

# České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

*Katedra elektrických pohonů a trakce*

## Diplomová práce



**Návrh řešení systému záložního napájení důlního  
stroje poháněného stejnosměrným motorem a  
řízeného usměrňovačem**

Bc. Filip Jiran

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

katedra elektrických pohonů a trakce

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Filip Jiran**

Studijní program:  
Obor: Elektrické stroje, přístroje a pohony

**Název tématu: Návrh řešení systému záložního napájení důlního stroje poháněného stejnosměrným motorem a řízeného usměrňovačem**

### Pokyny pro vypracování:

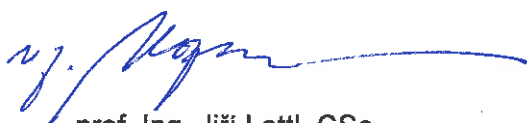
1. Teoretický rozbor funkce důlního stroje – řešení a parametrizace systému, provozní stavy, vlivy na nadřazenou napájecí síť, rekuperace.
2. Teoretický rozbor funkce motor-generátorových zdrojů, systémy řízení a regulace výkonu. Provozní režimy pro různé typy zatížení, paralelní chod se sítí, paralelní chod s dalším motorgenerátorem.
3. Návrh modelu řešení systému záložního napájení s motor-generátorovým zdrojem – výpočet parametrů záložních zdrojů, výpočet a parametrizace systému distribuce rozvodu el. energie.
4. Návrh řešení úpravy systému rekuperačního brzdění pro provozní stav zálohování motor-generátorovým zdrojem a stavy mezi přechody provozních stavů distribuční síť – záložní napájecí systém a zpět.
5. Popis funkce řídicího systému

### Seznam odborné literatury:

- [1] OKD: Dokumentace důlního stroje a systému distribuce el. energie
- [2] PRONIX s.r.o. – Systémy záložního napájení
- [3] FG Wilson: HV Alternators manual
- [4] FG Wilson: Multiple Synchronised sets - easYgen Range of Control Panels
- [5] Pavelka J.: Elektrické pohony – skriptum ČVUT
- [6] Měříčka J., Zoubek Z.: Obecná teorie elektrického stroje, SNTL
- [7] Normy a elektrotechnické předpisy: ČSN 38 5422, ČSN 33 2000, ČSN 33 2190, ČSN 33 3201, EN 60204-1, ČSN ISO 8528, ČSN EN 12601.

Vedoucí: Ing. Vít Hlinovský, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2013/2014



prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 3. 12. 2012



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil pouze literaturu uvedenou v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon). Souhlasím s využitím diplomové práce fakultou se souhlasem katedry elektrických pohonů a trakce.

V Praze dne .....

.....

Filip Jiran



## Anotace

Tato diplomová práce se zabývá záložním napájením provozu hlubinného dolu na uhlí pomocí motorgenerátoru. A následného návrhu záložního motorgenerátoru a jeho pomocných technologií pro těžní stroj. Také seznamuje čtenáře s nutností instalace brzdného rezistoru pro rekuperační brzdění těžního stroje. V závěru popisuje možnosti řídicího systému.

## Abstrakt

This master thesis deals with standby power supply to operation of underground coal mine using a motor-generator. A subsequent draft a backup motor-generator and its auxiliary technologies for mining machine. It also familiarizes the reader with the necessity of installing a braking resistor for regenerative braking of mining machine. In conclusion describes the control system.



## Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu své práce za všechny konstruktivní připomínky, které vedly k úspěšnému dokončení této práce. Také bych chtěl poděkovat kolegům ze společnosti PRONIX s.r.o. za jejich volný čas, během kterého mi pomohl lépe pochopit zpracovávanou problematiku. A také všem osobám v mé blízkosti za jejich podporu při psaní této diplomové práce.



# 0 OBSAH

0	OBSAH.....	6
0.1	SEZNAM PŘÍLOH.....	8
0.2	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
0.3	SEZNAM TABULEK.....	10
0.4	ZKRATKY A VYSVĚTLIVKY.....	11
1	ÚVOD.....	12
2	POPIS HLUBINNÉHO UHELNÉHO DOLU.....	13
2.1	DOPRAVA JÁMOU.....	14
2.2	TĚŽNÍ ZAŘÍZENÍ.....	16
2.3	POHONY TĚŽNÍCH STROJŮ.....	21
2.4	TĚŽNÍ A VYROVNÁVACÍ LANA, ZÁVĚSY.....	22
2.5	TĚŽNÍ NÁDOBY.....	23
3	PARAMETRY DŮLNÍHO STROJE.....	27
3.1	PARAMETRY POHONU DŮLNÍHO STROJE.....	27
3.2	OSTATNÍ SPOTŘEBY.....	28
3.3	SCHÉMA PROVOZU ZÁLOŽNÍHO ZDROJE.....	28
3.4	POŽADAVKY.....	29
4	SCHÉMA NAPÁJECÍ SOUSTAVY.....	30
4.1	UMÍSTĚNÍ ZÁLOŽNÍHO ZDROJE.....	30
4.2	VÝVODY Z ROZVODNY R6KV J2.....	30
5	POPIS PROVOZNÍCH STAVŮ.....	31
5.1	MĚŘENÍ ZE DNE 3.5.2012.....	31
5.2	MĚŘENÍ ZE DNE 20.5.2012.....	32
5.3	OBECNÉ POZNÁMKY K VÝSLEDKŮM MĚŘENÍ.....	33
6	MOTORGENERÁTOR.....	34
6.1	PRINCIP ČINNOSTI.....	34
6.2	POPIS MOTORGENERÁTORU.....	39
6.3	POMOCNÉ TECHNOLOGIE.....	40
6.4	PRACOVNÍ REŽIMY.....	41
6.5	KONTROLÉR.....	43
7	NÁVRH ŘEŠENÍ ZÁLOŽNÍHO NAPÁJENÍ.....	44
7.1	VÝPOČET ZÁLOHOVANÉHO VÝKONU.....	45
7.2	INSTALACE ZÁLOŽNÍHO ZDROJE.....	51
7.3	SERVIS A PROHLÍDKA MOTORGENERÁTORŮ.....	52
7.4	SCHÉMA NAPÁJENÍ.....	53
7.5	ČÁSTEČNÝ SOUHRN VÝSLEDKŮ.....	54
8	NÁVRH ŘEŠENÍ REKUPERAČNÍHO BRZDĚNÍ.....	55
8.1	MOŽNOSTI AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	55



8.2	ŘEŠENÍ REKUPERAČNÍHO BRZDĚNÍ .....	56
8.3	PŘECHODY MEZI PROVOZNÍMI STAVY .....	57
9	ŘÍDICÍ SYSTÉM .....	58
10	ZÁVĚR.....	60
11	POUŽITÁ LITERATURA .....	61
12	PŘÍLOHY .....	62



## **0.1 Seznam příloh**

1. Technická zpráva E0118631-0
2. Výpočet MG pomocí softwaru GenSelect
3. Technický list MG P1350P1-P1500E1
4. Technický list kabelu 6-AYKCY
5. Schéma napájení v SW ABB DOC
6. Přehledové schéma napájení\_napájení ze sítě
7. Přehledové schéma napájení\_napájení z motorgenerátorů, bez těžního stroje
8. Přehledové schéma napájení\_napájení z motorgenerátorů, s těžním strojem
9. Přehledové schéma napájení\_rekuperační brzdění





## 0.2 Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 - SCHÉMA HLUBINNÉHO DOLU [1].....	13
OBRÁZEK 2 - SCHÉMA TĚŽBY S BUBNOVÝM TĚŽNÍM STROJEM [3] .....	19
OBRÁZEK 3 - SCHÉMA KLECOVÉ NÁDOBY [3].....	25
OBRÁZEK 4 – SCHÉMA SKIPOVÉ NÁDOBY [3].....	26
OBRÁZEK 5 - SCHÉMA ZAPOJENÍ REGULÁTORU AVR V SYSTÉMU SHUNT [6] .....	35
OBRÁZEK 6 - SCHÉMA ZAPOJENÍ REGULÁTORU AVR V SYSTÉMU PMG [6].....	36
OBRÁZEK 7 - SCHÉMA ZAPOJENÍ REGULÁTORU AVR V SYSTÉMU AREP [6] .....	37
OBRÁZEK 8 – POPIS TYPICKÉHO NAFTOVÉHO MOTORGENERÁTORU [5] .....	39
OBRÁZEK 9 - FOTKA MOTORGENERÁTORU UMÍSTĚNÉHO V KONTEJNERU [9] .....	44
OBRÁZEK 10 - ANALYZOVANÝ ÚSEK PRO VÝPOČET ČINNÉHO VÝKONU .....	46
OBRÁZEK 11 - ANALYZOVANÝ ÚSEK PRO VÝPOČET ZDÁNLIVÉHO VÝKONU .....	46
OBRÁZEK 12 - NASTAVENÍ ZÁTĚŽE VLASTNÍ SPOTŘEBA ROZVODNY J2.....	48
OBRÁZEK 13 - NASTAVENÍ ZÁTĚŽE VLASTNÍ SPOTŘEBA TĚŽNÍHO STROJE .....	49
OBRÁZEK 14 - NASTAVENÍ ZÁTĚŽE TĚŽNÍ STROJ .....	50
OBRÁZEK 15 - NASTAVENÍ PRVKU MOTORGENERÁTORU .....	53
OBRÁZEK 16 - UKÁZKA DÁLKOVÉHO DOHLEDU MOTORGENERÁTORU .....	59



### 0.3 Seznam tabulek

TABULKA 1 - PARAMETRY STEJNOSMĚRNÉHO STROJE .....	27
TABULKA 2 - PARAMETRY TYRISTOROVÉHO MĚNIČE.....	27
TABULKA 3 - PARAMETRY MĚNIČOVÉHO TRANSFORMÁTORU .....	27
TABULKA 4 - KOEFICIENTY PŘEPOČTU VÝKONU MOTORGENERÁTORU V ZÁVISLOSTI NA NADMOŘSKÉ VÝŠCE ..	45
TABULKA 5 - ENERGETICKÁ BILANCE TECHNOLOGIE TĚŽNÍHO STROJE.....	47



## 0.4 Zkratky a vysvětlivky

MG – motorgenerátor, někdy též DA – dieselagregátor

PHM – palivové hospodářství motorgenerátoru

VZT – vzduchotechnika

SW – software

Šachta – svislý dutý prostor ve větším technickém zařízení

Sloj – ložisko nerostu sedimentárního původu

Ohlubeň – upravená plocha ve výškové úrovni ústí jámy na povrch

Rumpál – strojní zařízení, které usnadňuje vertikální zvedání břemen nebo napínání drátů a lan



# 1 Úvod

V dnešní moderní době si člověk ani neumí představit, jaké by bylo žít bez elektřiny a všech elektrických spotřebičů, se kterými se denně dostává do styku. A pokud si uvědomíme, že ztráta elektrického napájení může ohrozit naše finance a majetek (banky, internetové servery apod.) nebo dokonce lidské životy (nemocnice), je nutné, aby v těchto kritických situacích k této možnosti výpadku elektrické energie nedocházelo.

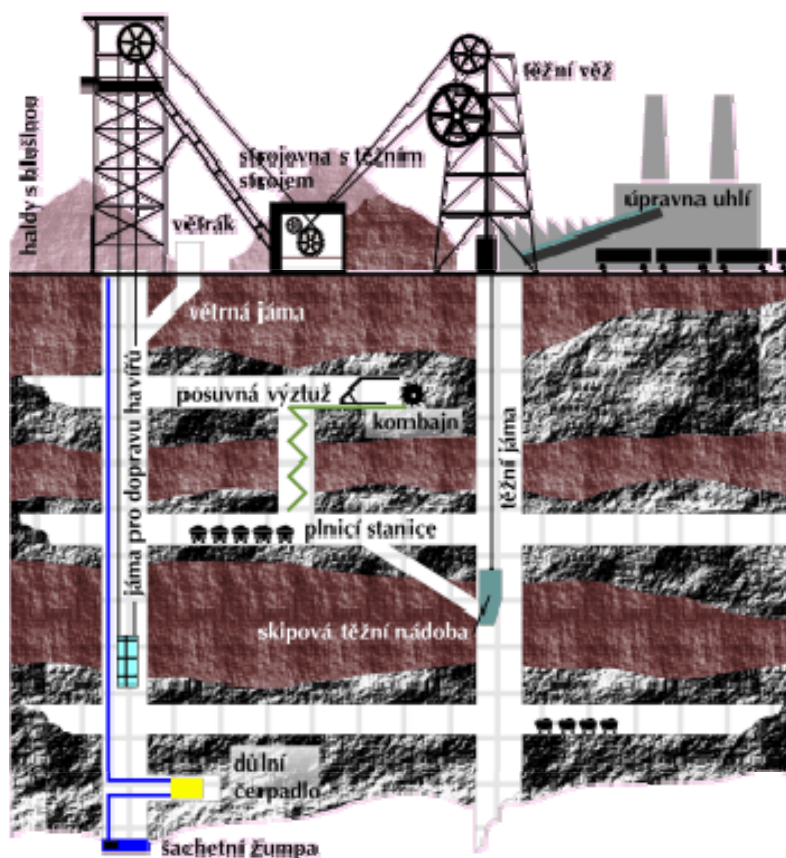
Naštěstí touto problematikou se zabývá technologie záložního napájení. Z hlediska pracovní činnosti známe záložní zdroje výpadkové a bezvýpadkové. Mezi bezvýpadkové zdroje patří tzv. UPS (Uninterruptible Power Supply – nepřerušitelný zdroj energie), nejčastěji sestávaný z polovodičové elektroniky a akumulčních baterií. Jeho nevýhodou bývá poměrně krátká doba, po kterou může danou technologii zálohovat při plném výkonu odběru. Klasickým výpadkovým zdrojem elektrické energie je motorgenerátor. Výpadkový se mu říká proto, že při ztrátě napájení z distribuční sítě dochází ke krátkodobému časovému úseku, ve kterém se záložní zdroj uvádí do provozu, a zálohované spotřebiče nejsou elektricky napájeny. Motorgenerátor je využíván hlavně proto, že dokáže napájet zálohovanou technologii po dobu několika hodin až dní. Záleží samozřejmě na množství paliva, které je ale možné za provozu doplňovat.

Cílem této práce je navrhnout odpovídající záložní zdroj pro technologii napájení důlního stroje a jeho pomocných provozů. Zároveň popsat problematiku záložního zdroje a jeho pomocné technologie, která je pro jeho provoz nezbytná.



## 2 Popis hlubinného uhelného dolu

Základním prvkem pro těžbu uhlí v hlubinném dolu je svislá jáma, označována jako šachta, vedoucí od povrchu terénu, tomuto místu se říká tzv. ohlubeň, až k uhelné sloji. Na úrovni terénu je nad šachtou postavena těžní věž. Šachtou se do dolu dopravují horníci, potřebný materiál a technologie. Zároveň zde vedou potřebné potrubí a kabely a v neposlední řadě se šachtou dopravuje vytěžené uhlí na povrch. Pod povrchem se z šachty razí chodby potřebné k vytěžení ložiska uhlí. Tyto chodby se razí kolmo k šachtě, tedy horizontálně a typicky je jich v dole několik. K propojení chodeb vedených nad sebou se kopou i svážené chodby, pro zjednodušení transportu materiálu a uhlí mezi chodbami. Všechna důlní pracoviště musí být větrána z důvodu umožnění přístupu vzduchu a odvodu různých zplodin. Nejjednodušší je přirozené větrání, ale často je nutno použít velké ventilátory pro nucenou cirkulaci vzduchu. Většina hlubokých dolů trpí přítokem spodních vod. Pro jejich odstranění se hloubí pod úroveň nejspodnějšího patra ještě tzv. žumpa, kde se voda z celého dolu soustřeďuje a čerpadly se vyčerpává z dolu na povrch.



Obrázek 1 - Schéma hlubinného dolu [1]



Vybavení těžní jámy, zařízení těžní věže, řešení těžního stroje a jeho vybavení, požadavky na bezpečnost, vlastnosti, rozměry, zkoušení, montáž a údržba lan, zařízení a doplňky klece jsou vesměs předepsány podrobnými předpisy a přísně se kontrolují.

## 2.1 Doprava jámou

Zařízení pro svislou dopravu, zejména jámou, tvoří ucelený komplex, do kterého patří:

- vlastní jáma a její prodloužení nad ohlubní těžní věží,
- náraziště (jsou na důlních patrech a na povrchu),
- těžní zařízení (těžní stroje, lana, dopravní nádoby),
- signalizační a zabezpečovací zařízení.

