

Ing. Oldřich H a v r á n e k, VÚHU

Zkušební s provozem pásových dopravníků s kroužkovými motory a induk-
čními spouštěči na dole Chabařovice

Úvod

Pro dopravu uhlí z nově budovaného lomu Chabařovice je použita rekonstruovaná pásová linka, sestavená z dopravníků o šířce pásu $B = 1200 \text{ mm}$, $v = 4 \text{ m.s}^{-1}$, původně nasazených na skrývce úseku Barbora. Provedená rekonstrukce a přestavba pásové linky byla provedena v režii PKAZ k.p. - Ústí n.L. Rekonstrukční úpravy se mj. týkaly i pohonů pásů, kde byly původní asynchronní motory nakrátko s hydrodynamickými rozběhovými spojkami nahrazeny asynchronními kroužkovými motory s indukčními spouštěči. Dodávku spouštěčů zajistil OKD n.p. Elektrotechnika Praha, motory dodal MEZ n.p. Drásov. Jediná úprava motorů, oproti běžnému provedení, jsou natvrdo pájená čela rotorového vinutí. Každý dopravník je vybaven jednomotorovým pohonem.

Obsahem článku jsou provedená provozní měření na těchto pohonech, kterými byly ověřeny vypočtené hodnoty a průběhy momentů a proudů při jejich rozběhu při variantním zapojení odboček spouštěčů.

Technické údaje motoru a spouštěče

Pro pohon pásu dopravníku byl použit asynchronní kroužkový motor typu MAG 500 M - 4;

výkon motoru P	250 kW
jmenovité napětí U_1	6 kV
jmenovitý proud stat. I_n	29,7 A
jmenovité otáčky n	1487 ot.min^{-1}
jmenovitý moment M_n	1640 Nm; (164 kgm)
max. moment M_{max}	$3,4 M_n$
GD ²	57 kgm^2
rotorové napětí U_2	370 V

rotorový proud I_2	440 A
účinník $\cos \varphi$	0,905
účinnost η	91,9 %

Spouštěč tvoří paralelně spojený Rp odpor odporníku typu 0-14/V s vinutím reaktoru typu 3 TLW 33/14. V sérii s vinutím reaktoru je zapojen ještě Ra odpor odporníku 0-13/III. Vývody odporů a vinutí reaktoru jsou vývedeny na svorky podle označení na obr. 1.

Reaktor je třífázový, vzduchový, s vinutím zapojeným do D, $X = 0,5 \Omega$, 440 A fáz.

Odporový článek Ra = $0,0405 \pm 0,0045 \Omega$; 850 A; 30 s.

Odporový článek Rp = $0,30 \pm 0,05 \Omega$, 500 A; 30 s.

Provozní měření motorů

Potřebná měření byla prováděna po zabudování na poháněcí stanici pásového dopravníku. Účelem měření bylo zjistit průběh momentové charakteristiky a výsledek konfrontovat s vypočteným průběhem. Při měření bylo postupováno podle ČSN 350016 "Rozběhové zkoušky elektrických strojů točivých".

Měření bylo rozvrženo do tří etap:

- a) měření motoru naprázdno
- b) měření při zatížení motoru prázdným pásem
- c) měření při zatížení dopravovaným materiálem

Při měření bylo použito zapojení měřících přístrojů podle obr. 2 a 3.

Měření motoru naprázdno

Při měření byly snímány otáčky motoru, jejich derivace, znázorňující průběh momentu motoru, velikost a průběh proudu statoru. Pro registraci uvedených veličin byl použit osciloskop Tesla OPD 280 XP 83002, jehož registrační stopy byly fotografovány a jednotlivé záznamy odpovídají příslušnému zapojení spouštěče. Uvedené obrázky 4 až 9 dostatečně dokumentují rychlostní, proudové a momentové poměry motoru při jeho rozběhu naprázdno. Přepojování odporových odboček bylo účinné a uplat-

nílo se zejména při provozu zatížených pásových dopravníků.

Uvedené měření motorů bez zatížení prokázalo plynulý průběh momentové charakteristiky bez větších momentových sedel. Rovněž velikost záběrového proudu I_z je přijatelná a pohybuje se podle zařazeného rotorového odporu v mezích $(2 \div 3,5)$ In. Doba rozběhu motoru je závislá na zapojeném odporovém stupni a pohybuje se u nezatíženého motoru od 1,1 s do 2,3 s. Je zřejmé, že pro zatížený motor je nutno rozběhové časy upravit vhodným zapojením odporů, jak již naznačuje následující měření.

Měření při zatížení prázdným pásem

Měření bylo provedeno na tomtéž motoru, instalovaném na dopravníku č. 53, dlouhém $L = 330$ m, šíře pásu $B = 1200$ mm. Jednomotorový pohon pásu byl proměřen stejným způsobem jako v předchozím případě, změřené charakteristiky jsou uvedeny na obr. 10 ÷ 13. Zaznamenaný průběh momentu je informativní. Je ovlivněn pružností pásu a neznámou velikostí rozbíhajících se rotačních (válečky, bubny) a posuvných (pás) hmot a pasivními odpory rozbíhajícího se dopravníku. Časovou osu tvoří vteřinové značky. Jak je zřejmé z jednotlivých záznamů, zkracují se s postupným vyřazováním odporových R_p -stupňů doby rozběhu ze 7 s až na 3,5 s, aniž podstatně vzroste záběrový proud I_z (ze 60 A na 70 A). Při vyřazování odporu R_a se záběrový moment motoru zmenšuje a rozběhové doby se prodlužují.

Protože průběhy proudů i momentů jsou známy z měření motorů na prázdně (bez zatížení), jsou průběhy rozběhů dopravníku zajímavé jen po časové stránce. Jak z dalšího měření vyplývá, je doba rozběhu dopravníku úměrná jeho délce (v porovnání s dopravníkem č. 53).

Měření motoru dopravníku zatíženého materiálem

Po provedených měřeních následovala úprava zapojení spouštěčů na celé lince a zkušební provoz linky s uhlím dobývaným dvěma lžícovými rýpadly.

Protože se projevíly některé závady při rozběhu dopravních pásů dlouhých pásových dopravníků, bylo provedeno měření průběhu napínací síly, rychlosti pásu a poháněcího bubnu při rozběhu nejdelšího doprav-

níku dopravní linky, dopravníku č. 54. Jeho technické údaje jsou:

délka	$L = 904 \text{ m}$
šířka pásu	$B = 1200 \text{ mm}$
rychlost pásu	$v = 4 \text{ m.s}^{-1}$
převýšení	$H = -14 \text{ m}$
dráha napínání pásu	$l = 5,5 \text{ m}$
rychlost napínacího vozíku	$v_n = 0,21 \text{ m.s}^{-1}$
motor napínacího vrátku	$P = 17 \text{ kW}$
otáčky	$n = 978 \text{ ot.s}^{-1}$
převod skříně vrátku	$i = 48,03$
průměr bubnu vrátku	$D = 400 \text{ mm}$

Pro ověření stávajících silových poměrů v dopravním pásu byla provedena měření napínací síly v lanu napínacího vrátku, obvodové rychlosti poháněcího bubnu, rychlosti dopravního pásu za poháněcím bubnem a proudu motoru PD (obr. č.14). Měření byla provedena za suchého počasí s dopravním pásem zčásti naloženým (malý výkon dobývacích strojů) nebo prázdným, s různě nastavenou napínací silou. Na závěr měření rozjezdů pásů bylo provedeno smáčení spodní strany nabíhající větve dopravního pásu vodou z cisternového kropícího auta s cílem stanovení vlivu povětrnostních změn a tím změny koeficientu tření mezi dopravním pásem a bubnem.

Dopravníky nejsou vybaveny automatikou napínání pásu. Napínací síla byla v průběhu měření ručně měněna do maximální hodnoty, dané koncovou polohou napínacího vozíku. Nedostatkem měření bylo, že v důsledku krátké napínací dráhy nebylo možno měřit průběhy rozběhů při vyšší napínací síle.

Charakteristické průběhy rychlostí, napínací síly a proudu motoru jsou uvedeny na obr. č.15 ÷ 17.

