ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektrických pohonů a trakce

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Nouzové napájení elektrárenského bloku

Martin Iška

2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra elektrických pohonů a trakce

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Martin Iška**
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrické stroje, přístroje a pohony
Název tématu: **Nouzové napájení elektrárenského bloku**

Pokyny pro vypracování:

1) Úvod do záložních zdrojů

2) Přípojný bod zálohovaného objektu

3) Charakteristika a rozdělení vlastní spotřeby teplárny podle stupně důležitosti

4) Sled nájezdu vlastní spotřeby při startu ze tmy

5) Návrh dimenzování nouzového zdroje

Seznam odborné literatury:

[1] Nouzové zdroje v energetice - ELEKTRO 1/2012

[2] Zdroje nepřerušovaného napájení UPS - interní materiál Zeppelin CZ s.r.o.

[3] Jaderné a klasické elektrárny, ČVUT Praha, 2011, ISBN 978-80-01-04936-5

[4] Norma ČSN 33 2000-5-551

Vedoucí: Ing. Vít Hlinovský, CSc.
Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 1. 10. 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne ....

podpis

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Vítu Hlinovskému, CSc. za jeho připomínky a náměty. Ing. Antonínu Rýparovi z firmy Veolia Energie ČR, a.s. za poskytnuté informace o provozu Teplárny Přerov a pomoc při vypracování této práce. Rovněž patří můj dík rodině za podporu a tvorbu potřebného zázemí.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou připojení a dimenzování nouzového zdroje pro rozběh elektrárenského bloku v případě bezproudého stavu distribuční soustavy. Nejprve se zabývám poruchami v elektrizační soustavě, stanovením bezpečnostních pravidel pro připojení a dimenzování mobilního zdroje. Zaměřuji se na konkrétní aplikaci v Teplárně Přerov, kde byl uskutečněn zkušební start ze tmy ve spolupráci společností Zeppelin CZ s.r.o. a Veolia Energie ČR, a.s.. Konzultacemi a osobními návštěvami těchto firem jsem získal mnoho informací týkajících se návrhu a realizace. Stěžejní částí je popis technologie teplárny, jejíž znalost je důležitá. Poslední bod práce je věnován vlastnímu návrhu externího motorgenerátoru pro teplárnu. Z několika vytvořených variant vybírám tu nejlepší a svůj výběr zdůvodňuji v závěru.

Klíčová slova

Dieselgenerátor, Teplárna, Nouzový zdroj, Přerušení dodávek elektřiny, Start ze tmy, Přípojný bod

Abstract

This master's thesis deals with a connection and sizing issues of an emergency power source, which might be used for a black start of a power plant. At first I am interested in faults in a power grid, safety rules for connection and sizing of a mobil source. I focus on a particular application in the heating plant in Přerov, where the following companies Zeppelin CZ s.r.o. and Veolia Energie ČR, a.s. have performed an experimental black start. I have collected enough information about difficulties of the project and realization, during consultations and visits to these companies. The main part of my thesis is about technology of the heating plant, the knowledge of which is important to make a good proposal. The last point of the thesis concentrates to my own proposal of a diesel - generator set. I am choosing the best fitting source and I justify my choice in the conclusion.

Key words

Diesel-generator set, Heating plant, Emergency source, Blackout, Black start, Connection point

Použité zkratky

Un	Jmenovité napětí
kV	Kilovolt
IT	Izolovaná soustava
TN	Uzemněná soustava
PE	Ochranný vodič
PEN	Sdružený ochranný a nulový vodič
NN	Nízké napětí
VN	Vysoké napětí
Hz	Hertz
UPS	Uninterruptible Power System
DG	Dieselgenerátor
CHUV	Chemická úpravna vody
VSD	Variable Speed Drive (frekvenční měnič)
JE	Jaderná elektrárna
MI	Martin Iška
VE	Veolia Energie, a.s.
ASM	Asynchronní motor
f	Frekvence

Obsah

ÚVOD 9

1. PORUCHY V ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ 10

1.1 Příčiny poruch 10

1.2 Přenosová soustava 12

2. PŘÍPOJNÝ BOD NOUZOVÉHO ZDROJE 14

2.1 Připojení náhradního zdroje k objektu 14

2.2 Nízkonapěťová zařízení 15

2.3 Bezpečnostní problematika 17

3. TEPLÁRNA PŘEROV 18

3.1 Technologické schéma provozu 19

3.2 Palivo a doprava 20

3.3 Kotle a příslušenství 20

3.4 Výroba elektřiny 22

3.5 Vlastní spotřeba teplárny a vyvedení výkonu 24

4. NOUZOVÝ ZDROJ PRO TEPLÁRNU 27

4.1 Statický nouzový zdroj 27

4.2 Rotační nouzový zdroj 28

4.3 Výběr typu nouzového zdroje pro teplárnu 32

4.4 Způsob připojení záložního zdroje 34

5. ZDROJE VLASTNÍ SPOTŘEBY 36

5.1 Požadavky na zdroj vlastní spotřeby 37

5.2 Dimenzování nouzového zdroje 38

5.3 Charakteristika pohonů a jejich připojení k síti 41

5.4 Harmonogram startu teplárny 45

6. DIMENZOVÁNÍ V PROGRAMU SPEC SIZER 50

6.1 Výběr motorgenerátoru pro Teplárnu Přerov 55

6.2 Ověření zkratových poměrů na záskokové sběrně teplárny 59

7. ZÁVĚR 65

POUŽITÁ LITERATURA 67

SEZNAM PŘÍLOH 68

ÚVOD

Pro dnešní technicky vyspělou společnost je typická vysoká energetická náročnost. Lze mluvit o závislosti na zásobování energií, především energií elektrickou, v dostatečném množství a kvalitě. Soudobá zařízení informační techniky pronikla do všech odvětví každodenního života. Ohrožení jejich funkce nespolehlivou dodávkou elektrické energie je tedy zcela nepřípustné. Žádná rozvodná síť není stoprocentně spolehlivá. Jedinou obranou je instalace záložního zdroje elektrické energie. Výpadek může být způsoben nejen živelnými katastrofami, ale také přetížením napájecí sítě a následným „blackoutem“. Podle energetických expertů se pravděpodobnost plošného výpadku dodávek elektřiny značně zvýšila po masové instalaci obnovitelných zdrojů energie do přenosové soustavy. Ve snaze eliminovat tato rizika je stále více diskutována problematika začlenění menších a středních energetických zdrojů do distribuční soustavy.

Moje práce je zaměřena na problematiku obnovy dodávek elektrické energie v případě, kdy dojde k rozsáhlé havárii v rozvodné síti. Při dlouhodobém výpadku je nezbytné podniknout kroky k obnově kritické infrastruktury. Tou jsou míněny systémy, jejichž zničení nebo omezení funkčnosti by mělo vážné dopady na ekonomickou a společenskou stabilitu, obranyschopnost a bezpečnost státu. Nezbytné jsou zejména dodávky pitné vody, elektrické energie, tepelné energie (teplá užitková voda, vytápění bytů), doprava paliv (plyn, ropná paliva), komunikační a informační systémy, nouzové služby (policie, zdravotnické služby), veřejné služby (zásobování potravinami, sociální služby), státní správa a samospráva. V poslední části své diplomové práce se zaměřuji na modelové řešení spouštění teplárenského bloku z externího zdroje napájení. Cílem mé práce je návrh způsobu připojení a dimenzování tohoto zdroje. Součástí je ucelený plán nouzového startu, ve kterém uvádím nejen postup, ale i možné komplikace a jejich vliv na samotný nájezd technologie.

1. PORUCHY V ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ

Rozsáhlá území Ameriky i Evropy byla v minulých letech postižena přerušeným zásobováním elektřinou. Tyto velké výpadky neboli „blackouty“ postihly v roce 2003 USA a Kanadu, ten samý rok Dánsko, Švédsko a Itálii, o rok později i Řecko. Naposledy v březnu roku 2015 bylo tímto jevem ochromeno hlavní město Nizozemska. Mezinárodní letiště v Amsterodamu muselo být uzavřeno na několik hodin a veškerý provoz byl zastaven.

Hrozba dlouhodobých výpadků začíná být aktuální i u nás v České republice. Nejblíže k plošnému výpadku elektrické energie byla naše republika v roce 2006. Nedošlo k typickému „blackoutu“, ale k rozpadu přenosové sítě společnosti ČEPS, a.s. (Česká přenosová soustava, a.s.) na dva ostrovní systémy. [4]

V březnu roku 2015 se objevila v médiích znepokojující zpráva. Předpokládané zatmění slunce dvacátého března mělo způsobit pokles výroby fotovoltaických elektráren. Po odstínění Slunce byl předpokládán proudový náraz. Výroba fotovoltaických elektráren mohla prudce vzrůst až o 400 MW za minutu (v rámci ČR). V celé Evropě je okolo devadesáti tisíc megawattů instalovaného výkonu, který se mění v závislosti na osvitu. Společnost ČEPS, a.s. se na zatmění připravovala celý rok. Součástí příprav byly konzultace s ostatními provozovateli přenosových soustav a nákup rezervního výkonu. Nakonec se žádné negativní vlivy během zatmění a po něm nedostavily.

1.1 Příčiny poruch

Pro „blackouty“ je typické, že nejsou způsobovány pouze jednou událostí, ale celým řetězcem současně se vyskytujících faktorů. Rizikovými faktory jsou především:

- velké zatěžování sítě nebo častá potřeba velkého soudobého výkonu
- přetěžování elektráren
- poruchy v energetické síti spojené se stárnutím infrastruktury

Velká pravděpodobnost výskytu nastane, pokud jsou výše uvedené faktory kombinovány s následujícími událostmi:

- odstávka elektrárny
- nepředvídatelné odstavení několika elektráren

- působení přírodních vlivů, například: námraza, vítr, povodeň, vysoké nebo hluboce nízké venkovní teploty
- náhlá současná potřeba velkého výkonu (například provoz klimatizací v horkých letních dnech)
- nedostatečná komunikace mezi výrobci a distributory elektrické energie
- teroristické nebo vojenské napadení sítě
- působení HEMP (High Altitude Electromagnetic Pulse), jedná se o elektromagnetický impuls způsobený výbuchem jaderné bomby
- působení IEMI (Intentional Electro Magnetic Interference), jedná se o elektromagnetické rušení způsobené moderními magnetickými zbraněmi nebo sluneční bouří
- působení kosmických vlivů

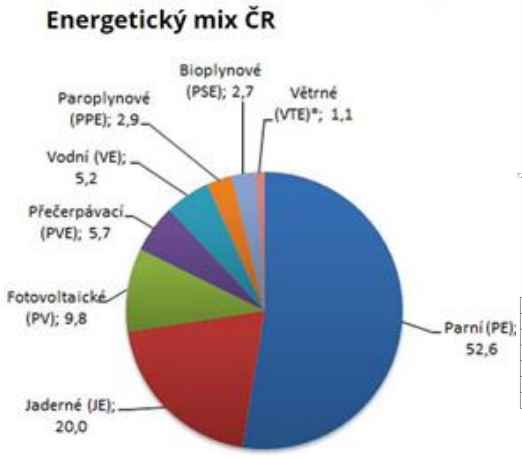
Netypickou a nepředvídatelnou událostí jsou i geomagnetické bouře. Ty jsou vyvolávány slunečními erupcemi. Při erupci dochází k uvolnění oblaku elektricky nabitých částic při výtrysku koronální hmoty ze slunce. V době maximální sluneční aktivity může zasáhnout oblak elektricky nabitých částic oběžnou dráhu Země. Způsobí tok částic a obrovských proudů v ionosféře. Tento děj je známý jako polární záře a indukuje velké změny do geomagnetického pole Země. Rozdílné potenciály umožní tok indukovaných stejnosměrných proudů do dlouhých přenosových vedení. Indukce je největší u vedení orientovaných od východu k západu. Proudy dosahují stovek ampér a časy několika desítek sekund. Přenosová vedení jsou dimenzována na střídavé proudy, a nejsou tudíž dimenzována na přenos stejnosměrných proudů. Geomagneticky indukované proudy mohou způsobit poškození a zničení velkého množství vysokonapěťových transformátorů kaskádovým efektem. V důsledku výpadku elektřiny dojde pravděpodobně k přerušení dodávek vody, potravin a paliv. Přeruší se veškeré komunikační kanály, finanční transakce a doprava zboží. Výroba a výměna nových transformátorů může trvat i několik měsíců a „blackout“ se tak může protáhnout až na půl roku.

Závěrem lze říci, že riziko energetického „blackoutu“ je v dnešní době obecně podceňované. V současných podmínkách trhu s elektřinou se sítěmi přenášejí velké objemy elektřiny i přes hranice jednotlivých soustav. Vytvořením jednotného

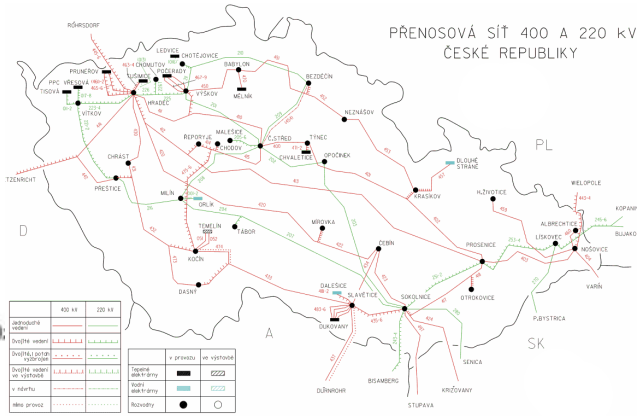
evropského trhu s elektřinou se změnily podmínky pro uskutečnění bezpečné dodávky elektřiny. Tradiční integrované plánování výroby a přenosu zmizelo a provozovatelé jednotlivých soustav jsou vystaveni tlakům komerčních zájmů z důvodu rostoucího počtu účastníků trhu. Proto je nezbytné definovat nová technická, organizační, funkční pravidla a přijmout odpovídající opatření v oblasti výroby a rozvodu elektrické energie. [1]

1.2 Přenosová soustava

Elektrizační soustava České republiky se svou polohou řadí mezi tzv. vnitřní soustavy. Mapa zobrazuje rozmístění energetických zdrojů dodávající elektrický proud. Podle energetického regulačního úřadu tvoří největší podíl tepelné elektrárny spalující fosilní paliva (uhlí, plyn, ropu). [5]



Obr.1.2 Energetický mix Zdroj: ČEPS, a.s.



Obr.1.3 Mapa přenosové soustavy Zdroj: ČEPS, a.s.

Elektrárny jsou téměř pravidelně rozprostřeny po celém území naší republiky. Při havárii v rozvodné síti a následném „blackoutu“ může dojít k rozpadu elektrizační sítě a odstavení všech elektráren. Opětovné spuštění v ostrovním provozu nebude činit problém u jaderných elektráren, které mají vždy záložní zdroj v podobě vodní elektrárny nebo elektrocentrály.

Více než čtvrtinu energetického mixu tvoří fotovoltaické, vodní a bioplynové elektrárny, které jsou často označovány jako „zelené“. Tyto alternativní zdroje nevyžadují energii z vnější sítě pro svůj start a jsou vybaveny automatickým provozem, tj. bez obsluhy. Pro jejich opětovné spuštění je nezbytné nejprve přivést napětí sítě

na vyhodnocovací elektroniku, která sleduje napětí a frekvenci sítě po dobu patnácti až dvaceti minut. Kritériem připnutí „zeleného“ zdroje je kvalitní síť s hodnotou frekvence pohybující se v rozmezí 40,8 Hz až 50,2 Hz po celou čekací dobu. Pokud je kritérium splněno, dojde k připnutí neregulovaného výkonu elektrárny, což má za následek krátkodobé zvýšení napětí a frekvence v síti. Pokud není ostrovní systém dostatečně veliký, pak přechodný děj během připojení může způsobit vybavení ochran i u ostatních elektráren a tím dojde k rozpadu celého ostrova.

Výhodou tepelných elektráren je možnost frekvenční regulace, čímž je frekvence udržována v nastavených mezích. Během normálního provozu je využíván otáčkový nebo výkonový regulátor. Tepelné elektrárny a teplárny tvořící více než polovinu energetického mixu se spoléhají při najíždění na energii z distribuční soustavy. V případě dlouhodobého plošného výpadku se stávají tyto menší zdroje výhodou a poskytnou elektrickou a tepelnou energii pro blízké okolí. Vzhledem ke značné energetické závislosti domácností a podniků je nezbytné již dnes hledat řešení krizových stavů, které se mohou v budoucnu vyskytnout.

Elektrizační soustava je navržena a provozována tak, aby vyhověla kritériím spolehlivosti. Přenosové soustavy jsou budovány podle zásady N-1, neboli musí být schopny provozu i při poruše jednoho kritického prvku. Poškození několika prvků může způsobit zhoršení stability přenosového systému. U takto navržené soustavy je pravděpodobnost poruchy nízká. V praxi se ukazuje, že čas od času se vyskytne náhodné seskupení jevů vedoucí k rozsáhlé poruše a ztrátě napětí v rozvodné síti. Výpadek dodávek elektřiny má za následek značné hospodářské ztráty pro všechny uživatele. Základním parametrem ovlivňujícím velikost hospodářských ztrát je doba trvání poruchy. Zvláště pak doba trvání výpadku, což je doba, po kterou není dodávána elektrická energie.

Účelem Plánu obnovy je v prvé řadě zkrácení doby trvání výpadku dodávek elektrické energie. Hlavní strategií české elektrizační soustavy je kompaktní celek napojený na pět energetických společností (50Hertz Transmission (Německo), TenneT (Německo), APG (Rakousko), PSE (Polsko), SEPS (Slovensko)) pomocí vedení 400 kV a 220 kV. Další strategií je existence několika vodních elektráren schopných startu ze tmy, neboli schopných uvedení do provozu bez napětí z vnější sítě (tzv. „black start“). Tyto bloky jsou spouštěny samostatně na pokyn dispečera ČEPS. Z pohledu sítě se využívá „open-all“ strategie, tzn. vypínače v postižené oblasti jsou cíleně vypnuty

(automaticky nebo ručně). Cíleným vypnutím vypínačů v postižené oblasti se dosáhne toho, že dispečerská operativní služba může vycházet při řešení obnovy soustavy z jasně definovaných podmínek. Dispečer odpovědný za obnovu zasažené oblasti zajistí znovu připojení bloků jejich postupným zatěžováním a připojováním dalších prvků přenosové soustavy. [8]

Plán obnovy dle priorit:

1. vlastní spotřeba jaderných elektráren

2. vlastní spotřeba systémových klasických elektráren

3. hlavní město Praha

4. velké městské aglomerace

5. ostatní spotřebitelé

2. PŘÍPOJNÝ BOD NOUZOVÉHO ZDROJE

Mobilní nouzové zdroje jsou považovány za plnohodnotné zdroje elektrické energie. S ohledem na bezpečnost představují pro člověka stejné nebezpečí jako veřejné elektrizační sítě, proto je nutné stanovit bezpečnostní opatření.

Spotřebič může být napájen pouze z jednoho zdroje, tj. z veřejné sítě nebo z nouzového zdroje. Další možností je napájení jak z veřejné sítě, tak i z nouzového zdroje. V případech nouze je však vysoká pravděpodobnost chybné synchronizace zdrojů a tím může dojít ke značným škodám, proto se tento stav nedoporučuje. Pevně instalované nouzové zdroje jsou již vybaveny doplňkovou synchronizační technikou a jejich paralelní provoz je bezproblémový.

