

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**NÁVRH VARIANT BUZENÍ
SYNCHRONNÍHO GENERÁTORU**

2024

**VÍT
MACHALICKÝ**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Machalický Jméno: Vít Osobní číslo: 469849
Fakulta/ústav: Fakulta elektrotechnická
Zadávací katedra/ústav: Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Specializace: Management energetiky a elektrotechniky

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh variant buzení synchronního generátoru

Název diplomové práce anglicky:

Design of synchronous generator excitation variants

Pokyny pro vypracování:

1. Popište různé varianty buzení synchronního generátoru.
2. Navrhněte různé varianty buzení synchronního generátoru.
3. Analyzujte technické a ekonomické důsledky daných variant.
4. Vyhodnoťte ekonomickou efektivnost jednotlivých variant.

Seznam doporučené literatury:

Voženílek P., Novotný V., Mindl P.: Elektromechanické měniče. Praha ČVUT 2007.
Kobrlík P., Pavelka J.: Elektrické pohony a jejich řízení. Praha ČVUT 2016.
Doležal J. a kol.: Jaderné a klasické elektrárny. Praha ČVUT 2011.
Brealey R., Myers S., Allen F., Edmans A.: Principles of Corporate Finance, 14th edition, McGraw-Hill Education 2022, ISBN 1285074151.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Martin Beneš, Ph.D. katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: 08.02.2024 Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: 21.09.2025

Ing. Martin Beneš, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

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 24. května 2024

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mi pomohli s realizací této diplomové práce.

Především bych rád vyjádřil vděčnost mému vedoucímu práce panu Ing. Martinu Benešovi, Ph.D., za jeho cenné rady, připomínky a podporu po celou dobu zpracování práce.

Velké díky patří i mé rodině a přátelům za jejich trpělivost a podporu během studia.

V neposlední řadě bych rád poděkoval všem, kteří se jakýmkoliv způsobem podíleli na mém vzdělání a pomohli mi dojít až k tomuto bodu.

ABSTRAKT:

Diplomová práce se zabývá problematikou buzení synchronních generátorů ve vodních elektrárnách. Cílem práce je provést komplexní analýzu a porovnání jednokanálového a dvokanálového rozvaděče regulátoru buzení synchronního generátoru s důrazem na technické aspekty, investiční a provozní náklady a regulační vlastnosti obou variant.

KLÍČOVÁ SLOVA:

vodní elektrárna, synchronní generátor, AVR, buzení, budicí systém, regulátor buzení, bezkartáčová budicí souprava, jednokanálový rozvaděč buzení, dvokanálový rozvaděč buzení, spolehlivost, investiční náklady, provozní náklady, optimalizace

ABSTRACT:

The thesis deals with the problem of excitation of synchronous generators in hydroelectric power plants. The aim of the thesis is to perform a comprehensive analysis and comparison of single-channel and dual-channel synchronous generator excitation controller with emphasis on technical aspects, investment and operating costs and control characteristics of both variants.

KEYWORDS:

hydroelectric power plant, synchronous generator, AVR, excitation, excitation system, excitation controller, brushless excitation set, single channel excitation switchgear, dual channel excitation switchgear, reliability, investment cost, operating cost, optimization

OBSAH

ÚVOD.....	11
KAPITOLA 1: SYNCHRONÍ GENERÁTOR.....	13
1.1 ÚVOD PRO SYNCHRONNÍ GENERÁTORY	13
1.2 PRINCIP ČINNOSTI ALTERNÁTORU	14
1.3 FÁZOVÁNÍ SYNCHRONNÍHO GENERÁTORU	15
KAPITOLA 2: MATEMATICKÝ POPIS BUZENÍ SYNCHRONNÍHO STROJE.....	16
KAPITOLA 3: DRUHY BUZENÍ	19
3.1 STATICKÉ BUZENÍ	19
3.2 BEZKARTÁČOVÉ BUZENÍ	21
3.3 DALŠÍ TYPY	23
3.3.1 Budicí systémy s AC budiči.....	23
3.3.2 Budicí systémy s DC budičem.....	23
KAPITOLA 4: KONSTRUKCE ROZVADĚČE BUZENÍ.....	24
4.1 SILOVÁ ČÁST	24
4.2 MĚŘICÍ ČÁST	26
4.3 OVLÁDACÍ ČÁST	27
KAPITOLA 5: POŽADAVKY NA MODERNÍ BUDÍCÍ SYSTÉMY	29
5.1 REGULACE.....	29
5.1.1 PQ diagram	29
5.1.2 Regulace budícího proudu	31
5.1.3 Regulace napětí.....	31
5.1.4 Regulace jalového výkonu (Regulace Q).....	31
5.1.5 Regulace $\cos \varphi$	32
5.2 SPOLEHLIVOST	33
5.3 ODBUZENÍ STROJE.....	34
5.4 LIMITORY	34
KAPITOLA 6: ROZDÍL MEZI JEDNOKANÁLOVÝM A DVOUKANÁLOVÝM BUZENÍM.....	36
6.1 JEDNOKANÁLOVÝ ROZVADĚČ BUZENÍ	36
6.2 DVOUKANÁLOVÝ ROZVADĚČ BUZENÍ	36
KAPITOLA 7: EKONOMICKÉ HODNOCENÍ PROJEKTU.....	38
7.1 ČISTÁ SOUČASNÁ HODNOTA.....	38
7.1.1 Princip metody NPV (Net Present Value)	38
7.1.2 Interpretace NPV:	38
7.1.3 Výhody a nevýhody použití NPV	39
7.2 VNITŘNÍ VÝNOSOVÉ PROCENTO.....	40
7.2.1 Princip metody IRR (internal rate of return).....	40
7.2.2 Interpretace výsledku IRR:	40
7.2.3 Výhody a nevýhody použití IRR	41
7.3 ANALÝZA CITLIVOSTI.....	41
7.3.1 Postup provádění citlivostní analýzy:	42
KAPITOLA 8: EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANT BUZENÍ	43
8.1 EKONOMICKÉ PŘEDPOKLADY PRO HODNOCENÍ VARIANT BUZENÍ	43

8.1.1	Investiční náklady	43
8.1.2	Samotný rozvaděč	44
8.1.3	Práce servisního technika	45
8.1.4	Ekonomická životnost	46
8.1.5	Cena elektřiny	47
8.1.6	Diskont	49
8.1.7	Inflace.....	51
8.1.8	Daně	51
8.2	TECHNICKÉ POPIS A PŘEDPOKLADY PRO HODNOCENÍ VARIANT BUZENÍ.....	52
8.2.1	Popis elektrárny.....	52
8.2.2	Parametry generátoru	52
8.2.3	Parametry buzení.....	53
8.2.4	Výkon v průběhu roku	53
8.2.5	Spolehlivost.....	53
8.3	VÝPOČTY	55
8.4	VYHODNOCENÍ.....	59
8.5	CITLIVOSTNÍ ANALÝZA	60
8.5.1	Vliv diskontní sazby na NPV	60
8.5.2	Vliv výkupní ceny elektrické energie na NPV	62
8.5.3	Vliv jmenovitého výkonu generátoru na NPV	63
8.5.4	Vliv ceny servisních prací na NPV	64
KAPITOLA 9: ZÁVĚR		65
KAPITOLA 10: ZDROJE		68
10.1	ODBORNÁ LITERATURA.....	68
10.2	INTERNETOVÉ ZDROJE	68
KAPITOLA 11: SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A ZKRATEK.....		70
11.1	SEZNAM OBRÁZKŮ	70
11.2	SEZNAM TABULEK	70
11.3	SEZNAM GRAFŮ	70

ÚVOD

Vodní elektrárny mají významnou roli v moderním energetickém systému. Jsou jedním z nejdůležitějších zdrojů energie, protože zajišťují stabilní a ekologický provoz s nízkými emisemi skleníkových plynů. Srdcem vodních elektráren jsou synchronní generátory, které přeměňují mechanickou energii turbín na elektrickou energii. Pro zajištění stabilního a spolehlivého provozu vodní elektrárny a dodávky energie do sítě je nezbytné, aby synchronní generátory byly spolehlivě buzeny.

Buzení synchronních generátorů je proces dodávání stejnosměrného proudu do vinutí statoru generátoru, čímž se v generátoru indukuje střídavé napětí. Existuje několik variant systémů buzení, které se liší technologií, náklady a provozními vlastnostmi. Volba vhodné varianty buzení synchronního generátoru má významný vliv na stabilitu, spolehlivost a ekonomiku provozu vodní elektrárny.

Cílem této diplomové práce je provést analýzu a návrh variant buzení synchronního generátoru ve vodní elektrárně s důrazem na porovnání jednokanálového a dvokanálového rozvaděče regulátoru buzení.

Mám praktické zkušenosti v oblasti regulace buzení synchronních strojů. Pracuji ve společnosti zabývající se projektováním, výrobou a uváděním do provozu regulátorů buzení, fázovačů a ochran generátorů. Pracuji na pozici projektant a supervizor uvádění do provozu a díky tomu mám přímý kontakt s praktickým využitím těchto rozvaděčů v reálných elektrárnách. Díky těmto zkušenostem se mohu ve své práci věnovat problematice buzení synchronních generátorů nejen na teoretické úrovni, ale mohu do ní promítnout i praktické poznatky a zkušenosti z praxe .

Výsledkem této diplomové práce bude komplexní analýza a porovnání jednokanálového a dvokanálového rozvaděče regulátoru buzení synchronního generátoru. Navrhnou optimální variantu buzení pro konkrétní vodní elektrárnu.

Tato diplomová práce se zabývá důležitým tématem s dobrým uplatněním v praxi. Díky propojení teoretických poznatků s praktickými zkušenostmi, a také propojení technického pohledu a ekonomického pohledu na problematiku, má tato práce potenciál přinést poznatky a doporučení pro provozovatele vodních elektráren.

V této diplomové práci jsem pro analýzu a porovnání variant buzení synchronních generátorů čerpal z interních dat, která mi byla zpřístupněna se souhlasem vedení společnosti. Z důvodu zachování anonymity nemohu v práci uvést název této společnosti. Stejně tak informace o vodní elektrárně, pro

.....

kterou byly provedeny výpočty, jsem získal přímo od vedení elektrárny s příslibem, že nebudu zveřejňovat její název ani další specifické údaje. V zájmu zachování anonymity byly některé interní informace v práci mírně upraveny. Tyto úpravy byly provedeny tak, aby neměly významný dopad na konečné výsledky a závěry práce. Přestože nemohu zveřejnit konkrétní názvy a detaily, zdůrazňuji, že použité postupy a metody výpočtů jsou platné a validní. Všechny výpočty byly provedeny s maximální pečlivostí a s ohledem na dostupné informace.

KAPITOLA 1: SYNCHRONÍ GENERÁTOR

1.1 Úvod pro synchronní generátory

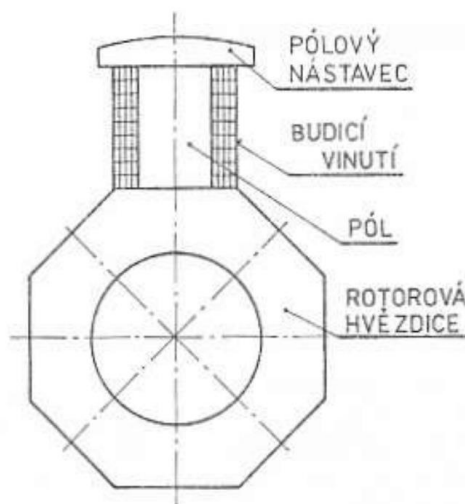
Synchronní generátor je točivý elektrický stroj, který mění mechanickou energii na střídavý proud o konstantní frekvenci a napětí. Synchronní generátory se používají v elektrárnách k výrobě elektřiny a v průmyslu k napájení motorů a dalších zařízení. V praxi se nejčastěji setkáváme s třífázovými synchronními generátory, které se nazývají alternátory. [7][8]

Synchronní generátor se skládá ze dvou hlavních částí:

1. **Stator:** Pevná část generátoru, která obsahuje statorové vinutí. Toto vinutí je tvořeno měděnými vodiči a je uspořádáno do fází (obvykle do tří fází pro trojfázový střídavý proud). Vzhledem k tomu, že se napětí indukuje ve statoru, plní stator funkci kotvy. (Kotva je součást elektromotoru nebo generátoru, ve které se indukuje napětí.) [7]
2. **Rotor:** Otočná část generátoru, která nese budící vinutí. Toto vinutí je navinuto na pólech rotoru a slouží k buzení hlavního magnetického toku stroje. Budící vinutí je napájeno stejnosměrným proudem z externího zdroje (Regulátoru buzení). [7]

Synchronní stroje se dále dělí na dva typy podle typu rotorových pólů:

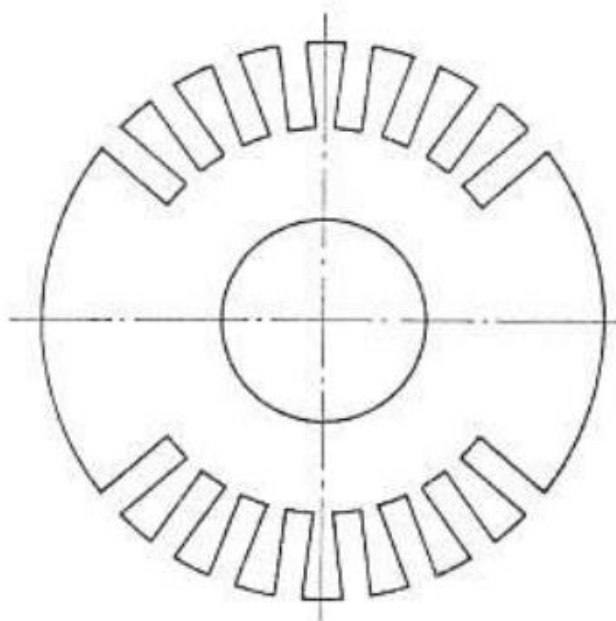
Hydroalternátory: U hydroalternátoru póly vyčnívají z rotoru. Tento design je vhodný pro pomalejší otáčky typické pro vodní turbíny. Hydroalternátory jsou navrženy pro práci s menšími otáčkami a výkony oproti jiným typům, jako jsou např. turboalternátory. [7][8]



Obrázek 1 - Řez rotoru hydroalternátoru [8]

.....

Turboalternátory: Na rozdíl od hydroalternátoru má turboalternátor hladký rotor bez vyčnívajících pólů. Tento design umožňuje provoz při vysokých otáčkách, což je důležité pro efektivní využití energie hnacího stroje (např. parní turbíny). Turboalternátory jsou navrženy pro práci s vysokými otáčkami a výkony. Díky tomu jsou vhodné pro velké tepelné elektrárny, které produkují velké množství elektrické energie. V současnosti se prakticky všechny turboalternátory vyrábějí jako dvupolové s frekvencí 50 Hz, synchronizují při otáčkách 3000 ot./min. (Bude později popsáno rovnicí). [7][8]



Obrázek 2 - Řez rotoru turbostroje [8]

1.2 Princip činnosti alternátoru

Jak již bylo řečeno, budící vinutí je napájeno stejnosměrným proudem a vytváří v rotoru magnetické pole. Rotor se otáčí díky poháněcímu stroji (nejčastěji se jedná o turbínu). Tím dochází k otáčení magnetického pole vytvářeného budícím vinutím. Vzniklé točivé magnetické pole prostupuje vinutím statoru, které je vzájemně posunuté o 120° ($1/3$ doby kmitu) a indukuje v něm střídavé napětí (matematický popis tohoto jevu je popsán v kapitole 2). Alternátor vytvoří na svorkách střídavé trojfázové napětí. Toto napětí se skládá ze tří sinusových napětí. Frekvence indukovaného napětí je úměrná otáčkám rotoru a počtu pólů alternátoru. Frekvenci indukovaného napětí popisuje následující vzorec:

$$f = \frac{p \cdot n}{60}$$

f – Frekvenci indukovaného napětí [Hz] (1-1)

p – Počet pól párů [–]

n – Otáčky stroje [min^{-1}]

[7][8]

1.3 Fázování synchronního generátoru

Aby bylo možné generátor zapojit do naší soustavy je nutné, aby došlo k jeho přifázování k síti. Připojení synchronního alternátoru k síti je komplexní proces, který vyžaduje splnění několika podmínek pro bezproblémové a bezpečné začlenění alternátoru do sítě. Tyto podmínky zahrnují:

1. Shodný sled fází: Fáze alternátoru a fáze sítě musí být ve stejném pořadí.
2. Shodná frekvence: Frekvence alternátoru se musí shodovat s frekvencí sítě.
3. Stejně vysoké napětí: Napětí alternátoru musí být shodné s napětím sítě.
4. Stejná fáze: Napětí alternátoru a napětí sítě musí být ve fázi.

V případě, že dojde k nesprávnému přifázování generátoru do sítě, mohou nastat následující problémy:

1. Proudové rázy: Odchyly od frekvence, napětí a fáze sítě vedou k proudovým rázům, které přetěžují alternátor a síť. Čím jsou větší odchyly generátoru a sítě, tím jsou větší proudové rázy.
2. Poškození alternátoru: Vysoké proudové rázy mohou poškodit vinutí a izolaci alternátoru.
3. Nestabilita sítě: Proudové rázy mohou způsobit nestabilitu a výpadky v síti.

Aby se předcházelo těmto problémům při špatném fázování, používá se v praxi k fázování generátoru na síť synchrotakty, které řídí proces synchronizace. Synchrotakty zajišťují shodné parametry alternátoru a sítě před připojením.

