

THE ANALYSIS OF ROLLING FORCES AND MOMENTS AT WELDLESS TUBE ROLLING

P. Macura*, A. Fiala*

Summary: *The paper is devoted to the problems of rolling forces and moments analysis at weldless tube rolling. A lot of roll breaking on the pilger mill arised by rolling on the Mannesmann rolling mill VÍTKOVICE at the last time. Large measurements of rolling forces and moments were realized by rolling of wide range of weldless tubes. The results of measurements were used to the analysis of loading of pilger mill and to the search for the precaution to the reduction of number of roll breakings.*

1. Úvod

Při válcování bezešvých trub na poutnické stolici válcovací tratě Velký Mannesman ve VÍTKOVICÍCH docházelo v poslední době k velmi častým lomům válců, což vedlo k velkým finančním ztrátám jednak na strojním zařízení, jednak v důsledku poklesu výrobnosti. V rámci řešení tohoto problému se provedla podrobná analýza zatížení strojního zařízení včetně rozsáhlého měření válcovacích sil a krouticích momentů na poháněcích vřetenech poutnické stolice. Obsahem předloženého příspěvku jsou některé výsledky, získané při řešení této problematiky.

2. Technologie válcování bezešvých trub

Jedním z technologických postupů válcování bezešvých trub je výroba na válcovací trati Mannesmann. Tato trať sestává ze dvou hlavních technologických zařízení. V prvním probíhá proces děrování předvalků kosým válcováním a ve druhém se vyděrovaný předvalek válcuje na trnu na konečný rozměr v poutnické stolici.

2.1. Děrování předvalků kosým válcováním

Princip technologického postupu děrování při kosém válcování je znázorněn na obr. 1. Předvalek se při kosém válcování otáčí a postupuje ve směru podélných os válců. Ve středové části předvalku se přitom vyskytuje napětový stav, vyvolávající vznik trhliny, která je trnem kalibrována na požadovaný rozměr. Trhlina ve středové části předvalku vzniká daleko před špičkou trnu, jak je vidět z řezu nedoválcovaného předvalku na fotografii obr. 1. Pro jeden případ válcování jsou rozměry válců, trnu a předvalku uvedeny na obr. 2.

* prof. Ing. Pavel Macura, DrSc, Ing. Antonín Fiala: Katedra pružnosti a pevnosti, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba; tel: +420 596 993 598, fax: +420 596 916 490; e-mail: pavel.macura@vsb.cz

2.2. Válcování na poutnické stoličce

Vyděrovaný předvalek se dále válcuje na hotovou trubku na poutnické stoličce. Princip válcování na této válcovací stoličce je ukázán na obr. 3 a tvar a rozměry válce na obr. 4. Válce se otáčejí proti směru pohybu předvalku. Předvalek je volně uložen na kruhové tyči uchycené v podavači předvalku. Válce uchopí podávaný předvalek a jeho část naválcují na kruhovou tyč, která se přitom pohybuje i s předvalem zpět. Po polovině otáčky válců podavač pootočí a posune tyč i s předvalem o určitý krok proti směru otáčení válců, které znovu uchopí a vyválcují další část předvalku. Celý proces se mnohokrát opakuje přes celou délku předvalku. Je zřejmé, že takovýto způsob válcování vyvolává velké dynamické namáhání strojního zařízení. Kupříkladu při otáčkách válců $n = 60 \text{ ot/min}$ a době válcování trubky 3 minuty je válcovací stoličce zatížena během vyválcování jedné trubky 180 rázovými válcovacími silami a rovněž kroutivými momenty. Válcovací proces vyžaduje dokonalý soulad práce podavače s pracovním režimem válcovací stoličce, protože i malé odchylky mohou způsobit nárůst válcovacích sil a momentů. Velký počet lomů válců v poslední době signalizoval určité závady ve vedení technologického procesu a proto se přistoupilo k poměrně rozsáhlému měření silově energetických parametrů válcování a kinematického a časového režimu podavače.

3. Měření válcovacích sil a momentů

3.1. Měření válcovacích sil

Válcovací síly se měřily pomocí siloměrných tenzometrických snímačů 6,3 MN vlastní konstrukce tlakového typu, zabudovaných mezi stavěcí šrouby a ložisková tělesa horních válců. Schématický náčrt snímače a nalepení tenzometrů je uvedeno na obr. 5, jejich zapojení do úplného mostu zabezpečuje teplotní kompenzaci. Snímače byly srovnány na stejný výstup a kalibrovány na kalibračním lisu Škoda 25 MN na VŠB-TU Ostrava. Odchylka od linearit dle kalibračních protokolů byla menší než 0,5%.

