

Ing. Josef K r h o u n e k, VÚHU

Energetické vytižení vn pohonů velkostroje KU 800

Ú v o d

Energetickému využití strojního zařízení a úsporám všech druhů energie vůbec se v poslední době věnuje poměrně velká pozornost. Nasvědčuje tomu řada prací, uveřejněných v odborném tisku a nedávno též v našem Zpravodaji.

V rámci snah o využití všech energetických rezerv se v minulém roce provedlo měření na velkstroji KU 800/3 nasazeném na VMG v Bílině.

Kolesové rypadlo KU 800, určené jako dobývací stroj pro technologický celek TC 2 s předpokládaným ročním efektivním výkonem 10-12 milionů m³ rozpojených zemin, představuje spotřebič el. energie s instalovaným výkonem všech motorů na střídavý proud 8135 kW.

Celkem je na stroji, včetně elektrohydraulických brzd, 163 motorů. S ohledem na indukční charakter zátěže reprezentovaný převážně asynchronními motory, povšimneme se výkonového vytižení a spotřeby jalové energie jako vlastního původce fázového posuvu a zhoršení účinníku $\cos \varphi$.

Stručný popis rozvodu energie na rypadle (obr. č. 1)

Rypadlo je napojeno na elektrovednou síť o napětí 35000 V vlečným gumovým kabelem typu NTSCE o průřezu žil $3 \times 70 \text{ mm}^2 + 3 \times 50/3 \text{ mm}^2$ italské výroby, navíjeným na kabelový buben.

Přes kroužkový sběrač u kabelového bubnu a odpojovací skříně na kabelovém voze je proud veden do napájecí skříně ve spodní stavbě rypadla. Do rozvaděče S1 v pohyblivé strojovně je proud přiváděn přes kroužkový sběrač ve spodní stavbě.

V rozvaděči S1 se nachází hlavní výkonový vypínač, měření a dalších pět polí s odpojovači a s ochranami pěti paralelně pracujících transformátorů po 1600 kVA s napětovým převodem $35000 \text{ V} \pm 5\% / 6300 \text{ V}$.

Z bezpečnostních důvodů je před hlavním vypínačem přes odpojovač napojen transformátor pomocných obvodů, vytápění a osvětlení rypadla 160 kVA, $35000 \text{ V} \pm 5\% / 231 \text{ V}$. Od transformátorů 1600 kVA je veden proud

o napětí 6 kV do rozvaděče S2 rozděleného na dvě části.

V první části S2-I je ve strojovně umístěn transformátor 63 kVA, $6000 \pm 5\%/231$ V pro napájení ovládacích obvodů.

Ze čtvrtého pole je proveden vývod do napájecí skříně (na konci nakládacího výložníku) pásového vozu. Páté a šesté pole obsahuje měření a výkonový vypínač skupiny pohonů pásů a kola, sedmé a osmé pole obsahuje měření a výkonový vypínač skupiny pohonů Leonardova soustrojí, kráčení rypadla a transformátor napájení pohonů 500 V. Pole 9-13 obsahuje měření a zařízení pro spouštění kompensátoru.

V druhé části S2 - II je z pole 14 proveden vývod (přes kroužkový sběrač 10 kV ve spodní stavbě) do rozvaděče S3 pro kráčení rypadla. Z pole 15 je proveden vývod k transformátoru 1600 kVA, $6000 \pm 5\%/525$ V pro napájení pohonů 500 V. Z polí 16-18 jsou provedeny vývody pro poháněcí motory Leonardových soustrojí otáčení svršku, zdvihu a posuvu kolesového výložníku. V polích 19-22 je umístěno zařízení pro spínání motorů kola, z polí 23-25 jsou provedeny vývody pro přední, zadní a nakládací pás. Rozvaděč S4 - 500 V je sběrnice připojen k sekundární straně transformátoru 500 V pohonů (pro přehlednost obrázku není 500 V rozvod zakreslen).

