
|                           |                                                                      | 5       | + 865                                  | - 657  | - 745  | + 915  | + 882  | - 555 |
|                           |                                                                      | 6       | + 975                                  | - 776  | - 811  | + 755  | + 760  | - 615 |
|                           | výklopný vůz<br>LH 40 m <sup>3</sup><br>ložený skryvkovou<br>seminou | 1       | + 486                                  | - 715  | - 405  | + 430  | + 825  | - 615 |
|                           |                                                                      | 2       | + 1080                                 | - 955  | - 946  | + 970  | + 772  | - 555 |
|                           |                                                                      | 3       | + 595                                  | - 596  | - 470  | + 805  | + 825  | - 430 |
|                           |                                                                      | 4       | + 810                                  | - 1135 | - 810  | + 1080 | + 442  | - 430 |



# PRŮBĚH NAPĚTÍ V KOLEJNICI PŘI RYCHLOSTI VLAKOVÉ SOUPRAVY 3,6 m/s



VÚHU

MĚŘENÍ NAPĚTÍ V KOLEJNICI

PŘÍLOHA Č. 4

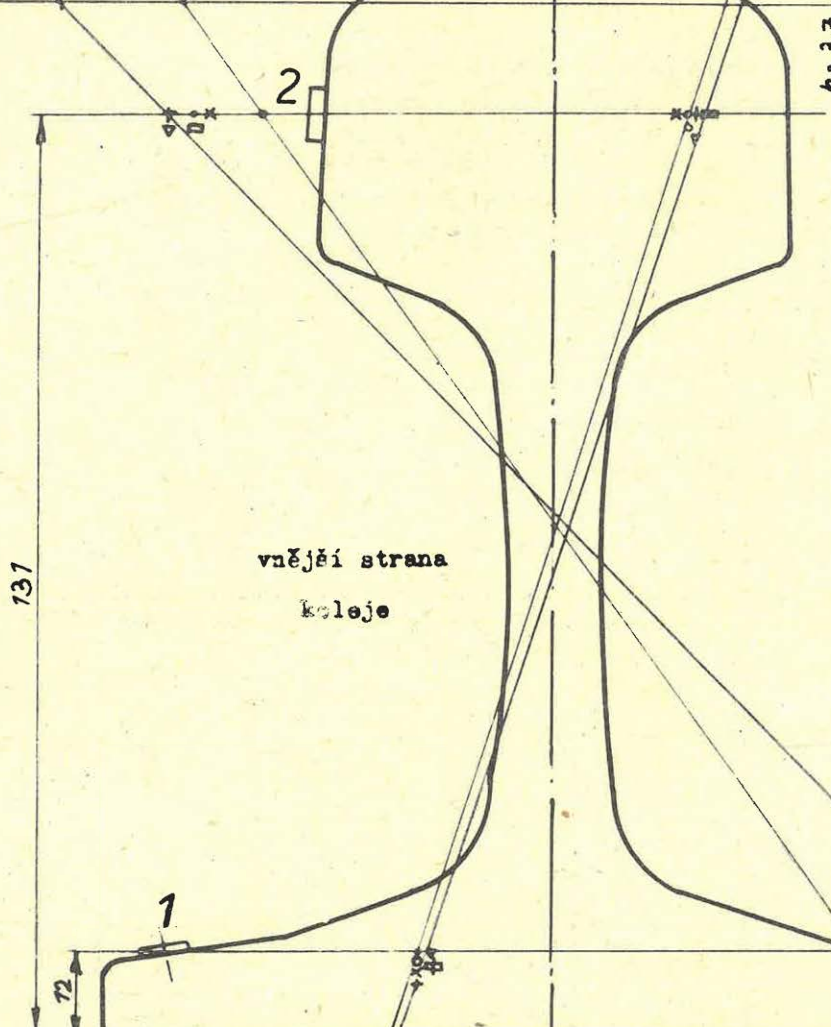


-  $\sigma$  (kp.cm<sup>-2</sup>)

+  $\sigma$  (kp.cm<sup>-2</sup>)

Grafický přepočet napětí na krajní vlákna kolejnice tvaru T

- 2500 - 2000 - 1500 - 1000 - 500 0 500 1000 1500 2000 2500



Řešení případu:

normálně rozchodná kolej

na šterkovém loži,

klad pražců: "d"

rosteč v měř.místě: 650 mm

srovnané ojetí kolejnice: 3,7 mm

průjezd el.lokomotivou 150 t

rychlost: 13 km.h<sup>-1</sup>

Náprava

číslo:

označení:

1

●

2

○

3

x

4

+

5

▼

6

□

83

Příloha č. 5

-  $\sigma$  (kp.cm<sup>-2</sup>)

