



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky

**Zvýšení spolehlivosti provozu
papírenského závodu**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Jan Švec, Ph.D.

Autor práce: Bc. Štěpán Svoboda

Květen 2014

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Štěpán Svoboda**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Zvýšení spolehlivosti provozu papírenského závodu**

Pokyny pro vypracování:

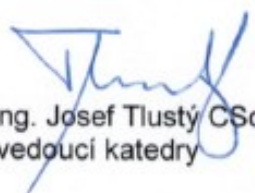
1. Zpracujte problematiku poklesů napájecího napětí.
2. Popište strukturu napájení a provoz papírenského závodu se zaměřením na citlivá zařízení.
3. Proveďte statistické zpracování měření kvality elektrické energie v závodu.
4. Navrhněte možná opatření pro zvýšení spolehlivosti provozu závodu.

Seznam odborné literatury:

- [1] ČSN EN 50 160, ČSN EN 61000-4-30
- [2] Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení. VŠB-TU Ostrava, 2008
- [3] Toman, P., a kol.: Provoz distribučních soustav. ČVUT v Praze, 2011

Vedoucí: Ing. Jan Švec, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015


prof. Ing. Josef Tlustý CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 12. 2. 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Veškerou literaturu a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpal, v práci řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 9. května 2014

Bc. Štěpán Svoboda

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Janu Švecovi, Ph.D. za vstřícný přístup, cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vedení této diplomové práce. Děkuji také své rodině za velkou podporu a rovněž společnosti SpektraVision s.r.o. za poskytnutí materiálů k přístrojům pro měření kvality elektrické energie UNIPOWER a poskytnutí přístrojů samotných. Dále děkuji Ing. Josefu Mazákovi a Ing. Romanu Mamulovi za spolupráci a umožnění využití vybraných informací o papírenském závodu po účely této diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou zajištění spolehlivosti papírenského závodu, a to z pohledu vlivu kvality napájecího napětí.

Část práce je zaměřena na definici kvality elektrické energie a jejích hlavních sledovaných parametrů. V dalších částech je pak vlastní zaměření na jeden vybraný klíčový parametr, a to pokles napájecího napětí, jeho vliv na provoz papírenského závodu s ohledem na snížení jeho výpadků.

Závěr je souhrnem možných dostupných řešení vedoucích ke zvýšení spolehlivosti provozu papírenského závodu.

Klíčové pojmy:

Kvalita elektrické energie, harmonická napětí, poklesy napětí, výpadky napájení, papírenský stroj, neplánované odstávky provozu, záložní systémy napájení UPS, systémy sledování kvality el. energie.

Abstract

This diploma thesis deals with ensuring the reliability of a paper mill factory focused in the impact of the quality of the supply voltage.

Part of the work is focused on the definition of power quality and its main monitored parameters. The other parts are focused on selected key parameter of power quality, the supply voltage sags, and its impact on the operation of the paper mill factory with regard to the reduction of unplanned downtime.

The conclusion is a summary of possible solutions available to increase the reliability of the operation of a paper mill factory.

Key words:

Power quality, voltage harmonics, voltage sags, voltage interruptions, paper machine, unplanned factory downtime, backup UPS systems, power quality monitoring systems.

OBSAH:

1	Úvod	8
2	Elektrizační soustava v ČR	9
3	Kvalita elektrické energie	11
3.1	Elektromagnetická kompatibilita – EMC	11
3.2	Energetická rušení.....	12
3.3	Kvalita elektrické energie - přehled norem.....	14
3.4	Základní parametry kvality elektrické energie	15
4	Krátkodobé poklesy napájecího napětí	16
4.1	Velikost napájecího napětí	16
4.2	Odchyly napájecího napětí	17
4.3	Definice krátkodobého poklesu a přerušení napájecího napětí	19
4.4	Důvod výskytu poklesu napájecího napětí.....	21
4.5	Chránění sítě - vznik opětovného zapínání OZ	22
4.6	Důsledky poklesů v napájecí síti	24
4.7	Vyhodnocení poklesu napájecího napětí	25
4.8	Klasifikace poklesu napájecího napětí	26
4.9	Grafické vyhodnocení poklesu napájecího napětí	27
5	Struktura napájení papírenského závodu.....	34
5.1	Hlavní přívod napájecího napětí.....	34
5.2	Hlavní rozvodna papírenského závodu 6 kV	36
5.3	Rozvody napájecího napětí v rámci závodu	37
5.4	Důležitá instalovaná zařízení z pohledu napájení	38
6	Papírenský stroj.....	39
6.1	Základní popis papírenského stroje	39
6.2	Měniče kmitočtu pro řízení pohonů papírenského stroje.....	43
6.3	Příčiny neplánovaných odstávek papírenského stroje	46
7	Systém sledování poklesů napětí a dalších parametrů kvality elektrické energie....	47
7.1	Způsob záznamu kvality elektrické energie	47
7.2	Požadavky na měřicí techniku.....	49
7.3	Stacionární analyzátor	49
7.4	Logika spouštění záznamu okamžitých hodnot.....	52
7.5	Přenosný analyzátor	54
8	Měření a vyhodnocení kvality elektrické energie v závodu	55
8.1	Vyhodnocení poklesů napětí na hlavním přívodu 110 kV	56
8.2	Klasifikace poklesů napětí podle ČSN EN 50160.....	60
8.3	Příklad klasifikace poklesů napětí podle EIFS 2013:1	62
8.4	Stanovení citlivosti papírenského stroje na poklesy napětí	63

8.5 Grafické vyhodnocení průběhu vybraného poklesu napětí	66
8.6 Statistické vyhodnocení dalších parametrů kvality el. energie	67
8.6.1. Odchytky napájecího napětí	68
8.6.2. Kmitočet sítě	69
8.6.3. Míra vjemu flikru.....	69
8.6.4. Nesymetrie napájecího napětí.....	69
8.6.5. Harmonická napětí.....	70
8.7 Vyhodnocení měření na měniči kmitočtu	71
9 Opatření pro zvýšení spolehlivosti provozu.....	74
9.1 Kompenzace s filtrací harmonických napětí	74
9.2 Zálohované napájení důležitých zařízení.....	75
9.3 Úprava nastavení měničů kmitočtu	76
9.4 Měniče kmitočtu s přímým řízením DTC.....	76
9.5 Vlastní zdroj napájení	77
9.6 Pořízení přenosného analyzátoru	78
9.7 Termodiagnostika elektrorozvodů a strojů a výrobní technologie	80
10 Závěr	82
11 Seznam použité literatury	84
12 Seznam použitých vzorců	85
13 Seznam grafů	85
14 Seznam obrázků	86
15 Seznam tabulek	87

1 Úvod

Pro zajištění maximálně efektivního provozu jakéhokoli výrobního závodu je třeba zajistit nejen kvalitní výrobní zařízení, personál a odbyt výrobku, ale hlavně také kvalitní vstupní suroviny. Vstupní suroviny jsou individuální a závisí na charakteru daného výrobního provozu a výrobku samotného. Nicméně jednou zcela společnou surovinou pro všechny provozy bez ohledu na koncový výrobek je elektrická energie.

Elektrická energie jako taková ovlivňuje zcela nejvýznamněji celý chod závodu a je proto nezbytné, aby byla dodávána v předepsané kvalitě. Zajištění kvality a zejména nepřerušené dodávky elektrické energie je požadováno odběratelem a je i v zájmu dodavatele ji odběrateli dodávat. Jelikož je elektrická energie předmětem dnes standardních obchodních vztahů mezi dodavatelem (distributorem) a odběratelem (koncový zákazník) a je tedy obchodním zbožím, je i u tohoto zboží stanovena nejen jeho cena a množství za danou cenu, ale také kvalita. A právě kvalita elektrické energie a její nepřerušenost dodávky je stěžejní pro zajištění provozu jakéhokoli koncového odběratele.

Dalšími faktory ovlivňujícími řádný chod zařízení koncového odběratele jsou i přímo jeho na straně. Jedná se zejména o použitou technologii a odolnost připojených zařízení k napájecí síti právě vůči vlivům napájecí sítě a její kvalitě. Proto je pro úspěšný provoz jakéhokoli závodu nezbytné ze strany koncového odběratele nejen požadovat vysokou kvalitu elektrické energie dodávané distributorem, ale také zajistit u všech k distribuční síti připojených zařízení jejich kvalitu, aby byl maximálně minimalizován zpětný vliv na distribuční síť a současně zajištěna maximální odolnost těchto zařízení vůči vlivům sítě.