V první části rozvaděče jsou umístěny ochranné a pomocné přístroje vn pohonů, dále jsou z této části provedeny vývody do rozvaděče S5 v otočné desce a přes kroužkový sběrač ve spodní stavbě do rozvaděče S6 vývody pro vynášecí pás a talíř, předávací pás, mazací dopravní linky rypadla a další pomocné pohony.

V druhé části rozvaděče jsou umístěny transformátorky selsynů a signalizace, rotorové stykače asynchronních motorů s kotvou kroužkovou, drátové odpory budících obvodů a stejnosměrné jističe jistění obvodů kotev Leonardových skupin, jakož i jistění ovládacích obvodů.

Z rozvaděče S5 v otočné desce je napojen pojezd podpěrného vozu, zdvih nakládacího výložníku, hydraulika zdvihu předávacího výložníku a jiné.

Spouštění a ovládání celého stroje (až na pojezd podpěrného vozu) se děje z jednoho ze dvou paralelně propojených stanovišť, umístěných po obou stranách kolesového výložníku a z kabiny výsypkáře.

Hlavní spotřebiče elektrické energie

Hlavními spotřebiteli elektrické energie na stroji jsou především motory pohonů. Všechny pohony, až na otáčení svršku, zdvihu a posuvu kolesového výložníku a kabelového bubnu, jsou provedeny asynchronními motory. Vynikají především konstrukční jednoduchostí, provozní spolehlivostí a s minimálními požadavky na údržbu. S ohledem na mechaniku pohonu, jsou buď v provedení s kotvou nakrátko, nebo s kotvou kroužkovou pro provozní napětí 6000 V a 500 V.

Spouštění asynchronních motorů s kotvou kroužkovou probíhá vesměs automaticky, vykracováním rotorových odporů stykači řízenými časovými prvky. Kabelový buben je poháněn střídavým komutátorovým motorem napájeným do rotoru (systém Schrage). Otáčky jsou automaticky řízeny od tahu přívodového kabelu servomotorem, který natáčí kartáče komutátorového motoru.

S ohledem na technologii rozpojování a možnosti programového řízení je otáčení svršku, zdvihu a posuvu kolesového výložníku provedeno stejnosměrnými motory zapojenými do Leonardových skupin. Budicí napětí stejnosměrných strojů je získáno z kompaunčního dynama samostatného budicího soustrojí.

Rychlost otáčení lze řídit ručně po stupních nebo plynule automaticky, změnou buzení dynama Leonardova soustrojí. Při automatickém - programovém řízení jsou jednotlivé parametry a pohyby rypadla snímány v určitém souřadném systému selsyny a znázorněny elektrickým napětím.

Vztahy napětí jsou řešeny a vyhodnocovány jednoduchým analogovým počítačem, který přes další elektronické obvody, plynule ovládá tyristorové můstky usměrňovače řídicí budicí proud dynam.

K potlačení nežádoucí jalové složky el. energie je na stroji instalován samočinný regulátor účinniku $\cos \varphi$ ve spojení se synchronním kompenzátorem.

Jmenovité výkony základní skupiny motorů

Při stanovení spotřeby el. energie vycházíme především z výkonů základní skupiny, tj. skupiny motorů, které při rozpojování zeminy pracují současně a tvoří hlavní odběr.

Jsou to ve směru toku zeminy pohony:

kolesa	.....	2 x 800 kW/6000 V
vynášecí pás	.....	75 kW/500 V
vynášecí talíř	.....	260 kW/500 V
přední pás	.....	630 kW/6000 V
zadní pás	.....	630 kW/6000 V
předávací pás	.....	2 x 110 kW/500 V
nakládací pás	.....	630 kW/6000 V
Leonardovo soustrojí otáčení svršku, zdvihu a posuvu kole- sového výložníku rypadla	.....	3 x 630 kW/6000 V
budiče	.....	40 kW/500 V
pomocné (ventilátory, maza- cí čerpadla, eldra)	.....	110 kW/500 V
C e l k e m	.....	<u>6 085 kW</u>

Na třetím stroji K - 65 byly původní motory pohonu kolesa zaměně-
ny motory o výkonu 2 x 630 kW při zachování stejného kroutícího momen-
tu.

