

Ing. František S o l n a ř, SHD, koncern, GR

Nové pohony velkostrojů

0. Úvod

Jedním z rozhodujících elementů kolesového rypadla jsou jeho pohony. V posledních letech byla v severočeském hnědouhelném revíru provozně nasazena kolesová rypadla KU 300 a KU 800 a před dokončením je velkorypadlo K 10000, které bude pracovat v technologickém souboru TC3 na velkolomu Měxim Gorkij. V této souvislosti je z technického hlediska velmi zajímavé porovnání s pohony dosud největšího kolesového rypadla na světě o výkonu 200 tis. m³ r. z. za den. Toto rypadlo se dokončuje v rýnském revíru (NSR) a bude během letošního roku nasazeno do provozu (obr. 1). Nejdůležitějšími pohony na stroji jsou vedle pohonu podvozků a pásových dopravníků pohon kola, otoče a zdvihových vrátků výložníku. V dalším budou tyto tři vyjmenované pohony podrobněji popsány podle materiálů uveřejněných v časopise Fördern und Heben, č. 2, 1976, v článku dipl. ing. Hartmuta Grathoffa od fy M.A.N. Norimberk, která zajišťovala vývoj těchto pohonů.

1.0 Pohon kola

Na kolese polokomorového typu o $\varnothing$ 21,6 m je umístěno 18 koreček o obsahu 6,3 m³. Celkový výkon přiváděný na koleso činí 2520 kW a výstupní krouticí moment je cca 10 mil. Nm, při 2,33 ot/min. Takovýto obrovský krouticí moment je zvláštností tohoto pohonu, neboť jiné velké pohony, např. lodní apod., ačkoliv mají značně větší celkový výkon, nedosahují takovýchto hodnot krouticího momentu a zejména jsou podstatně méně přetěžovány. Použitím bezpečnostního zařízení proti přetížení je max. moment ohraničen na 1,5 momentu jmenovitého. Na pohon kola jsou mimo velkého výkonu a krouticího momentu kladeny ještě další požadavky:

- Provozní bezpečnost

Specifická zatížení jsou omezována Hertzovými tlaky v ozubení. Pro zušlechťená kola je to přibližně 450 a pro kalená kola asi 850 N/mm².

- Obrysový úhel špičky kolesového výložníku

Z hlediska bočních svahů při dobývání bloku je nutné, aby obrysový úhel špičky kolesového výložníku byl, zejména u nevýsuvných strojů, co nejmenší.

- Nízká hmotnost

Jakékoliv zvýšení hmotnosti kola a pohonu má za následek několika-násobné zvýšení hmotnosti celého rypadla. Vyvažovací výložník bývá zpravidla kratší než výložník kolesový a proto každý přírůstek hmotnosti na špičce kolesového výložníku znamená podstatně větší přírůstek hmotnosti protizávaží a následné zesílování ocelové nosné konstrukce.

- Obsluha a údržba

Tento požadavek lze vztahovat na všechny díly rypadla, avšak u hlavních pohonů je zvláště důležitý. Je nutno si uvědomit, že výpadek rypadla znamená zastavení všech navazujících zařízení - pásové dopravy, shazovacího vozu a zakladače. (Pro ilustraci je možno uvést, že 1 km pásové dopravy včetně pohonu představuje asi 700 t materiálu). Jakékoliv delší odstavení rypadla pak může ohrozit plynulý provoz elektrárny apod.

