

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Rizika opětovného výpadku energetické sítě po přetížení  
sítě**

**vedoucí práce: Prof.Ing.Jan Mühlbacher,Csc.  
autor: Jiří Pečený**

**2012/13**



ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří PEČENÝ**  
Osobní číslo: **E10B0060K**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Rizika opětovného výpadku energetické sítě po přetížení sítě**  
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište základní principy fungování elektrické sítě a hlavní příčiny výpadků dodávky energie.
2. Navrhněte možnosti obnovení vlastní spotřeby vodní elektrárny Orlík.
3. Zvažte, jaká jsou rizika opětovného rozpadu sítě při připojení elektrárny Orlík do většího odběru elektrické energie.
4. Uveďte možnosti ověření funkčnosti připravených provozních plánů elektrárny Orlík při startu ze tmy (BlackStart).

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Mühlbacher, Jan: Metody řešení přechodných jevů v elektrizačních soustavách I. 1. vyd. Plzeň, ZČU, 1993
2. Beran, Miloš: Elektrická zařízení tepelných elektráren. 1. vyd. Plzeň, VŠSE, 1988
3. Schejbal, Konstantin; Mertlová, Jiřina: Elektroenergetika II., 1.část. 1. vyd. Plzeň, ZČU, 1998
4. Mertlová, Jiřina; Schejbal, Konstantin: Rozvodná zařízení. Plzeň, VŠSE, 1990
5. Rusňák, Š., Řezáček, P.: Elektrické přístroje 1., 1. vyd. ZČU v Plzni

Vedoucí bakalářské práce: Prof. Ing. Jan Mühlbacher, CSc.  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

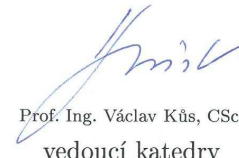
Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2012

Termín odevzdání bakalářské práce: 7. června 2013

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry



V Plzni dne 15. října 2012

## **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce se zaměřuje na problematiku řešení opětovného výpadku přenosové sítě po výpadku sítě přetížením...

## **Klíčová slova**

Přetížení sítě, porušení podmínek přenosu, black out, vlastní spotřeba, black start, výpočetní modelování, ...

## **Abstract**

The master theses presents the risk of the repeated failure the energy networks after the failure of network by overload

## **Key words**

Overload, the risks of overload, black-out, own consumption, black start, mathematical modeling ...

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 30.5.2013

Jiří Pečený

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Janovi Mühlbacherovi, Csc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Též velmi děkuji doc. Ing. Miloslavě Tesařové za obětavou pomoc s dotažením práce. Dále bych rád poděkoval své přítelkyni Veronice za podporu v těžkých chvílích a speciální poděkování bych též rád věnoval svému otci, matce a sestře.



# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>9</b>
<b>PŘEDMLUVA</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>2 ZÁKLADY FUNGOVÁNÍ PŘENOSOVÉ SÍTĚ A HLAVNÍ PŘÍČINY VÝPADKŮ DODÁVKY ELEKTRICKÉ ENERGIE</b> .....	<b>13</b>
2.1 ZÁKLADNÍ PRINCIPY FUNGOVÁNÍ ELEKTRICKÉ SÍTĚ.....	15
2.2 HLAVNÍ PŘÍČINY VÝPADKŮ DODÁVKY ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	16
2.3 PŘÍKLADY NEJVĚTŠÍCH BLACK-OUTŮ VE SVĚTĚ.....	17
2.4 SOUČASNÁ RIZIKA VÝPADKŮ TYPU BLACK-OUT V ČR .....	17
2.5 MOŽNOSTI PŘEDCHÁZENÍ BLACK-OUTU.....	19
<b>3 MOŽNOSTI OBNOVENÍ VLASTNÍ SPOTŘEBY NA VODNÍ ELEKTRÁRNĚ ORLÍK</b> .....	<b>20</b>
3.1 VLASTNÍ SPOTŘEBA ELEKTRÁRNÝ OBEZNĚ.....	20
3.2 SPOTŘEBIČE, KTERÉ SE PODÍLEJÍ NA VLASTNÍ SPOTŘEBĚ VODNÍ ELEKTRÁRNÝ.....	20
3.2.1 Zajištění dodávky energie pro vlastní spotřebu vodní elektrárny Orlický.....	21
3.2.2 Současná technická výzbroj elektrárny Orlický.....	22
3.3 MOŽNOSTI OBNOVENÍ VLASTNÍ SPOTŘEBY ELEKTRÁRNÝ ORLÍK .....	23
3.3.1 Definice black -out.....	23
3.3.2 Definice black start .....	23
3.3.3 Vlastní spotřeba elektrárny Kamýk.....	24
3.3.4 Vlastní spotřeba elektrárny Orlický (VS) .....	24
<b>4 RIZIKA OPĚTOVNÉHO ROZPADU SÍTĚ PŘI NAJETÍ ELEKTRÁRNÝ ORLÍK DO PŘEDEM SEPNUTÉ TRASY</b> .....	<b>25</b>
4.1 VZNIK A TYPY OSTROVNÍHO PROVOZU .....	25
4.2 OBNOVA PO PORUŠĚ .....	26
4.3 MOŽNOSTI ZKOUŠENÍ STARTU ZE TMY.....	27
4.4 STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA SIMULAČNÍHO SOFTWARE .....	27
4.4.1 Modelovaná soustava.....	28
4.4.2 Kritéria hodnocení simulace.....	29
4.4.3 Popis simulovaného modelu.....	30
<b>5 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI PROVOZNÍCH PLÁNŮ ELEKTRÁRNÝ ORLÍK PŘI STARTU ZE TMY</b> .....	<b>35</b>
5.1 STRUČNÝ VÝTAH Z PROVOZNÍ INSTRUKCE ČEPS .....	35
5.1.1 Předpoklady funkčnosti provozních plánů .....	36
5.1.2 Vlastní ověření funkčnosti provozních plánů .....	36
5.1.3 Ověření funkčnosti provozních plánů z cizího zdroje.....	36
5.2 ZHODNOCENÍ.....	38
<b>6 ZÁVĚR</b> .....	<b>39</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>41</b>

## **Předmluva**

Předkládaná práce je zaměřena na problematiku vzniku opětovného výpadku přenosové sítě po výpadku sítě přetížením, dále se zabývá možnostmi obnovy napájení vlastní spotřeby vodní elektrárny Orlík.

Text rozdělují do čtyř částí; první se zabývá hlavními příčinami výpadků elektrické sítě, druhá pojednává o situaci startu ze tmy vodní elektrárny Orlík. Třetí část zvažuje rizika opětovného rozpadu přenosové sítě při připojení elektrárny Orlík do většího odběru elektrické energie. Čtvrtá část ověřuje funkčnost připravených provozních plánů elektrárny Orlík při startu ze tmy ( Black-start).

## Seznam symbolů

$\Delta U_{max}$ [V].....	Maximální odchylka napětí
$U$ [V].....	Napětí
$\Delta f_{max}$ [Hz] .....	Maximální odchylka frekvence
$Lp$ [H/km].....	Provozní indukčnost
$Cp$ [F/km].....	Provozní kapacita
$Rp$ [ $\Omega$ ].....	Provozní rezistance
$p$ [-].....	Počet pólových dvojic
$f$ [Hz].....	Frekvence
$m$ [-].....	Počet fází

# 1 Úvod

V následujícím textu bude krátce pojednáno o rizicích vzniku totálního výpadku přenosové sítě (black-out), přehledně uvedeny současné možnosti prevence black-outu. V poslední třetině textu se zabývám riziky opětovného výpadku energetické sítě při startu elektrárny Orlík ze tmy do většího odběru elektrické energie. Závěrečná kapitola ověřuje připravené provozní plány na elektrárně Orlík pro start ze tmy.

Výše uvedená problematika nabývá v současné době na významu v souvislosti s dynamickou a mnohdy živelnou výstavbou obnovitelných zdrojů elektrické energie. Výstavba obnovitelných zdrojů elektrické energie, zejména není-li doprovázena potřebným rozvojem elektrických sítí, může za určitých okolností velmi zvyšovat rizika black-outu. Pokud dojde k black-outu i menšího rozsahu jsou vodní elektrárny prostředkem pro obnovení vlastní spotřeby větších elektrárenských bloků (jaderných elektráren, konvenčních tepelných elektráren). Je jistě žádoucí znát možná rizika při startech vodních elektráren ze tmy do většího odběru elektrické energie. V neposlední řadě ověření připravených provozních plánů pro start ze tmy může dobře sloužit k jejich případnému zpřesnění.