Celkový instalovaný výkon základní skupiny motorů stroje K - 61
je tudíž 5745 kW.

Ostatní motory a spotřebiče pracují víceméně nahodile a celkovou
spotřebu podstatně neovlivňují.

Měření spotřeby elektrické energie

V uplynulém roce bylo na stroji K - 61/3 VMJ v Bílině provedeno
dlouhodobé měření spotřeby el. energie. Sledovala se celková spotře-
ba stroje a spotřeba klíčových vm motorů základní skupiny - pohonu ko-
lesa, předního, zadního a nakládacího pásu a pohony ss dynam L - sou-
strojí otáčení svršku rypadla, zdvihu a posuvu kolesového výložníku.

K celkovému posouzení využití jmenovitých výkonů a k určení míry
maximálního zatížení byla měřena spotřeba činné a jalové (reaktanční)
energie včetně čtvrt hodinového maxima a čistý provozní čas. Současně
byly ve sledovaném období několikrát ověřovány rypné odpory.

Denní odečty elektromotorů byly provedeny v březnu minulého roku
a zpracovaný přehled spotřeby el. energie je uveden v tabulce č. 1, 2
a 3.

Během měření se pohyboval střední rypný odpor kolem 108 kN se špičkami až 168 kN na metr řezné hrany korečku. Průměrný hodinový výkon rozpočteného hlinitopísčitého materiálu na pásu byl 1650 m³.

Tabulka č. 4 pak uvádí měsíční přehled spotřeby el. energie velko- stroje K - 61/3. Zároveň uvádí i celoroční přehled všech třech velko- strojů typu KU 800 VMG v Bílině.

Energetické vylížení měření motorů

Spotřeba el. energie byla měřena trojfázovými činnými elektroměry se dvěma soustavami s ukazatelem maxima ET3M2Z a jalovými elektroměry ET3JZ zapojenými do obvodu měřených motorů přes příslušné měřicí trans- formátory. Z naměřených a uvedených hodnot v tabulkách pak byly vypoč- teny následující parametry určující míru energetického využití strojů. Průměrné zatížení (příkon) P_m - jako celková spotřeba energie W dělená provozní dobou T ve sledovaném období.

Míra využití η

- je procentuální poměr průměrného zatí- žení P_m k jmenovitému výkonu P_n .

Míra maximálního zatížení P_{max} - jako nejvyšší hodnota středního výko- nu ve sledovaném období.

Účinník $\cos \varphi$

- fázový posuv mezi napětím a proudem v důsledku indukčního charakteru zátě- že.

Motor pohonu		P_n (kW)	P_m (kW)	P_{max} (kW)	η (%)	$\cos \varphi$
kolesa	I.	800	268	566	33,5	0,73
	II.		273	613	34,1	0,71
páso	předního	630	126	252	20	0,51
	zadního		75	142	11,9	0,33
	nakládacího		128	314	20,2	0,52
Leonardova soustrojí	otáčení svršku	630	44	87	7	0,26
	zdvihu		42	189	6,7	0,24
	posuvu		29	270	4,6	0,17

Vypočtené hodnoty jsou ve všech směrech překvapivě nízké. Zvláště u pohonných motorů Leonardova soustrojí je to markantní. Z titulu vysoké poruchovosti byl VÚES v Brně stanoven pro tyto motory provozní řád, omezující počet zapnutí na minimum. Z tohoto důvodu se při relativně krátkých odstávkách motory nevypínají a běží, jako zdroj jalové energie naprázdno, (např. v době měření provozní čas pohonu kola 650h a soustrojí 977 h).