Zajištění vysoké spolehlivosti provozu výrobního závodu je tedy součinnost při nalezení dostupných technických řešení vedoucích k maximální eliminaci neplánovaných odstávek, které mohou být způsobeny jak poruchami v napájecí síti distributora, tak i na straně vnitřní sítě daného závodu.

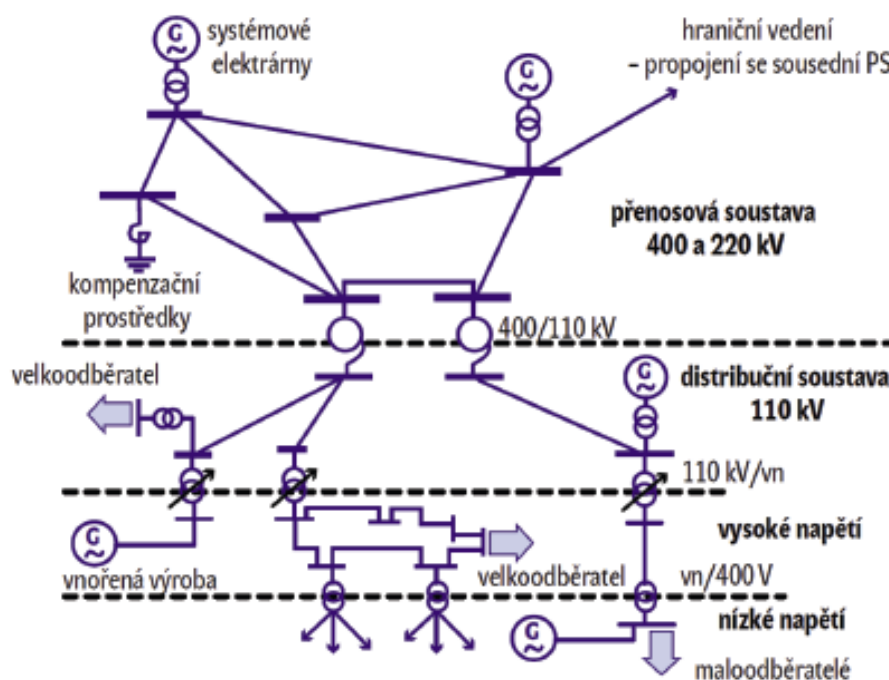
Cílem této práce je provést vyhodnocení parametrů kvality elektrické energie se zaměřením zejména na poklesy napájecího napětí a navrhnout možná opatření pro zvýšení spolehlivosti papírenského závodu.

2 Elektrizační soustava v ČR

Kvalita elektrické energie je ovlivněna mnoha vstupujícími faktory, zejména pak uspořádáním elektrizační soustavy. Elektrizační soustava je souhrnem všech do ní připojených zdrojů, přenosové sítě a v neposlední řadě spotřebičů. Elektrizační soustava tedy zahrnuje všechny napěťové hladiny od v ČR používané zvn (400 kV) až po nn sítě (0,4 kV). Z pohledu uspořádání se elektrizační soustava skládá z:

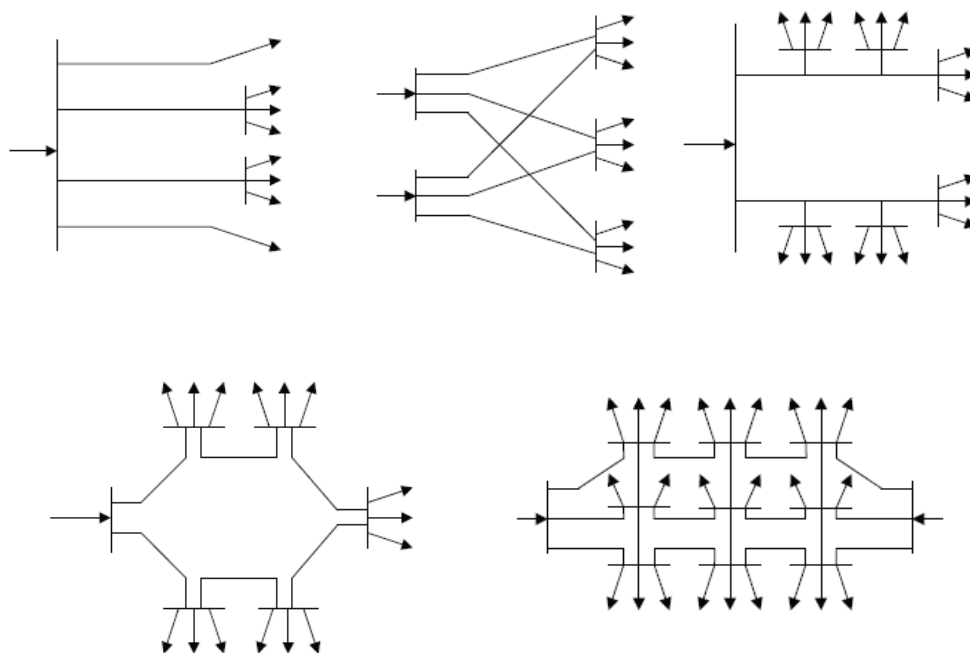
- přenosové soustavy
- distribuční soustavy