Výsledky měření

Na obr. č.15 jsou uvedeny záznamy z průběhu rozjezdu suchého dopravního pásu, rovnoměrně naloženého uhlím po celé délce cca z 30 %. Napínací vozík je vzdálen 0,8 m od koncové polohy maxima napínací drá-

hy. Dopravník byl zaběhnutý předchozí noční směnou. Napínací síla před rozběhem $Z = 6,2 \cdot 10^4 \text{ N}$ ($\approx 6,2 \text{ Mp}$). Zrychlení poháněcího bubnu je téměř rovnoměrné během celého rozběhu motoru a činí $a = 0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Na záznamu rychlosti pásu jsou zřejmé prokluzy v intervalu prvních deseti vteřin. Jsou způsobeny značným poklesem napínací síly hned na počátku rozběhu na $3,2 \cdot 10^4 \text{ N}$. Tento pokles trvá po celou dobu rozběhu (není samočinné doplnění). Po ustálení rychlosti vzroste částečně napínací síla na $Z = 4,1 \cdot 10^4 \text{ N}$, kde v podstatě setrvává po celou dobu následujícího provozu. Napínací síla v měřeném lamu je poloviční, než je uvedeno na měřítkách registračních záznamů. Vzhledem k uspořádání napínacího kladkostroje (obr. č.14) je pak celková síla dvojnásobek měřené síly.

Proud motoru je dán konstantním zapojením rozběhového indukčního spouštěče při všech měřených průbězích i během dalšího provozu a pohybuje se od 70 A do 60 A během rozběhu [tj. $I_2 = (2,4 \div 2) I_n$]. Ustálená hodnota proudu po rozběhu pásu je $I = 20 \text{ A}$, tj. cca 66 % jmenovité hodnoty. Celková doba rozběhu motoru je 26 sekund, pásu 30 sekund. Vlivem nízké napínací síly je během rozběhu patrný trvalý prokluz pásu až do dosažení ustálené rychlosti pásu.

Na obr. č.16 jsou obdobné registrační záznamy, jako na obr. č.15. Dopravník byl naložen uhlím cca z 20 % své kapacity, a to jen v jeho úpadní části (cca 600 m). Rozběh začínal se zvýšenou napínací silou $Z = 7,1 \cdot 10^4 \text{ N}$. Během první fáze rozběhu byla napínací síla dále zvyšována ručním zapnutím motoru napínacího vrátku po dobu cca 4 s (dráha vozíku 0,8 m) až do najetí vozíkem na koncový vypínač.

Z rychlostních záznamů je zřejmé, že rozběh probíhal bez prokluzů, jen s pravidelným kolísáním zrychlení daným podélnými kmity pásu, vnesených do něj počátečním záběrem motoru (počáteční silový rozruch). Dosažení jmenovitých rychlostí poháněcího bubnu i pásu je současné ve 23. sekundě. Průměrné zrychlení počátečního rozběhu (v rozmezí 1 sekund) je $a_{\text{max}} = 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Přesto, že byla během počátku rozběhu zvýšena napínací síla o $1,3 \cdot 10^4 \text{ N}$ (rozdíl předrozběhových napínacích sil - obr. č.16, 17), je registrován pokles síly až na $4 \cdot 10^4 \text{ N}$.

Příčina strmého a značného poklesu napínací síly je mj. v typu použitého pohonu, který se vyznačuje vyšším záběrovým momentem a ve

svém důsledku má podstatný vliv na velikost a průběh poklesu napínací síly pásu.

Obraz č.17 zachycuje průběhy hodnot v , Z , I při rozběhu pásu zatíženého v úpadní části cca 10 % jmenovitého zatížení dopravníku. Na spodní stranu náběhové části pásu byla stříkána voda z kropícího vozu, cisterny. Částečně vlhký pás opět prokluzoval a během rozjezdu se zpozdil o cca 2 sekundy za poháněcím bubnem. Napínací síla opět vykazuje pokles z $8,4 \cdot 10^4$ N před rozběhem, na $4,8 \cdot 10^4$ N během první části rozběhu a na $7,1 \cdot 10^4$ N v ustáleném stavu. Během rozběhu byl napínací vrátek v klidu. Před zastavením dopravníku byla napínací síla snížena o $1,1 \cdot 10^4$ N (uvolnění vozíku o 0,6 m).

Proud motoru byl během rozběhu téměř konstantní, po rozběhu se ustálil na hodnotě 16 A, tj. cca 50 % I_n . Doba rozběhu se oproti předchozím snížila na cca 16 s.

V následujícím dni byl po prostoji v noční směně prováděn rozjezd pásu při napínací síle ($Z = 7,3 \cdot 10^4$ N), celý pás byl mokrá. Předchozí noc klesla teplota slabě pod bod mrazu. Dopravník byl naložen na cca 30 %. Teplota v době rozběhu (9.⁰⁰ h) byla asi 6° C.

Několikrát pokus o rozběh byl provázen mimořádným prokluzem pásu po dobu několika desítek sekund, než byl poháněcí motor automatikou vypnut pro nedodržení rozběhového časového limitu. Tento stav se nezlepšil ani při dopnutí pásu na koncovou polohu vozíku ($Z = 8,4 \cdot 10^4$ N). Teprve při soustavném vhazování korkové drti mezi pás a poháněcí buben (za účelem zvýšení koeficientu tření) se situace částečně zlepšila, značný prokluz však trval. Toto se opakovalo i při dalších rozbězích pásu. Pás dosáhl jmenovité rychlosti až po částečném vysušení.

Vyjdeme-li z hodnot předcházejících měření je zřejmé, že při počáteční (klidové) napínací síle $Z = 8,4 \cdot 10^4$ N klesne tato hodnota při rozběhu minimálně o $3 \cdot 10^4$ N, tj. na $5,4 \cdot 10^4$ N. Tato hodnota je v mnoha případech pro bezprokluzový rozběh pásu PD č.54 nedostatečná. Pro ověření těchto poznatků byl proveden výpočet potřebné napínací síly pásu PD č.54. Z parametrů pásu, dopravníku a charakteru pohonu vychází rozběhová $Z_R = 8,8 \cdot 10^4$ N, tj. klidová napínací síla $Z = 12 \cdot 10^4$ N. Pokud jde o bezpečnost pásu je možno připustit $Z_{max} = 17 \cdot 10^4$ N.

Závěr

Volba pohonů pásů kroužkovými asynchronními motory s indukčními spouštěči na PD dopravujících uhlí na dole Chabařovice směřovala především ke zvýšení spolehlivosti provozu bezobslužných pásových dopravníků. Po této stránce byly již získány určité kladné zkušenosti z provozu obdobného pohonu na Velkolomu Maxim Gorkij v Bílině.

Provedená a ve zprávě uvedená měření dále prokázala, že použitý spouštěč v součinnosti s motorem MAG 500-4M, $P = 250$ kW vytváří vhodnou poháněcí jednotku s příznivou a v dostatečně širokých mezích nastavitelnou momentovou charakteristikou. Rovněž statorový proud motoru je během rozběhu velmi příznivý a nepřesahuje u uvažované realizace zapojení spouštěče hodnot $(2,5 \div 3) I_n$. Větší rozběhový moment lze z části ovlivnit zmenšením nebo vyřazením sériového R_a odporu indukčního spouštěče. Vzhledem k různým délkám dopravníků ($160 \div 904$ m) a k různým dopravním výškám je nutné individuální přizpůsobení spouštěčů zapojením příslušných odporových odboček.

Pro bezprokluzový rozběh je nutno pracovat s dostatečně velkou napínací silou dopravních pásů, kterou lze konstrukčními úpravami docílit. Dále je nutné, aby byla zajištěna správná funkce brzd napínavých vrátek. U delších dopravníků bude výhodné instalovat automatiku napínání pásů.