1.1 Popis pohonu kola

Celý převodový systém je nasazen na ose kola. Toto uspořádání má oproti letmo uloženým pohonům, které se užívají u menších rypadel, nevýhodu, neboť nelze celou pohonnou skupinu lehce demontovat. Pro své rozměry a celkovou hmotnost 190 t včetně motoru a ochranné stříšky, je však sejmutí pohonu vcelku v tomto případě stejně prakticky neuskutečnitelné. Důležité jsou zde malé konstrukční rozměry špičky kolesového výložníku (obr. 3, 4). Z příčného řezu celkového uspořádání pohonu je zřejmé, že obrysový úhel je velmi malý. Toho bylo docíleno vložením převodového systému mezi relativně malé ložisko osy kola a koleso. Hnací moment je přenášen šesti pastorky na hnací ozubené kolo o průměru 6,5 m. Vždy dva pastorky mají společný motor, předřazenou čelní převodovku, planetovou převodovku a úplný diferenciál. Větec tohoto diferenciálu je opatřen vnějším ozubením, zabírajícím do ozubeného kola pohánějícího druhý z dvojice pastorků. První pastorek je poháněn unášečem satelitů (obr. 5). Tento systém je znám u dvoububnových pohonů dopravníků, vícebubnových lanových vrátek a otočových zařízení. Pro pohon kola je však použit poprvé. Tyto tři předřazené pohony, tzn. planetovou převodovku, čelní převodovku a motor, je možno samostatně demontovat bez demontáže skříně posledního hnacího kola. Opravy vnitřních dí-

loučen. Při takovémto uspořádání pastorku nejsou torzní deformace omezujícím činitelem, jejich vlivem je pouze střední část zubu namáhána poněkud více než okrajové části. Výhody tohoto uspořádání nejsou však pouze v rovnoměrnějším namáhání zubů, ale i namáhání ložisek a následně stěn převodové skříně je rovnoměrně rozloženo, což je velkou výhodou, zejména u převodů pro velké výkony. Vložené hřídele pohánějící pastorky mají na obou koncích vytvořeno krátké ozubení pro přenos krouťacího momentu. Boky těchto zubů jsou broušeny. Toto uspořádání umožňuje omezené vychýlení převodovky vůči pastorku, nebo event. axiální posun. Obě tato krátká ozubení pracují v olejové lázni. Protože není k dispozici vhodný stroj pro vytvoření krátkého vnitřního ozubení uprostřed velmi širokého pastorku, je vnitřní ozubení provedeno v pouzdře nalisovaném do pastorku. Přesah pro lisování je proveden tak, aby hnaací moment byl přenášen s vysokou bezpečností. Při výrobě krátkého vnitřního ozubení je již uvažováno výsledné smrštění pouzdra po nalisování. Vnější ozubení pastorků je provedeno nahrubo a dokončuje se až po nalisování pouzdra. Díky tomu nedojde k žádné změně tvaru vnějšího ozubení. Pro lisování pouzdra je nutno pastorek předehřát na teplotu 230 °C, při této teplotě ještě nedochází k žádným pevnostním změnám materiálu pastorku.

Při mazání všech převodovek na rypadle je dbáno, aby toto mazání bylo pokud možno bezporuchové a všude, kde je to možné, se využívá mazání broděním. Na pohonu kola je mazání broděním u planetových převodů a hladina oleje je tak vysoko, aby při každé poloze výložníku do ní zasahoval centrální pastorek. U předřazené čelní převodovky (řetězce ozubených kol) je vzhledem k velké stavební výšce a vysoké rychlosti vstupních pastorků použito nucené oběhové mazání. Toto oběhové mazání je též aplikováno na posledním převodu, protože při mazání broděním by zřejmě prvé zabírající pastorky vytlačily vynášený olej a ostatní by pracovaly na sucho. Pohon kola má tedy čtyři jednotlivě oddělené mazací systémy - jeden pro každý přiřazený pohon a jeden pro poslední převodový stupeň. Každý tento systém obsahuje elektricky hnané zubové čerpadlo, dvojitý čistič s obtokem, elektricky vyhřívaný výměník, který pomocí termostatu udržuje stálou teplotu oleje a hlídač průtoku oleje, zabudovaný co nejblíže k tryskám. Při poklesu nastavené hodnoty průtoku se pohon kola samočinně vypíná. Mazací systém pracu-