2.1 Připojení náhradního zdroje k objektu

V případě nasazení mobilního zdroje bez jakékoli přípravy objektu vzniká celá řada technických a technickoorganizačních problémů, které znemožňují nasazení v reálném čase bez zbytečných prodlev. Jedná se především o hledání vhodného místa pro fyzické umístění zdroje, přípojného místa, které umožní bezpečné napojení do rozvodu objektu. Musí být provedena elektro revize a stanovena pravidla pro připojení, která vyloučí úraz elektrickým proudem, požár a podobně. Z toho vyplývá upozornění na žádoucí přípravu umožňující účinné a efektivní napojení. Projekčně vyřešený způsob napojení spočívá v postavení mobilního zdroje na předem připravené místo, propojení ohebnými vodiči

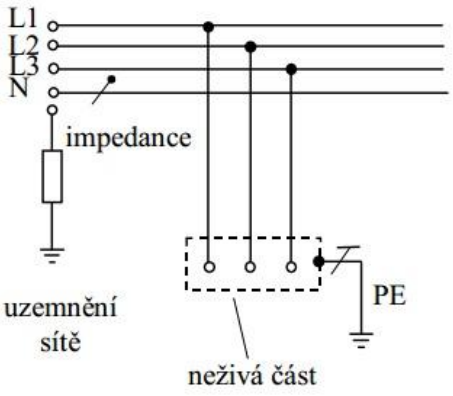
a provedení jasně definovaných úkonů. Nebude nutné provádět rychlá rozhodnutí pod tlakem, ani revize provizorních napojení. Vše bude předem připraveno a dobu trvání výpadku bude možné výrazně minimalizovat. [6]

2.2 Nízkonapěťová zařízení

Seznámení s nejčastěji používanými elektroinstalačními sítěmi objektů:

a) Síť IT

Sítě IT (zkratka z fr. spojení slov „isolé terré“) viz obr. 2.2.1 mají všechny živé části izolované od země nebo mají jeden bod spojený se zemí přes impedanci. Neživé části elektroinstalace jsou uzemněny jednotlivě nebo skupinově. Části zařízení napájených ze sítě IT jsou propojeny jedním společným uzemněným ochranným vodičem. [3]



Obr. 2.2.1 Síť IT Zdroj:[3]

b) Síť TN

Sítě TN (zkratka z fr. spojení slov „terré neutré“) mají zpravidla jeden bod nulový, který je bezprostředně uzemněn a neživé části chráněných zařízení jsou vodičem spojeny s tímto bodem. [3]

Podle uspořádání nulových a ochranných vodičů se rozlišují typy sítě TN:

- *TN - S (z fr. slova „separé“)*

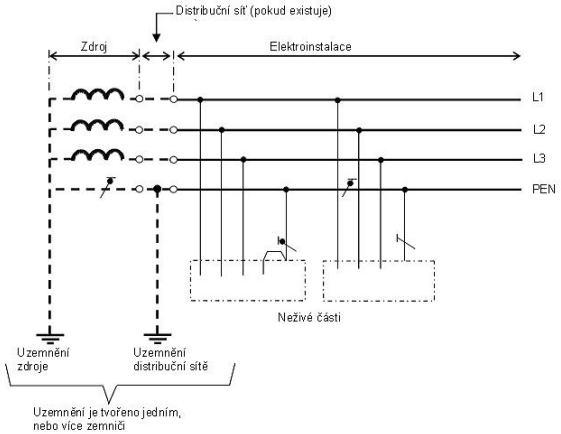
  - samostatný ochranný vodič (viz obr. 2.2.2)
  - provedeno dodatečné uzemnění ochranným vodičem PE (z angl. slova „protective earth”)

- použito v nových objektech a pro mobilní instalace

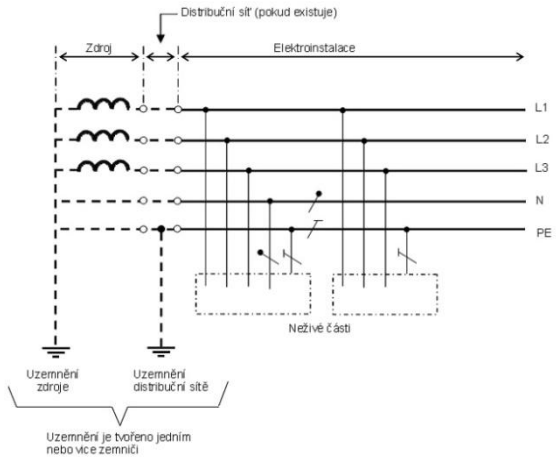
- *TN - C (z fr. slova „combine“)*

  - pro účel ochranného a nulového vodiče je použit společný vodič PEN (z angl. slova „protective earth neutral“)

  - použito ve starších objektech a pro pevné instalace (viz obr. 2.2.3) [3]



Obr. 2.2.3 Síť TN - C Zdroj: [3]



Obr.2.2.2 Síť TN - S Zdroj: [3]

V normě ČSN 33 2000-5-551 jsem se dočetl o požadavcích pro zdroje nízkého napětí určené pro napájení instalace objektů. Napájení může být zajištěno z distribuční sítě nebo alternativního zdroje (elektrocentrála). U každého zdroje musí být stanoven předpokládaný zkratový proud a zemní poruchový proud. V každém případě nesmí být překročena jmenovitá zkratová schopnost ochranných přístrojů v instalaci. Zdroj musí být dimenzován tak, aby nedošlo k poškození spotřebičů v objektu v důsledku náhlého poklesu napětí nebo frekvence. Při návrhu zdroje je nutné počítat s rozběhovými proudy a velikostí účiníku. Ochrana před dotykem neživých částí musí být zajištěna u každého zdroje nebo jejich kombinace. Pro oddělení částí elektroinstalace s různými způsoby uzemnění lze použít oddělovacích transformátorů. Ochranná opatření zajištěná proudovými chrániči musí zůstat účinná při každé kombinaci napájecích zdrojů. Ochranou před úrazem elektrickým proudem může být automatické odpojení od zdroje. V tomto případě nelze spoléhat na uzemnění spojené s distribuční soustavou, musí být zajištěn vhodný zemnič. Prostředky pro detekování nadproudu musí být co nejblíže

svorkám generátoru (příspěvek zkratového proudu může být časově závislý). Při napájení objektu jsou zavedena opatření, která nedovolí paralelní provoz nouzového zdroje a sítě, jedná se o mechanické blokování (přepínačem nebo odpojovačem). U napájení budovy je třeba zvážit, zda je mobilní napájecí zdroj vzhledem ke své výkonové kapacitě technicky vůbec schopen takové zatížení převzít. Možností je diferencované napájení spotřebičů v budově. V sítích TN-S musí být instalovaný proudový chránič. Použití proudového chrániče v části elektrické instalace soustavy TN-C je zcela nepřípustné. [7]

2.3 Bezpečnostní problematika

Dle konstrukce generátoru je třeba uvažovat o vhodném uzemnění nebo pospojování. Mobilní napájecí zdroje jsou většinou určeny pro provoz v soustavě IT nebo TN. V soustavě IT je potřeba spojit ochranný vodič PE napájené budovy s krytem napájecího zdroje. V soustavě TN musí být připojovací bod na tomto zařízení spojen se zemničem. U budov, které nemají pevně instalovaný nouzový napájecí zdroj je třeba připravit přípojný bod. Instalovaná přípojka může být provedena pomocí zásuvného zařízení nebo přípojkové skříně s přepínacím zařízením zajišťujícím napájení vždy jen z jednoho zdroje (distribuční síť nebo nouzový zdroj). Výhodou takto navrženého přípojného místa je dostupnost a připojení objektu mimo budovu při uzavřených přístupech dovnitř.

Předpisy u mobilních elektrocentrál striktně požadují proudový chránič na přípojných bodech. Toto pravidlo je dodrženo v případě připojování objektů se sítí TN - S. Problém nastává v okamžiku připojení objektů, které nejsou provozovány v „pětivodičové“ soustavě napájení. Sdružený ochranný a nulový vodič PEN lze použít jen u pevně uložených elektroinstalací. Mobilní zdroj musí být tedy vybaven proudovým chráničem, proto je připojení na „čtyřvodičový“ systém zcela vyloučeno. Pro řešení tohoto častého problému je zapotřebí speciální přístup. Ten spočívá v rozdělení elektrovýbavy centrály na dvě části. Polovina zásuvek je provedena s proudovými chrániči pro připojování běžných spotřebičů a druhá část je provedena bez proudových chráničů ve čtyřvodičové soustavě. Vzhledem k tomu, že takové provedení neodpovídá současně platným předpisům, zavádí se zvláštní bezpečnostní opatření. Zejména zásuvky bez proudových chráničů musí být označeny výstražnými nápisy a zařízení může obsluhovat pouze elektrotechnicky způsobilá osoba. Pro získání

výchozí revize je nutné k takto upravenému zdroji (elektrocentrále) zpracovat podklady k proškolení obsluhy, kde budou specifikována rizika vyplývající z použití nadproudových ochranných prvků a stanoven postup při rizikových situacích.

Vytipované objekty kritické infrastruktury by měly být předem připraveny k napojení na záložní zdroj. Vyprojektované přípojné místo musí plně respektovat jak požadavky bezpečnostních předpisů, tak požadavky provozovatele rozvodných sítí. Na přípojné místo musí být zpracována revize a vlastní připojení objektu bude možno provést v řádu minut. Takovéto řešení sice představuje náklady na provedení, avšak ve srovnání se škodami, které by vznikly dlouhodobým výpadkem dodávek elektrické energie je investice zanedbatelná.

3. TEPLÁRNA PŘEROV

Teplárna Přerov (viz obr.3.1), jejímž provozovatelem je Veolia Energie Česká republika, a.s., se zabývá výrobou páry, teplé vody a elektrické energie. Teplo je dodáváno pro vytápění bytů, veřejných objektů a pro technologii průmyslových závodů v Přerově.

Obr. 3.1 Teplárna Přerov, sídlo - ulice Tovačovská Zdroj: VE

Na základě získaných informací během osobní návštěvy Teplárny v Přerově, uvádím níže základní data o výrobě za rok 2011.

Tab. 3.1 Roční výroba teplárny Zdroj: VE

VSTUPY		VÝSTUPY	
tuhé palivo (č. uhlí)	174 849 t	tepelná energie	1 218 TJ
spotřeba vody	2 157 900 m^3	elektrická energie	260 GWh
palivo kapalné (TTO*)	139 t		
* TTO - těžký topný olej je určen k roztápění a stabilizaci výkonu kotlů			

Tab. 3.2 Instalovaný výkon teplárny Zdroj: VE

Instalovaný tepelný výkon	349 MWt
Instalovaný elektrický výkon	51 MWe

3.1 Technologické schéma provozu

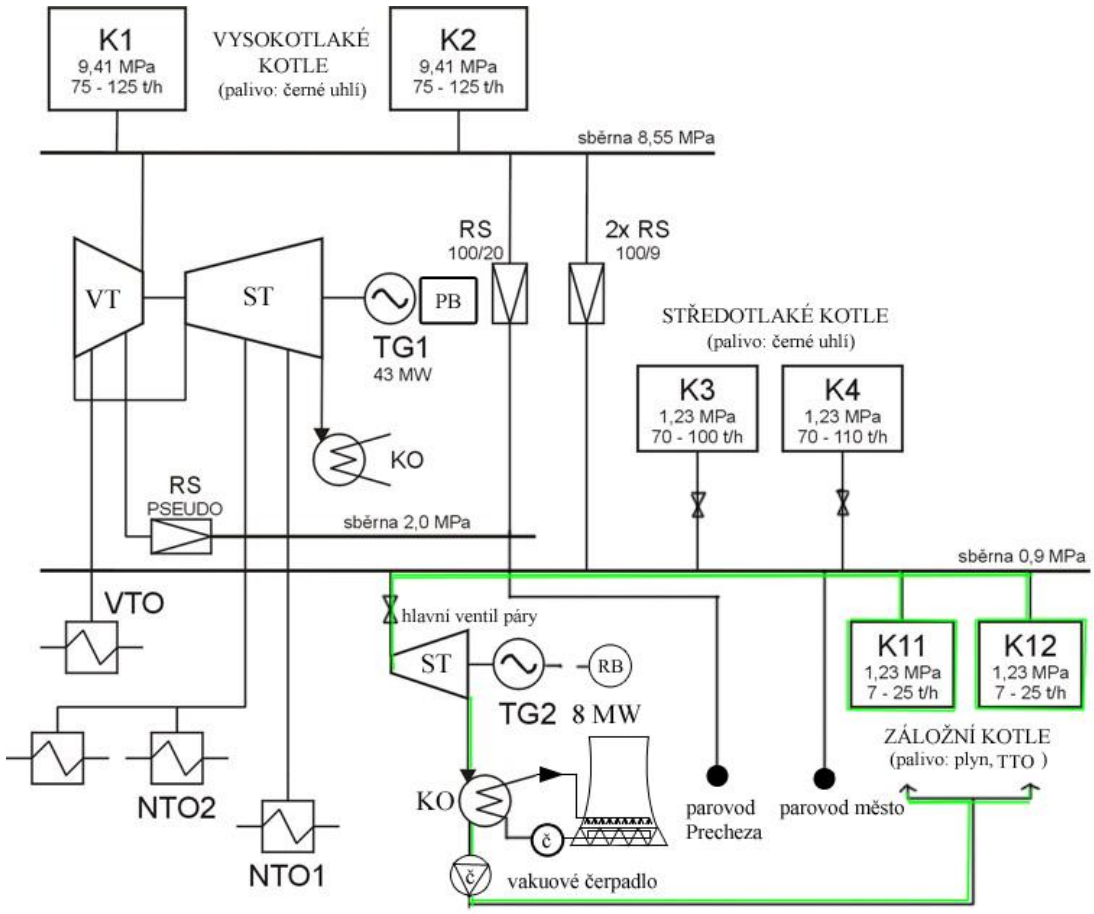


Schéma 3.2 Technologické schéma Zdroj: MI

zkratky v schématu: **RS** redukční stanice; **T** parní turbína; **G** elektrický generátor; **K** parní kotel; **VTO** vysokotlaký ohřívák; **NTO** nízkotlaký ohřívák; **KO** kondenzátor; **RB** rotační budič; **PB** polovodičový budič; **VT** vysokotlaký stupeň; **ST** středotlaký stupeň; **č** čerpadlo

Výše uvedené schéma teplárny zobrazuje propojení systému skládajícího se z kotlů, turbín, generátorů a kondenzátorů. Celkem jsou instalovány čtyři hlavní kotle s označením K1, K2, K3, K4 a dva záložní kotle K11, K12. Energie páry je přeměněna na elektrickou energii v soustrojí turbín a generátorů s označením TG1 a TG2. Vyrobená tepelná energie je vyvedena ve formě přehřáté páry třemi parovody pro město a dvěma parovody pro závod PRECHEZA a.s. (chemický průmysl) a ve formě horké vody do areálu bývalých Přerovských strojíren a Ekoagrostavu (stavební průmysl). Pro vytápění areálu Teplárny Přerov se používá horkovodní topení napájené odbočkou z výše zmíněného horkovodu. Vyrobená elektrická energie z turbogenerátorů je vyvedena z TG1 přes blokový transformátor T1 a z TG2 přes transformátor T2 do rozvodny vysokého napětí (22 kV) s označením ***R1***. Z této rozvodny je elektrický výkon přenášen do rozvodny Dluhonice pěti vedeními vysokého napětí s označením čísly: 49, 308, 314, 322 a 323 (viz schéma 3.3).

3.2 Palivo a doprava

Dodávky a manipulace s uhlím jsou zajišťovány externí společností AWT a.s.. Palivo je dopravováno po železnici z dolů OKD (Ostravsko-karvinské doly). V hlavních kotlích je spalován černouhelný proplástek (tj. produkt vodních prádel s vyšší popelnatostí) s výhřevností 17,4 - 20,9 MJ/kg. Pásové dopravníky transportují uhlí přímo ke kotlům nebo na skládku s kapacitou 160 000 tun. Během roku se na uhelné skládce shromažďuje dostatek uhlí na celou zimu. Důvodem je neefektivnost rozmrazování vagonů s uhlím v zimních měsících. Každý kotel je zásoben uhelným prachem z dvojice kulových mlýnů. Sušení a doprava paliva je prováděna horkými spalinami hnanými ventilátorem. Dostatečné množství vzduchu pro spalování je zajištěno primárními ventilátory.

3.3 Kotle a příslušenství

V režimu normálního provozu je pára vyvíjena v práškových kotlích K1, K2, K3, K4 spalující černé uhlí. Stabilizace výkonu a roztápění kotlů je zajištěno spoluspalováním těžkého topného oleje a pro zapalování se používá propan-butanový hořák.

Kotle K11 a K12 jsou přetlakové dvoububnové záložní kotle s kombinovanými hořáky na zemní plyn a těžký topný olej. Kotle jsou využívány především v období letní odstávky pro výrobu páry a ohřev teplé užitkové vody s cílem udržení parametrů

dodávané páry. V případě poklesu tlaku v parovodu by došlo ke kondenzaci páry a pro opětovné zprovoznění by bylo nezbytné odkalení celého parovodu.

Produktem hoření je uvolněné velké množství tepla, spalin a tuhých zbytků (popílku a strusky). Ve spodní části kotle je pohyblivý rošt pro vynášení strusky z topeniště. Vzduchotěsnost popelníku je zajištěna vodní clonou a struska je odplavena kanálem na odkaliště a následně po usazení expedována pro stavebnictví. Horké spaliny procházejí nejprve elektrostatickým odlučovačem a následně tkaninovými filtry. Odloučený popílek je pneumaticky dopravován do popílkových sil, cisternami expedován a použit při výrobě cementu.

Obr.3.1.2 Záložní kotelna Zdroj: MI

Obr.3.1.22 Ventilátorové chladící věže Zdroj: MI

Tab. 3.3.1 Parametry hlavní kotelny Zdroj: VE

Kotel	K1, K2	K3	K4
Výrobce	PBS*	PBS*	PBS*
Druh	parní	parní	parní
Typ hořáků	práškový	práškový	práškový
Rok uvedení do provozu	1964, 1966	1997	1991
Jmenovitý výkon (výroba páry) [$t.h^{-1}$]	125	100	110
Jmenovitý tlak páry [MPa]	9,41	1,23	1,22
Jmenovitá teplota páry [°C]	540	235	235
Účinnost [%]	86	86	86

PBS* - První brněnská strojírna a.s.

Tab. 3.3.2 Parametry záložní kotelny Zdroj: VE

Kotel	K11	K12
Výrobce	ČKD** Dukla	ČKD** Dukla
Druh	parní	parní
Typ hořáků	TTO*, zemní plyn	TTO*, zemní plyn
Rok výroby	1977 (rek. 2006)	1977 (rek. 2006)
Jmenovitý výkon (výroba páry) [$t.h^{-1}$]	25	25
Jmenovitý tlak páry [MPa]	1,23	1,23
TTO* - těžký topný olej ČKD** - Českomoravská-Kolben-Daněk		

Další nedílnou součástí kotle je tzv. buben. Buben kotle je vysokotlaká nádoba, kde je udržována stálá vodní hladina. Odtud voda vtéká do várnic kotle a v horní části bubnu se hromadí pára. Voda pro přípravu demineralizované tzv. kotelní vody, je čerpána z řeky Bečvy tekoucí nedaleko závodu. Říční voda je nejprve zbavena jílových částic, dále protéká soustavou štěrkových a pískových filtrů. Nakonec je voda chemicky ošetřena a uložena v nádrži.

Pára vystupující z turbíny musí být nejprve zkondenzována na vodu, aby mohla být dopravena čerpadlem zpět do bubnu kotle. Pára bez parametrů pro další energetické využití prochází kondenzátorem, kde předá zbytkové teplo a zkondenzuje. Ohřátá voda z kondenzátoru je ochlazována v chladicích věžích s nucenou cirkulací vzduchu pomocí ventilátorů (viz obr. 3.1.22). Samotná příprava demineralizované vody je velice energeticky náročná. V teplárně je zásoba kotelní vody pro pěti až šesti hodinový provoz (tj. dostatečná zásoba i pro nouzové najetí technologií teplárny).

3.4 Výroba elektřiny

Výrobu elektrické energie zajišťují dvě turbosoustrojí (parní turbína a synchronní generátor) o celkovém instalovaném elektrickém výkonu 51 MWe.

Tab. 3.4.1 Turbosoustrojí teplárny Zdroj: VE

Označení	TG1	TG2
Výrobce	PBS Brno*	PBS Brno*
Typ	dvoutělesová turbína kondenzační 2 regulované a 2 neregulované odběry 1 pseudoregulovaný odběr	jednotělesová čistě kondenzační
Rok výroby	1995	1962
Hltnost [t/hod]	250	64
PBS* - První brněnská strojírna a.s.		

Turbosoustrojí TG1 (viz obr. 3.1.3) se skládá z kondenzační turbíny s odběry páry pro teplárenské využití a regeneraci. Generátor je trojfázový, synchronní s okružním uzavřeným vzduchovým chlazením (vzduch chlazen kapalinovým chladičem). Buzení generátoru je zajištěno polovodičovým budičem (viz schéma 3.2 označení PB). Parametry vstupní páry jsou: tlak 8,55 MPa, teplota 510 °C, průtok 260 t/h, otáčky soustrojí 3000 ot/min a jmenovitý výkon 43 MW.

Turbosoustrojí TG2 se skládá z jednotělesové, čistě kondenzační turbíny. Generátor je trojfázový, synchronní s okružním uzavřeným vzduchovým chlazením. Budič je rotační (viz schéma 3.2 označení RB). Parametry vstupní páry jsou: tlak 0,8 MPa, teplota 250°C, průtok 69 t/h, otáčky soustrojí 3000 ot/min a jmenovitý elektrický výkon 8MW.

Obr. 3.1.3 Soustrojí TG1 Zdroj:VE

Obr. 3.1.33 Soustrojí TG2 Zdroj:VE

3.5 Vlastní spotřeba teplárny a vyvedení výkonu

Vlastní spotřebou teplárny rozumíme energii potřebnou pro zajištění činnosti hlavních výrobních zařízení při výrobě elektřiny a tepla. Zahrnují se i ztráty v těchto zařízeních a v rozvodech. Elektrické spotřebiče dělíme na důležité, zajišťovací a méně důležité. Dodávka elektřiny pro důležité spotřebiče musí být zajištěna ve všech provozních stavech. Jako důležité spotřebiče jsou označeny měřící, řídicí systémy, oběhová čerpadla vody, nouzová čerpadla oleje a další pohony zajišťující bezpečné odstavení výroby. Parní elektrárny a teplárny mají v porovnání s jadernými a vodními elektrárnami největší vlastní spotřebu (7 - 11% instalovaného výkonu).

Tab. 3.5.1 Použité hladiny napětí teplárny Zdroj: VE

3 ~ 50 Hz 22000V / IT	Výstupní napětí z Teplárny Přerov
3 ~ 50 Hz 6300V / IT	Hlavní napájení (vlast. spotřeba)
230 / 400 V AC / TN-S	Pomocné napětí (ventilátory, osvětlení)
2 - 220V DC / IT	Pomocné napětí (ovládací napětí, ochrany)
60 V DC	Panelová signalizace na elektrovelíně

Rozvodna ***R1*** (22 kV) zajišťuje vyvedení výkonu z Teplárny Přerov. Dvousystémová rozvodna R1 je sestavena z oceloplechových kobek v počtu čtrnácti kusů, provedení ve dvou řadách spojených přípojnicovým mostem. Oba systémy jsou vybaveny odpojovači s elektropohonem. Rozvodna je vybavena vypínači se střadačovým pohonem s motorickým napínáním pružiny střadače. Izolačním a zhášecím mediem je fluorid sírový SF6 s přetlakem 0,5 MPa.

Provozní stavy teplárny:

a) Normální provoz:

- Provoz TG1: Elektrický výkon vyveden přes transformátor T1 na rozvodnu ***R1*** (22kV) sběrnu ***B*** a vedením 322, 323, 314 do rozvodny Dluhonice (viz schéma 3.3)
- Provoz TG2: Elektrický výkon vyveden přes rozvodnu ***R2*** (6kV) sběrnu ***A*** na transformátor T2, rozvodnu ***R1*** sběrny ***A*** a vedením 308, 49 do rozvodny Dluhonice

Napájení vlastní spotřeby ***R1.2, R2.2, R3.2, R4.2*** je zajištěno přes odbočky TG1 s reaktory pro omezení zkratových proudů (viz schéma 3.3 - reaktory T0, L1).
Provoz záložních transformátorů T3 nebo T4 (v zimním období T3 + T4) je zajištěno z rozvodny ***R1*** sběrny ***B***, který napájí rozvodnu ***R2*** sběrnu ***B***. Odprášení je napájeno odbočkou TG1.
Účiník a výstupní napětí lze regulovat buzením generátorů a odbočkami transformátorů.

b) Omezený provoz:

Omezený provoz je při dlouhodobějších opravách, kdy turbosoustrojí TG1 je odstaveno.