Otázka, zda současný způsob pohonu otáčení svršku, výsuvu a zdvihu kolesového výložníku, je nejvýhodnější, je sporná (nevyhovuje zcela ani současné technologii rozpojování) a projektanti by jí měli věnovat více pozornosti.

Využití ostatních motorů je závislé na těženém množství, způsobu a podmínkách dobývání a mnoha dalších faktorech. Lze předpokládat, že výkony strojů se budou postupně zvyšovat, ale přesto nedojde pravděpodobně k plnému využití jmenovitých výkonů a stroje budou pracovat s dostatečnou rezervou.

Měření bylo provedeno při zcela typických podmínkách za jakých jsou rypadla provozována. Zatím je nutno nadále uvažovat se současným energetickým stavem a řešit především otázku zhoršeného účinku, který je jednou z příčin ne hospodárního stavu.

Kompenzace účinku

Hlavním původcem špatného účinku jsou málo zatížené motory a transformátory. To proto, že magnetizační proud klesá mnohem volněji než činný proud a stejně je to i s jalovým a činným výkonem. Zvláště nápadný je velký jalový příkon při běhu naprázdno, jenž činí asi 60 - 70 % příkonu, který motor odebírá při plném zatížení. Synchronní kompenzátor na stroji je schopen svým výkonem 2,2 MVar vykompenzovat účinek na požadovanou hodnotu, ale stojí za úvahu přezkoumat i vhodnost dimenze pohonných motorů, hlavně Leonardova soustrojí. Synchronní kompenzátor, jak bylo již řečeno, je automaticky ovládaný samočinným regulátorem účinku. Napětí a proud odebíraný zátěží je transformován a přiváděn do fázově citlivého vstupního obvodu, na jehož výstupu je ss napětí, úměrné velikosti a vzájemnému fázovému posuvu obou snímaných veličin. Rozdíl těchto dvou napětí se přivádí na vstup řídicího zesí-

lovače ovládající generátor impulsů. Těmito impulsy je řízen tyristorový můstek, z jehož diagonály je odebírán se proud buzení budiče synchronního kompenzátoru.

Nedostatkem samočinného regulátoru je omezená citlivost vstupního obvodu. Při poklesu odběru el. energie pod 40 % provozní hodnoty (při běhu naprázdno) nedochází již k spolehlivému ovlivnění vstupních obvodů a k regulaci kompenzace. To je příčinou proč celkový průměrný účinník stroje na straně 35 kV nedosahuje požadovaných hodnot. Neutěšenou situací automatické regulace se zabývá výrobce zařízení ZPA VVÚ Karlín. Uvažuje se s vybudováním trvalého stanoviště v pohyblivé rozvodně pro manipulanta, který by regulaci kompenzátoru při nízkém odběru řídil ručně. Problém kompenzace účinníku na rypadle je stále aktuální a je třeba mu věnovat patřičnou pozornost.

V současné době je nepříznivý účinník rypadel VMG kompenzován kondenzátorovými bateriemi instalovanými na rozvodně. Takže celoroční průměrný účinník v roce 1974 byl 0,873 při celkové spotřebě 83 623 MWh činné a 29 664 MVar jalové el. energie. Průměrná cena za 1 kWh 0,186 Kčs byla ovlivněna bonifikací za zhoršení účinníku. V listopadu minulého roku bylo např. docíleno neutrální úrovně účinníku stanovené ceníkem, tj. 0,9. Z toho vyplynula cena 1 kWh za 0,179 Kčs, zatímco v září při účinníku 0,84 za 0,201 Kčs/kWh.

V roce 1972 rozhodla federální vláda o přípravě přestavby velkoobchodních cen s tím, že nové VC budou platit od ledna 1976. Byl vypracován návrh nových tarifních podmínek v oblasti odběru jalové energie, kde neutrální hodnota účinníku se zvyšuje na 0,95. Dodržení neutrální hodnoty účinníku je povinné a jeho nedodržení bude podléhat finančnímu postihu.