[7][8][9]

KAPITOLA 2: MATEMATICKÝ POPIS BUZENÍ SYNCHRONNÍHO STROJE

Dříve, než proběhne obecný popis toho, jak funguje buzení synchronního stroje a k čemu slouží, je nutné si připomenout, že existuje i buzení pro ostatní typy generátorů (asynchronní, dynamo a jiné speciální typy). Tato práce se bude zabývat pouze buzením synchronních strojů, protože z mnoha důvodů jsou výhradně tyto stroje používány při výrobě elektrické energie. Mezi jejich hlavní výhody patří:

1. Možnost provozu v ostrovu (do samotné zátěže), tak i paralelní chod se sítí.
2. Díky regulaci buzení je možné tyto stroje provozovat s konstantním napětím či s konstantním jalovým výkonem.

Synchronní stroj se skládá (stejně jako každý točivý stroj) z dvou hlavních částí, z rotoru a statoru. V případě synchronního generátoru bývá výstupní trojfázové vynutí. Do statoru teče DC regulovaný budící proud. Za tuto regulaci je zodpovědný regulátor buzení, někdy také nazývaný AVR (automatic voltage regulator). [5][7][10]

Pro lepší pochopení principu buzení generátoru je potřeba uvést některé základní vztahy a vysvětlit je. První rovnici popsal v roce 1845 teoretik F.E. Neumannem. Tato rovnice vysvětluje, že velikost indukovaného napětí ve vodiči je přímo úměrná magnetické indukci, délce vodiče a rychlosti, kterou se vodič pohybuje v magnetickém poli.

$$U_i = B \cdot l \cdot v$$

U_i – Indukované napětí [V]

B – Magnetická indukce [T] (2-1)

l – Délka vodiče [m]

v – Rychlost pohybujícího se vodiče [$m \cdot s^{-1}$]

Když tuto rovnici použijeme v případě synchronního generátoru, tak můžeme říci, že l délka vodiče = počtu závitů vinutí statoru, v rychlost pohybujícího se vodiče = úhlové rychlosti rotoru, B magnetická indukce = budící soustava a U_i indukované napětí = napětí na výstupu generátoru.

Z této rovnice vyplývá, že pomocí regulátoru buzení (změnou magnetické indukce) dochází ke změně napětí na statoru (výstupu) generátoru. [5][7][10]

V případě, že se rovnici budeme věnovat hlouběji, můžeme psát následující definici pro magnetickou indukci:

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

B – Magnetická indukce [T] (2-2)

Φ – Magnetický indukční tok [Wb]

S – Plocha [m²]

Rovnice 1-2 uvádí, že magnetická indukce je přímo úměrná magnetickému indukčnímu toku a nepřímo úměrná ploše, kterou magnetický tok prochází.

Magnetický indukční tok je definován následující rovnicí:

$$\Phi = L \cdot I$$

Φ – Magnetický indukční tok [Wb] (2-3)

L – Indukčnost [H]

I – Elektrický proud [A]

Promítnutím vztahů, 1-3 a 1-2 do rovnice 1-1 je možné psát následující rovnici.

$$U_i = \frac{L \cdot I}{S} \cdot l \cdot v$$

U_i – Indukované napětí [V]

L – Indukčnost [H]

I – Elektrický proud [A] (1-4)

S – Plocha [m²]

l – Délka vodiče [m]

v – Rychlost pohybujícího se vodiče [ms⁻¹]

Při pohledu na rovnici můžeme tedy konstatovat, že indukčnost, plocha a délka vodiče jsou konstanty, které jsou definovány při konstrukci generátoru. Dále lze říci, že v běžném provozu má generátor konstantní otáčivou rychlost. Díky těmto předpokladům lze rovnici 1-4 zjednodušit do následujícího tvaru.

$$U_i = k \cdot I_f$$

U_i – Indukované napětí [V] (2-5)

k – konstanta

I – Elektrický proud (budící)[A]

Z rovnice 1-5 je patrná lineární závislost mezi budícím proudem a indukovaným napětím. Při zvýšení budícího proudu dochází ke zvýšení indukovaného napětí a naopak.

Nyní už byly představeny matematické souvislosti potřebné k pochopení principu buzení. V dalších kapitolách jsou představeny druhy buzení a vysvětleno jejich fungování. [5][7][10]

KAPITOLA 3: DRUHÝ BUZENÍ

Mezi nejběžnější dělení buzení se řadí dělení na statické a bezkartáčové (bezroužkové). V této kapitole bude vysvětlen rozdíl mezi nimi. Začneme s popisem statického buzení a následně bude popsáno bezkartáčové buzení.

3.1 Statické buzení

V běžných případech je statické buzení napájeno ze svorek generátoru. Před vstupem do rozvaděče buzení prochází napětí z generátoru úpravou v třífázovém výkonovém transformátoru dle požadavků budicího systému. Tento transformátor se nazývá budicí transformátor. Vzhledem k napájení z generátoru, případně z vlastní spotřeby, můžeme hovořit o závislém typu buzení. [1][7][10]

U závislých systémů buzení je nutné zohlednit počáteční buzení, které zajišťuje nabuzení stroje při jeho startu. Během startu budicí soupravy synchronního generátoru je na jeho svorkách přítomno pouze napětí z remanentního magnetismu. Toto napětí bývá obvykle nízké a pro napájení budicí soupravy nedostatečné. Z tohoto důvodu se počáteční buzení provádí z externího zdroje, například z baterií. Pro dosažení napětí na svorkách generátoru, které postačí pro napájení statického budicího systému, je potřeba pouze 10-20% jmenovitého budicího proudu. [1][7][10]

Kromě dalších komponent obsahuje rozvaděč buzení dva důležité prvky: odbuzovač generátoru a výkonový měnič.

Odbuzovač generátoru je klíčová součást pro zajištění bezproblémového fungování budicí soupravy. Jeho úkolem je řízeně odpojit budicí vinutí od napájecího zdroje v procesu nazývaném odbuzení. Pro stabilní a bezpečný provoz generátoru je nezbytné, aby odbuzovač disponoval vlastnostmi, jako je vysoká proudová zatížitelnost, rychlé spínání, spolehlivost a odolnost. [1][7]

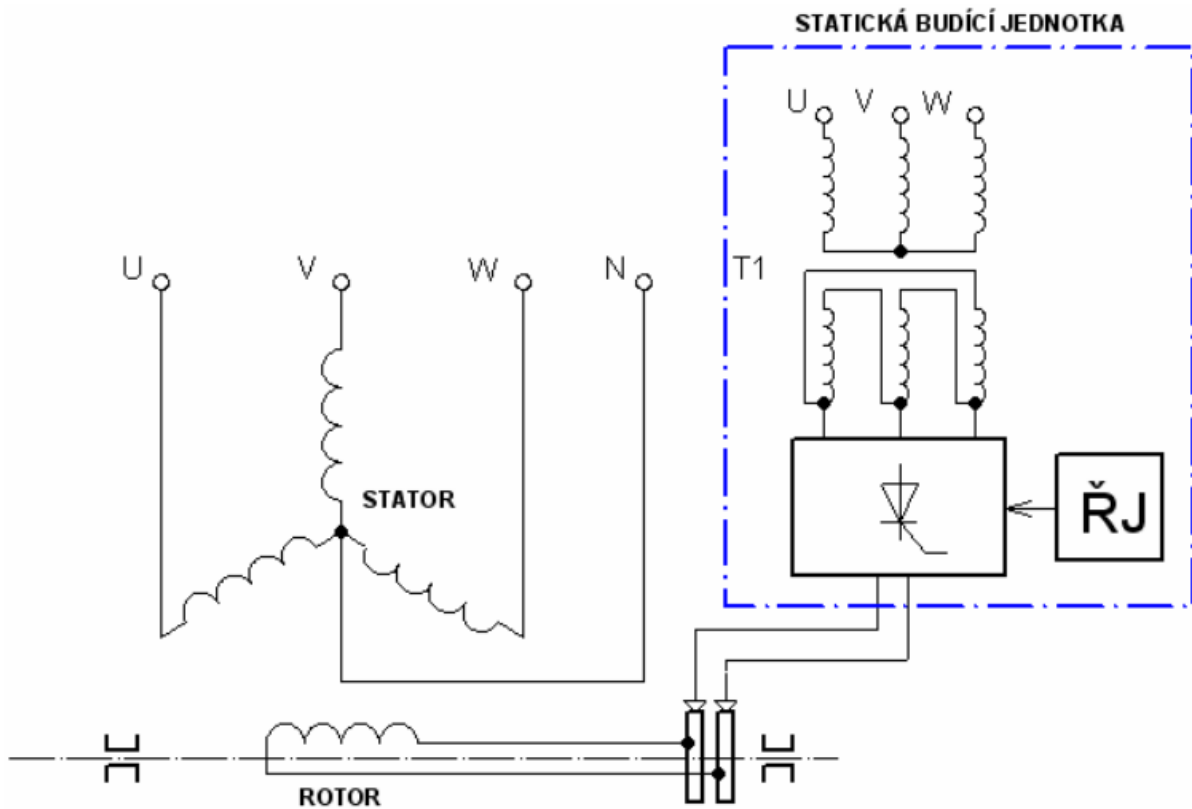
Výkonový měnič slouží k přeměně střídavého napětí na stejnosměrné napětí, které je nezbytné pro napájení budicí soupravy. Obvykle se skládá z tyristorových modulů zapojených jako plně řízený třífázový tyristorový můstkový usměrňovač.

Hlavní součásti výkonového měniče jsou:

- Tyristory – polovodičové součástky, které umožňují řízené spínání proudu.
- Chlazení – měniče se obvykle chladí aktivně (ventilátory) nebo pasivně (komínový efekt).
- Zapalovací obvody – tyto obvody zajišťují řízené zapínání tyristorů v požadovaný okamžik.
- Rychlé pojistky – chrání měnič před poškozením v případě nadproudů.

- Teplotní čidla – sledují teplotu měniče a v případě potřeby aktivují chlazení.

Statické buzení je principiálně jednodušší, ale konstrukčně náročnější. Principiálně jednodušší, protože regulovaný budicí proud přechází přímo přes kroužky na rotor generátoru a tím dochází k nabuzení generátoru. Konstrukčně náročnější, protože v takovém případě jmenovité budicí proudy tečou přímo přes rozvaděč buzení. Tyto proudy jsou několikanásobně vyšší než v případě bezkartáčového buzení. Zpravidla to bývají stovky ampér, ale v některých případech to mohou být i jednotky kiloampér. Z tohoto důvodu je zapotřebí pro konstrukci statického RB silnějších silových kabelů a tím se stává rozvaděč dražším. [1][7]



Obrázek 3 Schéma statického buzení [3]

Z obrázku č. 1 je patrné, že budicí proud teče přímo z rozvaděče buzení (statická budicí jednotka), přes kroužky, do rotoru generátoru. Na rozdíl od bezkartáčového buzení, které je nepatrně složitější a je popsáno v následující podkapitole. [1]

3.2 Bezkartáčové buzení

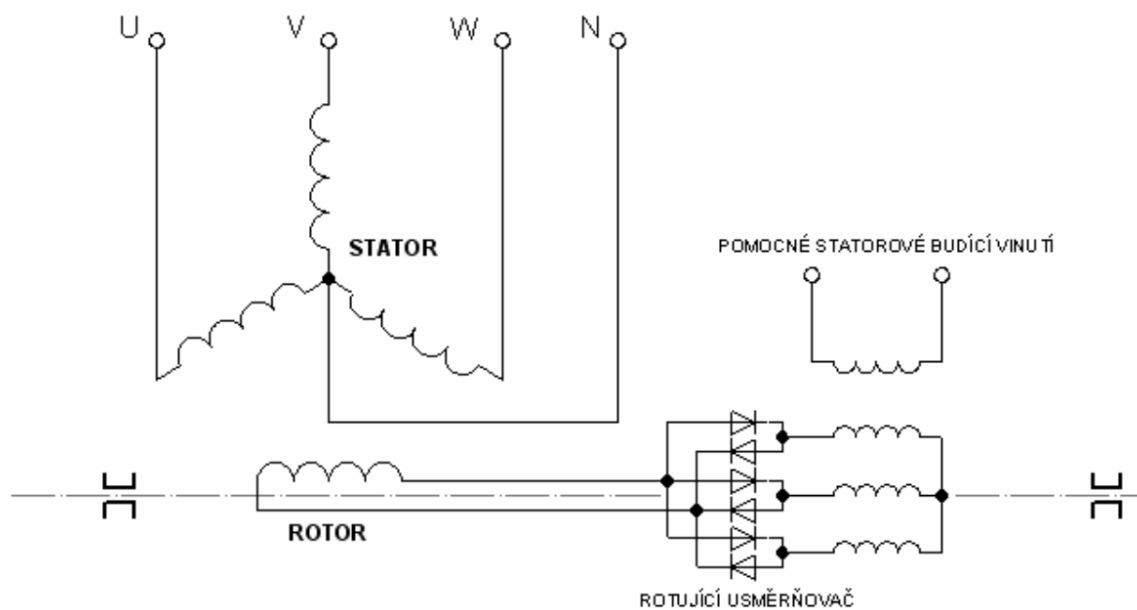
Jak je již z názvu patrné, tento typ buzení nepotřebuje kartáče a tím snižuje své nároky na údržbu. Budicí proud nevede přes kroužky na rotor, jako tomu bylo v předchozím případě, ale na stator pomocného budiče. Kartáče se v tomto typu buzení používají pouze ve zvláštních případech, a to zejména v případě, když je pro generátor použita diagnostika zemní ochrany rotoru. Což lze považovat za výhodu, jelikož nedochází k opotřebení kartáčů. [1][7]

Velkou předností pomocného budiče je nízká spotřeba energie pro regulaci hlavního budicího proudu generátoru. V porovnání s hlavním buzením stačí pro pomocný budič mnohem menší proud, typicky v rozmezí 0-20 A (s krátkodobým maximem do 40 A). To umožňuje úsporu energie a snižuje nároky na napájení. [1][7][10]

Pomocný budič se skládá ze třífázového synchronního generátoru s pevnou budicí cívkou a rotující kotvou. Rotující vinutí kotvy je propojeno s rotujícím diodovým usměrňovačem, který přeměňuje střídavý proud na stejnosměrný. Budicí vinutí pomocného budiče je napájeno regulovaným stejnosměrným proudem z rozvaděče regulátoru buzení. [1][7][10]

Při otáčení indukují kotva pomocného budiče střídavý proud v závislosti na otáčkách a síle magnetického pole. Tento střídavý proud je diodovým usměrňovačem přeměněn na stejnosměrný proud, který následně napájí budicí vinutí hlavního synchronního generátoru. Tímto způsobem dochází k regulaci magnetického pole a výkonu hlavního generátoru. [1][7][10]

U bezkontaktního buzení najdeme na rotoru hlavního generátoru PMG (Permanent Magnet Generator). PMG využívá permanentní magnety pro generování střídavého proudu v cívkách statoru při otáčení rotoru. Tento proud slouží k napájení budicí soustavy. Pro nabuzení generátoru je tedy nutné jeho roztočení, aby se indukoval proud pro napájení budicí soustavy. [1][7][10]



Obrázek 4 - Schéma statického buzení – bezkartáčové buzení [3]

Obecně lze říct, že bezkartáčové buzení je modernější způsob buzení synchronního generátoru.

Jeho hlavní výhody jsou:

1. Velikost – tento typ rozvaděče buzení bývá z pravidla menší, oproti statické variantě.
2. Cena - tento typ rozvaděče buzení bývá z pravidla levnější, protože je možné použít slabší vodiče
3. Opatření kartáčů – nedochází k tření mezi kartáči a tím k jejich opotřebení jako u statického budiče
4. Umístění – tento typ rozvaděče buzení může být umístěn ve větší vzdálenosti od generátoru, protože jeho výstupní proud lze vést obyčejným kabelem.
5. Spolehlivost – tento typ budiče je považován za spolehlivější, protože nemá pohyblivé části, které na sebe doléhají a mohly by způsobovat poruchu.

Naopak mezi nevýhody můžeme řadit:

-
1. Delší doba odezvy – kombinovaná časová konstanta budiče a generátoru zpomaluje reakci na změny zátěže.
 2. Složitější regulace – náročnější nastavení stabilizátorů činného výkonu (PSS) kvůli pomalejší reakci.
 3. Pomalé odbuzení – odbuzení stroje trvá desítky sekund oproti sekundám u statických systémů. [1][10]

3.3 Další typy

Toto byly dva, v současné době nejpoužívanější, typy buzení synchronních generátorů a proto jim v této práci byl věnován větší prostor. Lze však říci, že existuje celá škála druhů buzení. Mezi ty známé ještě můžeme řadit:

3.3.1 Budicí systémy s AC budiči

Tento typ budicího systému se vyznačuje nezávislým napájením z budicího alternátoru, který je přímo spojen s rotorem hlavního generátoru. Jedná se o robustní a spolehlivé řešení, které se skládá ze dvou hlavních částí:

- Sekce buzení generátoru: Tato část je funkčně velmi podobná statickému budicímu systému. Reguluje proud v budicím vinutí generátoru a zajišťuje tak dosažení požadovaného napětí na svorkách generátoru.
- Sekce buzení budiče: Tato část řídí magnetické pole budicího alternátoru a zajišťuje tak stabilní napájení sekce buzení generátoru. [1][7][10]

3.3.2 Budicí systémy s DC budičem

Stejnosemý budič byl v minulosti běžnou součástí budicích systémů generátorů. Ačkoliv se v současnosti u nových generátorů používá jen zřídka, mnoho starších strojů s tímto typem budiče stále funguje, ale blíží se konci své životnosti. V moderní energetice dochází k postupnému nahrazování DC budicích souprav statickými budicími systémy, které se vyznačují vyšší účinností, spolehlivostí a flexibilitou. [1][7][10]

KAPITOLA 4: KONSTRUKCE ROZVADĚČE BUZENÍ

V předchozí kapitole byl vysvětlen matematický popis toho, jak funguje regulace buzení. V této kapitole přejdu od matematické teorie k praktické části a budu se věnovat konstrukci rozvaděče buzení, částem, ze kterých se skládá a jak tyto jednotlivé části fungují. Pro snazší pochopení budu konstrukci popisovat na jednonábovém bezkartáčovém buzení.

