

Ing. Rudolf S v o b o d a, VÚHU

Pohony pásových dopravníků na povrchových dolech SHR

Rozvoj těžby hnědého uhlí na povrchových dolech s pásovou dopravou je podmíněn nasazením technologických celků (TC) o vysokých výkonech ($Q \geq 10\,000\text{ m}^3\text{ sz/h}$). S ohledem na ekonomii provozu je pak nutno požadovat vysokou spolehlivost jednotlivých zařízení TC. Jedním z hlavních problémů, které řeší tento požadavek je u DPD zvýšení délek pásových dopravníků a tím snížení počtu sekcí v dopravní lince TC. Tento požadavek lze splnit za předpokladu použití poháněcích stanic s velkým instalovaným výkonem a nasazením vysokopevnostních pásů. V současné době jsou na poháněcích stanicích instalovány pohony o výkonech až $4 \times 500\text{ kW}$, rozpracované je řešení s použitím pohonů $4 \times 630\text{ kW}$ a ve vývoji jsou řešeny poháněcí stanice s instalovaným výkonem $4 \times 1000\text{ kW}$. Až doposud byly používány pohony s rozběhovou hydraulickou spojkou. Uvedené vývojové tendence a určité provozní potíže vyplývající z nerovnoměrnosti rozložení výkonů na jednotlivé pohony poháněcí stanice, poruchovosti a nutnou častou pravidelnou údržbou hydraulických rozběhových spojek, jakož i neúspěšné výsledky s použitím pohonu s kroužkovými motory a kapalinovými spouštěči si vyžádaly zabývat se výzkumem perspektivního pohonu. Provádí se laboratorní a provozní měření podle metodiky zpracované ve VÚHU Most k prověření následujících typů pohonů:

- trojfázový asynchronní motor s kotvou nakrátko a rozběhovou hydraulickou spojkou ČKD Blansko
- trojfázový asynchronní motor kroužkový s odporovým stupňovým spouštěčem
- trojfázový asynchronní motor kroužkový s indukčním spouštěčem neřízeným
- trojfázový asynchronní motor kroužkový s indukčním spouštěčem řízeným podle velikosti točivého momentu (transduktorem)
- trojfázový asynchronní motor s kotvou nakrátko s dvojitou klecí, respektive kotvou s hlubokými drážkami bez rozběhových elementů (vyrobené v PLR).

Vývoj pohonů pásových dopravníků v ČSSR

Vývoj a konstrukci pohonů DPD po roce 1960 ovlivnily příznivé zkušenosti z provozu dolu Ant. Zápotocký v Užíně (DAZ), který byl jako první z dolů v SHR vybaven pásovou dopravou s pásy o šířce $B = 1000$ mm a jednomotorovými poháněcími jednotkami, obsahujícími třífázové asynchronní motory s kotvou nakrátko a rozběhovou hydraulickou spojkou Voith z NSR. Na dalších dolech SHR byly již použity hydraulické spojky vyvinuté a vyrobené v ČSSR, v národním podniku ČKD Blansko. V počátcích zavedení těchto spojek vznikly provozu i dodavatelům určité potíže jednak v zajištění jejich spolehlivé funkce, u vícemotorových pohonů pak navíc v nerovnoměrném zatížení jednotlivých motorů. Několikaletá práce na postupném odstranění konstrukčních nedokonalostí hydraulických spojek přispěla k dosažení uspokojivých provozních poměrů na současných pásových dopravnících. Byly získávány poznatky o nutnosti výběru paralelně pracujících motorů se stejnou momentovou charakteristikou, zkušenosti s dvoububnovým pohonem a ověřeno chování dopravního pásu při rychlostech do $6,3$ m/s. Do značné míry má zásluhu na nízké poruchovosti pohonů dobře organizovaná údržba účelně upravených hydraulických spojek i včasné zjištění vznikajících poruch, jako je netěsnost v hydraulickém okruhu, indikace nadměrného oteplení a podobně.