- Provoz TG2: Elektrický výkon vyveden přes rozvodnu ***R2*** sběrny ***A***, na transformátor T2, na rozvodnu ***R1*** sběrny ***B*** a vedením 322, 323, 314 do rozvodny Dluhonice

Vedení 22 kV č. 308 a 49 zůstává připojeno naprázdno do sběrny ***A*** rozvodny ***R1*** a připraveno.
Napájení vlastní spotřeby ***R1.2, R2.2, R3.2, R4.2*** přes záskokové přívody ***R2*** sběrny ***B***
Provoz záložních transformátorů T3 nebo T4 (v zimním období T3 + T4) je zajištěno z rozvodny ***R1*** sběrny ***B***, který napájí rozvodnu ***R2*** sběrnu ***B***.
Tento provoz je volen hlavně pro bezproblémové a rychlé opětovné najetí TG1 a následné manipulace bez zásadního vlivu na chod TG2.

c) Havarijní provoz:

Při ztrátě celkového napájení rozvoden vlastní spotřeby je automaticky uváděn do chodu dieselgenerátor DAGGER, který napájí rozvodnu ***R6.3*** 400V.
Kromě jiných spotřebičů napájí elektrocentrála usměrňovače staničních baterií 220V DC a 60V DC, UPS, elektrovelín a podobně.

Pro lepší názornost a pochopení provozních stavů uvádím níže elektrické schéma teplárny (viz schéma 3.3) se zvýrazněnými vedeními při „black startu“. Červeně zvýrazněná cesta ukazuje plánované vyvedení výkonu z turbogenerátoru TG2 do distribuční sítě přes rozvodny ***R2*** a ***R1*** a napájení vlastní spotřeby přes odbočkové transformátory. Zeleně zvýrazněná cesta ukazuje napájení záskokové sběrny vlastní spotřeby. Záložní diesel DAGGER 200 kVA má dostatečný výkon pro napájení měřících, řídicích systémů, dobíjení akumulátorů a bezpečné odstavení technologie

při náhlé havárii. Výkonný externí záložní diesel Zeppelin je napojen v místě přípojného bodu s označením S10BMA21 přes pojistkový odpojovač.

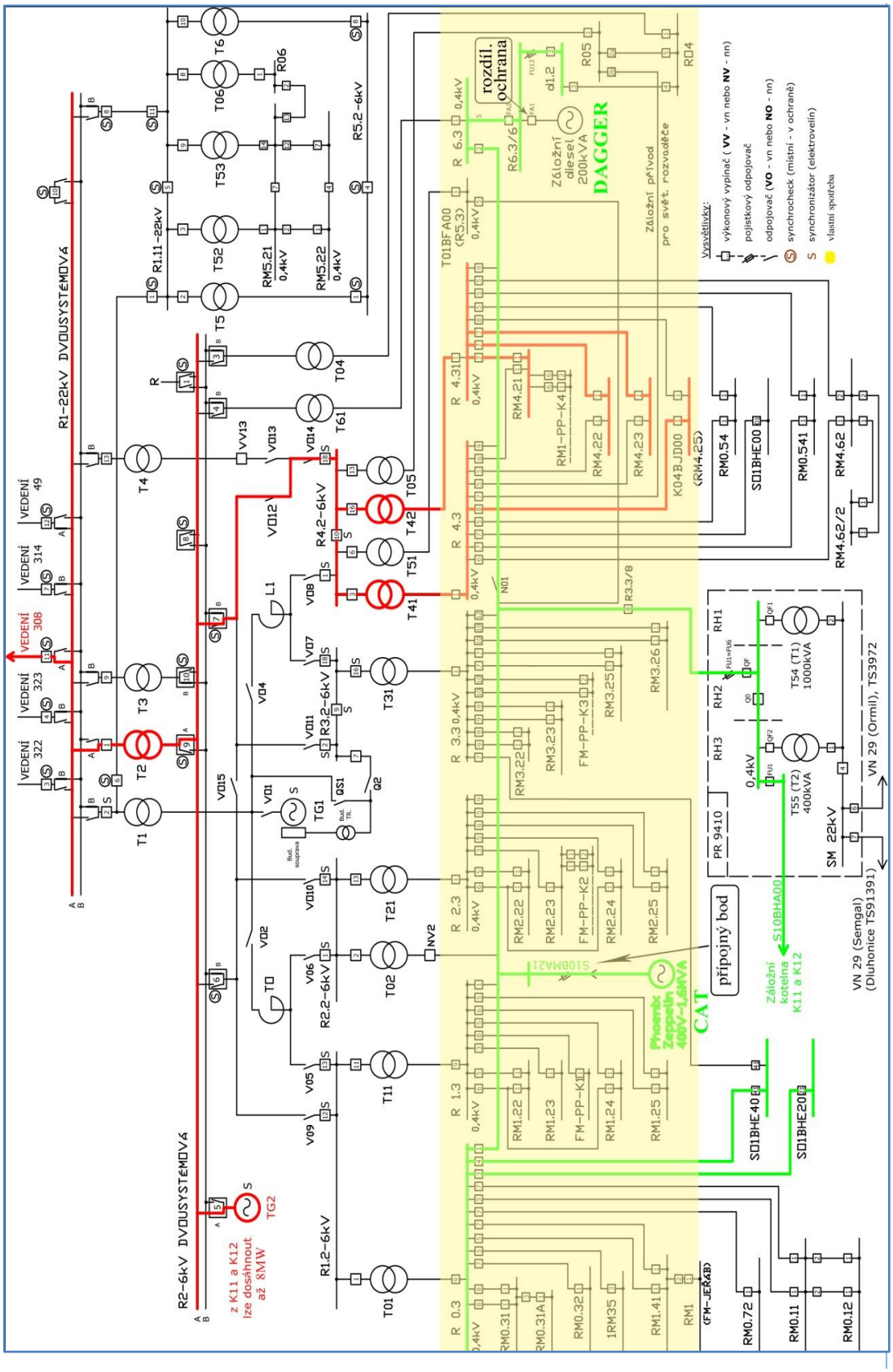


Schéma 3.3 Elektrické schéma teplárny Zdroj: VE

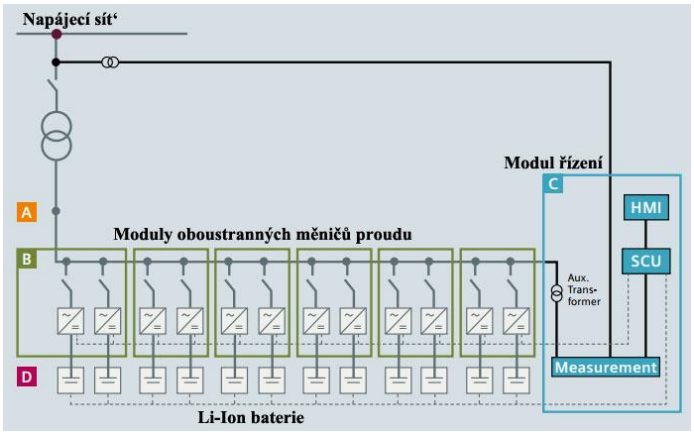
4. NOUZOVÝ ZDROJ PRO TEPLÁRNU

Hlavní úlohou nouzových zdrojů je zálohování důležitých technologií ve firmách a institucích. Některé z těchto zdrojů disponují dostatečným výkonem pro rozběh větších elektráren. Elektrickou energii pro tzv. „black start“ neboli uvedení do provozu bez napětí z distribuční sítě má k dispozici většina elektráren. Jedná se především o jaderné elektrárny, například JE Temelín má jako záložní zdroj vodní elektrárnu Lipno, JE Dukovany má zálohu v přečerpávací vodní elektrárně Dalešice. Ostatní zdroje středního výkonu (jedná se převážně o menší elektrárny a teplárny spalující fosilní paliva) podobný stabilní nouzový zdroj nemají k dispozici. [9]

4.1 Statický nouzový zdroj

Jedná se o zdroje nepřerušovaného napájení UPS (Uninterruptible Power System). Systém UPS je definován jako kombinace měničů, spínačů a baterií pro uchování energie. Úkolem takového zdroje je zajištění kontinuálního napájení zátěže při poruše napájecí sítě. Do nedávné doby byl tento systém používán pouze pro bezpečný doběh technologií v řádu několika minut maximálně jedné hodiny. Použití UPS pro spuštění elektrárny ze tmy bylo nemyslitelné.

V roce 2012 bylo v Itálii uvedeno do provozu první pilotní zařízení Siestorage s výkonem 1MW a kapacitou 500kWh. Celá sestava je vestavěna do běžného přepravního kontejneru. Siestorage je operativní zařízení pro uskladňování elektrické energie vyvinuté firmou Siemens. Primárním účelem zařízení je vyrovnávat kolísání výkonu dodávaného do sítě z obnovitelných zdrojů. Modulárně navržené zařízení se skládá z oboustranných měničů proudu, řídících jednotek a standardních lithium-ionových baterií. Baterie se nabíjejí v době, kdy je nadbytek výkonu v síti. Výhodou je modularita, což umožňuje přizpůsobit výkon a kapacitu aktuálním požadavkům. Systém tvoří dva základní komponenty: akumulační a řídicí část. Modul s akumulátory obsahuje šestnáct baterií Li-Ion, každá s napětím 60V DC, kapacitou 1,5 kWh a výkonem až 6kW. Řídící modul zahrnuje regulaci a monitorování. K jednomu řídicímu modulu lze připojit až dvanáct akumulačních modulů.

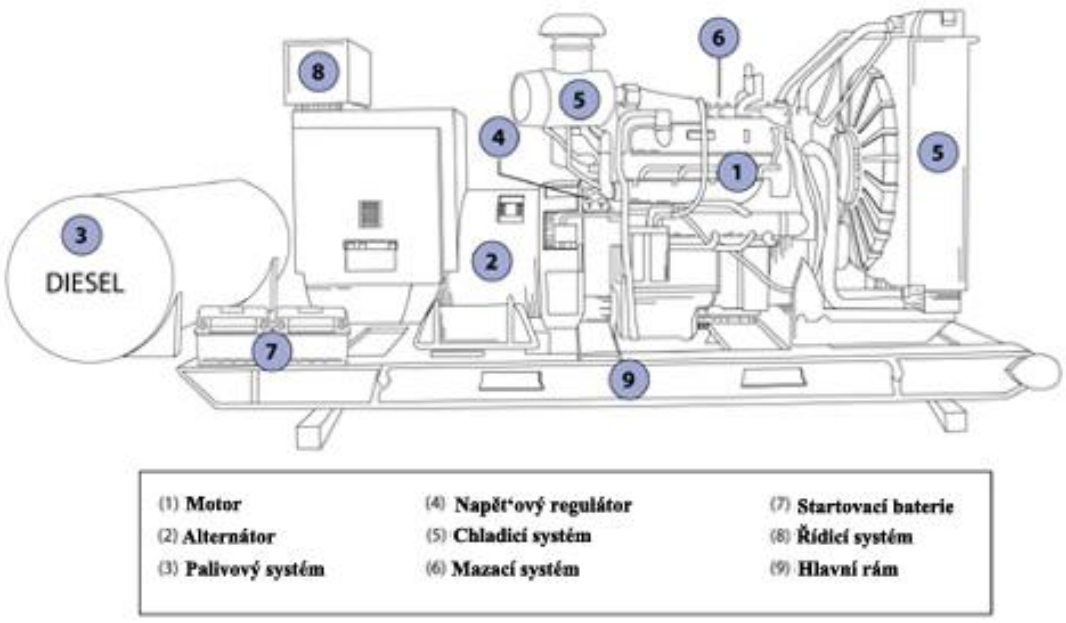


Obr. 4.1.1 Siestorage modul Zdroj: [12] *Obr. 4.1.11 Siestorage Zdroj: [12]*

Dosud největší instalovaná sestava zahrnuje dva řídicí moduly a dvacetčtyři akumulátorových modulů. Vestavěná klimatizace zajišťuje provoz i při extrémních vnějších teplotách. Kontejnerová sestava umožňuje akumulovat až 500 kWh elektrické energie a dodat krátkodobě až 2MW. Pro větší požadavky je možné použít až čtyři kontejnery paralelně, které mohou poskytnout výkon až 8MW. Výhodou je mobilní řešení a snadná doprava na místo určení. [12]

4.2 Rotační nouzový zdroj

Zástupcem rotačních zdrojů vyšších výkonů je motorgenerátor. Principem je přeměna primární energie (tekuté palivo) na elektrickou energii v rotačním soustrojí složeného ze spalovacího motoru a alternátoru (nejčastěji čtyřpólový, bezkartáčový). V současné době se jako palivo používá výhradně motorová nafta. Palivo lze doplňovat i za provozu, zajistíme tak napájení spotřebičů po dlouhou dobu (záleží na provozním režimu). Motorgenerátor je autonomní zdroj, který v případě výpadku dodávky energie z veřejné sítě zajišťuje napájení důležitých spotřebičů. Mezi ně patří klimatizace objektu, výtahy, eskalátory, osvětlení, dobíjecí zařízení a podobně. [6]



Obr.4.2.1 Popis motorgenerátoru Zdroj: Zeppelin CZ, s.r.o.

V nabídce firem nalezneme malé a střední zdroje o výkonu stovek kilowatt až jednotky megawatt. Jedná se především o dieselgenerátory spalující motorovou naftu nebo kombinaci nafty a plynu. Výhodou těchto zdrojů je mobilita, rychlá reakce na požadavek dodávky elektrické energie a spolehlivost. Spolehlivost záložního zdroje je zaručena možností online (v reálném čase) monitoringu hladiny motorového oleje, chladicí kapaliny, paliva v nádrži, napětí startovacího akumulátoru a teploty všech provozních kapalin. Na stroj může dohlížet sám majitel nebo operátor na centrále firmy. Pro zvýšení spolehlivosti startu je zavedeno několik opatření. Například provozní kapaliny spalovacího motoru centrály jsou předehřívány na stálou teplotu bez ohledu na okolní prostředí. Startovací systém je vybaven dvěma spouštěči a dvěma akumulátory pro případ poruchy. Systém záložního zdroje je dodáván jako kompaktní celek skládající se ze spojení synchronního generátoru se spalovacím motorem včetně nádrže s palivem a elektrorozvodné skříně.

Rozvaděč motorgenerátoru obsahuje kromě jistících a měřících prvků také řídicí obvody, které zajistí připojení zátěže po dosažení jmenovitých hodnot, synchronizaci a fázování na síť po obnovení dodávky z veřejné sítě. Další výhodou je kontejnerové provedení, které vyniká mobilitou. Propojením několika kontejnerových jednotek lze dosáhnout mnohonásobného výkonu.

Novinkou v oboru elektrocentrál jsou plynové motory. Tento typ motorů je instalován v bioplynových stanicích nebo je lze použít i pro aplikace se záložními generátory. Výhodou plynového motoru je snazší dostupnost paliva při výpadku dodávek elektrické energie. Výhodou je stálý tlak plynu při skladování a tedy možnost dopravy bez nutnosti elektrické energie (na rozdíl od tekutých paliv). Nevýhodou plynových nouzových zdrojů je citlivost na změnu zatížení, dlouhý rozběh a neschopnost dlouhodobého provozu při zatížení pod 50% výkonu motorgenerátoru. Snahou světových výrobců je odstranění těchto nedostatků a tím zlepšení uplatnění na trhu.

Největší mobilní elektrocentrály jsou instalovány v kontejnerovém provedení o standardní délce 40 stop (12,2 metru). Pro více informací ohledně parametrů a rozměrů přikládám aktuální Přehled elektrocentrál Zeppelin 2015 (viz příloha č.6). Součástí kontejneru je palivová nádrž dostačující pro osmi hodinový provoz při jmenovitém výkonu. Pro dlouhodobý provoz může být kontejnerová sestava doplněna externí nádrží. Elektrocentrály o výkonu několika megawattů jsou schopny převzít jmenovitou zátěž už dvacet sekund po startu, za předpokladu předehřátého motorového oleje a chladicí kapaliny spalovacího motoru. V případě startu ze studeného stavu musíme počítat s delší časovou prodlevou pro zatížení.

Soustrojí motor - generátor je uloženo na ocelovém rámu. Mezi rámem a podlahou kontejneru jsou vibrační izolátory. Spalovací motor je vybaven vlastním vzduchovým filtrem se servisním indikátorem, turbodmychadlem a chladičem stlačeného vzduchu. Regulace otáček motoru je elektronická. Optimální teplota chladicího okruhu vody je udržována termostatem (92 °C) a velkým chladičem vzduch - voda. Jako generátor elektrické energie se používají nejmodernější synchronní alternátory. Alternátor je bezkartáčový s interním budičem s nesenými ventily. Soustrojí je sestaveno ve výrobním závodě a na místě instalace se už žádné montážní práce neprovádějí. Výjimkou je tlumič výfuku, který je z kontejneru demontován (pro usnadnění převozu). Vnitřní prostor kontejneru je tepelně a akusticky zaizolován. Podlaha plní funkci záchytné ekologické vany. Chladící vzduch prochází přes odhlučňovací komoru skrz čelo kontejneru.

Elektrocentrálu lze ovládat a monitorovat prostřednictvím řídicího digitálního panelu. Je tak možno kontrolovat všechny měřené veličiny, provádět zkušební start i odstavení elektrocentrály a diagnostiku základních provozních stavů. Řídicí panel

signalizuje nestandardní provozní stavy ve dvou úrovních: výstraha nebo odstavení stroje.

Provozní režimy dieselgenerátorů:

- *Režim ESP (Emergency Standby Power)*
  - trvalý provoz do proměnlivé zátěže
  - provoz průměrně na 70% jmenovitého výkonu po dobu max. 200 hodin
  - není přípustné přetížení stroje
  - použití jako záložní zdroj pro budovy

- *Režim STANDBY*
  - trvalý provoz do proměnlivé zátěže
  - provoz průměrně na 70% jmenovitého výkonu po dobu max. 500 hodin
  - není přípustné přetížení stroje
  - použití jako zdroj pro všeobecné použití

- *Režim PRIME*
  - trvalý provoz do proměnlivé zátěže
  - provoz průměrně na 70% jmenovitého výkonu bez časového omezení
  - přetížení max. o 10% po dobu 1 hodiny v průběhu 12 hodin
  - celková maximální doba přetížení je 25 hodin za 1 rok
  - použití jako záložní zdroj v průmyslu

- *Režim CONTINUOUS*
  - trvalý provoz do stálé zátěže
  - provoz průměrně na 70% až 100% bez časového omezení
  - přetížení nad 100% výkonu není možné
  - použití jako nouzový zdroj v dlouhodobém režimu

4.3 Výběr typu nouzového zdroje pro teplárnu

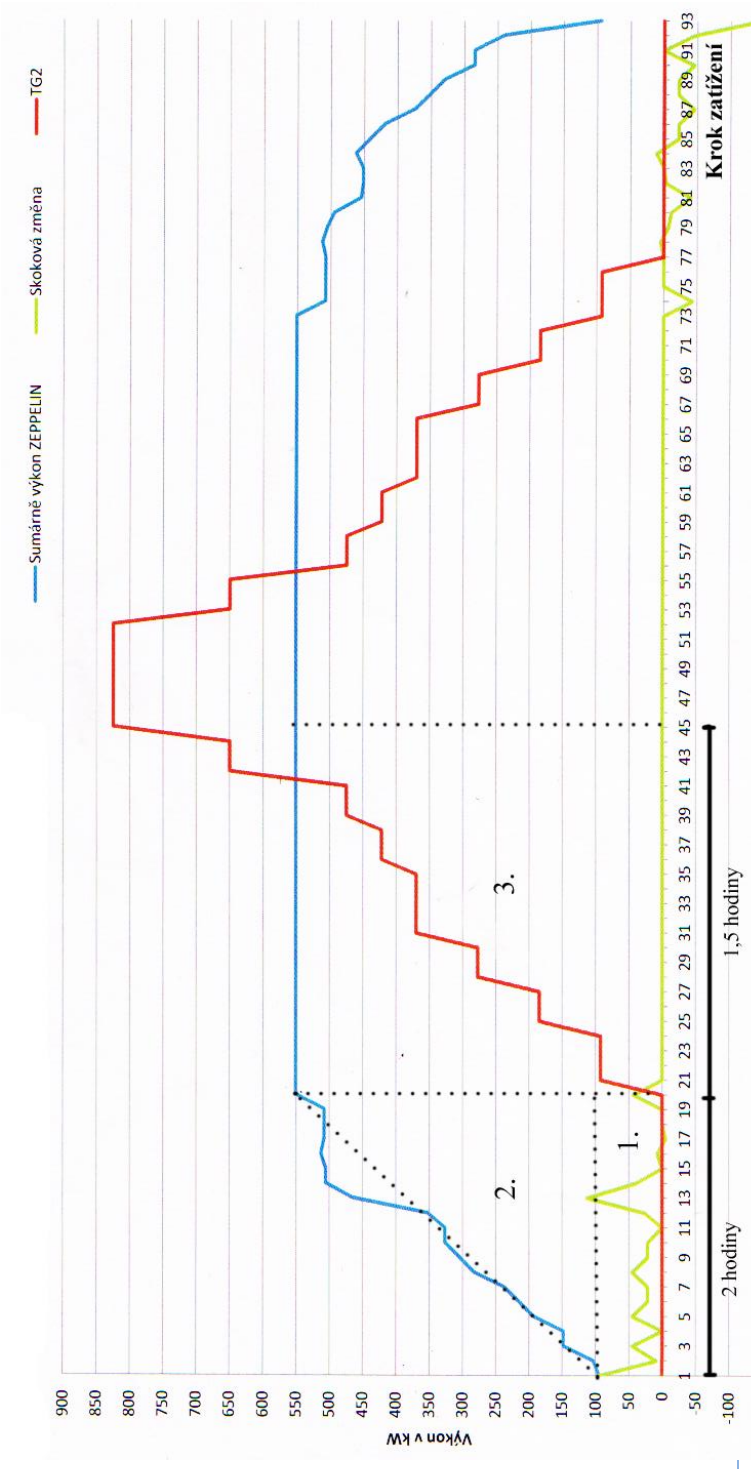
Na základě harmonogramu (viz příloha č.1), který byl zpracován pro zkušební start Teplárny Přerov uskutečněný v minulém roce, jsem určil přibližný výkon nouzového zdroje.

Start teplárny byl rozdělen na dvě fáze:

a) *roztopení kotlů K11 a K12* - trvání cca 2 hodiny
b) *najetí generátoru TG2 a připnutí pohonů kotle K4* - trvání cca 1,5 hodiny

Podle harmonogramu spouštění pohonů technologií jsem vypracoval přibližný diagram průběhu zatížení zdroje. Cílem mého návrhu je zajištění bezpečného napájení vlastní spotřeby teplárny po celou dobu nájezdu technologie. Postupný nájezd pohonů je řízen operátorem z operačního střediska teplárny (viz příloha č.2).