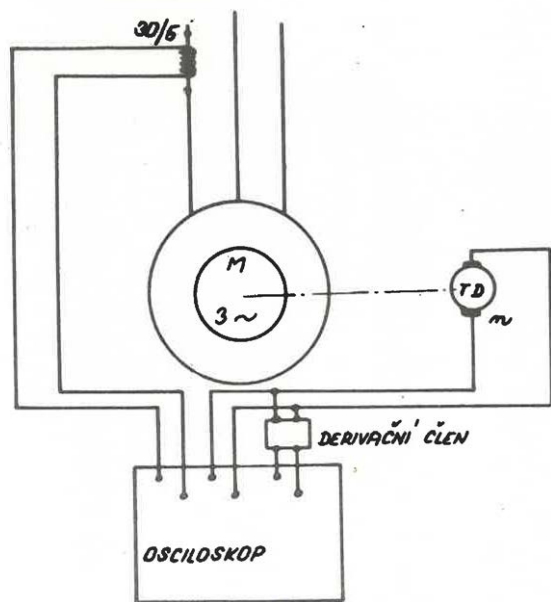
Recenzoval: Ing. Rudolf Svoboda

S h r n u t í

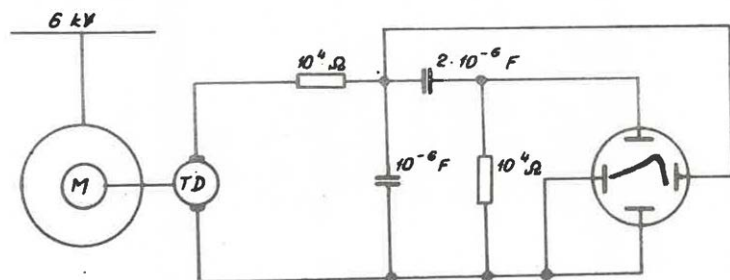
Zkušenosti s provozem pásových dopravníků s kroužkovými motory a indukčními spouštěči na dole Chabařovice

Článek pojednává o zkušenostech s pohony dopravních pásů motory kroužkovými s indukčními spouštěči. Provedená měření dokumentují vhodný průběh momentové charakteristiky i přijatelnou velikost statorového proudu během rozběhu pásu. Měření dále prokázalo nutnost zvýšit napínací sílu pásu při jeho rozběhu.

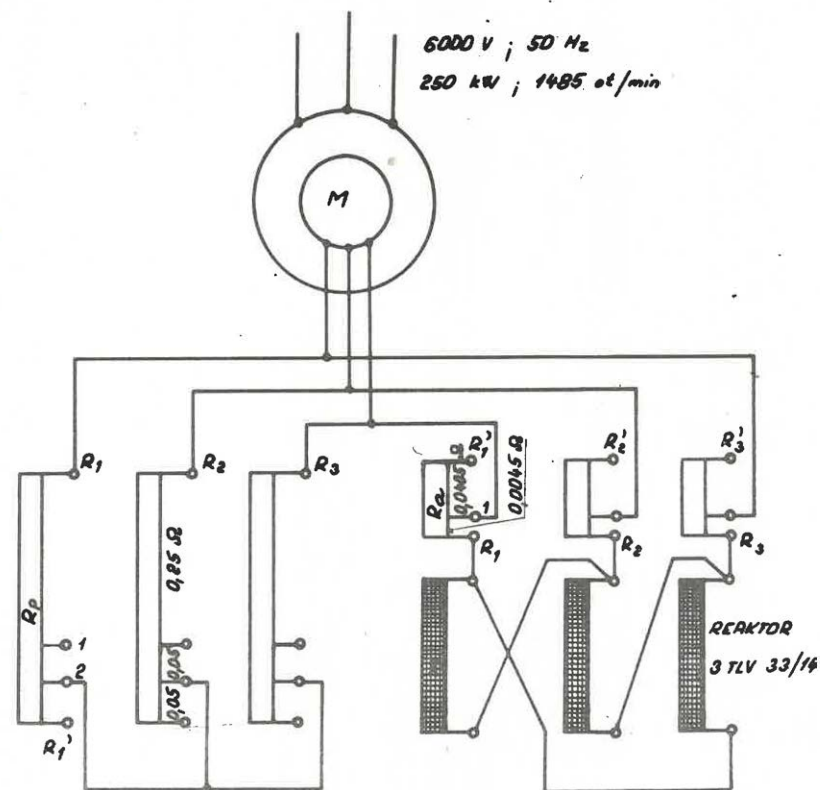
V článku uvedený jednoduchý pohon pásů podstatně zvýší spolehlivost bezobslužné pásové dopravy.



Obr. 2 ZAPOJENÍ MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ PŘI MĚŘENÍ ROZBĚHŮ MOTORU.

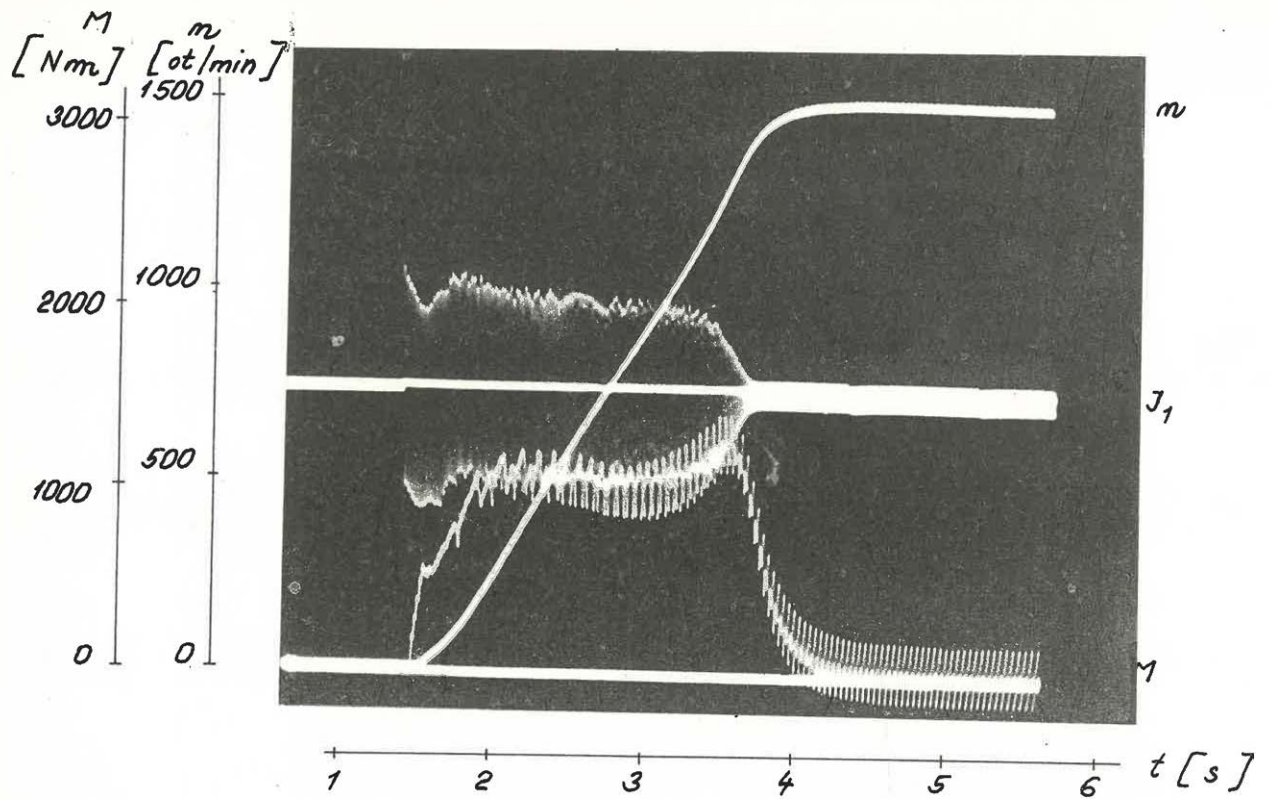


Obr. 3 SCHÉMA ZAPOJENÍ ELEKTRICKÉHO DERIVAČNÍHO ČLENU S FILTRACÍ (ČSN 35 00 16)