Na dole Markur probíhal mimo uvedeného směru vývoje krátkou dobu zkušební provoz dvumotorové poháněcí stanice pásového dopravníku o šířce pásu $B = 1600$ mm s třífázovými asynchronními kroužkovými motory, ovládanými časově řízenými kapalinovými spouštěči. Pro různé konstrukční nedostatky (poruchy servopohonu pro pohyb elektrod, potíže s kartáči motorů) byly uvedené motory nahrazeny motory s kotvou nakrátko a s hydraulickými rozběhovými spojkami.

Jako další pohonný systém byl zkoušen na dole A. Zápotocký asynchronní motor s kotvou nakrátko spolu s regulační elektromagnetickou spojkou Elcotron (Francie). Po funkční stránce tato spojka vyhovovala, ale pro příliš vysokou cenu se nerozšířila. Tato spojka je určena především pro regulační proces s trvalým proměnlivým skluzem, jako například ve válcovnách a podobně.

Současné pohony pásových dopravníků do šířek pásů $B = 2000$ mm na povrchových dolech SHR jsou proto realizovány převážně asynchronními

motory nakrátko a hydraulickými rozběhovými spojkami ČKD Blansko.

Na velkodole Maxim Gorickij v Bílině (VMK) se v současné době provozně zkouší jiný pohonný systém, a to asynchronní kroužkové motory s odporovými stupňovými spouštěči. Tímto druhem pohonu je vybaven pásový dopravník č. 104 na skrývce, a to třemi jednotkami o výkonu po 500 kW. Toto řešení si vyžádal neobvyklý podélný profil uložení zmíněného dopravníku, který je z části úpadní. Pro zajištění stálé provozní rychlosti pásu bylo zvoleno pevné spojení poháněcích jednotek s hnacími bubny bez použití obvyklých hydraulických rozběhových spojek. Protože se jedná o nový druh pohonu DPD, bylo rozhodnuto provést na něm provozní měření, sledování poruchovosti a opotřebení dílů tohoto zařízení.

Pohonné jednotky mají tyto technické údaje:

Motor - typ KT 243 - 4

výrobce:	MEZ Drásov
jmenovitý výkon P	500 kW
statorové napětí U_1	6000 V, 50 Hz
jmenovitý proud statoru I_1	57,5 A
rotorové napětí U_2	890 V
rotorový proud I_2	355 A

Spouštěč - typ: OSS - III S

odporový stupňový, přepínaný servomotorem	
chlazený olejem	
záběrový moment	$1,5 M_n$
hustota spouštění	0,5/h
doba spouštění	$t_s = 40 \text{ s}$

Skluzevé odpory - typ RO - 1, chlazené vzduchem.

Zkušební provozem a provedenými měřeními bylo ověřeno, že rozběh prázdného i loženého pásu je plynulý a nedochází k prokluzům na poháněcích bubnech. Zrychlení dopravního pásu dosahuje hodnoty $0,625 \text{ m.s}^{-2}$ při rozběhu bez zatížení. Doba rozběhu dopravního pásu se pohybuje okolo 36 s a je určena časovým programem spouštěče.

Maximální proud byl naměřen u motorů v okamžiku rozběhu 58 A, což je přibližně jejich jmenovitá hodnota proudu. Úbytek napětí na poháněcí stanici je proto velmi nízký. Na obr. č. 1 je uveden průběh proudového zatížení u jednoho motoru při rozběhu dopravníku. Přesto, že nedochází k nadměrnému proudovému zatěžování motorů, byly zjištěny po 640 hodinách provozu rýhy na kroužcích všech sledovaných motorů a jejich uhlíkách typu 0,67. Tyto závady byly projednány s výrobcem motoru. S ohledem na nežádoucí opotřebení byly doporučeny jiné typy uhlíků (K 43), které se osvědčily.