Modrá křivka (viz obr. 4.3) znázorňuje postupné zatěžování externího motorgenerátoru Zeppelin až do kroku číslo 20. Během celé zkoušky zůstává výkon konstantní až do kroku 74, kdy je výkon snižován a technologie postupně uváděna do klidu. Odlehčování motorgenerátoru je postupné kvůli skokovým změnám napětí a frekvence na jeho svorkách. Zde musím upozornit, že po celou dobu zkušebního startu byla vlastní spotřeba napájena pouze z dieselgenerátoru, jedná se o bezpečnější variantu (v porovnání s variantou fázování zdrojů a možností chybné synchronizace). Hned na počátku musí externí zdroj převzít napájení řídicích systémů zahrnující signalizaci, měření veličin a dobíjení staničních akumulátorů. Sled zátěží musí být zvolen tak, aby nedošlo k odpojení podpěťovou ochranou. Zelená křivka (viz obr. 4.3) znázorňuje skokovou změnu zatížení a tím i kritická místa. Po najetí kotelny a rozběhu turbogenerátoru TG2 byly postupně spouštěny pohony technologie kotelny K4 za účelem zlepšení parametrů sítě a stabilizace výkonu (viz obr. 4.3 červená křivka).



Obr. 4.3 Diagram předpokládaného zatížení motorgenerátoru Zdroj: MI

Z diagramu je patrné, že maximální výkon vlastní spotřeby teplárny při najíždění je okolo 550 kW. Pokud známe odebíraný výkon a dobu náběhu technologie, pak lze určit množství dodané elektrické energie jako plochu pod grafem. Doba od startu po vyvedení výkonu do elektrizační soustavy závisí na výchozím stavu celé technologie. Pokud je turbína teplárny v „teplém stavu“, pak nájezd trvá přibližně tři a půl hodiny. V případě odstavení turbíny a startu ze „studeného stavu“ se může doba

nájezdu protáhnout až o několik hodin (postupné chladnutí parní turbíny trvá až 3 dny). Sečtením ploch pod grafem (č.1, 2, 3 v obr. 4.3) určím množství přivedené energie.

Tab. 4.3 Dodané množství energie z externího generátoru Zdroj: MI

$$W = P * t = W_1 + W_2 + W_3 = (100 * 2) + 450 + (550 * 1{,}5) = 1475kWh$$

Výkon [kW]:	P
Energie [kWh]:	W
Čas [h]:	t

Výběr typu nouzového zdroje pro teplárnu:

- ***rotační nouzový zdroj*** - dieselgenerátor v kontejnerové zástavbě

  => 1 kontejnerový dieselgenerátor

- ***statický nouzový zdroj*** - akumulace energie do baterií 500kWh / 1 kontejner

  => 3 kontejnerové akumulační bloky Siestorage

Výše uvedené varianty nouzových zdrojů mají dostatečný výkon, avšak při výběru je nutné posoudit mobilitu i spolehlivost zdroje. Vzhledem k nedostatečné kapacitě bateriového energocentra je dieselgenerátor nejlepší volbou. Výhodou dieselgenerátoru je napájení spotřebičů po dlouhou dobu při průběžném doplňování paliva.

V případě mnou uvažované aplikace s energocentry Siestorage by bylo nezbytné paralelní řazení několika kontejnerových jednotek, tím je mobilita zdroje značně omezena. Dalším problémem jsou nedostatky akumulátorů z důvodu omezené životnosti, požadavku na neustálou kontrolu, vysoké hmotnosti a ceny.

4.4 Způsob připojení záložního zdroje

V létě roku 2014 provedla firma Zeppelin CZ s.r.o. zkušební start teplárny Přerov pomocí motorgenerátoru o výkonu 1250 kW / 1600 kVA v režimu STANDBY. Cílem celého experimentu bylo spuštění teplárny do stavu s omezeným provozem. K záložnímu zdroji byly připojeny jen nezbytné technologie výroby.

Obr. 4.4.4 Umístění motorgenerátoru v areálu teplárny Zdroj: VE

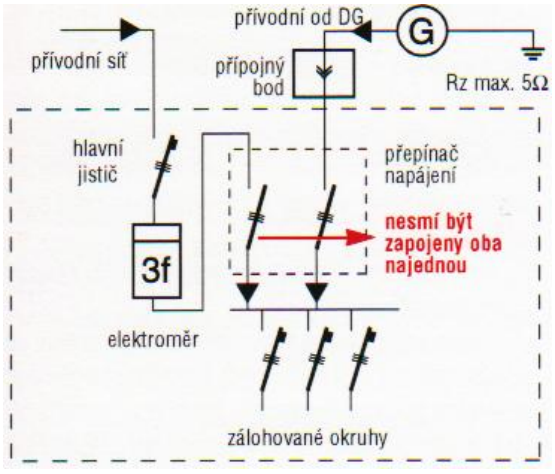
Obecné způsoby připojení dieselgenerátoru k objektu:

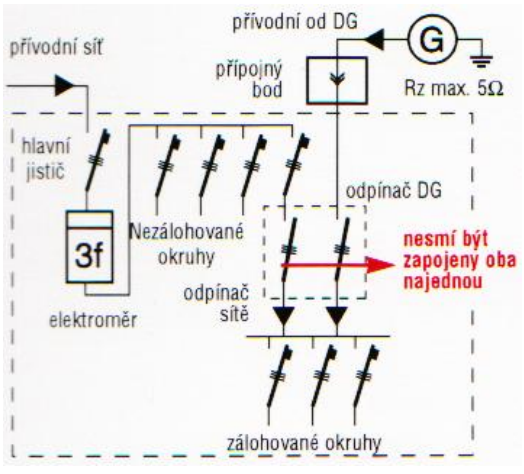
1. ***Celý** objekt je připojen k záložnímu zdroji*

   - odpojení od vnější sítě přepínačem s blokováním paralelního napájení (viz obr. 4.4.1)

2. ***Část** objektu připojena k záložnímu zdroji*

   - odpojení vnější distribuční sítě přepínačem s blokováním paralelního napájení (viz obr. 4.4.2)

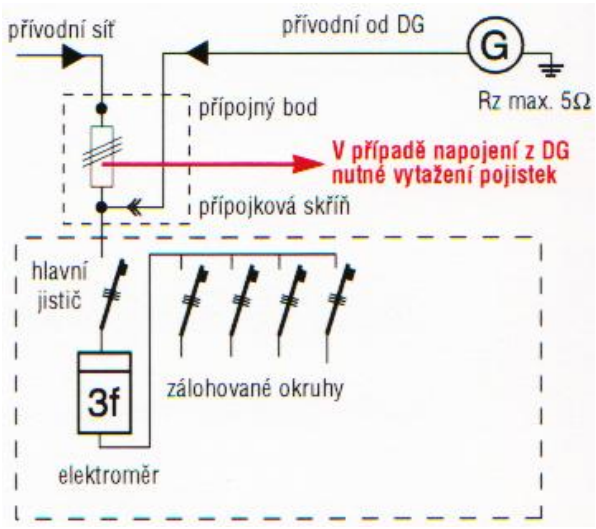




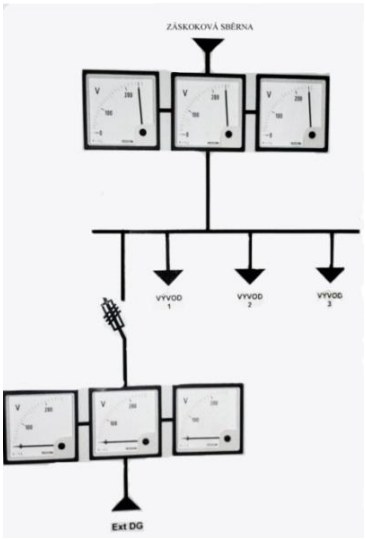
Obr. 4.4.1 Celý objekt zálohován Zdroj: [6] *Obr. 4.4.2 Část objektu zálohována Zdroj: [6]*

3. Záložní zdroj připojen před hlavním jističem

- odpojení od vnější sítě vytažením pojistek (viz obr. 4.4.3)
- nutné zabezpečení přípojkové skříně proti vnějším vlivům (opětovné zapnutí)



Obr. 4.4.3 Připojení před hlavním jističem objektu Zdroj: [6]



Obr. 4.4.4 Panel přípojného bodu Zdroj: MI

Při zkušebním startu teplárny byl bezproudý stav elektrizační soustavy a rozvodny teplárny simulován. Záskoková sběrna vlastní spotřeby na hladině 400V byla odpojena vypínačem od odbočkového a záskokového transformátoru. Připojení externího motorgenerátoru bylo realizováno šroubovými svorkami se čtyřmi ohebnými vodiči o průřezu 240 mm^2 do rozvaděče SO1BMA21 (viz schéma 3.3) a kostra generátoru byla připojena ke stávajícímu zemniči budovy. Ochrana proti nadproudu byla zajištěna nožovými pojistkami, které plní zároveň funkci odpojovače. Čelní panel skříně přípojného místa je vybaven měřením napětí ve všech třech fázích (viz obr. 4.4.4). Zapojení bylo doplněno o síťový analyzátor.

5. ZDROJE VLASTNÍ SPOTŘEBY

Zdroje vlastní spotřeby musí zabezpečit dodávku elektrické energie požadované kvality a množství při všech provozních stavech. Potřebné množství energie je dáno instalovaným příkonem zařízení vlastní spotřeby a ztrátami rozvodu. Kvalita elektrické energie je dána amplitudou napětí, frekvencí a podílem vyšších harmonických kmitočtů. Spolehlivý a bezpečný provoz elektrárny závisí na spolehlivosti zařízení vlastní

spotřeby. Dodávka elektrické energie v normálních i mimořádných provozních stavech je zajištěna rezervními a nouzovými zdroji. Návrh vlastní spotřeby elektrárny musí být takový, aby byl zajištěn hospodárný a bezporuchový provoz.

- *Najížděcí zdroj vlastní spotřeby*

Slouží pro spuštění elektrárny z úplného klidu. Napájení je zajištěno z elektrizační soustavy prostřednictvím záložního nebo odbočkového transformátoru. Pro případ ostrovního provozu („najetí ze tmy“) se instaluje dieselgenerátor nebo generátor s plynovou turbínou.

- *Pracovní zdroj vlastní spotřeby*

Zajišťuje napájení rozvodny vlastní spotřeby při normálním provozu elektrárny. Zdrojem je odbočkový transformátor připojený ke generátoru bloku nebo připojení vlastní spotřeby přes reaktor (omezující zkratové proudy).

- *Záložní zdroj vlastní spotřeby*

Zajišťuje napájení rozvodny vlastní spotřeby při nouzovém provozu elektrárny. Zdrojem je záložní transformátor napájený z elektrizační soustavy.

- *Doběhový zdroj vlastní spotřeby*

Doběhový zdroj zajišťuje uvedení elektrárny do úplného klidu při normálních i poruchových stavech. Doběhovým zdrojem je nejčastěji akumulátorová baterie nebo záložní transformátor.

- *Nouzový zdroj vlastní spotřeby*

Nouzový zdroj musí zajistit odvrácení havárie při poruše pracovního a záložního zdroje. Stejnosměrné spotřebiče (nouzová olejová čerpadla, ovládání spínačů, napájení dozorny) jsou napájeny z akumulátorové baterie. V případě dlouhodobého přerušení napájení se startuje dieselgenerátor. [9]

5.1 Požadavky na zdroj vlastní spotřeby

V případě návrhu zdroje pro teplárnu se předpokládá, že většinu technologie tvoří především točivé stroje pro drcení, dopravu paliva po areálu, odtah a vhánění vzduchu

do kotle. Jedná se většinou o asynchronní motory s kotvou na krátko, které vynikají nízkou pořizovací cenou, dlouhou životností, nízkou potřebou údržby a velkými výkony. Při výpočtu velikosti zdroje bereme v úvahu činný a jalový výkon elektrických pohonů. Do celkového činného příkonu se započítávají i ztráty v rozvodu. Zdroj musí být dimenzovaný na krátkodobou přetížitelnost a splňovat napěťové poměry. Napětí na přípojnicích vlastní spotřeby za normálního provozu při spouštění jednotlivých elektromotorů nesmí klesnout pod 80% Un (jmenovitého napětí). Při automatickém najíždění skupiny pohonů nesmí napětí klesnout pod 65% Un. Při nedodržení výše uvedených podmínek může dojít k zastavení elektromotoru nebo rozběh trvá delší dobu. Důvodem je nižší záběrný moment, který klesá kvadraticky se snižujícím se napájecím napětím na statoru motoru. Zavedením opatření se lze tomuto krajnímu stavu vyhnout, zejména zvýšením výkonu napájecího zdroje nebo selektivním spouštěním spotřebičů dle důležitosti. [9]

Trojfázová síť vysokého napětí 6 kV nebo 10 kV s izolovaným uzlem o kmitočtu 50 Hz je určena pro spotřebiče s největším příkonem, například: napájecí čerpadla a ventilátory. Trojfázová síť nízkého napětí je použita pro ostatní spotřebiče. V praxi se lze setkat s napěťovou hladinou 400 / 230 V, pro napájení vzdálených objektů pak 500V. Rozvodny kotelny jsou vybaveny podpěťovými ochranami, které odpojením v definovaném čase (rychlost vybavení ochrany se odvíjí od nastavení tj. od 0,4 s až do 3 s) zajistí bezpečnost osob a zařízení.

5.2 Dimenzování nouzového zdroje

Základní vstupní informací pro návrh nouzového napájení je schéma napájení vlastní spotřeby bloku doplněné tabulkou všech pohonů a dalších technologií. Důležitá je sekvence spouštění jednotlivých pohonů. Problémy může způsobit přítomnost různých úrovní napájecího napětí. Většina pohonů je napájena sdruženým napětím 400 V / 50 Hz, výjimkou jsou největší spotřebiče (napájecí čerpadlo, odtahové ventilátory) na hladině 6 kV / 50 Hz. Volba napěťové hladiny nouzového zdroje závisí na skladbě spotřebičů (převládající napěťová hladina).

Výkon nouzového zdroje se stanovuje na základě součtového příkonu všech spotřebičů a ztrátového výkonu v přívodech ke spotřebičům. Podle technologické dokumentace lze získat seznam pohonů včetně koeficientů soudobosti a využití. Při dimenzování se připouští minimální výkonová rezerva 20 %. Pro přehlednost

uvádím vzorce pro dimenzování zdroje, taktéž existují vztahy pro výpočet úbytku napětí při najíždění pohonů. [9]

Tab. 5.2.1 Vzorce pro návrh zdroje napájení Zdroj: [9]

Činný příkon současně připojených motorů:	$P_s = \left(\sum_{i=1}^{m} \frac{P_{ni} * k_{vi}}{\eta_i}\right) * k_s \quad [W]$
Jalový příkon současně připojených motorů:	$Q_s = \left(\sum_{i=1}^{m} \frac{P_{ni} * k_{vi} * tg(\varphi_i)}{\eta_i}\right) * k_s \quad [VAr]$
Ztrátový výkon v přívodech spotřebičů:	$\Delta P_V = \sum_{i=1}^{m} 3 * \varrho_i * \frac{l_i}{A_i} * I_i^2 \quad [W]$
Činné a jalové výpočtové zatížení:	$P_c = P_s + \Delta P_V \quad [W]$ $Q_c = Q_s \quad [VAr]$
Celkový zdánlivý výkon motorgenerátoru:	$S = \sqrt{{P_c}^2 + {Q_c}^2}\ [VA]$

Činný výkon motoru [W]:	P_{ni}	Počet pohonů [ks]	m
Jalový výkon motoru [W]:	$P_{ni} * tg(\varphi_i)$	Rezistivita vodiče [Ω.m]:	ϱ_i
Proud tekoucí vodičem [A]:	I_i	Účinnost i-tého motoru [-]:	η_i
Délka vedení [m]:	l_i	Koeficient současnosti [-]:	k_s
Účiník motoru [-]:	$cos\varphi_i$	Koeficient využití [-]:	k_{vi}
Průřez vodiče [mm^2]:	A_i		

Použitím výše uvedených vzorců lze spočítat potřebný příkon při návrhu nových instalací. Vztah pro výpočet ztrátového výkonu v přívodech spotřebiče platí pro třífázovou přípojku se symetrickým zatížením fází. Zejména u starších instalací bývá vhodné změřit skutečný příkon jednotlivých pohonů. V případě Přerovské teplárny se mi podařilo zjistit přibližné hodnoty koeficientů soudobosti a využití. Hodnoty účiníku pohonů jsem dohledal v katalogu výrobce asynchronních motorů [12]. Při výpočtech jsem vycházel ze vzorců uvedených v tab. 5.2.1, pro zjednodušení jsem zanedbal ztráty v rozvodech.

Tab. 5.2.2 Výpočet výkonu externího zdroje Zdroj: MI

Zátěže	ks [-]	kv [-]	η [-]	cos φ	tg φ	P [kW]	Ps [kW]	Qs [kVAr]
Řídicí systémy - tepelný velín + UPS	0,9	0,9	87	0,85	0,62	28	26,1	16,2
Nouzové osvětlení	0,9	0,9	87	0,85	0,62	30	27,9	17,3
Zdroje DC napětí - rozvodny VN	0,9	0,9	86	0,7	1,02	7	6,6	6,7
TG2 čerpadlo mazacího oleje - nouzové	0,9	0,9	81	0,83	0,67	4	4,0	2,7
TG2 natáčecí zařízení	0,9	0,9	86	0,83	0,67	11	10,4	7,0
CHUV kompresor tlak.vzduchu - Orlík	0,7	0,95	86	0,83	0,67	7,5	5,8	3,9
CHUV řídicí systém (normálně S01BHE20)	0,9	0,9	86	0,83	0,67	7	6,6	4,4
Osvětlení ZK	0,9	0,9	65	0,5	1,73	5	6,2	10,8
K11 Hořáková skříň	0,9	0,9	86	0,7	1,02	2	1,9	1,9
K12 Hořáková skříň	0,9	0,9	86	0,7	1,02	2	1,9	1,9
CHUV - Čerpadlo směsné vody ST blok	0,7	0,9	91	0,85	0,62	45	31,2	19,3
K11 - Vzduchový ventilátor - FM	1	0,95	91	0,85	0,62	45	47,0	29,1
K11 - Napájecí čerpadlo ZK	0,9	0,9	87	0,83	0,67	22	20,5	13,8
K11 - Kompresor prac. a ovl.vzduchu	0,7	0,9	87	0,83	0,67	22	15,9	10,7
K12 - Vzduchový ventilátor - FM	1	0,9	88	0,85	0,62	45	46,0	28,5
K12 - Napájecí čerpadlo ZK	0,9	0,9	87	0,85	0,62	22	20,5	12,7
K12 - Kompresor prac. a ovl.vzduchu	0,7	0,9	87	0,85	0,62	22	15,9	9,9
TG2 - Hlavní olejové čerpadlo	1	0,95	88	0,85	0,62	30	32,4	20,1
TG2 - Chladicí čerpadlo č.1,	0,95	0,95	93	0,87	0,57	110	106,7	60,5
TG2 - Výtlak chladicí vody za čerpadlem	0,9	0,9	86	0,83	0,67	3	2,8	1,9
TG2 - Chladicí věž č.1	1	0,9	91	0,85	0,62	43	42,5	26,4
TG2 - Chladicí věž č.2	1	0,9	91	0,85	0,62	43	42,5	26,4
TG2 - Kondenzátní čerpadlo č.1	0,9	0,9	83	0,83	0,67	11	10,7	7,2
TG2 - Výtlak kondenz.čerpadla	0,9	0,9	81	0,83	0,67	0,5	0,5	0,3
TG2 - Hlavní parní uzavírací armatura	0,9	0,9	81	0,83	0,67	3	3,0	2,0
TG2 - Spouštěcí ventil	0,9	0,9	81	0,83	0,67	1	1,0	0,7
TG2 - Bypass hlavní parní armatury	0,9	0,9	81	0,83	0,67	2	2,0	1,3
TG2 - plnění parního prostoru kondenzátoru	0,9	0,9	81	0,83	0,67	0,5	0,5	0,3
TG2 - solenoidový ventil	0,9	0,9	81	0,83	0,67	0,1	0,1	0,1
TG2 - budicí souprava	0,9	0,9	81	0,83	0,67	2	2,0	1,3
Výkon sumárně							541,2	345,3
Celkový zdánlivý výkon [kVA]							642,0	

Celkový činný příkon vlastní spotřeby při spuštění činí 541 kW. Tento výpočet je pouze informativní, protože jsem volil přibližné hodnoty součinitele soudobosti a využití podle harmonogramu (viz příloha č.1).

Kontrola navrženého zdroje

Přechodný stav automatického najíždění označuje spouštění celé skupiny asynchronních motorů. Dochází tím k hlubokému poklesu napětí. Tento jev se týká především záložních a pracovních zdrojů. Úbytek napětí při automatickém najíždění je kontrolován, aby napětí na přípojnicích nepokleslo pod přípustnou hodnotu. Kritické napětí stanovuje napěťovou hladinu, při které se motor zatížený jmenovitým momentem zastaví a stojící motor se nerozběhne.

Při výpočtu úbytků napětí v soustavě nízkého napětí se uvažují pouze rezistance, protože hodnoty reaktance vycházejí mnohem menší v porovnání s hodnotami ohmického odporu. Záběrný proud motoru má na počátku jalový charakter (jalový výkon na vytvoření magnetického pole). Výpočet se provádí většinou v poměrných jednotkách, které mají zvolený základ tzv. vztažnou veličinu. Úbytek napětí se vypočte jako rozdíl jmenovitého napětí na svorkách spotřebičů a napětí na svorkách při spouštění pohonu (součin celkové impedance a proudu protékajícího spotřebiči). V praxi se pro záznam okamžitých hodnot poklesu napětí a proudů používá síťový analyzátor.