3.2. Měření kroutivých momentů

Podkladem pro tenzometrické měření a vyhodnocení kroutivých momentů jsou výstupní signály tenzometrů, nalepených na povrchu vřeten pod úhlem 45° vzhledem k jejich podélným osám. Schéma nalepení a zapojení tenzometrů je uvedeno na obr. 6. Použil se typ CEA-06-250 US-120 od firmy VISHAY, který tvoří čtyři tenzometry pod úhlem 45° na jedné podložce. Tenzometry jsou opět zapojeny do celého mostu, čímž je zaručena teplotní kompenzace výstupního signálu. Ten je nutno přenášet z rotujících vřeten do měřicí ústředny, použil se kontaktní přenos přes měděné pásky a struny.

Protože velikost kroutivých momentů na vřetenech válcovacích stolic nelze jednoduše mechanicky kalibrovat, musí se závislost mezi výstupním signálem tenzometrů a velikostí kroutivého momentu odvodit výpočtem. Pro celý most je dle nauky o pružnosti a pevnosti a tenzometrie tato závislost daná vztahem:

$$M_k = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot E}{16 \cdot 4 \cdot (1 + \mu)} \varepsilon \quad (1)$$

Pro rozměrové a materiálové parametry vřeten poutnické stolice $\varnothing D = 280 \text{ mm}$, což je průměr vřetene v místě nalepení tenzometrů, modul pružnosti v tahu $E = 2,14 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ a Poissonovo číslo $\mu = 0,28$ pro materiál vřeten, pak rovnice (1) přejde do tvaru:

$$M_k = 178 \cdot \varepsilon [\text{Nm}] \quad (2)$$

Zde velikost měřené poměrné deformace ε je nutno dosadit v mikrostrejnech μS ($\mu\text{m/m}$).

3.3. Záznam měřených veličin

Pro záznam měřených veličin se použila šestnáctikanálová měřicí ústředna PORT 2000 firmy DEWETRON. Na základě kalibračních protokolů siloměrných snímačů a odvozené rovnice (2) se naprogramovalo měření a vyhodnocení válcovacích sil a momentů tak, aby zaznamenané veličiny byly v jednotkách $[\text{kN}]$ a $[\text{kNm}]$. Při vlastním měření se na obrazovce ústředny sledovaly měřené veličiny během celého válcování a zaznamenávaly pouze vybrané počty u jednotlivých sortimentů válcovaných trubek.

3.4. Výsledky měření

Výsledky měření, zaznamenané a uložené v paměti měřicí ústředny DEWETRON, se převedly v ASCII kódu do paměti počítače, kde se dále zpracovaly pomocí speciálního programu. Vzhledem k velké dynamice válcovacího procesu byla volena frekvence 500 měření za vteřinu. Při každé otáčce válce se měřily hodnoty válcovacích sil pod levým FL a pravým FP stavěcím šroubem a hodnoty krouticích momentů horního MH a dolního MD vřetena. Výsledky měření byly zpracovány ve formě tabulek s vyhodnocením středních a maximálních hodnot všech měřených veličin a pro některé případy válcování se vytiskly oscilografické záznamy. Jako příklad je na obr. 7 uveden naměřený průběh válcovacích sil a na obr. 8 pak průběh krouticích momentů. Každé maximum odpovídá jedné otáčce válců, na obr. 9 je pak vykreslen zjištěný průběh válcovacích sil i momentů během jediné otáčky válců. Z obrázku je vidět zajímavá skutečnost, že maxima krouticích momentů a válcovacích sil nejsou ve stejném časovém okamžiku během úběru.

Z naměřených maximálních sil a momentů se provedly orientační výpočty napětí ve vybraných strojních součástech. Pro průměr dřívku stavěcího šroubu 170 mm a změřenou maximální válcovací sílu na levém stojanu $4\,823 \text{ kN}$ vychází tlakové napětí:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{S} = 212 \text{ MPa} \quad (3)$$

Maximální smykové napětí v horním vřetení při maximálním změřeném krouticím momentu vychází:

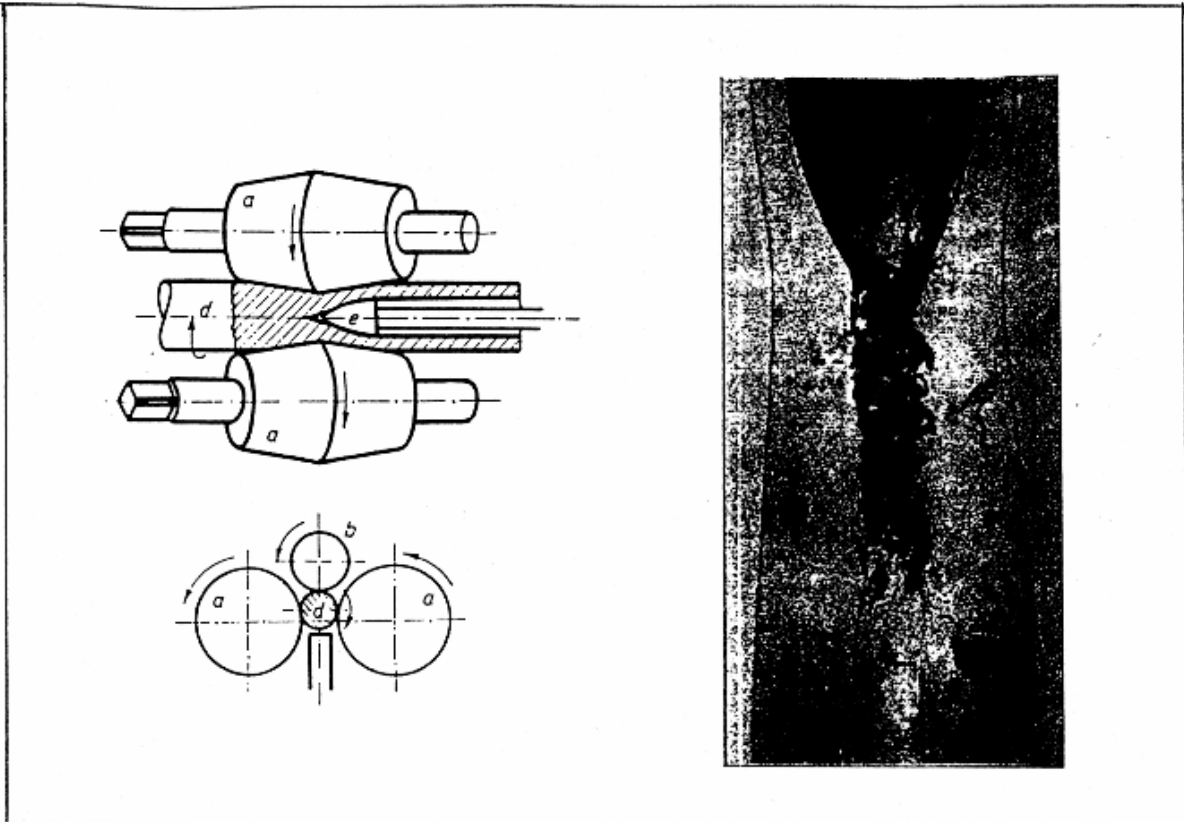
$$\tau = \frac{M_{kmax}}{W_k} = 161 \text{ MPa} \quad (4)$$

4. Závěr

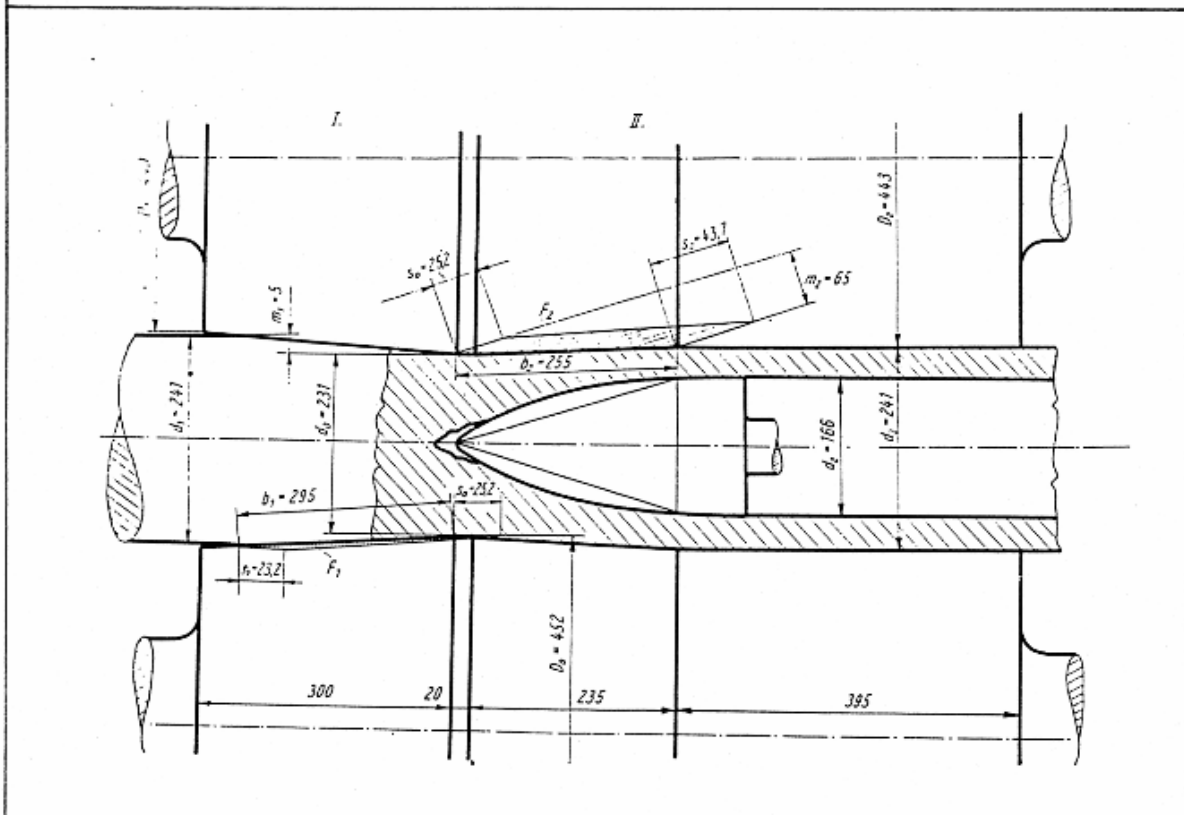
Z výsledků měření válcovacích sil a momentů a vypočtených napětí dle rovnic (3) a (4) je zřejmé, že válcovací stolice je při válcování některých rozměrů trubek přetěžována. Určitou roli zde může sehrát lidský faktor, proto bylo doporučeno průběžné měření válcovacích sil se záznamem a zápisem nadlimitních hodnot. Rovněž se zjistil občasný nesoulad práce podavače s jevem zvaným „zkracování pístnice“. Po něm vzniká skokový nárůst válcovacích sil a momentů, který může vést k lomu válce. Výsledky měření slouží jako podklad pro další analýzu a optimalizaci válcovacího procesu, podrobně jsou uvedeny v práci [1].