Přenosová soustava je řešena pomocí okružního rozvodu napěťových hladin 400 kV a 220 kV, do kterého jsou připojeny zdroje velkých výkonů. Ta je v dnešní době uspořádána jak po technické, tak i provozní stránce tak, aby poskytovala efektivní přenos elektrické energie do podřazených distribučních soustav. Její provoz se řídí Pravidly o provozování přenosové soustavy (PPPS), které definují technické vlastnosti vztahů mezi přenosovou soustavou a ostatními uživateli, kteří jsou do ní připojeni.



Obr. 2.1 Elektrizační soustava využívána v ČR [1].

Distribuční soustava v napěťové hladině 110 kV je řešena zejména pomocí okružního, ale i paprskového (otevřeného) rozvodu. Rozvod je tvořen převážně dvojitým vedením, kdy jsou na jednom stožáru dvě vedení. Do distribuční soustavy jsou připojeny zdroje o výkonu desítek MW. V případě správného působení ochranných prvků je distribuční soustava velmi spolehlivá a odolná vůči přerušení dodávek elektrické energie koncovým odběratelům.



Obr. 2.2 Druhy rozvodů distribuční soustavy, zleva nahoře paprskový, dvojpaprskový a průběžný zleva dole okružní a mřížový [1].

Pro nižší napěťové hladiny zejména v městské zástavbě se využívají rozvody mřížové.

Zásadní rozdíl mezi uzavřeným a otevřeným obvodem je v možnosti zajištění napájení odběratelů v případě poruchy v napájecí síti. Toto je možné u uzavřeného obvodu, ale nelze zajistit u paprskového rozvodu. Nicméně vlastní uspořádání dané soustavy je závislé na jejím hospodárném provozu a rozdělení výkonu.

3 Kvalita elektrické energie

Od doby, kdy se elektrická energie stala zbožím, tedy s příchodem její distribuce, bylo nezbytné stanovit pravidla pro posouzení její kvality. V průběhu dlouhé doby docházelo k různým úpravám kritérií stanovující kvalitu elektrické energie, které jsou dnes zakotveny v mnoha normách a vyhláškách, zabývajících se kvalitou elektrické energie.

Kvalita elektrické energie je specifikována různými sledovanými parametry a závisí na celé řadě faktorů. Oproti standardně vyráběnému a dodávanému zboží, které je charakterizováno parametry a použitými materiály ovlivněnými výrobcem, má kvalita elektrické energie méně vstupních faktorů při její výrobě, ale mnoho dalších ovlivňujících faktorů při její přepravě – distribuci.

Zajištění kvality vyrobené elektrické energie, tedy elektrického napětí, je úkolem výrobce - provozovatele zdroje. Zdroje se liší jak svými výkonovými parametry, tak i charakterem vlastního zdroje (jaderná, tepelná, vodní elektrárna či další možné zdroje (OZE atd.). Nicméně kvalita elektrické energie až na předávacím místě mezi distributorem a odběratelem je ovlivněna nejen vlastní kvalitou přímo od výrobce, ale zejména vlivy při přenosu od zdroje až k odběrateli, tedy vlastním uspořádáním a kvalitou celé elektrizační soustavy a do ní připojených dalších odběratelů.