Vzhledem ke své funkci je jáma vybavena:

- zařízením pro vedení těžních nádob (vodící lana, atd.),
- potrubí (vzduchovody, vodovody), kabely (sdělovací, silové),
- lezní oddělení se žebříky a odpočívadly pro nouzovou chůzi lidí.

### Těžní věž

Je prodloužení jámového komína nad ohlubní jámy umožňující vyprazdňování těžních nádob buď na úrovni ohlubně (skipová těžba) nebo nad její úrovní, a to s ohledem na ostatní dispozice na povrchu.

### Konstrukce těžních věží:

- ocelové (vzpěrové, kozlíkové),
- betonové (s umístěním těžního stroje ve zhlaví věže).

Ve zhlaví věže jsou vedle volné výšky, která umožňuje určité přejetí nejvyšší provozní polohy klece, zabudována bezpečnostní zařízení:

- brzdící průvodnice (nedovolí přejezd nádoby až k lanovnicím),
- nárazníkový rošt (jako poslední ochrana před vjezdem nádoby do hlavy věže),



- sklopy (zachytí klec po přetržení lana),
- ochranná koryta pod lanovnicemi.

Naopak v jámové tůni jsou bezpečnostní zařízení tvořena:

- volná hloubka,
- brzdící průvodnice,
- nárazníkový rošt nad vlastní tůní, ve které se zpravidla shromažďuje voda.

## **Náraziště**

Je prostor, kde se svislá doprava hmot převádí na vodorovnou, a naopak. U hlavních těžních jam jsou rozsáhlejší, vyšší, u jam pomocných jsou menších rozměrů.

Náraziště důlní i povrchová jsou vybavena:

- kolejištěm pro oběh vozů (umožňuje přísun/odsun vozů do směru nárazení/vyrážení),
- nárazecí zařízení: sklopnými můstky, které umožňují nárazení vozů i při nepřesném ustavení klece, nárazecí mechanismus (s pneumatickým či hydraulickým pohonem a prostředky proti přejetí vozů do jámy),
- posunovací zař (přisunují vozy k/od jámy),
- nástupní plošiny (pro jízdu pracovníků v době řádné jízdy),
- pomocná zařízení pro manipulaci (vrátky, kladkostroje).

U jam se skipovou těžbou jsou zřizovány:

- zásobníky – velkoobjemový a dávkovací pro plnění skipové nádoby,
- výklopníky při vozové dopravě,
- na povrchu zařízení pro vyprazdňování skipové nádoby včetně zařízení pro dopravu do úpravy.

## **Těžní zařízení**

Těžní zařízení se sestává z:

- těžního stroje (bubnový, bobinový, s třecími kotouči),



- těžní a vyrovnávací lana,
- těžní nádoby.

## **Signalizační zařízení**

Slouží k rychlým pokynům narážečů pro strojníka těžního stroje, aby dle dohodnutých signálů provedl určitý výkon. Návěští jsou světelná a zvuková.

## **2.2 Těžní zařízení**

Mezi těžní zařízení patří: těžní stroje, těžní a vyrovnávací lana a těžní nádoby.

### **Těžní stroje**

Zajišťují zdvihání a spouštění těžních nádob. Obvykle jsou umístěny ve strojovně vedle těžní jámy. Lana jsou pak vedena lanovnicemi na těžní věži tak, aby byl nad šachtou dostatek místa pro horní stanici tzv. výjezdni patro. Těžní stroj může být i nahoře v těžní věži.

Rozdělení podle pohonu těžního stroje:

- parní,
- vzduchové,
- hydraulické,
- elektrické.

Rozdělení podle typu těžního stroje:

- bubnové,
- bobinové,
- s jednolanovým třecím kotoučem,
- s vícelanovým třecím kotoučem.

Rozdělení podle umístění těžního stroje:

- povrchové,
- podzemní (u slepých jam a šibíků).





## Bubnové těžní stroje

Bubnové těžní stroje jsou klasickými stroji, které se postupně vyvinuly z rumpálů používaného už ve středověkém hornictví.

Základním typem je dvoububnový těžní stroj. Kromě dvoububnového těžního stroje s válcovými bubny se používají jednobubnové stroje. Dříve se používaly také bubny kuželové, cylindrické a bicylindrické. Jejich účel, rovnoměrnější rozdělení statických a dynamických kroutících momentů při rozjezdu a dojezdu, plně nahradily moderní konstrukce elektrických pohonů, které tyto přetížení vyrovnávají. K bubnovým strojům patří i bubnový těžní stroj, u kterého je lano navíjeno na úzký buben na sebe, takzvané bobiny.

U dvoububnových těžních strojů je jeden buben nasazen na hřídel těžního stroje otočně a je s ním spojen pomocí segmentové zubové spojky, druhý buben je pevně naklínován. Tím je umožněno překládání těžení pro dvojčinnou těžbu z několika pater. Volný buben je po vysunutí spojky držen ve své poloze stavěcí brzdou.

Na buben těžního stroje se navíjí zpravidla jen jedna vrstva lana. Počet závitů lana na bubnu musí odpovídat hloubce těžení s připočtením dalších minimálně tří rezervních závitů před upevněním lana na bubnu. Úhel náběhu těžního lana v krajní poloze na bubnu a na lanovnici na těžní věži nesmí při navíjení na jednu vrstvu překročit určitý úhel ( $1^{\circ} 30'$ ), při výjimečném navíjení na dvě vrstvy, musí být buben opatřen náběhovým klínem.

Plášť těžního bubnu může být obložen dřevem, do něhož jsou vysoustruženy spirálové drážky, které bývají provedeny někdy přímo v ocelovém plášti bubnu. Mechanická část těžních strojů bývá dimenzována na síly vznikající při přetržení lan.

Nevýhody těchto strojů spočívají v omezené možnosti těžby z velkých hloubek, v důsledku větších průměrů lan, a tím ztrátě kapacity pro těžbu. Dá se tomu předejít jen použitím většího průměru bubnu i lanovnic a hlavně větší šířkou bubnu.

Každý těžní stroj musí být vybaven jízdni brzdou a pojistnou brzdou, působícími na sobě nezávisle. Dvoububnové a bobinové těžní stroje musí být kromě toho vybaveny stavěcí brzdou nebo zařízením pro aretování volného bubnu nebo bobiny při překládání dopravních nádob na jiné patro.

Jízdni a pojistná brzda bubnových těžních strojů musí za klidu stroje udržet samostatně největší převahu při těžbě s 2,5 násobnou jistotou, při jízdě mužstva s 3,5 násobnou jistotou.



Při rozpojených bubnech musí pojistná i jízdní brzda udržet nevyváženou prázdnou dopravní nádobu v její nejnižší provozní poloze i s váhou těžního lana s 1,5násobnou jistotou.

Stavěcí brzda musí udržet prázdnou nádobu v provozní poloze při překládání druhé nádoby s 1,5násobnou jistotou.

Každý těžní stroj musí být vybaven hloubkoměrem udávajícím v každém okamžiku polohu dopravních nádob, řididlem jízdy, rychloměrem a tachografem, zaznamenávajícím plynule během 24 hodin graficky rychlosti nádob během každé jízdy. Kromě toho je stroj vybaven signalizací, která spojuje strojníka těžního stroje ve strojovně s narážečem na ohlubni a narážeči na těžních patrech. Kromě běžné signalizace existuje rychlorázová a havarijní signalizace, vybavená tlačítkem STOP na každém patře. U nových zařízení je zavedena i signalizace z klecí a systém hlasitého telefonu.

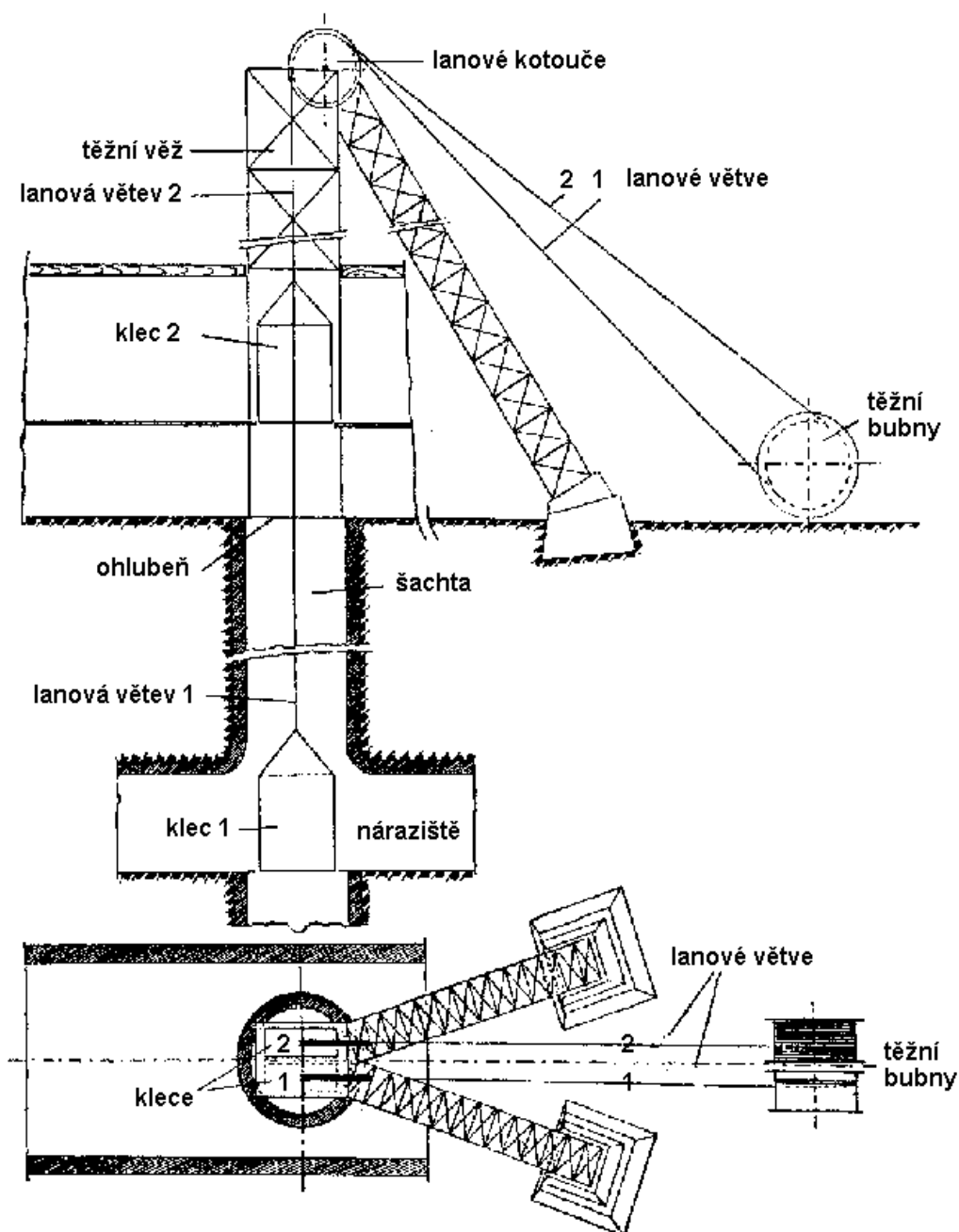


SCHÉMA TĚŽBY KLECEMI S BUBNOVÝM TĚŽNÍM STROJEM

Obrázek 2 - Schéma těžby s bubnovým těžním strojem [3]

## Bobinové těžní stroje

Na rozdíl od bubnových těžních strojů používají tyto bobinové ploché lana. To se navíjí ve spirálách na sebe v úzkém, šířce lana odpovídajícím bubnu. V důsledku měnícího se průměru navíjení, mění se i rychlost těžní nádoby při stejných otáčkách bubnu.

Tyto stroje byly používány výjimečně při hloubení jam.



## **Těžní stroje s třecím kotoučem jednolanové a vícelanové**

Podstatně odlišným navijecím orgánem je třecí kotouč, na němž je těžní lano pouze položeno a při otáčení kotouče je uváděno do pohybu třením vznikajícím mezi lanem a speciálním obložením kotouče ze dřeva, kůže, pryže, apod. (používá se i speciální třecí mazivo).

Nutnou podmínkou je, aby na obou větvích lana vznikaly dostatečné tahy, zaručující při daném součiniteli tření a úhlu opásání kotouče lanem dostatečnou statickou jistotu proti skluzu lana na třecím kotouči. Tato statická jistota proti skluzu lana, jak při těžbě, tak při jízdě mužstva, musí být větší než 2,5.

Pro dodržení těchto podmínek je pod dopravní nádoby zavěšeno vyrovnávací lano stejné hmotnosti běžného metru jako u těžního lana. U jednočinného těžení se na druhý konec těžního lana zavěšuje protizávaží, a pod nádobu a protizávaží pak vyrovnávací lano. Průměr třecího kotouče nesmí být menší než 80-ti násobek průměru lana. Jednolanové těžní stroje, vzhledem ke své konstrukci, která nevyžaduje navijení těžního lana, umožňují dosahovat i při velkém užitečném zatížení značné hloubky těžení.

Úhel náběhu lana z třecího kotouče na lanovnici ve věži může být maximálně  $1^\circ$ .

Vícelanové těžní stroje s třecím kotoučem, které jsou založeny na stejném principu, ale mají místo jednoho lana převěšena přes kotouč dvě, čtyři nebo více lan, překonávají omezení jednolanových strojů, které pro poměr průměru třecího kotouče a průměru lana a měrný tlak mají omezenou hloubku těžení a zatížení. U vícelanových těžních strojů se zatížení rozkládá na několik lan, které mají proto menší jmenovitý průměr, což umožňuje zmenšit průměr třecího kotouče a současně snížit měrný tlak mezi lany a drážkou. Vícelanové těžní stroje vyřešily problém těžení velkých užitečných zatížení z velkých hloubek. Z provozních hledisek jsou nejvhodnější stroje se dvěma a čtyřmi lany. Sudý počet lan a z nich stejný počet s pravým a levým vinutím zaručuje stabilitu dopravních nádob.

U vícelanových těžních strojů odbíhají lana buď přímo do jámy, nebo je jedna větev vedena přes odtlačné lanovnice (přítlačovací kotouč), kdy se připouští nulový úhel náběhu lana na lanovnici.

Lanovnice bývají rovněž vyloženy pružným obložením.



## 2.3 Pohony těžních strojů

Těžní stroje se používají s elektrickým, vzduchovým nebo hydraulickým pohonem. Parní pohon byl zrušen. Elektrický pohon je buď s asynchronním motorem a převodovkou nebo se stejnosměrným motorem pomaloběžným nebo rychloběžným. Převážně se používají pomaloběžné stejnosměrné motory, spojené s hřídelem těžního stroje pružnou spojkou a napájené pomocí Ward-Leonardova soustrojí nebo tyristorovými regulátory. Výhodou stejnosměrného elektrického pohonu těžních strojů je snadná regulace během celé jízdy od rozjezdu až po dojezd při různých zatíženích a při velkých výkonech motorů. U menších těžních strojů do výkonu 1000 kW se používají asynchronní motory se spouštěcími odpory v obvodu kotvy a s dynamickým brzděním. Vzduchové nebo hydraulické pohony se používají pro podzemní těžní stroje ve slepých jámách.

Řízení pohonů těžních strojů je ruční, poloautomatické nebo automatické. Pro jízdu mužstva se požaduje ruční řízení strojníkem. Poloautomaticky nebo automaticky jsou řízena skipová těžní zařízení. Od impulsu po naplnění skipu na patře a vyprázdněním skipu na ohlubni se zařízení rozjíždí samo a celá jízda probíhá podle naprogramované těžní rychlosti. Při plném zásobníku na povrchu se požaduje automatické zastavení skipu pod ohlubni s automatickým dojezdem po uvolnění zásobníku. U klecových těžních zařízení byl vyzkoušen systém dálkového ovládní těžního stroje tlačítky z místa hlavního narážeče na ohlubni.

U elektrických stejnosměrných pohonů se brzdí přímo pohonem a jízdní brzda pouze udržuje zastavený stroj v klidu s patřičnou bezpečností. Pojistná brzda bubnových těžních strojů musí pro nejnepříznivější podmínky při jízdě lidí vyvodit zpoždění o minimální hodnotě  $2 \text{ m/s}^2$  a maximální hodnotě  $5 \text{ m/s}^2$ . U těžních strojů s třecím kotoučem může být minimální zpoždění  $1,5 \text{ m/s}^2$  a maximální zpoždění musí být o 15 % nižší než hranice, při níž by nastal prokluz lana na kotouči.