5. Literatura

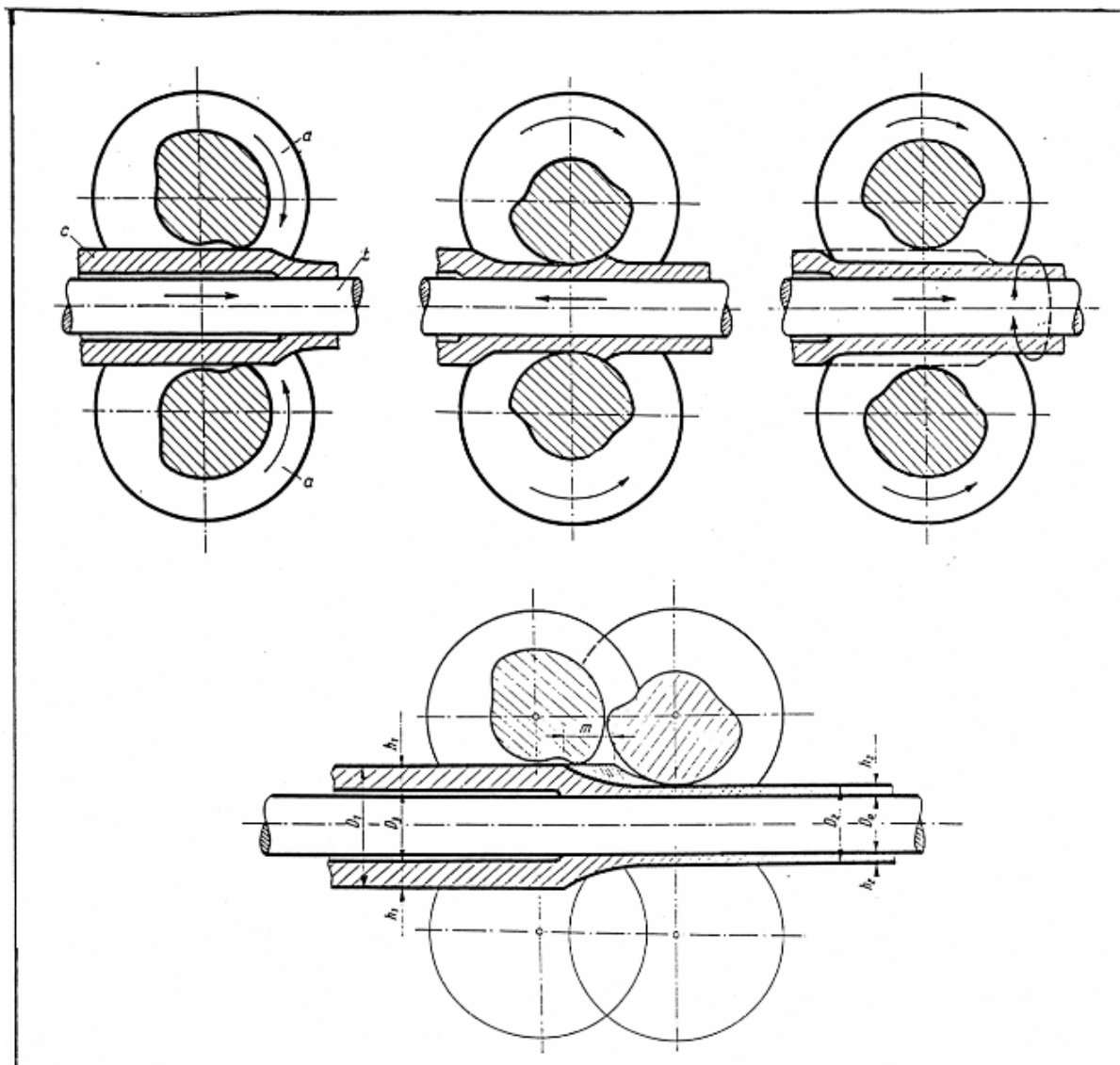
- [1] Macura, P. a kol.: Výsledky měření technologických parametrů válcování na poutnické stolici tratě „VM“ ve VÍTKOVICÍCH. Technická zpráva č. 02 – 05, VŠB-TU Ostrava, červen 2005.