Každý rozvaděč buzení lze rozdělit na tři části:

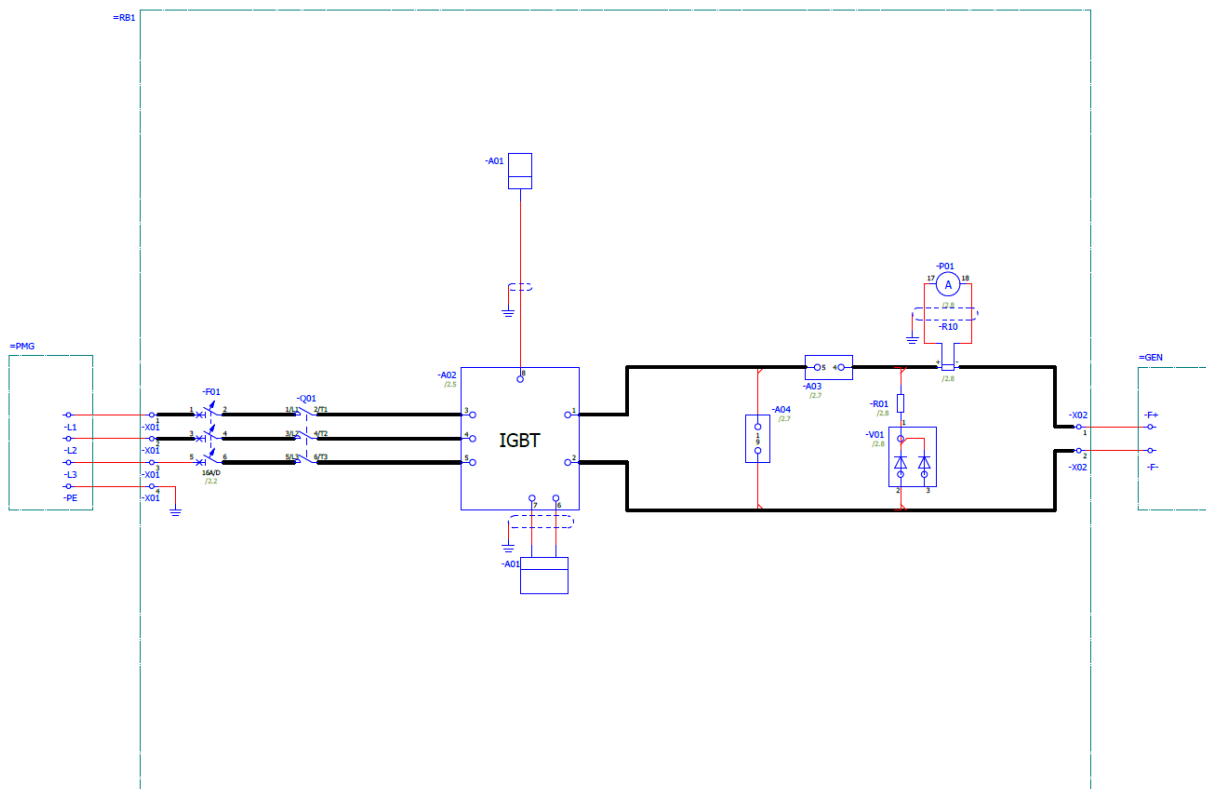
1. Silová část
2. Měřicí část
3. Ovládací část

V této kapitole postupně proberu všechny tyto části.

[3][21][10]

4.1 Silová část

V silové části dochází k nejdůležitějšímu kroku, a to k samotné regulaci. Typická silová část RB vypadá takto:



Obrázek 5 -Silová část RB [vlastní zpracování]

.....

Při pohledu na výkres zleva doprava, je vidět nejdříve přívod napětí do RB na svorkovnici -X1 z PMG, který byl popsán v předchozí kapitole.

Ze svorkovnice X1 teče proud přes jistič – F01. Velikost jističe se volí dle jmenovité hodnoty proudu s ohledem na její špičkovou hodnotu. Dále se na výkresu nachází odbuzovací stykač – Q01, který slouží k spuštění/ přerušení proudu do jednotky IGBT. Do jednotky IGBT vstupuje AC proud a na jejím výstupu je regulovaný stejnosměrný budící proud. Do této jednotky je také připojený samotný regulátor. Regulátor posílá do IGBT pulsy, které spínají tranzistory v této jednotce, čímž dochází k regulaci proudu. Dále je v této jednotce měřen budící proud, čímž dostává AVR zpětnou vazbu.

Z IGBT vystupuje již usměrněný DC proud, který teče přes jednotku -A03 a bočník -R10, až na svorky -X02, které bývají kabelem spojeny se statorem pomocného budiče na generátoru.

V následující tabulce uvádím přehled přístrojů (včetně značek, které běžně používám ve své práci) použitých v této části projektu.

Tabulka 1- Popis jednotlivých komponent v silové části RB [vlastní zpracování]

KKS	Popis
-A01	Regulátor buzení
-A02	IGBT
-A03	Kontrola rotujících diod
-A04	Přepětová jednotka
-F01	Jistič 16 A
-P01	Ampér metr
-Q01	Odbuzovací stykač
-R10	Bočník
-R41	Odbuzovací odpor
-V21	Diody
-X01	Přívodní svorka
-X02	Svorky

Nyní zde uvedu, pro lepší pochopení celé problematiky, některé další přístroje a jejich funkce. Část již byla zmíněna v předchozím textu, tudíž se zde zaměřím pouze na ty, které jsem ještě nezmínil:

- A03 - Kontrola rotujících diod - podle budícího proudu, který jí protéká pozná a signalizuje, jestli není porouchána některá z rotujících diod na rotoru budiče.
- A04 - Kontrola přepětí - měří napětí na DC straně budiče a signalizuje případné přepětí.

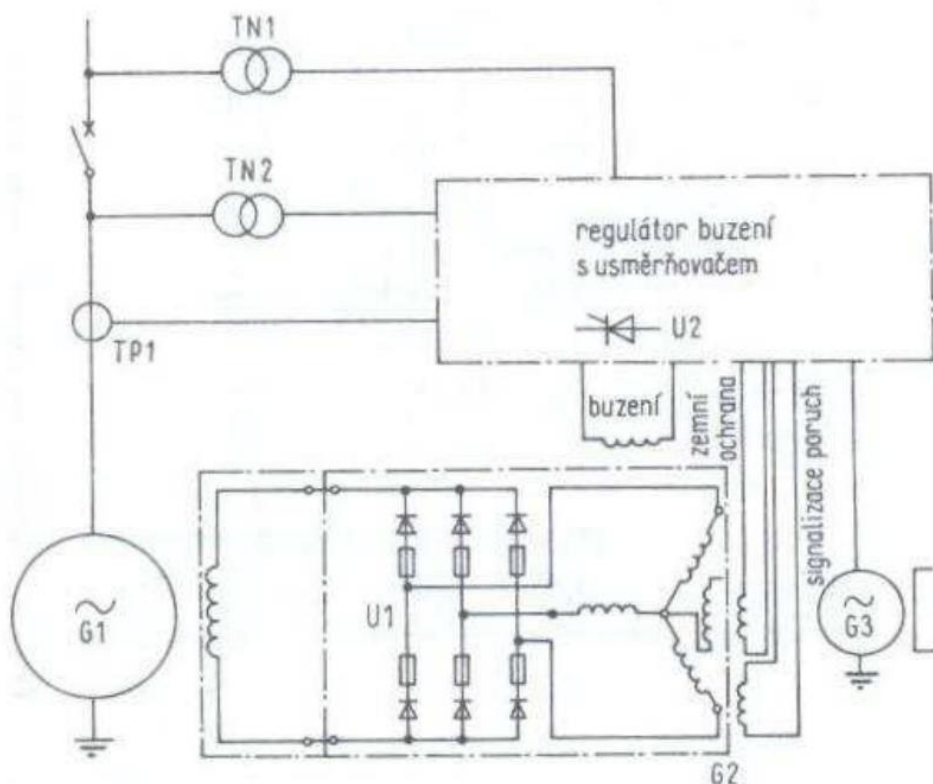
- P01 – Ampér metr -;slouží k analogovému měření a zobrazení budícího proudu.
- R01 - Odbuzovací odpor - slouží k rychlejšímu odbuzení budící soustavy.

4.2 Měřicí část

Nedílnou součástí buzení je i měření. Slouží jako zpětná vazba pro regulátor. Ke správnému fungování a přesné regulaci je potřeba měřit:

1. Budící proud
2. Napětí generátoru (tři fáze)
3. Proud generátoru (tři fáze)

Měření nejlépe ukazuje tento SLD (Single-line diagram či jednopólové schéma).



Obrázek 6 - Měření RB [3]

Na obrázku je vidět bezkartáčové buzení s usměrňovačem U2 a PMG G3. V této podkapitole je důležité pozorovat měření proudu TP1 a měření napětí před vypínačem TN2 a za vypínačem TN1.

.....

Hodnoty z TN2 a TP1 bývají také ukázány na analogových měřácích přímo na rozvaděči RB. [3][21][8]
[10]

Měřicí transformátor proudu (zde TP1), slouží k převodu velkého proudu na statoru generátoru na menší proud, který je možné měřit v rozvaděči buzení. Tento převod bývá 2000 A na 1 A. Popřípadě jsou možné i jiné varianty, v návaznosti na konkrétním typu generátoru a na konkrétních měřících transformátorech proudu. [3][21][8] [10]

K měření napětí slouží takzvaný měřicí transformátor napětí (zde TN1 a TN2). Tyto transformátory mění velikost napětí, aby bylo možné toto napětí změřit i v rozvaděči buzení. Typický převod napětí je 6,3 kV na 100 V, ale opět záleží na konkrétním typu generátoru a na konkrétních měřících transformátorech napětí. [3][21]

Pro přesnou regulaci jsou dostatečné pouze měřicí transformátory TN2 a TP1. V tomto případě, je možnost, aby regulátor buzení v sobě obsahuje i funkci fázování, a proto jsou zde použity oba měřicí napěťové transformátory (TN1 a TN2). [3][21]

Dále je potřeba, ke správné regulaci, měřit budící proud, který byl zmíněný v předchozí podkapitole.

4.3 Ovládací část

Jako poslední části rozvaděče RB se budu věnovat ovládací části. Tato část obsahuje všechny vstupy z řídicího systému do RB a všechny vstupy z tlačítek na rozvaděči. Tyto vstupy slouží k pohodlnému a jednoduchému ovládní rozvaděče buzení. Mezi běžné ovládací prvky na RB jsou:

- Místě/ Dálkově – slouží k výběru místa ovládní. V případě, že je přepínač v poloze místně R, respektuje povely z tlačítek na rozvaděči. V případě, že je přepínač v poloze dálkově RB, respektuje povely z řídicího systému.
- Start/Stop – slouží ke spuštění buzení
- Přepínač regulované veličiny – slouží k přepínání mezi regulovanými veličinami (Ib/U/Q/PF). Podrobněji jej popíšu v další kapitole.
- Více/ Méně – slouží k úpravě žádané hodnoty.

.....

Ve většině případů jsou tyto vstupy zdvojeny. Jeden druh vstupů je z ŘS a druhý přímo tlačítek na rozvaděči RB. Pomocí přepínače Místě/ Dálkově na rozvaděči uživatel volí, z kterého místa má regulátor buzení respektovat povely.

Ovládací část také obsahuje všechny výstupy do řídicího systému. Tyto výstupy informují řídicí systém o stavu rozvaděče. Jedná se zejména o výstupy:

- Nabuzeno
- Odbuzeno
- Varování
- Havárie
- Limitor

Případně je možné zařadit další výstupy dle požadavků konkrétního zákazníka a konkrétního řídicího systému.

Na rozvaděči jsou běžně čtyři světelné kontrolky (Připraven, Provoz, Varování a Havárie), které na první pohled informují obsluhu o stavu rozvaděče. Pro podrobnější informace je také rozvaděč vybaven dotykovým displejem z kterého je možné vyčíst podrobné informace.

[3][21]

KAPITOLA 5: POŽADAVKY NA MODERNÍ BUDÍCÍ SYSTÉMY

V této kapitole budou probrány nejdůležitější požadavky na moderní budící systémy.

5.1 Regulace

Kvalitní, rychlá a stabilní regulace je jeden z nejdůležitějších faktorů pro moderní energetické systémy. Moderní regulátory s pokročilými algoritmy a technologiemi musí splnit i ty nejnáročnější požadavky na stabilitu a spolehlivost i při náhlých změnách zátěže. Důležité je, aby regulace byla robustní a odolná vůči vnějším vlivům a aby nedocházelo k nežádoucímu rozkmitání regulovaného systému. Přesnost regulace bývá okolo 0,5%. Proto, aby bylo možné dosáhnout takové přesnosti, je nezbytně nutné přesné měření. Toto měření provádí u nových moderních zařízení s přesností 0,1%.

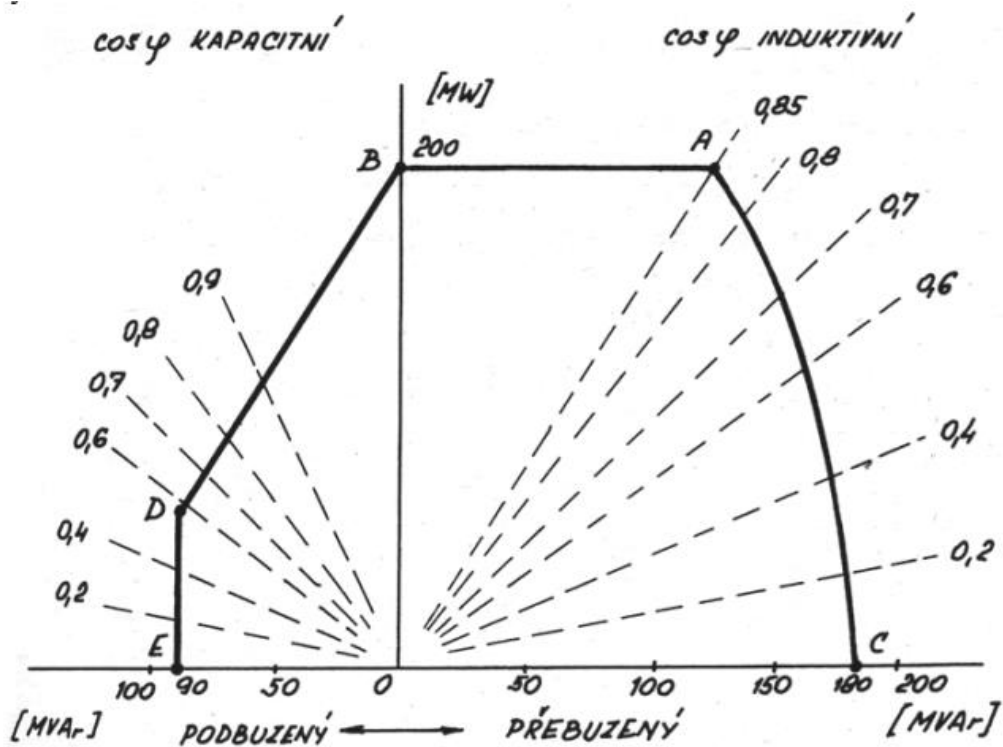
[2][3][5] [6]

V následujících podkapitolách popíšeme základní typy regulací.

5.1.1 PQ diagram

Dříve, než budou představeny a blíže vysvětleny jednotlivé typy regulací, je dobré pro lepší pochopení představit P-Q diagram a ukázat co popisuje.

Diagram znázorňuje závislost mezi činným výkonem (P) a jalovým výkonem (Q) synchronního generátoru. Každá předávaná dokumentace od výrobce synchronních generátorů vždy obsahuje tento PQ diagram.



Obrázek 7 - Typický PQ diagram [13]

Mezi body E-C se nachází pracovní oblast generátoru. Tato oblast je ohraničena jednotlivými omezujícími podmínkami.

1. E-D: Omezující podmínka daná statickou stabilitou stroje, při překročení této hranice hrozí, že generátor vypadne ze synchronizmu. [13]
2. D-B: Omezující podmínka daná oteplením čelních konstrukcí vlivem vířivých proudů. [13]
3. B-A: Omezující podmínka daná maximálním výkonem turbíny, případně maximální teplotou statorového vnutí (proud generátorem (I_g)). [13]
4. A-C: Omezující podmínka daná maximální teplotou rotorového vnutí stroje, neboli budícího vnutí. [13]

Každý regulátor buzení je vybavený limitory, které zabraňují překročení těchto hodnot. V případě, že z nějakého důvodu limitor v regulátoru buzení nezafunguje validně, jsou v záloze ještě ochrany generátoru, které svým působením zamezí překročení hodnot.

Dříve, než se budu zabývat jednotlivými typy regulátorů, chci ještě zmínit, že hodnotu činného výkonu určuje pouze turbína a naopak hodnotu jalového výkonu určuje regulátor buzení.