Pro zlepšení a zjednodušení pohonu pásové dopravy byl hledán systém, který by byl vybaven jednoduchým spouštěcím zařízením, které by umožnilo rychlý a plynulý rozběh pásového dopravníku s proudovým zatížením, přiměřeným důlní napájecí soustavě.

V rámci státního úkolu "Automatizace technologických celků a řízení povrchového dolu" byl proto řešen problém použití kroužkových motorů s indukčními spouštěči.

Na základě tohoto úkolu byl proveden vývoj indukčního spouštěče (ČKD Praha) a výroba asynchronního kroužkového motoru (MEZ Drásov) s upravenou momentovou charakteristikou a záběrovým proudem $I_{\max} \approx 4,1 I_n$. Za účelem provozních odzkoušení byly vyrobeny dvě pohonné jednotky s následujícími hlavními technickými daty:

Motor - typ: KT 243 - 4 speciál

jmenovitý výkon P	500 kW
jmenovité napětí statoru U_1	6000 V, 50 Hz
jmenovitý proud statoru I_1	58,5 A
rotorové napětí U_2	750 V
rotorový proud I_2	440 A
jmenovité otáčky n	1485 . 1/min

Indukční spouštěč -

byl navržen a vyroben v nár. podniku ČKD Praha. Skládá se z paralelně spojené indukčnosti (reaktoru) a ohmického odporu. Schéma zapojení motoru s indukčním spouštěčem je uvedeno na obrázku č. 2.

Reaktor typu 3 TL 84,8/12,6 je třífázový, vzduchový, s hliníkovým vinutím. Má reaktanci $X = 0,1 \text{ ohm}$ s možností přepnutí $\pm 10 \%$. Ohmický odpor je třífázový, s odbočkami o těchto hodnotách odporu:

0,08 - 0,10 - 0,12 - 0,40 - 0,50 - 0,60 ohm

Odstupňování tohoto odporu umožňuje velbu velikosti záběrového momentu motoru.

První provozní zkoušky pohonů s indukčním spouštěčem probíhaly začátkem roku 1972 na nově postaveném pásovém dopravníku č. 156 na výsypce VMG. Přesto, že se zkoušky konaly za poměrně nepříznivých povětrnostních podmínek při venkovní teplotě okolo -10°C , byla provedena po vyzkoušení vhodných hodnot odporu indukčního spouštěče řada úspěšných rozběhu promrzlého dopravníku. Z provozních důvodů byly zkoušky na tomto dopravníku, které probíhaly před jeho zařazením do provozní linky dolu omezeny jen na rozběhy s prázdným pásem.

Na základě prvních provozních zkušeností bylo rozhodnuto provést na těchto pohonech laboratorní měření za účelem zjištění sedel na momentové charakteristice motorů. Proto byl 1 motor typu KT 243-4 speciál s indukčním spouštěčem dopraven na zkušebnu Škoda Plzeň v Doubravkách, kde bylo provedeno dynamické měření momentové charakteristiky motoru s různou velikostí odporu indukčního spouštěče. Rozběhy na zkušebně potvrdily vypočtené parametry motoru (momenty a proudy) a ukázaly dvě sedla na jeho momentové charakteristice. Nejpriznivější se projevily rozběhy při zapojení odporů na odbočkách 0,08; 0,10; 0,12 ohm, kdy byl průběh momentů nejvyrovnanější. Při zapojení odporů na odbočkách 0,40 a 0,60 ohm je záběrový moment poměrně nízký a jeho průběh pro uvažované použití nevyhovující. Z průběhu sedel v momentové charakteristice vyplývá, že u těchto pohonů je nutno počítat se zmenšeným momentem, ca až $2/3$ jmenovitého momentu během rozběhu. Pro ukázkou je na obr. č. 3 uveden průběh momentové charakteristiky motoru při odbočkách indukčního spouštěče $R = 0,08 \text{ ohm}$ a $X = 0,1 \text{ ohm}$.