Bezpečnostní prvky těžního stroje jsou nedílnou součástí provozu těžního stroje. Patří sem:

- Brzdy – jízdní, pojistné, stavěcí (u bubnových strojů pro volný buben).

Starší brzdové stroje jsou vybaveny vzduchovými válci a padacím závažím pojistné brzdy. U nových konstrukcí těžních strojů se používají brzdové stroje pružinové s odlehčováním pneumatickými nebo hydraulickými válci nebo opatřené pro pojistné brzdění rovněž padacím



závažím. Mechanická část brzd bývá nejčastěji provedena jako dvojice čelistí, dosedajících na brzdny věnec každého bubnu.

Pohyb čelistí je buď kývavý, nebo přímoběžný. Brzdné síly se přenášejí pákovým systémem od brzdových strojů, upevněných na základový rám těžního stroje.

Moderní konstrukce těžních strojů se navrhuje s diskovými brzdami, jejichž čelisti dosedají ve směru podélné osy těžního stroje z obou stran na speciální brzdový kotouč.

- Bezpečnostní elektrický obvod – koncové vypínače ve věži, na hloubkoměru.

Hloubkoměr s optickou a akustickou signalizací, která spojuje strojníka těžního stroje ve strojovně s narážečem na ohlubni a narážeči na těžních patrech. Kromě běžné signalizace existuje rychlorázová a havarijní signalizace, vybavená tlačítkem STOP na každém patře. U nových zařízení je zavedena i signalizace z klecí a systém hlasitého telefonu. Hloubkoměr udává v každém okamžiku polohu dopravních nádob.

- Rychloměr a tachograf, zaznamenávající plynule během 24 hodin graficky rychlosti nádob během každé jízdy.
- Řididlo jízdy – má zastavit těžní stroj při dojezdu těžní nádoby do koncové polohy.

## 2.4 Těžní a vyrovnávací lana, závěsy

Nejdůležitějším prvkem těžních zařízení, na který se kladou největší nároky, jsou lana. U bubnových těžních strojů se odebírají po určité době provozu u úvazku lana na kleci kontrolní části a prověřují se na pevnost v tahu a ohybu jednotlivých drátů. U těžních strojů s třecím kotoučem se kontroluje počet zlomů povrchových drátů. Pomocí indukčních čidel se registrují i zlomy vnitřních drátů.

Pro bubnová těžní zařízení s jednou vrstvou lana na bubnu se používají těžní lana s trojbokými prameny. Pro těžní zařízení s třecím kotoučem se nejlépe osvědčují lana souběžně vinutá. Nejvýhodnější pevnost je 160 až 170 kp/mm<sup>2</sup>. U vyšších pevností se při daném průměru sice zvyšuje nosnost lana, ale v provozu se snižuje jejich životnost - větší citlivost na ohýbání.



Těžní lana bubnových strojů se mažou mazadlem proti korozi. Těžní lana strojů s třecím kotoučem se natírají speciálními laky, například Elaskonem, který kromě protikorozní ochrany udržuje a zlepšuje součinitel tření lana na obložení kotouče.

Vyrovnávací lana slouží k vyrovnání zatížení v jednotlivých lanech při těžbě, což umožňuje plynulejší rozjezd i jízdu těžního stroje.

Vyrovnávací lana těžních strojů s třecím kotoučem se používá lan plochých. Výhodou těchto lan je snadná ohebnost ve směru podélné osy u spodní smyčky v jámové tůni.

V poslední době se začínají používat vhodná kruhová lana umrtvené konstrukce, jejichž úvazek pode dnem dopravní nádoby je upevněn otočně na vertikálním čepu. K upevnění těžních lan k dopravní nádobě se používají klínové úvazky, případně jednodušší, například srdcovky se sadou svorek.

U vícelanových těžních zařízení musí být těžní lana pomocí úvazků spojena s vyrovnávacími závěsy. Vyrovnávací závěsy slouží k automatickému nebo periodickému vyrovnávání rozdílných zatížení a provozních protažení těžních lan. Uplatňují se různé konstrukce, například hydraulický vyrovnávací závěs na principu spojených nádob, vahadlový vyrovnávací závěs, a jiné.

Vyrovnávací závěs musí být alespoň u jedné dopravní nádoby, nejlépe u obou.

## 2.5 Těžní nádoby

Užitečná zátěž, důlní vozy, materiál, stroje a mužstvo se dopravují v dopravních neboli těžních nádobách. Základním typem dopravní nádoby je těžní klec pro dopravu vozů a mužstva. Pro dopravu sypaného užitkového nerostu byly zavedeny skipy, případně se používají skipoklece. Ke speciálním dopravním nádobám patří okovy pro hloubení šachet, kontejnery, sklopné nádoby a rámy na dlouhý náklad.

Rozeznáváme:

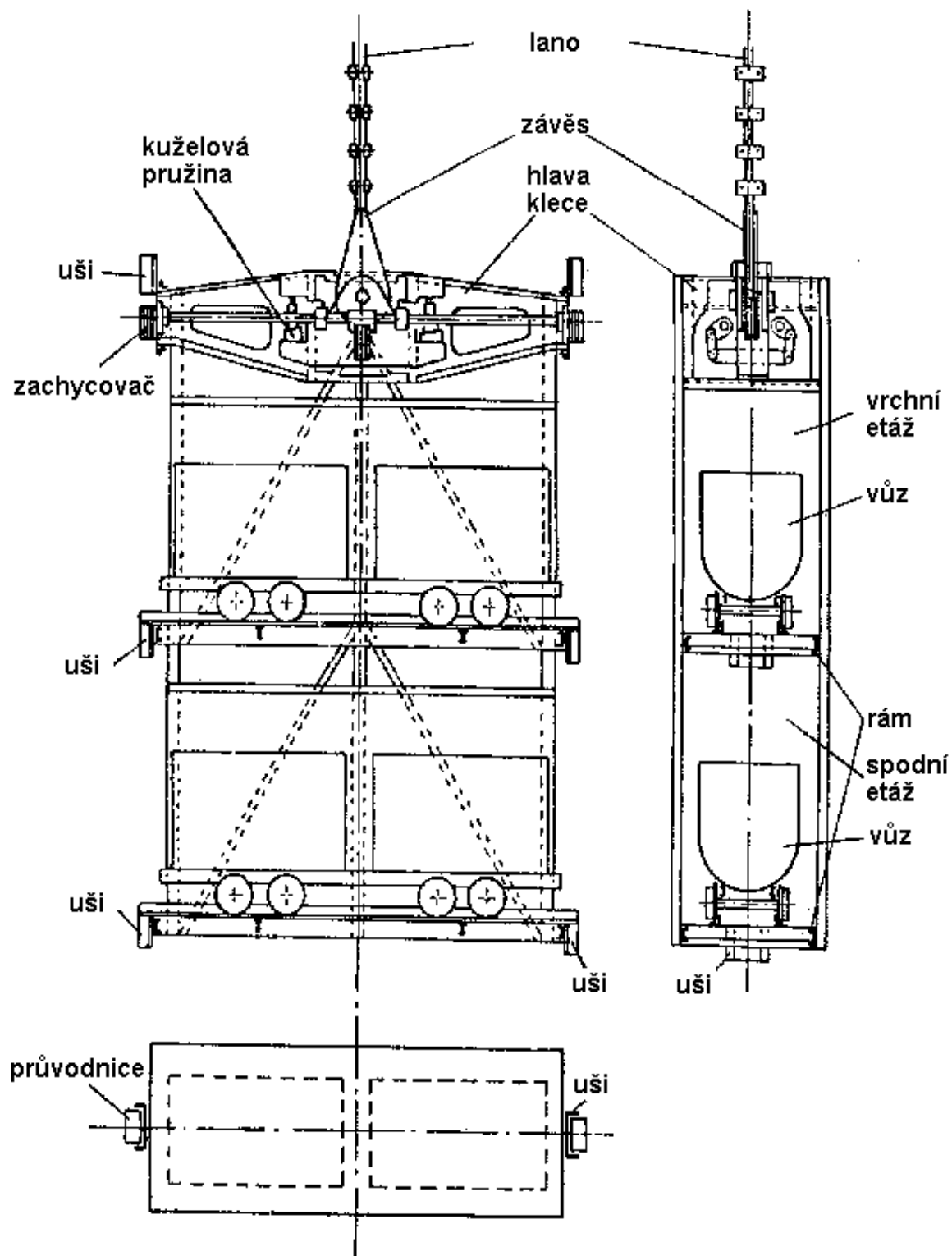
- Těžní klece - základní typ dopravní nádoby pro dopravu vozů a mužstva.

Těžní klece jsou konstruovány jako jednoetážové nebo víceetážové. Na každé etáži je vybavena aretační vozů. Při jízdě mužstva se čelní stěny klece opatřují brankami a klec je vybavena záchyty. Čelistové záchyty pro dřevěné průvodnice se zavírají vlastní pružinou při přetržení nebo vysmeknutí lana a při pádu klece.



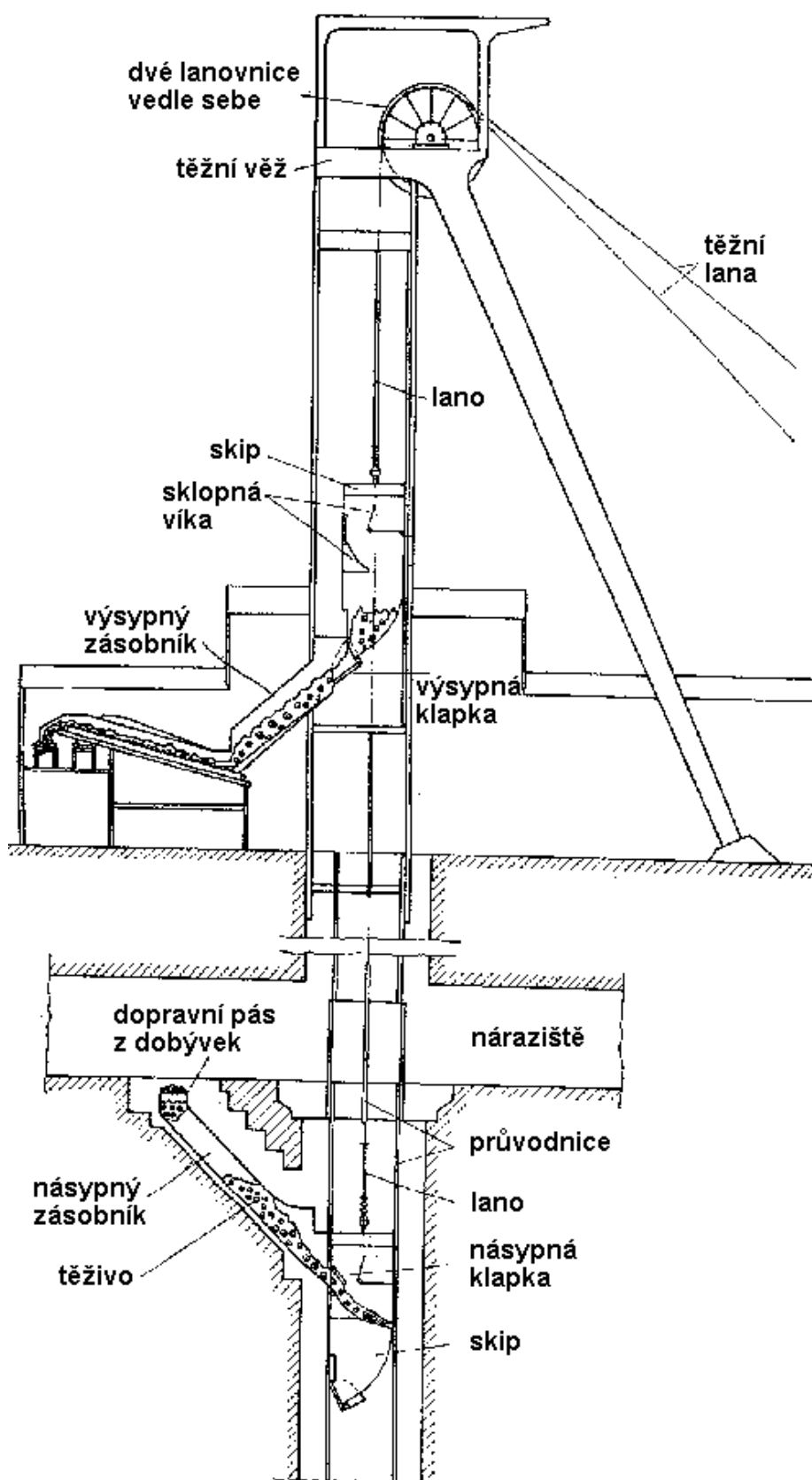
- Skipy - pro dopravu sypaného užitkového nerostu.  
Skipy jsou ocelové nádoby čtvercového nebo obdélníkového půdorysu, do nichž se těživo plní násypným otvorem u hlavy. Spodní uzávěr se otevírá až při dojezdu skipu do výsypné polohy nad ohlubní, a to mechanicky při najetí do vodících křivek nebo pneumaticky. Nádoba je uvnitř vyložena otěrovými plechy a tlumící klapkou, která snižuje nežádoucí sekundární drcení těživa při násypu.
- Speciální nádoby - patří sem okovy pro hloubení šachet, kontejnery, sklopné nádoby a rámy na dlouhý náklad.





**TĚŽNÍ KLEC  
PROVEDENÍ VÍTKOVICKÝCH ŽELEZÁREN**

Obrázek 3 - Schéma klecové nádoby [3]



### SCHÉMA SKIPOVÉ TĚŽBY

Obrázek 4 – Schéma skipové nádoby [3]



### 3 Parametry důlního stroje

Po předchozím úvodním popisu technologie hlubinného uhlého dolu si můžeme jednodušeji představit konkrétní případ uspořádání technologie, pro který je tato práce zpracovávána.

Jedná se o bubnový těžní stroj, poháněný stejnosměrným elektrickým pohonem. Tato technologie je umístěna na povrchu. Pro transport těžené suroviny jsou využívány klece.

#### 3.1 Parametry pohonu důlního stroje

Těžní stroj, poháněný stejnosměrným motorem napájeným z řízeného tyristorového usměrňovače, s měničovým transformátorem, připojeným do sítě 6 kV má následující parametry.

**Tabulka 1 - Parametry stejnosměrného stroje**

Jmenovitý výkon	3800/2600 kW
Jmenovité napětí	800/570 V
Jmenovité otáčky	54,4/38,2 ot/min
Jmenovitý proud	5100 A
Buzení	Cizí – 220 V, 117 A

**Tabulka 2 - Parametry tyristorového měniče**

Typ	Variant VD34 (ČKD-E)
Vstupní napětí	2 x 3 x 570 V AC
Vstupní proud	2121 A/4243 A
Výstupní napětí	2 – 770 V DC
Výstupní proud	2600 A/45 sec, 5200 A/15 sec

**Tabulka 3 - Parametry Měničového transformátoru**

Typ	Resinbloc (ABB)
Jmenovitý výkon	4400/2200/2200 kVA
Skupina spojení	Dy1d0
Jmenovité primární napětí	6000 V
Jmenovité sekundární napětí	2 x 570 V



Pro napájení kotvy stejnosměrného motoru je použita měničová sestava v dvanáctipulzním reverzačním spojení (měničový transformátor se 2 sekundárními vinutími).

### **3.2 Ostatní spotřeby**

Kromě napájení samotného hlavního pohonu těžního stroje, připojeného ze sítě 6 kV, bude nutné zajistit napájení:

- pomocných provozů těžního stroje, napájených ze sítě 500 V, IT (nebo přes transformátory 500/400/230 V) – jejich celkový okamžitý výkon byl odhadnutý na 150 kW;
- vlastní spotřeby rozvodny VN, napájené ze sítě 400 V, TN – kompresory tlakového vzduchu, usměrňovače, osvětlení atd. – celkový okamžitý výkon byl odhadnutý na 150 kW.

Napájení a chod pomocných provozů těžního stroje a vlastní spotřeby rozvodny musí být zajištěno dříve, než dojde k rozjezdu těžního stroje.

### **3.3 Schéma provozu záložního zdroje**

Předpokládá se připojení záložního zdroje, s výstupním napětím generátoru 6 kV (bez mezipřeměny), do rozvodny.