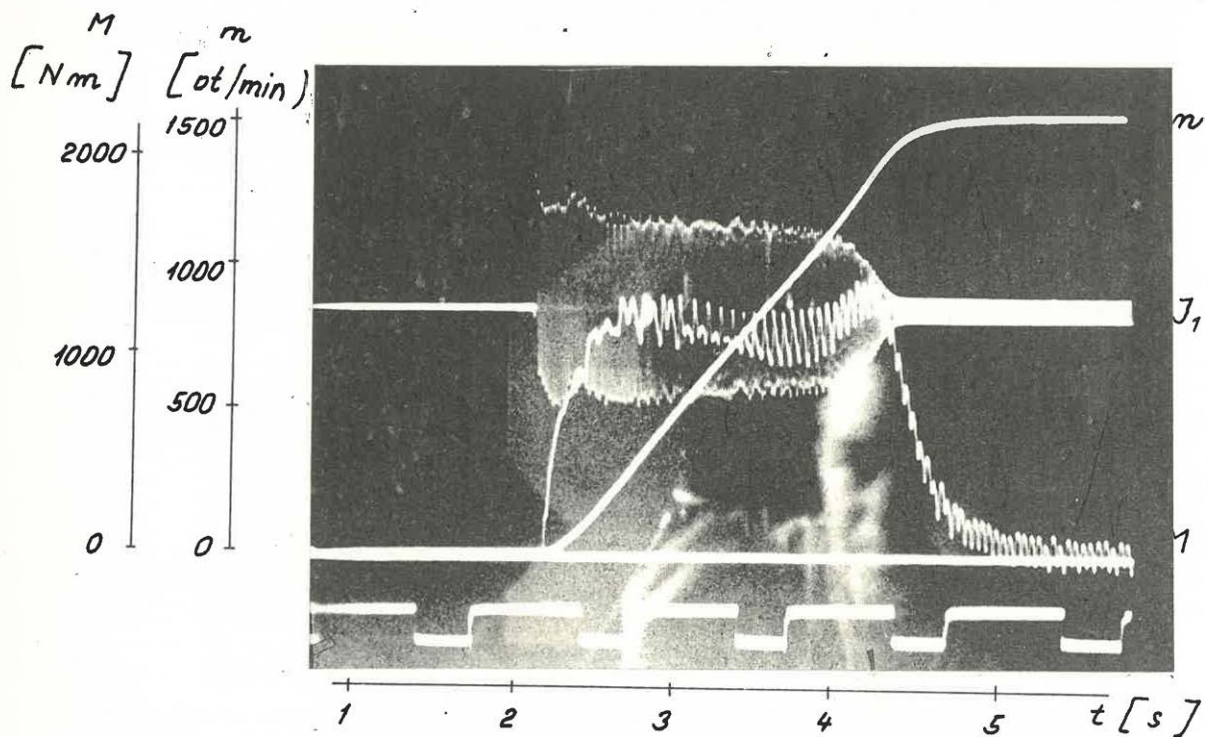


Obr. 1 SCHÉMA ZAPOJENÍ MOTORU S INDUKČNÍM SPOUŠTĚČEM.

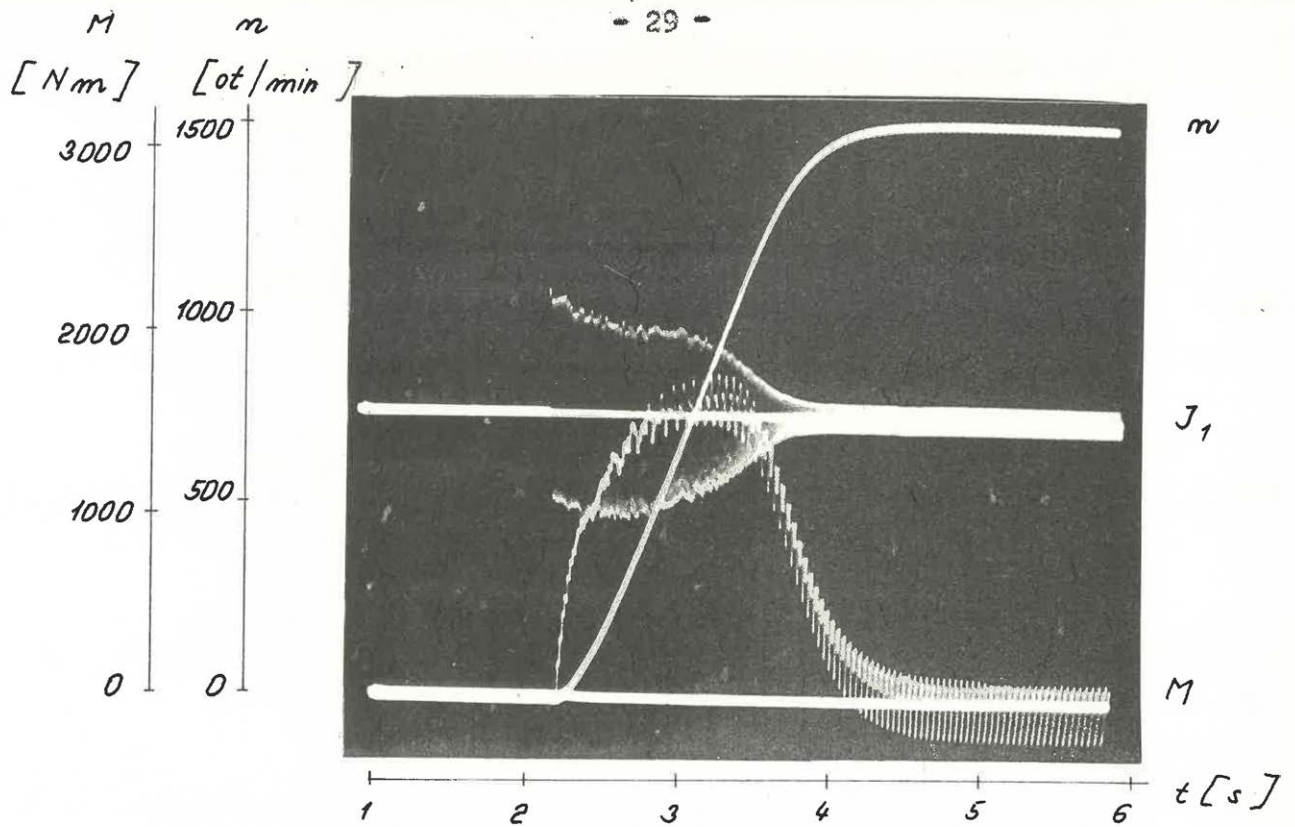
Obr. 1



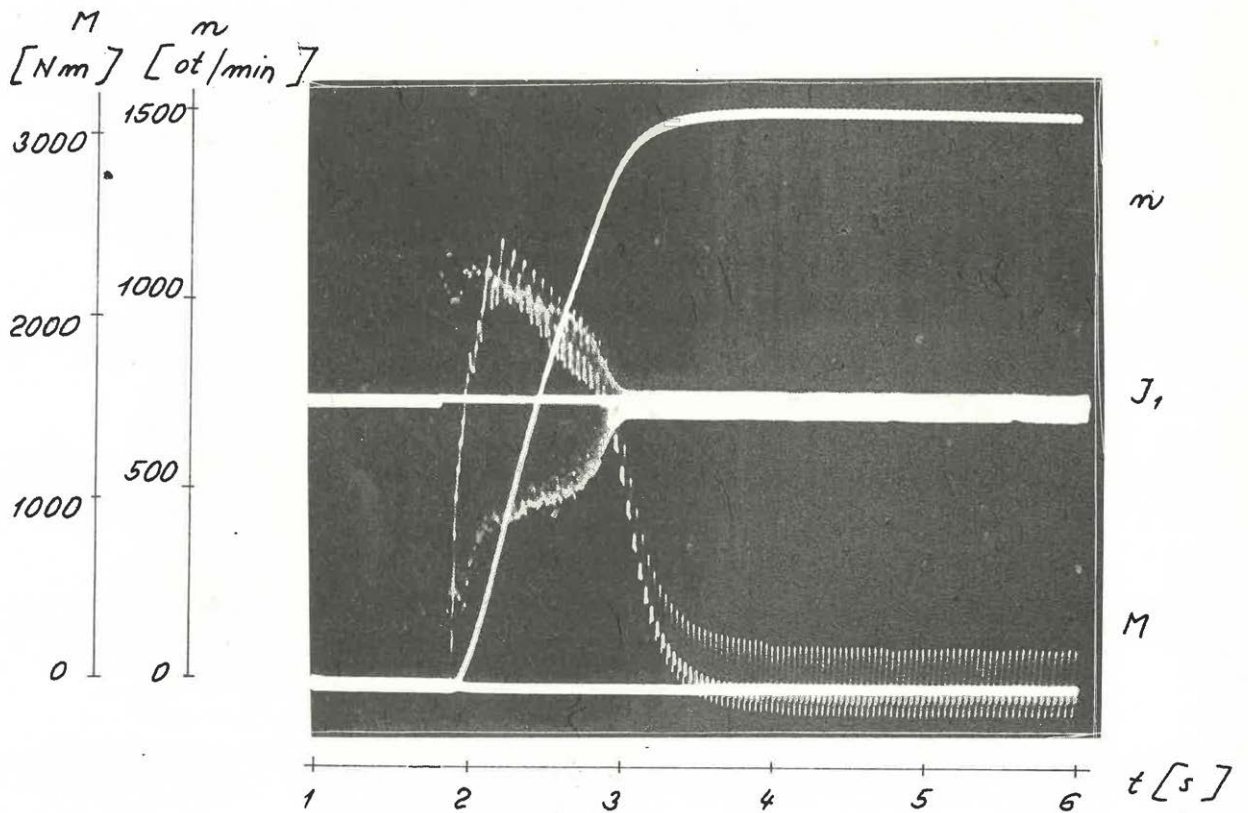
Obr. 4 MOTOR NAPRAZDNO ; $R_p = 0,35 \Omega$; $R_a = 0,0045 \Omega$
 $J_z = 60 \text{ A}$.