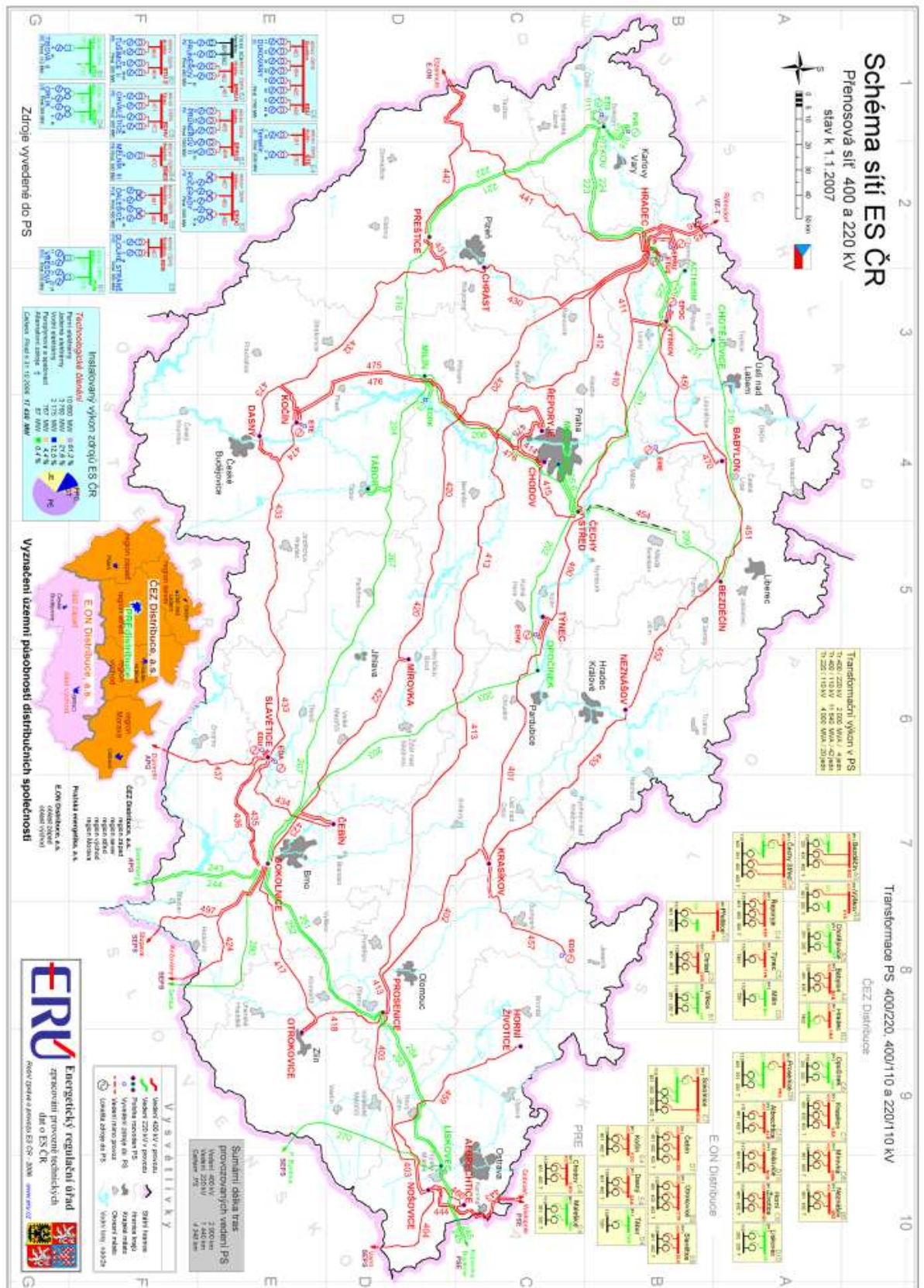
## 2 Základy fungování přenosové sítě a hlavní příčiny výpadků dodávky elektrické energie

Základní úkol přenosové sítě spočívá v propojení elektrických uzlů, do kterých je elektrická energie přiváděna z výrobních jednotek, a uzlů, ze kterých je rozváděna do rozvodných soustav tak, aby rozložení výkonů bylo optimální v celé oblasti z hlediska nákladů na výrobu a přenos. Elektrické sítě jsou řešeny s různými topologiemi a s různými napěťovými úrovněmi.

Volba topologie, přenosového a rozvodného napětí je dána technicko-ekonomickou rozvahou, přičemž rozhodujícími faktory při výběru jsou vzdálenost a velikost přenášeného výkonu a s tím spojené i určité ztráty.

V současnosti provozovanou energetickou soustavu ČR tvoří 38 rozvodných zařízení 400 kV a 220 kV umístěných ve 30 transformovnách a dále 2 900 km tras vedení 400 kV a 1 440 km tras vedení 220 kV. Nadřazená soustava ČR dále zahrnuje i 105 km tras vedení 110 kV a též i dvě rozvodná zařízení 110 kV. Celkový instalovaný výkon transformátorů ve výše uvedených 30 transformovnách je 17 190 MVA a celkový výkon kompenzačních tlumivek 1 436 MVA<sub>r</sub>.

Na obr.2.1 lze vidět celkovou mapu energetické soustavy České republiky.



Obr.2.1 Nadřazená soustava ČR převzato z [10]

## 2.1 Základní principy fungování elektrické sítě

Elektrizační soustava představuje část energetické soustavy zahrnující zařízení pro výrobu, přenos a spotřebu elektrické energie.

- **Elektrické sítě**

Elektrickou sít vytváří souhrn všech galvanicky spojených částí vedení a stanic téhož napětí určený k přenosu, přeměně a rozvodu elektrické energie. Elektrické vedení představuje vodivé spojení pro přenos elektrické energie a elektrické stanice jsou vybaveny zařízením, které slouží k transformaci, přeměně, kompenzaci nebo rozvodu elektrické energie.[1]

- **Rozdělení elektrických sítí**

Obvykle elektrické sítě dělíme **podle účelu** na sítě nadřazené (nadřazené ostatním z hlediska skladby nebo provozu) převážně VVN na napěťových hladinách 110 kV, 220 kV, 400 kV, dále na sítě oblastní VN 35 kV, 22 kV a sítě místní NN. Z hlediska **uspořádání zapojení** lze sítě rozdělit na sítě otevřené (dodávají energii do místa spotřeby vždy jednou cestou) a uzavřené (dodávají energii z několika stran). Mezi sítě otevřené typicky patří sítě paprskové a jako příklad uzavřené sítě lze uvést sít okružní či mřížovou. Z hlediska **začlenění do energetické soustavy** rozlišujeme sítě přenosové a distribuční.

- **Hlavní prvky přenosové sítě**

Každá elektrizační soustava obsahuje hlavní výrobní, přenosová a distribuční zařízení. Mimo těchto zařízení každá elektrizační soustava obsahuje komplex dalších prvků potřebných pro kontrolu, řízení, ochranu a regulaci celé soustavy.

- **Propojení nadřazených soustav**

Propojené soustavy: - propojení dvou a více nadřazených soustav jednotlivých států systémovými propojení s jednotným systémem řízení, které přináší celou řadu výhod. Mezi významné výhody patří propojení různých typů zdrojů elektrické energie, dále možnost časového posunutí špiček zatížení v jednotlivých soustavách, velký význam má i snížení nutných záloh zdrojů energií v jednotlivých soustavách, zvýšení jakosti dodávané energie (vyšší stálost frekvence), v neposlední řadě pak lepší možnosti reakce na poruchy a kompenzování možných přetížení v elektrizační soustavě. [1]

## 2.2 Hlavní příčiny výpadků dodávky elektrické energie

Výrazný výpadek dodávky elektrické energie, který přeruší zásobování velkého území elektrickou energií se označuje jako black-out. Analýzou poruch bylo zjištěno velké množství příčin výpadků dodávek elektrické energie. Výsledky zkoumání přinesly tyto hlavní příčiny:

- *Přenos velkých výkonů na mezi zatížitelnosti*
- *Chybné provedení propojení přenosových soustav sousedních zemí*
- *Špatný technický stav energetické sítě*
- *Po takzvané liberalizaci trhu není možné vhodně plánovat výrobu a přenos elektrické energie*
- *Nadměrná spotřeba elektrické energie spojená mnohdy s neefektivní spotřebou*
- *Včasné nerozpoznání běžné poruchy (např. pády vegetace na vedení ) z důvodu nepřijetí včasných preventivních opatření, kdy dochází ke kaskádovitému šíření poruchy*
- *Chybějící podpůrné algoritmy (např. odhad dynamického stavu soustavy), které by umožnily dispečerům včasnou reakci*
- *Nedostatky v koordinaci, v komunikaci a výměně dat mezi jednotlivými provozovateli soustav*

Black-out bývá obvykle způsoben kombinací výše uvedených příčin, které jednotlivě samy o sobě nemusejí znamenat vážnější komplikaci. Elektrizace soustava je konstruována tak, aby vyřazení či porucha jednoho prvku nezpůsobila vyřazení ostatních, nikoliv však pro několikanásobný sled jednotlivých poruch. V energetické soustavě ČR je nebezpečí black-outu stejné jako ve všech ostatních vyspělých soustavách. Mnoha výpadkům v dodávce elektrické energie se podařilo zabránit díky dobré a obětavé práci profesionálního personálu v řídicích centrálách a také díky existenci robustní a dobře dimenzované soustavy v ČR.[2]



## 2.3 Příklady největších black-outů ve světě

- **14.srpna 2003 USA a Kanada**

Výpadek dodávky elektrické energie trval od šestnácté hodiny do následujícího dne. Příčinou byla kombinace lidské chyby a nedostatečného monitoringu na severovýchodě USA a v Ontariu.

- **28.srpen 2003 Itálie a Francie**

Obnovit dodávku proudu se podařilo až po 6 hodinách. Příčinou byly silné bouřky ve Francii a Švýcarsku, přerušení dodávky elektrického proudu se týkalo 57 miliónů lidí.

- **4.listopadu 2006 Evropa**

Po výpadku přenosové sítě zůstalo bez energie cca 10 miliónů lidí. Příčinou byla lidská chyba při spouštění velké lodi na vodu v docích na severu Německa.[2]

- **4.října 2011 Česká republika**

Díky masivním přetokům energie z oblasti Baltu došlo k velkým problémům se stabilitou přenosové sítě s určitým náběhem k totálnímu black-outu na území ČR, neboť naše síť nebyla na takové přetoky energie připravena.