V současné době probíhají dlouhodobé zkoušky uvedených pohonů na pásovém dopravníku č. 200 na skrývce VMG. Zkušební provoz a provedená měření na dopravníku prokázala velmi dobré dynamické vlastnosti použi-

tého pohonu. Rozběh prázdného pásu trval 9 s, loženého pásu 16,6 s. U provedených rozběhu dopravního pásu bylo naměřeno proudové zatížení jednotlivých motorů v rozmezí 160 až 200 A, to je až 3,4-násobek jmenovitého proudu podle způsobu zapojení odboček indukčního spouštěče. S ohledem na dovolené namáhání dopravního pásu nebyly provedeny zkušební rozběhy s nejnižšími hodnotami odporu spouštěče. U delších a širších dopravníků, kde by se tyto odbočky případně daly použít, lze předpokládat na základě měření ve zkušebně maximální rozběhové proudy 220 - 240 A. Průběh rozběhového proudu vykazuje maximum po zapnutí motoru, pak mírně klesá po celou dobu rozběhu. Při dosažení jmenovité rychlosti pásu poklesne proud náhle na hodnotu, odpovídající trvalému provozu a zatížení dopravníku. Na obr. č. 4 je uveden průběh proudu u jednoho motoru při rozběhu prázdného dopravníku.

Na základě bezporuchového provozu a v souvislosti s plánovaným prodloužením dopravníku budou objednány další pohonné jednotky tohoto typu a pásový dopravník č. 200 osazen třetím pohonem.

Zhodnocení stávajících pohonných systémů DPD použitých v SHR

1. Trojfázový asynchronní motor s kotvou nakrátko a s rozběhovou hydraulickou spojkou ČKD Blansko

Vzhledem k tomu, že současné pohony pásových dopravníků v SHR jsou až na některé výjimky realizovány s tímto druhem pohonu, byla získána řada provozních poznatků a zkušeností, které přispěly k postupnému odstranění konstrukčních nedokonalostí spojek. Přesto je obtížné u vícemotorových jednotek dosáhnout a udržet rovnoměrné rozložení výkonů na jednotlivé motory při spouštění i při ustáleném chodu dopravníku po dlouhou dobu provozu. Během provozu dochází občas vlivem netěsností v hydraulickém systému k úniku oleje a spojky se musí dočerpávat, respektive doplňovat. Nepříznivý vliv na spolehlivost spojek mají rovněž extrémní výkyvy venkovní teploty, které ovlivňují viskozitu oleje, způsobují jeho nadměrné zahřívání a podobně. Současné vybavení stanic stávajícími poháněcími jednotkami, dále bezpečnostní předpisy a normy do značné míry neumožňují rozběh pásového dopravníku za dobu kratší než 60 s. Tyto okolnosti nejsou příznivé pro řešení automatizace DPD.

Jako výhodu uvedeného systému pohonu lze pokládat to, že použité motory a elektrovybavení poháněcích stanic jsou jednoduché konstrukce, provozně spolehlivé a nevyžadují velkou údržbu. Nevýhodou je, že hydraulické spojky vyžadují pro spolehlivý chod dobře organizovanou preventivní údržbu prováděnou v dílně, která je pracná a nákladná.

2. Trojfázový asynchronní motor kroužkový s odporovým stupňovým spouštěčem

Tento pohonný systém zabezpečuje plynulý rozběh dopravního pásu i při nerovnoměrném průběhu podélného profilu trasy dopravníku při vhodném odstupňování odporového spouštěče. Doba rozběhu je závislá především na časovém programu spouštěče a nezávisí příliš na množství dopravovaného materiálu. Pevné spojení motoru s poháněcími bubny pouze prostřednictvím převodových skříní zabezpečuje konstantní rychlost pásu i při úpadní dopravě s různým dopravovaným množstvím. Rovnoměrné zatížení několika poháněcích jednotek se zabezpečuje skluzovými odpory, které se ponechávají v rotorovém obvodu motorů. Tímto opatřením se změkčí momentová charakteristika motorů a zvýší poněkud jejich skluz, i když za cenu určitých ztrát elektrické energie.