je s velmi nízkým tlakem nutným pro překonání výšky převodových stupňů a odporu škrtících ventilů, umístěných před tryskami jednotlivých pas-torků a zabezpečujících rovnoměrné rozdělení oleje v každé poloze vý-ložníků. Pro vedení oleje jsou použity velké průřezy, aby odpor byl co nejmenší i při nízkých teplotách, např. sací trubka mazání posledního převodového stupně má světlost 105 mm. Elektrickým propojením je zabez-pečeno spuštění kola pouze při fungujícím mazacím systému. Na proudě-ní oleje je závislé i elektrické ohřívání. Když rypadlo nepracuje del-ší dobu při nižších teplotách, je možné samostatně zapojit pouze ole-jové čerpadlo a výměník tepla. Na mazacím okruhu posledního stupně je realizováno pomocné propojení (Bypass), kterým je možno, při výpadku proudu za velmi nízkých teplot, zkrátit okruh a udržet teplotu oleje v nádrži na přijatelné výši. Obsah oleje pro mazání posledního stupně je 3000 l a průtok činí 300 l/min. Jednotlivé předřazené pohony mají obsah oleje 1800 l a průtok 80 l/min.

1.2 Pomocný pohon

Pro výměnu a otáčení korečků a pro opravy je nutné, aby kolo mě-lo pomalý chod. Za tím účelem je na jednom z předřazených pohonů in-stalován malý pomocný pohon o výkonu 45 kW. Pro přenos výkonu se zde používá klínových řemenů.

1.3 Obsluha a opravy

Pro obsluhu a údržbu musí být pohon kola lehké přístupný. Proto jsou na pohonu ochozy uspořádané v pěti patrech, které jsou vzájemně propojeny schody a žebříky. Mezi pohonem kola a kolesem je ochranná stěna a nad celým pohonem je pevná stříška, chránící proti prachu a pa-dajícím materiálu. Tato stříška je jednoduše upevněna a je možno ji jedním autojeřábem lehce odejmout, např. při výměně motoru nebo předřa-zeného pohonu. Předpokládá se, že obsluha a údržba budou převážně pro-váděny v plánovitých odstávkách, přičemž kolo bude spuštěno na po-jezdovou rovinu. Všechny lávky a ochozy na pohonu kola budou v této poloze vodorovné.

2. Otoč rypadla

Zařízení pro otáčení vrchní stavby rypadla pracuje stejně jako po-

hon kola nepřetržitě, ale přitom reversně. Přibližně každých 8 - 10 minut zde dochází ke změně směru otáčení. Kromě toho pracovní postup rypadla vyžaduje, aby rychlost otáčení se plynule měnila v závislosti na úhlu otočení (regulace srpku). Z tohoto důvodu jsou zde použity stejnosměrné elektromotory řízené tyristorovým regulátorem. Moment, nutný pro otáčení vrchní stavby rypadla (43,25 MNm - vztaženo na osu otáčení rypadla) je docilován čtyřmi pohonnými jednotkami zabírajícími do ozubeného věnce o roztečném průměru 22 m. Každý z těchto pohonů má na výstupu dva pastorky (na obr. 6 je kinematické schéma). Motor pohání přes kuželový a jeden čelní převod centrální pastorek prvního planetového stupně. Věnc tohoto prvního planetového stupně je opatřen vnějším ozubením, do něhož zabírá pastorek hřídele brzdy. Touto brzdou je určen maximální kroučící moment vyvozovaný pohonem. Unášec satelitů prvního planetového stupně pohání centrální pastorek druhého planetového stupně. Tento druhý planetový stupeň je opět ve funkci úplného diferenciálu, jako je tomu u pohonu kola a rozděluje kroučící moment na oba pastorky. Tento pohon má mazání broděním a skříň je naplněna olejem až po osu vstupního hřídele. Motor je umístěn na plášti převodovky. Každý otočový pohon vytváří spolu s motorem, příslušenstvím a výstupními pastorky jeden stavební celek, který je možno lehce vyměnit (obr. 7). Toleranční rozdíly mezi převodovkou a otvorem v ocelové konstrukci rypadla se vymezují excentrickými kroužky.

Na pojistné zařízení proti přetížení pohonu bylo v roce 1972 vydáno zemským báňským úřadem pro severní Porýní a Westfálsko rozhodnutí a stanoveny velmi přísné podmínky;

- v provozním nasazení bude při překročení dovoleného momentu silový tok okamžitě přerušen;
- provozní brzda a brzda proti zatížení větrem musí být při výpadku proudu nebo při odstavení rypadla z provozu automaticky zabrzděny;
- moment brzdy proti zatížení větrem musí být větší než moment vznikající vnějším zatížením větrem a vnějšími silami při dovoleném sklonu, ale současně menší než je nastavená hodnota přetížení pohonu. Tím při mimořádném zatížení jako je sesuv svahu, nebo chyba obsluhy, nemůže dojít k přetěžování pohonu otoče ani ocelové konstrukce rypadla. Brzda proti zatížení větrem musí být dále nezávislá na elektrické energii.