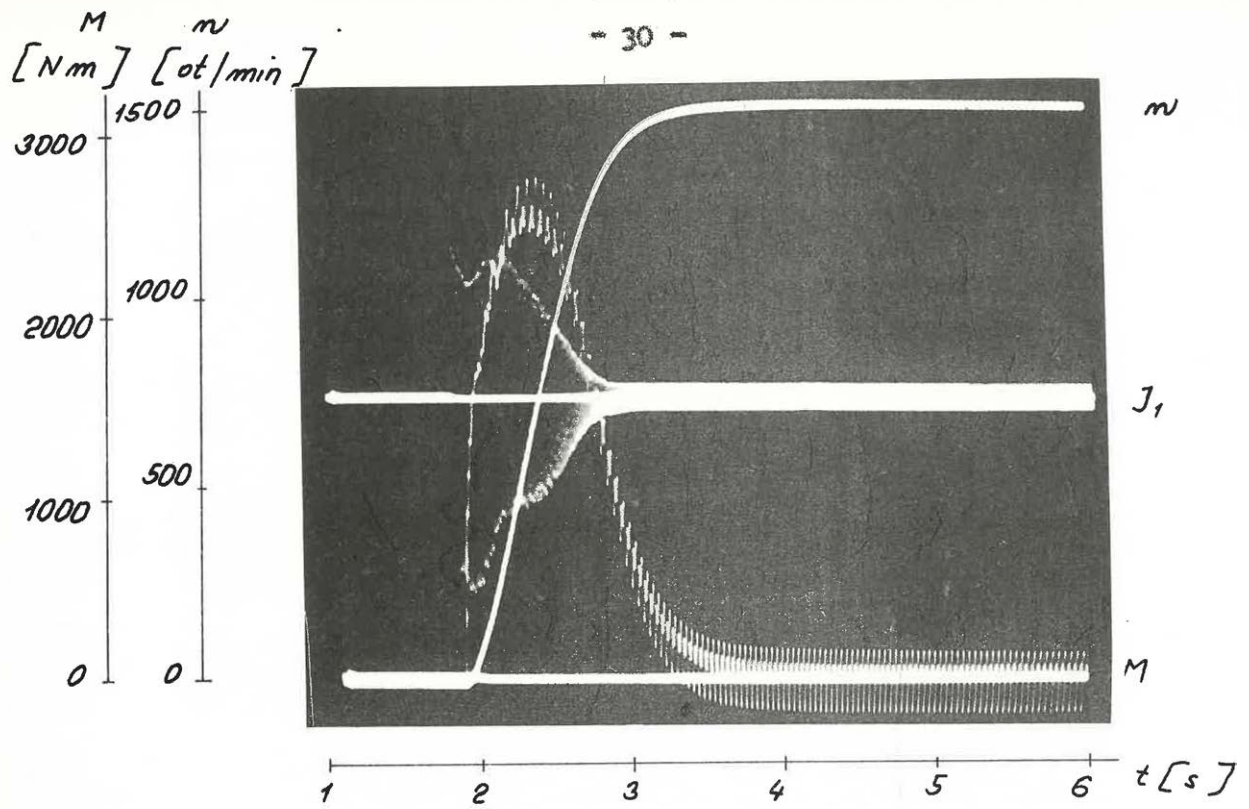
Obr. 5 MOTOR NAPRAZDNO ; $R_p = 0,30 \Omega$; $R_a = 0,0045 \Omega$; $J_z = 70 \text{ A}$



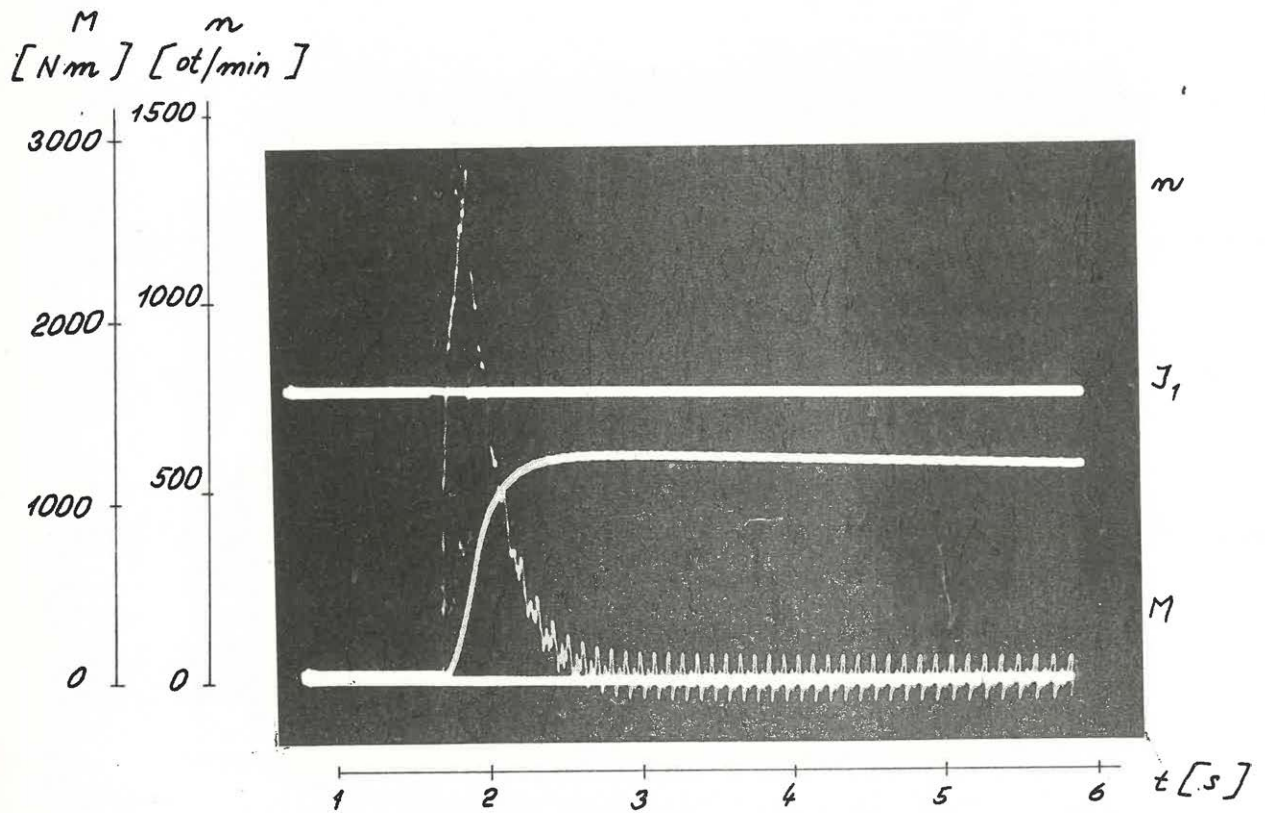
Obr. 6 MOTOR NAPRAZDNO ; $R_p = 0,35 \Omega$; $R_a = 0,045 \Omega$; $J_z = 70 A$