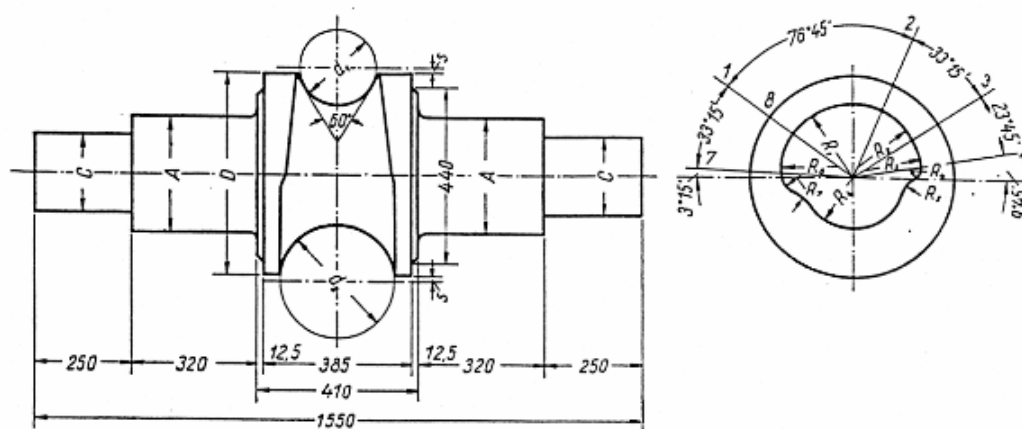
Obr.1: Schéma kosého válcování předvalku a vznik dutiny před trnem



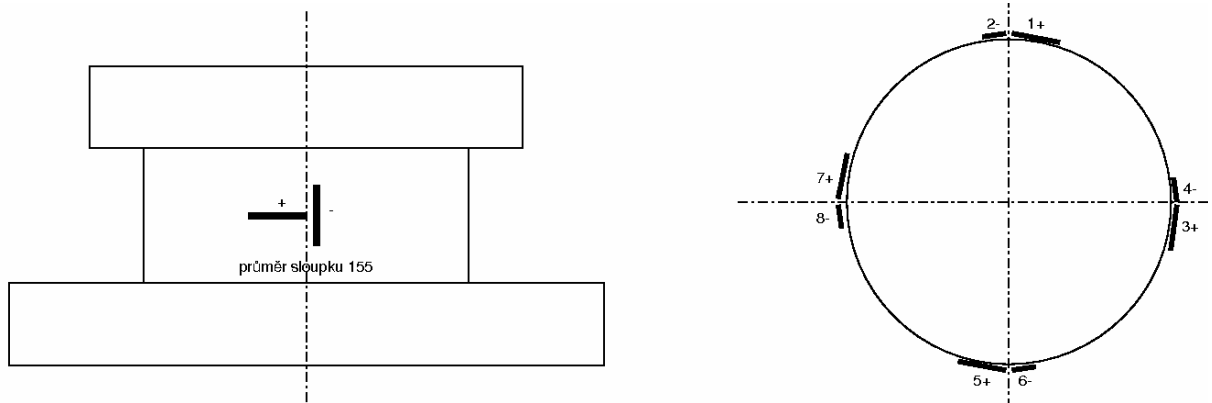
Obr.2: Rozměry válců a trnu při kosém válcování předvalku