## 2.4 Současná rizika výpadků typu black-out v ČR

### **Propojování přenosových soustav.**

Narůst spotřeby elektrické energie na konci minulého století vyvolal výstavbu masivní elektrizační soustavy v ČR. Historicky byly sítě původně vystavěné jako oblastní krok za krokem slučovány do národní sítě a později propojeny do sítě celoevropské. Výhodnost propojení do celokontinentální sítě se ukázala zejména při výstavbě větších elektrárenských bloků, možnost odběru elektrické energie ze sousedních zemí umožnila snížení pohotovostní zálohy. Systematické celokontinentální propojování sítí nabízí využití elektrických zdrojů okolních zemí. Ovšem sdružování soustav přináší též zvýšení rizika nekontrolovatelného a kaskádovitého šíření poruchy.

**Zatížení přenosové soustavy** - z hlediska bezpečnosti soustavy jeden z klíčových parametrů. S vysokou pravděpodobností dojde k rozpadu soustavy, bude-li zatěžována blízko

svého technického maxima. V takovém případě lze očekávat také postupné šíření výpadků sítě.

**Životnost vedení české energetické přenosové soustavy** - v ČR je mnoho energetických vedení již za hranicí původně projektované životnosti a se zvyšováním stárí narůstá také riziko poruch. ČEPS i ČEZ však přistupují k postupné modernizaci svých sítí. Momentálně se jich za hranicí životnosti nachází téměř 40 procent.

**Obnovitelné zdroje** – příliš velká koncentrace obnovitelných zdrojů v malém oblastním celku představuje velké riziko případného black-outu. Malé distribuované zdroje mají schopnost naopak riziko výpadku sítě snižovat. Při výrobě a distribuci elektrické energie dosahují totiž obvykle mnohem nižších ztrát. Standardně konvenční velké tepelné elektrárny produkují elektrickou energii s vyšší účinností. Příliš velká koncentrace obnovitelných zdrojů elektrické energie o vyšším výkonu na malé územní ploše sebou nese určité technické problémy. A to z důvodu značných ztrát vznikajících při opětovných transformacích, neboť velké výkony je nutné připojit k síti VVN a s tím souvisí nutnost transformace napětí na hladinu VVN a poté znovu na příslušnou distribuční hladinu v místě spotřeby. Při každé z těchto transformací dochází ke ztrátě okolo 1% . Na druhou stranu u fotovoltaických malých střídačů lze dosáhnout až 98% účinnosti. Velké střídače nedosahují lepších účinností.

**Decentralizace výroby elektřiny** jednoznačně podporuje snižování zátěže přenosové soustavy bez ohledu na fakt, jestli uvažujeme o zdroji konvenčním či obnovitelným. To znamená ve svém důsledku zvýšení spolehlivosti provozu přenosových soustav. Výrobou elektrické energie v distribuovaných OZE lze přitom pokrýt významnou část současné spotřeby elektřiny. Decentralizovanými zdroji lze jistě také zajistit nouzové zásobování elektřinou i v ostrovních režimech např. po rozpadu přenosové sítě.

**I relativně velké fotovoltaické elektrárny** lze přitom z hlediska konvenční energetiky považovat za malé distribuované zdroje. Při nižším zatížení přenosové soustavy se snižují ztráty, například při plném zapojení FVE v ČR se jedná o desítky MW [3].

V souvislosti s energetickou politikou EU je nutno využívat například energetický potenciál větru v Severním moři nebo slunečního záření ve Středomoří. V těchto případech se však už jedná o koncentrované zdroje hodně vzdálené od míst spotřeby. Takové uspořádání výroby a spotřeby vede k vyššímu zatížení přenosové soustavy a tedy ke zvýšení ztrát, tím ke snížení její spolehlivosti v situacích, kdy je výroba elektřiny z konkrétního zdroje vysoká. Řešením může být posílení přenosové soustavy nebo přesunutí spotřeby elektřiny blíže její výrobě. [3]

## 2.5 Možnosti předcházení black-outu

**Inteligentní sítě** v současné době vyvíjené jistě znamenají stabilizující prvek v elektrizační soustavě a především umožňují řídit spotřebu elektrické energie a tím významně snižují riziko black-outu. Ekonomickým problémem však zůstává nutnost instalace inteligentních měřidel, což bohužel není jediná podmínka pro jejich fungování. V ČR provozovaný systém HDO přirovnávaný k inteligentní síti, nelze s inteligentními sítěmi vůbec srovnávat především s ohledem na neexistenci zpětné vazby v systému HDO. [3]

**Sdělovací technologie** použité v systémech inteligentních sítí velmi pravděpodobně budou zvyšovat náchylnost systému k poruchám. V neposlední řadě současné technologické postupy pro řízení přenosových soustav nemusí v prostředí inteligentních sítí vyhovovat.

**Obnova zastarávajících rozvodných sítí** a jejich případné zmodernizování spočívající ve výměně většiny nadřazených vedení VVN napěťové hladiny 220 kV vedeními o napěťové hladině 400 kV by jistě též vedla ke zvýšení stability a odolnosti přenosové soustavy proti mohutným výpadkům. Masivní investice do obnovy vedení jsou nezbytně nutné, minimálně pro část vedení za hranicí životnosti. A výrazné posílení kapacity vedení by nepochybně zvýšilo odolnost české přenosové soustavy.

**Instalace transformátorů s příčnou regulací (tzv. phase shifting transformers)** realizovaná zejména v blízkosti hranic by mohla v budoucnu výrazně snížit riziko black-outu. Tyto transformátory by totiž efektivně převedly elektřinu zejména z německých obnovitelných zdrojů. Tuto skutečnost ještě zhoršuje Rakousko intenzivním nakupováním levné elektrické energie pro následné čerpání vody do vysoko položených zásobníků a její následné využití pro krytí špičkové spotřeby. [3] A vzhledem ke skutečnosti, že na polské straně hranic již výstavba probíhá, musí ČEPS zahájit výstavbu v nejbližší době.

**Zvyšování přenosové kapacity** a výstavba nových elektrárenských zdrojů motivovaná předpokládaným zvyšováním spotřeby elektrické energie v EU může při opačném trendu tj. při konstantní spotřebě nebo při jejím snížení naopak znamenat stabilizující prvek. Vzhledem ke snaze EU o snižování spotřeby se časem předpoklad o růstu spotřeby může ukázat jako chybný, důsledkem by v takovém případě bylo nižší zatížení a tedy vyšší spolehlivost soustavy, tj. nižší riziko black-outu, což je jistě výhodné. [3]

### 3 Možnosti obnovení vlastní spotřeby na vodní elektrárně Orlick

#### 3.1 Vlastní spotřeba elektrárny obecně

Hrubá výroba elektrárny  $A_{cv}$  zmenšená o část vlastní spotřeby elektrárny představuje čistou výrobu elektřiny. Z tohoto hlediska tedy tvoří vlastní spotřeba elektrické energie při její výrobě významnou položku. Např. vlastní spotřeba vodní elektrárny se pohybuje přibližně kolem 0.5 %.

V matematickém vyjádření je vlastní spotřeba elektrárny  $A_{vs}$  – množství elektřiny spotřebované elektrárnou za dané časové období v technologickém procesu výroby elektrické energie (bez uvažování ztrát na blokových transformátorech). Obvykle se vyjadřuje koeficientem vlastní spotřeby  $k_{vs} = (A_{vs}/A_{cv}) * 100$  [%].[4]

#### 3.2 Spotřebiče, které se podílejí na vlastní spotřebě vodní elektrárny

Množství elektrické energie potřebné k pokrytí vlastní spotřeby vodní elektrárny závisí do značné míry na technologickém vybavení elektrárny. V zásadě sem patří čerpací agregáty regulace, technologické pohony, osvětlení, apod. Konkrétně se může jednat o následující spotřebiče :

- Buzení
- Pohony v čerpacích agregátech regulace
- Pohony v kompresorech pro pohon vzduchových vypínačů a odpojovačů
- Pohony čerpadel savek
- Olejová čerpadla
- Požární systémy
- Pohony rychlouzávěrů čerpadel
- Řídící obvody rozvaděčů
- Řízení ochrany a měření
- Osvětlení
- Vytápění

[6]

### 3.2.1 Zajištění dodávky energie pro vlastní spotřebu vodní elektrárny Orlík

Technologie vodní elektrárny Orlík není schopna bez vnější dodávky elektrické energie vlastního rozběhu. Z tohoto důvodu zajišťuje vlastní napájení vodní elektrárny Orlík, vodní elektrárna Kamýk nad Vltavou vysokonapěťovými kabely 10 kV. Jako další 100 % rezerva může být využito vrchního vedení z rozvodny Milín. Do této elektrické rozvodny dodává standardně za generátorového provozu vodní elektrárna Orlík výkon.

Obě VN vedení končí v rozvodně elektrárny Orlík, která napájí tři staniční transformátory.

Dále je vodní elektrárna vybavena dieselagregátem o výkonu 330 kW a UPS systémem s kapacitou 400 Ah. Elektrárnu Orlík lze též zpětně napájet z linek 220 kV přes staniční jednofázový transformátor 220 kV/15 kV. Sekundární vývod tohoto transformátoru je možné zapojit na další dva distribuční transformátory 15 kV/400 V. Tyto zmiňované distribuční transformátory slouží výhradně pro napájení buzení generátorů a pomocných pohonů pro rozběh generátorů. UPS zdroje slouží k nouzovému napájení ochrany, řídicího systému a dále k zajištění bezpečnosti v případě výpadku elektrické energie. Nevýhoda dieselagregátu spočívá v příliš malém výkonu pro start elektrárny Orlík ze tmy.