[13][10][9]

5.1.2 Regulace budícího proudu

Nejjednodušší a nejpřímější regulace je regulace budícího proudu (I_b či I_f). Regulátor buzení udržuje stále stejnou hodnotu budícího proudu bez ohledu na jalový výkon, či napětí sítě. Tato regulace se v běžném provozu nepoužívá. Slouží zejména při přímém ovládní regulátoru provozu při uvádění do provozu. [2][5][21]

5.1.3 Regulace napětí

Tato regulace už je o něco složitější, než regulace budícího proudu. V tomto regulačním modu AVR udržuje napětí konstantní generátoru. V tomto modu je možné zadávat přesnou hodnotu napětí například 6300 V, nebo je možné pomocí tlačítek Více/ Méně, či pomocí dálkového ovládní z řídicího systému přidávat či ubírat žádanou hodnotu napětí, kterou následně regulátor bude udržovat. [2][5][21]

Udržování hladiny napětí je realizováno automatickým ovládním budícího proudu. V případě, že si operátor přeje zvýšit napětí na výstupu generátoru, dojde pomocí AVR ke zvýšení budícího proudu a tím dojde i ke zvýšení napětí. Naopak v případě požadavku na snížení napětí generátoru, AVR sníží budící proud a dojde ke snížení napětí generátoru. [2][5][21]

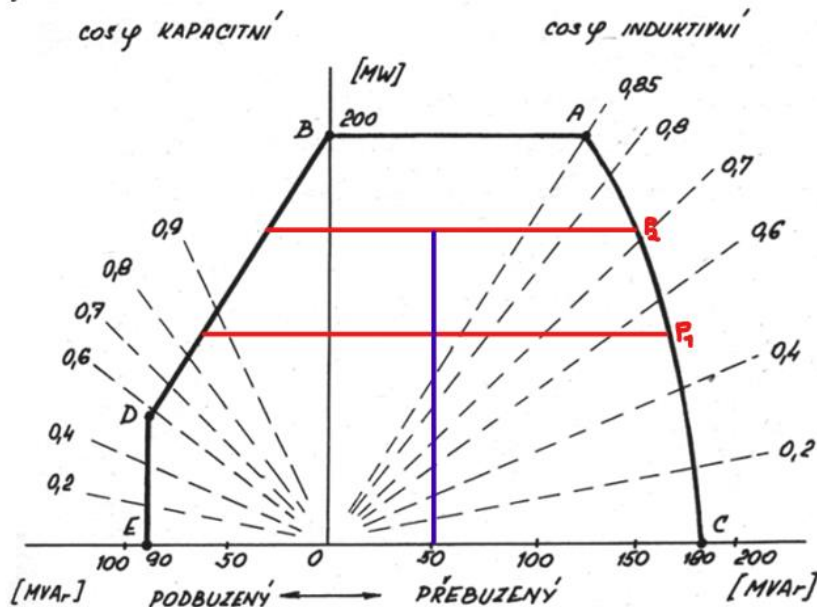
5.1.4 Regulace jalového výkonu (Regulace Q)

Tato regulace se, na rozdíl od prvních dvou, používá pouze při stavu, kdy je generátor přifázován k síti a dodává výkon. V tomto případě AVR udržuje požadovaný konstantní jalový výkon i v případě změn v činném výkonu. [2][5]

Požadovanou hodnotu je opět možné zadávat dvěma způsoby. Prvním je zaslat přímo žádanou hodnotu například 1 MVAR či -1 MVAR, nebo je možné žádanou hodnotu měnit pomocí tlačítek či signálů Více/Méně. Pro každý z těchto signálů je při uvádění do provozu definována velikost kroku. Pro jalový výkon to bývá zpravidla 1 % ze zdánlivého výkonu. [2][5][21]

Stejně jako u regulace napětí, AVR ovládá pouze budící proud. V případě zvýšení budícího proudu dochází k zvýšení jalového výkonu a v případě snížení budícího proudu dochází k snížení jalového výkonu.

Pro lepší představu regulace jalového výkonu je zde přiložen modifikovaný PQ diagram.



Obrázek 8 - Typický PQ diagram s naznačením principu regulace Q [13; vlastní zpracování]

Na obrázku lze vidět dvě hladiny činného výkonu P1 a P2 (naznačeno červenou čarou). Činný výkon udává turbína, a AVR na něj nemá žádný vliv. Tyto výkony se stávají pracovní hladinou pro regulaci jalového výkonu. Fialovou čarou je poté naznačena žádaná hodnota jalového výkonu, v tomto případě 50 MVar. Na průsečíku těchto čar leží pracovní body AVR pro výkon P1 a pro výkon P2.

[2][5][21]

5.1.5 Regulace $\cos \varphi$

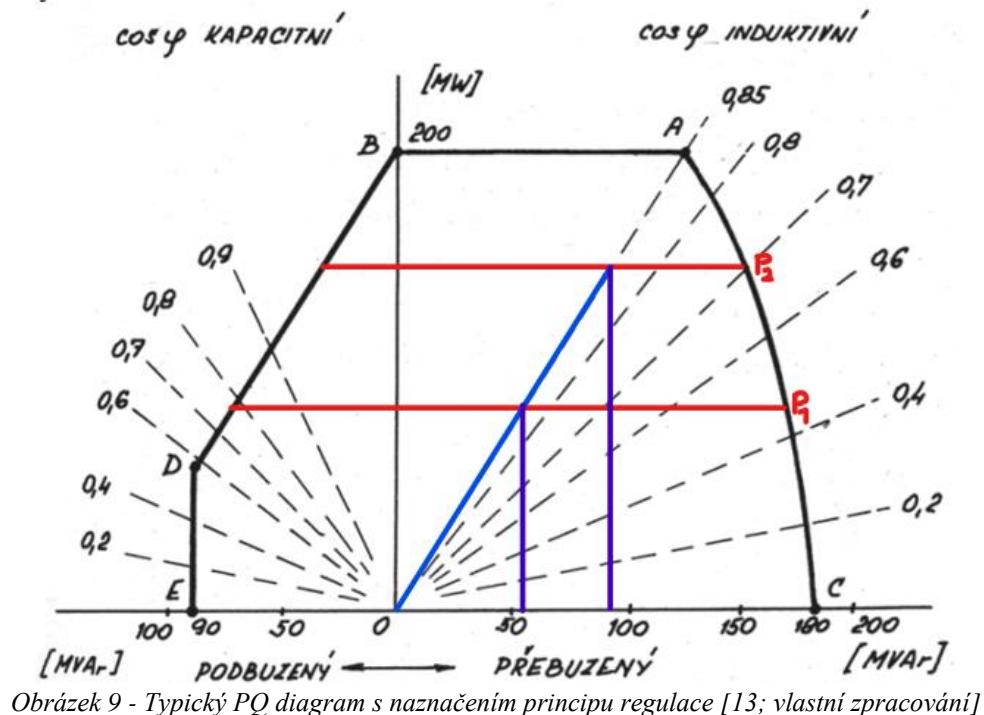
Poslední běžně používanou regulací, je regulace $\cos \varphi$. Nejdříve je potřeba definovat, co $\cos \varphi$ znamená a co udává. Jedná se o poměr činného výkonu P a zdánlivého výkonu S. Někdy se též nazývá účinník.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Jako v obou předchozích případech, je tento účinník ovládán pomocí budícího proudu. Zde nelze jednoduše říct, jestli se účinník zvýší či sníží při zvednutí budícího proudu, protože mohou nastat obě varianty. V případě, že se stroj nachází v přebuzeném stavu a jalový výkon je tedy kladný, dochází zvýšením budícího proudu k posunutí pracovního bodu dále od osy, a tím ke snížení účinníku. V případě, že je stroj podbuzený a dojde k zvýšení budícího proudu, pracovní bod se posune blíže ke středu, a dojde k zvýšení účinníku. [2][5][21]

Stejně jako v předchozích případech, lze účinník ovládat pomocí Více/ Méně tlačítek, či zadáním žádané hodnoty.

Pro lepší pochopení je zde přiložený upravený PQ diagram:



Stejně jako v předchozí podkapitole, i zde červená čára zobrazuje činný výkon P, fialová zdánlivý výkon Q a modrá čára ukazuje účinník ($\cos \varphi$). Na průsečících činných výkonů P1 a P2 s účinníkem vidíme pracovní body. V tomto případě je účinník 0,85 v přebuzeném stavu. [2][5][21]

5.2 Spolehlivost

Dalším důležitým požadavkem na moderní budící systémy je jejich spolehlivost. Spolehlivost budící soupravy hraje klíčovou roli v bezpečném a efektivním provozu generátorů. Bez funkční budící soupravy dochází k odstavení generátoru, ať už v důsledku aktivace ochrany nebo vnitřního poškození.

Důsledky poruchy budící soupravy:

- Finanční ztráty: Výpadek výroby elektřiny vede k přímým finančním ztrátám. Tento faktor bude zkoumán v praktické části této práce.
- Poškození generátoru: V závažných případech může porucha budící soupravy poškodit samotný generátor, čímž se zvyšují náklady na opravy.

Z důvodu zvýšení spolehlivosti, se v některých případech může užívat redundantního (či dvoukanalového) budícího systému. Tento systém bude více zkoumán v další kapitole. [3][6][21]

5.3 Odbuzení stroje

Odbuzovač hraje klíčovou roli v budící soupravě a zajišťuje bezpečné a efektivní odbuzení generátoru. Volba správné konfigurace odbuzovače závisí na specifických požadavcích daného generátoru a budící soupravy.

Hlavní úkoly odbuzovače:

- Odbuzení stroje: Odbuzovač musí být schopen odbudit generátor jak v běžném provozu (např. při odstavení), tak i v případě poruchy.
- Odpojení budícího proudu: Odbuzovač musí za všech okolností spolehlivě odpojit budící proud od generátoru.
- Minimalizace doby odbuzení: Doba, za kterou zanikne magnetické pole rotoru po odpojení budícího proudu, by měla být co nejkratší.

Konfigurace uspořádání odbuzovače:

Existuje několik konfigurací uspořádání odbuzovače, z nichž nejběžnější jsou:

- Střídací vypínač na vstupní straně výkonového měniče: Toto řešení bylo popsáno v předchozí kapitole o konstrukci rozvaděče buzení.
- Stejnoseměrný vypínač na výstupu výkonového měniče: Tato konfigurace se používá méně často, ale může být vhodná pro specifické aplikace.

[6][7][10]

5.4 Limitory

Limitory, v češtině také nazývané jako omezovače, jsou dalším klíčovým prvkem moderních budících systémů.

Moderní budící systémy plní, kromě regulační funkce, také důležitou ochrannou funkci. Zajišťují, aby se generátor nedostal do nebezpečných provozních stavů, které by mohly vést k jeho poškození nebo ohrožení personálu.

Druhy omezovačů:

- Omezovač statorového proudu – chrání generátor před nadměrným proudovým zatížením, které by mohlo vést k přehřátí a poškození vinutí.
- Omezovač budícího proudu – zabrání nadměrnému budícímu proudu, který by mohl poškodit budící vinutí generátoru.

-
- Hlídač meze podbuzení - monitoruje úroveň budícího proudu a zabraňuje podbuzení generátoru, které by mohlo vést k nestabilitě a vibracím.
 - Omezovač přesycení (U/f) - omezuje magnetické přesycení statoru generátoru, které by mohlo vést k jeho poškození a snížení účinnosti.
 - Omezovač svorkového napětí – zabrání nadměrnému napětí na svorkách generátoru, které by mohlo poškodit připojená zařízení.

[6][7][10][21]

KAPITOLA 6: ROZDÍL MEZI JEDNOKANÁLOVÝM A DVOUKANÁLOVÝM BUZENÍM

V předchozích kapitolách jsem podal základní informace k pochopení toho, co je buzení generátoru a jak funguje. V této kapitole vysvětlím rozdíl mezi jednokanálovým a dvoukanálovým rozvaděčem buzení

6.1 Jednokanálový rozvaděč buzení

Jednokanálový RB je oblíbený pro své nižší pořizovací náklady a pro svou větší kompaktnost. V tomto případě píší o rozvaděči velikosti 800×2000×600 (V×Š×H). Pořizovací náklady jsou téměř poloviční oproti dvoukanálové variantě.

Tento rozvaděč obsahuje pouze jedno AVR a jedno IGBT, které slouží k usměrnění a regulaci proudu. V kapitole 3 byl popsán rozvaděč podrobněji i s výkresy k jednokanálové variantě.

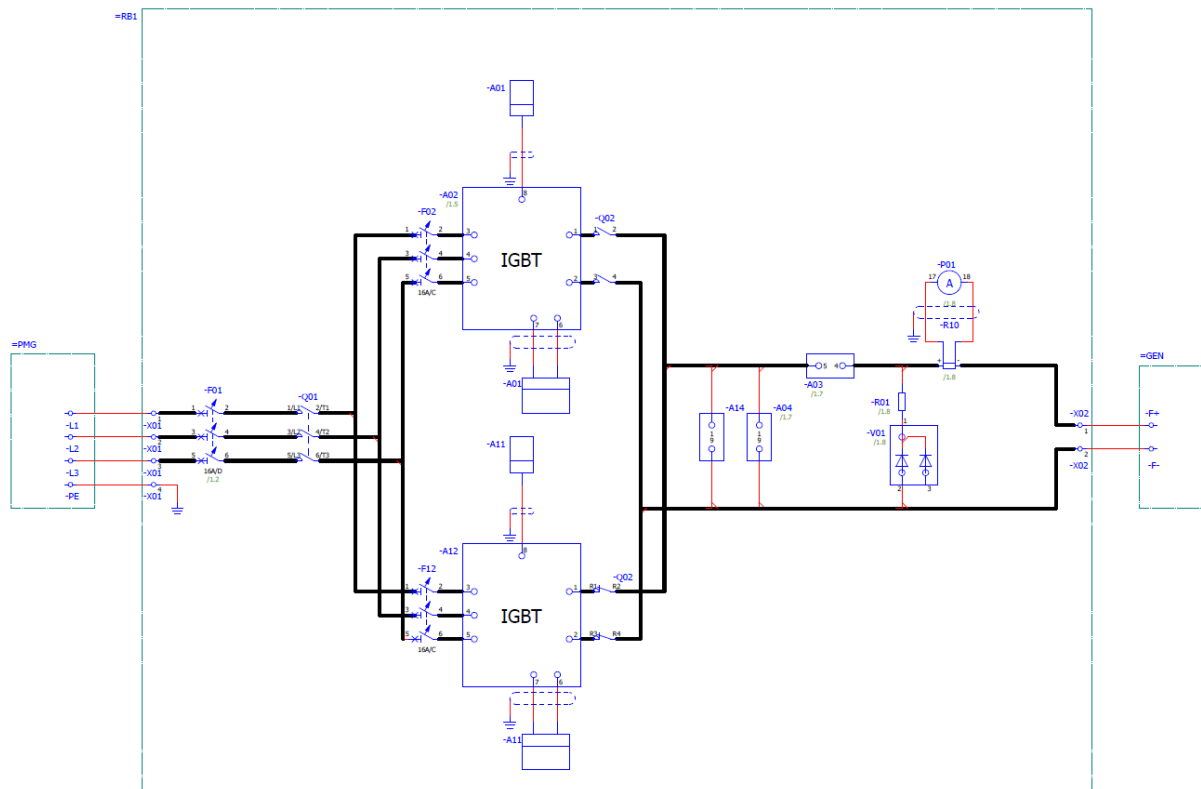
Mezi jeho hlavní nevýhody se řadí fakt, že se v případě poruchy musí + odstavit celá výroba a je nutné počkat na zásah technika. Tento typ se používá zejména v malých provozech do několika MW. [21]

6.2 Dvoukanálový rozvaděč buzení

Tento produkt je o něco složitější než jednokanálový. V tomto rozvaděči jsou všechny důležité komponenty zdvojeny, což se projevuje i na velikosti rozvaděče. U základního typu je potřebná velikost minimálně 1000×2000×600 (V×Š×H), v případě, že jsou dokupovány některé další komponenty a funkce, je nutné použít rozvaděč 1200×2000×600 (V×Š×H). Dále je také podstatný rozdíl v pořizovací ceně, protože ta je, oproti jednokanálové variantě, téměř dvojnásobná. [21]

Nejdůležitější výhoda této varianty spočívá v tom, že je možné mezi jednotlivými AVR přepínat, a to i za plného provozu bez toho, aby se změnila regulovaná veličina. V případě jakékoliv poruchy na AVR1 se systém automaticky přepne na AVR2 bez nutnosti odstavení. To samé platí i pro opravy a revize RB. Proto, aby bylo možné provést základní opravy a revize není nutné odstavovat generátor. Všechny tyto výhody jsou vykoupeny vyššími pořizovacími náklady a vyššími nároky na prostor. [21]

Následující obrázek ukazuje silovou část dvoukanálového RB. Je možné ho porovnat s obrázkem 3 a zjistit největší rozdíly mezi nimi. [21]



Obrázek 10 - Silová část dvoukanalového RB [vlastní zpracování]

Na první pohled je patrné, že jsou tu zdvojeny IGBT (A02 a A12), AVR (A01 a A11), kontrola rotujících diod (A03 a A13) a jednotka na hlídání přepětí (A04 a A14). Všechny tyto jednotky byly zdvojeny, aby systémy mohly pracovat úplně nezávisle na sobě. Dále zde přibyl stykač Q02 na výstupu IGBT1 a IGBT2, který mezi nimi přepíná. [21]

Toto byly největší rozdíly z technického pohledu a v další podkapitole budou přiblíženy finanční rozdíly mezi dvoukanalovým a jednocanalovým systémem.

KAPITOLA 7: EKONOMICKÉ HODNOCENÍ PROJEKTU

V následujících kapitolách se budu věnovat ekonomickým nákladům jednotlivých variant zvoleného typu buzení. Abych mohl zkoumat jednotlivé varianty z ekonomického hlediska a vyhodnotit ekonomickou efektivnost, musím nejprve definovat, pomocí kterých ukazatelů bude probíhat ekonomické vyhodnocení jednotlivých variant.

7.1 Čistá současná hodnota

Metoda NPV (Net Present Value) je jedním z nejpoužívanějších nástrojů pro hodnocení dlouhodobých investic v nejrůznějších oborech a regionech. Její jednoduchost a spolehlivost z ní dělají oblíbenou volbu mezi finančními manažery. Poskytuje srozumitelný a jasný indikátor ziskovosti investice a umožňuje srovnávat různé projekty. Je však důležité upozornit, že NPV je pouze jedním z faktorů, které je třeba zvážit při investičním rozhodování. [1] [4]

7.1.1 Princip metody NPV (Net Present Value)

Metoda NPV vychází z jednoduchého, ale důležitého předpokladu: peníze dnes mají větší hodnotu než peníze v budoucnu. NPV vyjadřuje současnou hodnotu všech budoucích peněžních toků spojených s investicí. Tyto toky zahrnují jak příjmy (výnosy) generované investicí, tak i výdaje (náklady) vynaložené na její realizaci a provoz. [1] [4]

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_z} DCF_t = \sum_{t=0}^{T_z} \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

NPV – Čistá současná hodnota

DCF_t – Diskontovaný cash flow v roce *t*

CF_t – cash flow v roce *t*

r – Diskontní sazba

T_z – doba ekonomické životnosti projektu

(7-1)

7.1.2 Interpretace NPV:

- $NPV > 0$: Investice je považována za výhodnou, protože její současná hodnota budoucích peněžních toků je vyšší než počáteční investice. Čím vyšší je NPV, tím je investice atraktivnější.