Funkci bezpečnostního zařízení proti přetížení i brzdy proti zatížení větrem vykonává jediný element, je jím jednoduchá suchá lamelová brzda, opatřená tzv. "momentovou váhou". Tato momentová váha je jednoduchý pákový systém nezávislý na směru otáčení rypadla. Výhodou je možnost měření nastaveného momentu na jediném elementu. Jestliže je toto zařízení ve funkci jako brzda proti zatížení větrem je potřebná brzdicí síla vyvolána hmotností závaží působícího na momentovou váhu. Dojde-li přitom k mimořádnému případu zatížení, lamelová brzda proklouzne. V tomto případě nemá rozptýl hodnot součinitele tření žádný význam, neboť mezi maximálním a minimálním momentem je dostatečný odstup. Jestliže se rypadlo otáčí, tzn. jsou zapnuty pohony otoče, dojde k odlehčení závaží působícího na momentovou váhu eldrem a současně druhé eldro vyvolá na lamelové brzdě moment odpovídající dovolenému přetížení, lamelová brzda se tedy stane bezpečnostní spojkou proti přetížení. Stálost této druhé řídící síly je zabezpečena předepjatou pružinou na "momentové váze". Dojde-li přetížením pohonu k překročení síly této předepjaté pružiny, pohne se momentová váha a na ní umístěný koneový spínač odpojí u všech čtyř pohonů současně motory a eldra. Tím samočinně dojde k situaci odpovídající odstavenému rypadlu a zařízení proti přetížení pohonu tedy není závislé na součiniteli tření, ale na síle předepjaté pružiny. Tímto způsobem je trvale přesně nastaven vypínací moment. Tato hodnota se nemění ani při prokluzu brzdy, neboť třecí plochy jsou tvořeny dvojicí kalená ocel - keramika, zaručující součinitel tření a nepodléhající korozi. Konstrukce této lamelové brzdy vylučuje možnost zadírání lamel při prokluzu. Důležitou výhodou je také to, že není nutné žádné pomocné zařízení ani pomocný zdroj energie pro odpojení pohonu při překročení nastavených provozních hodnot. Je možno prohlásit, že zařízení prakticky nevyžaduje žádnou obsluhu a není možné jej zadřít.

3. Vrátek zdvihu kolesového výložníku

Kolesový výložník je zvedán a spouštěn kladkostroj s lanovými vrátky. Kvůli velkému úhlu sklápění tvoří kolesový výložník spolu s pomocným výložníkem dvouramennou lomenou páku. Maxim. provozní síla v kladkostroji dosahuje hodnoty 22 500 kN a je rozdělena do dvou lanových systémů. S přibližně šestinásobnou bezpečností počítaná lana typu Seal -