Dieselagregát je potřebný pro zajištění provozuschopnosti vodní elektrárny Orlík. Dodává energii pro čerpadla odsávající vodu a olej prosakující přes ucpávky do prostoru vík turbín.



Obr.3.1. Dieselagregát vodní elektrárny Orlík

### 3.2.2 Současná technická výzbroj elektrárny Orlík

VE Orlík má instalována čtyři soustrojí s Kaplanovou turbínou (8-K-70, 96 MW) přímo spojená se synchronním hydroalternátorem. Soustrojí je uzpůsobeno pro práci pouze v turbínovém provozu. Konstrukce soustrojí: - vertikální hřídel se závěsným ložiskem nad generátorem a s vodícími ložisky nad a pod generátorem a ve víku turbíny. Generátor je synchronní, trojfázový stroj, mechanickou spojkou propojený s turbínou, vzduchem chlazený s parametry (91 MW/ 100 MVA, 15 kV).

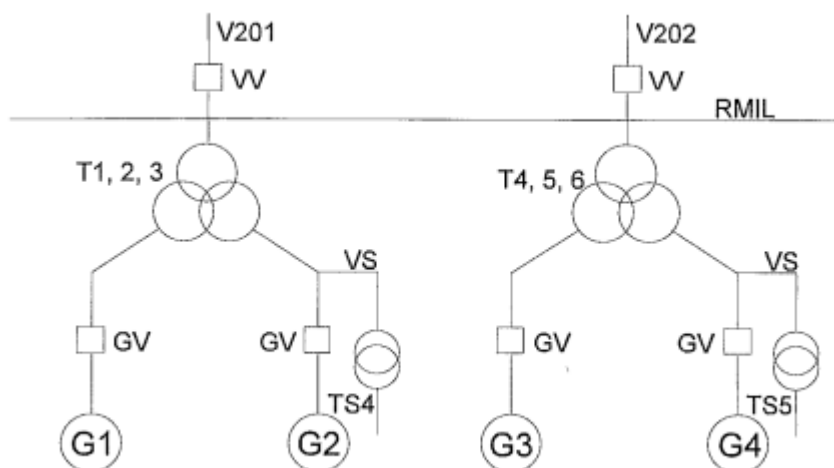
Budicí vinutí napájí rotační budič řízený číslicovým regulátorem. Soustrojí lze elektricky přibrzdit a za pomoci mechanických brzd též úplně zastavit.

Lopatky rozvodného i oběžného kola lze natáčet a tím regulovat výkon i otáčky generátoru. Tato regulace pomáhá i při paralelním provozu s energetickou sítí. Pro řízení zmíněných soustrojí a dalších pomocných zařízení včetně pohonů, ovládání přístrojů v rozvodnách, dalšího technického zařízení a v neposlední řadě sběru dat a jejich zpracování je elektrárna Orlík vybavena distribuovaným systémem kontroly a řízení.

Dnes se vodní elektrárna Orlík řadí mezi plně automaticky řízené elektrárny vyžadující za běžného provozu pouze občasný dohled pochůzkovou službou provozního personálu. Elektrárnu dálkově ovládá dispečink vodních elektráren ve Štěchovicích a nadřazený technický dispečink ČEZ.

Soustrojí je zapojeno dvoublokově, výkony turbogenerátorů TG1 a TG2 jsou svedeny do jednoho společného blokového transformátoru  $T_{1,2,3}$  obdobně výkony turbogenerátorů TG3 a TG4 převádí druhý blokový transformátor  $T_{4,5,6}$ . Každý blokový transformátor tvoří tři jednofázové jednotky se vzduchovým chlazením oleje umístěnými na římse nad výtoky turbín.

Výkony generátorů odvádí přes blokové transformátory dvě linky 220 kV do rozvodny Milín, kde jsou umístěny i vypínače linek. Z rozvodny 12 kV umístěné uvnitř elektrárny Orlík jsou vyvedeny čtyři 10,5 kV kabely dvou vývodů Milín 1 a Milín 2 a dvou vývodů Kamýk1 a Kamýk 2 (viz obr. 3.2).



Obr.3.2. Zjednodušené schéma vyvedení výkonu EOR

### 3.3 Možnosti obnovení vlastní spotřeby elektrárny Orlík

#### 3.3.1 Definice black -out

- *Definice black -out elektrárny Orlík a Kamýk*

Black-out elektrárny Orlík - stav, při kterém dojde ke ztrátě napětí na vedeních 220 kV a zároveň při ztrátě napětí na kabelových vedeních 10 kV Milín1, Milín2 a Kamýk1 a Kamýk2.

Black-out elektrárny Kamýk - stav, při kterém dojde ke ztrátě napětí na vedeních 110 kV a kabelových vedeních 10 kV Orlík1 a Orlík2.

Pokud nastane zároveň black-out elektrárny Orlík i elektrárny Kamýk dispečer energetické soustavy vyhlašuje black-out energetické soustavy.

#### 3.3.2 Definice black start

Podpůrná služba energetické soustavy zavazuje divizi vodních elektráren k dodávce výkonu z EOR do rozvodny Milín do 30 minut od požadavku dispečera ČEPS. Za těchto podmínek nám vychází požadavek na zajištění black startu na elektrárně Kamýk zhruba do 15 minut od povelu dispečera ČEPS a požadavek na black-start do doby 15 min od pokynu dispečera divize vodní elektrárny pro zajištění napětí na střední sekci R10 kV na elektrárně Kamýk.

### 3.3.3 Vlastní spotřeba elektrárny Kamýk

Obnova vlastní spotřeby je automatická pomocí záskoků zdrojů na vedeních 10 kV nebo 110 kV - dle předvolby v řídicím systému. Pokud do dvou minut po ztrátě vlastní spotřeby nedorazí k obnovení napětí, start dieselařegátu automaticky zajistí napájení vlastní spotřeby vodní elektrárny Kamýk.

### 3.3.4 Vlastní spotřeba elektrárny Orlík (VS)

Vlastní spotřeba elektrárny je zajišťována z vedení 10 kV nebo vedení 220 kV. Při ztrátě tohoto napětí dodává napětí dieselařegát pouze pro napájení zvolených částí vlastní spotřeby elektrárny, nikoliv však pro vlastní spotřebu výrobních soustrojí. Ta může být poté zajištěna pouze z elektrárny Kamýk ruční manipulací obsluhy vodní elektrárny Orlík.



Obr. 3.3 Transformátor vlastní spotřeby EOR



## 4 Rizika opětovného rozpadu sítě při najetí elektrárny

### Orlík do předem sepnuté trasy

Rizika opětovného rozpadu přenosové sítě spočívají v elektromagnetických přechodových dějích vznikajících při rozběhu velkých pohonů. Jde v důsledku o prověření, zda vyčleněná část elektrizační soustavy zvládne při najíždění velkých asynchronních motorů ve vlastních spotřebách velké změny činných a jalových výkonů. Nenastane-li přitom nadměrný pokles napětí nebo frekvence a tím nedojde k novému působení podpěťových nebo frekvenčních ochran.

#### 4.1 Vznik a typy ostrovního provozu

Ostrovní provoz podle Kodexu přenosové soustavy vzniká po poruše – vypnutí vedení nebo transformátorů chybnou manipulací nebo ochranami. Postižená část sítě ztrácí synchronní spojení se zbytkem soustavy a pracuje asynchronně (při poklesu frekvence pod 46 Hz se obvykle u vodních elektráren přechází do režimu ostrov).

Existuje i druhý způsob vzniku ostrovního režimu, a to záměrnou činností při obnově soustavy po poruše typu black-out, kdy dojde nejprve k tzv. startu ze tmy bez podpory okolní přenosové sítě, rozběhu vlastní spotřeby, jejímu najetí a dalšímu postupnému zatěžování. [10]

Pro účely této bakalářské práce se nadále zabývám pouze druhou možností.

Ostrovní provoz je ukončen synchronizací a přifázováním ke zbytku soustavy. Přifázování se provádí pomocí automatických synchronizačních zařízení, která kontrolují plnění fázovacích podmínek. Vyregulování frekvence v ostrově do pásma vhodného pro fázování řídí dispečer přenosové soustavy podle příslušné provozní instrukce. [10]

V ostrovním režimu musí platit energetická rovnováha. Matematicky vyjádřeno platí pro ostrovní režim rovnice

$$\sum_{i=1}^n P_{gi} = \sum_{i=1}^n P_{oi} + \sum_{i=1}^n P_{vsi} \quad [4.1]$$

kde  $P_g$  ... výkony dodávané generátory

$P_o$ ..... odebrané výkony

$P_{vs}$ ....vlastní spotřeba [4]

Činitelé v rovnici se mohou měnit náhodnou změnou zatížení např. výpadkem nějakého zařízení. Při ostrovním režimu se synchronními generátory vyrovnává případná energetická nerovnováha. V tomto případě platí rovnice pro mechanický moment v závislosti na zátěžném úhlu  $\beta$ .

$$M = - \frac{m \times p}{\omega_s} \times U \times I_k \times \sin \beta \quad [4.2]$$

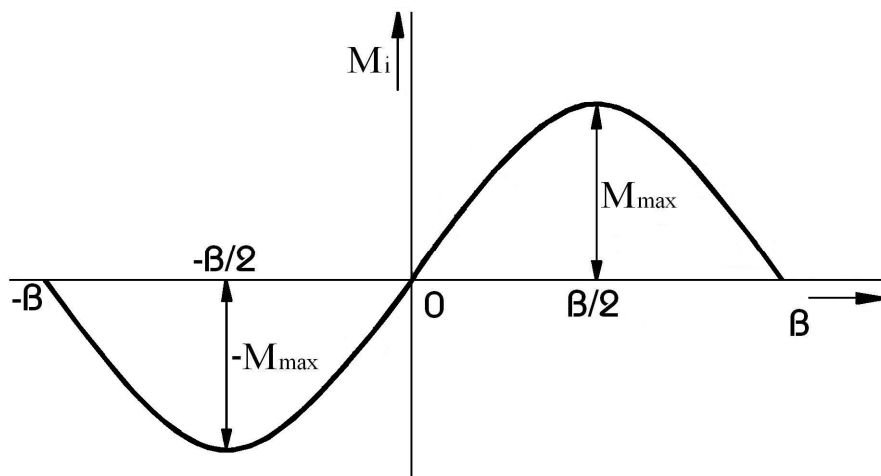
Kde  $\beta$ ...zátěžný úhel

$\omega_s$ ...synchronní úhlová rychlost

$I_k$ ...proud nakrátko

$m$ ...počet fází [5]

Grafické znázornění závislosti je na obr.4.3



Obr. 4.3. Momentová charakteristika synchronního stroje převzato z [7]

## 4.2 Obnova po poruše

Obnova soustavy po poruše typu black-out je umožněna systémem podpůrných služeb jednotlivých ES a u nás definována Kodexem PS.