Pokud je překročen maximální úbytek napětí 35% Un, je nezbytné navrhnout vhodná opatření. Zvýšit výkon zdroje, případně zvýšit napětí (přepnutí odbočky transformátoru za provozu) nebo omezit velikost proudů při najíždění. Nejvhodnější alternativou je omezení proudu zařazením vhodného spouštěcího zařízení nebo postupným spouštěním elektromotorů po skupinách. [9]

5.3 Charakteristika pohonů a jejich připojení k síti

Asynchronní motory s kotvou nakrátko v dnešní době dominují trhu. Tento typ elektromotoru se vyznačuje nízkou pořizovací cenou, nenáročnou údržbou a splňuje požadavky pro většinu aplikací. Konstrukční řešení rotoru ovlivňuje záběrový proud motoru a zároveň jeho záběrový moment. Počet pólů motoru taktéž výrazně ovlivňuje jeho technické parametry. Motor s dvěma póly má nižší počáteční krouticí moment než motor se čtyřmi póly a více (viz obr. 5.33). [12]

Jmenovitý výkon	Velikost	Objednací číslo Zkrácené označení (číslice) pro napětí a tvar viz tabulka níže	Třída účinnosti	Jmenovité otáčky	Účinnost η při 4/4 jmenovitého výkonu	3/4	Účiník cos φ při 4/4 jmenovitého výkonu	3/4-	Jmenovitý proud při 400 V	Jmenovitý moment
kW			(EFF 1)	min⁻¹	%	%	-	-	A	Nm
	3000 min⁻¹, 2 pólové, 50 Hz									
22	180 M	1LG6 183-2AA..¹) 1		2955	94,1	94,5	0,88	0,85	38,5	71
30	200 L	1LG6 206-2AA..¹) 1		2960	93,5	93,4	0,88	0,85	53	97
37	200 L	1LG6 207-2AA..¹) 1		2960	94,1	94,0	0,89	0,86	64	119
45	225 M	1LG6 223-2AA..¹) 1		2965	94,9	95,1	0,89	0,87	77	145
55	250 M	1LG6 253-2AA.. 1		2975	95,3	95,3	0,90	0,88	93	177
75	280 S	1LG6 280-2AB..¹) 1		2975	95,2	95,2	0,89	0,87	128	241
90	280 M	1LG6 283-2AB..¹) 1		2978	95,6	95,7	0,90	0,88	150	289
110	315 S	1LG6 310-2AB..¹)		2982	95,8	95,7	0,91	0,89	182	352
132	315 M	1LG6 313-2AB..¹)		2982	96,0	95,9	0,91	0,91	220	423
160	315 L	1LG6 316-2AB..		2982	96,4	96,4	0,92	0,91	260	512
200	315 L	1LG6 317-2AB..		2982	96,5	96,5	0,93	0,92	320	641
	1500 min⁻¹, 4 pólové, 50Hz									
18,5	180 M	1LG6 183-4AA..¹) 1		1470	92,6	93,2	0,83	0,78	34,5	120
22	180 L	1LG6 186-4AA..¹) 1		1470	93,2	93,5	0,84	0,79	40,5	143
30	200 L	1LG6 207-4AA..¹) 1		1470	93,3	93,4	0,85	0,80	55	195
37	225 S	1LG6 220-4AA..¹) 1		1480	94,0	94,4	0,85	0,81	67	239
45	225 M	1LG6 223-4AA..¹) 1		1480	94,5	94,7	0,85	0,82	81	290
55	250 M	1LG6 253-4AA.. 1		1485	95,1	95,3	0,87	0,83	96	354
75	280 S	1LG6 280-4AA..¹) 1		1485	95,1	95,2	0,87	0,84	130	482
90	280 M	1LG6 283-4AA..¹) 1		1486	95,4	95,5	0,86	0,83	158	578
110	315 S	1LG6 310-4AA..¹)		1488	95,9	96,0	0,87	0,84	190	706
132	315 M	1LG6 313-4AA..¹)		1488	96,1	96,2	0,88	0,85	225	847
160	315 L	1LG6 316-4AA..		1490	96,3	96,4	0,88	0,85	275	1026
200	315 L	1LG6 317-4AA..		1490	96,4	96,5	0,88	0,86	340	1282

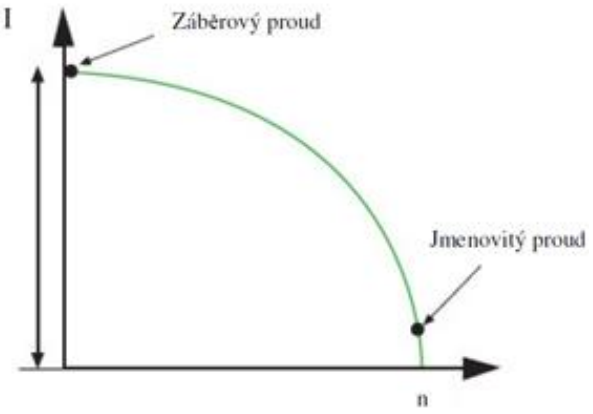
Obr. 5.33 Srovnání momentů elektromotorů podle počtu pólů Zdroj: [12]

Metody připojení elektromotoru k síti:

Níže uvádím způsoby připojení pohonů na síť a jejich výhody a nevýhody:

- *Rozběh přímým připojením k síti*

Obr. 5.3.1 Schéma přímého připojení
Zdroj: [12]

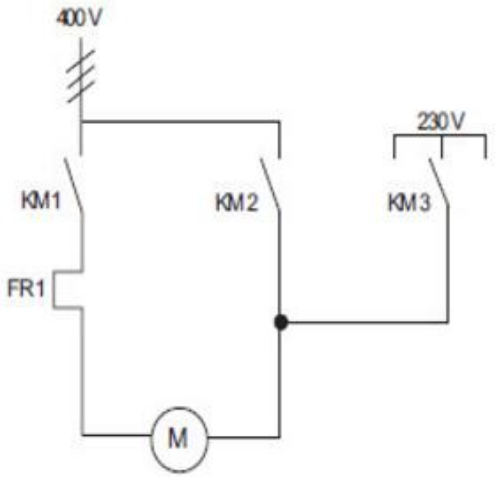


Obr. 5.3.2 Diagram proudového zatížení
Zdroj: [12]

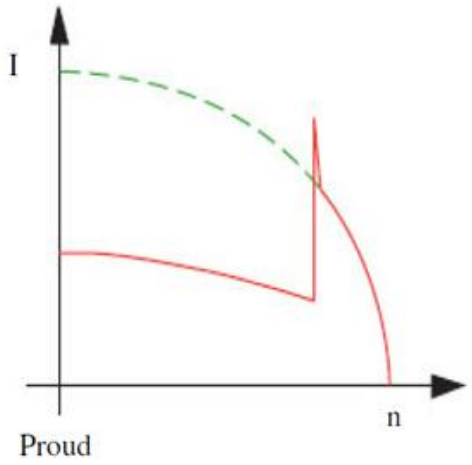
Přímé připojením elektromotoru na síť je nejběžnější metoda spouštění používaná v průmyslových aplikacích od samého počátku. Systém se skládá ze stykače a tepelného relé, kde KM1 je hlavní stykač a FR1 označuje tepelné relé. Nevýhodou tohoto zapojení je, že nelze omezit vysoký záběrný proud. Obvyklá hodnota záběrového proudu se pohybuje okolo šesti až sedmi násobku jmenovitého proudu. Hodnoty záběrového proudu závisí na zapojení na svorkách elektromotoru („hvězda“ nebo „trojúhelník“) a velikosti motoru.

Výhodou přímého připojení je vysoký počáteční krouticí moment na hřídeli. Avšak tento záběrový moment je často větší, než je potřeba. Tato metoda vyhoví ve většině aplikací a v některých případech je jedinou možnou alternativou připojení motoru na síť. Jedná se o levné a jednoduché připojení, kde se snadno a rychle zjistí a odstraní případná porucha.

- *Rozběh spouštěčem hvězda/trojúhelník*



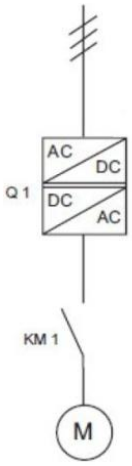
Obr. 5.3.3 Zapojení hvězda/trojúhelník Zdroj: [12]

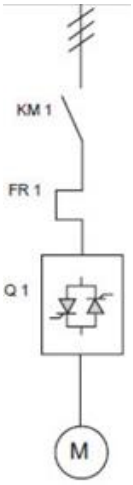


Obr. 5.3.4 Diagram proudového zatížení Zdroj: [12]

Tato metoda spouštění omezuje záběrový proud i záběrový moment. Automatické přepínání hvězda/trojúhelník se skládá ze třech stykačů, mechanického blokování, časovače a tepelného relé. Pod označením KM1 je zakreslen hlavní stykač, KM2 stykač pro zapojení do trojúhelníku, KM3 stykač pro zapojení do hvězdy, FR1 je tepelné relé. Ve srovnání s metodou přímého připojení je záběrový proud motoru omezen na 30% rozběhového proudu a záběrný moment je omezen na 25% záběrného momentu. Tento princip spouštění lze využít pro rozběhy motorů v nezatíženém stavu. Při startu je záběrný moment velice nízký a kvadraticky se zvyšuje s napětím. Po dosažení jmenovitých otáček dojde k přepnutí z hvězdy do trojúhelníku. Následkem přepnutí jsou generovány vysoké proudové špičky, které mají za následek namáhání izolace motoru.

- *Rozběh frekvenčním měničem*





Obr. 5.3.5 Zapojení s frekvenč. měničem Zdroj: [12]

Obr. 5.3.6 Zapojení se soft startérem Zdroj: [12]

Zapojení se skládá z frekvenčního měniče Q1 a hlavního stykače KM1. Otáčky motoru jsou závislé na frekvenci, proto umožňuje frekvenční měnič měnit otáčky motoru pomocí výstupní frekvence. Při řízení výstupní frekvence je dosažen vysoký moment na hřídeli i za nízkých otáček. Rozběhový proud je výrazně omezen a pohybuje se kolem 0,5 - 1 násobku proudu jmenovitého. Použitím frekvenčního měniče lze docílit maximálního momentu i při nulových otáčkách motoru. Avšak je zcela nezbytné použití výstupních filtrů k redukci vyšších harmonických kmitočtů generovaných frekvenčním měničem. Důležité je také zkontrolovat nastavení parametrů frekvenčního měniče, který může mít zabudovanou frekvenční ochranu. Případné drobné změny frekvence při provozu v ostrovním režimu mohou být vyhodnoceny jako poruchový stav.

- *Rozběh pomocí soft starteru*

Soft starter má instalované antiparalelně řazené tyristory, které jsou ovládány řídící jednotkou. Schéma se skládá z hlavního jističe KM1, tepelné ochrany FR1 a soft starteru Q1. Použitá regulace je napěťová. Řídicí systém postupně zvyšuje/snižuje nastavenou efektivní hodnotu napětí ve fázích a to po nastavenou dobu. Napětí na svorkách motoru je během startu nízké a tím je i rozběhový proud a záběrný moment nízký. Postupným zvyšováním napětí dochází k postupnému zvětšování momentu na hřídeli motoru, proudu a jeho otáček. Tím je rozběh a doběh motoru plynulý. Zvlášť výhodné je použití soft startérů u čerpadlových a ventilátorových aplikací. Lze tak

omezit případy, kdy vysoký záběrový moment způsobuje trhání, rázy či jiné mechanické problémy. Důležité je opět zkontrolovat nastavení parametrů soft startéru, který může mít zabudovanou frekvenční ochranu. Případné drobné změny frekvence při provozu v ostrovním režimu mohou být vyhodnoceny jako poruchový stav.

Pro pohony v technologii teplárny je důležitý především vysoký záběrný moment. Použitím motoru s vysokým krouticím momentem ve spojení se soft startérem, dochází k výraznému snížení rozběhového proudu. Velké pohony několika desítek až stovek kilowattů jsou proto vybaveny soft startéry.

V současné době je použití frekvenčních měničů a automatického přepínání hvězda/trojúhelník nevýhodné zejména kvůli vyšší pořizovací ceně. Naopak v nadpoloviční většině případů je použito přímé připojení elektromotoru k síti, jakožto nejspolehlivějšího a nejlevnějšího způsobu.

5.4 Harmonogram startu teplárny

Start teplárny lze obecně popsat jako sled na sebe navazujících událostí. Prvním krokem pro spolehlivý start teplárny je zablokování nedůležitých odběrů, které by mohly způsobit výpadek nouzového zdroje při nájezdu bloku. Prioritně musí být zajištěno napájení nouzových a řídicích systémů bloku. Dále je plánována obnova činnosti zauhlovacích tras a uhelných zásobníků, po zajištění dostatečné zásoby uhlí je zahájeno najíždění. Postupné prohřívání turbíny začne při dosažení požadovaných parametrů páry. Následuje spuštění turbogenerátoru a jeho přifázování k nouzovému zdroji. Vždy se fázuje turbogenerátor k nouzovému zdroji. Nouzový zdroj je odstaven po úspěšném přifázování turbogenerátoru a převedení vlastní spotřeby bloku z nouzového zdroje na odbočkový transformátor elektrárny.

Během zkušebního startu Teplárny Přerov byly použity tyto přístroje a vybavení:

Motorgenerátor (DG): CAT 3512, model 1600, 1200kW / 1600 kVA, 2165 A
Měřící místo: Rozvaděč SO1BMA21 (viz schéma 3.3) - měření na fázích
Měřicí přístroje: proudové kleště F135 (I_[A] Trms), proudové kleště KEW (I_[A] Peak), multimetr M3830 (U_[V])

Plán startu:

a) ***zkouška provozu DG a připojení zátěže***
b) ***roztopení kotlů K11 a K12*** *(2 hodiny)*
c) ***najíždění generátoru TG2*** *na výkon (1,5 hodiny)*
d) ***najetí generátoru TG2*** *na výkon a spuštění významných pohonů hlavního kotle K4 (cca 1MW) za účelem stabilizace při připojování do distribuční soustavy*

Seznam připojených zátěží k dieselgenerátoru:

- *příslušenství kotle K11 (ventilátory, čerpadla)*
- *příslušenství kotle K12 (ventilátory, čerpadla)*
- *nejnutnější pohony chemické úpravny vody*
- *systémy nezbytné pro chod turbosoustrojí TG2*
- *nouzové systémy a řídicí systémy*

Pro zkušební start byla zvolena záložní kotelna z důvodu rychlého najetí ze studeného stavu. Použitým palivem byl zemní plyn. Lze použít i těžký topný olej, který je skladován v dostatečné zásobě v areálu teplárny. Po roztopení kotlů se začalo nájezdem turbíny TG2. Při startu turbíny ze studeného stavu je nutné nejprve turbínu prohřát vpouštěním malého množství páry a doba nájezdu se tím prodlouží na čtyři a půl až pět hodin. Postupné ohřívání turbíny je zajištěno solenoidovým ventilem předehřevu. Během experimentu byla turbína v zahřátém stavu, tím se doba náběhu zkrátila na dvě hodiny. V případě požadavku odstavení turbíny musí být hlavní ventil páry uzavřen a rotor turbíny je chlazen. Následující tři dny musí být rotor turbíny pomalu protáčen přídavným elektromotorem, předchází se tím případné mechanické deformaci. Odstaveny byly technologie zajišťující odprášení (podpůrný ventilátor, bagrovací čerpadla, měření emisí), technologie související se skladováním a dopravou paliva (rozmrazovací tunel, expediční sila) a technologie související s úpravou vody.

V technologickém schématu (viz schéma 3.2) jsem zvýraznil cestu páry při zkušebním startu.

a) Zkouška provozu DG a měření

Provedená zkouška spočívala v zapojení měřících přístrojů do rozvaděče záskokové sběrny. Následoval start dieselgenerátoru Zeppelin a přivedení napětí na sběrnu. Spuštění sekundárního ventilátoru o výkonu 135 kW, jakožto největší zátěže přineslo informace o poklesu napětí a ověření sledu fází. Po dvou minutách byla zátěž odpojena. V níže uvedené tabulce uvádím naměřené hodnoty ze síťového analyzátoru.

Tab. 5.4.1 Naměřené hodnoty zkušebního zatížení Zdroj: Zeppelin CZ s.r.o.

I_start [A] (Trms)	I_start [A] (Peak)	U [V]	I_provoz [A] (Trms)
1332	1941	363	106

V době připnutí zátěže bylo měřeno napětí na svorkách elektromotoru. Hodnota odpovídá 10% poklesu od jmenovité hodnoty.

b) Najetí záložní kotelny

Bezproudý stav napájecí sběrny vlastní spotřeby byl simulován odpojením záložního transformátoru. Pevně instalovaný dieselgenerátor Dagger o výkonu 200 kVA okamžitě převzal napájení nouzových systémů (měření a řízení) a dobíjení akumulátorů na sběrnici R6.3 (viz schéma 3.3). Po připojení externího dieselgenerátoru Zeppelin se na záskokové sběrně objevilo napětí. Napěťové hlídací relé zareagovalo a napájení nouzových systémů přebral dieselgenerátor Zeppelin. Motorgenerátor Dagger byl dále v provozu připraven jako záloha pro případný pokles napětí na sběrnici (hlídáno a řízeno automaticky rozdílovým relé).

V níže uvedeném seznamu manipulací uvádím posloupnost kroků postupného spouštění zátěží vlastní spotřeby s ohledem na výkon a pokles napětí při spouštění. Při dimenzování zdroje je důležité znát typ zátěže, zda se jedná o pohon, osvětlení, řídicí systém nebo řízený zdroj. Samozřejmě záleží na způsobu připojení k síti (viz tab. 5.4.2 sloupec Start) a charakteru zatížení pohonu (viz příloha č.1). Bližší informace o všech spotřebičích jsem získal během návštěvy Teplárny Přerov.

Tab. 5.4.2 Doporučené spouštění zátěží Zdroj: MI

Krok	Spotřebič	Start	P [kW]	Un [V]	In [A]
1	Řídicí systémy	D	28	230/400	40
1	Nouzové osvětlení	D	30	230/400	43
1	Zdroj DC napětí (roz.vn)	D	7	400	10
1	TG2 Nouzové čerpadlo mazacího oleje	D	4	400	9
1	TG2 Natáčecí zařízení	D	11	400	23
1	CHUV Kompresor vzduchu	D	7,5	400	16
1	CHUV Řídicí systém	D	7	230	30
2	Osvětlení záložní kotelny	D	5	230/400	7
2	K11 Hořáková skříň	D	2	230	9
2	K12 Hořáková skříň	D	2	230	9
3	CHUV Čerpadlo směsné vody	D	45	400	83
4	K11 Vzduchový ventilátor	VSD	45	400	81
5	K11 Napájecí čerpadlo záložní kotelny	D	22	400	43
6	K11 Kompresor prac. a ovl. vzduchu	D	22	400	43
7	K12 Vzduchový ventilátor	VSD	45	400	81
8	K12 Napájecí čerpadlo záložní kotelny	D	22	400	43
9	K12 Kompresor prac. a ovl. vzduchu	D	22	400	43
	Suma výkonů		326,5		
D - přímé připojení k síti, VSD - frekvenční měnič					

Roztopení záložní kotelny trvalo dvě hodiny.

c) Najetí generátoru TG2

Tab. 5.4.3 Doporučené spouštění zátěží Zdroj: MI

Krok	Spotřebič	Start	P [kW]	Un [V]	In [A]
10	TG2 Hlavní olejové čerpadlo	D	30	400	56
11	TG2 Chladicí čerpadlo č.1	D	110	400	198
11	TG2 Výtlak chladicí vody	D	3	400	7
12	TG2 Chladicí věž č.1	D	43	400	70
12	TG2 Chladicí věž č.2	D	43	400	70

13	TG2 Kondenzátní čerpadlo č.1	D	11	400	23
13	TG2 Výtlak kondenz. čerpadla	D	0,5	400	1,5
13	TG2 Hlavní parní uzavírací armatura	D	3	400	7
13	TG2 Spouštěcí ventil	D	1	400	3
13	TG2 Bypass hlavní parní armatury	D	2	400	5
13	TG2 Plnění parního prostoru konden.	D	0,5	400	1,5
13	TG2 Solenoidový ventil	D	0,1	230	0,5
14	TG2 Budicí souprava	D	2	230	9
	Suma výkonů		249		
D - přímé připojení k síti					

Najetí generátoru TG2 na výkon trvalo hodinu a půl.

d) Najetí pohonů chemické úpravny vody

Při nájezdu technologie delším než šest hodin musí být doplněna zásoba kotelní vody, s tím souvisí zvýšení příkonu vlastní spotřeby (viz tab. 5.4.4).

Tab. 5.4.4 Přehled dodatečných pohonů CHUV Zdroj: MI

Krok	Spotřebič	Start	P [kW]	Un [V]	In [A]
x	CHUV Čerpadlo směsné vody VT	D	75	400	127
x	CHUV Čerpadlo surové vody	D	63	400	107
x	CHUV Čerpadlo čiřené vody	D	18,5	400	31,5
x	CHUV Čerpadlo čiřené prací vody	D	5,5	400	10
x	CHUV Vápenné hospodářství	D	5	400	8,5
x	CHUV Čerpadlo kondenzátu	D	18,5	400	31,5
	Suma výkonů		185,5		
D - přímé připojení k síti					

Ze získaných podkladů Teplárny Přerov jsem zjistil, že celkový příkon spotřebičů pro najetí kotelny a turbogenerátoru je 576 kW z toho 107 kW spotřebičů má charakter občasné zátěže tj. přerušovaný nebo krátkodobý chod. Největšími spotřebiči jsou: napájecí čerpadlo, primární a sekundární ventilátory. Tyto tři pohony představují více než polovinu příkonu technologie.

Po dosažení jmenovitých parametrů na svorkách turbosoustrojí TG2 byly postupně spouštěny pohony kotelny K4 pro zajištění stabilizace ostrovní sítě (v případě náhlého poklesu napětí přechází asynchronní motory do generatorického chodu a tím zlepšují stabilitu zdroje) (viz obr. 4.3 - červená křivka)

Dalším plánovaným krokem bylo připojení TG2 na sběrnici ***R2*** - ***A*** pomocí vypínače č.5 (viz schéma 3.3). Následovala regulace napětí TG2 na požadovanou hodnotu 6,3 kV (změnou buzení rotoru generátoru) a frekvence (změnou otáček generátoru). Připnutím transformátoru T2 se zajistí napájení sběrny 22 kV s označením ***R1***. Regulací TG2 se musí dosáhnout hodnoty napětí 23 kV.