Měření vytížení pohonů a bilance el. energie přispěly v časovém předstihu k objasnění celkové energetické situace na stroji KU 800, již s ohledem k citovanému rozhodnutí federální vlády.

S h r n u t í

Energetické vytížení vn pohonů velkostroje KU 800

Článek popisuje hlavní rozvod el. energie, druhy pohonů a samočinný regulátor synchronního kompenzátoru na stroji KU 800. Shrnuje ně-

Tabulka č. 1

Přehled spotřeby el. energie a hodnot čtvrt hodinového maxima pohonů WL soustrojí velkostroje KU 800 - 3

Spotřeba el. energie od - do	Provozní doba (min)	Pohon otoče			Pohon zdvihu			Pohon výsuvu		
		W (kWh)	Wr (kVArh)	15 max (kW)	W (kWh)	Wr (kVArh)	15 max (kW)	W (kWh)	Wr (kVArh)	15 max (kW)
1.3. - 3.3.	1362	1096	4703	42,4	1205	4722	141,5	1275	4826	86,5
14.3. - 16.3.	3594	2045	9234	47,2	2244	9252	165,1	1555	9422	270,4
19.3.	768	600	2718	47,2	642	2724	102,2	268	2766	47,2
20.3.	918	156	756	47,2	180	756	102,2	84	768	47,2
21.3.	408	660	2988	47,2	696	2988	102,2	684	3012	47,2
22.3.	1146	732	3216	47,2	756	3228	110,0	780	3276	55,0
23.3.	930	612	2532	47,2	588	2532	110,0	648	2580	62,9
24.3.	1050	720	2928	47,2	768	2952	110,0	840	3012	78,6
25.3.	876	648	2376	55,0	552	2388	78,6	576	2400	55,0
26.3.	1284	948	3492	62,0	900	3504	188,6	888	3588	78,6
27.3.		1188	3420	78,6	828	3336	102,2	816	3468	47,2
28.3.	5262	900	3192	78,6	744	3252	110,0	780	3216	78,6
29.3. - 5.4.		2172	8328	78,6	1716	7128	110,0	1752	7236	78,6
6.4. - 11.4.	7062	4596	18864	56,6	4920	20160	157,0	2376	20544	102,2
12.4. - 26.6.	33948	25716	92554	86,5	23966	92820	165,1	14862	93913	565,8
	58608	42789	161301		40705	161742		26184	164027	
Průměrný cos φ			0,26			0,24			0,17	
Nejvyšší hodnota 15 max			86,5 kW			188,6 kW			270,4 kW	

Tabulka č. 2

Přehled spotřeby el. energie a hodnot čtvrt hodinového maxima pohonů pásu velkostroje KU 800 - 3

Spotřeba el. energie od - do	Přední			Zadní			Nakládací			Poznámka
	W (kWh)	Wr (kVAh)	15' max (kW)	W (kWh)	Wr (kVAh)	15' max (kW)	W (kWh)	Wr (kVAh)	15' max (kW)	
1.3. - 3.3.	2410	3879	238,9	1421	3898	115,4	2497	3898	188,6	4. - 13.3. PPO 17. - 18.3. porucha
14.3. - 16.3.	3276	4698	251,5	2279	4776	142,1	2988	4709	314,4	
19.3.	900	1500	180,7	678	1545	124,3	941	1536	157,2	
20.3.	132	180	188,6	84	204	124,3	120	204	157,2	
21.3.	1332	2076	188,6	876	2040	124,3	1224	2088	157,2	
22.3.	1176	2028	172,9	768	2016	124,3	1188	2016	141,5	
23.3.	1212	2064	172,9	756	2052	115,4	1200	2028	141,5	
24.3.	1848	3180	220,0	1104	3120	115,4	1680	3060	141,5	
25.3.	1440	2364	188,6	852	2304	115,4	1212	2280	125,8	
26.3.	1644	2712	204,3	1080	2712	88,8	1488	2664	133,6	
27.3.	2112	3216	204,3	1308	3204	106,6	1728	3192	133,6	
28.3.	1164	2052	157,2	732	2016	97,7	1032	2004	125,8	
29.3. - 5.4.	3492	6504	180,7	2136	6372	88,8	3312	6252	141,5	2. - 5.4 PPO
6.4. - 11.4.	8940	15252	227,9	5400	15024	88,8	10812	15333	220,1	
12.4. - 26.6.	49754	85472	243,7	28890	84084	133,2	51264	83910	243,7	
1.3. - 26.6.	80832	137177		48364	135367		82686	135174		
Průměrný $\cos \varphi$		0,51			0,33			0,52		
Nejvyšší hodnota 15 max		251,5 kW			142,1 kW			314,4 kW		