Nepočítá se s automatickým startem záložního zdroje okamžitě po výpadku napětí, o jeho spuštění bude rozhodovat centrální dispečink a může k němu dojít i několik desítek minut po výpadku distribuční sítě.

Proto také nebudou vytvářeny automatické sekvence pro spínání a vzájemné blokování vypínačů VN a NN – vše bude prováděno ručně obsluhou a na základě místního provozního předpisu a pokynu dispečera. Před startem záložního zdroje bude ručně zajištěno odepnutí distribučního transformátoru (10 MVA, 22/603 kV) a odpojení všech vývodů z rozvodny.



### 3.4 Požadavky

Soupis požadavků investora na záložní napájecí zdroj, dle specifikací a naměřených hodnot pohonu důlního stroje a jeho instalace.

- Krátkodobé výkonové špičky pohonu 2,5-3 MVA.
- Záložní zdroj pokrývá výkon činný, jalový a deformační výkon (harmonické složky).
- Zkratový výkon zdroje je takový, že pokles napětí není větší než 15-20 %  $U_n$ .
- Harmonické zkreslení napětí by nemělo překročit 12 %.
- Rázový proud transformátoru při připnutí záložního zdroje na transformátor pohonu je 2000-3000 A.
- Spuštění záložního zdroje bude provedeno dispečerem, včetně manipulací v rozvodnách VN a NN.
- Rekuperace elektrické energie při chodu na záložní zdroj.



## 4 Schéma napájecí soustavy

V tomto bodě popíši zjednodušené schéma napájení od přenosové linky 110 kV po zálohovaný těžní stroj a další spotřeby nutné pro provoz těžního stroje.

V běžném provozním stavu je těžní stroj napájen z rozvodny R6kV J2 přes transformátor T3, 10 MVA, 22/6,3 kV, rozvodnu R22 kV a trojvintuťový transformátor T103, 40 MVA, 110/23/6,3 kV. Takto je popsána pouze jedna obvyklá trasa napájení, bez dalších transformátorů 110/23 kV a 22/6,3 kV, druhého systému přípojnic a jejich podélného dělení u rozveden vn.

Hlavní přívod k stejnosměrnému motoru těžního stroje je z rozvodny R6kV J2 vyveden na trojvintuťový transformátor T1, 4,4/2,2/2,2 MVA, 6/0,570,57 kV. Za transformátorem je připojen dvanáctipulzní měnič TY1,  $\pm 770$  V,  $\pm 2600$  A.

Vlastní spotřeba rozvodny R6kV J2 je napájena z rozvaděčů HR a RH, přes transformátor T7, 6/0,4 kV, 630 kVA.

Pomocné provozy těžního stroje jsou napájeny z rozvaděče TS2/1, přes transformátor T1, 6/0,5 kV, 1600 kVA a podružnou rozvodnu R6kV J1.

### 4.1 Umístění záložního zdroje

Protože v bezprostřední blízkosti rozvodny R6kV J2, do které bude zdroj záložního napájecího napětí připojen, není prostor, počítá se s umístěním záložního zdroje na volné ploše, vzdálené asi 350 metrů od rozvodny (celková délka kabelu 6 kV). Přívodní kabel, na úrovni napětí 6 kV, z kobky rozvodny R6kV J2 bude veden asi 250 m po stávajících kabelových mostech a zbývající 100 m ve výkopu.

### 4.2 Vývody z rozvodny R6kV J2

Všechny vývody z rozvodny R6kV J2 jsou kabelem typu 6-AYKCY(3x240). Vývod k těžnímu stroji má délku 160 m, od rozvodny k transformátoru. Vývod z rozvodny R6kV J2 do podružné rozvodny R6kV J1 má délku 280 m. Délka dvou paralelních kabelů k záložnímu zdroji elektrické energie 2x6-AYKCY(3x240) je 350 m. Délka kabelu k transformátoru vlastní spotřeby T7 a mezi rozvodnou R6kV J1 a transformátorem T1 bohužel není známá.



## 5 Popis provozních stavů

Na vývodu z rozvodny R6kV J2 na pohon těžního stroje (měničový transformátor T1) bylo provedeno měření elektrických veličin. Naměřené grafy jsou v příloze 1.

Dále bylo provedeno na přívodu z transformátoru T3, 22/6,3 MVA měření přechodného děje při zapnutí měničového transformátoru T1, 4,4 MVA. Amplituda v jedné fázi byla téměř 3000 A, protože před sepnutím transformátoru byl přívod zatížen proudem s amplitudou přibližně 400 A, byl zapínací proud 2600 A asi šestinásobkem jmenovitého proudu transformátoru.

Měření efektivních hodnot proudů a napětí, činných a jalových výkonů, zdánlivého výkonu a harmonických napětí a proudů bylo provedené analyzátozem ENA 500 (ELCOM), každá veličina byla vyhodnocována v časových intervalech 200 ms, to znamená 5 vzorků za sekundu.

Rozvodna R6kV J2 byla během měření napájena z transformátoru 22/6,3 kV, 10 MVA, v provozu byl také synchronní kompenzátor 5 MVAr, takže zkratový výkon na přípojnicích byl přibližně 110 MVA.

Těžní stroj byl po dobu měření provozovaný ve speciálním režimu, který spočíval ve snížené rychlosti pojezdu v některých okamžicích (běžná rychlost je 10 m/s) a v přesně definované zátěži těžní klece.

### 5.1 Měření ze dne 3.5.2012

Měření probíhalo za speciálních podmínek, kdy bylo přesně určeno zatížení klece a rychlost pojezdu.

- 12:22-12:24 Jízda klece dolů se zatížením 6800 kg, rychlostí 10 m/s.
- 12:24-12:26 Jízda klece nahoru se zatížením 6800 kg, rychlostí 10 m/s.
- 12:27-12:29 Jízda klece dolů se zatížením 6800 kg, rychlostí 10 m/s.
- 12:29-12:33 Jízda klece nahoru se zatížením 6800 kg, rychlostí 5 m/s.
- 12:35-12:36 Jízda klece dolů a nahoru se zatížením 6800 kg, zrychlení pohonu při rozjezdu regulováno ručně.
- 12:45-12:47 Jízda klece dolů se zatížením 3400 kg, rychlostí 10 m/s.
- 12:47-12:50 Jízda klece dolů se zatížením 3400 kg, rychlostí 10 m/s, pak zastavení a jízda nahoru rychlostí 5 m/s.



Při jízdách těžního stroje směrem dolů, dochází k rekuperaci a činný výkon se vrací do sítě 6 kV. Je to způsobené tím, že zátěž je větší než protizávaží a proto dochází při jízdě dolů k brzdění.

Při jízdě rychlostí 10 m/s (se zátěží 6800 kg) byl při jízdě dolů činný výkon až 800 kW (dodávka), při jízdě nahoru až 1000 kW (odběr). Při rozjezdu i brzdění krátkodobě docházelo ke špičkám +1500 kW, -1000 kW.

Při snížení rychlosti jízdy na 5 m/s (se zátěží 6800 kg) se činný výkon při jízdě nahoru snížil na 500 kW (špičky až 700 kW) a prodloužila se doba jízdy.

I při jízdách s poloviční zátěží 3400 kg docházelo při jízdě dolů k rekuperaci, činný výkon se ale snížil jen na několik set kW, při rozjezdu a brzdění ale krátkodobé špičky činného výkonu dosahovaly 800 kW. Při zatížení 3400 kg byla soustava téměř vyvážená a činné výkony jsou proto minimální.

Jalový výkon je ve všech provozních režimech vyšší, než výkon činný. Při jízdě rychlostí 10 m/s se zátěží 6800 kg se pohyboval mezi 1000 až 15000 kVAr, při rychlosti 5 m/s dosahoval až 1800 kVAr. Při brzdění a rozjezdu docházelo ke krátkodobým špičkám v odběru jalového výkonu o velikosti až 3500 kVAr.

Při polovičním zatížení 3400 kg, se jalový výkon snížil až na 500 kVAr, stále ale docházelo ke krátkodobým špičkám o velikosti až 2000 kVAr při jízdě rychlostí 10 m/s a 1000 kVAr při rychlosti jízdy 5 m/s.

Proudy významných harmonických 11., 13., 23. a 25. harmonické složky nepřesáhly v jednotlivých složkách hodnotu 30 A. Napětí zmíněných harmonických složek bylo maximálně 2 %  $U_n$ .

## 5.2 Měření ze dne 20.5.2012

Při tomto měření byly vyzkoušeny pojezdy klece s rychlostí 2, 5 a 8 m/s.

- 12:34-12:36 Jízda klece dolů se zatížením 3200 kg, rychlostí 10 m/s.
- 12:34-12:36 Jízda klece nahoru se zatížením 3200 kg, rychlostí 2 m/s.
- 12:34-12:36 Jízda klece nahoru se zatížením 3200 kg, rychlostí 5 m/s.
- 12:34-12:36 Jízda klece dolů se zatížením 3200 kg, rychlostí 10 m/s.
- 12:34-12:36 Jízda klece nahoru se zatížením 3200 kg, rychlostí 8 m/s.

Pro tato měření byl patrná závislost odebíraného činného výkonu na rychlosti pojezdu klece. Při rychlosti 2 m/s byl ustálený odebíraný činný výkon přibližně 100 kW, při rychlosti 5 m/s přibližně 300 kW a při rychlosti 8 m/s hodnota činného výkonu





překračovala 400 kW. Kromě ustálených odběrů se při rozjezdu objevuje krátkodobá špička o velikosti 2 až 2,5 násobku ustálené hodnoty.

Jalový výkon při rychlosti 2 m/s roste z 500 kVAr na počátku až na 800 kVAr na konci jízdy. Na počátku, při rozjezdu klece, se krátkodobě objevuje špička, překračující čtyřnásobek ustáleného výkonu přibližně 2000 kVAr.

Při rychlosti 5 m/s je jalový výkon na konci jízdy 1000 kVAr, počáteční špička při rozjezdu ale přesahuje 3000 kVAr.

Při rychlosti 10 m/s není jalový výkon vyšší než při rychlosti 5 m/s – na konci jízdy dosahuje přibližně 1000 kVAr, při rozjezdu a dobrzdění ale vzniká špička přesahující 2500 kVAr.

Proudy významných harmonických 11., 13., 23. a 25. harmonické složky nepřesáhly v jednotlivých složkách hodnotu 30 A. Napětí zmíněných harmonických složek bylo maximálně 2 %  $U_n$ .

### **5.3 Obecné poznámky k výsledkům měření**

Při provozu těžního stroje dochází při jízdě dolů k rekuperaci. Při zatížení 6800 kg byl do sítě 6 kV dodáván činný výkon až 1000 kW. Při snížení zatížení klece na 3200-3400 kg se velikost rekuperovaného výkonu snižuje, ale pořád se jedná o několik set kilowatů (200 až 500 kW), při dobrzdění na nulovou rychlost klece dosahuje špička až 1200 kW.

Velikost činného výkonu je ovlivněna poměrem hmotnosti zátěže v kleci a hmotnosti protizávaží. Činný výkon vrácený do sítě rekuperací se při plynulé jízdě dolů dá ovlivnit snížením zatížení klece a nižší rychlostí pojezdu.

Při jízdě nahoru s nízkým zatížením klece (3200 až 3400 kg) sníženou rychlostí (2 až 5 m/s) byl činný odběr pouze 200 – 300 kW, na začátku rozjezdu ale vznikají krátkodobé špičky, které jsou dvakrát až třikrát vyšší než ustálená hodnota.

Zdánlivý výkon těžního stroje, který zahrnuje činný a jalový výkon, dosahoval při provozu těžního stroje se zátěží 6800 kg a při rychlosti pojezdu klece 10 m/s nebo 5 m/s až 2 MVA. Krátkodobě při rozjezdu a brzdění odebíral těžní stroj až 3,5 MVA.



## 6 Motorgenerátor

Motorgenerátor je soustrojí složené z dieselového motoru a synchronního generátoru na společné hřídeli, které slouží k transformaci mechanické energie na energii elektrickou. Motorgenerátory se využívají nejčastěji tam, kde není k dispozici připojení k rozvodné síti, nebo pomáhá k vykrývání denních maxim odběru, nebo jako dlouhodobá dodávka záložní elektrické energie, při výpadku v rozvodné síti.

### 6.1 Princip činnosti

Spalovací motor vytváří točivý moment. Alternátor v soustrojí motorgenerátoru převádí kinetickou energii hřídele na energii elektrickou. Motorgenerátor může být osazen motorem schopným spalovat naftu, benzín, zemní plyn popř. i bioplyn. Avšak nejčastěji se využívá motorů vznětových, které spalují naftu.

Palivo čerpané z nádrže se za přístupu vzduchu spaluje ve válcích motoru, podle typu paliva je rozdílný i způsob spalování. Tato směs po zapálení expanduje a stlačí píst, který přes ojnici roztáčí klikovou hřídel. Na společné hřídeli s motorem je usazen rotor alternátoru, který po nabuzení indukuje ve vinutí statoru střídavé elektrické napětí. Nepatrnou část indukované elektrické energie spotřebují vlastní spotřeby motorgenerátoru (dobíjení startovacích baterií, řídicí a regulační obvody), zbytek je vyveden od motorgenerátoru do rozvodné sítě spotřebitele.

Napětí, které produkuje alternátor, je přímo úměrné konstrukci (počtu závitů statorové cívky), rychlosti otáčení hřídele a síle rotujícího magnetického pole.

Konstrukce alternátoru je dána přímo výrobcem a nelze ji měnit. Provozní hodnoty alternátoru jsou od výrobce uvedené na štítku. Výstupní napětí na svorkách alternátoru tedy nelze od konstrukce již měnit. Jediným možným způsobem je transformace mezi motorgenerátorem a rozvodnou sítí.

Rychlost dieselového motoru je regulována na konstantní hodnotu regulátorem otáček tzv. výkonnostním regulátorem. Ten udržuje stálé otáčky motoru bez ohledu na zatížení. Je úzce spjat se vstřikováním paliva do válců motoru. Jelikož je regulátor předem nastavený na konstantní otáčky a kinetická energie v rotujících hmotách motoru je dostatečně veliká, nemá změna zatížení alternátoru na rychlost otáčení hřídele citelný vliv.



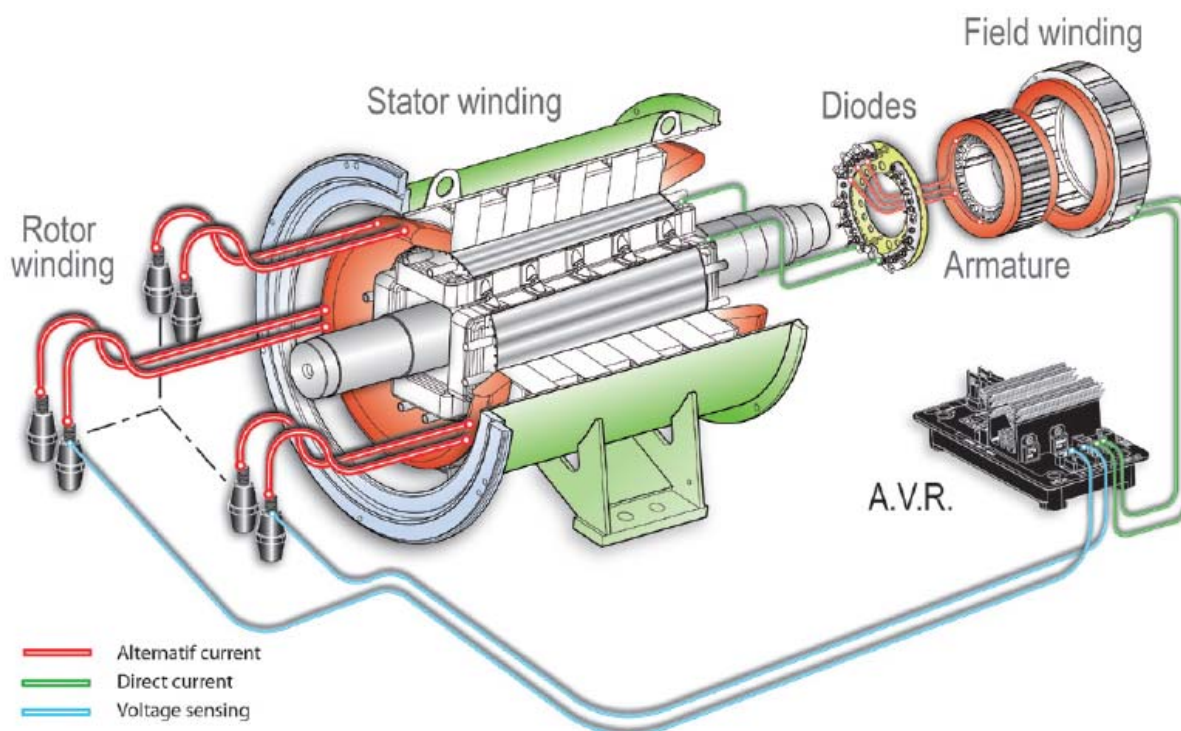
Pokud jsme si tedy řekli, že konstrukce alternátoru je neměnná a stejně i otáčky hřídele rotoru, je jediným prvkem regulace napětí právě velikost magnetické síly v rotoru stroje.