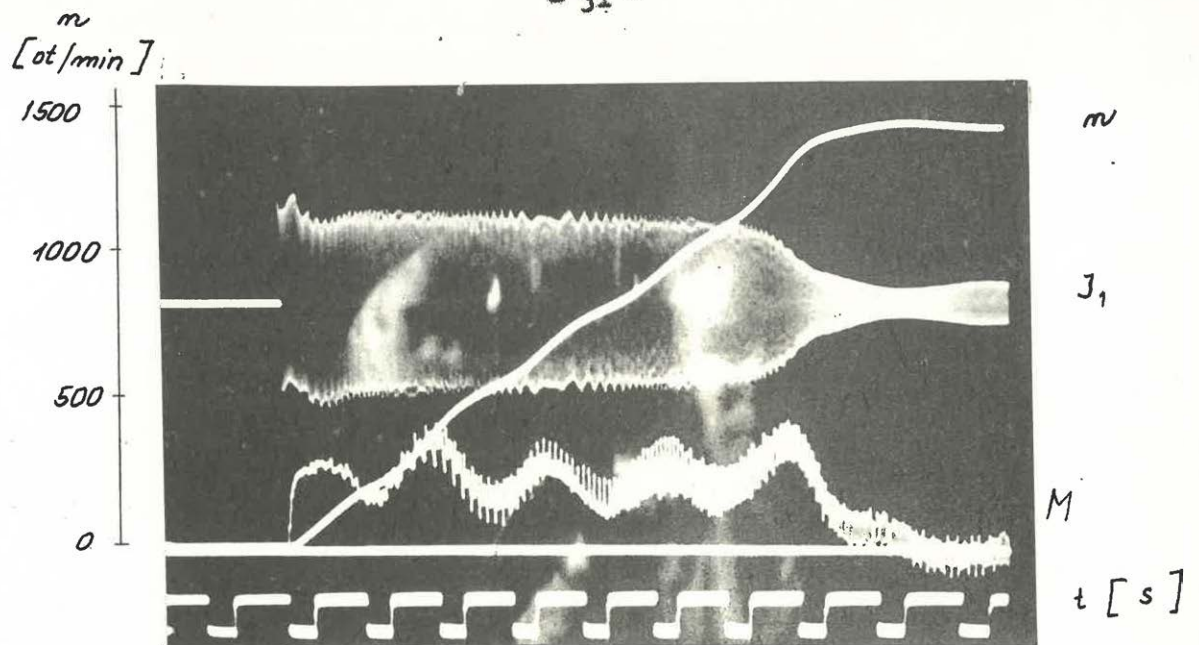
Obr. 7 MOTOR NAPRAZDNO ; $R_p = 0,1 \Omega$; $R_a = 0,0045 \Omega$; $J_z = 105 A$



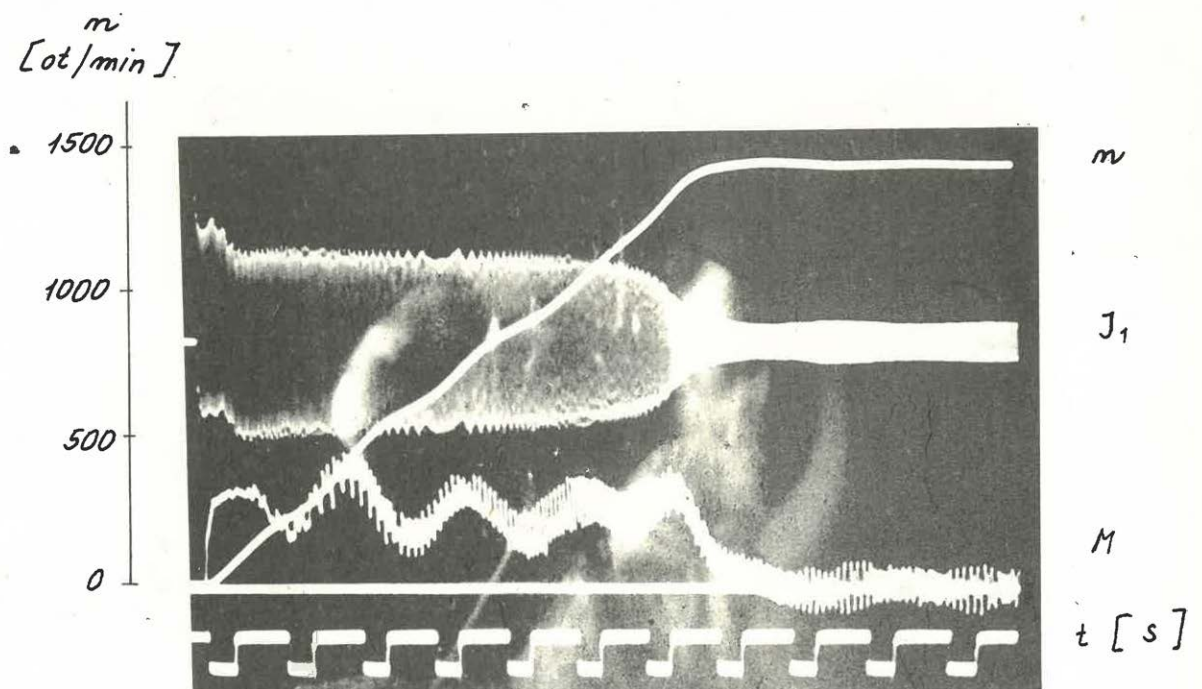
Obr. 8 MOTOR NAPRAZDNO ; $R_p = 0,1 \Omega$; $R_a = 0,045 \Omega$; $J_z = 110 A$



Obr. 9 MOTOR NAPRAZDNO ; $R_p = 0,05 \Omega$; $R_a = 0,0045 \Omega$; $J_z = 180 A$
 VÝPADEK NADPROUDOVÉ OCHRANY.



Obr. 10 MOTOR S PRAZDNÝM PÁSEM ; $L = 330 \text{ m}$; $R_p = 0,35 \Omega$;
 $R_a = 0,0045 \Omega$; $J_z = 60 \text{ A}$



Obr. 11 MOTOR S PRAZDNÝM PÁSEM ; $L = 330 \text{ m}$; $R_p = 0,30 \Omega$;
 $R_a = 0,0045 \Omega$; $J_z = 65 \text{ A}$

n
[ot/min]

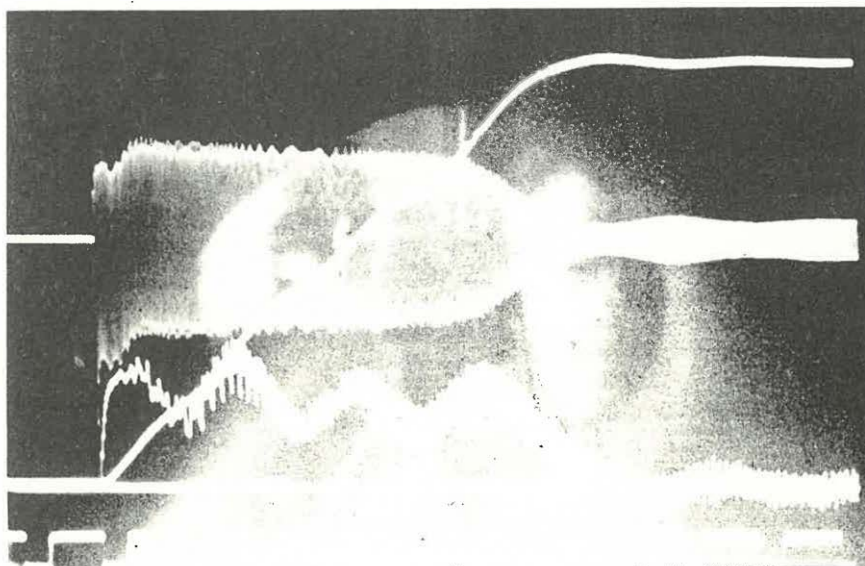
- 32 -

1500

1000

500

0



n

J_1

M

t [s]

Obr. 12 MOTOR S PRAŽDNÝM PÁSEM ; $L = 330m$; $R_p = 0,25 \Omega$;
 $R_a = 0,0045 \Omega$; $J_z = 70 A$.