Zkušební provoz uvedeného systému na pásovém dopravníku č. 104 - VMG a provozní měření ověřila, že rozběh prázdného i loženého pásu trvá okolo 35 s. Maximální proudové zatížení motorů dosahuje jejich jmenovitou hodnotu při spouštění pohonů. Přesto, že nedochází k nadměrnému proudovému zatěžování vznikly potíže s uhlíky typu O 67, kterými byly motory původně osazeny. Na základě doporučení výrobce motorů bude pro stávající provozní podmínky použit jiný druh uhlíků. Během dlouhodobého provozu se vyskytly některé poruchy na elektrozařízení, jako například:

- poškozené vinutí motoru
- přerušení proudového obvodu skluzových odporů
- nedokonalá funkce spouštěče (blokování).

Vzhledem k většímu počtu pohyblivých dílů a kontaktů u odporových spouštěčů je údržba elektrozařízení pracná a je nutno počítat s jeho větší poruchovostí.

3. Trojfázový asynchronní motor kroužkový s indukčním spouštěčem

Zkušební provoz a provedená měření na tomto pohonném systému prokázala velmi dobré dynamické vlastnosti. Momentová charakteristika motoru se nechá v jistých mezích ovlivnit velikostí odporu indukčního spouštěče. Doba rozběhu pásového dopravníku je kromě zvolené hodnoty záběrového momentu závislá na velikosti zátěže. Na pásovém dopravníku č. 200 - VMG byla například naměřena doba rozběhu prázdného pásu 9 s, loženého pásu 16,6 s. Proudové zatížení motorů dosahuje podle měření na zkušebně $I_{\max} = 4,1 I_1$, v provozních podmínkách byl naměřen maximální proud $I_{\max} = 3,4 I_1$, protože nebyly použity nejnižší hodnoty odporu spouštěče. Protože momentová charakteristika má dvě sedla, je nutno počítat s tím, že v průběhu rozběhu hnací moment poklesne. Na zkušebně byl naměřen u pokusné jednotky pokles na 2/3 hodnoty jmenovitého momentu při nejnižší hodnotě odporu spouštěče. Na základě provozních měření je úbytek napětí na motorech s indukčními spouštěči během spouštění značně vyšší než u motorů s odporovými spouštěči. Dodávka el. proudu proto vyžaduje nákladnější řešení. Problémy s uhlíky motorů vznikly jako u motorů s odporovými spouštěči. Bylo rozhodnuto původní uhlíky typu O 67 vyměnit za nové typu K 43, doporučené výrobcem pro stávající provozní podmínky.

Výhodou uvedeného pohonného systému je jednoduché spouštění, spočívá pouze v připojení motorů na síť. Skutečnost, že doba rozběhu je závislá na zatížení dopravníku je přínosem proti klasickému spouštění odporovými, programově řízenými spouštěči, kde doba rozběhu je téměř vždy stejná. Znamená to úsporu času při rozběhu méně naložených dopravníků. Další úspora času proti pohonům DPD s hydraulickými spojkami je snížení počtu povelů dispečera při spouštění a odpačnutí časně čerpání spojek. Indukční spouštěče jsou bezkontaktní, což snižuje poruchovost a zjednodušuje údržbu.

Pohony pásových dopravníků v zahraničí

V Polské lidové republice byly první pohony dálkové pásové dopravy vybaveny asynchronními kroužkovými motory s pevnými spouštěcími odpory, vyřazovanými v časové závislosti stykačovou kaskádou. Pro srych-

lení a zjednodušení rozběhu DPD byl vyvinut pohonný systém s kroužkovými asynchronními motory a indukčními spouštěči. Uvedený systém se rozšířil na povrchových dolech PLR s kroužkovými motory o výkonech 320, 500 a 630 kW. Dalším zlepšením indukčních spouštěčů vznikly tzv. segmentové spouštěče, které umožnily snížení rozběhového proudu u motoru 630 kW až na $I_r = 3,5 I_1$ při $M_r = 1,2 M_n$.