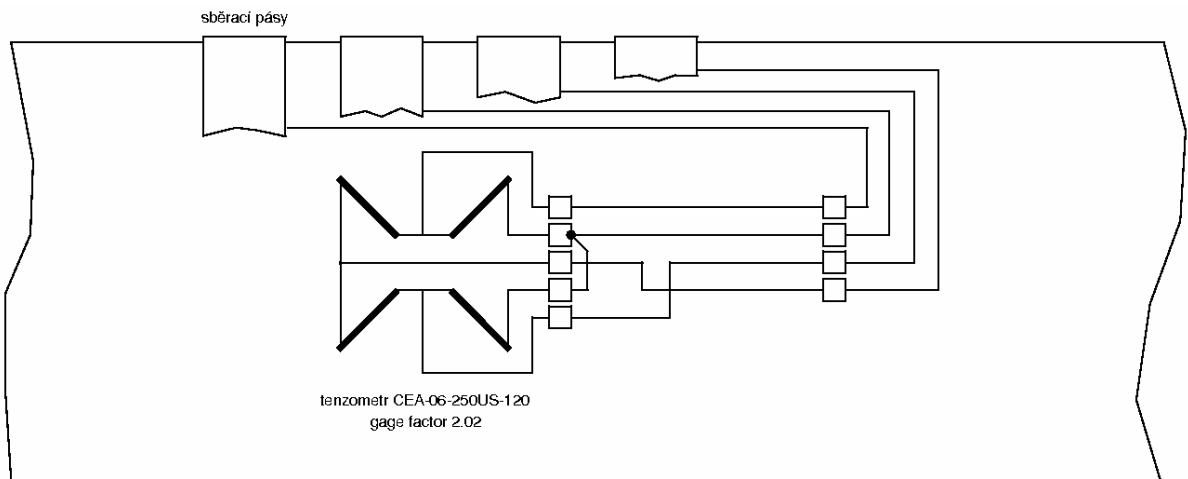
Obr.3: Postup válcování trubky na poutnické stolici



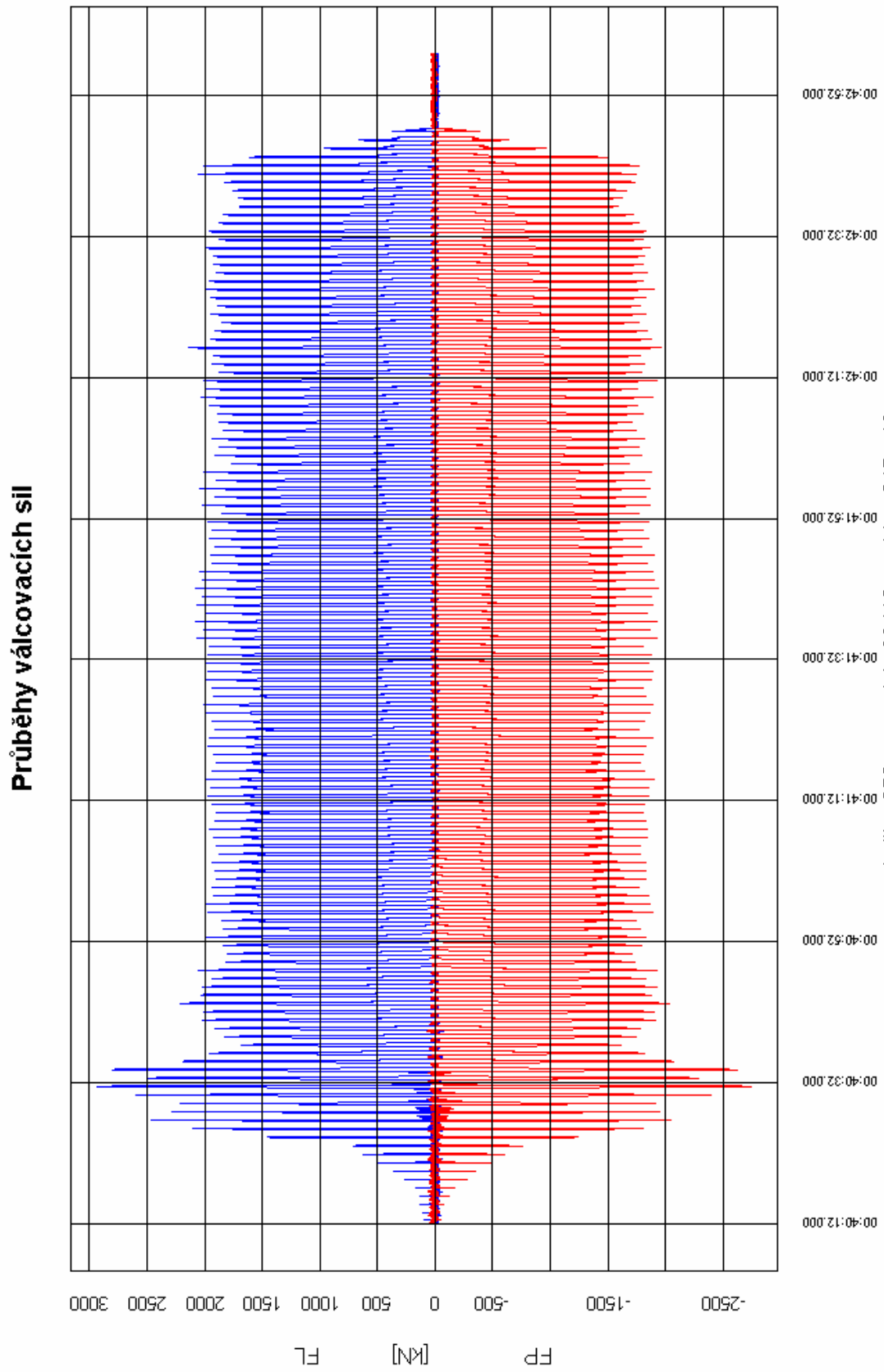
Obr.4: Válec pro válcování trub na poutnické stolici