Během praktického experimentu se nepodařilo připnout blokový transformátor T2. Příčinou bylo opakované odpojení transformátoru nadproudovou ochranou z důvodu počátečního proudového nárazu. Navrhovaným řešením problému je připojení nenabuzeného generátoru k blokovému transformátoru a postupným přibuzování generátoru.

Posledním plánovaným krokem (nikoliv uskutečněným) by bylo kontaktovat distribuční společnost o dodávce energie na lince č. 308 a dohlížet na hodnoty napětí, proudů a výkonů. Okolní elektrárny (vodní, bioplynové a fotovoltaické) se po dosažení odpovídající kvality sítě začnou do ostrovního systému automaticky připojovat.

6. DIMENZOVÁNÍ V PROGRAMU SPEC SIZER

Veškerá dostupná data a výsledky měření ze zkušebního startu teplárny v Přerově jsem použil jako vstup pro výpočtový program. Spec Sizer je firemní program společnosti Zeppelin CZ s.r.o. usnadňující výběr motorgenerátoru. Software je dostupný na internetových stránkách: < https://specsizer.cat.com>.

Na základě požadavků (charakter zátěže, výkon), lze vybrat správnou velikost generátoru, která odpovídá energetickým požadavkům. Program vychází z dat naměřených při testování. Revoluční nástroj pro dimenzování se vyznačuje přednastavenými typy zátěže, například: klimatizace, výtahy, osvětlení, jednofázové nebo třífázové elektromotory. Výhodou aplikace je shromažďování dat o zátěži a možné rozdělení zátěže do několika kroků s ohledem na pokles napětí a frekvence. Výsledkem výpočtů je doporučený jmenovitý výkon motorgenerátoru a sekvence připínání jednotlivých zátěží.

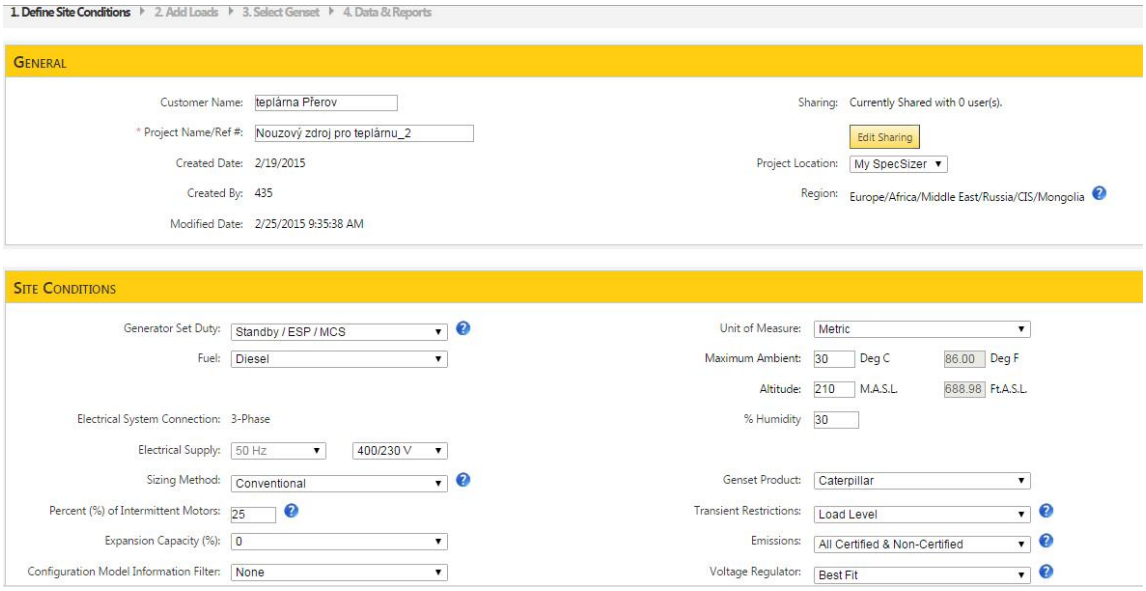
Návrh se skládá ze tří částí:

I. *Definice podmínek*

II. *Zadání připojené zátěže*

III. *Výběr generátoru & protokol*

I. DEFINICE PODMÍNEK



Obr. 6.1 Ukázka prostředí programu SpecSizer Zdroj: MI

- **General (všeobecné)**
  - Customer name (jméno zákazníka)
  - Project name (název projektu)
  - Sharing (nastavení sdílení projektu)

- **Site conditions (místní podmínky)**

- Generator Set Duty (provozní režim)

- Standby - režim nedovoluje přetížení
- Prime - režim dovoluje přetížení o 10%
- Continuous - režim nedovoluje přetížení, určen pro dlouhodobý provoz

- Fuel (palivo)

- ve většině případů tekuté palivo, tedy motorová nafta

- Electrical Supply (dodávaná elektřina)

- volba jednofázového nebo trojfázového systému
- volba napětí generátoru až do 11 kV

- Sizing method (metoda dimenzování)

a) *Conventional (konvenční metoda)*

- předpokládá připojování zátěže v několika krocích
- závisí na typu regulátoru a specifikách instalace
- připouští značný pokles napětí a frekvence
- dovoluje nastavit rozsah poklesu napětí a frekvence mezi 5% až 35%
- nadměrný pokles frekvence může odstavit generátor
- méně omezující než frekvenční metoda dimenzování

b) *Frequency limited (frekvenční metoda)*

- pro dimenzování generátorů splňující přísné standardy
- omezený pokles napětí a frekvence při přejímání zátěže
- splňuje normu ISO
- regulátor minimalizuje pokles frekvence na nejmenší možnou hodnotu
- pokles jmenovitých hodnot nepřevýší 10% při studeném motoru
- návrh vede k předimenzování generátoru

Pokud je požadováno převzetí zátěže v jednom kroku, pak vychází velký a výkonný generátor. Při postupném převzetí zátěže by měly výše uvedené metody dimenzování dát stejný výsledek.

- Intermittent Motors (podíl pohonů s přerušovaný chodem)

- elektromotory s náhodným spouštěním a zastavováním
- následkem je rušení ostatních pohonů, které jsou citlivé na pokles napětí
- pohony teplárny s přerušovaným chodem tvoří 25% z celkové zátěže

- Expansion Capacity volba (naddimenzování)

- doporučeno o 20%

- ***Emissions (Emise)***

a) *IEC*: Mezinárodní norma pro elektrotechniku zpracovaná mezinárodní elektrotechnickou komisí. Norma přispívající k bezpečnosti, ochraně zdraví a životního prostředí. Platí v 82 členských státech včetně České republiky.

b) *NEMA*: Norma vztahující se k širokému rozsahu elektrických produktů v USA, Kanadě a jiných zemích se vztahem k USA.

- **Voltage Regulator (napěťový regulátor)**

a) Standard (2:1)

b) Optional (3:1)

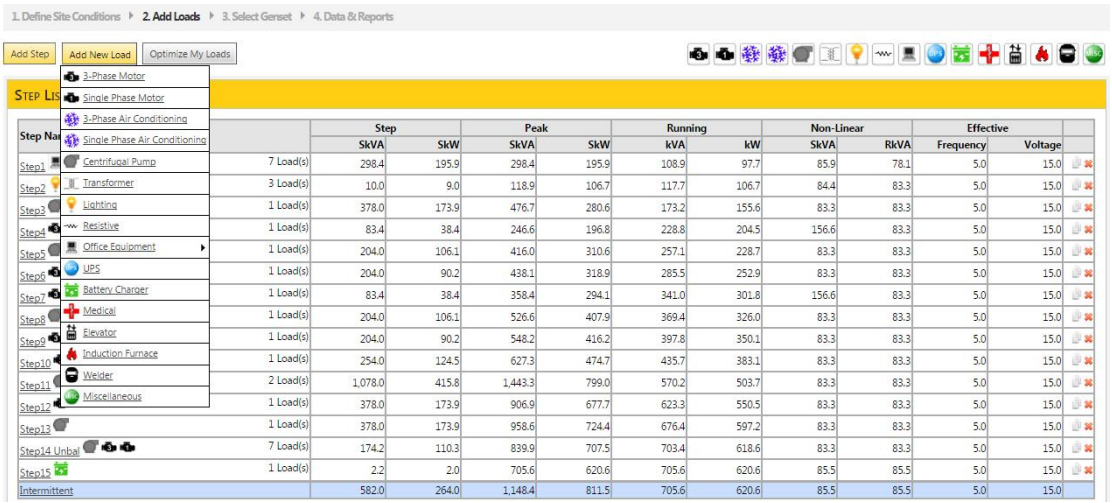
-Maximum Ambient (okolní podmínky)

a) teplota

b) nadmořská výška

c) relativní vlhkost

II. VLASTNOSTI PŘIPOJENÉ ZÁTĚŽE



		Step		Peak		Running		Non-Linear		Effective	
		SkVA	SkW	SkVA	SkW	kVA	kW	SkVA	RkVA	Frequency	Voltage
Step1	7 Load(s)	298.4	195.9	298.4	195.9	108.9	97.7	85.9	78.1	5.0	15.0
Step2	3 Load(s)	10.0	9.0	118.9	106.7	117.7	106.7	84.4	83.3	5.0	15.0
Step3	1 Load(s)	378.0	173.9	476.7	280.6	173.2	155.6	83.3	83.3	5.0	15.0
Step4	1 Load(s)	83.4	38.4	246.6	196.8	228.8	204.5	156.6	83.3	5.0	15.0
Step5	1 Load(s)	204.0	106.1	416.0	310.6	257.1	228.7	83.3	83.3	5.0	15.0
Step6	1 Load(s)	204.0	90.2	438.1	318.9	285.5	252.9	83.3	83.3	5.0	15.0
Step7	1 Load(s)	83.4	38.4	358.4	294.1	341.0	301.8	156.6	83.3	5.0	15.0
Step8	1 Load(s)	204.0	106.1	526.6	407.9	369.4	326.0	83.3	83.3	5.0	15.0
Step9	1 Load(s)	204.0	90.2	548.2	416.2	397.8	350.1	83.3	83.3	5.0	15.0
Step10	1 Load(s)	254.0	124.5	627.3	474.7	435.7	383.1	83.3	83.3	5.0	15.0
Step11	2 Load(s)	1,078.0	415.8	1,443.3	799.0	570.2	503.7	83.3	83.3	5.0	15.0
Step12	1 Load(s)	378.0	173.9	906.9	677.7	623.3	550.5	83.3	83.3	5.0	15.0
Step13	1 Load(s)	378.0	173.9	958.6	724.4	676.4	597.2	83.3	83.3	5.0	15.0
Step14 Unbal	7 Load(s)	174.2	110.3	839.9	707.5	703.4	618.6	83.3	83.3	5.0	15.0
Step15	1 Load(s)	2.2	2.0	705.6	620.6	705.6	620.6	85.5	85.5	5.0	15.0
Intermittent		582.0	264.0	1,148.4	811.5	705.6	620.6	85.5	85.5	5.0	15.0

Obr. 6.2 Charakter zátěže Zdroj: MI

- **Add Step (krok zatížení)**
  - krok s označením "Intermittent" zahrnuje zátěže s přerušovaným chodem

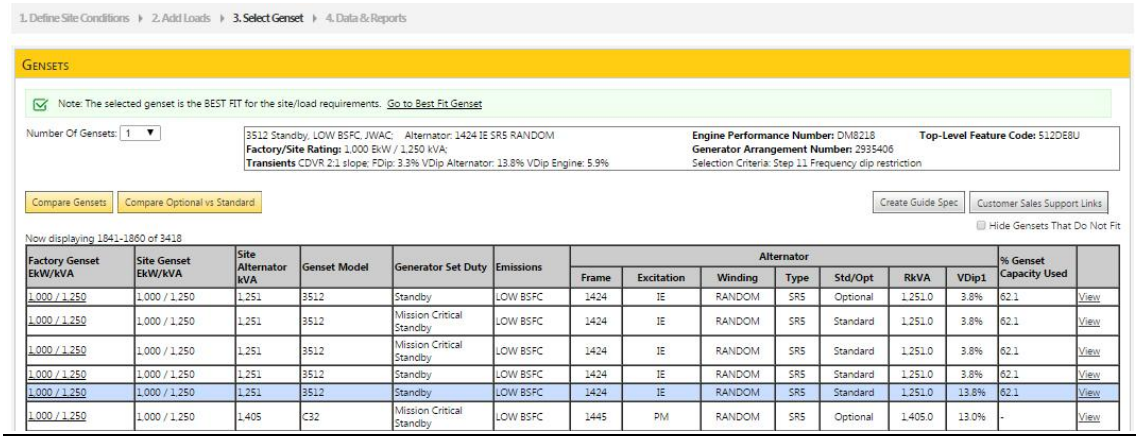
- **Add New Load (přidání zátěže v daném kroku)**
  - ***druh zátěže:*** elektromotor, klimatizace, čerpadlo, transformátor, osvětlení, odporová zátěž, spínané zdroje, zdroj nepřerušovaného napájení, nabíječ baterií, pohon výtahu, indukční pec, svářecí zařízení nebo ostatní druhy zátěže

- ***Optimize My Loads (optimalizace zátěží)***
  - program zvolí nejvhodnější uspořádání zátěží

- **Load Details (Detaily zátěže)**
  - ***název zátěže***
  - ***příkon spotřebiče***
  - ***dovolený pokles frekvence***
  - ***dovolený pokles napětí***
  - ***metoda spouštění:*** přímé připojení k síti, připojení přes odpor, reaktanci, soft starter, autotransformátor, frekvenční měnič (VSD - Variable Speed Drive), automatické přepínání hvězda/trojúhelník (Wye Delta)

  - ***přerušovaný / trvalý chod spotřebiče***
  - ***těžký / lehký start spotřebiče***

III. VÝBĚR GENERÁTORU



1. Define Site Conditions ▸ 2. Add Loads ▸ 3. Select Genset ▸ 4. Data & Reports

GENSETS

Note: The selected genset is the BEST FIT for the site/load requirements. Go to Best Fit Genset

Number Of Gensets: 1

3512 Standby, LOW BSFC, JWAC; Alternator: 1424 IE SR5 RANDOM
Factory/Site Rating: 1,000 BkW / 1,250 kVA;
Transients CDVR 2:1 slope; FDip: 3.3% VDip Alternator: 13.8% VDip Engine: 5.9%

Engine Performance Number: DM8218 **Top-Level Feature Code:** 512DE8U
Generator Arrangement Number: 2935406
Selection Criteria: Step 11 Frequency dip restriction

Compare Gensets | Compare Optional vs Standard | Create Guide Spec | Customer Sales Support Links

Hide Gensets That Do Not Fit

Now displaying 1841-1860 of 3418

Factory Genset EkW/kVA	Site Genset EkW/kVA	Site Alternator kVA	Genset Model	Generator Set Duty	Emissions	Alternator							% Genset Capacity Used	
						Frame	Excitation	Winding	Type	Std/Opt	RkVA	VDip1		
1,000 / 1,250	1,000 / 1,250	1,251	3512	Standby	LOW BSFC	1424	IE	RANDOM	SR5	Optional	1,251.0	3.8%	62.1	View
1,000 / 1,250	1,000 / 1,250	1,251	3512	Mission Critical Standby	LOW BSFC	1424	IE	RANDOM	SR5	Standard	1,251.0	3.8%	62.1	View
1,000 / 1,250	1,000 / 1,250	1,251	3512	Mission Critical Standby	LOW BSFC	1424	IE	RANDOM	SR5	Standard	1,251.0	3.8%	62.1	View
1,000 / 1,250	1,000 / 1,250	1,251	3512	Standby	LOW BSFC	1424	IE	RANDOM	SR5	Standard	1,251.0	3.8%	62.1	View
1,000 / 1,250	1,000 / 1,250	1,251	3512	Standby	LOW BSFC	1424	IE	RANDOM	SR5	Standard	1,251.0	13.8%	62.1	View
1,000 / 1,250	1,000 / 1,250	1,405	C32	Mission Critical Standby	LOW BSFC	1445	PM	RANDOM	SR5	Optional	1,405.0	13.0%	-	View

Obr. 6.3 Ukázka výsledného protokolu o návrhu Zdroj: MI

Vybraný motorgenerátor je nejlepší volbou vzhledem k požadavkům zátěže. Program nabízí nejvýhodnější uspořádání kroků spouštěných zátěží. Tuto funkci nelze použít, protože v případě nájezdů pohonů teplárny musí být dodržena návaznost nájezdu technologií. U vybraného typu generátoru je možno volit mezi dvěma napěťovými regulátory (Standard (2:1) nebo Optional (3:1)). Při tomto porovnání jsem zjistil, že v případě regulátoru Optional je pokles napětí a frekvence nižší při změně zatížení, avšak výkon generátoru musí být o několik procent vyšší v porovnání při použití regulátoru Standard.

6.1 Výběr motorgenerátoru pro Teplárnu Přerov

Při návrhu jsem vycházel z požadavku na spolehlivost dodávky energie z externího motorgenerátoru. Dovolený pokles napětí a frekvence je limitujícím faktorem. Pro lepší pochopení funkce ochran se vracím k elektrickému schématu (viz schéma 3.3), kde světle zelená barva zvýrazňuje napájení záskokové sběrny a nouzové zdroje. Ve schématu je vyznačen externí generátor Zeppelin o výkonu 1,6 MVA (použitý při zkušebním startu v roce 2014) a pevně instalovaný generátor DAGGER o výkonu 200kVA. Spolehlivé napájení vlastní spotřeby je zajištěno sledováním hladiny napětí a frekvence na sběrnici pomocí rozdílových ochran. Pokud parametry sítě nejsou dodrženy, pak jsou běžné zdroje (odbočkové a záložní transformátory) vypínači automaticky odpojeny a napájení přebírá záložní diesel DAGGER a technologie výroby je odstavena. Změna napájecího zdroje záskokové sběrny (R6.3) je řízena automaticky

prostřednictvím vypínačů (viz schéma 3.3 - **FA1**, **FA2**). V případě obnovení dodávek energie z vnější sítě nebo externím generátorem Zeppelin, dojde k rozpojení vypínače FA1 a dieselgenerátor DAGGER je odstaven (připraven opětovně převzít zatížení).

Výše uvedený popis vysvětluje, proč je důležité při návrhu dodržet dovolený pokles napětí a frekvence. Externí mobilní zdroj musí být dimenzovaný tak, aby během startu ze tmy nedošlo k jeho odstavení. Níže uvedená tabulka ukazuje nastavené limitní hodnoty ochran vlastní spotřeby:

Tab. 6.1.1 Nastavení ochran vlastní spotřeby Zdroj: VE

Podfrekvence	40 Hz po dobu 2 sekund
Nadfrekvence	60 Hz po dobu 2 sekund
Podpětí	320 V po dobu 2 sekund
Přepětí	440 V po dobu 2 sekund

Jmenovitá hodnota napětí a frekvence vlastní spotřeby je 400 V / 50 Hz. Při přebírání zatížení generátorem Zeppelin předpokládám stav podfrekvence a podpětí, jejichž hodnoty se od jmenovitých liší o 20%. Z normy ČSN EN 50160 jsem zjistil, že napětí na přípojnicích vlastní spotřeby nesmí klesnout pod 80% Un, což odpovídá 20% dovolenému poklesu napětí. U zdrojů bez synchronního připojení k systému (tj. ostrovní napájecí systémy) je dovolená odchylka frekvence 50 Hz ± 15 % po 100 % času. [13]

Při návrhu jsem zvolil metodu konvenční. Vytvořil jsem několik variant návrhů, ve kterých měním dovolenou odchylku napětí a frekvence v rozmezí od 15% do 5%.

V případě kritických kroků (zátěží) jsem zkusil záměnu způsobu spouštění (z přímého připojení k síti na spouštění přes soft startér) a sledoval jsem změnu požadavků na výkon generátoru.

Tab. 6.1.2 Varianty návrhu Zdroj: MI

Varianta	Zadání typ / Fdip / Vdip / start krit.	Výsledek			
		Výkon generátoru [EkW / kVA]	Fdip [%]	Vdip [%]	Kritický krok
	Spouštění kritické zátěže přímým připojením				
1.	K / 10 / 15 / **D_11**	880 / 1100	5,7	15	č.11_čerp. 110 kW
2.	K / 10 / 10 / **D_11**	1280 / 1600	2,2	8,1	č.11_čerp. 110 kW
3.	K / 5 / 8 / **D_11**	1400 / 1750	1,6	7	č.11_čerp. 110 kW
	Spouštění kritické zátěže přes soft startér				
4.	K / 10 / 15 / **S_11**	880 / 1100	1,9	7,9	č. 3_čerp. 45 kW
5.	K / 10 / 10 / **S_11**	880 / 1100	1,9	7,9	č. 3_čerp. 45 kW
6.	K / 5 / 8 / **S_11**	880 / 1100	2,3	7,3	č. 3_čerp. 45 kW
7.	K / 5 / 8 / **S_3+11**	880 / 1100	2,3	7,3	krok Intermittent
	Spouštění kritické zátěže přímým připojením, včetně pomocných pohonů CHUV				
8.	K / 10 / 15 D	1000 / 1250	6,3	15	č. 11_čerp. 110 kW

D_č - direct (přímé připojení), **S_č** - připojení přes soft startér, **Fdip** pokles frekvence, **Vdip** pokles napětí, **typ** - konvenční/frekvenční dimenzování

Z tabulky je patrné, že lze volit výkon motorgenerátoru v rozmezí 880 kW až do 1400 kW v závislosti na požadované kvalitě parametrů sítě. Chtěl bych upozornit, že veškeré varianty návrhu zahrnují doporučenou 20% výkonovou rezervu. Výběr se odvíjí od požadavku na spolehlivost dodávky, tedy dodržení limitních hodnot parametrů sítě. Všechny mnou nabízené varianty dané podmínky splňují.

Z výsledků je patrné, že pokles frekvence nepřevyšuje v žádném z případů hodnotu deseti procent. Pokles napětí se nachází v rozmezí 7% až 15%. Největší zátěž je připínána v kroku číslo 11 (viz tab. 5.4.3) tj. chladicí čerpadlo turbosoustrojí TG2 s výkonem 110 kW a přímým připojením k síti (Direct On Line). U prvních tří variant jsou vidět rostoucí nároky na motorgenerátor z důvodu přísnějších limitních hodnot napětí a frekvence.