Tabulka č. 3

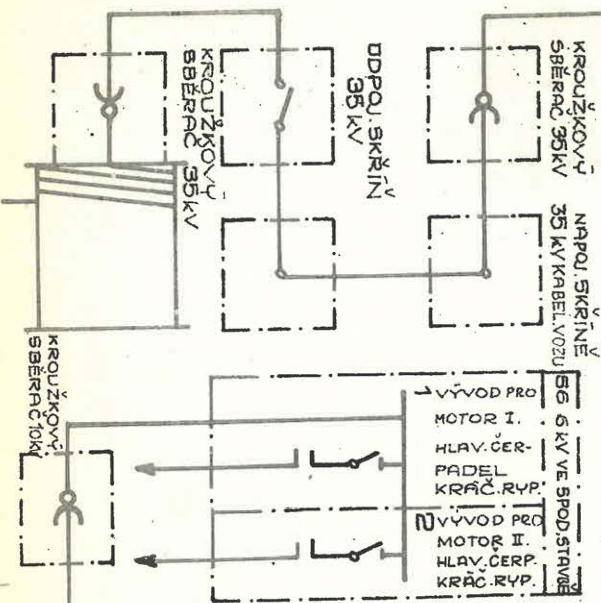
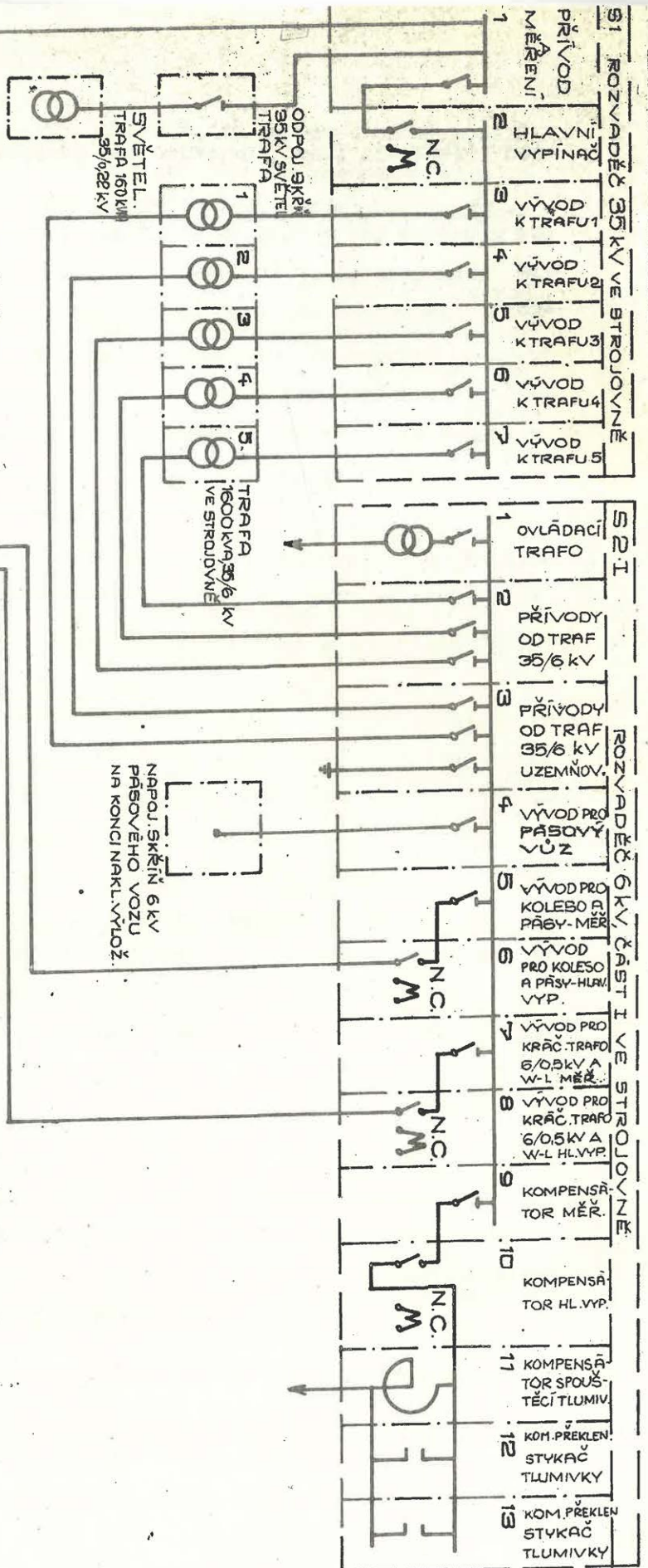
Přehled celkové spotřeby el. energie a energie pohonu kola velkstroje KU 800 - 3