-
- $NPV = 0$: Investice je neutrální, její budoucí výnosy pouze pokryjí počáteční náklady.
 - $NPV < 0$: Investice je považována za nevýhodnou, protože její současná hodnota budoucích peněžních toků je nižší než počáteční investice.

[1] [4]

7.1.3 Výhody a nevýhody použití NPV

Pro lepší porozumění dané problematice, v této podkapitole rozeberu výhody a také nevýhody použití NPV. Upozorním, na co se zaměřit a čeho se případně vyvarovat. Zde tedy popíšu několik zásadních výhod a nevýhod ukazatele NPV [1] [4]

Výhody:

- **Jednoduchost** – NPV je snadno pochopitelná a použitelná metoda. Výpočet NPV je relativně jednoduchý a dostupný i pro laiky.
- **Spolehlivost** – NPV poskytuje spolehlivý indikátor ziskovosti investice. Díky zohlednění časové preference peněz a diskontování budoucích peněžních toků NPV umožňuje objektivní hodnocení investičních projektů.
- **Srovnatelnost** – NPV umožňuje porovnávat různé investiční projekty s ohledem na jejich návratnost. Díky jednotnému vyjádření ziskovosti v peněžní hodnotě je NPV vhodný nástroj pro výběr nejvhodnějšího investičního projektu z portfolia možností.

+++

Nevýhody

- **Výběr diskontní sazby** – volba diskontní sazby může ovlivnit výsledek NPV a jeho interpretaci. Není vždy jednoduché zvolit adekvátní diskontní sazbu, která by správně odrážela riziko a náklady obětované příležitosti.
- **Nejistota budoucích peněžních toků** - NPV je závislá na přesnosti odhadu budoucích příjmů a výdajů. V praxi je obtížné přesně předpovědět budoucí peněžní toky na delší časový horizont, což může vést k nepřesným výsledkům NPV.

[1] [4]

7.2 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento (IRR) je klíčový ukazatel používaný pro hodnocení investic. Na rozdíl od NPV, která udává absolutní hodnotu zisku v současné hodnotě, IRR vyjadřuje míru návratnosti investice v procentním vyjádření. Jinými slovy, IRR udává diskontní sazbu, při které se NPV investice rovná nule. [1] [4]

7.2.1 Princip metody IRR (internal rate of return)

Na rozdíl od metody NPV, která pracuje s absolutní hodnotou zisku, metoda IRR se zaměřuje na míru návratnosti investice. Jinými slovy, zjišťuje, jaká je vlastně úroková sazba, při které se budoucí peněžní toky investice rovnají počáteční investici. Tuto sazbu se nazývá právě vnitřní výnosové procento (IRR)

Vzorec pro výpočet IRR je následující:

$$0 = \sum_{t=0}^{T_z} \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t}$$

IRR – vnitřní výnosové procento

CF_t – cash flow v roce t

T_z – doba ekonomické životnosti projektu

Přesný výpočet IRR není algebraicky jednoduchý a obvykle se provádí pomocí nejrůznějších matematických programů.

[1] [4]

7.2.2 Interpretace výsledku IRR:

1. IRR > r:

Výhodná investice: V tomto případě IRR překonává diskontní sazbu (r), což znamená, že investice generuje vyšší zisk, než investor požaduje. To indikuje atraktivní investiční příležitost.

2. IRR = Diskontní sazba:

Neutrální investice: V tomto případě se IRR rovná diskontní sazbě, tzn. investice generuje zisk přesně odpovídající očekáváním investora. Investice je neutrální z hlediska zisku.

3. IRR < Diskontní sazba:

.....

Nevýhodná investice: V tomto případě IRR nedosahuje diskontní sazby, tzn. investice generuje nižší zisk, než investor požaduje. To indikuje nevýhodnou investiční příležitost.

[1] [4]

7.2.3 Výhody a nevýhody použití IRR

Výhody metody IRR:

- Míra návratnosti v procentech: IRR umožňuje snadné srovnání s jinými investičními příležitostmi, protože je vyjádřena v procentech, stejně jako úrok.
- Zohlednění časové hodnoty peněz: Stejně jako NPV, i IRR zohledňuje časovou hodnotu peněz a diskontuje budoucí peněžní toky.

Nevýhody metody IRR:

- Složitější výpočet: Výpočet IRR je náročnější než výpočet NPV a vyžaduje použití speciálních funkcí nebo numerických metod.
- Vícenásobnost řešení: V některých ojedinělých případech se může pro jednu investici vyskytnout více IRR, což může být matoucí.

[1] [4]

7.3 Analýza citlivosti

Každá investice, v sobě skrývá nejistotu a riziko. Prognózy peněžních toků, které tvoří základ pro výpočet čisté současné hodnoty (NPV), se opírají o předpoklady, které se v reálném světě nemusí vždy naplnit. Proto je nezbytné zohlednit variabilitu těchto předpokladů a analyzovat, jak se změny klíčových parametrů projeví na celkové atraktivnosti investice.

Cílem citlivostní analýzy NPV je kvantifikovat dopad nejistoty na hodnotu investice. Pomocí této metody lze zkoumat, jak se změny vybraných proměnných v modelu investice odrazí na výpočtu NPV. Jinými slovy, analyzovat, jak se změny klíčových předpokladů v modelu investice odrazí na výpočtu čisté současné hodnoty (NPV). To umožňuje lépe posoudit riziko dané investice a rozhodnout se, zda do ní vložit svůj kapitál.

Pomocí citlivostní analýzy se můžeme lépe zorientovat v tom, jak se změny klíčových faktorů projeví na výkonnosti investice.

[1] [4]

7.3.1 Postup provádění citlivostní analýzy:

1. Definice modelu: Nejprve je nutné vytvořit model investice, který zahrnuje všechny relevantní faktory ovlivňující NPV. To obvykle zahrnuje proměnné jako diskontní sazba, tržby, náklady, dotace, daňové zatížení apod.
2. Výběr proměnných: Dále je nutné vybrat klíčové proměnné, které chceme analyzovat. V praxi se zaměřujeme na faktory s největší mírou nejistoty a největším potenciálním dopadem na NPV.
3. Stanovení scénářů: Pro každou vybranou proměnnou definujeme několik scénářů s různými hodnotami. Tyto scénáře by měly reprezentovat realistické rozsahy, ve kterých se daná proměnná může v budoucnu pohybovat
4. Výpočet NPV pro každý scénář: Pro každý definovaný scénář vypočítáme NPV investice. To nám umožní porovnat dopad různých hodnot proměnných na celkovou hodnotu investice.
5. Analýza výsledků: Na základě vypočítaných NPV pro různé scénáře analyzujeme citlivost investice na změny daných proměnných. Můžeme vizualizovat výsledky pomocí grafů a tabulek a kvantifikovat dopad jednotlivých faktorů na NPV.

[1] [4]

KAPITOLA 8: EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANT BUZENÍ

V této kapitole se zaměřím na praktickou aplikaci ekonomických principů pro výběr nejvhodnějšího regulátoru buzení (RB) pro danou elektrárnu. Z analyzuji tři varianty:

1. **Náhrada stávajícího jednokanálového RB za nový:** Tato varianta představuje základní řešení s nejnižšími počátečními investicemi.
2. **Náhrada stávajícího RB za nový dvoukanálový:** Tato varianta slibuje vyšší efektivitu buzení a potenciálně i vyšší výnosy, ale s vyššími investičními náklady.
3. **Generální oprava stávajícího RB (rebase):** Tato varianta představuje nejlevnější řešení z krátkodobého hlediska, ale s nižší životností a menším potenciálem pro optimalizaci.

Cílem této kapitoly je porovnat ekonomickou efektivitu všech tří variant a doporučit nejvhodnější řešení pro danou elektrárnu.

K posouzení ekonomické efektivity využiji metodu čisté současné hodnoty, citlivostní analýzu a další ukazatele.

Ekonomická analýza mi pomůže objektivně zhodnotit a vybrat nejvhodnější variantu buzení pro danou elektrárnu. Vhodně zvolená varianta může zvýšit efektivitu provozu, snížit náklady a maximalizovat zisky.

8.1 Ekonomické předpoklady pro hodnocení variant buzení

Při hodnocení ekonomické efektivity investic je důležité zvolit co nejpřesnější předpoklady. To je nezbytné pro dosažení spolehlivých výsledků a informovaného investičního rozhodování. Nicméně je nutné si uvědomit, že dokonale přesné předpovědi budoucnosti nejsou nikdy možné. Vždy existuje určitá míra nejistoty, kterou je nutné zohlednit a analyzovat.

V této kapitole se zaměřím na předpoklady použité ve výpočtech při hodnocení ekonomické efektivity variant buzení synchronního stroje. Pro každý předpoklad uvedu zdůvodnění jeho výběru a zdroj, ze kterého vychází.

8.1.1 Investiční náklady

Investiční náklady hrají klíčovou roli při vyhodnocování ekonomické efektivity. V této kapitole se zaměřím na investiční náklady u bezkartáčových typů budících soustav s dvoukanálovým a

.....

jednokanálovým regulátorem buzení. Tyto hodnoty budu dále používat v následujících kapitolách, které se zabývají ekonomickým hodnocením obou variant.

Následující informace jsou založeny na interních datech firmy a jejich uveřejnění bylo konzultováno s vedením firmy.

8.1.2 Samotný rozvaděč

Cena u zakázkového výrobku je stanovena individuálně, po zjištění konkrétních požadavků a potřeb zákazníka. Pro zjednodušení budu pracovat pouze s ceníkem, který budu využívat v praktické části této práce.

Základní ceny jsou následující:

- **Jednokanálový rozvaděč** regulátoru bezkartáčového buzení s jmenovitým budícím proudem do 20 A, jeho základní cena je **450 000 Kč**.
- **Dvoukanálová varianta** stejného buzení je o 400 000 Kč dražší, tedy základní cena je **850 000 Kč**.
- **Generální oprava stávajícího RB**, základní cena je 250 000 Kč

Cena zahrnuje:

- Projektovou dokumentaci rozvaděče.
- Výrobu rozvaděče regulátoru bezkartáčového buzení se všemi potřebnými komponenty pro správnou regulaci.
- Přednastavení parametrů AVR (finální nastavení se provádí až při uvádění do provozu)

Výše zmíněné ceny jsou za základní typ rozvaděče. Následně si zákazník může dokupovat další rozšíření, např.:

-
- Větší displej AVR
- Regulace $\cos \varphi$ linky
- Komunikace
 - Modbus RTU
 - Modbus TCP
 - Profibus

-
- Dálkového připojení rozvaděče k internetu
 - PSS
 - A další, dle potřeb zákazníka.

Ceny jednotlivých rozšíření nemohu zveřejňovat, ale lze konstatovat že, pokud si zákazník individuálně určuje požadavky na rozvaděč, cena rozvaděče se zvyšuje.

Pro tuto práci budeme počítat se základními cenami. Je také důležité zmínit, že toto je ceník z posledního období. Ceník každé období prochází aktualizacemi.

8.1.3 Práce servisního technika

Další nezanedbatelnou položkou je práce servisního technika. Servisní technik provádí úkony potřebné pro uvedení zařízení do provozu a dále provádí údržbu či opravy.

8.1.3.1 Cena servisního technika

Cena servisního technika se kalkuluje hodinově a je následující:

- Práce technika: 2 000 Kč/h
- Čas strávený na cestě 1 500 Kč/h
- Servisní vozidlo 25 Kč/km
- Ubytování: dle lokality (v ČR okolo 2 500 Kč/noc)
- Diety: dle lokality (v ČR okolo 350 Kč/den)

8.1.3.2 Uvádění do provozu

Uvádění do provozu je klíčovou součástí procesu instalace rozvaděče. Správně provedené uvedení do provozu zajistí bezproblémový a efektivní chod rozvaděče po celou dobu jeho životnosti.

Během uvádění do provozu se provádí:

- Kontrola správného zapojení rozvaděče - ověření, zda je rozvaděč zapojen v souladu s technickou dokumentací a bezpečnostními předpisy.
- Testování všech funkcí rozvaděče – důkladná kontrola všech funkcí rozvaděče, včetně regulace, ochrany a signalizace.
- Nastavení parametrů – v případě potřeby úprava parametrů rozvaděče podle specifických požadavků provozu.

-
- Zaškolení obsluhy – seznámení obsluhy s principem fungování rozvaděče, ovládním a bezpečnostními pokyny.

V naprosté většině případů provádí tyto úkony technik společnosti, od které byl rozvaděč zakoupen.

Doba uvedení rozvaděče do provozu se liší v závislosti na jeho typu a složitosti:

- Jednokanálový rozvaděč buzení – v průměru 3-5 dní.
- Dvoukanálový rozvaděč buzení – vzhledem k větší složitosti a nutnosti provést testy dvakrát, se doba uvedení do provozu pohybuje mezi 5-8 dny.
- Uvádění do provozu při generální opravě je podobné jako uvádění do provozu jednokanálové varianty, tedy 3-5 dní.

8.1.3.3 Pravidelná údržba

Pro zajištění optimálního chodu a prodloužení životnosti budicího systému se doporučuje pravidelná údržba provedená servisním technikem 1x za rok.

Doba údržby:

- U jednodušší (jednokanálová) varianty rozvaděče zabere údržba okolo 5 hodin.
- U složitějších (dvoukanálová) variant se může doba údržby prodloužit až na 10 hodin.

8.1.4 Ekonomická životnost

Ekonomická životnost (někdy též efektivní životnost) je klíčový koncept v oblasti hodnocení investic. Vyjadřuje období, po které investice generuje dostatečný peněžní tok na pokrytí počáteční investice a dosažení požadované míry návratnosti. Jinými slovy, ekonomická životnost určuje, jak dlouho investice bude zisková.

Ekonomická životnost je pro investory důležitým ukazatelem hned z několika důvodů:

- Posouzení návratnosti investice: Ekonomická životnost umožňuje investorům rychle posoudit, jak dlouho bude investice generovat zisk a za jak dlouho se jim investované peníze vrátí.

-
- Srovnání investic: Ekonomická životnost slouží k porovnání různých investičních možností a k výběru té, která nabízí nejlepší poměr mezi rizikem a návratností.
 - Optimalizace investičních strategií: Na základě ekonomické životnosti mohou investoři optimalizovat své investiční strategie a prodlužovat dobu generování zisku.

Zařízení, která budeme v této práci porovnávat mají běžnou záruku dva roky. Je možné také dokoupit prodlouženou záruku. Cena prodloužené záruky se stanovuje vždy individuálně. Nicméně, ekonomická životnost těchto zařízení je delší než délka záruky. Při pravidelné a kvalitní péči je možné zařízení provozovat desítky let. Nejdéle fungující zařízení od společnosti, ve které pracuji, bylo vyrobeno v roce 1996 a je stále v provozu. Uváděná předpokládaná životnost produktů je 20 let. I proto budeme v celé této práci počítat s 20 letou dobou ekonomické životnosti.

8.1.5 Cena elektřiny

Abychom mohli popsat cenu elektřiny je nejdříve nutné zjistit, z čeho se cena skládá. Cena elektřiny se skládá ze dvou hlavních složek: silové ceny a regulovaných poplatků. Pochopení rozdílu mezi nimi je klíčové pro fakturaci a celkové náklady na elektřinu.

Silová cena, nazývaná také burzovní cena, představuje variabilní složku ceny elektřiny. Je to cena, za kterou se elektřina obchoduje na burze. Určuje ji tržní mechanismus, tzn. poměr nabídky a poptávky.

Regulované poplatky představují fixní složku ceny elektřiny. Jsou to poplatky, které stanovuje Energetický regulační úřad (ERÚ) a zahrnují:

- Poplatek za distribuci: Hradí se provozovateli distribuční sítě za dopravu elektřiny do koncové zásuvky.
- Poplatek za systémové služby: To jsou poplatky za udržování stability a fungování elektrizační soustavy.
- Poplatek za pohotovostní rezervy: Hradí se za kapacitu elektráren, které jsou připraveny v případě potřeby dodávat elektřinu do sítě.
- Poplatek za činnost OTE: Jde o poplatek za činnost Operátora trhu s energiemi (OTE), který zajišťuje obchodování s elektřinou.

V této práci se budu zabývat pouze silovou částí ceny elektřiny, protože to je cena za kterou může elektrárna prodávat elektřinu na burze.

.....

Cena silové elektřiny v Česku prošla v posledních letech turbulentním vývojem, poznamenaným prudkým růstem a výraznými výkyvy. Pro pochopení aktuální situace se budu zabývat detaily krátkodobého i dlouhodobého vývoje a uvedu klíčové faktory, které cenu ovlivňují. [15]

8.1.5.1 Krátkodobý vývoj za poslední 4 roky:

Rok 2021 byl poznamenán prudkým nárůstem ceny silové elektřiny, a to vlivem kombinace těchto faktorů:

- Oživení globální ekonomiky: Po pandemii COVID-19 došlo k rychlému oživení průmyslu a s ním i k růstu poptávky po energiích.
- Výpadky v dodávkách fosilních paliv: Narušení dodávek ropy a plynu v důsledku geopolitických událostí vedlo k růstu jejich cen a tím i cen energií z nich vyrobených.
- Růst cen emisních povolenek: Emisní povolenky, klíčový nástroj pro snižování emisí skleníkových plynů, zdražovaly, čímž se prodražila výroba elektřiny z uhlí.
- Nízké zásoby uhlí: V zásobnících elektráren se nacházely nízké zásoby uhlí, které nestačily uspokojit rostoucí poptávku.
- Extrémní povětrnostní jevy: Sucho a nízké hladiny vodních nádrží omezily výrobu vodní energie.