Pro snížení požadavků na motorgenerátor uvažuji ve variantách číslo čtyři, pět, šest připojení přes soft startér pro největší spotřebič. Pro ověření proveditelnosti mnou navrhovaného opatření jsem navštívil internetové stránky výrobce soft startérů Danfoss. V katalogu firmy [11] jsem dohledal řadu soft startérů s označením MCD 500 pro asynchronní motory až do výkonu 850kW na hladině 400V. Podle tabulkových

hodnot by pak měl být maximální záběrný proud omezen na 2,25 násobek jmenovitého proudu. Po diskuzi tohoto návrhu s panem Ing. Antonínem Rýparem z Přerovské teplárny jsem se dozvěděl, že čerpadlo je spouštěno s minimálním zatížením. Rozběh čerpadla je proveden při uzavřených armaturách, po dosažení jmenovitých otáček oběžného kola jsou ventily sání a výtlaku stejnoměrně otevírány. Použití spouštěcího zařízení by v tomto případě bylo přínosné a funkčnost čerpadla by zůstala nezměněna. Z tabulky výsledků je patrné, že se vzrůstajícími požadavky na limitní hodnoty napětí a frekvence se výkon generátoru prakticky nemění a zůstává na hodnotě 880 kW. Parametry hladiny a frekvence se však zlepšují, to je pravděpodobně dosaženo nastaveným předimenzováním o 20%.

U varianty číslo sedm uvažuji použití soft startéru nejen pro hlavní chladicí čerpadlo, ale také pro druhý nejvýkonnější pohon tj. čerpadlo směsné vody o výkonu 45 kW. Při porovnání návrhů číslo šest a sedm je vidět, že se vůbec neliší. Z tohoto poznatku usuzuji, že případné dovybavení dalších pohonů soft startérem nepřináší snížení nároků na zdroj.

Ve variantě číslo osm uvažuji dlouhý nájezd teplárny. Zásoba technologické vody je dostačující pro pěti až šesti hodinový provoz. Pokud by spouštění technologií trvalo delší dobu, musí být uvedeny do provozu čerpadla chemické úpravny vody (viz tab. 5.4.4). Z tabulky je patrné, že při dimenzování pro tento případ musí být výkon generátoru navýšen o 120 kW v porovnání s variantou číslo jedna.

Obr.6.1 Dieselgenerátor Zeppelin při zkušebním startu teplárny Zdroj: VE

6.2 Ověření zkratových poměrů na záskokové sběrně teplárny

V této kapitole se zabývám ověřením zkratové odolnosti záskokové sběrny Teplárny Přerov při napájení externím zdrojem. Uvažuji trojfázový zkrat, který má největší účinky na zařízení v porovnání s ostatními druhy zkratů. Dovolený počáteční souměrný rázový zkratový proud záskokové sběrny je $I_k'' = 19{,}54\ k\text{A}$ a nárazový zkratový proud $i_p = 51{,}03\ kA$. Při kontrolním výpočtu vycházím z navrženého motorgenerátoru Zeppelin (viz tab. 6.1.2 - var. č. 8) s jeho jmenovitými parametry (viz příloha č. 8,9):

- model C32DR44
- jmenovitý výkon: 1000 kW / 1250 kVA
- generátor čtyřpólový
- rázová složka podélné reaktance: $X_d'' = 0{,}12$ p.u.
- rázová složka příčné reaktance: $X_q'' = 0{,}14$ p.u.
- přechodná složka podélné reaktance: $X_d' = 0{,}23$ p.u.
- ustálená složka podélné reaktance: $X_d = 3{,}38$ p.u.
- ustálená složka příčné reaktance: $X_q = 2{,}02$ p.u.

Kabelové vedení od motorgenerátoru k přípojnému rozvaděči (SO1BMA21 viz schéma 3.3) volím podle návrhu pro již provedený zkušební start teplárny. Níže uvedené parametry vedení vycházejí z katalogu výrobce [14]:

- typ kabelu: (4-NYY)
- činný odpor (při 20°C): $R_{kab} = 0{,}075\ \Omega/km$
- indukčnost: $L_{kab} = 0{,}445\ mH/km$
- délka vedení: $d_{kab} = 50m$

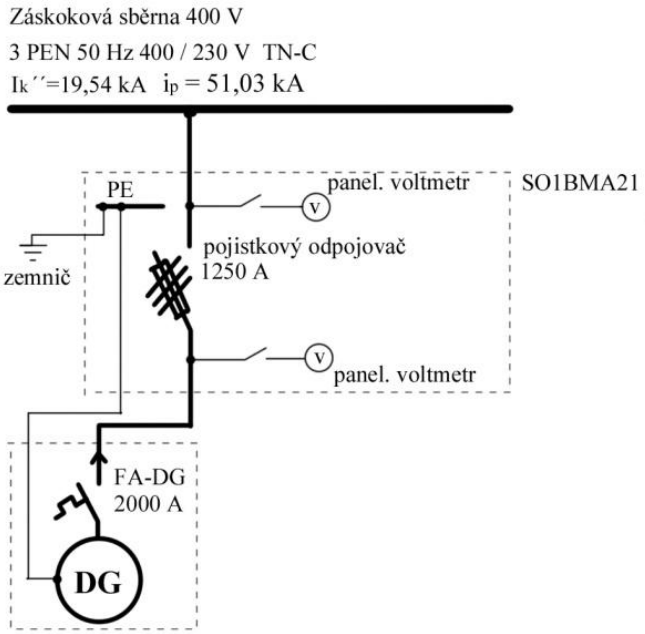


Schéma 6.2 Připojení k záskokové sběrně Zdroj:MI *Obr. 6.2 Přípojný bod Zdroj: MI*

Při výpočtu uvažuji blízký zkrat, protože podíl asynchronních motorů na počátečním zkratovém proudu je větší než 5%. Externí motorgenerátor je připojen kabelovým vedením, které se podílí na omezení zkratového proudu do přípojného rozvaděče. Maximální zkratový proud do záskokové sběrny teplárny je omezen třemi nožovými pojistkami (typu NH 4A 1250 A gG) pro jmenovitý proud 1250 A. Nožové pojistkové vložky s charakteristikou gG se vyznačují velkou proudovou omezovací schopností a nízkými hodnotami přepětí vzniklého během působení pojistkové vložky.

Z výukových materiálů [16] jsem se dozvěděl, že synchronní stroje s vyniklými póly se modelují při výpočtu jako stroje s válcovým rotorem, neuvažuje se tedy příčná reaktance. Vypočítaný zkratový proud odpovídá hodnotě při jmenovitém zatížení synchronního generátoru. Impedanci přívodních vodičů asynchronních motorů zanedbávám. Příspěvek asynchronních pohonů do zkratu je modelován jedním ekvivalentním motorem. Při výpočtu vycházím ze zkratové smyčky viz schéma 6.2.

Nárazový zkratový proud i_p je maximální možná okamžitá hodnota předpokládaného zkratového proudu. Maximální hodnoty je dosaženo, jestliže zkrat nastane v takovém okamžiku, kdy se vyvine největší stejnosměrná složka zkratového proudu.

Pokud jsou k ochraně rozvodného zařízení použity pojistky omezující zkratový proud, spočítá se nejdříve předpokládaný počáteční souměrný rázový zkratový proud bez těchto ochran. Z tohoto zkratového proudu a omezovacích charakteristik pojistek

nebo jističů se stanoví parametry omezeného zkratového proudu, kterým je namáháno zařízení za jistícím přístrojem. [16]

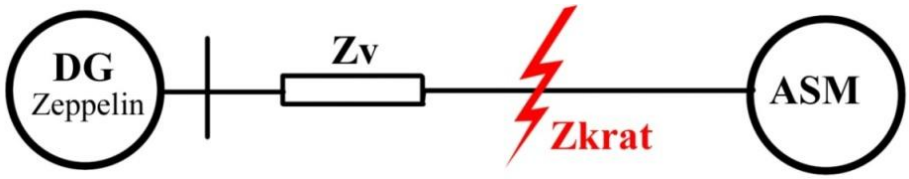


Schéma 6.2 Zkrat na záskokové sběrně napájené externím zdrojem Zdroj: MI

Příspěvek zkratu:

a) ***zkratový proud generátoru***

Tab. 6.2 Vzorce pro výpočet zkratových poměrů u synchronního generátoru [16]

Počáteční rázový zkrat. proud [A]	$I_k'' = \frac{I_v}{z_c}$ (1)
Celková zkratová impedance [p.u.]	$z_c = z_G + z_V = (r_{st} + jx_d'') + (r_v + jx_v)$ (2)
Nárazový zkratový proud [A]	$I_p = \kappa * \sqrt{2} * I_k''$ (3)
Součinitel κ [-]	$\kappa = 1{,}02 + 0{,}98 * e^{-3*R/X}$ (4)

Vztažný proud [A]	I_v
Poměrná impedance generátoru [p.u.]	z_G
Poměrná impedance vedení [p.u.]	z_V
Součinitel soustavy [-]	c
Jmenovité napětí soustavy [V]	U_n
Činný odpor statoru generátoru [p.u.]	r_{st}
Rázová reaktance generátoru [p.u.]	x_d''
Činný odpor vedení [p.u.]	r_v
Reaktance vedení [p.u.]	x_v
Poměr čin. a jal. složky zkrat imped. [-]	R/X

Součinitel **c** je roven hodnotě 1,05 pro soustavu nízkého napětí (Un = 100V až 11kV), které mají dovolenou toleranci napětí + 6%. Při neznámém činném odporu

statoru generátoru R_{st}, lze použít fiktivní resistanci R_{Gf}. Pro generátory s jmenovitým napětím na svorkách menším než 1000V, platí podle normy [15] vztah $R_{Gf} = 0{,}15\ X_d''$. Poměr R/X v místě zkratu (tab. 6.2 - vzorec 4) se vypočte z výsledné výpočtové impedance v místě zkratu. Tato hodnota se vynásobí „bezpečnostním" součinitelem $K_b = 1{,}15$. Tento součinitel se nepoužije, pokud R/X všech větví je menší než 0,3. Výsledná hodnota se omezuje horní hranicí 1,8 při zkratu v síti nn a 2,0 v sítích vysokého napětí. [16]

Přepočet parametrů:

$X_d'' = 0{,}12\ p.u.$

$R_{Gf} = 0{,}15 * X_d'' = 0{,}15 * 0{,}12 = 0{,}018\ \Omega$

$$R_v = \frac{R_{kab}}{1000} * d_{kab} = \frac{0{,}075}{1000} * 50 = 0{,}00375\ \Omega$$

$$X_v = 2 * \pi * f * L_v = 2 * \pi * 50 * \frac{L_{kab}}{1000} * d_{kab} =$$

$$= 100 * \pi * \frac{0{,}445 * 10^{-3}}{1000} * 50 = 0{,}00699\ \Omega$$

Převod do vztažných veličin:

$Sv = 1250 * 10^3 VA$

$U_v = 400\ V$

$$I_v = \frac{S_v}{\sqrt{3} * U_v} = \frac{1250 * 10^3}{\sqrt{3} * 400} 1804{,}2\ A$$

$$x_d'' = X_d'' * \frac{{U_n}^2}{S_{gn}} * \frac{S_v}{{U_v}^2} = 0{,}12 * \frac{400^2}{1250 * 10^3} * \frac{1250 * 10^3}{400^2} = 0{,}12\ p.u.$$

$$r_{Gf} = R_{Gf} * \frac{S_v}{{U_v}^2} = 0{,}018 * \frac{1250 * 10^3}{400^2} = 0{,}14\ p.u.$$

$$x_v = X_v * \frac{S_v}{{U_v}^2} = 0{,}00699 * \frac{1250 * 10^3}{400^2} = 0{,}055\ p.u.$$

$$r_v = R_v * \frac{S_v}{{U_v}^2} = 0{,}00375 * \frac{1250 * 10^3}{400^2} = 0{,}029\ p.u.$$

Dosazení do vztahu (tab. 6.2 - 2):

$$|z_c| = \left(r_{Gf} + jx_d''\right) + (r_v + jx_v) = (0{,}14 + j0{,}12) + (0{,}029 + j0{,}055) = 0{,}243\ p.u.$$

Výpočet poměru činné a jalové zkratové impedance:

$$\frac{R}{X} = \frac{r_{Gf} + r_v}{x_d'' + x_v} * K_b = \frac{0{,}14 + 0{,}029}{0{,}12 + 0{,}055} * 1{,}15 = 1{,}11$$

Dosazení do vztahu (tab. 6.2 - 1):

$$I_{kG}'' = \frac{\mathrm{I_v}}{|z_c|} = \frac{1804{,}2}{0{,}243} = \mathbf{7424{,}7\ A}$$

Dosazení do vztahu (tab. 6.2 - 4):

$$\kappa = 1{,}02 + 0{,}98 * e^{-3*R/X} = 1{,}02 + 0{,}98 * e^{-3*1{,}11} = 1{,}055$$

Dosazení do vztahu (tab. 6.2 - 3):

$$I_{pG} = \kappa * \sqrt{2} * I_{kG}'' = 1{,}055 * \sqrt{2} * 7424{,}7 = \mathbf{11077{,}6\ A}$$

b) ***příspěvek zkratového proudu z asynchronních motorů***

Tab. 6.3 Vzorce pro výpočet zkratových poměrů u asynchronních motorů [16]

Impedance ekvivalentních asynchr. motorů [Ω]	$\lvert Z_m \rvert = \frac{1}{i_z} * \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} * I_{rM}}$ (5)

Záběrný proud motoru [-] [12]	i_z
Součet jmen. proudu motorů ve skupině (viz příloha 1) [A]	I_{rM}
Jmenovité napětí na svorkách [V]	U_{rM}

Dosazení do vztahu (tab. 6.3 - 5):

$$|Z_m| = \frac{1}{i_z} * \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} * I_{rM}} = \frac{1}{10} * \frac{400}{\sqrt{3} * 882} = 0{,}0262\ \Omega$$

$$z_m = |Z_m| * \frac{S_v}{{U_v}^2} = 0{,}0262 * \frac{1250 * 10^3}{400^2} = 0{,}205\ p.u.$$

Dosazení do vztahu (tab. 6.2 - 1):

$$I_{kM}'' = \frac{\mathrm{I_v}}{|z_m|} = \frac{1804{,}2}{0{,}205} = \mathbf{8800\ A}$$

Dosazení do vztahu (tab. 6.2 - 4):

S dostatečnou přesností je možno brát poměr $^{R}/_{X}$, podle normy [2], kde $^{R}/_{X} = 0{,}42 * K_b = 0{,}483$

$$\kappa = 1{,}02 + 0{,}98 * e^{-3*{}^{R}/_{X}} = 1{,}02 + 0{,}98 * e^{-3*0{,}483} = 1{,}25$$

Dosazení do vztahu (tab. 6.2 - 3):

$$I_{pM} = \kappa * \sqrt{2} * I_{kM}'' = 1{,}25 * \sqrt{2} * 8800 = \mathbf{15557\ A}$$

Součet příspěvků zkratu:

$$I_k'' = I_{kG}'' + I_{kM}'' = 7424 + 8800 = \mathbf{16224\ A} = 16{,}2\ \mathrm{kA}$$

$$I_p = I_{pG} + I_{pM} = 11077{,}6 + 15557 = \mathbf{26635A} = 26{,}6\ \mathrm{kA}$$

Výsledný počáteční souměrný rázový zkratový proud, ani nárazový zkratový proud nepřevyšuje dovolené hodnoty zkratové odolnosti přístrojů a zařízení na záskokové sběrně. Při výpočtech zkratů jsem vycházel z normy [2] a materiálů přednášky [3]. Příspěvek zkratového proudu od externího motorgeneráru je omezen tavnými pojistkami. Z vypočtených hodnot je patrné, že vzhledem k zkratovým poměrům není třeba dále ověřovat charakteristiky jisticích prvků.

7. ZÁVĚR

Ve své diplomové práci jsem se zaměřil na dimenzování nouzového zdroje pro start teplárenského bloku ze tmy. Při zpracování jsem vycházel jak z teoretických znalostí, tak ze znalostí získaných během konzultací s odborníky z provozu.

Na začátku své práce popisuji příčiny a následky výpadků dodávek elektrické energie doplněné o skutečné události, které mají upozornit na aktuálnost této problematiky. Dále se zaměřuji na českou přenosovou soustavu, její provázanost s okolními zeměmi a plánem obnovy dodávek elektřiny v případě „blackoutu“. Jako výhodu naší elektrizační sítě uvádím velké množství malých a středních zdrojů elektrické energie, z nichž většinu tvoří uhelné elektrárny a teplárny. To je také důvodem, proč se tímto tématem zabývat. Zaměřuji se na způsob bezpečného připojení mobilního zdroje k objektu, kdy vycházím z platných norem a zkušeností expertů z praxe.

V dalším celku se specializuji na konkrétní aplikaci mobilního zdroje v Teplárně Přerov, kde byl již v minulém roce proveden úspěšný start ze tmy ve spolupráci firem provozující teplárnu a dodavatelem motorgenerátorů. Dále popisuji funkce a důležitost technologií teplárny pro její provoz, kdy znalost těchto mechanismů usnadní návrh. Samozřejmě se zaměřuji především na elektrické schéma teplárny a požadavky na spolehlivý provoz. Po celou dobu práce jsem vycházel z harmonogramu sledu nájezdu pohonů. Pro návrh jsou klíčové především parametry týkající se výkonu, způsobu spouštění, zatěžovací charakteristiky a průběhu zatížení. Většinu těchto informací jsem získal během osobní exkurze a konzultace v teplárně.

V poslední části své diplomové práce se zabývám vlastním výběrem motorgenerátoru. Vstupními údaji pro návrh jsou parametry zátěží a nastavené limitní hodnoty ochran záskokové sběrny. Vytvořil jsem několik variant dimenzování s ohledem na dovolený pokles napětí a frekvence. V prvních třech návrzích uvažuji skladbu spotřebičů jako při provedeném zkušebním startu. Jednotlivé varianty se liší podle dovoleného poklesu napětí a frekvence na sběrnici, od toho se také odvíjí potřebný výkon motorgenerátoru.

V dalších variantách s označením čtyři, pět, šest jsem provedl návrh s napájením největšího spotřebiče přes soft startér. Výsledky ukazují, že tímto opatřením se sníží nároky na generátor až o 37%. U varianty číslo sedm jsem do návrhu zahrnul soft startér pro první a druhý nejvýkonnější pohon. Podle výsledků vychází stejný výkon

generátoru jako v předešlém případě. Zařazením dalšího spouštěcího zařízení (soft startéru) se spolehlivost nájezdu pohonu snižuje. Stávající technologie takové vybavení nepotřebuje, ale pokud bude „black start“ teplárny nabídnut jako služba přenosové společnosti, pak by investice do zařízení byla nezbytná.

V posledním návrhu předpokládám nájezd teplárny trvající déle než šest hodin. Omezení je způsobeno nedostatečnou zásobou přečištěné technologické vody, proto je nezbytné během najíždění spustit přídavné pohony chemické úpravny vody. Předpokládaný potřebný výkon generátoru je proto vyšší než u první varianty. Parametry navrženého generátoru jsem dále použil pro kontrolní výpočet zkratových poměrů na záskokové sběrně. Z mých výpočtů vychází, že jmenovitá zkratová schopnost ochranných přístrojů a zařízení v instalaci není překročena.

Pro návrh nelze stanovit jednoznačné podmínky, vše závisí na výchozím stavu technologií (zahřátá/studená turbína, druh paliva atd.), nelze vycházet ze štítkových hodnot spotřebičů (výkon ovlivněn stářím, rekonstrukcemi), mohou se vyskytnout další neočekávané problémy (nedostatek technologické vody a podobně). Všechny tyto nepředvídatelné události je nutné brát v úvahu a při výběru uvažovat nejnepříznivější podmínky, proto bych vybral navrhovanou variantu číslo osm s motorgenerátorem: model C32, v režimu Stanby, s jmenovitým výkonem 1000 EkW / 1250 kVA, s předpokládaným maximální poklesem frekvence 6,3% a napětí 15% (viz příloha č. 8, 9).

V tomto roce bude uskutečněn „black start“ teplárny v Olomouci. Během této akce bude opět simulován nouzový stav bezproudé přenosové soustavy. Nouzovým zdrojem pro nájezd teplárny v Olomouci nebude v tomto případě motorgenerátor, ale nedaleká Teplárna Přerov. Tímto pokusem bude ověřena proveditelnost rozšiřování ostrovního napájení. Každá z těchto zkoušek musí být pečlivě připravena, důvodem jsou náklady na palivo a ušlý zisk společnosti. Výsledkem je certifikát o úspěšném provedení zkoušky. Později může být certifikovaná služba nabídnuta společnosti ČEPS, a.s. zajišťující přenos a rozvod elektrické energie v České republice.

POUŽITÁ LITERATURA:

[1] Čapek Jan, Kuchta Karel. Nouzové napájení budov elektrickou energií. Časopis Elektro [online]. 16.3.2010, roč. 2010, č.10, [cit. 2015-1-15]. Dostupné na WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/nouzove-napajeni-budov-elektrickou-energii--10641>

[2] Žáček Jaroslav. Zdroje nepřerušovaného napájení. Časopis Elektro [online]. datum vydání neuveden. [cit.2015-2-17] Dostupné na WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz /elektro/casopis/tema/zdroje-neprerusovaneho-napajeni-ups--15062>

[3] K596 Michal. Sítě nízkého napětí. Sborník L.P.Elektro č.53 [online]. 2.10.2012, [cit.2015-2-10]. Dostupné na WWW: <http://elektrika.cz/data/clanky/site-tn>

[4] Máslo Karel. Příčiny a následky velkých výpadků v dodávkách elektřiny. Časopis Elektro [online]. datum vydání neuveden.[cit. 2015-3-1]. Dostupné na WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/priciny-a-nasledky-velkych-vypadku-v-dodavkach-elektriny-26794.html>

[5] Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2013, vydáno: Oddělením statistiky a sledování kvality ERÚ, Praha 2014. Dostupné na WWW: <http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2013.pdf/20c3f587-a658-49f7-ace9-56be8a66b7b9>

[6] Kuchta Karel, Nový František, Urban Ivan, Wrana Pavel. Příručka energetika, firemní literatura Phoenix Zeppelin. Praha, 51s.