Spotřeba el. energie od - do	I. pohon kola			II. pohon kola			Celková spotřeba	
	W (kWh)	Wr (kVArh)	15 max (kW)	W (kWh)	Wr (kVArh)	15 max (kW)	W (kWh)	Wr (kVArh)
1.3. - 3.3.	1724	1920	348,9	1285	1884	298,7	14679	28245
14.3. - 16.3.	4837	5584	361,6	3933	5489	298,7	54925	95760
19.3.	1479	1762	338	1196	1740	314,4	11319	20160
20.3.	144	204	338	120	216	314,4	3150	7140
21.3.	2316	2520	346	1908	2484	314,4	14805	19635
22.3.	2268	2520	291	1896	2496	267	14490	22365
23.3.	2388	2544	346	2004	2520	299	14175	19845
24.3.	3576	3936	354	2940	3864	314	19740	26985
25.3.	neregistrováno měření rypných odporů			2640	2892	338	15960	21525
26.3.				3264	3456	519	19320	26985
27.3.				5256	4296	464	24465	29820
28.3. - 11.4.	30672	30492	472	27396	29856	472	173460	253575
12.4. - 26.6.	125172	111534	566	123598	112750	613	671444	1009523
Průměrný cos φ	174576	163016		177436	173943		1051932	1581563
Nejvyšší hodnota 15 max		0,73	566		0,71	613		0,55

Tabulka č. 4

Přehled spotřeby el. energie velkostrojů KU 800 - na dole VMG v roce 1974

Stroj KU800	Údobí	El. energie		Průměrný účinník $\cos \varphi$
		W (kWh)	Wr (kVArh)	
G K	leden	321 072	285 210	0,747
	únor	300 320	285 320	0,725
	březen	229 260	176 540	0,792
	duben	367 250	281 420	0,793
	květen	354 100	287 300	0,777
	červen	440 000	306 290	0,821
	červenec	358 800	302 840	0,764
	srpen	415 810	352 750	0,762
	září	422 250	263 350	0,848
	říjen	523 040	272 720	0,887
	listopad	440 090	167 580	0,935
	prosinec	588 140	286 230	0,899
	celoroční	4 760 132	3 267 550	0,824
K-59	celoroční	4 032 501	3 472 201	0,758
K-65	celoroční	4 362 003	2 903 100	0,832



ROZVOD EL. ENERGIE
NA RYP. KU 800