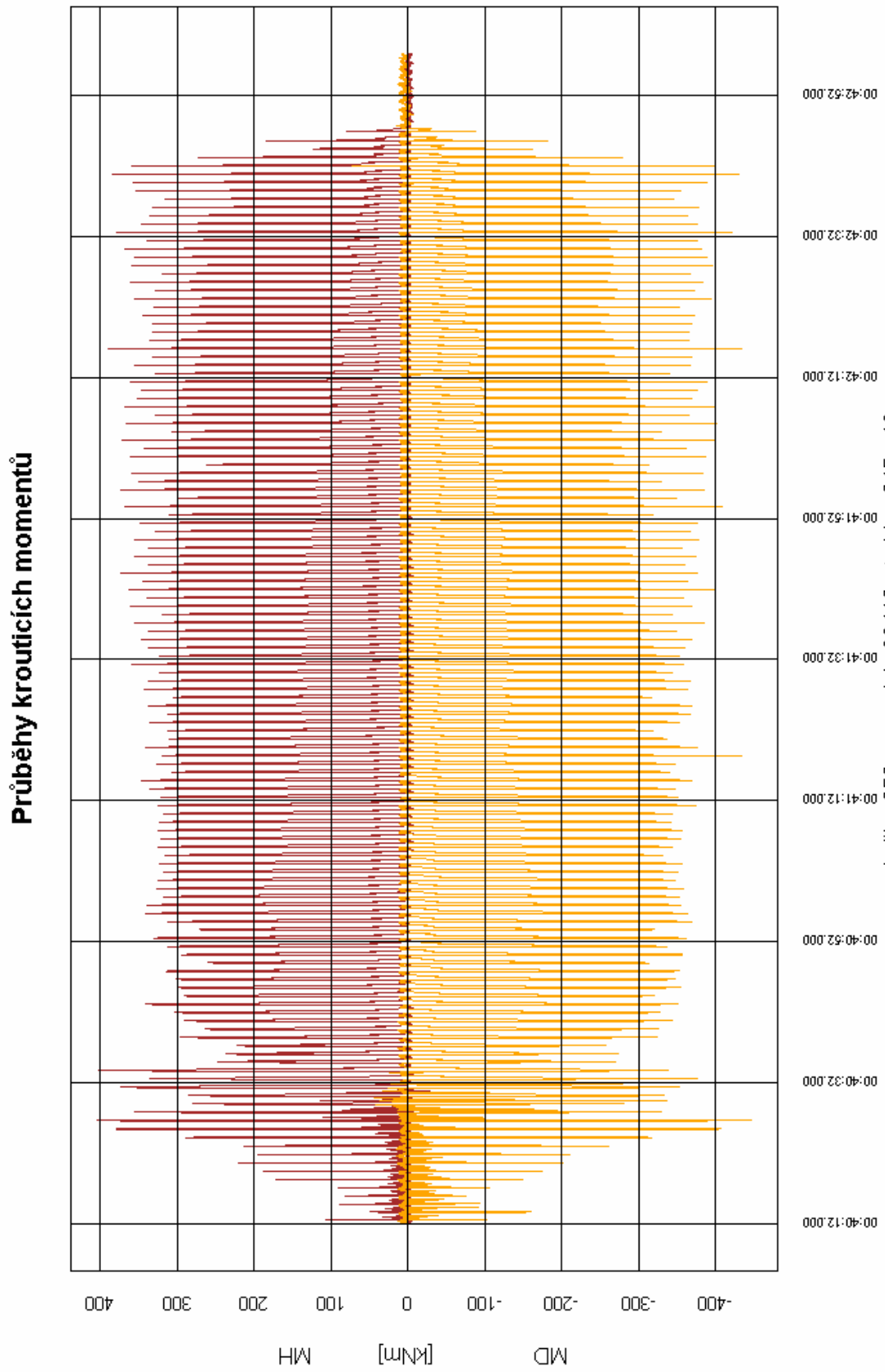
Obr. 5 : Siloměrný snímač 6,3 MN pro válcovnu trub Velký Mannesmann