Mimo uvedených druhů pohonu DPD probíhal v PLR výzkum možnosti použití asynchronních motorů s kotvou nakrátko bez rozběhových elementů (spejek, spouštěčů ap.). Výsledkem výzkumu byl vývoj a výroba motorů tohoto provedení pro pohon DPD. V současné době jsou provozovány motory o výkonu do 320 kW. Podle posledních zpráv je problém vyřešen i pro výkon motoru 630 kW.

Pro odzkoušení tohoto druhu pohonu v provozních podmínkách SHR bylo rozhodnuto dovést dva motory o výkonu 320 kW, na kterých bude provedeno měření podle již uvedené metodiky zpracované VÚHU Most.

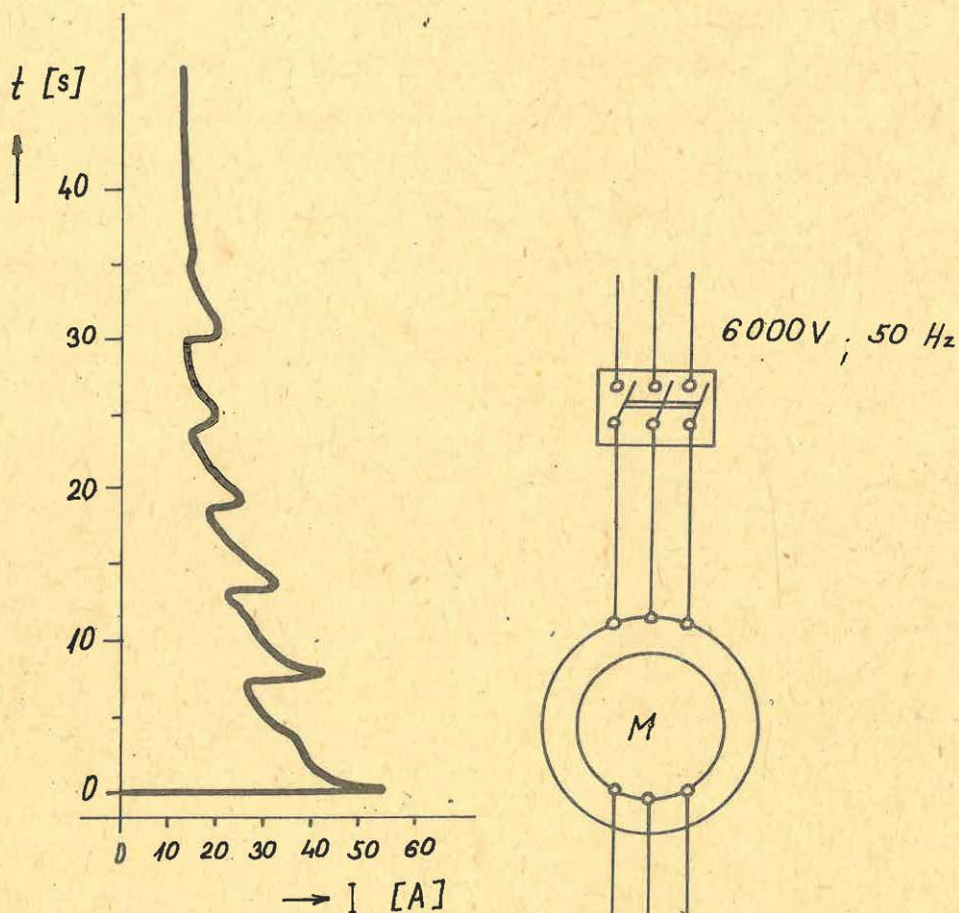
V NDR se používají k pohonu DPD kroužkové asynchronní motory s kapalinovými spouštěči. Protože na některých dolech v NDR jsou podobné dobývací podmínky jako v SHR, jeví se výhodným provést odměření těchto pohonů přímo v NDR podle stejné metodiky.