Při rozpadu soustavy a odpojení výroby od přenosové nebo distribuční soustavy je provoz výroby zabezpečen na úrovni vlastní spotřeby bloku a to bez časového omezení.

Na požadavek dispečera přenosové soustavy je blok podle potřeby opětovně přifázován k síti za spolupráce s tímto dispečerem.

K zabezpečení provozu přenosové soustavy jsou soustrojí vodní elektrárny Orlík vybaveny regulátory ostrovního provozu, které zabezpečují řízení bloku v ostrovním režimu.

Při situaci black-out, přesněji black-start (BS), lze výrobní soustrojí elektrárny Orlík využít pro obnovení napětí v síti v součinnosti s elektrárnou Kamýk vybavenou výkonným a automaticky startujícím dieselaagregátem, kterým je v takové situaci zajištěna vlastní spotřeba elektrárny Kamýk. Elektrárna Kamýk pak rovněž automaticky nabízí napájení pro vlastní spotřebu elektrárny Orlík, kterým lze uvést do provozu jedno výrobní soustrojí elektrárny.

Elektrárna Orlík podle kodexu přenosové soustavy slouží pro rozběh vlastní spotřeby elektrárny Chvaletice (ECH).

### 4.3 Možnosti zkoušení startu ze tmy

Testování nebo lépe řečeno zkoušení jednotlivých stupňů startu ze tmy je za běžného provozu přenosové sítě prakticky nemožné. Důvod spočívá v problematickém uvolnění části elektrizační soustavy pro spuštění testů. Volím proto cestu provedení simulace pomocí softwarového nástroje Simulink. Simulink je nadstavbový software pro výpočtové prostředí MATLAB. Simulace byla navrhována s cílem postihnout především přechodné elektromagnetické děje. Simulovaný děj předpokládá postupné zadávání svorkového napětí až na hodnotu 95 %  $U_n$ . Nicméně nenabuzený roztočený stroj je připojen k připravené a sepnuté trase. Trasa se nachází ve stavu bez napětí.

### 4.4 Stručná charakteristika simulačního softwaru

Simulink je nadstavba výpočetního softwarového prostředí MATLAB pro simulaci a modelování dynamických systémů, používající algoritmy MATLABu pro početní řešení nelineárních diferenciálních rovnic. Jeho uživatelsky přívětivé ovládání dává uživateli možnost rychle a snadno vytvářet modely dynamických soustav ve formě blokových schémat a rovnic.

MATLAB je interaktivní prostředí pro vědeckotechnické výpočty, modelování, návrhy algoritmů, simulace, analýzu a prezentaci dat, měření a zpracování signálů, návrhy řídicích a komunikačních systémů. Je to nástroj, jak pro relativně pohodlnou interaktivní práci, tak pro vývoj širokého spektra aplikací.

Mimo standardních úkolů umožňuje Simulink rychle a přesně simulovat i rozsáhlé systémy při výkonném využití výpočetních prostředků PC. Pomocí Simulinku a jeho grafického editoru se dají formulovat modely lineárních, nelineárních, nespojitých nebo spojitých systémů pouhým přesouváním funkčních bloků myší. Simulink také umožňuje spouštět určité části simulačního schématu na základě výsledku logické podmínky. Tyto

spouštěné a povolované subsystémy umožňují použití programu v náročných simulačních experimentech. Simulink disponuje otevřenou architekturou, dovolující uživatelům vytváření vlastních celých účelových bloků rozšiřující již tak hojně knihovny Simulinku.

Hierarchická struktura modelů umožňuje koncipovat i velmi složité systémy do přehledné soustavy subsystémů prakticky bez omezení počtu bloků. Simulink, stejně jako MATLAB, dovoluje připojovat funkce napsané uživateli v jazyce C. Velmi dobře zpracované grafické výstupy Simulinku je možné přímo využít k tvorbě dokumentace. Vynikajícím rysem Simulinku je nezávislost uživatelského rozhraní na počítačové platformě. Přenositelnost modelů a schémat mezi různými typy počítačů umožňuje vytvářet rozsáhlé modely, které vyžadují spolupráci většího kolektivu řešitelů na různých úrovních.[11]

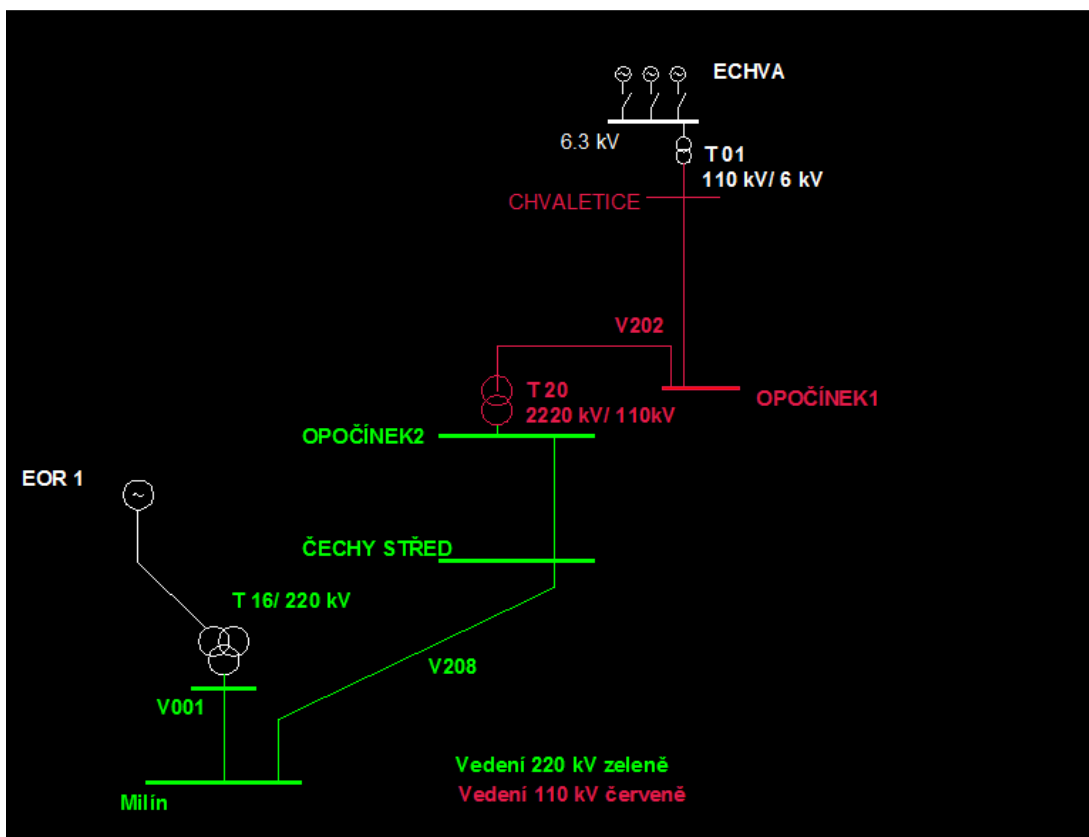
#### 4.4.1 Modelovaná soustava

Byla modelována situace, kdy pracuje pouze jeden generátor elektrárny Orlík s otáčkovou regulací. Výkon generátoru je vyveden blokovými transformátory přes dvě linky 220 kV do rozvodny Milín, Z rozvodny Milín prochází výkon po trase 220kV do rozvodny Čechy-střed, dále do rozvodny Opočíněk2. Odtud přes VVN transformátor po linkách 110 kV přes rozvodnu Opočíněk1 je podán výkon na VN transformátor na rozvodně Chvaletice k obnově vlastní spotřeby bloku tepelné elektrárny Chvaletice (ECH) viz obr.4.4.2. Tabulka tab.4.4.1 pak uvádí spotřebiče vlastní spotřeby rozbíhané na bloku elektrárny Chvaletice. Z těchto spotřebičů pro modelování situace vybírám kouřový ventilátor o příkonu 4,957 MVA.