Warrington s ocelovou duší, mají průměr 75 mm. Každý lanový systém je schopen sám o sobě udržet výložník s více než trojnásobnou bezpečností. Každý lanový systém má dva bubny o $\varnothing$ 2,7 m a délce 3,57 m, na nichž jsou přírubově upevněny ozubené věnce o $\varnothing$ 3,7 m. Ke každému systému dále náleží typizovaná převodová skříň fy M.A.N. typ BW 4, 1000 x 31,94; čtyři zvláštní brzdy velikosti 710 a dva vysokonapěťové elektromotory s kroužkovou kotvou o výkonu 450 kW při 735 ot/min (obr. 8). Oba vratkové systémy jsou vzájemně propojeny spojovací převodovou skříní. Toto spojení je možné vyřadit z provozu při výměně lana v jednom systému, nebo při vzájemném vyrovnání tahu v lanech mezi oběma systémy. Pro jemné vyrovnávání, napínání nebo povolování, jsou v obou systémech napínací stanice vytvořeny vratnou lanovou kladkou. Každé z lan bylo na obou koncích současně navíjeno. To z toho důvodu, aby se střed lana neposouval, protože každý lanový systém prakticky sestává ze dvou osminásobných kladkostrojů. Síla v laně je měřena hydraulickou tlakoměrnou krabicí na ose vratné kladky. Tato kladka je uložena přímo na plošině vrátků. Tím bylo dosaženo snadného přístupu jak k měřicímu zařízení, tak i k napínací stanici. Všechny kladky včetně vratných jsou stejné o $\varnothing$ 2200 mm a jsou uloženy na naklápěcích válečkových ložiskách, která jsou centrálně mazána. Velký průměr kladek (D/d větší než 30) a malé náběhové úhly lan - nejvíce 2° - zaručují velkou životnost lan. V rýnském revíru se docílí životnosti lan 6 - 8 let. Odkládání a výměna obou lan (každé má délku 1140 m a hmotnost 26,5 t) je umožněna bez nebezpečí pro nová lana zvláštním přípravkem, který je na rypadle trvale zabudován.

Životně důležitá pro rypadlo je bezpečná činnost brzd zdvihového vrátku. Při jejich selhání by došlo ke zřícení košového i vyvažovacího výložníku. Z tohoto důvodu je brzdový systém osminásobně předimenzován. Každá z osmi brzd je schopna sama udržet košový výložník. Ostatně všechny brzdy na rypadle nejsou jako obvykle zatěžovány pružinou, ale samostatným závažím. Tím je prakticky vyloučeno chybné nastavení brzdové síly. U brzdových elder všech důležitých pohonů jsou umístěny koncové vypínače signalizující stav brzd. Tím má vedoucí rypadla přehled, zda některá brzda nezůstala mimo provoz.

Elektromotory vrátků zdvihu mají izolační ochranu IP 20, protože jsou umístěny ve strojovně vrátků. Všechny ostatní motory na rypadle

mají ochranu IP 44. Velmi důležitá je také snadná přístupnost k brzdám, proto jsou vstupní hřídele hlavních pohonů prodlouženy.

4. Závěr

Všechny pohony byly při vývoji neustále konzultovány mezi zástupci odběratele - Rýnský revír a řešitele - M.A.N. Norimberk. Předřazené pohony u pohonu kola dodává fa RINK a poslední hnací stupeň a příslušenství fa M.A.N. Pohony otoče dodala fa SGP, zatímco pohony dopravníků a vrátek zdvihu opět fa M.A.N. Norimberk.

Rýnský revír objednal u fy M.A.N. Norimberk vývoj, výrobu a montáž kompletního rypadla pro denní výkon 240 tis. m³ r.z. (na obr. 2 je porovnání toto rypadlo s 81 m vysokou Lorencovou katedrálou v Norimberku). Předpokládá se, že toto rypadlo bude mít větší řeznou rychlost - otáčky kola se zvýší z 2,33 na 2,6 ot/min - a vyšší rychlost dopravníků na stroji, zatímco ostatní rozměry a parametry zůstanou nezměněny. V souvislosti s těmito úpravami dojde ke zvýšení výkonu motorů, ale převodovky zůstanou prakticky stejné, pouze převodové poměry motorových stupňů budou změněny. U kola se uvažuje se zvýšením rypné síly o 10 %, protože zkušební vrty z nově otvíraného lomu "Hambach", pro který je toto rypadlo určeno, vykazují poněkud pevnější skryvky, než je tomu u ostatních lomů v revíru. Předpokládá se nárůst výkonu pohonu kola z $3 \times 840 = 2520$ na $3 \times 1120 = 3360$ kW.

S h r n u t í

Nové pohony velkostrojů

Článek je volným překladem zprávy z časopisu Fördern und Heben. V článku jsou uvedeny poslední poznatky a popsány konstrukční elementy pohonů dosud největšího kolesového rypadla v NSR o výkonnosti 200 000 m³ zeminy za den.