•

Rok 2022: Válka na Ukrajině a s ní související sankce uvalené na Rusko vedly k další eskalaci cen energií. V únoru 2022 dosáhla cena silové elektřiny na burze rekordních 20 000 Kč/MWh. Následně ceny klesly, ale stále se pohybovaly nad úrovní roku 2021. Průměrná cena silové elektřiny v ČR v roce 2022 byla 7 000 Kč/MWh.

- **Rok 2023:** Ceny silové elektřiny v roce 2023 kolísaly, ale stále se však držely výše než v roce 2021. Průměrná cena silové elektřiny v ČR v roce 2023 byla lehce přes 3 000 Kč/MWh.
- **Rok 2024:** Nejdůležitějším ukazatelem je současná cena elektřiny. Její průměrná hodnota v tomto roce (duben 2024) na úrovni 2 000 Kč/MWh

[15]

8.1.5.2 Predikce ceny elektřiny.

Předpovědět budoucí vývoj ceny elektřiny s jistotou je nemožné, jelikož na ni působí mnoho komplexních faktorů. Nicméně můžeme analyzovat trendy a klíčové faktory, které ovlivňují cenu, a na základě nich se pokusit o informovaný odhad.

Faktory ovlivňující cenu elektřiny:

- Poptávka a nabídka: Základní princip nabídky a poptávky hraje klíčovou roli. Růst poptávky při stagnující nebo klesající nabídce zvyšuje cenu elektřiny. Naopak, přebytek produkce vede k poklesu ceny.
- Cena fosilních paliv: Výroba elektřiny z fosilních paliv (uhlí, plyn, ropa) je stále dominantní. Jejich cena má přímý vliv na celkovou cenu elektřiny.
- Obnovitelné zdroje energie (OZE): Náklady na OZE (solární, větrná) klesají a jejich podíl v energetickém mixu roste. To může v dlouhodobém horizontu vést k stabilizaci ceny elektřiny.
- Cena emisních povolenek: Emisní povolenky slouží k regulaci emisí skleníkových plynů a jejich cena ovlivňuje cenu elektřiny z fosilních paliv

V dlouhodobém horizontu se předpokládá postupný růst ceny, a to z těchto důvodů:

- Vyčerpávání fosilních paliv
- Rostoucí tlak na snižování emisí skleníkových plynů
- Nutnosti investic do modernizace energetické infrastruktury a technologií

Z výše uvedených důvodů budu v této práci předpokládat, že cena elektřiny bude růst rychleji než inflace (CPI). Očekávám reálný meziroční růst o 1% nad CPI, s celkovým nárůstem o 50% za 40 let

Pro tento faktor provedu citlivostní analýzu.

[4] [15]

8.1.6 Diskont

Diskontní míra (r_e) se používá k oceňování budoucích peněžních toků a vyjádření nákladů na vlastní kapitál. Může být stanovena pomocí následujícího CAPM modelu

$$r_e = r_f + r_r = r_f + \beta \cdot (r_m - r_f)$$

r_e – Diskontní míra

r_f – Bezriziková složka

r_r – Prémie za riziko

β – beta koeficient

r_m – očekávaný výnos trhu

Bezriziková složka (r_f): Toto je výnosnost investice, která nepodléhá žádnému riziku. V praxi se obvykle používá výnosnost státních dluhopisů s dlouhou splatností jako referenční hodnota bezrizikové složky. [1][4]

Prémie za riziko (r_r): Tato složka odráží dodatečný výnos, který investoři požadují za investici do rizikovějších aktiv. [1][4]

Koeficient beta (β) určuje, jak citlivé je aktivum na kolísání trhu. Beta rovná 1 znamená, že aktivum se pohybuje stejně jako trh. Beta větší než 1 znamená, že aktivum je volatilnější než trh. Beta menší než 1 znamená, že aktivum je méně volatilní než trh. [1][4]

Očekávaný výnos tržního portfolia (r_m): Představuje průměrný výnos, který investoři očekávají od diverzifikovaného portfolia, které zahrnuje všechny akcie na trhu. [1][4]

Abych mohl vypočítat diskontní míru pro tuto práci, musím nejdříve stanovit složky, ze kterých se skládá. [1][4]

Jako první stanovím bezrizikovou složku. V tomto případě se bude jednat o státní dluhopisy na střednědobá a dlouhodobá období. Tyto dluhopisy se nyní (duben 2024) pohybují okolo 3 %. Ale domnívám se, že je vhodnější, vzhledem k turbulentnímu období s inflací, vycházet z průměrného výnosu státních dluhopisů za poslední 2 roky, který je okolo 2,5%. [17] [19] [20]

Další položkou v této rovnici je očekávaný výnos trhu. Na základě historických dat z let 2010 až 2023 činila průměrná míra výnosu akciového indexu PX okolo 6 %. Proto je očekávaná míra výnosu trhu v České republice 6 %. [17] [19] [20]

Poslední položkou v rovnici je určení β koeficientu. β koeficient vyjadřuje, jak citlivá je investice vůči změnám na trhu. Vzhledem k tomu, že snaha státu a celé EU na zvýšení podílu využívání OZE je

.....

aktuálně velmi silná a poměrně zajištěná, je toto odvětví méně citlivé vůči změnám na trhu. Proto byl β koeficient stanoven na hodnotu 0,8. [17] [19] [20]

Z těchto důvodů byla diskontní míra stanovena následovně:

$$r_e = r_f + \beta \cdot (r_m - r_f) = 2,5 + 0,8 \cdot (6 - 2,5) = 5,3 \%$$

Na velikost diskontní míry bude provedena citlivostní analýza

8.1.7 Inflace

Inflace představuje nárůst celkové cenové hladiny v ekonomice v daném časovém období. Jinými slovy, za stejné množství peněz si můžeme koupit méně zboží a služeb. Inflace se obvykle měří pomocí indexu spotřebitelských cen (CPI), který sleduje ceny reprezentativního koše zboží a služeb, které běžně spotřebovávají domácnosti.

Vývoj inflace v České republice:

- Po rozdělení Československa v roce 1993: Vysoká inflace (až 20,8 %) v důsledku liberalizace cen a transformace ekonomiky.
- 90. léta: Postupný pokles inflace s cílem dosažení cenové stability.
- 2000 - 2008: Nízká inflace s průměrem okolo 2% ročně.
- 2008 - 2013: Globální finanční krize a následná stagnace vedly k mírnému poklesu cen a deflaci v roce 2009.
- 2014 - 2021: Opětovný růst inflace, s průměrem okolo 2% ročně.
- 2022: Prudký nárůst inflace na 15,1 %, nejvyšší od roku 1993, v důsledku růstu cen energií, potravin a narušení dodavatelských řetězců vlivem války na Ukrajině.
- 2023 - 2024: Postupné snižování inflace, která je nyní (duben 2024) 2 % ročně.

Z historických dat bude v naší práci uvažovat inflaci na úrovni 2 % ročně. Jedná se o hodnotu inflace která bývá průměrná během neturbulentních období.

[11] [17]

8.1.8 Daně

Daň z příjmu je povinná daň, kterou odvádějí právnické osoby (společnosti) v České republice ze svého zisku dosaženého v daném zdaňovacím období (obvykle kalendářní rok).

.....

Základní sazba daně z příjmů je 21 %. V této práci bude počítáno s touto základní sazbou daně z příjmu.

Daňová sazba bude v této práci zohledněna pomocí odpisového daňového štítu, který vzniká firmě, která investuje do dlouhodobého hmotného a nehmotného majetku (např. stroje, budovy, software). Hodnota majetku se v průběhu doby odpisuje, tzn. rozkládá se do daňových nákladů. Výše odpisového daňového štítu závisí na hodnotě majetku, odpisové skupině a odpisové metodě.

[12]

8.2 Technické popis a předpoklady pro hodnocení variant buzení

V této kapitole budou popsány technické předpoklady, které budou použité v následující kapitole pro ekonomické hodnocení projekt.

8.2.1 Popis elektrárny

Nejdříve je nutné definovat elektrárnu, pro kterou bude v následující kapitole počítána ekonomická efektivnost investice do jednokanálového, či dvoukanálového rozvaděče regulátoru buzení. Uváděná data vychází z provozu a potřeb konkrétní elektrárny, ale po dohodě s vedením elektrárny budou některé informace mírně upraveny, a zmiňovaná elektrárna zůstane v anonymitě.

V mnou uváděném příkladu se jedná o vodní průtočnou elektrárnu. Tyto vodní elektrárny pracují s přirozeným průtokem řeky, který není uměle regulován. To znamená, že elektrárna využívá pouze vodu, která protéká korytem řeky, bez ohledu na aktuální poptávku po elektřině. Při překročení maximálního průtoku, na který je elektrárna dimenzována, protéká přebytečná voda korytem řeky bez využití. Vzhledem k nemožnosti regulovat průtok vody a s ohledem na ne hospodárnost takového provozu, se tento typ elektráren používá pro pokrytí základního zatížení energetické sítě. To znamená, že elektrárna vyrábí stabilní množství elektřiny, které pokrývá základní spotřeby, a její výkon není určen pro pokrytí špiček v odběru.

[3] [9]

8.2.2 Parametry generátoru

V elektrárně je umístěn hydroalternátor s následujícími parametry:

- Jmenovité napětí generátoru: 6,3 kV AC
- Jmenovitý činný výkon generátoru: 5 MW

8.2.3 Parametry buzení

Generátor je navržen pro bezkartáčové buzení s následujícími parametry:

- Napětí napájení z PMG: 200 V AC
- Jmenovitý budící proud: 5 A DC
- Špičkový budící proud: 10 A DC max 10 s.
- Jmenovité výstupní napětí: 50 V DC
- Špičkové výstupní napětí: 100 V DC

Rozvaděč buzení je dále napájen ovládacím napětím 220 V DC, které se za pomoci zdrojů mění v rozvaděči na 24 V DC. Toto napětí následně slouží k napájení přístrojů a hardwarovým povelům.

Rozvaděč může být jednokanálový či dvoukanálový. Která z těchto dvou variant bude vhodnější k použití bude předmětem ekonomických výpočtů, které jsou v další kapitole.

8.2.4 Výkon v průběhu roku

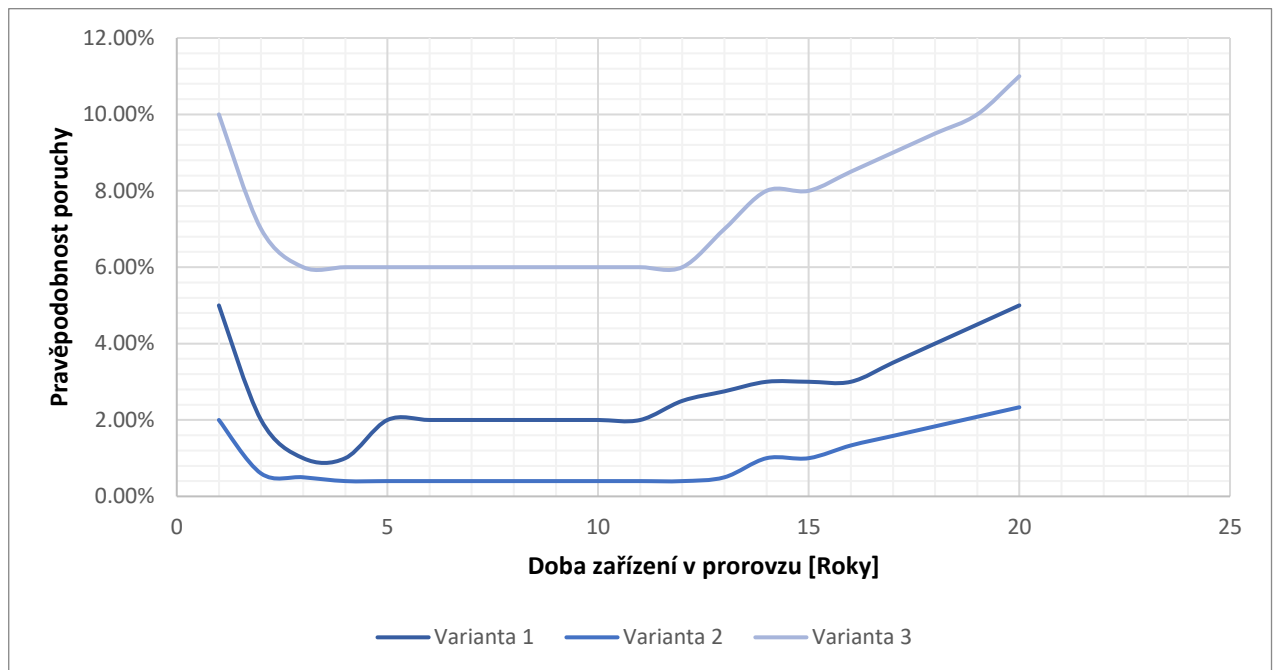
Vzhledem k tomu, že maximální použitelný výkon je zde omezen jednak nominálním výkonem a dále pak průtokem a spádem přívodu vody do turbíny, je dáno, že se maximální použitelný výkon v průběhu roku výrazně mění. V měsících, kdy je v řece více vody může být výkon vyšší a tím i vyšší množství vyrobené elektrické energie. Naopak v suchých měsících dochází k poklesu vody v řece a tím se snižuje i výkon turbíny. Pro tuto práci bude počítáno s průměrným ročním výkonem 80 % jmenovitého výkonu.

8.2.5 Spolehlivost

Dalším důležitým faktorem pro hodnocení investic je spolehlivost. Spolehlivost rozdělím do dvou kategorií se kterými budu dále počítat.

1. Pravděpodobnost poruchy (výpadku) každý rok
2. Průměrná doba výpadku.

Pravděpodobnost výpadku byla stanovena z interních dat společnosti. Tato hodnota se v průběhu času mění v závislosti na starší zařízení. Její průběh ukazuje následující graf:



Graf 1- Spolehlivost [vlastní zpracování]

Graf jasně ukazuje, že pravděpodobnost výpadku (poruchy) je zpočátku provozu vyšší. Poté se zařízení "zahoří", zaběhne a stabilizuje, čímž se snižuje pravděpodobnost poruch. Následně zařízení pracuje spolehlivě a stabilně bez větších závad. Ke konci životnosti však pravděpodobnost výpadku opět stoupá, což je způsobeno opotřebením komponentů a únavou materiálu, která následně vede k vyššímu riziku poruch.

Graf jasně ukazuje vývoj spolehlivosti jednotlivých variant buzení (RB) v průběhu jejich životnosti. Spolehlivostní křivky vykazují podobný průběh, s výraznými rozdíly mezi těmito variantami:

- **Dvoukanálový RB:** Tato varianta má nejvyšší spolehlivost v celém průběhu životnosti. Nízká pravděpodobnost výpadku potvrzuje teoretické předpoklady a zdůrazňuje výhody této varianty.
- **Jednkanálový RB:** Tato varianta vykazuje nižší spolehlivost ve srovnání s dvoukanálovým RB, ale stále se jedná o spolehlivou variantu.
- **Repase:** Tato varianta se ukázala jako nejméně spolehlivá, avšak s nejnižšími investičními náklady. Nízká spolehlivost je důsledkem opotřebením a stárnutí původních komponentů.

8.3 Výpočty

V této kapitole se zaměřím na kvantifikaci ekonomické efektivity jednotlivých variant buzení pro danou elektrárnu. K tomuto účelu využiji metodu čisté současné hodnoty (NPV) a srovnám výsledky pro všechny tři varianty.

Nejdříve jsem sestavil všechny uvedené předpoklady v předchozích kapitolách do tabulky.

Předpoklady

Ekonomické předpoklady				
	Variant 1	Varianta 2	Varianta 3	
Investice	450 000.00	850 000.00	250 000.00	Kč
Odpisy	20			let
Diskontní sazba	5.30%			-
Inflace	3.00%			-
Elektřina CPI	1.00%			-
Daňová sazba	21.00%			-
Výkupní cena elektřiny	2			Kč/kWh
Cena práce technika	2000			Kč/h
Cena technika na cestě	1500			Kč/h
Cena servisního vozidla	20			Kč/km
Ubytování	2500			Kč/noc
Diety	350			Kč/noc

Technické předpoklady

	Variant 1	Varianta 2	Varianta 3	
Jmenovitý výkon	5			MW
Průměrný výkon v %	0.8			-
Spolehlivost	Viz graf spolehlivosti			-
Průměrná délka opravy v případě poruchy	8			h
Životnost	20			let
Doba průměrného výpadku (SAIDI)	80			h
Délka běžného servisu	4	7	5	h
Čas strávený na jedné cestě	4			h
Vzdálenost elektrárny od dodavatele	300			Km
Potřebný čas na uvedení do provozu v dnech	3	5	3	dny
Počet pracovních hodin za den	10			h

Dříve, než bylo možné přejít k hlavním výpočtům, bylo nutné provést pomocné výpočty.