Pohony pásových dopravníků v NSR jsou převážně řešeny kroužkovými asynchronními motory s odporovými stupňovými spouštěči. Částečně se používají i asynchronní motory nakrátko s hydraulickou rozběhovou spojkou Voith s konstantní náplní.

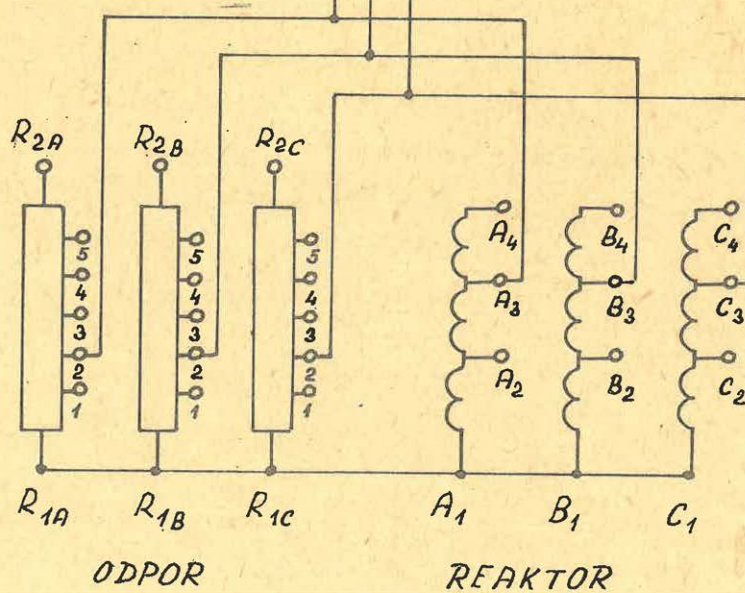
Perspektivy dalšího vývoje pohonů DPD - SHR

Na DPD stávajících i nově projektovaných povrchových dolů SHR budou kladeny zvýšené požadavky v souvislosti s plánovanou intenzifikací a automatizací technologických celků. Perspektivně budou nové generace pásových dopravníků o dlouhých sekcích vybaveny vysokopevnostními pásy a pohonnými jednotkami až $4 \times 1000 + 1500$ kW. Pro tyto dopravníky se v současné době řeší problematika pohonných systémů.