Р е з ю м е

Новое приводные устройства мощных карьерных машин

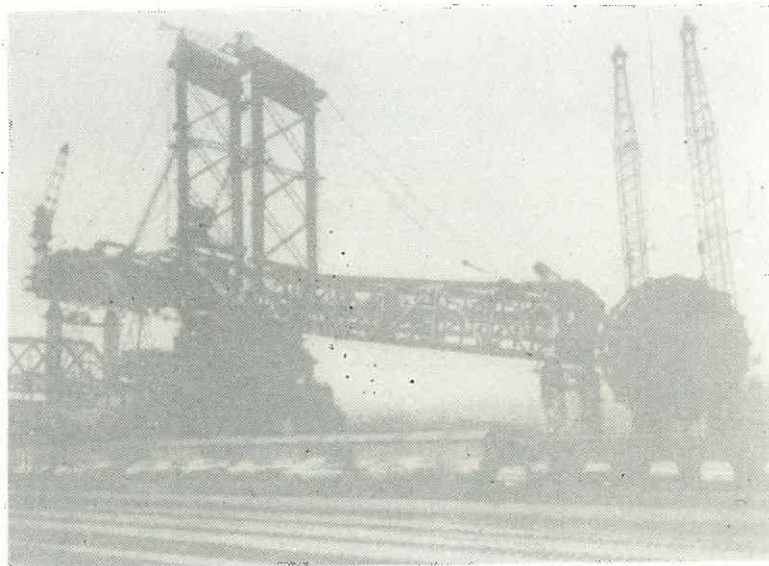
Статья является вольным переводом информации опубликованной в журнале Fördern und Heben. В ней собраны последние сведения о конструктивном исполнении и параметрах элементов привода крупнейшего в мире роторного экскаватора производства ФРГ, достигающих суточной производительности 200 000 м³ рыхлого грунта.

Zusammenfassung

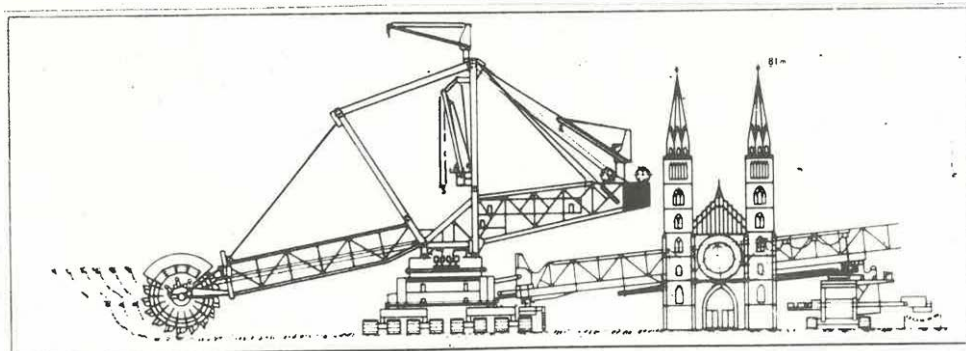
Neue Antriebe der Grossgeräte

Der Artikel ist eine freie Übersetzung eines Berichts aus der Zeitschrift "Fördern und Heben". Im Artikel werden die letzten Erkenntnisse angeführt und die Konstruktionselemente der Antriebe des z. Z. größten Schaufelradbagger in der BRD (Leistung 200 000 M^3/Tag).