Označení	Typ	Výkon [MVA]
CHL	Chladička	1,00
EKV	Motory nn	0,2
KV	Kouřový ventilátor	4,957
VV_1	Vzduchový ventilátor	1,204
VV_2	Vzduchový ventilátor	1,204
VC_12	Čerpadla vodoproudých vývěv	2x0,312
KC1	Kondezátní čerpadlo prvního stupně	0,312
KC2	Kondezátní čerpadlo druhého stupně	0,94
NOC	Čerpadlo najíždějícího oleje	0,2
EN_1	Napáječka	4,88
M1_1	První mlýnský okruh	0,787
M1_2	Druhý mlýnský okruh	0,787
M1_3	Třetí mlýnský okruh	0,787

Tab. 4.4.1 Spotřebiče vlastní spotřeby ECH

Pro simulaci startu ze tmy volím výše uvedený ventilátor z důvodu zjednodušení situace, neboť tento ventilátor je největším spotřebičem na vlastní spotřebě. Jeho spuštění při black-startu bude z hlediska vzniku přechodných jevů kritickým místem startu ze tmy.



Obr. 4.4.2 Jednopolově - trasa EOR-ECH

#### 4.4.2 Kritéria hodnocení simulace

Hodnocení spočívá v kontrole, zda nedojde k vychýlení frekvence či napětí z povolených regulačních limit:

Nesmí působit podpět'ová ochrana 6 kV ve vlastní spotřebě startované elektrárny (první stupeň ochrany působí při poklesu napětí pod  $0,8 \cdot U_{gn}$  po dobu 1s, druhý stupeň při poklesu pod  $0,65 \cdot U_{gn}$  po dobu 2s). [8]

Frekvenční odchylky musí zůstat v hranicích běžného provozu vodních turbín tj. 48,5 až 50,5 Hz (Kodex PS). [8]

Nesmí působit přepět'ová ochrana na VE Orlík  $U_g < 16,3$  kV [8]

#### 4.4.3 Popis simulovaného modelu

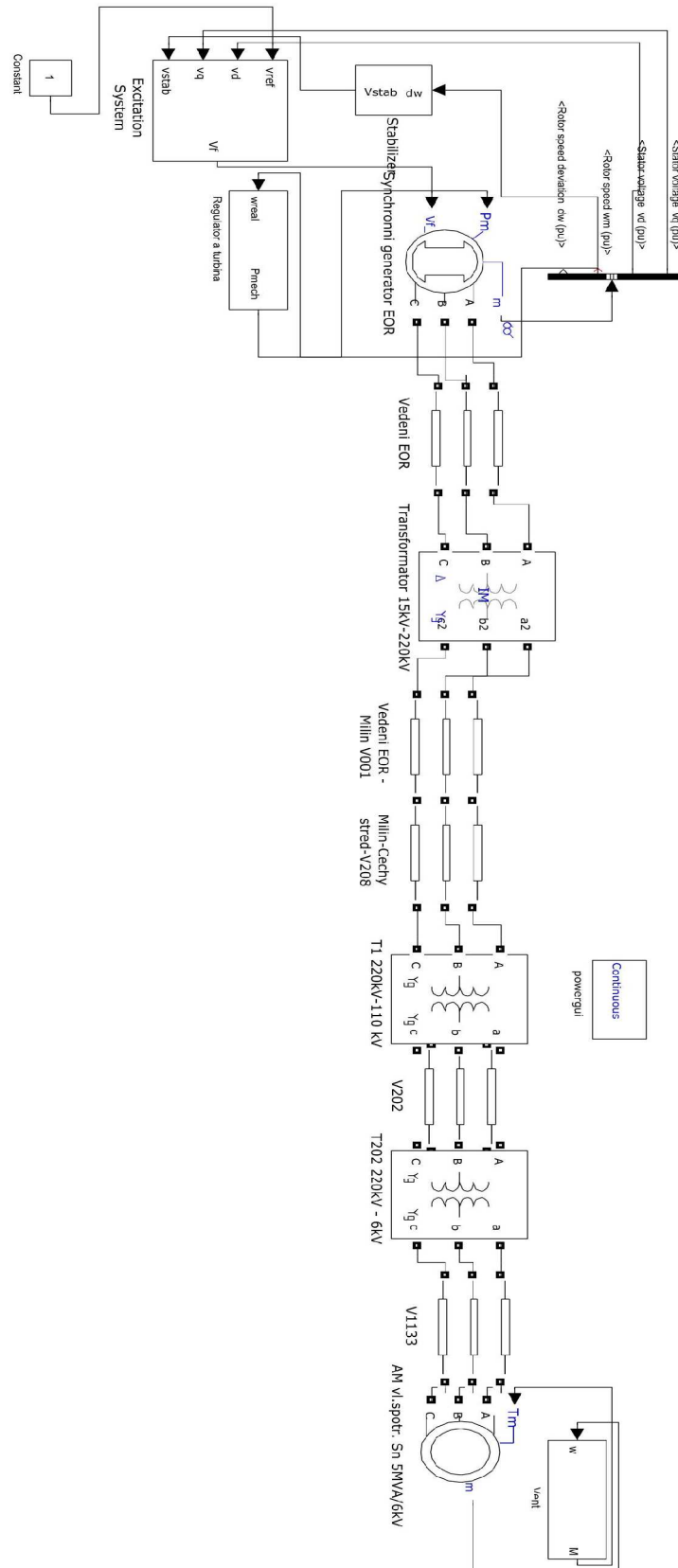
Pro sestavení modelované soustavy používám standardní tool box modely z nabídky SimPowerSystems v software Simulink. Mimo jiné aplikuji model asynchronního motoru pro simulaci vlastní spotřeby, dále pro model hydrogenerátoru vybírám z nabídky stroj s vyniklými póly a transformátory. K regulaci modelu generátoru užívám zjednodušený návrh regulátoru otáček a napětí viz obr. 4.4.5. Dále též vybírám blok pro regulaci buzení viz obr.4.4.3 (parametry bloku buzení viz.tab.4.4.4). Při sestavování modelu pro simulaci používám parametry vedení uvedené v tabulce 4.4.7 a hydroalternátoru, uvedené v tabulce 4.4.6.



Obr. 4.4.3 Standardní tool box – budící systém převzato z [9]

Popis veličiny	Veličina	Hodnota	Jednotka
Časová konstanta aperiodického bloku převodníku napětí statoru	$T_r$	2,00E-02	[s]
Zesílení regulátoru	$K_a$	3,00E+02	[-]
Časová konstanta regulátoru	$T_a$	0,001	[s]
Zisk budiče	$K_e$	1	
Časová konstanta budiče	$T_e$	0	[s]
Přechodné snížení zisku aperiodického bloku-časová konstanta	$T_b$	0	[s]
Přechodné snížení zisku aperiodického bloku-časová konstanta	$T_c$	0	[s]
Zisk zpětné vazby	$K_f$	0,001	[-]
Časová konstanta zpětné vazby	$T_f$	0,1	[s]
Regulační rozsah	$E_{fmin}$	-11,5	[%]
Regulační rozsah	$E_{fmax}$	11,5	[%]
Proporcionální zesílení	$K_p$	0	[-]
Počáteční hodnoty svorkového napětí	$V_{t0}$	1	[%]
Počáteční hodnoty napětí pole	$V_{f0}$	1,28	[%]

Obr.4.4.4 Použité parametry pro budící systém



Obr.4.4.5 Simulační model

Veličina	Název	Jednotka	Hodnota
<b>Typ generátoru</b>	<b>HV 173080/32</b>		
$S_n$	Zdánlivý jmenovitý výkon	MVA	100
$P_n$	Činný jmenovitý výkon	MW	91
$U_n$	Sdružené napětí statoru	kV	15
$n$	Otáčky	1/min	187,2
$R_s$	Odpor fáze statoru při provozní teplotě	$\Omega$	0,0046
$X_d$	Podélná synchronní nesyčená reaktance	p.j.	100
$X_q$	Příčná synchronní nesyčená reaktance	p.j.	93
$X_{ds}$	Podélná synchronní sycená reaktance	p.j.	200
$X_{qs}$	Příčná synchronní sycená reaktance	p.j.	172,5
$X_{ds}'$	Přechodná sycená podélná reaktance	p.j.	23,1
$X_{qs}'$	Přechodná sycená příčná reaktance	p.j.	31,4
$X_{ds}''$	Rázová sycená podélná reaktance	p.j.	19,3
$X_{qs}''$	Rázová sycená příčná reaktance	p.j.	19,5
$X_0$	Netočivá reaktance	p.j.	8,4
$X_{2n}$	Zpětná nesyčená reaktance	p.j.	17,8
$T_d'$	Podélná přechodná časová konstanta	s	0,85
$T_d''$	Podélná rázová časová konstanta	s	0,02
$T_q'$	Příčná přechodná časová konstanta	s	0,42
$T_q''$	Příčná rázová časová konstanta	s	0,013
$T_a$	Stejnoseměrná časová konstanta statoru	s	0,18
$U_{bmax}$	Maximální (stropní) budící napětí stroje	V	252
$I_{bmax}$	Maximální (stropní) budící proud stroje	A	846,6
$U_{bn}$	Jmenovité budící napětí stroje	V	240
$I_{bn}$	Jmenovitý budící proud stroje	A	830
$U_{b0}$	Jmenovité budící napětí naprázdno stroje	V	110
$I_{b0}$	Jmenovitý budící proud naprázdno stroje	A	480