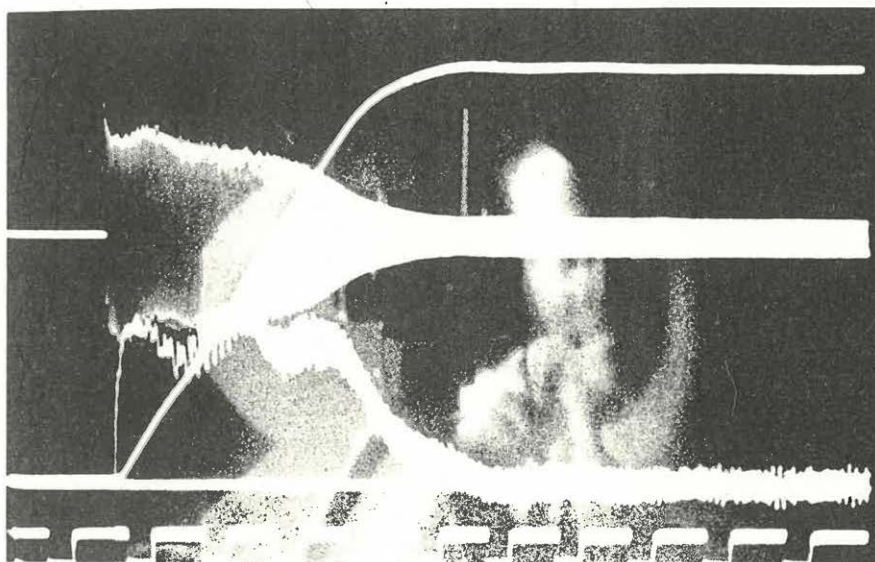
n
[ot/min]

1500

1000

500

0



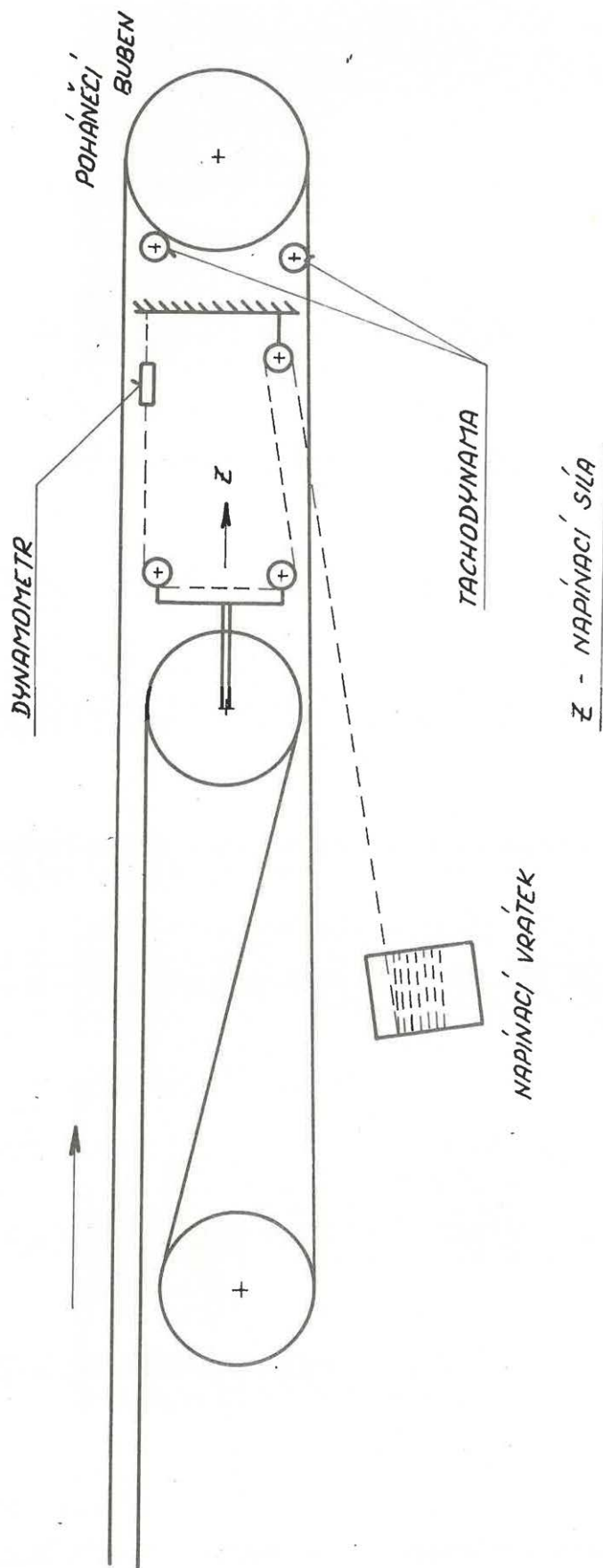
n

J_1

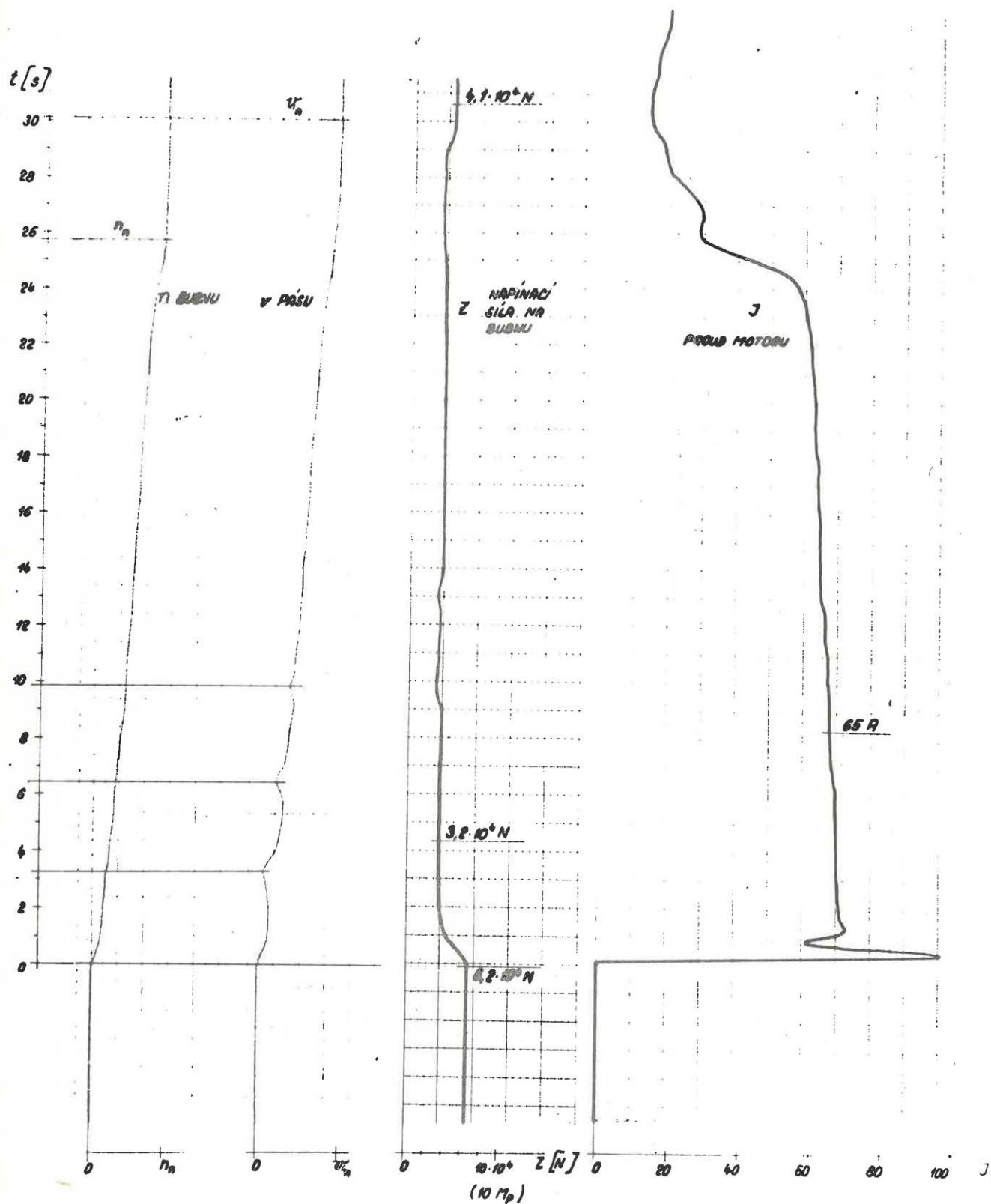
M

t [s]