Tyto výpočty jsou shrnuty v následující tabulce:

Pomocné výpočty

	Variant 1	Varianta 2	Varianta 3	
Nocležné (ubytování a diety)	2850			Kč
Průměrný výkon generátoru	4			MW
Cena cesty- vůz (tam a zpět)	12000			Kč
Cena cesty- technik (tam a zpět)	12000			Kč
Roční odpisy	22 500.00	42500	12500	Kč
Potřebný čas na uvedení do provozu v h	30	50	30	h

Tyto hodnoty byly stanoveny následujícím způsobem:

$$\text{Nocležné} = \text{diety} + \text{ubytování} = 350 + 2500 = 2850 \text{ Kč}$$

$$\text{Průměrný výkon generátoru} = \text{Jmenovitý výkon} \cdot \text{Průměrný výkon v \%} = 5 \cdot 0,8 = 4 \text{ MW}$$

Cena cesty – vůz (tam a zpět)

$$\begin{aligned} &= 2 \cdot \text{Cena servisního vozidla} \cdot \text{Vzdálenost elektrárny od dodavatele} \\ &= 2 \cdot 20 \cdot 300 = 12\,000 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cena cesty – technik (tam a zpět)} &= 2 \cdot \text{Cena technika na cestě} \cdot \text{Čas strávený na jedné cestě} \\ &= 2 \cdot 1500 \cdot 4 = 12\,000 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\text{Roční odpisy} = \frac{\text{Investice}}{\text{Doba odpisování}} = \frac{450\,000}{20} = 22\,500 \text{ Kč}$$

Potřebný čas na uvedení do provozu v h

$$\begin{aligned} &= \text{Potřebný čas na uvedení do provozu v dnech} \cdot \text{Počet pracovních hodin za den} \\ &= 3 \cdot 10 = 30 \text{ h} \end{aligned}$$

S těmito údaji již bylo možné začít počítat samotné NPV pro jednotlivé varianty. V této části práce popíši a ukáži pouze část výpočtů pro první variantu. Celá tabulka se všemi hodnotami výpočtu pro všechny varianty je uvedena v příloze. Všechny výsledky jsou uvedeny a popsány v další kapitole.

.....

Variant 1

Roky	0	1	2	3	...	20
Investice	450 000 Kč					
Uvedení do provozu	98 250 Kč					
Ztráta v případě výpadku		12 800 Kč	13 316 Kč	6 858 Kč		44 394 Kč
Servis zařízení oprava		- Kč	- Kč	391 Kč		2 531 Kč
Běžný servis- údržba		34 850 Kč	35 896 Kč	36 972 Kč		61 110 Kč
Odpisy		22 500 Kč	22 500 Kč	22 500 Kč		22 500 Kč
Náklady před zdaněním	98 250 Kč	70 150 Kč	71 711 Kč	66 721 Kč		130 535 Kč
Daňový štít	20 633 Kč	14 732 Kč	15 059 Kč	14 011 Kč		27 412 Kč
CF	527 618 Kč	55 419 Kč	56 652 Kč	52 710 Kč		103 122 Kč
DCF	527 618 Kč	52 629 Kč	51 093 Kč	45 144 Kč		36 710 Kč

Výpočty budou ukázány pro rok 1., ostatní roky jsou principiálně stejné. Pouze v případě, že je to vhodné nutné, byl výpočet navýšen ještě o inflaci.

První položka v tomto roce je ztráta v případě výpadku. K výpočtu této hodnoty bylo využito spolehlivosti. Nejdříve byl vypočten celkový ušlý příjem v případě výpadku a následně byl tento ušlý příjem násoben pravděpodobností, že k němu dojde. Rovnice pro tuto hodnotu by mohla vypadat následovně:

Ztráta v případě výpadku

$$\begin{aligned} &= \text{Pravděpodobnost výpadku v roce } t \\ &\cdot (\text{výkupní cena} \cdot \text{Průměrný výkon generátoru} \cdot 1000 \cdot \text{výkupní cena elektřiny} \\ &\cdot \text{průměrná doba výpadku}) = 0,02 \cdot (2 \cdot 4 \cdot 1000 \cdot 80) = 12\,800 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Další položka je servis zařízení (oprava). Tento náklad se počítá v případě, že dojde k výpadku a je nutná oprava servisním technikem. Stejně jako v předchozí variantě je tento náklad uskutečněn pouze s pravděpodobností poruchy zařízení. V prvních dvou letech je tento náklad nulový, protože zařízení je ještě v záruční době. Rovnice pro výpočet tohoto nákladu by mohla vypadat následovně.

.....

Servis zařízení – oprava

$$\begin{aligned} &= \text{Pravděpodobnost výpadku v roce } t \\ &\cdot (\text{Cena cesty – vůz (tam a zpět)} + \text{Cena cesty – technik (tam a zpět)}) \\ &+ \text{Průměrná délka opravy v případě poruchy} \cdot \text{Cena práce technika} + \text{nocležné}) \\ &= 0,02 \cdot (12000 + 12000 + 8 \cdot 2000 + 2850) = 857 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Tato hodnota by vyšla v prvním roce po skončení záruky. Hodnoty pro další roky jsou obdobné, ale vždy závisí na pravděpodobnosti poruchy. V každém roce cena servisní opravy narůstá ještě o inflaci.

Další položkou, kterou nesmím opomenout je běžná údržba. Tento úkon by se měl provádět pravidelně, každý rok, autorizovaným servisním technikem. Je to jeden z faktorů, který ovlivňuje spolehlivost a životnost zařízení. Pro zjednodušení je v této práci počítáno, že tato údržba se provádí každý rok, nicméně ve skutečnosti tomu tak není vždy. Vzorec pro výpočet tohoto nákladu by mohl být následující:

Běžný servis – údržba

$$\begin{aligned} &= (\text{Cena cesty – vůz (tam a zpět)} + \text{Cena cesty – technik (tam a zpět)}) \\ &+ \text{Délka běžného servisu} \cdot \text{Cena práce technika} + \text{nocležné}) \\ &= (12000 + 12000 + 4 \cdot 2000 + 2850) = 34\,850 \text{ Kč} \end{aligned}$$

V neposlední řadě je zde počítáno s odpisy. Tento náklad byl stanoven v pomocných výpočtech.

Z těchto hodnot byly stanoveny náklady před zdaněním. Dlouho jsem přemýšlel nad tím, zda do těchto nákladů počítat i ztráty v případě výpadku. Po konzultaci se svým vedoucím DP jsem došel k závěru, že vzhledem k tomu, že příslušná elektrárna má stále náklady, které by za normálních okolností pokrývaly příjmy, které se zde neuskuteční, tak je možné je do celkových nákladů před zdaněním zahrnout. Z nákladů před zdaněním je již možné vypočítat daňový štít. Pomocí následující rovnice:

$$\text{Daňový štít} = \text{Náklady před zdaněním} \cdot \text{Daň} = 70\,150 \cdot 0,21 = 14\,732 \text{ Kč}$$

Po odečtení daňového štítu je možné získat CF.

$$\text{CF} = \text{Náklady před zdaněním} - \text{Daňový štít} = 70\,150 - 14\,732 = 55\,419 \text{ Kč}$$

Z CF je již možné získat DCF podle rovnice

$$DCF = \frac{CF}{(1+r)^t} = \frac{55\,419}{(1+0,053)^1} = 52\,629 \text{ Kč}$$

Součtem všech takto diskontovaných CF dostáváme NPV. Jehož hodnota a získané výsledky budou uvedeny v následující kapitole.

8.4 Vyhodnocení

V předchozí kapitole byly ukázány příklady jednotlivých výpočtů ekonomické efektivity. Tyto výpočty jsem provedl pro všechny tři zmíněné varianty. Tedy:

- Varianta 1: Jednokanálový RB
- Varianta 2: Dvoukanálový RB
- Varianta 3: Repase

Výsledky lze shrnout do následující tabulky:

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
NPV	1 326 118 Kč	1 719 496 Kč	1 495 628 Kč

Vzhledem k tomu, že se jedná o nákladové NPV, je nejvhodnější varianta ta s nejnižší hodnotou NPV. V tomto případě vyniká varianta 1 (Jednokanálový RB) s NPV 1 326 118 Kč. Z daných předpokladů se tak jeví jako nejvýhodnější.

Druhá nejlepší varianta (Repase stávajícího zařízení) dosahuje NPV 1 495 628 Kč, což je o méně než 15 % více než u varianty 1. I tato varianta tak představuje ekonomicky zajímavou volbu.

Nejméně vhodnou variantou se ukazuje Dvoukanálový RB s NPV 1 719 496 Kč. Vzhledem k výrazně vyššímu NPV oproti variantě 1 a 3 nedoporučujeme tuto variantu pro daný projekt.

Na základě analýzy nákladového NPV doporučuji pro daný projekt zvolit variantu 1 (Jednokanálový RB). Tato varianta nabízí nejlepší poměr mezi investičními náklady a náklady vzniklé při poruše. Varianta 3 (Repase stávajícího zařízení) představuje alternativní řešení s nižšími investičními náklady, i když s nižší spolehlivostí a tím pádem vyšší pravděpodobnost poruchy. Varianta 2 (Dvoukanálový RB) není v tomto případě doporučována z důvodu nejvyššího nákladového NPV, byť představuje nejvíce spolehlivou variantu.

8.5 Citlivostní analýza

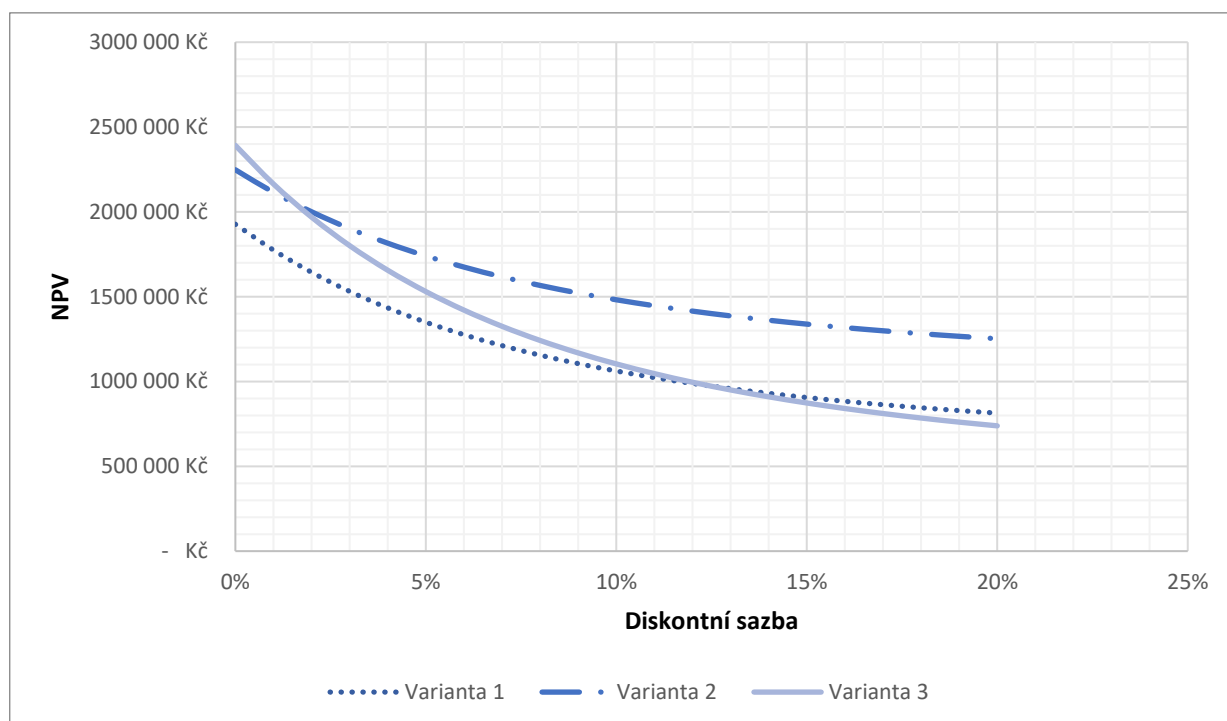
V předchozí kapitole jsem určil nejvhodnější variantu buzení pro daný projekt na základě analýzy NPV a přijatých předpokladů. Je však důležité zdůraznit, že výsledky se mohou lišit v případě změny některých vstupních parametrů. V této kapitole se zaměříme na simulaci dopadu vybraných parametrů na NPV a posoudíme, zda by tato změna mohla ovlivnit konečné hodnocení.

Pro některé parametry a jejich změněné hodnoty budou provedeny nové výpočty NPV. Výsledky budou porovnány s původními hodnotami NPV a analyzovány z hlediska dopadu na konečné hodnocení.

Analýza vlivu změn vstupních parametrů na NPV nám pomůže lépe porozumět citlivosti výsledků na různé scénáře. Díky simulaci můžeme posoudit robustnost našeho hodnocení a identifikovat případné kritické parametry, které by mohly ovlivnit konečné rozhodnutí o výběru varianty buzení.

8.5.1 Vliv diskontní sazby na NPV

Jako první parametr, který může ovlivňovat celkový výsledek, byla zvolena diskontní sazba. Tato sazba byla zkoumána od 0 % až do 20%.



Graf 2 - Závislost NPV na diskontu [vlastní zpracování]

.....

Změna diskontní sazby má výrazný dopad na hodnotu NPV u všech variant. S rostoucí diskontní sazbou, tak dochází k poklesu NPV. Důvodem je, že vyšší diskontní sazba snižuje současnou hodnotu budoucích peněžních toků.

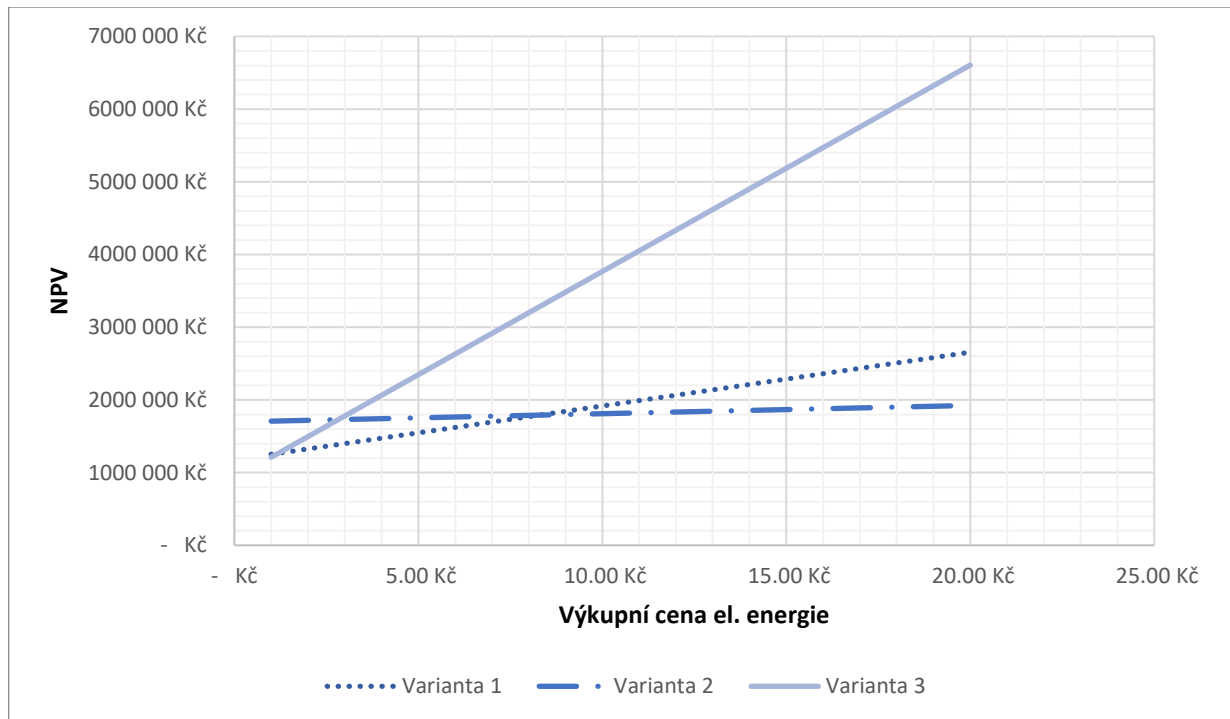
Vývoj NPV v závislosti na diskontní sazbě:

- Varianta 1 (Jednokanálový RB): Pro diskontní sazby do 12 % je tato varianta nejvýhodnější. Po překročení 12 % se stává výhodnější variantou repase.
- Varianta 2 (Dvoukanálový RB): Tato varianta je nejméně výhodná pro všechny zkoumané hodnoty diskontní sazby.
- Varianta 3 (Repase): Pro diskontní sazby nad 12 % se stává nejvýhodnější variantou.

Výběr varianty buzení je citlivý na diskontní sazbu. V závislosti na očekávané diskontní sazbě se nejvhodnější varianta může lišit

8.5.2 Vliv výkupní ceny elektrické energie na NPV

Další zkoumanou hodnotou v citlivostní analýze byl vliv výkupní ceny elektrické energie na NPV. Pro tento faktor bylo zvoleno rozmezí od 1 Kč/kWh až do 20 Kč/kWh. Závislost NPV na výkupní ceně elektrické energie je následující:



Graf 3- Závislost NPV na výkupní ceně elektrické energie [vlastní zpracování]

Z této závislosti je již na první pohled patrné, že výkupní cena elektrické energie je velmi podstatným faktorem. Z průběhu grafu vyplývá, že každá varianta je vhodná od určité částky za kWh.