Sílu rotujícího magnetického pole ovlivňuje napětí, potažmo proud procházející rotorem alternátoru. Buzení rotoru alternátoru je zpravidla bezkartáčové a může být provedeno v několika variantách s označením SHUNT, PMG nebo AREP. Regulator, který ovlivňuje buzení rotoru, se nazývá AVR (Automatic Voltage Regulator). Napětí na výstupních svorkách klesá podle velikosti zátěže. Regulator výstupní napětí monitoruje a při zaznamenání poklesu zvýší buzení rotoru, aby tento pokles vyrovnal. Magnetické pole rotoru je kontrolováno nepřímo změnou napětí na budiči. To je dáno hlavně nižšími provozními proudy, než které jsou u výstupu z alternátoru.

### SHUNT systém

Napájení regulátoru je vyvedeno přímo od svorek statoru alternátoru. Referenční napětí je snímáno na stejných výstupních svorkách alternátoru. Regulator generuje a reguluje budicí napětí v závislosti na výstupním napětí alternátoru.

Jedná se konstrukčně o jednoduchý systém pro základní aplikace. Netoleruje vysoké přetížení ani možnost zkratu. Jedná se o podobný systém jako u dynamu s derivačním buzením.



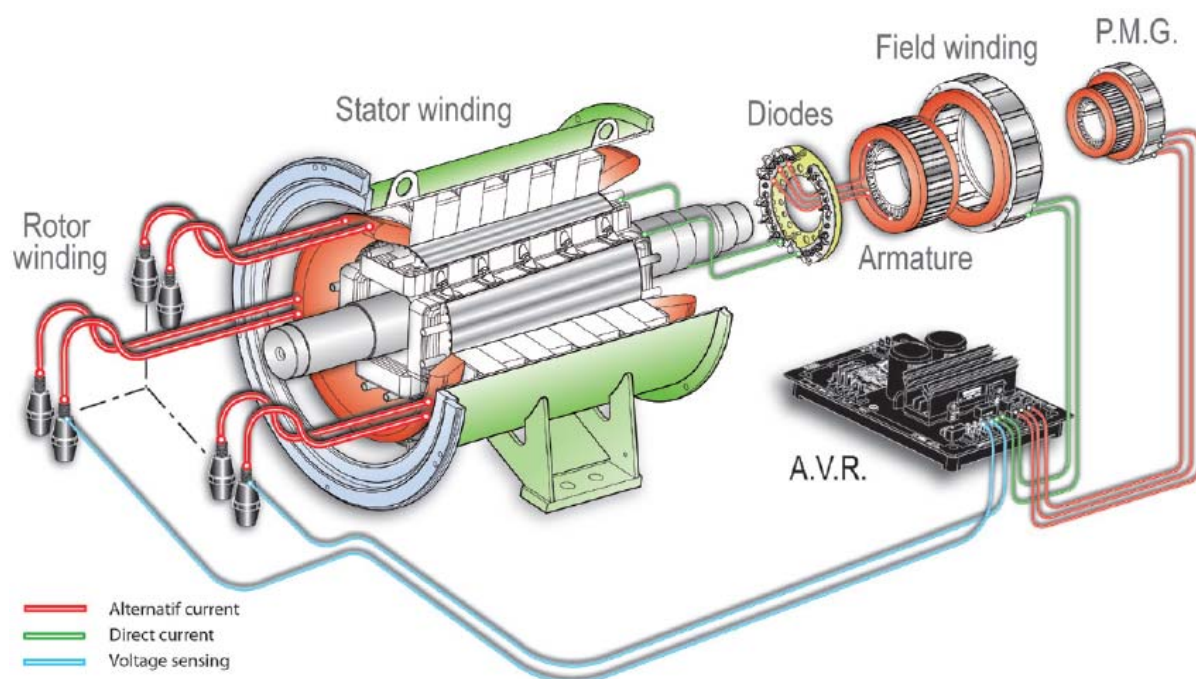
Obrázek 5 - Schéma zapojení regulátoru AVR v systému SHUNT [6]



### PMG systém

Alternátor je ve stejném provedení jako u systému SHUNT. Napájení regulátoru je však z pomocného generátoru s permanentním magnetem na hřídeli rotoru. Generátor s permanentními magnety generuje konstantní napětí, nezávislé na napětí alternátoru. Referenční napětí je snímáno na výstupních svorkách alternátoru. Bez ohledu na zatížení, dokáže regulátor dodávat budicí proud odpovídající zatížení, v závislosti na změně referenčního napětí alternátoru.

Systém PMG disponuje vysokou přetížitelností (vliv zátěže, nebo startování elektrických motorů), a schopností zkratu (až 300 % po dobu 10 s) s dostačující ochranou, díky vlastnímu napětí od permanentních magnetů. Systém PMG zlepšuje výkon systému SHUNT.



Obrázek 6 - Schéma zapojení regulátoru AVR v systému PMG [6]

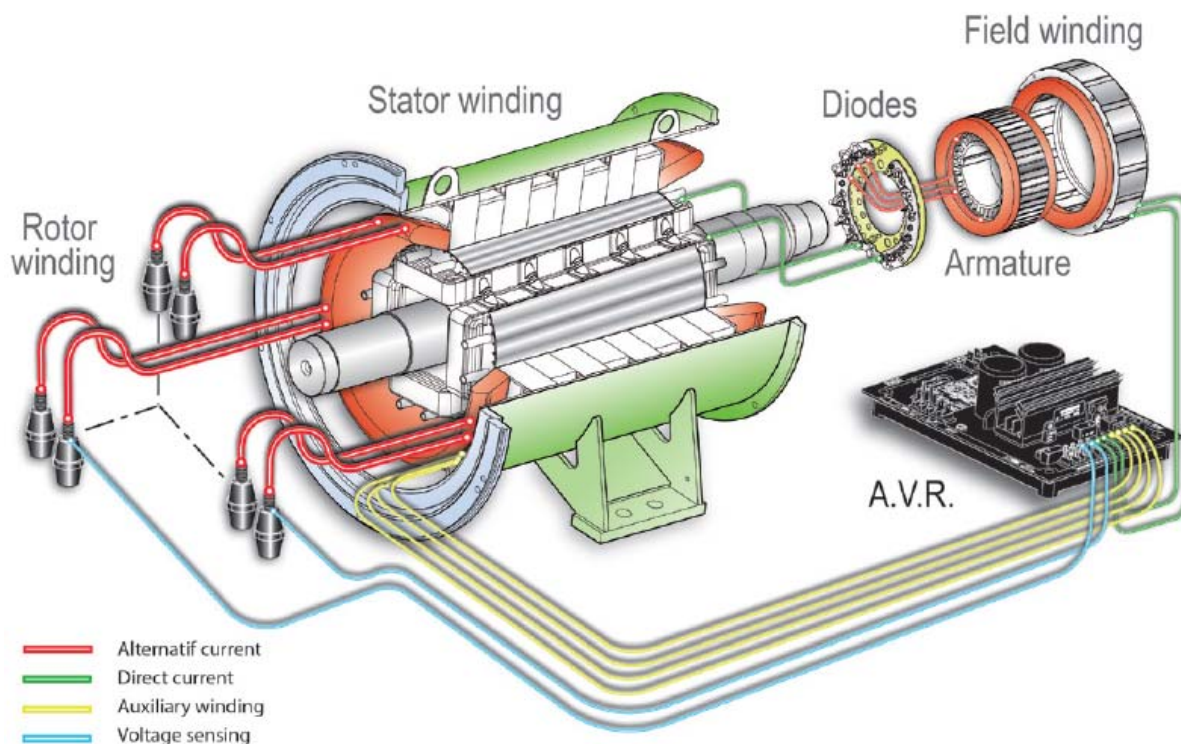
### AREP systém

Napájecí napětí regulátoru je vyvedeno ze dvou nezávislých vinutí v hlavním statoru. Napětí dodávané od prvního pomocného vinutí je úměrné výstupnímu napětí alternátoru. Napětí dodávané od druhého pomocného vinutí je úměrné proudu odebíraného alternátorem a je úměrné skutečnému zatížení. Výsledné mezifázové napětí napájí regulátor. Napájení regulátoru je nezávislé na napětí snímaném na zatíženém alternátoru.



Díky tomuto systému je budicí proud dodáváný regulátorem do budiče nezávislý ke všem rušení napětí od zátěže (harmonické složky).

Systém AREP disponuje vysokou přetížitelností (vliv zátěže, nebo startování elektrických motorů), a schopností zkratu (až 300 % po dobu 10 s) s dostačující ochranou. Alternátor se systémem AREP je kratší než se systémem PMG. Je vhodný pro náročné aplikace.



Obrázek 7 - Schéma zapojení regulátoru AVR v systému AREP [6]

Motorgenerátor je schopen do cca 15 sekund od výpadku energie nastartovat a převzít zátěž, což ovšem znamená, že na uvedených několik sekund je dodávka energie přerušena.

Motorgenerátory lze rozdělit z pohledu dílenského provedení:

- Open - provedení nekryté, neodhlučňené, určené pro instalaci do strojovny.
- Silent - provedení s kapotáží, odhlučňené, pro instalaci do strojovny nebo venkovního prostoru (za specifických podmínek).
- Provedení v kontejneru - kryté provedení, motorgenerátor je umístěn v kontejneru dle ISO parametrů, s možností odhlučňené provedení kontejneru, určeného pro venkovní instalaci.



Doba činnosti motorgenerátoru je většinou omezena pouze velikostí nádrže na pohonné hmoty, popřípadě množstvím těchto pohonných hmot v nádrži. Často se instaluje zásobní nádrž paliva do nosného rámu soustrojí. Z toho vyplývá také maximální objem, který často odpovídá 8 až 10 hodinám práce motorgenerátoru při 100% jmenovité zátěži. Tento časový rozptyl lze navýšit instalací přídatné provozní nádrže PHM s automatickým přečerpáváním paliva k motoru.

Dalším důležitým parametrem pro výběr správného výkonu motorgenerátoru je přesné určení jeho budoucího provozního režimu. Provozní režimy těchto soustrojí vycházející z normy ČSN ISO 8528-1 Zdrojová soustrojí střídavého proudu poháněná pístovými spalovacími motory - Část 1: Použití, jmenovité údaje a provedení, poslední úprava 10/2011.

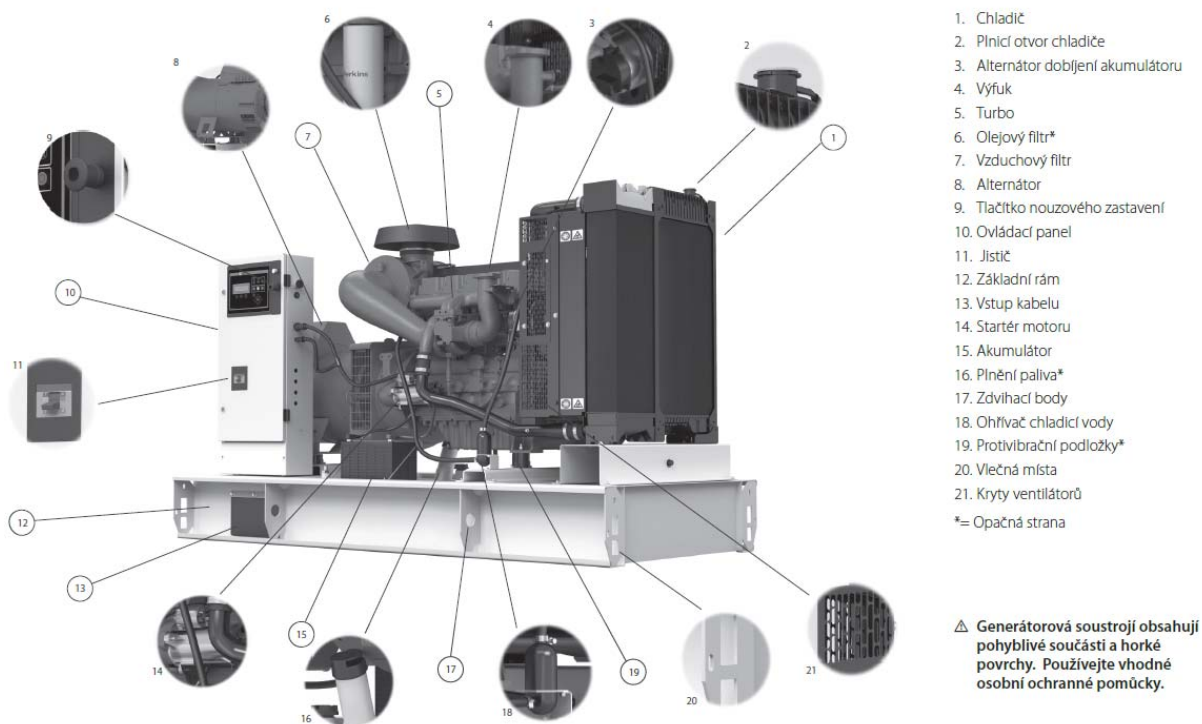
- Režim ESP (Emergency Standby Power) - V tomto režimu je možný trvalý provoz stroje do proměnlivé zátěže v případě poruchy v rozvodné síti průměrně na 70% jmenovitého výkonu po dobu max. 200 hodin v průběhu 1 roku (doporučeno 50 hodin za 1 rok). Typická aplikace je záložní zdroj pro budovy. Není přípustné přetížení stroje.
- Režim STANDBY - V tomto režimu je možný trvalý provoz stroje do proměnlivé zátěže v případě poruchy v rozvodné síti průměrně na 70% jmenovitého výkonu po dobu max. 500 hodin v průběhu 1 roku (doporučeno 200 hodin za 1 rok). Typická aplikace je záložní zdroj pro všeobecné použití. Není přípustné přetížení stroje.
- Režim PRIME - V tomto režimu je možný trvalý provoz stroje do proměnlivé zátěže bez časového omezení průběhu průměrně na 70% jmenovitého výkonu. Přetížení je možné max. o 10%, a to po dobu jedné hodiny v průběhu 12 hodin. Celková doba přetížení je max. 25 hodin za 1 rok. Typické použití je záložní zdroj v průmyslu.
- Režim CONTINUOUS - V tomto režimu je možný trvalý provoz stroje do stálé zátěže bez časového omezení průběhu průměrně na 70%-100% jmenovitého výkonu. Přetížení nad 100 % výkonu není možné. Typické použití je jako nouzový zdroj v dlouhodobém režimu.



## 6.2 Popis motorgenerátoru

Obdobně jako jiná elektrická zařízení je každé generátorové soustrojí opatřeno identifikačním štítkem upevněným zpravidla na pouzdru alternátoru nebo krytu panelu. Štítek obsahuje informace nutné k identifikaci generátorového soustrojí a jeho provozní vlastnosti. Tyto informace zahrnují slova „Zdrojové soustrojí podle ISO 8528“, název nebo značku výrobce, sériové číslo zdrojového soustrojí, rok výroby, jmenovitý výkon (kW) s jednou ze zkratk v jakém provozním režimu, třídu výkonové charakteristiky, jmenovitý účinník, maximální nadmořskou výšku, maximální teplotu okolí, jmenovitý kmitočet, jmenovité napětí, jmenovitý proud a hmotnost. Číslo modelu a výrobní číslo jednoznačně identifikují generátorové soustrojí.

Samotný motorgenerátor se skládá z mnoha dílčích částí, které dopomáhají ke správné funkci celku. Na následujícím obrázku je popis několika základních částí viditelných při prvním kontaktu s motorgenerátorem.



Obrázek 8 – Popis typického naftového motorgenerátoru [5]



### 6.3 Pomocné technologie

Popis funkce diesellového motoru a alternátoru jsem již popsal v části popis činnosti, ale k funkci celého soustrojí jsou nedílnou součástí další prvky a technologie.