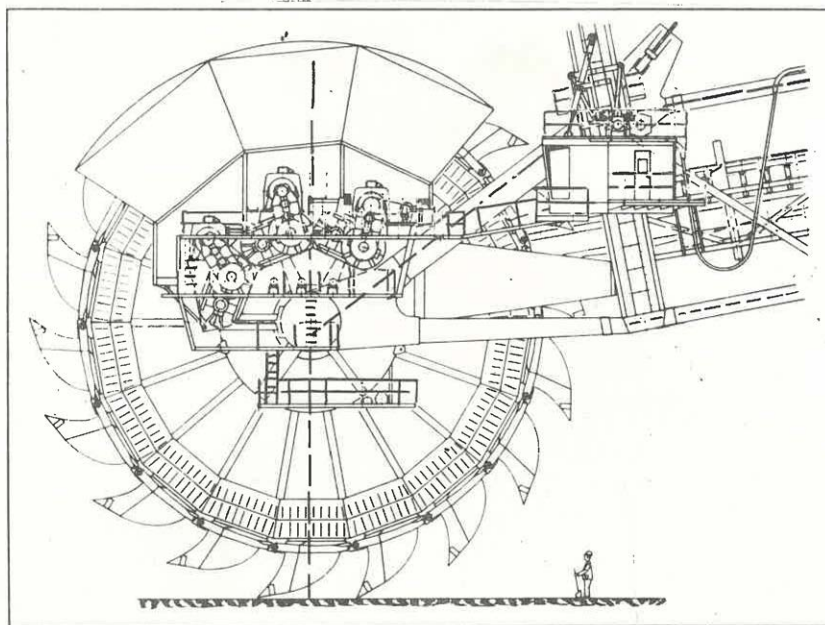
Recenzoval: Ing. Jaroslav Zelenka



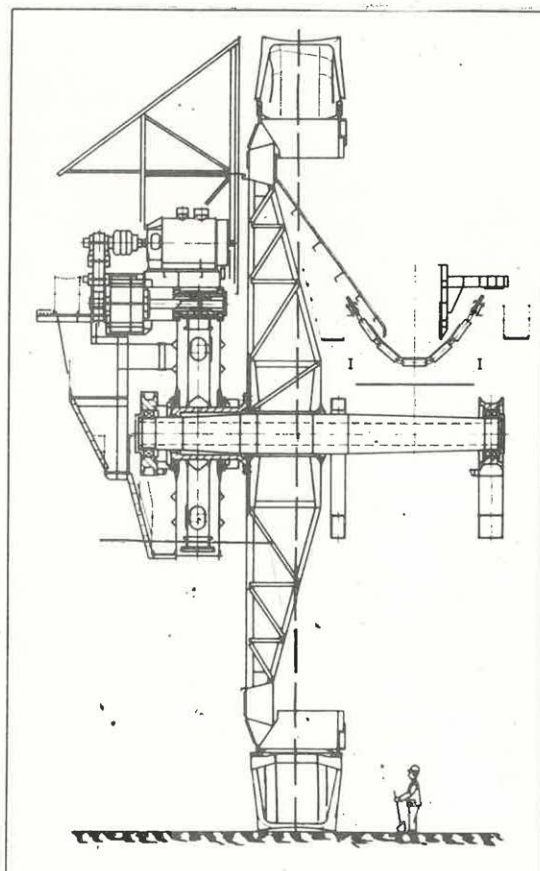
Obr. 1



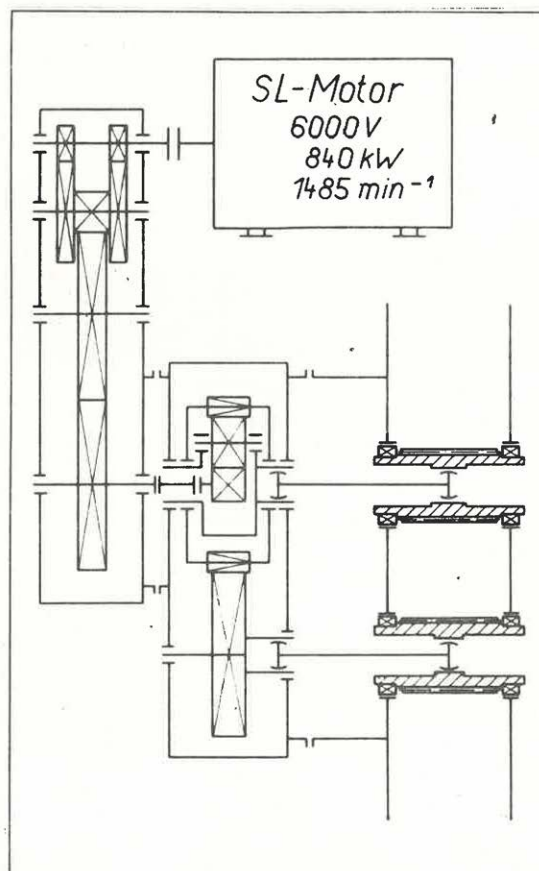
Obr. 2