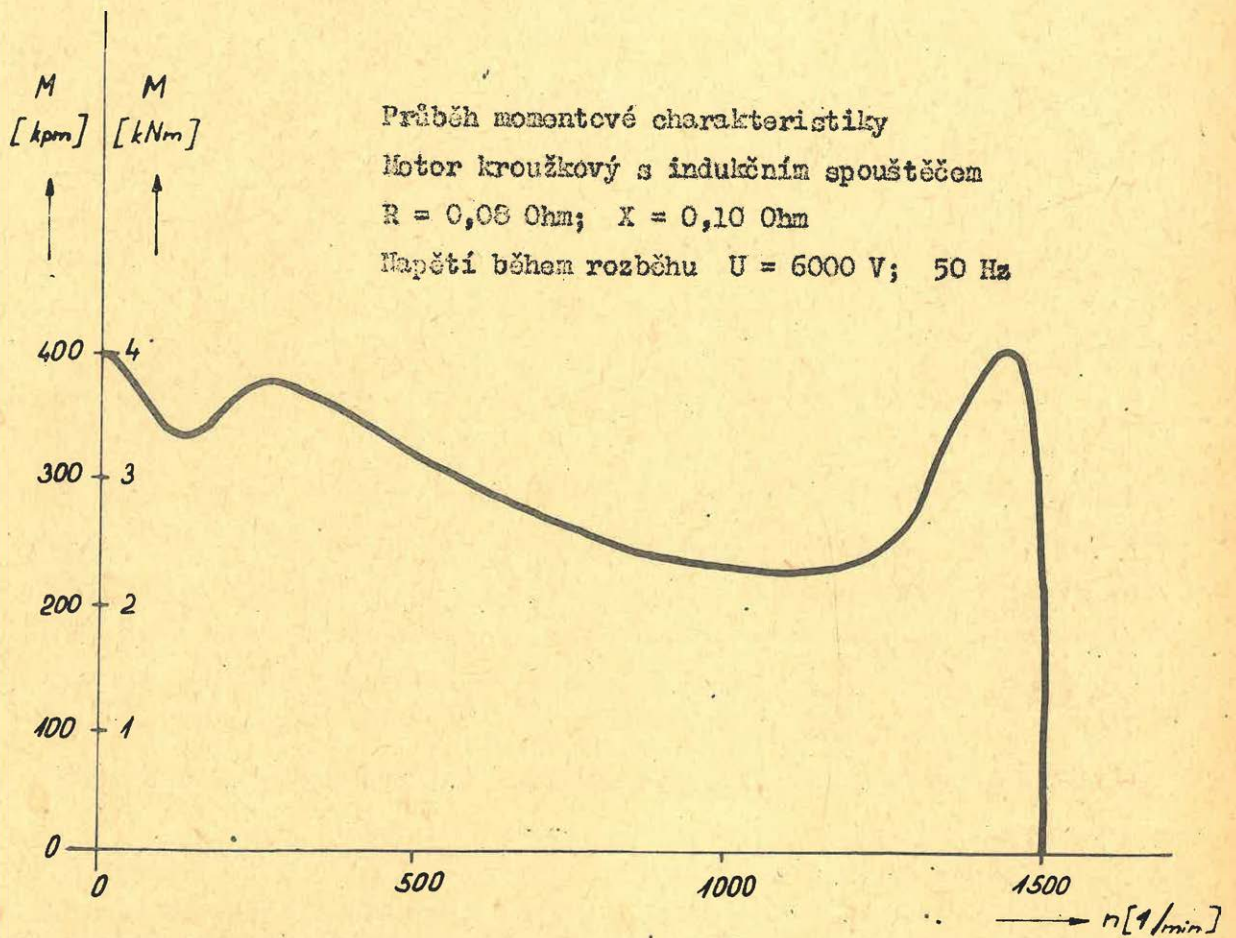
Na základě dosavadních provozních zkušeností nebudou již pro výkony nad 630 kW použity motory nakrátko s hydraulickými spojkami. V současné době probíhají jednání s výrobcí elektromotorů v ČSSR o zajištění výroby vn asynchronních motorů s kroužkovou kotvou o výkonu 1000 kW a 1000 ot/min, pro které se uvažuje použít indukčního spouštěče.



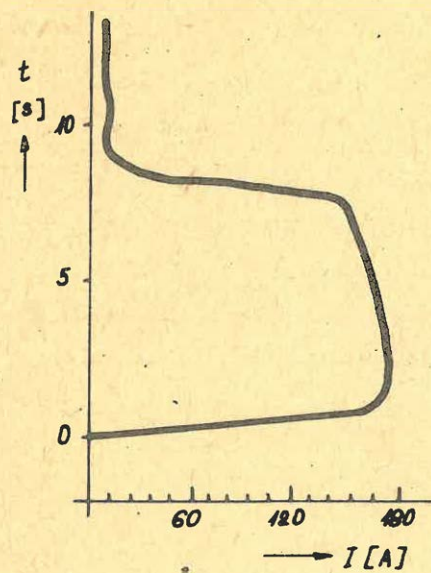
Obr. 1



Obr. 2 - Schéma zapojení motoru s indukčním spouštěčem



Obr. 3



Obr. 4