Celé soustrojí je zpravidla uloženo pomocí antivibračních podložek na nosném rámu, který slouží k transportu motorgenerátoru. U nižších výkonů motorgenerátorů bývá rám dutý a v něm uložena provozní nádrž. Pokud je rám bez nádrže (vyšší výkony motorgenerátorů), musí se k motorgenerátoru instalovat provozní nádrž paliva.

Ke startu diesellového motoru jsou stejně jako u automobilu potřebné startovací baterie. U motorů s nižším výkonem stačí baterie 12 V, u vyšších výkonu pak 24 V. Prakticky se jedná o sadu baterií pospojovaných paralelně k dosažení velkého odběrného proudu při startu motoru.

Celý systém je nutno chladit. Alternátor je vybaven vlastním interním ventilátorem, který chladí jednotlivé části alternátoru. Motor je chlazen opět obdobně jako u automobilu. Často se využívá konstrukce ventilátoru na hřídeli motoru. Tomuto systému chlazení se říká autochladič. Při rozběhu motoru snímá termostat teplotu chladicí kapaliny v motoru. Při dosažení stanovené hodnoty teploty je spuštěn sekundární systém chlazení, kdy chladicí kapalina je čerpána přes chladič, kde je prouděním vzduchu od ventilátoru ochlazována. Někdy se dodává stroj bez autochladiče, v tom případě je nutné zajistit technologii externího chladiče, tepelného výměníku a potrubí spojující stroj s výměníkem a výměník s externím chladičem. Chladicí kapalina je pak ochlazována v externím chladiči. U krátkého potrubí mezi motorem a externím chladičem, můžeme využít spojení napřímo, ale snižujeme tím chladicí výkon, protože chladicí kapalina v motoru má vysoký podíl monopropylenglykolu, který chrání kapalinu proti zamrzání.

Pro potřeby spalování a chlazení je také nutné zajistit potřebný přívod čerstvého vzduchu. Tato hodnota je udávána výrobcem motorgenerátoru, zpravidla jako objem výměny vzduchu za jednotku času ( $\text{m}^3/\text{hod}$ ). Je proto nutné zajistit dostatečnou ventilaci v okolí motorgenerátoru.

Další technologií, kterou je nutné zajistit je odvod výfukových spalin od motoru. Opět stejná problematika jako u klasického automobilu. Problém nastává, při instalaci motorgenerátoru do vnitřních prostor, tzv. strojoven. Poté je nutné kouřovodné potrubí vyvést mimo budovu. U venkovních instalací motorgenerátorů, je kouřovodné potrubí





pouze vyvedeno přes pružný mezičlen, aby nedocházelo k přenosu vibrací, a vhodně zakončeno nad kontejnerem.

Při instalaci motorgenerátoru se nesmí zapomínat také na vznikající hluk. Ten vzniká od samotného soustrojí, tak i od pomocných technologií. Pro jeho potlačení se instalují tlumiče hluku. Nejčastěji se instaluje tlumič hluku kouřovodu, vzduchotechniky, někdy dokonce celého soustrojí v podobě protihlukové izolace kapotáže.

## **6.4 Pracovní režimy**

### **Ostrovní provoz**

V místech mimo dosah veřejné distribuční sítě, slouží motorgenerátor jako jediný zdroj elektrické energie. Řídicí systém zajišťuje především dohled nad všemi technologickými parametry soustrojí. Náhradní zdroj obvykle pracuje v manuálním provozu.

### **Záskok s dvojitým přerušením**

Použije se všude tam, kde technologická potřeba vyžaduje náhradu elektrické energie z veřejné sítě záskokovým zdrojem při jejím selhání. Vedle technologických parametrů vlastního motorgenerátoru monitoruje řídicí systém i parametry distribuční sítě. Náhradní zdroj obvykle pracuje v automatickém režimu. Po výpadku standardního zdroje, na základě nastavených parametrů automatika rozhodne o chování a startu soustrojí. Po přibližně 15 s od výpadku dokáže motorgenerátor naběhnout na jmenovitý výkon a přebrat dodávku energie chráněné technologie. Toto řešení je charakteristické dvěma přerušeními v dodávce elektrické energie. Poprvé v okamžiku kdy dojde k selhání hlavního zdroje (sítě) a podruhé při návratu sítě. První výpadek je způsoben nenadálou poruchou a lze jej očekávat kdykoli. Doba přerušení je dána nastavitelnou dobou rozhodování o startu soustrojí, startem a přípravou na převzetí zátěže. Druhý výpadek nastává po návratu sítě. Při návratu sítě motorgenerátor bez zpětné synchronizace určitou dobu dále napájí zátěž a sleduje kvalitu sítě. Pokud jsou po definovanou dobu parametry sítě v definovaných tolerancích, řídicí automatika odpojí napájení zátěže z motorgenerátoru a s definovaným zpožděním připojí zátěž na napájecí síť. Zátěž je v tomto typu řízení motorgenerátoru během výše uvedeného definovaného zpoždění bez napájení. Při tomto typu přepínání není provedena synchronizace chodu motorgenerátoru se sítí. Doba přerušení je pak dána nastavitelnou dobou rozhodování o odstavení soustrojí a časem nutným pro předání zátěže zpět síti.



Přepnutí z motorgenerátoru na síť nelze provést bez jisté prodlevy, při níž je současně odpojeno napájení ze sítě i napájení z motorgenerátoru. Toto řešení nepočítá se zpětnou synchronizací náhradního zdroje.

### **Krátkodobý chod se sítí**

Situace odpovídá výše popsanému stavu s tím rozdílem, že po návratu veřejné sítě dochází k synchronizaci generátoru. Oba zdroje jsou tak ve fázi a při zajištění limitace zpětné dodávky do veřejného zdroje, jsou obě sítě krátkodobě propojeny. Výpadek tak nastává pouze v okamžiku nepředvídaného síťového výpadku. Při návratu sítě motorgenerátor, se zpětnou synchronizací, určitou dobu dále napájí zátěž a sleduje kvalitu napájecí sítě. Pokud jsou po určenou dobu parametry sítě v definovaných tolerancích, řídicí jednotka provede synchronizaci motorgenerátoru se sítí, připojí síť na zátěž a postupně předá napájení zátěže na rozvodnou síť. Tento proces trvá cca 10 sekund a je při něm zajištěno, že nedojde ke zpětnému toku proudu do sítě (zpětnému napájení). Zároveň je motorgenerátor v režimu připravenosti převzít napájení zátěže bez zpoždění, kdyby v rozvodné síti došlo k dalšímu výpadku. Přejímání zátěže probíhá bez proudových rázů. Parametry přejímání zátěže jsou volitelné. Při návratu sítě je tedy zátěž rovněž napájena bez přerušení. Řídicí elektronika zajišťuje také synchronizaci se sítí a regulaci výkonu generátoru tak, aby byla zpětná dodávka limitována a převzetí zátěže z motorgenerátoru na síť bylo měkké. V případě testovacího provozu za přítomnosti sítě, generátor zátěž převezme a síť opět předá bez poruch nebo přerušení.

Ve všech případech motorgenerátor po definovanou dobu (cca 5 min) dále běží v tzv. dochlazovacím režimu a následně je vypnut a je znovu připraven k provozu. Pokud v době běhu motoru v dochlazovacím režimu (po odpojení motorgenerátoru) dojde k výpadku sítě, motor s malým zpožděním přebírá napájení zátěže. Celý tento proces probíhá automaticky a nevyžaduje žádný zásah obsluhy. Testování soustrojí je vždy prováděno bezvýpadkovým způsobem.

### **Paralelní chod se sítí**

Paralelní chod se sítí je umožněn výše popsaným způsobem, řídicí systém pak zajišťuje řízenou dodávku energie do soustavy chráněné náhradním zdrojem. Výhoda tohoto řešení spočívá v možnosti připojit motorgenerátor paralelně se sítí před očekávaným (plánovaným) výpadkem sítě a dosáhnout tak zcela nerušeného technologického procesu.



Ekonomicky zvláště výhodnou vlastností tohoto řešení je využití soustrojí pro překlenování energetických špiček nad sjednaný energetický diagram.

### **Provoz dvou a více paralelních zdrojů**

Paralelní chod zdrojů je vhodný pro případy, kdy je vyžadována větší spolehlivost (redundance zdrojů), celkově větší pohotovostní výkon náhradního zdroje nebo proměnlivá, technologicky podmíněná výkonová potřeba (není nutno vždy provozovat jeden velmi výkonný, ale nezatížený zdroj). Paralelní systémy lze provozovat prakticky ve stejných funkčních modech jako samostatné motorgenerátory, od ostrovního provozu po paralelní chod soustavy se sítí. Řídicí systém plní ještě funkci výkonového managementu a sleduje stejnoměrný proběh jednotlivých strojů. Výkonový management zajistí, aby bylo vždy v chodu jen nezbytné množství soustrojí nutných pro bezproblémový chod tohoto energocentra. Soustrojí jsou tak připojována či odpojována dle okamžitých a předpokládaných potřeb kritické zátěže, což přispívá ke stabilitě celého napájecího systému a zároveň dokáže držet provozní náklady v předpovídaných ekonomických mezích.

## **6.5 Kontrolér**

Výše zmíněné pracovní režimy ovládá nadřazená elektronika motorgenerátorových soustrojí, tzv. kontrolér. Volba správného kontroléru se odvíjí od předem zvoleného pracovního režimu. Kontrolér snímá elektrické veličiny sítě a podle nastavení ovládá spouštění a chod motorgenerátoru. Podle složitosti umí ovládat paralelní chod motorgenerátorů až do 32 jednotek. Podle funkce dokáže také ovládat i vykryvání špiček podle ideálního denního diagramu zatížení, při paralelním chodu motorgenerátoru se sítí. Zároveň podle typu dokáže ovládat jističe sítě a dosáhnout zpětného přifázování sítě bez výpadku napájení zátěže.

Kontroléry jsou často vybaveny grafickým displejem a funkčními tlačítky pro jednoduchou obsluhu, servis a nastavení základních parametrů systému. Zaznamenává registr událostí a může obsahovat GSM modul nebo ethernetovou přípojku pro připojení do místní sítě. Odtud lze pak vzdáleně kontrolovat celý systém během celého dne.



## 7 Návrh řešení záložního napájení

V této části provádím projekční návrh záložního napájení pro uvedenou technologii těžního stroje a vlastních spotřeb. Ze zadání se předpokládá umístění stroje ve venkovním prostředí, pro tuto aplikaci, je nejlepší umístit motorgenerátor i s další potřebnou technologií do upraveného ISO kontejneru délky 40 stop (12,192 m).



Obrázek 9 - fotka motorgenerátoru umístěného v kontejneru [9]

Prvním krokem je stanovení provozního režimu motorgenerátoru dle normy ČSN ISO 8528-1. Vzhledem ke komplexnosti systému napájení celého systému, předpokládáme výpadek napájení ze sítě jako málo častou poruchu. Vybírám tedy provozní režim STANDBY pro provoz stroje maximálně 500 hod/rok a jeho možný provoz do proměnlivé zátěže.

Dalším parametrem výběru je určení provozního prostředí. Do těchto parametrů patří okolní teplota, nadmořská výška, relativní vlhkost vzduchu, popřípadě speciální požadavky na emise výfukových plynů či hlučnosti v okolí motorgenerátoru.

Okolní teplota bude díky venkovní instalaci závislá na ročním období. Motorgenerátor bude instalován na území České Republiky, počítáme tedy s rozmezím venkovních pracovních teplot od  $-25^{\circ}\text{C}$  do teploty  $+35^{\circ}\text{C}$ . Tím, že bude motorgenerátor umístěn v kontejneru, se rozptyl teplot sníží.



Nadmořská výška hraje při výběru motorgenerátoru také svou roli. Výrobci uvádějí, že pro vyšší nadmořskou výšku než 1000 m n. m, je nutné počítat s výkonovou rezervou. To je dáno nižší hustotou vzduchu pro vyšší nadmořské výšky.

**Tabulka 4 - Koefficienty přepočtu výkonu motorgenerátoru v závislosti na nadmořské výšce**

Nadmořská výška (m n. m)	Koeficient výkonu
1500	0,97
2000	0,94
2500	0,91
3000	0,88
3500	0,85
4000	0,82

Tento parametr pro nás také nebude relevantní, neboť areál dolu, ve kterém bude motorgenerátor instalován, se nachází v nadmořské výšce od 236 do 242 m n. m.

Dále ze zadání vychází napěťová hladina alternátoru potřebného motorgenerátoru. Jelikož bude náhradní zdroj připojen bez mezitransformace do rozvodny 6 kV, musí také výstupní napětí alternátoru mít hodnotu 6 kV. Toto omezení se týká pouze alternátoru, spalovací část soustrojí se volí podle požadovaného výkonu. Ten volíme z předem určených výkonových řad, které jsou dány výrobcem záložních napájecích soustrojí.

## 7.1 Výpočet zálohovaného výkonu

Nejdůležitějším parametrem záložního motorgenerátoru je jeho výkon. Poté co jsme určili umístění, z toho vyplývající provozní podmínky a hodnotu napětí alternátoru, je další nezbytnou hodnotou výkon soustrojí, který je uveden na jeho štítku.

Pro výpočet požadovaného výkonu vycházím ze zadání. Celková hodnota odběru pomocných provozů těžního stroje a vlastní spotřeby rozvodny VN byla určena zadavatelem. Výkon potřebný pro samotný chod těžního stroje získám analýzou naměřených hodnot při provozu těžního stroje. Pro analýzu jsem vybral naměřené hodnoty odběru těžního stroje viz. kapitola 5.1. Konkrétně průběh, kdy byla těžní klec zatížena 6800 kg a rychlost pojezdu byla 10 m/s (běžná rychlost pojezdu klece), odpovídá měření v intervalu 12:24-12:26. Vyloučil jsem tedy pojezd těžní klece, kdy je zrychlení pohonu klece regulováno ručně. Při ručním ovládání dochází dle naměřených hodnot k největším

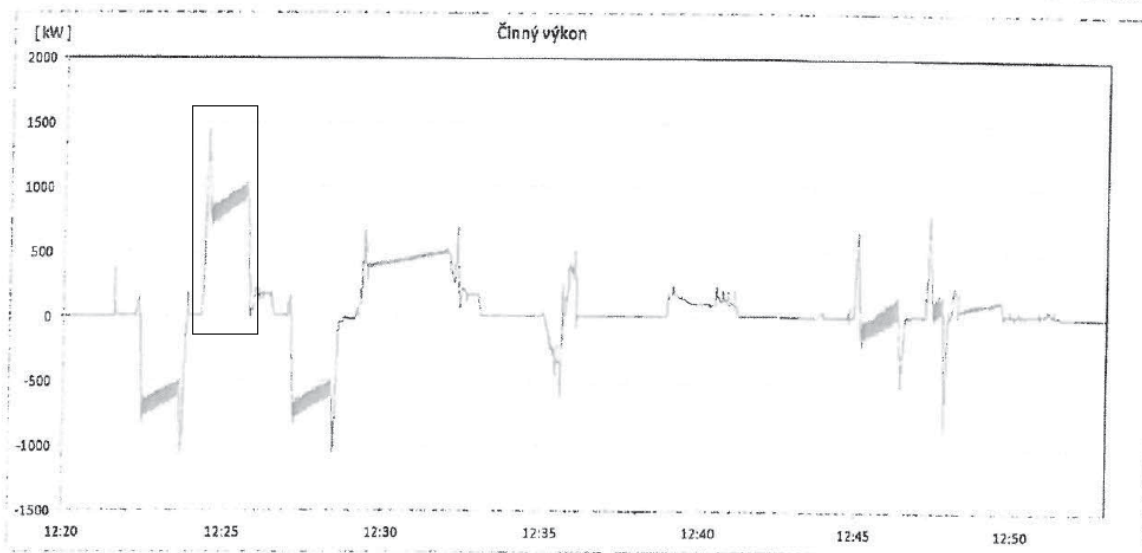


výkonovým špičkám v odběru a okamžitá hodnota odebíraného výkonu kolísá v krátkých časových intervalech v celém rozsahu odebíraného výkonu. Tento průběh a hodnoty odebíraného výkonu jsou pro technologii záložního napájení motorgenerátorem nepřijatelné. Nelze ho jednoduše nasimulovat a tudíž ani nelze s jistotou určit potřebný výkon záložního motorgenerátoru, ani jeho stabilitu, při velkých výkonových změnách v krátkých časových intervalech.