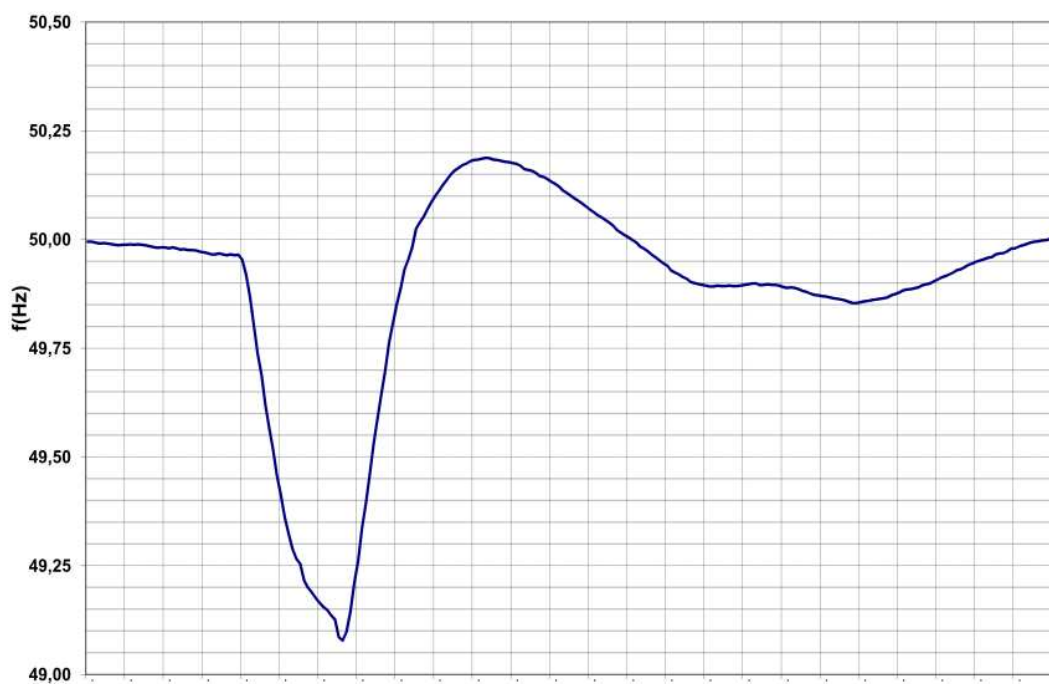
Tab.4.4.6. Použité simulační parametry pro hydroalternátor



Parametry vedení uvažované trasy				
	Pro 220 kV	Pro 220 kV	Při 110 kV	Při 110 kV
	EOR - Milín	Milín-Čechy střed	Čechy střed-Opočíněk2	Opočíněk1-Chvaletice
	V001	V208	V202	V1133
Délka v [km]	9	87	72	18
Reaktance $X_p$ [ $\Omega$ /km]	0,4	0,4	0,41	0,41
Indukčnost $L_p$ [mH/km]	1	1	0,93	0,93
Kapacita $C_p$ [ $\mu$ F/km]	0,012	0,012	0,0125	0,0125
Rezistivita $R_p$ [ $\Omega$ /km]	0,087	0,087	0,125	0,125

Tab.4.4.7 Parametry uvažované trasy

Průběh simulované frekvence ukazuje obrázek 4.4.8. Trasa je předem připravena a generátor postupně přibuzován až na 95 procent jmenovitého výkonu.



Obr.4.4.8 Průběh simulované frekvence

Z grafu na obr.4.4.8 lze odečíst, že frekvenční odchylka  $\Delta f_{\max} = 0,95$  Hz nevybočuje z mezí povolených pro start ze tmy v souladu s kodexem přenosové soustavy.



Obr.4.4.9 Výsledný průběh simulovaného napětí generátoru



Obr.4.4.10 Výsledný průběh simulovaného napětí při najždění spotřebiče VS

## 5 Ověření funkčnosti provozních plánů elektrárny Orlík při startu ze tmy

### 5.1 Stručný výtah z provozní instrukce ČEPS

Tento výtah z provozní instrukce popisuje postup obnovy napájení vlastní spotřeby elektrárny Chvaletice (VS ECH) z vodní elektrárny Orlík (EOR) při poruše typu black-out. Provozní instrukce předpokládá celou přenosovou soustavu nebo alespoň její významnou část ve stavu bez napětí. Dále se předpokládá podání napětí z elektrárny Orlík po trase uvedené na obr.4.4.2 pro obnovu vlastní spotřeby elektrárny Chvaletice.

Elektrárna Orlík jako první krok zahájí rozběh vybraného hydrogenerátoru, dále EOR provádí zapnutí příslušného generátorového vypínače v EOR. Ve dvou etapách se dále provádí nabuzení výše vybraného hydrogenerátoru. Prvá etapa nabuzení končí při dosažení 50%  $U_{gn}$ , potom se provádí nabuzení až na hodnotu 95%  $U_{gn}$ . Zároveň s nabuzováním generátoru se provádí v uzlových bodech trasy kontrola napětí, které by nemělo překročit hodnotu 239 kV. Elektrárna Chvaletice provádí postupné najíždění pohonů vlastní spotřeby vybraného generátoru. Elektrárna Chvaletice sleduje napětí a v případě potřeby požádá o korekci napětí EOR. Po každém najetí spotřebiče vlastní spotřeby ECH se zkontrolují sledované parametry celého ostrova. Dle sledovaných kritérií se hodnotí úspěšnost postupu.

Sledované parametry vychází z nastavení podpěťových ochran a frekvenčního plánu ČEPS, nesmí překročit meze normálního provozu vodních elektráren. Tyto uvádí tabulka 5.1.

Sledované parametry black startu			
Podpěťová ochrana		Povolená doba [s]	Max.podpětí [k]
	1.stupeň	6	4,8
	2.stupeň	2	3,9
		Horní mez [Hz]	Dolní mez [Hz]
Odchyly frekvence		-1,5	+0,5

Tab.5.1 Nastavení stupňů podpěťové ochrany a frekvenční meze

Po úspěšném najetí vlastní spotřeby se zahájí fáze přípravy najetí vybraného generátoru ECH. Po dosažení provozních parametrů vybraného generátoru ECH bude dotýčný blok připojen generátorovým vypínačem k energetické soustavě v rozvodně Týnec. Další generátory ECH lze najíždět pomocí provozovaného generátoru ECH přes jednu přípojnicu a jeden transformátor 400/110 k v rozvodně Týnec nebo z blokového transformátoru 400 k.

### 5.1.1 Předpoklady funkčnosti provozních plánů

Pro účely této bakalářské práce jsem se zabýval ověřením pouze částí připravených provozních plánů. A to sice (vzhledem k závěrům kapitoly 3) pouze po najetí největšího spotřebiče VS ECH. Lze se oprávněně domnívat, že najetí zmíněného spotřebiče je kritickým místem startu ze tmy vzhledem k mohutnosti tohoto pohonu a elektromagnetickým jevům vznikajícím při jeho spouštění.

Obecnou nevýhodou použitého simulačního procesu je předpokládaná předem připravená, sepnutá trasa. V simulačním modelu nedochází k žádným spínacím či vypínacím procesům a simulace vylučuje přechodové jevy vzniklé z těchto procesů. Ovšem provozní plány rovněž předpokládají předem připravenou a sepnutou trasu, doporučují při vzniku negativních spínacích procesů proceduru startu ze tmy přerušit a začít znovu. Zvolený model tedy vyhovuje pro ověření provozních plánů elektrárny Orlík.

### 5.1.2 Vlastní ověření funkčnosti provozních plánů

Z obr.4.4.8 a obr.4.4.9 lze usuzovat, že kritéria najíždění vlastní spotřeby ECH jsou splněna. Maximální odchylka frekvence  $\Delta = 0,95$  Hz je v tolerančních mezích pro start ze tmy, rovněž pokles napětí při startu  $\Delta U_{gmax} = 900$  V (6,5% z  $U_{gn}$ ) po dobu 500ms. Znamená to, že podpěťová ochrana vlastní spotřeby elektrárny Orlík nebude působit. Přepěťová ochrana též nevybaví, protože maximální napětí 14,8 kV nedosahuje úrovně maximálního dovoleného přepětí 16,3 kV.

### 5.1.3 Ověření funkčnosti provozních plánů z cizího zdroje

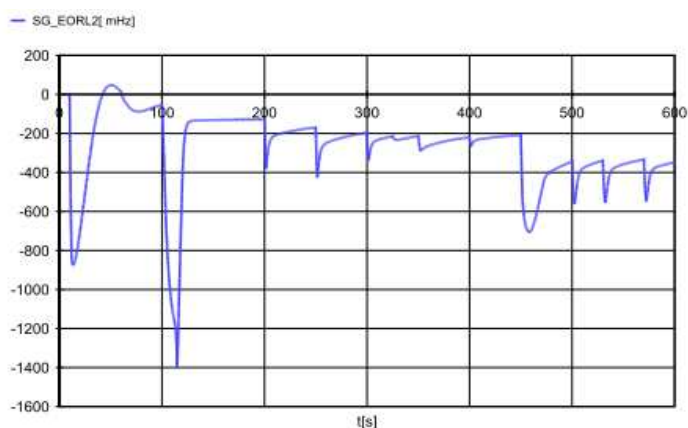
Příspěvek autora [12] popisuje přípravné výpočty před provedením zkoušky najetí vlastní spotřeby tepelné elektrárny Chvaletice ze samostatného zdroje schopného startu ze tmy přes vydělenou část přenosové soustavy. Výpočty se zabývají průběhem elektromechanických přechodných dějů souvisejících s rozběhem velkých pohonů (prověření, jestli samostatně pracující stroj zvládne velké změny odbíraného činného a jalového výkonu během najíždění velkých asynchronních motorů, které se v tzv. separátním provozu - bez podpory jiných zdrojů, projevují velkými poklesy napětí a frekvence).. Pro výpočet elektromechanických přechodných dějů použil autor síťový simulátor MODES. Simulaci startu ze tmy provádí autor příspěvku [12] pro rozběh vlastní spotřeby elektrárny Chvaletice (ECH), jejíž výkon je vyveden do rozvodny 400 kV Týnec. Simulační

výpočet provedl autor [12] tak, že se jednotlivé pohony VS rozbíhaly v pořadí dle následujícího seznamu (tab.5.1.1).[12]