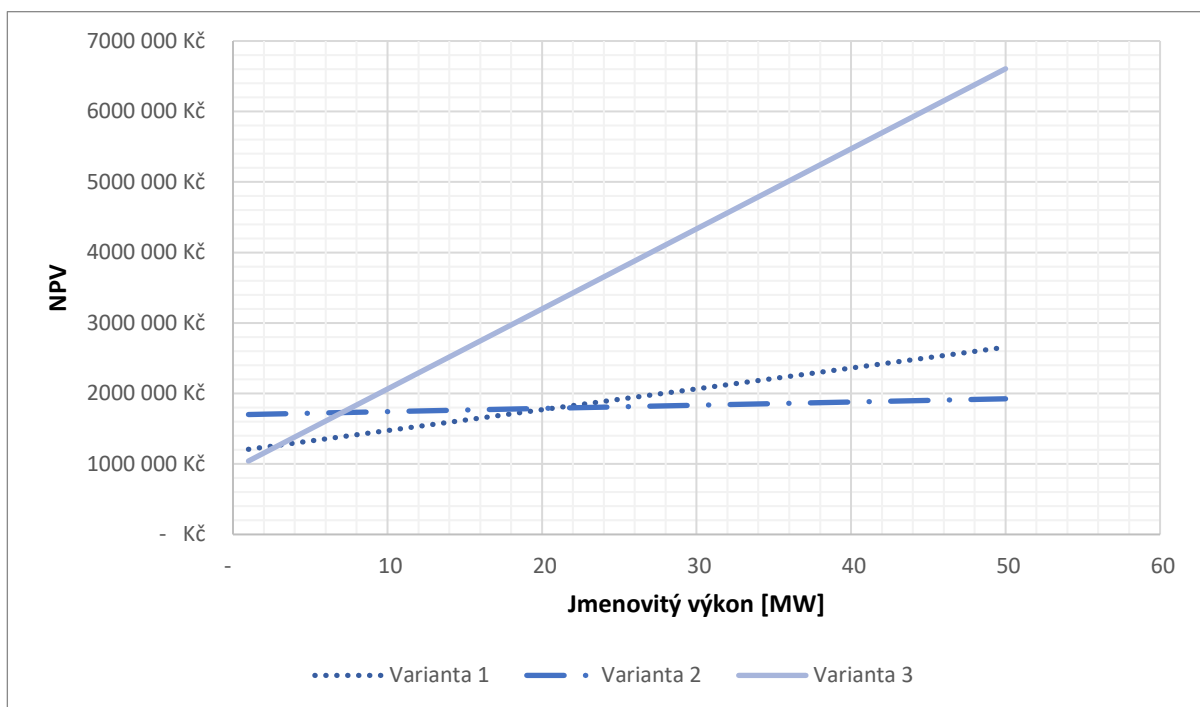
- Varianta 1 (Jednokanálový RB): Tato varianta je nejvhodnější v rozmezí 1–8 Kč/kWh.
- Varianta 2 (Dvoukanálový RB): Tato varianta je nejvhodnější pro výkupní cenu nad 8 Kč/kWh.
- Varianta 3 (Repase): Tato varianta je nejvhodnější pro výkupní cenu pod 1 Kč/kWh.

Doporučení:

- Volba varianty buzení by měla záviset na očekávané výkupní ceně energie.
- Pro nízké výkupní ceny (pod 1 Kč/kWh) je nejvhodnější repase.
- Pro střední výkupní ceny (1–8 Kč/kWh) je nejvhodnější jednokanálový RB.
- Pro vysoké výkupní ceny (nad 8 Kč/kWh) je nejvhodnější dvoukanálový RB

8.5.3 Vliv jmenovitého výkonu generátoru na NPV

Třetím faktorem, který byl zkoumán v rámci citlivostí analýzy, byla závislost NPV na jmenovitém výkonu generátoru. Pro tento faktor bylo zvoleno rozmezí od 1 MW až do 50 MW. Závislost NPV na jmenovitém výkonu generátoru je následující:



Graf 4- Závislost NPV na jmenovitém výkonu [vlastní zpracování]

Výsledky analýzy ukázaly silnou závislost NPV na jmenovitém výkonu generátoru. Z grafu opět vyplývá, že každá varianta je vhodná pro určitou velikost výkonu:

- Varianta 1 (Jednokanálový RB): Tato varianta je nejvhodnější v rozmezí 2 – 19 MW instalovaného výkonu.
- Varianta 2 (Dvoukanálový RB): Tato varianta je nejvhodnější pro instalovaný výkon nad 19 MW.
- Varianta 3 (Repase): Tato varianta je nejvhodnější pro malé výkony do 2 MW.

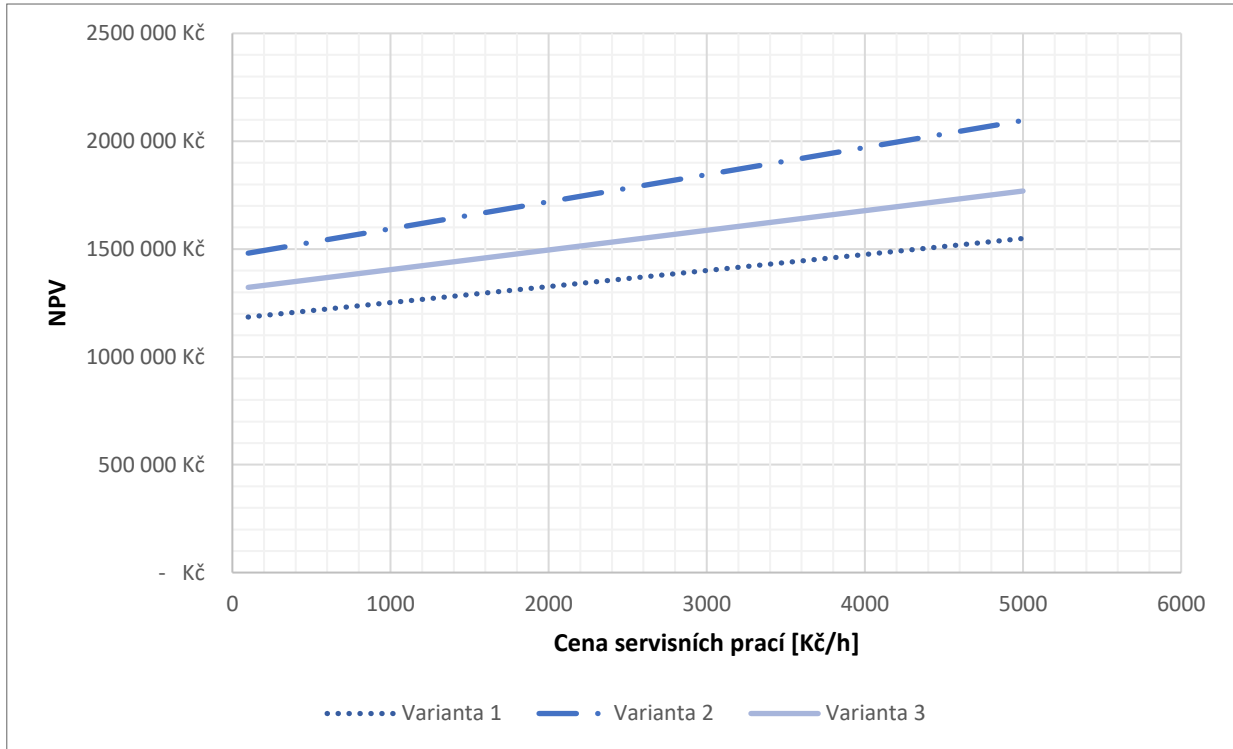
Doporučení:

- Volba varianty buzení by se měla odvíjet od instalovaného výkonu generátoru.
- Pro nízké výkony (do 2 MW) je nejvhodnější repase.
- Pro střední výkony (2 – 19 MW) je nejvhodnější jednokanálový RB.

- Pro vysoké výkony (nad 19 MW) je nejvhodnější dvoukanálový RB.

8.5.4 Vliv ceny servisních prací na NPV

Předposledním faktorem, který byl zkoumán v rámci citlivostní analýzy je cena servisních prací. Pro tento faktor bylo zvoleno rozmezí od 100 Kč/h až do 5 000 Kč/h. Závislost NPV na ceně servisních prací je následující:



Graf 5 - Závislost NPV na ceně servisních prací [vlastní zpracování]

Graf ukazuje, že NPV se mění s cenou servisních prací, ale pro výběr varianty buzení tento faktor nehraje významnou roli. Důvodem je, že mezi variantami sice existuje rozdíl v délce oprav a údržby, ale tento rozdíl není dostatečně významný, aby ovlivnil celkový výsledek.

Lze tedy konstatovat, že cena servisních prací nepatří mezi klíčové faktory ovlivňující výběr varianty buzení. Volba varianty by se měla zaměřit na jiné faktory než na cenou servisních prací.

KAPITOLA 9: ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá komplexní analýzou a porovnáním variant buzení synchronních generátorů z technického i ekonomického hlediska. Hlavní část práce klade důraz na porovnání jednobužňového a dvoubužňového rozvaděče regulátoru buzení.

V první kapitole práce je popsán princip fungování synchronních generátorů a zdůrazněny rozdíly mezi hydroalternátory a turboalternátory. Následuje detailní rozbor matematicko-fyzikálních principů funkčnosti buzení s popisem závislosti mezi indukovaným napětím a budícím proudem. Jsou definovány všechny veličiny, které v této závislosti figurují.

Další kapitola se zabývá rozdíly mezi statickým (přímým) a bezkartáčovým buzením. Jsou popsány principy fungování a porovnány jejich specifické vlastnosti.

Na příkladu jednobužňového bezkartáčového buzení jsou v následující kapitole podrobně rozebrány tři základní funkční části zařízení:

- silová část,
- měřicí část
- ovládací část.

Součástí kapitoly je i můj projekt silové části znázorněný na obrázku číslo 3.

Kapitola číslo 4 se zaměřuje na běžné typy regulací. Pro snazší pochopení principu fungování jednotlivých regulací je nejprve popsán PQ diagram. Následují podrobné rozbory čtyř typů regulací s názorným vysvětlením na zmíněném PQ diagramu.

Další kapitola je důležitá část práce, která se věnuje rozdílům mezi jednobužňovým a dvoubužňovým regulátorem buzení. Jsou popsány konstrukční a funkční rozdíly mezi rozvaděči, včetně jejich výhod a nevýhod.

V poslední kapitole teoretické části práce se věnuji metodám hodnocení investic. Tyto metody jsem následně použil v hlavní kapitole o ekonomickém hodnocení variant buzení.

Následující část diplomové práce se zaměřuje na praktickou aplikaci teoretických poznatků a provádí detailní analýzu investičních variant pro buzení synchronního generátoru ve vodní elektrárně s výkonem 5 MW.

.....

Tři varianty investice:

- Varianta 1: Náhrada stávajícího jednonálového RB za nový: Tato varianta představuje základní řešení s nejnižšími počátečními investicemi.
- Varianta 2: Náhrada stávajícího RB za nový dvoukanálový: Tato varianta slibuje vyšší efektivitu buzení a potenciálně i vyšší výnosy, ale s vyššími investičními náklady.
- Varianta 3: Generální oprava stávajícího RB (repase): Tato varianta představuje nejlevnější řešení z krátkodobého hlediska, ale s nižší životností a menším potenciálem pro optimalizaci.

Všechny výpočty v této diplomové práci byly provedeny pro konkrétní vodní elektrárnu s výkonem 5 MW. Informace o této elektrárně mi byly poskytnuty vedením elektrárny, avšak z důvodu zachování anonymity nemohu uvést její název. Je však důležité zdůraznit, že principy a postupy prezentované v této práci lze aplikovat na libovolnou vodní elektrárnu. V případě jiného typu elektrárny s odlišnými parametry a provozními podmínkami by bylo nutné výpočty modifikovat a adaptovat na specifické vlastnosti dané elektrárny

Nejdříve jsem vypočítal nákladové investice pro všechny tři varianty. Toto NPC vyšlo následovně:

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
NPV	1 326 118 Kč	1 719 496 Kč	1 495 628 Kč

Z těchto výpočtů lze usuzovat, že nejvýhodnější investice je do varianty 1 (Náhrada stávajícího jednonálového RB za nový), jelikož má nejnižší nákladové NPV. Je však důležité zdůraznit, že výsledky se mohou lišit v případě změny některých vstupních parametrů, a proto byla dále provedena citlivostní analýza, která přinesla následující výsledky:

- Výkupní cena elektrické energie je extrémně podstatným faktorem. Z průběhu grafu vyplývá, že každá z variant je vhodná od určité částky za kWh.
- Silnou závislost NPV na jmenovitém výkonu generátoru. Opět z grafu vyplývá, že každá varianta je vhodná pro určitou velikost výkonu.

A další poznatky, které je možné vyčíst z kapitoly 8.

.....

Tato diplomová práce se zaměřila na porovnání jednokanálového a dvokanálového rozvaděče regulátoru buzení pro průtočnou vodní elektrárnu po technické i ekonomické stránce. V budoucnu by bylo možné provést detailnější analýzu pro další varianty elektráren a zjistit, jak se změní jednotlivé výsledky.

Závěrem lze konstatovat, že tato diplomová práce splnila svůj cíl a přinesla poznatky o problematice buzení synchronních generátorů ve vodních elektrárnách.

KAPITOLA 10: ZDROJE

10.1 Odborná literatura

- [1] BREALEY, Richard A.; MYERS, Stewart C. a ALLEN, Franklin. Teorie a praxe firemních financí. 2., aktualiz. vyd. Přeložil Vladimír GOLIK, přeložil Zdeněk MUŽÍK, přeložil Liběna STIEBITZOVÁ. Brno: BizBooks, 2014. ISBN 978-80-265-0028-5.
- [2] HABRYCH, Richard. Řízení jalového výkonu synchronního generátoru. *ENERGETIKA* [online]. 2015 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: https://www.orgrez.cz/fileadmin/user_upload/750/E_3_2015_habrych.pdf
- [3] HAVLÍK, Martin. *Návrh systému elektrických ochran a buzení malého synchronního generátoru*. Plzeň, 2020. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
- [4] HOLMAN, Robert. *Ekonomie*. 4., aktualiz. vyd. *Beckovy ekonomické učebnice*. Praha: C.H. Beck, 2005. ISBN 80-7179-891-6.
- [5] HORNÍK, Vincenc. *Regulace buzení synchronního generátoru*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Huták, Ph.D.
- [6] MIZNER, Martin. *Výkonová část statické budící soupravy pro generátor 57 MW*. Praha, 2014. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Prof. Ing. Jiří Pavelka, DrSc.
- [7] MĚŘIČKA, Jiří, Václav HAMATA a Petr VOŽENÍLEK. Elektrické stroje. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02109-2.
- [8] VOŽENÍLEK, P. NOVOTNÝ, V., MINDL, P.: Elektromechanické měniče. Praha: ČVUT. 2015, ISBN 978-80-01-04875-7
- [9] DOLEŽAL, Jaroslav. Jaderné a klasické elektrárny. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04936-5.
- [10] Pavelka J., Zdeněk J.: Elektrické pohony a jejich řízení, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2010

10.2 Internetové zdroje

- [11] ECB.EUROPA.EU. *Co je to inflace?* Online. European Central Bank - eurosystem. ©2024. Dostupné z: https://www.ecb.europa.eu/ecb-and-you/explainers/tell-me-more/html/what_is_inflation.cs.html. [cit. 2024-05-21].
- [12] FINANCNISPRAVA.CZ. *Obecné informace*. Online. Finanční správa. 2024. Dostupné z: <https://www.financnisprava.cz/cs/dane/dane/dan-z-prijmu/pravnicke-osoby/obecne-informace>. [cit. 2024-05-21].
- [13] [HOME.ZCU.CZ](http://home.zcu.cz). Pracovní oblast a provozní diagram alternátoru. In: *Home.zcu.cz* [online]. 2023 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~nohac/E2/Elektrarny2-cast09-v3.pdf>
- [14] INFORMACNI-PORTAL.CZ. *Vodní elektrárny*. Online. Informační portál energetické gramotnosti. 2024. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/vodni-elektrarny#article-top>. [cit. 2024-05-21].
- [15] KURZY.CZ. *Elektrina - ceny a grafy elektriny, vývoj ceny elektriny 1 MWh - 1 rok - měna CZK*. Online. Kurzycz. 2024. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektriny-graf-vyvoje-ceny/1MWh-czk-1-rok>. [cit. 2024-05-21].

-
- [16] KURZY.CZ. *Inflace - 2024, míra inflace a její vývoj v ČR*. Online. Kurzycz. 2024. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/makroekonomika/inflace/>. [cit. 2024-05-21].
- [17] KURZY.CZ. *Výnos dluhopisu 10R - ČR (Úrokové sazby finančních trhů [%]) - ekonomika ČNB*. Online. Kurzycz. 2024. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/cnb/ekonomika/vynos-dluhopisu-10r-cr/>. [cit. 2024-05-21].
- [18] MINISTERSTVO FINANCÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *Výnosy SDD*. MFCR [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.mfcr.cz/cs/rozpocetova-politika/rizeni-statniho-dluhu/emise-statnich-dluhopisu/emisni-kalendare-sdd/2024>
- [19] PSE.CZ. *PX*. Online. PX Burza cenných papírů Praha. 2024. Dostupné z: <https://www.pse.cz/indexy/hodnoty-indexu/detail/XC0009698371>. [cit. 2024-05-21].
- [20] PXE.CZ. *Elektrina - Obchodní data*. Online. Pxe.cz. 2024. Dostupné z: <https://pxe.cz/cs/derivatovy-trh/elektrina>. [cit. 2024-05-21].
- [21] TENEL. CZ. *TENEL* [online]. 2001 - 2023 © Tenel, s.r.o. [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.tenel.cz>

KAPITOLA 11: SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ

11.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Řez rotoru hydroalternátoru [8]	13
Obrázek 2 - Řez rotoru turbostroje [8]	14
Obrázek 3 Schéma statického buzení [3]	20
Obrázek 4 - Schéma statického buzení – bezkartáčové buzení [3].....	22
Obrázek 5 -Silová část RB [vlastní zpracování].....	24
Obrázek 6 - Měření RB [3].....	26
Obrázek 7 - Typický PQ diagram [13]	30
Obrázek 8 - Typický PQ diagram s naznačením principu regulace Q [13; vlastní zpracování].....	32
Obrázek 9 - Typický PQ diagram s naznačením principu regulace [13; vlastní zpracování].....	33
Obrázek 10 - Silová část dvoukanálového RB [vlastní zpracování]	37

11.2 Seznam tabulek

Tabulka 1- Popis jednotlivých komponent v silové části RB [vlastní zpracování]	25
--	----

11.3 Seznam grafů

Graf 1- Spolehlivost [vlastní zpracování].....	54
Graf 2 - Závislost NPV na diskontu [vlastní zpracování].....	60
Graf 3- Závislost NPV na výkupní ceně elektrické energie [vlastní zpracování].....	62
Graf 4- Závislost NPV na jmenovitém výkonu [vlastní zpracování]	63
Graf 5 - Závislost NPV na ceně servisních prací [vlastní zpracování]	64