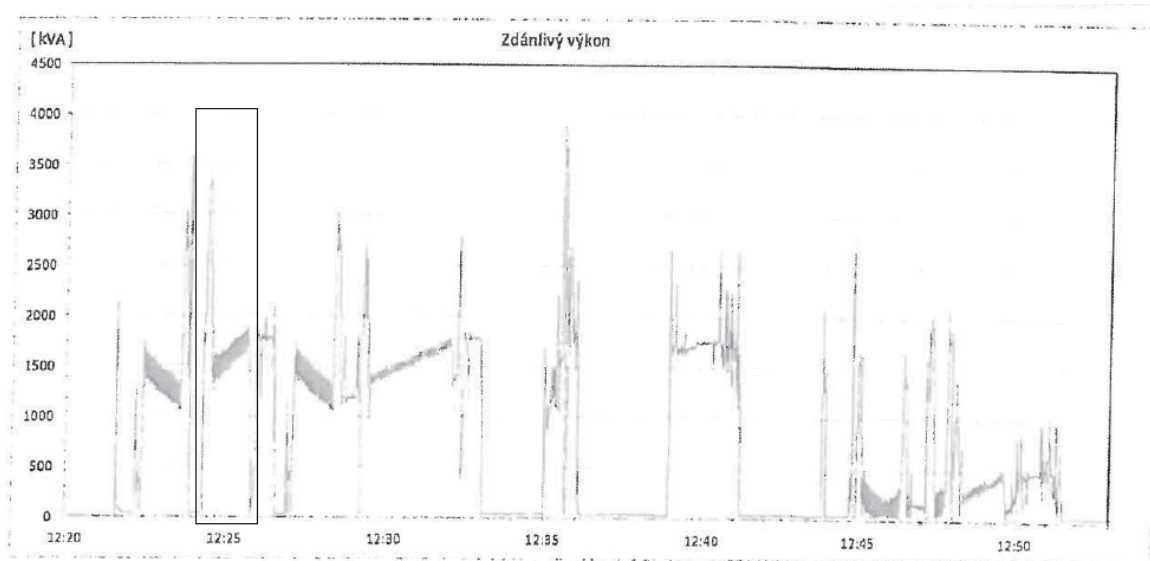
Zdrojová naměřená data jsem neměl k dispozici, vycházel jsem tedy z odečítání diskretních hodnot z grafu. Z těchto hodnot jsem vypočetl efektivní hodnotu dle vzorce.

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x^2(n)}$$

[1]



Obrázek 10 - Analyzovaný úsek pro výpočet činného výkonu



Obrázek 11 - Analyzovaný úsek pro výpočet zdánlivého výkonu



Průběh jsem ověřoval do 11 hodnot, ze kterých jsem vypočetl efektivní hodnotu odebraného činného a jalového výkonu těžním strojem. Tyto výkony jsem použil do celkové energetické bilance. V energetické bilanci jsem neuvažoval soudobost jednotlivých technologií, neboť při chodu těžního stroje dochází k plnému odběru. Zároveň jsem při výpočtu touto metodou zanedbal výkonové špičky odběru těžního stroje.

**Tabulka 5 - Energetická bilance technologie těžního stroje**

Odběr	Instalovaný výkon $P_i$ [kW]	PF [-]	Instalovaný výkon $S_i$ [kVA]
Pomocné provozy těžního stroje	150,00	0,80	187,50
Vlastní spotřeby rozvodny VN	150,00	0,80	187,50
Odběr těžního stroje podle měření	989,38	0,50	1996,53
Celkový výkon			<b>2372</b>

Tímto výpočtem jsem se dostal k hodnotě nutného instalovaného výkonu 2372 kVA. Další vyšší hodnota výkonu motorgenerátoru podle výrobních řad je soustrojí o výkonu 2500 kVA. Avšak již jsem zmínil, že jsem neuvažoval výkonové přetížení při startu těžního stroje. Z technického listu motorgenerátorového soustrojí, pro nízkonapěťovou instalaci, o výkonu 2500 kVA jsem sice mohl odčíst, že alternátor dokáže zvládnout přetížení při startu motoru přibližně 8000 kVA, ale od výrobce je tato hodnota udávána s parametry pro napěťový pokles 30 procent a  $PF=0,4$ . Za zadání je dané, že nesmí dojít k většímu napěťovému poklesu než 20 procent. Nelze tedy s jistotou říci, že toto soustrojí zvládne splnit všechny podmínky zadání.

Pro výpočet výkonu motorgenerátoru, který by reflektoval výkonovou špičku při spouštění těžního stroje, jsem využil software od firmy FG Wilson s názvem GenSelect. Jako vstupy do tohoto softwaru se udávají typy a výkony zátěží. Zátěže je možné přidávat v takzvaných krocích a vytvořit tak hierarchii připínání zátěží na záložní motorgenerátorové napájení. Já jsem zvolil rozdělení zátěže do dvou kroků. V prvním kroku dojde k připojení vlastní spotřeby rozvodny J2 a pomocných provozů těžního stroje. Pouze pokud jsou napájeny tyto zátěže, je možné ve druhém kroku připojit jako zátěž samotný těžní stroj. Na následujících obrázcích popíši nastavení jednotlivých zátěží v softwaru GenSelect.



**3-Phase Motor Load**

Step Number: 1

Load Number: 1

Load Name: Vlastní spotřeba rozvodny J2

Quantity: 1

Type: IEC kW

Output Rating: 150 kW

Permitted Frequency Dip %: 20

Permitted Voltage Dip %: 20

Starting Method: Star Delta  Intermittent Starting

Efficiency %: 94  Use standard defaults

DOL SKVA: 1557

DOL Starting PF: 0.35

Running PF: 0.90

Duty Point %: 100

Inrush		Running		Non-Linear	
SKVA	519.00	kVA	177.30	SKVA	0.00
SkW	181.65	kW	159.57	RkVA	0.00

OK Cancel Help

Obrázek 12 - Nastavení zátěže Vlastní spotřeba rozvodny J2

Jako první v prvním kroku jsem zadal zátěž vlastní spotřeby rozvodny J2. Jelikož se převážně jedná o motorové odběry, sjednotil jsem celý odběr do jednoho spotřebiče motorového charakteru, který má celkový odběr 150 kW, má dovolený pokles napětí 20 procent, je rozbíhán metodou přepojení hvězda-trojúhelník a jeho okamžité využití je rovno jedné. Z těchto hodnot nám samotný software dokázal vypočítat pracovní hodnoty odebíraného činného i jalového výkonu (pod označením „Running“) a zároveň rozběhové hodnoty odebíraného výkonu. Ty jsou důležité pro určení stability záložního zdroje.





**3-Phase Motor Load**

Step Number: 1

Load Number: 2

Load Name: Vlastní spotřeba těžního stroje

Quantity: 1

Type: IEC kW

Output Rating: 150 kW

Permitted Frequency Dip %: 20

Permitted Voltage Dip %: 20

Starting Method: Direct On Line  Intermittent Starting

Efficiency %: 94  Use standard defaults

DOL SKVA: 1557  Motor starting under load

DOL Starting PF: 0.35

Running PF: 0.90

Duty Point %: 100

	Inrush	Running	Non-Linear
SKVA	1,557.00	kVA 177.30	SKVA 0.00
SkW	544.95	kW 159.57	RkVA 0.00

OK Cancel Help

**Obrázek 13 - Nastavení zátěže Vlastní spotřeba těžního stroje**

Jako druhý v prvním kroku jsem zadal vlastní spotřebu těžního stroje. Jelikož se převážně jedná o odběry přes transformátory, sjednotil jsem opět celý odběr do jednoho spotřebiče motorového charakteru, který má celkový odběr 150 kW, má dovolený pokles napětí 20 procent, je rozbíhán přímým připojením k síti a jeho okamžité využití je rovno jedné. Software opět dopočítal odebíraný rozběhový špičkový i ustálený výkon zátěže.



**3-Phase Motor Load**

Step Number: 2

Load Number: 1

Load Name: Těžní stroj

Quantity: 3

Type: IEC kW

Output Rating: 355 kW

Permitted Frequency Dip %: 20

Permitted Voltage Dip %: 20

Starting Method: Soft Starter  Intermittent Starting

Efficiency %: 85  Use standard defaults

DOL SkVA: 3500

DOL Starting PF: 0.28

Running PF: 0.5

Duty Point %: 100

Current Limit %: 150

Inrush		Running		Non-Linear	
SkVA	3,758.82	kVA	2,505.88	SkVA	3,758.82
SkW	1,052.47	kW	1,252.94	RkVA	0.00

OK Cancel Help

Obrázek 14 - Nastavení zátěže Těžní stroj

Poté co jsem nastavil vlastní spotřeby do prvního kroku, přidám odběr těžního stroje do kroku 2, neboť ho nelze spustit bez napájení pomocných provozů. Abych co nejlépe nasimuloval odběr dle naměřených výkonů, zvolil jsem jako typ zátěže opět třífázový motor. Jmenovitý výkon jsem volil dle vypočítané efektivní hodnoty činného výkonu  $P_{ef} = 989,4$  kW. Abych se co nejvíce přiblížil této hodnotě, z možných výkonových řad motorů jsem zvolil, že zátěží budou 3 motory o výkonech 355 kW, celkově tedy  $P_1 = 1065$  kW. Dále jsem z naměřených hodnot uvedl maximální přetížení při rozběhu



$S = 3500$  kVA a z vypočtených hodnot do energetické bilance mi vyšel pracovní power factor roven 0,5. Celkově jsem se tedy přiblížil skutečnému odběru těžního stroje.

Finální výpočet výkonu motorgenerátoru provedl již samotný software. Výstup z něj je uveden v příloze 2 této diplomové práce. Výpočet potvrdil podmínku úbytku napětí do 20 %. Výstupem byl návrh instalovat dvě paralelní motorgenerátorová soustrojí typ P1500E1, každé o jmenovitém výkonu 1500 kVA. Technický list motorgenerátoru s alternátorem na nízké napětí je uveden v příloze 3. Technické listy motorgenerátorů na vysoké napětí nejsou volně k dispozici, jedná se o speciální sestavy na objednávku. I když samotný software provádí návrh pro alternátory na úrovni nízkého napětí, lze použít vypočtený výkon pro výběr motoru i alternátoru, avšak použít alternátor v konstrukčním provedení na úrovni vysokého napětí 6 kV.

## 7.2 Instalace záložního zdroje

Předpokládáme instalaci dvou motorgenerátorových zdrojů do dvou ISO kontejnerů, každý kontejner k tomu speciálně upravený. Kontejner bude mít z venku dostatečný počet servisních přístupů. Uvnitř bude instalován samotný motorgenerátor usazen na vlastním rámu s řídicím kontrolérem a hlavním jističem.

Kontejner bude obsahovat nádechovou a výdechovou vzduchotechnickou žaluzii v protidešťovém provedení pro dostatečnou výměnu vzduchu uvnitř kontejneru, potřebnou pro spalování a chlazení. Pro snížení hluku v blízkosti motorgenerátoru bude instalována protihluková žaluzie na straně sání motorgenerátoru.

Uvnitř kontejneru bude také instalována zásobní nádrž paliva v dostatečném objemu pro pojmnutí takové zásoby paliva, aby mohl motorgenerátor běžet 12 hodin bez přerušení. Námí uvažovaný motorgenerátor o výkonu 1500 kVA má při 100% zatížení spotřebu paliva 313 l/hod. Ke každému motorgenerátoru bude tedy potřeba instalovat nádrž o minimálním objemu 3800 l. Pokud nebude možné instalovat nádrž do kontejneru motorgenerátoru z důvodu místa, bude nutné instalovat externí nádrž. V tomto případě bych volil společnou nádrž pro oba motorgenerátory uloženou v zemi a přepažením a rozdělením na dvě nezávislé nádrže s možností přečerpání paliva mezi jednotlivými částmi. Nádrž bude v dvouplášťovém provedení a bude tlakovou kontrolou snímáno protržení pláště nádrže. V nádrži bude instalován čtyřpolohový limitní hladinoměr. Minimální hladina vyvolá alarm pro obsluhu, aby mohla být nádrž dotankována. Maximální hladina upozorňuje obsluhu při tankování k ukončení tankování, aby nedošlo k přečerpání nádrže.



Od motorgenerátoru je nutné také vést kouřovodné potrubí vedené přes pružný mezikus od motoru skrz kontejner s protidešťovou ucpávkou. Kouřovodné potrubí bude uloženo podélně nad kontejnerem a vhodně zakončeno uzávěrem proti dešti a vniknutí různých předmětů či zvířat.

O chlazení chladicí kapaliny motoru se bude starat autochladič umístěný na čele motoru. Ten je rozbíhán momentovou silou hřídele motoru.

Dále bude nutné instalovat rozvaděč pro vyvedení společného výkonu motorgenerátorů, kde bude docházet k jejich sfázování. Každý přívod od motorgenerátoru bude jištěn. Společný vývod bude také jištěn a výkon vyveden do rozvodny R6kV J2.

Celkový proud vyvedený od rozvaděče motorgenerátorů lze vypočítat z rovnice.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U * PF} = \frac{3000}{\sqrt{3} * 6000 * 0,5} = 578A \quad [2]$$

Vyvedení výkonu od rozvaděče motorgenerátorů do rozvodny bude dvěma paralelními kabely 2||6-AYCKY(3x240). Z technického listu uvedeného v příloze 4 můžeme odečíst, že proudová zažitelnost jednoho kabelu 6-AYKCY(3x240) je ve vzduchu 323 A, paralelní potah dvou takových kabelů tedy zajistí přenos až 646 A. Celková délka kabelu bude přibližně 350 m. Délka byla změřena zadavatelem.

### 7.3 Servis a prohlídka motorgenerátorů

Pro správný chod motorgenerátorového soustrojí je nutné provádět pravidelné testy. Kontrolér automaticky testuje soustrojí každé 2 týdny, kdy automaticky nastartuje motorgenerátor bez zátěže a nechá ho 5 minut v chodu.

Každý měsíc by měl být motorgenerátor spuštěn s 50% zátěží na dobu jedné nebo dvou hodin.

Jednou ročně, nebo po 500 motohodinách se na motorgenerátoru provádí profylaktická prohlídka zkušeným technikem. Kontrolou všech bezpečnostních zařízení řídicího systému elektrickým simulováním závad. Vyčištěním ventilační krytky alternátoru. Dotažením všech elektrických spojů a spojů výfukového systému. Kontrolou motoru, výměnou motorového oleje a olejového filtru a kontrolou provozních kapalin. Celý systém je také prohlédnut vizuálně. Po této prohlídce se opět provádí start motorgenerátoru bez zátěže na dobu 5 minut.



## 7.4 Schéma napájení

V této části, když jsem již určil odebíraný výkon těžního stroje i motorgenerátor nutný k napájení celé technologie, jsem provedl kontrolní výpočet pro toto uspořádání v softwaru firmy ABB DOC. U tohoto výpočtu jsem mohl využít návrh na úrovni napětí 6 kV. Tento výpočet dokáže najít chyby v návrhu výkonu motorgenerátoru, návrhu kabelů a vypočítá úbytky napětí na zátěži.

Tento návrh jsem udělal pouze pro stav, kdy dochází k napájení z motorgenerátorů, při chodu těžního stroje. Zátěže byly stanoveny stejně jako v energetické bilanci. Pouze odběr těžního stroje jsem zaokrouhlil na  $P_i = 1500 \text{ kW}$  a  $S_i = 2000 \text{ kVA}$ .

Nastavení hodnot motorgenerátoru vycházelo z předchozího výpočtu pomocí softwaru GenSelect, tedy paralelní spojení dvou strojů, každého o výkonu 1500 kVA. Z technického listu motorgenerátoru jsem doplnil hodnoty pro podélné reaktance  $x_d$ ,  $x_d'$  a  $x_d''$ . Pro pokrytí velkého odebíraného jalového výkonu jsem stanovil jmenovitou hodnotu účinníku motorgenerátoru 0,7.