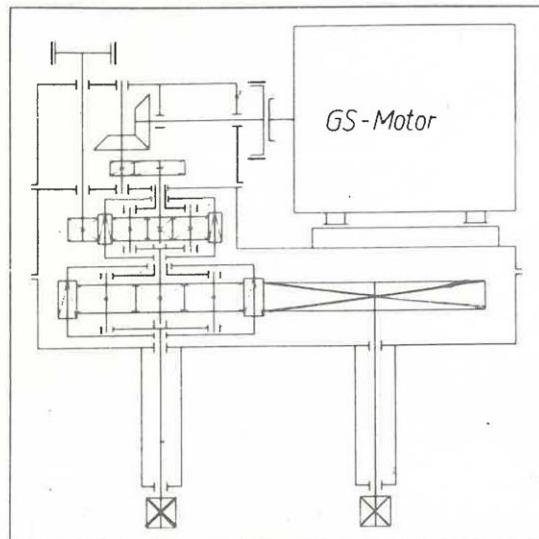
Obr. 3



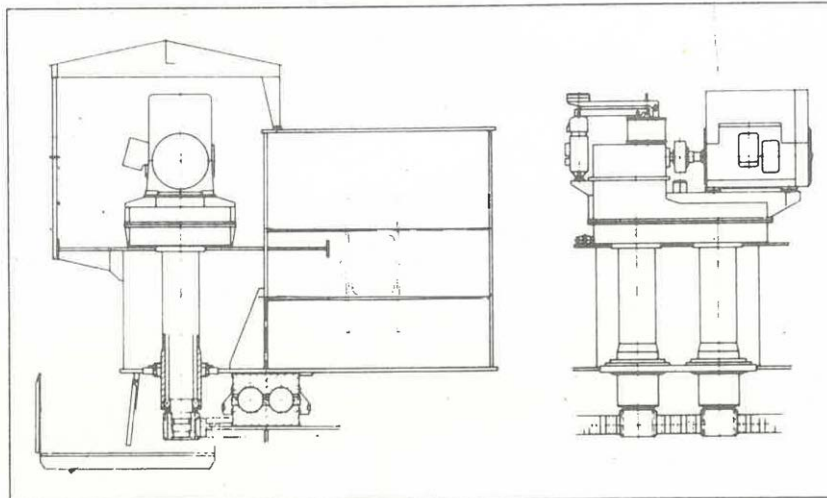
Obr. 4



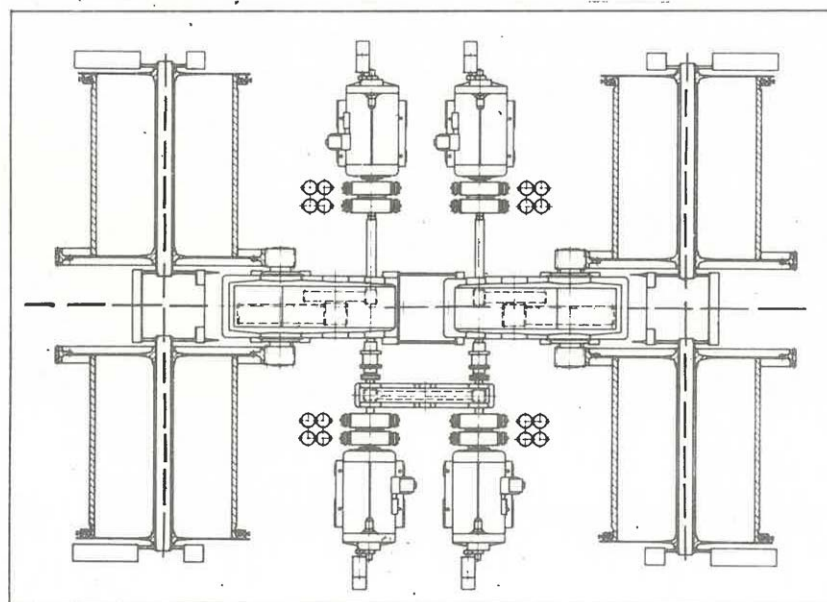
Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8