Obr. 6 : Zapojení tenzometrů pro měření krouticího momentu na vřetenech poutnické stolice

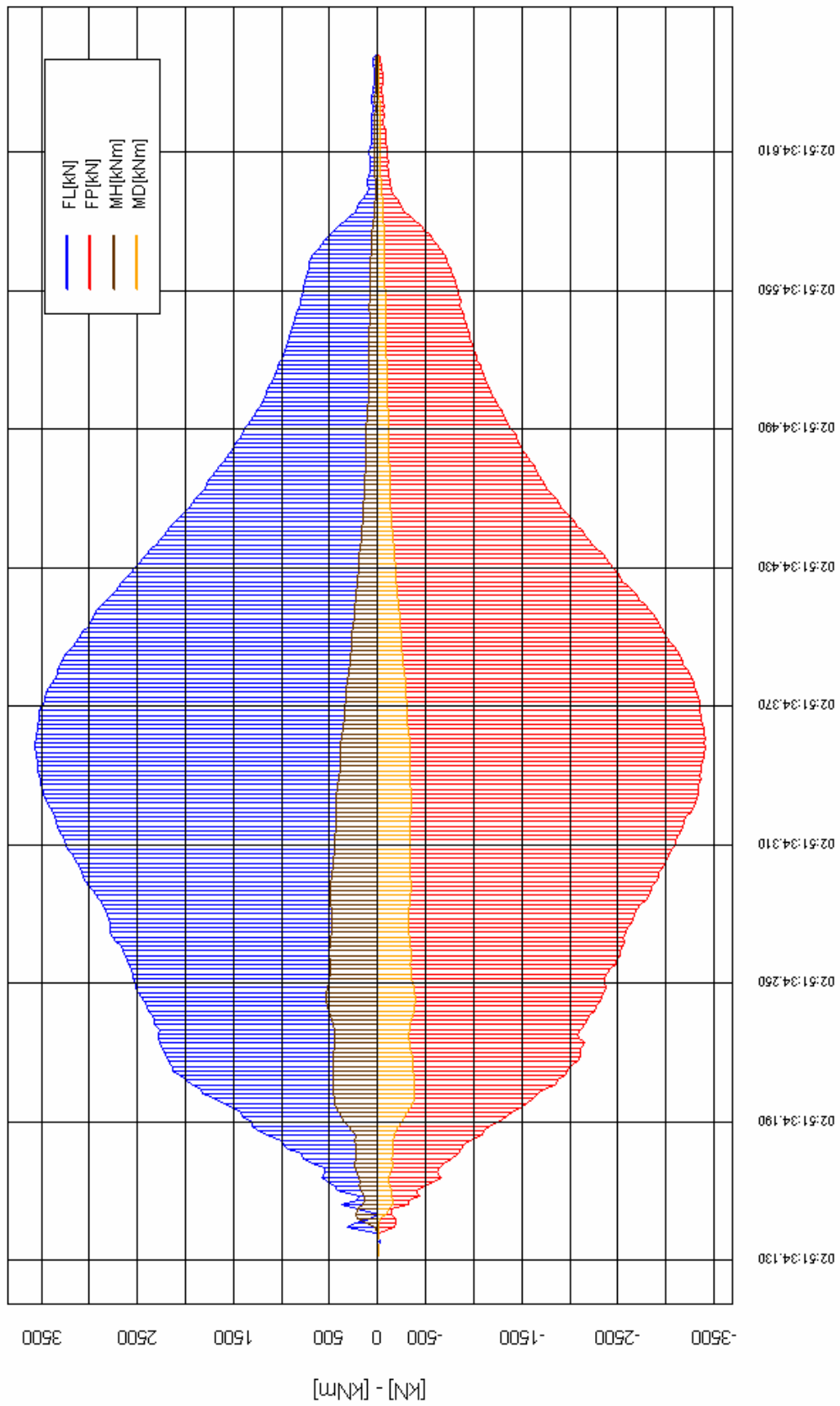


Obr. 7



Obr. 8

Průběhy válcovacích sil a kroutících momentů



kalibr: 361; provalek: 35801; trubka: 355,6 x 10

Obr. 9