Parameter	Value	Unit
Typ	G1	
Zdroj	PV	
Typ	VN	
Subtyp	Turbogenerátor	
Jmenovité napětí ( $V_r$ )	6000	[V]
Jmenovitá frekvence ( $f_r$ )	50	[V]
Jmenovitý zdánlivý výkon ( $S_r$ )	1500	[kVA]
Účinník ( $\cos\phi_r$ )	0.7	
Ztrátový faktor ( $F_b$ )	100	[%]
Rezistance statoru při 20°C ( $R_a$ )	1	[Ω]
Rázová sycená reaktance v podélné ose ( $x_d''$ )	13.4	[%]
Rázová sycená reaktance v příčné ose ( $x_q''$ )	1	[%]
Přechodná sycená reaktance v podélné ose ( $x_d'$ )	24.5	[%]
Synchronní nesycená reaktance v podélné ose ( $x_d$ )	364.5	[%]
Zpětná sycená reaktance ( $x_2$ )	1	[%]
Nulová reaktance ( $x_0$ )	1	[%]
Rázová zkratová časová konstanta v podélné ose ( $T_d''$ )	1	[ms]
Přechodná zkratová časová konstanta v podélné ose ( $T_d'$ )	1	[ms]
Přístupné budicí vinutí	<input type="checkbox"/>	
Označení	<implicitní>	

Obrázek 15 - Nastavení prvku motorgenerátoru



Výpočet potvrdil, že navržený model dokáže napájet stanovenou zátěž a úbytek napětí na koncových zařízeních je maximálně 3,14 % v ustáleném stavu. Výstup ze softwaru je v příloze 5.

## 7.5 Částečný souhrn výsledků

Po předešlých kapitolách jsem se dopracoval k výslednému návrhu dvou paralelně pracujících motorgenerátorových soustrojí o jmenovitém zdánlivém výkonu 1500 kVA a výstupním napětí na svorkách alternátoru 6 kV. Každý motorgenerátor bude umístěn ve speciálně upraveném kontejneru délky 12 stop. Pro nezávislý chod motorgenerátorů je nutná instalace zásobní nádrže paliva. Vzhledem k její velikosti (celkem 7600 litrů) bude nutná její instalace samostatně. Možnosti jsou do výkopu v zemi nebo samostatného kontejneru v přímé blízkosti kontejnerů s motorgenerátory. Dále bude nutná instalace kontejneru pro rozvaděč motorgenerátorů, tento kontejner nemusí být délky 40 stop, ale musí být dostatečně velký pro instalaci 3 polí vysokonapětového rozvaděče (2 pole přívodů a jedno pole vývodu). Pro vyvedení výkonu od motorgenerátorů bude proveden kabelový propoj do rozvaděče motorgenerátorů kabelem 3x6-AYKCY(1x120). Vývod z rozvaděče bude dvěma paralelními kabely 6-AYKCY(3x240).



## 8 Návrh řešení rekuperačního brzdění

Při výpadku napájení z veřejné distribuční sítě a následném napájení z motorgenerátoru se jedná o soustavu v ostrovním režimu. Pro tuto soustavu je charakteristické, že veškerá vyrobená elektrická energie musí být v rovnováze s energií spotřebovanou. Pokud tedy dochází v soustavě k nadvýrobě elektrické energie, v tomto případě pokud těžní stroj, při pohybu těžní klece dolu, rekuperuje elektrickou energii zpátky do sítě, je nutné tuto energii akumulovat nebo mařit v teplo.

### 8.1 Možnosti akumulace elektrické energie

Elektrickou energii je v této moderní době možné akumulovat několika způsoby. Nejčastěji využívaná akumulace energie je do chemických akumulátorů, dále pak do elektromechanických setrvačníků, supravodivých systémů, supekapacitorů, stlačení vzduchu, výroby vodíku, akumulace do vodní masy nebo systém redox. Každý způsob má své klady i zápory, některé si představíme.

#### **Elektrochemické akumulátory**

Elektrochemické akumulátory ukládají energii v chemické vazbě. Jejich výhodou je relativně nízká pořizovací cena. Nevýhodou pak samovybíjení a poměr výkon/objem. Existuje několik typů elektrochemických akumulátorů dle typu chemické reakce. Mezi nejpoužívanější patří Pb a NiCd akumulátory pro průmyslové použití. V elektromobilitě se často využívají lithiové akumulátory.

#### **Elektromechanické setrvačníky**

Setrvačníky využívají uložení energie do rotující hmoty, která je roztáčena pomocí magnetické vazby mezi rotorem a statorem. Mezi výhody patří hlavně vysoký výkon, dlouhá životnost a rychlost změn, při ukládání a čerpání energie. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a mechanické ztráty.



### **Superkapacitor**

Superkapacitor využívá stejného principu jako kapacitor. energii ukládá v dielektriku mezi dvěma elektrodami. Oproti jiným způsobům ukládání elektrické energie nedochází k její přeměně, díky tomu je lze velmi rychle nabíjet a vybíjet. Nevýhodou je nízké provozní napětí jednoho superkapacitoru, je tedy nutné je řadit do série.

### **Stlačený vzduch**

Využívá elektrické energie k chodu kompresoru, který ukládá stlačený vzduch v nádobách nebo podzemní nádrži. Pro opětovné využití energie je při vyústění instalována turbína a generátor. Výhodou je velmi nízká ztráta uložené energie. Nevýhodou je prostorová náročnost, obzvláště při instalaci podzemní nádrže.

## **8.2 Řešení rekuperačního brzdění**

Ze zadání není požadavek rekuperovanou energii od těžního stroje akumulovat, zároveň by instalace akumulární technologie byla náročná finančně i prostorově. Volím tedy nejjednodušší řešení rekuperovanou energii bez užitku mařit na teplo ve výkonových rezistorech.

Samotný výpočet vychází ze vzorce.

$$E = \frac{1}{2} J \omega^2 \quad [3]$$

Bohužel jsem neměl k dispozici potřebné parametry k výpočtu brzdě energie, vycházel jsem tedy z naměřených hodnot energie z přílohy 1.

V návrhu bude brzdový rezistor připojen přes DC/DC měnič do stejnosměrné sběrnice mezi tyristorovým měničem a stejnosměrným strojem pohánějící těžní stroj. Tento měnič bude dimenzován na jmenovité napětí 570 V. Samotné spínání DC/DC měniče bude automatické při zvýšení úrovně napětí na stejnosměrné sběrnici. Brzdový rezistor bude dimenzován na elektrický výkon 1200 kW. Tato hodnota byla naměřena jako špičková hodnota při brzdění těžního stroje pro pohyb klece dolů, při zatížení 6800 kg a rychlosti pojezdu 10 m/s.





### 8.3 Přejchody mezi provozními stavy

Zjednodušené přehledové schéma napájení z veřejné distribuční sítě je zakresleno v příloze 6. Při výpadku napájení ze sítě dojde k vypnutí přívodních prvků a technologie je bez napájení, dokud nedá obsluha dispečinku povel ke startu motorgenerátorů. Po povelu ke startu motorgenerátorů zajistí kontroléry sfázování paralelních soustrojí a případně společný vývod do rozvodny R6kV J2. V první fázi dojde k napájení vlastních spotřeb, jejich napájení je znázorněno v příloze 7. Až poté, co je zajištěno napájení vlastních spotřeb je možné zprovoznit pohon těžního stroje, přehled toku elektrické energie, pokud je pohyb těžní klece směrem nahoru, je zakreslen v příloze 8.

Pokud je pohyb těžní klece směrem dolů, dochází v těžním stroji k rekuperaci elektrické energie, která se po stejnosměrné sběrnici přes DC/DC měnič maří na výkonovém rezistoru v teplo. Přehledové schéma toku při rekuperaci je uvedeno v příloze 9.

Po návratu napájení z veřejné distribuční sítě je nejprve nutné odpojit všechny zátěže a zastavit chod motorgenerátorů. V tuto chvíli dojde ke krátkému výpadku v napájení, dokud obsluha dispečinku nenastaví zpět napájení technologií z veřejné distribuční sítě.



## 9 Řídicí systém

V této kapitole popíšeme funkci systému při napájení ze sítě a při chodu z motorgenerátoru. Stavů různých prvků systému a měřených veličin.

Stavy jisticích či spínacích prvků jsou pro různé způsoby chodu technologie patrné z přílohy zmíněné v minulé kapitole. Avšak pro jednoduchý dohled nad prvky a jejich dálkové ovládání je nutné tyto prvky vybavit pomocnými kontakty pro snímání jejich stavu a motorovými pohony pro jejich dálkové ovládání. V zadání byla určena podmínka, že pro instalovanou technologii není nutné tvořit hierarchický postup spínání prvků při výpadku napájení z veřejné distribuční sítě. O spouštění všech prvků, včetně startu motorgenerátoru, bude rozhodovat centrální dispečink podle místního provozního předpisu.

Aby bylo možné dálkově ovládat start motorgenerátorů, je nutné, aby kontroléry motorgenerátorů byly připojeny ethernetovou přípojkou do místní sítě. Dále je pak nutné vybavit jisticí prvek přívodu do rozvodny R6kV J2 od motorgenerátorů motorovým pohonem pro jeho dálkové ovládání. V průmyslových instalacích se pro ovládání motorových pohonů nejčastěji využívá programovatelný logický automat (PLC), který je opět připojen přes ethernetovou linku do místní sítě. V PLC je nahrán software, kterým lze dálkově odečítat měřené hodnoty nebo stavy jisticích prvků. Zároveň umožňuje pomocí výstupů ovládat některé technologie, pro nás spínání, či odpínání jističů.

Na následujícím obrázku je ukázka možného dohledu motorgenerátoru včetně několika snímaných stavů a veličin.

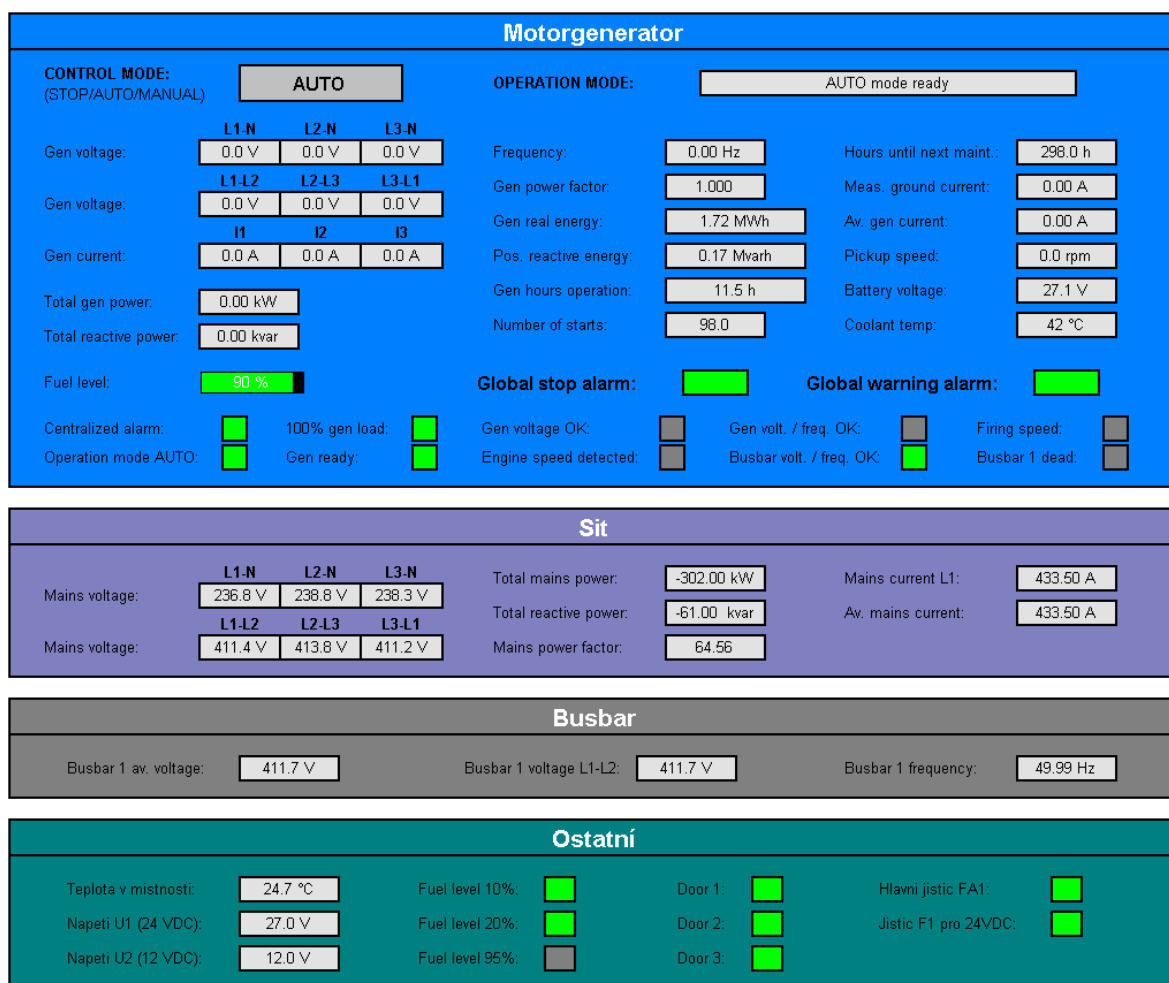
První vlevo nahoře se zobrazuje režim startu motorgenerátoru, v tomto případě AUTO. To znamená, že pokud dojde k výpadku sítě, motorgenerátor se automaticky nastartuje a do předem nastaveného časového intervalu převezme kritickou zátěž instalace. Pro námi uvažovaný případ bychom však volili režim MANUAL, který zajistí, že start motorgenerátoru bude ovlivněn dálkovým zásahem dispečera. Pod režimem startu jsou patrné měřené veličiny na svorkách alternátoru. Ukázkový motorgenerátor nebyl nastartován, tudíž jsou tyto hodnoty nulové. Při chodu napájení zátěže z motorgenerátoru samozřejmě již nulové nebudou. Další monitorované parametry motorgenerátoru jsou celkový vyrobený výkon činný, jalový, motohodiny, počet startů, napětí startovacích baterií, teplota chladicí kapaliny, úroveň naplnění provozní nádrže, snímání poruch a další volitelné parametry či hodnoty.



Ve fialovém bloku jsou uvedeny snímané hodnoty napájecí sítě. Ty musí kontrolér snímat hlavně pro správnou funkci v režimu AUTO. Při snímání hodnot napájecí sítě má přehled, kdy dojde k výpadku a zároveň je nutné toto snímání při zpětném fázování motorgenerátoru při obnovení napájení sítě.

Při paralelním chodu motorgenerátorů, je nutné propojit po komunikační sběrnici všechny kontroléry, aby mohli sdílet informace a tím řídit fázování motorgenerátorů.

Dále bývá kontrolér vybaven několika diskretními vstupy a až 8 reléovými výstupy, kterým je možné naprogramovat různé funkce.



Obrázek 16 - Ukázka dálkového dohledu motorgenerátoru



## 10 Závěr

Po úvodním seznámení se s technologií hlubinného dolu jsem popsal problematiku motorgenerátoru jako záložního zdroje elektrické energie včetně jeho pomocných provozů. V další části jsem vypočítal potřebný zálohovaný výkon motorgenerátoru, nejprve pro ustálený chod zátěže. Poté jsem zohlednil účinky rozběhu těžního stroje a původní návrh jsem rozšířil na konečné řešení zálohování zátěže pomocí dvou paralelně pracujících soustrojí. Popsal jsem také jejich instalaci včetně pomocných technologií nutných ke správnému chodu soustrojí. V další části jsem popsal nutnost spotřeby rekuperované energie. Na závěr jsem popsal možnosti dohledu a řízení motorgenerátoru.



## 11 Použitá literatura

Veškeré internetové zdroje byly kontrolovány 10.05.2014.

- [1] [http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/hlub\\_dul.html](http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/hlub_dul.html)
- [2] [http://techstroj.g6.cz/U/Dobyvaci\\_stroje\\_pro\\_hlubinne\\_dobyvani.pdf](http://techstroj.g6.cz/U/Dobyvaci_stroje_pro_hlubinne_dobyvani.pdf)
- [3] <http://www.hornictvi.info/prirucka/technika/tezba.htm>
- [4] [http://www.inco-p.cz/vyroba\\_tezni3.html](http://www.inco-p.cz/vyroba_tezni3.html)
- [5] Generátorové soustrojí, Návod k obsluze a údržbě, FG Wilson
- [6] Low voltage alternators, Excitation and regulativ systems, Leroy-Somer
- [7] <http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-rady-tuzemskych-motorgeneratoru.html>
- [8] <http://www.ups.cz/podpora/vyber-mtg>
- [9] <http://www.enid.cz/zaloznizdroje-motorgeneratory.php>
- [10] OKD: Dokumentace důlního stroje a systému distribuce el. Energie
- [11] PRONIX s.r.o. – Systémy záložního napájení
- [12] ČSN ISO 8528. *Střídavá zdrojová soustrojí poháněná spalovacími motory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011



## 12 Přílohy