[7] Elektrické instalace nízkého napětí, část 5-55: Výběr a stavba elektrických zařízení - ČSN 33 2000-5-551, článek 551: Nízkonapěťová zdrojová zařízení. září 2010, [cit.2015-1-15]

[8] ČEPS, a.s. Kodex přenosové soustavy č.5, Bezpečnost provozu a kvalita na úrovni přenosové soustavy. [online]. 1.2014, [cit.2015-3-2]. Dostupné na WWW:< http://www.eru.cz/documents/10540/479698/CV_k_prip.pdf/2f28f90c-30aa-4040-85a6-053fd4fe3048>

[9] Bouček Stanislav, Dočekal Antonín. Skripta Elektrárny 2. 1995, Praha, vydavatelství ČVUT

[10] Doležal Jaroslav, Šťastný Jiří, Špetlík Jan, Bouček Stanislav, Brettschneider Zbyněk. Jaderné a klasické elektrárny. Praha,vydavatelství ČVUT,2011. 259s. ISBN 978-80-01-04936-5

[11] Katalog firmy Danfoss, 1.2015, [cit.2015-4-26]. Dostupné na WWW: <http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/6C5F0F7E-6E9E-40A3-957E-3E80265FB1BF/0/VLTMCDSoftStarterBrochurePB06C102.pdf>

[12] Katalog a web firmy Siemens, s.r.o., 1.2015, [cit.2015-4-27]. Dostupné na WWW:

<http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data_files/katalogy/d81_1/cat_d-81-1_2013_cz.pdf>

[13] Pravidla provozování distribučních soustav, příloha 3 - Kvalita napětí v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení, zpracovatel: Provozovatelé distribučních soustav. [online]. 11.2011, [cit.2015-4-28]. Dostupné na WWW:< http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2011/ppds-2011_priloha-3.pdf >

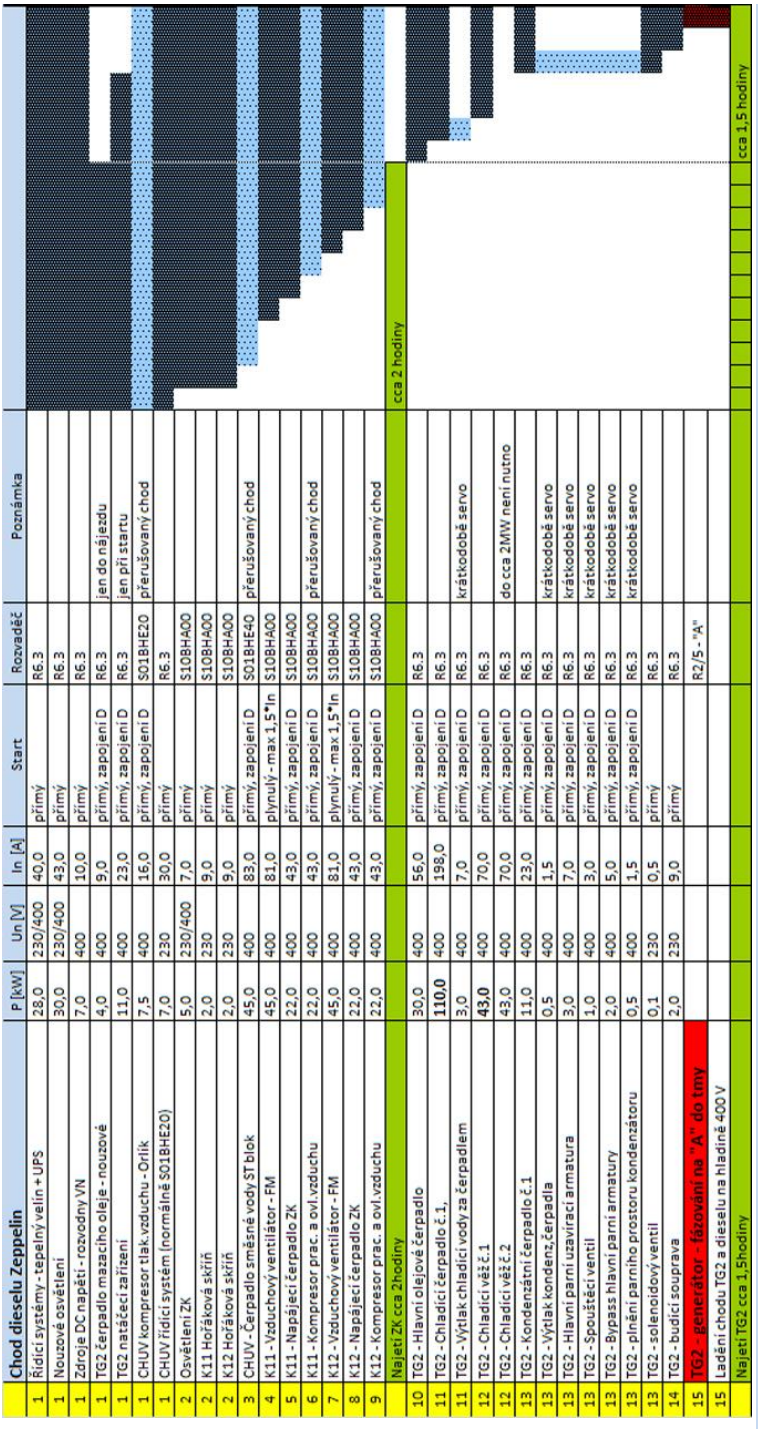
[14] Katalog firmy NKT Holding A/S, 1.2015, [cit.2015-5-3]. Dostupné na WWW: <http://www.nktcables.com/~/media/Files/NktCables/Products/CZ/LV%20cables/NYY.pdf>

[15] Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Část 0: Výpočet proudů - ČSN EN 60909-0 (33 3022):2002, článek 5.3.1.1: Počáteční rázový zkratový proud. leden 2003, [cit. 2015- 5-3]

[16] Vokál Josef, Výpočty zkratů v technické praxi [online]. FEL CVUT, 2012. Dostupné naWWW: <https://www.powerwiki.cz/attach/PrilohyVyuka/Vok_%20zkraty_%20prednaskaFEL.pdf >

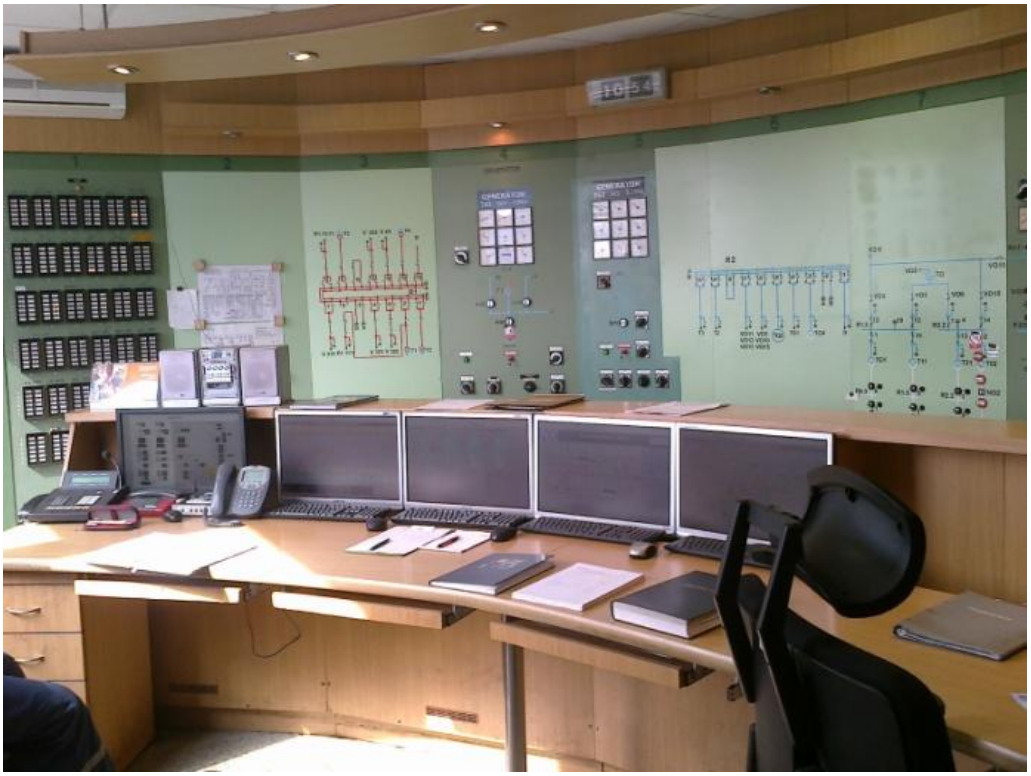
SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha	Název / Zdroj	Strana
č. 1	Harmonogram startu Teplárny Přerov / VE.	69
č. 2	Řídící místnost Teplárny Přerov / VE	70
č. 3	Čerpadlo chladicí vody TG2 / VE	70
č. 4	Blokový transformátor T2 pro TG2 / VE	71
č. 5	Umístění motorgenerátoru CAT v areálu teplárny / VE	71
č. 6	Přehled motorgenerátorů Zeppelin 2015 / VE	72
č. 7	Chemická úpravna vody v areálu teplárny / MI	72
č. 8	Ukázka protokolu o návrhu z programu Spec Sizer / MI	73
č. 9	Část protokolu o návrhu motorgenerátoru varianta / MI	74



	Chod dieselu Zeppelin	P [kW]	Un [V]	In [A]	Start	Rozvaděč	Poznámka
1	Řídicí systémy - tepelný velín + UPS	28,0	230/400	40,0	přímý	R6.3	
1	Nouzové osvětlení	30,0	230/400	43,0	přímý	R6.3	
1	Zdroje DC napětí - rozvodny VN	7,0	400	10,0	přímý	R6.3	
1	TG2 čerpadlo mazacího oleje - nouzové	4,0	400	9,0	přímý, zapojení D	R6.3	jen do nájezdu
1	TG2 natáčecí zařízení	11,0	400	23,0	přímý, zapojení D	R6.3	jen při startu
1	CHUV kompresor tlak.vzduchu - Orlík	7,5	400	16,0	přímý, zapojení D	S01BHE20	přerušovaný chod
1	CHUV řídicí systém (normálně S01BHE20)	7,0	230	30,0	přímý	R6.3	
2	Osvětlení ZK	5,0	230/400	7,0	přímý	S10BHA00	
2	K11 Hořáková skříň	2,0	230	9,0	přímý	S10BHA00	
2	K12 Hořáková skříň	2,0	230	9,0	přímý	S10BHA00	
3	CHUV - Čerpadlo směsné vody ST blok	45,0	400	83,0	přímý, zapojení D	S01BHE40	přerušovaný chod
4	K11 - Vzduchový ventilátor - FM	45,0	400	81,0	plynulý - max 1,5*In	S10BHA00	
5	K11 - Napájecí čerpadlo ZK	22,0	400	43,0	přímý, zapojení D	S10BHA00	
6	K11 - Kompresor prac. a ovl.vzduchu	22,0	400	43,0	přímý, zapojení D	S10BHA00	přerušovaný chod
7	K12 - Vzduchový ventilátor - FM	45,0	400	81,0	plynulý - max 1,5*In	S10BHA00	
8	K12 - Napájecí čerpadlo ZK	22,0	400	43,0	přímý, zapojení D	S10BHA00	
9	K12 - Kompresor prac. a ovl.vzduchu	22,0	400	43,0	přímý, zapojení D	S10BHA00	přerušovaný chod
	Najetí ZK cca 2hodiny						cca 2 hodiny
10	TG2 - Hlavní olejové čerpadlo	30,0	400	56,0	přímý, zapojení D	R6.3	
11	TG2 - Chladicí čerpadlo č.1,	**110,0**	400	198,0	přímý, zapojení D	R6.3	
11	TG2 - Výtlak chladicí vody za čerpadlem	3,0	400	7,0	přímý, zapojení D	R6.3	krátkodobě servo
12	TG2 - Chladicí věž č.1	**43,0**	400	70,0	přímý, zapojení D	R6.3	
12	TG2 - Chladicí věž č.2	43,0	400	70,0	přímý, zapojení D	R6.3	do cca 2MW není nutno
13	TG2 - Kondenzační čerpadlo č.1	11,0	400	23,0	přímý, zapojení D	R6.3	
13	TG2 - Výtlak kondenz,čerpadla	0,5	400	1,5	přímý, zapojení D	R6.3	krátkodobě servo
13	TG2 - Hlavní parní uzavírací armatura	3,0	400	7,0	přímý, zapojení D	R6.3	krátkodobě servo
13	TG2 - Spouštěcí ventil	1,0	400	3,0	přímý, zapojení D	R6.3	krátkodobě servo
13	TG2 - Bypass hlavní parní armatury	2,0	400	5,0	přímý, zapojení D	R6.3	krátkodobě servo
13	TG2 - plnění parního prostoru kondenzátoru	0,5	400	1,5	přímý, zapojení D	R6.3	krátkodobě servo
13	TG2 - solenoidový ventil	0,1	230	0,5	přímý	R6.3	
14	TG2 - budicí souprava	2,0	230	9,0	přímý	R6.3	
15	**TG2 - generátor - fázování na "A" do tmy**					R2/5 - "A"	
15	Laděni chodu TG2 a dieselu na hladině 400 V						
	Najetí TG2 cca 1,5hodiny						cca 1,5 hodiny

Příloha č.1 Harmonogram spouštění pohonů



Příloha č.2 Řídící místnost Teplárny Přerov

Příloha č.3 Čerpadlo chladicí vody TG2 (110 kW, D 400V, 1000 ot/min)

Příloha č.4 Blokový transformátor T2 pro TG2

Příloha č. 5 Umístění motorgenerátoru CAT v areálu teplárny

Typ	Provoz	Výkon		ELEKTROCENTRÁLA													
				Objem motoru	Počet válců	Regulace otáček	Jmenovitý proud	Jistič (Deion)	Objem palivové nádrže	Spotřeba paliva 100% zátěž	Spotřeba paliva 75% zátěž	Spotřeba paliva 50% zátěž	Délka	Šířka	Výška	Hmotnost vč. náplní (bez paliva)
		kVA	kW	l			A	A	l	l/h	l/h	l/h	mm	mm	mm	kg
3412C	STBY	900	720,0	27,02	V 12	PEEC-CAT	1299	1600	1200	191,7	143,7	99,6	4 485	1 742	1 987	5 748
	PRIME	810	658,0				1187			171,7	130,4	90,9				
C 32	STBY	1 100	880,0	32,1	V 12	ADEM A4	1588	1600		243	183,9	126	4 234	2 010	2 174	7 395
	PRIME	1 000	800,0				1443			224,1	168	115,1				
C 32	STBY	1 250	1000,0	32,1	V 12	ADEM A4	1804	1600		252,4	185,5	128,3	4 334	2 010	2 174	
	PRIME						0									
3512	STBY	1 250	1000,0	51,8	V 12	Woodward	1804	2000		259,8	199,9	138,8	5 149	1 975	2 367	11 280
	PRIME	1 150	920,0				1660			241,8	185,2	129,1				
3512	STBY	1 400	1120,0	51,8	V 12	Woodward	2021	2500		297,8	225,1	156,5	5 249	1 975	2 367	11 480
	PRIME	1 275	1020,0				1840			264,6	203,2	140,8				
3512B	STBY	1 500	1200,0	51,8	V12	ADEM 3	2165	2500		331,5	247,5	167,2	5 249	1 975	2 367	11 605
	PRIME	1 360	1088,0				1963			298,7	224,7	153,9				
3512B	STBY	1 600	1280,0	51,8	V 12	ADEM 3	2309	2500		354,1	262,8	176,5	5 358	1 975	2 367	12 218
	PRIME	1 500	1200,0				2165			354,1	262,8	176,5				
3512B-HD	STBY	1 750	1400,0	58,56	V 12	ADEM 3	2526	3200		371,7	280,4	193,2	5 469	2 286	2 367	14 520
	PRIME	1 600	1260,0				2273			334,6	252,8	172,2				

Příloha č. 6 Přehled motorgenerátorů Zeppelin 2015

Příloha č. 7 Chemická úpravna vody v areálu teplárny

CATERPILLAR

Project Sizing Report

Price List: EAME/CIS

Modified Date	27-Apr-2015	**Electricity Supply**	50 Hz 400/230 V
Customer Name	Veolia Energie a.s.	**Connection**	STAR
Project Name/Ref #	CONV 10/15 expansion 20 s CHUV	**Max. Ambient Temperature**	30.0 C
Prepared By	Martin I.	**Altitude**	210.0 M.A.S.L.

Load Analysis Summary

Max Transient Load Step	1,050.1 SkVA	401.6 SkW	
Peak Transient Load	1,434.2 SkVA	1,002.1 SkW	
Final Running Load	936.5 kVA	828.8 kW	0.88 PF
Max Running Non Linear Load			
Maximum Running Load	936.5 kVA	828.8 kW	

Generator Set

Genset Model	(1) of C32	**Nameplate Rating**	1,000.0 kW / * 1,250.0 kVA
Voltage Regulator and Slope	CDVR, 2:1 slope	**Without Fan**	0.8 PF
Feature Code	C32DR44	**Site Output**	1,000.0 kW / 1,250.0 kVA
Fuel	Diesel	**Rating Type**	Standby
Dry Weight	0.0		
Length / Width / Height	0.00mm / 0.00mm / 0.00mm		
Sizing Method	Conventional		

Alternator Motor Starting Capability *		Block Load (only) Transient Response *			
Instantaneous Voltage Dip ***	**skVA Capability**	**Load Change %**	**FDip %**	**VDip %**	**Recovery Time (sec)**
10%	794	**0 - 25**	4.1	7.0	< 3
20%	1,786	**0 - 50**	8.1	14.7	< 3
30%	3,061	**0 - 75**	12.5	23.1	< 3
35%	3,846	**0 - 100**	18.8	35.1	3.7

Engine Technical Data at 100% Rated Load

Make/Model	C32	**Emissions/Certifications**	LOW BSFC
Aspiration	TA	**Governor**	
Cylinder Configuration	VEE - 12	**Aftercooler Type**	ATAAC
Displacement	32 Liter	**Rejection To Jacket Water**	340 kW
Speed	1500 RPM	**Rejection To Aftercooler**	241 kW
Fuel Rate	252.3 lph	**Rejection To Oil Cooler**	134 kW
Exhaust Sound Level	0 dBA at 23 ft/7 m	**Rejection To Atmosphere**	139 kW
Mechanical Sound Level	0 dBA at 23 ft/7 m	**Rejection To Exhaust**	871 kW
Max Combustion Inlet Air Temp	49.0 C	**Exhaust Recoverable**	464 kW
Combustion Airflow	74.2 m3/min	**Exhaust Stack Temperature**	465 C
Cooling System Ambient Capability	50.0 C	**Exhaust Flow Rate**	192.9 m3/min
Cooling System Airflow **	825 m3/min	**Exhaust Flange Size**	0 mm
Engine Performance Number	EM0679		

Alternator Technical Data

Alternator Arrangement Number	4496316	**Insulation**	H
Alternator Type / Frame Size	SR5 / 1445	**Temperature Rise**	125 C
Alternator Winding Pitch	0.6700	**Rejection To Atmosphere**	48.2 kW
Number Of Poles	4	**Peak Amps / Rated Amps**	**** / 1,804.2
Excitation / Winding Type	IE / RANDOM	**Short Circuit Ratio**	0.3800

Reactances		**per unit**	**ohms**	**Generator Time Constants**		**sec**
Subtransient - Direct Axis	X"d	0.1200	0.0200	**Open Circuit Transient - Direct Axis**	T'd0	2.7200
Subtransient - Quadrature Axis	X"q	0.1400	0.0200	**Short Circuit Transient - Quadrature Axis**	T'd	0.1800
Transient - Saturated	X'd	0.2300	0.0300	**Open Circuit Subtransient - Direct Axis**	T"d0	0.0300
Synchronous - Direct Axis	Xd	3.3800	0.4300	**Short Circuit Subtransient - Direct Axis**	T"d	0.0200
Synchronous - Quadrature Axis	Xq	2.0200	0.2600	**Open Circuit Subtransient - Quadrature Axis**	T"q0	0.2500
Negative Sequence	X2	0.1300	0.0200	**Short Circuit Subtransient - Quadtrature Axis**	T"q	0.0200
Zero Sequence	X0	0.0300	0.0000	**Armature Short Circuit**	TA	0.0300

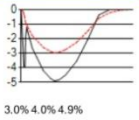
Příloha č. 8 Část protokolu o návrhu motorgenerátoru varianta č. 8 viz tab. 6.1.2

CATERPILLAR

Project Load Report

Modified Date	27-Apr-2015	Rating Type	Standby	Max Ambient Temperature	30 Deg. C
Customer Name	Veolia Energie a.s.	Fuel	Diesel	Altitude	210.0 M.A.S.L.
Project Name/ Ref #	CONV 10/ 15 expansion 20 s CHUV	Electricity Supply	50 Hz 400/ 230 V		
Prepared By	Martin I.				

Load Details			Permitted Dip		Predicted Dip		Load Analysis										
Load Step		Load Description	Frequency	Voltage	Frequency	Voltage	Transient Inrush SkVA	Transient Inrush SkW	Running kVA	Running kW	Resultant Peak SkVA	Resultant Peak SkW	Cumulative Running kVA	Cumulative Running kW	Fdip:	Vdip 1:	Vdip 2:
Step 1			Selection Criteria: Step Passed														
1.1	1	Office Equipment, Distr. 3-Phase	10%	15%			31.1	28.0	31.1	28.0							
1.2	1	Fluorescent Lighting, Distr. 3-Phase	10%	15%			40.0	30.0	31.6	30.0							
1.3	1	7.00 kW - Zdroj DC (signalizace, ochrany) Battery Charger, 3-Phase, 6 Pulse	10%	15%			7.8	7.0	7.8	7.0							
1.4	1	IEC, Centrifugal Pump, Direct On Line, Unloaded, Single Operating Point	10%	15%			41.4	23.2	5.9	4.7							
1.5	1	IEC, 3-Phase Motor, Direct On Line, Loaded, Single Operating Point	10%	15%			103.0	58.7	14.9	12.4							
1.6	1	8.00 kW - Kompresor IEC, 3-Phase Motor, Direct On Line, Intermittent, Unloaded, Single Operating Point	10%	15%			103.0	49.9	10.8	9.0							
1.7	1	Office Equipment, Distr. 3-Phase	10%	15%			7.8	7.0	7.8	7.0							
		Step 1 Total	10%	15%	3.0%	4.9%	327.1	203.8	109.2	98.1							
		Total Through Step 1									327.1	203.8	109.2	98.1			



Příloha č. 9 Část protokolu o návrhu motorgenerátoru varianta č. 8 viz tab. 6.1.2