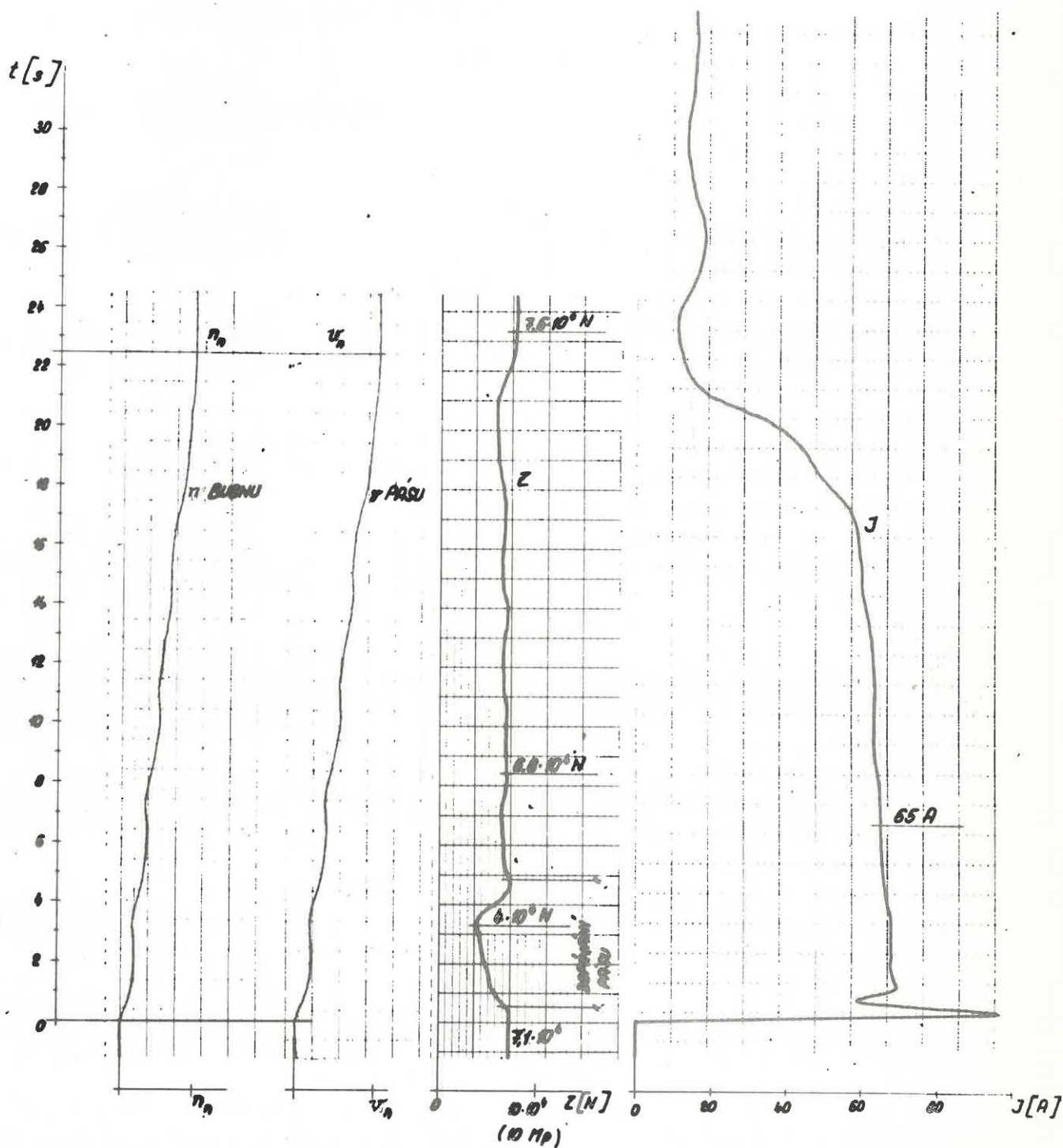
Obr. 13 MOTOR S PRAŽDNÝM PÁSEM ; $L = 330m$; $R_p = 0,25 \Omega$;
 $R_a = 0,045 \Omega$; $J_z = 70 A$.



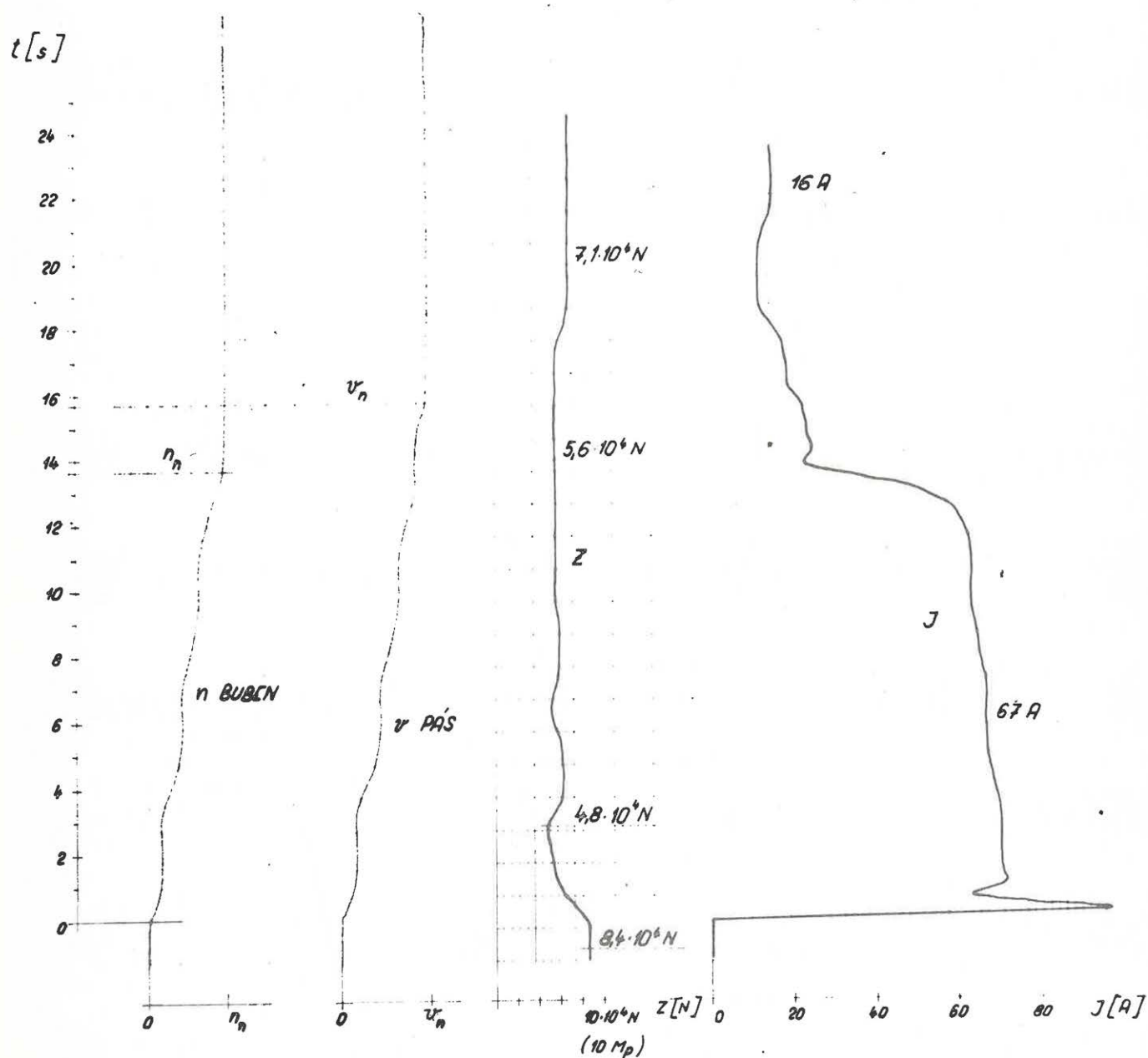
SCHEMA POHÁNĚCÍ STANICE PD č. 54 S UMÍSTĚNÍM PŘÍSTROJŮ



Dbr. 15 PRŮBĚHY RYCHLOSTI, NAPÍNAČÍ SÍLY A PROUDU PŘI ROZBĚHU PÁSŮ
PD č. 54, ZATÍŽENÍ MATERIÁLEM cca 30%, SUCHÝ PÁS



Obr. 16 PRŮBĚHY RYCHLOSTI, NAPÍNAČÍ SILY A PROUDU PŘI ROZBĚHU PÁSU.
PD č. 54, ZATÍŽENÍ cca 20%, BĚHEM ROZBĚHU DOPÍNÁNÍ PÁSU,
SUCHÝ PÁS.



Obr. 17 PRŮBĚHY RYCHLOSTI, NAPÍNAČÍ SILY A PROUDU PŘI ROZBĚHU PÁSU
PD č. 54, ZATÍŽENÍ cca 10 %, KONSTANTNÍ PŘEDEPNUTÍ, VLHKÝ PÁS