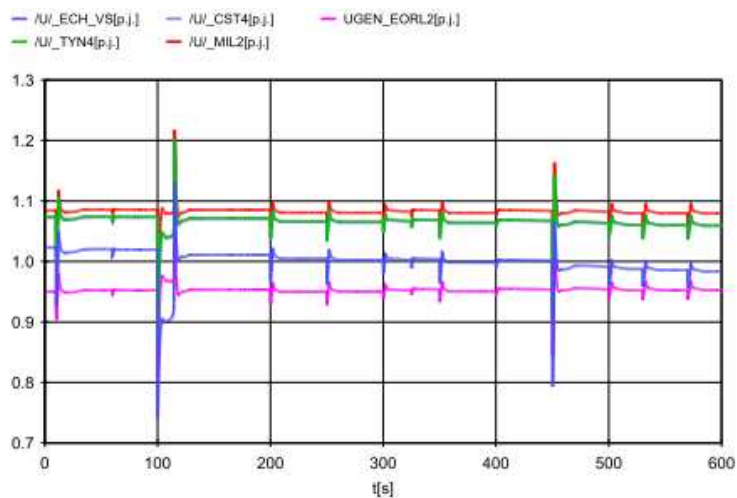
čas	označení	typ	Výkon [MVA]
10	CHL	Chladička	2.53
60	EKV	Motory nn	0.2
100	KV	Kouřový ventilátor - rozběh se zavřenými lopatkami a pak otevření	4.957
150	VV_1	Vzduchový ventilátor	1.204
200	VV_2	Vzduchový ventilátor	1.204
250	VC_12	Čerpadla vodoproudých vývěv	2x0.312
300	KC1_1	Kondezátní čerpadlo prvního stupně	0.312
350	KC2_2	Kondezátní čerpadlo druhého stupně	0.94
400	NOC1	Čerpadlo najíždějícího oleje	0.2
450	EN_1	Napáječka	4.88
500	M1_1	První mlýnský okruh	0.787
530	M1_2	Druhý mlýnský okruh	0.787
570	M1_3	Třetí mlýnský okruh	0.787

Tab.5.1.1 Pořadí rozběhu spotřebičů VS ECH převzato z [12]

Ve svém příspěvku dochází autor [12] k závěru, že, že obě kritéria jsou splněna. Největší odchylka frekvence nedosahuje dovoleného poklesu  $-1.5$  Hz. Pro rozběh kouřového ventilátoru a napáječky sice napětí klesá pod  $80\%$   $U_n$ , ale jen na krátkou dobu nepřesahující  $750$  ms, takže podpěťová ochrana nezapůsobí. Obě sledované veličiny lze odečíst z obr. 5.1.2 resp. z obr.5.1.3. [12]



Obr.5.1.2.Průběh frekvence při rozběhu VS ECH převzato z [12]



Obr.5.1.3 Průběh úbytku napětí při rozběhu VS ECH převzato z [12]

## 5.2 Zhodnocení

V autorském příspěvku [12] vycházeli autoři z horší simulované situace, tj. předpokládají zátěž o cca 2,75 MVA větší předběžně připojenou ke kouřovému ventilátoru a očekávaný výsledek by měl být horší než v kapitole 4. Autoři [12] skutečně dochází k horším závěrům, nicméně i tak výsledky simulace vyhovují stanoveným požadavkům. Lze tak konstatovat, že provozní plány ČEPS pro start ze tmy při dodržení předpokladů startu vyhovují.

## 6 Závěr

Zmenšení rizika black-outu při provozování menších lokálních zdrojů se ukázalo již v roce 1965 v New Yorku. Město New York a přilehlá velká území zůstala celou noc bez elektrické energie a přitom některá města v okolí napájená z menších zdrojů spíše lokálního charakteru zůstala po rozpadu soustavy napájena z těchto zdrojů v ostrovním režimu.

Jak již bylo uvedeno, je část elektrizační soustavy v ČR starší 40 let, ale protože soustava byla budována jako dostatečně robustní, je pravděpodobnost velkého dlouhodobého black-outu poměrně nízká. Dále při pohledu na výše uvedený souhrn velkých black-outů v Evropě je zřejmé, že výpadky dodávek elektrické energie jsou spíše krátkodobé. I největší zatím zaznamenaný celosvětový výpadek dodávky elektrické energie v Indii netrval dále než jeden den. Takovou dobu je například většina moderních chladniček a mrazniček schopna překlenout bez rizika zkažení potravin. Pravděpodobnější než totální black-out je rozpad elektrizační soustavy na samostatné ostrovy, k čemuž v minulosti došlo jak v rámci české přenosové soustavy, tak v rámci Evropy.

Po analýze velkých výpadků elektrické energie lze dojít k závěru, že nejčastější příčinou byla chyba obsluhy nebo dlouhodobé provozování sítě na samé hranici maximální přenosové kapacity. V případě výpadku velkého zdroje (blok jaderné či velké tepelné elektrárny) je k dispozici záloha primární či sekundární regulace, případně mohou dodávat elektrickou energii propojené zahraniční energetické soustavy. I případnou poruchu na vedení VVN by energetická soustava ČR zvládla. Co by ovšem velmi pravděpodobně vedlo k rozpadu sítě, je sled dvou a více poruch v rychlém sledu, kdy dispečer nedokáže zareagovat během několik málo minut. V kapitole zabývající se riziky při obnovení napětí po výpadku přenosové sítě, byla provedena simulace startu ze tmy do ostrovního režimu elektrárny Orlík a podání napětí pro obnovení vlastní spotřeby tepelné elektrárny Chvaletice. Výhoda simulačního modelu spočívá v možnosti provést výpočty bez nutnosti provádět měření na vyčleněné části přenosové sítě. Též výhodná je podobnost simulovaného stavu tj. předem připravená a sepnutá trasa a postupně přibuzovaný generátor s připravenou provozní instrukcí. Ovšem simulační model nemodeluje spínací pochody a nepostihuje případné elektromagnetické přechodné jevy, čímž úplně neodpovídá fyzikální realitě. Nepřesnost výše uvedeného simulačního modelu spočívá také v uvažovaném spotřebiči na vlastní spotřebě. Zde je uvažován pouze jeden a to největší spotřebič, reálně se spotřebiče VS rozjedou postupně ve stanoveném pořadí.

Průběh sledovaných veličin startu ze tmy byl též ověřován z nezávislého zdroje, kde autor příspěvku [12] dochází k podobným závěrům při použití přesnějšího modelu. Autor modeluje postupný rozběh všech spotřebičů vlastní spotřeby v definovaných časových odstupech. Autor příspěvku dochází k závěru, že kritéria startu ze tmy jsou splněna, čímž lze považovat provozní instrukce elektrárny Orlík pro black start považovat za ověřené.



## Použitá literatura

- [1] SCHEJBAL, Konstantin. *Energetika.pdf*. Plzeň, 2010. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~nohac/EE1/Energetika.pdf>. Základní pomocný text přednášek doc. Schejbala. Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická.
- [2] Pražská energetika a.s.: PRE energetická společnost. *Pražská energetika a.s.* [online]. ©1998 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://www.pre.cz/velkoodberatele/prehled-2011/vitejte-ve-tme-zvane-blackout.html>
- [3] TZB-info [online]. 2013 [cit. 2013-05-25]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/9517-blackout-a-obnovitelne-zdroje-energie>
- [4] MÜHLBACHER, Jan. *Metody řešení přechodných jevů v elektrizačních soustavách I*. 1.vydání. Plzeň: ZČU, 2003. 165 s. ISBN 80-7082-087-X.
- [5] SCHEJBAL, Konstantin; Jiřina MERTLOVÁ. *Elektroenergetika II: 1.část*. 1.vydání. Plzeň: ZČU, 1998. 124 s. ISBN 80-7082-451-42.
- [6] MERTLOVÁ, Jiřina; Konstantin SCHEJBAL. *Rozvodná zařízení*. 1.vydání. Plzeň: VŠSE, 1990. 302 s. ISBN 80-7082-017-9.
- [7] BARTOŠ, Václav. *Teorie elektrických strojů*. 1. vydání. Plzeň: ZČU, 2006. 230 s. ISBN 80-704-3509-7.
- [8] RUSŇÁK, Štěpán; Petr ŘEZÁČEK. *Elektrické přístroje 1*. 2. přeprac. vydání. Plzeň: ZČU, 2001. 155 s. ISBN 80-708-2825-0.
- [9] THE MATHWORKS, Inc.: *Mathwork – mathematica computing*: [online]. © 1994- 2013 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com>
- [10] ČEPS a.s.: *ČEPS a.s.: Česká energetická přenosová soustava* [online]. ©2011. [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: [www.ceps.cz](http://www.ceps.cz)
- [11] Humusoft s.r.o.: *Humusoft – podpora software* [online]. ©2008- 2013 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://www.humusoft.cz/produkty/matlab/simulink/>
- [12] MÁŠLO, Karel, Karel WITNER, Andrew KASEMBE, Lubomír KOČIŠ a Martin ŠVANCAR. *ELECTRIC POWER ENGINEERING 2007: Výpočet přechodných dějů při startu ze tmy z elektrárny Orlík* [online]. 2007. [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://www.modesinfo.com/documents/EPE2007StartZeTmy.pdf>