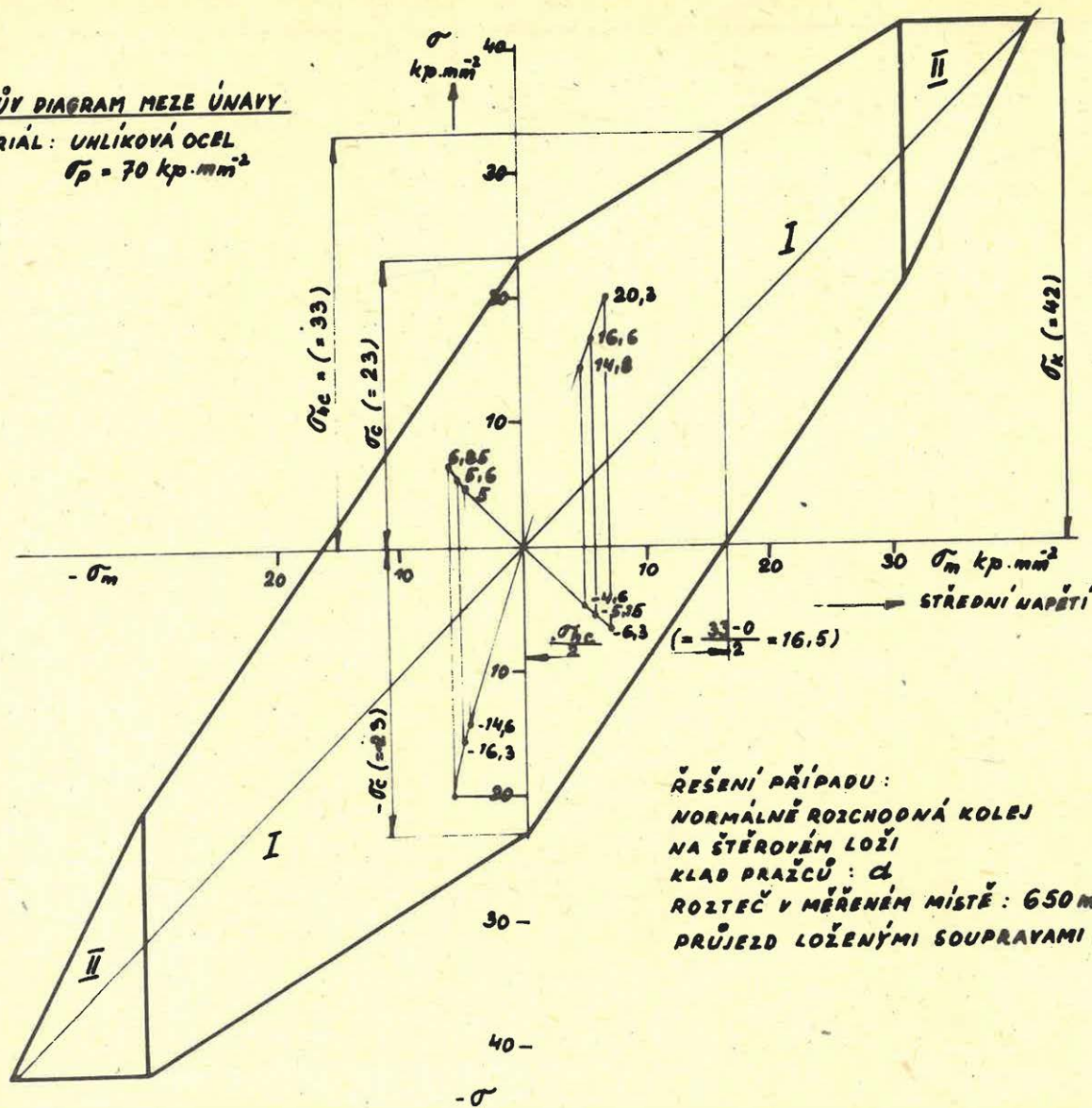
+  $\sigma$  (kp.cm<sup>-2</sup>)

- 2500 - 2000 - 1500 - 1000 - 500 0 500 1000 1500 2000 2500



# SMITHŮV DIAGRAM MEZE ÚNAVY

MATERIÁL: UHLÍKOVÁ OCEL  
 $\sigma_p = 70 \text{ kp} \cdot \text{mm}^2$



ŘEŠENÍ PŘÍPADU:  
 NORMÁLNĚ ROZCHODNÁ KOLEJ  
 NA ŠTĚROVÉM LOŽÍ  
 KLAB PRAŽCŮ:  $\alpha$   
 ROZTEČ V MĚŘENÉM MÍSTĚ: 650 mm  
 PRŮJEZD LOŽENÝMI SOUPRAVAMI LH VOZŮ 40 t + EL. LOK. 150 t