3.1 Elektromagnetická kompatibilita – EMC

Zásadní souvislost s kvalitou elektrické energie přináší obor Elektromagnetická kompatibilita. Elektromagnetická kompatibilita nabyla velkého významu s obdobím připojování zařízení s nelineární nebo proměnnou provozní charakteristikou, jejichž vliv se více projevil právě v dané síti.

Elektromagnetická kompatibilita se dá tedy vyjádřit jako schopnost připojeného zařízení do napájecí sítě, a to jak odolávat různým rušivým jevům v dané síti, tak i do ní rušivými vlivy přispívat.

Hlavní rozdělení rušení lze rozdělit do 5 oblastí [2]:

- 1) nízkofrekvenční rušení spjaté s napájením sítě
- 2) rušení zavlečené z vnějšku (atmosférické jevy) a vf rušení (přechodné jevy na vedeních)
- 3) elektrostatické rušení (výboje)
- 4) magnetické rušení (síťového kmitočtu a impulsní magnetické pole)
- 5) elektromagnetické rušení (rozhlasové, televizní a telekomunikační vysílače, vf rušení vn vedeními)

Elektromagnetická kompatibilita umožňuje stanovit úroveň přípustného rušení připojeného zařízení do sítě (tzv. elektromagnetická interference) a také jeho odolnost vůči rušení (elektromagnetická susceptibilita). Odolnost a citlivost na vlivy rušení jsou v kompetenci výrobce zařízení, které je do sítě připojováno.

3.2 Energetická rušení

Při stanovení potřebné úrovně odolnosti zařízení je třeba stanovit rušivou veličinu. U této veličiny se stanovuje:

- kompatibilní úroveň, která slouží jako referenční hodnota k určení úrovně rušení a odolností různých zařízení
- přípustná hladina, která je výchozí hodnotou pro určení mezí vyzařování a odolnosti zařízení

Pomocí kompatibilní úrovně lze pak stanovit vztažnou hodnotu meze rušení, jako nejvyšší úroveň rušení vyskytující se s určitou pravděpodobností v elektromagnetickém prostředí zařízení nebo sítě. K této hodnotě lze pak vztáhnout ostatní úrovně rušení, aby nedocházelo ke vzniku interferencí [2].

Úroveň rušení ale nelze stanovit jako jednotnou a její stanovení závisí na zjištění aktuálního stavu rušení v daném místě měření.

Zpětné vlivy energetického rušení lze rozdělit podle vztahu k základnímu kmitočtu síťového napětí do samostatných oblastí [2]:

- podsynchronní oblast s kmitočtem rušení pod 50 Hz (kolísání napětí, flickr, krátkodobé poklesy, přepětí a výpadky napětí)
- synchronní oblast s kmitočtem 50 Hz (změny základních veličin U, I, P atd.)
- nadsynchronní oblast s kmitočtem rušení nad 50 Hz (do úrovně 2500 Hz, která zahrnuje vyšší harmonické a meziharmonické napětí a proudy)

Dále lze kompatibilní úrovně rozdělit do jednotlivých tříd, a to podle citlivosti připojených zařízení a jejich důležitost [2]:

- třída I: týká se chráněných napájení a zařízení citlivých na energetická rušení, (laboratoře, některé PC) a zde je kompatibilní úroveň nižší než u běžné veřejné napájecí sítě.
- třída II: týká se soustav se společným napájecím bodem nebo napájecím bodem uvnitř průmyslového závodu a obecně průmyslovém prostředí. Kompatibilní úrovně jsou stejné s úrovněmi pro veřejnou rozvodnou síť
- třída III: týká se pouze soustav s napájecím bodem uvnitř závodu v průmyslovém prostředí a pro některé rušivé vlivy je kompatibilní úroveň vyšší než ve třídě II.

Třída III by měla být uvažována v případě, pokud je splněna jedna z těchto podmínek [2]:

- a) převážná část zatížení je napájena prostřednictvím měničů,
- b) v provozu jsou používány svařovací agregáty,
- c) dochází k častému rozebírání velkých motorů,
- d) dochází k velmi rychlé změně zatížení.

Právě takovéto prostředí je charakteristické pro papírenské výrobní závody.

3.3 Kvalita elektrické energie - přehled norem

Elektrická energie je z pohledu obchodního i občanského zákoníku zboží, a to je jako každé zboží definováno svým množstvím a kvalitou. Zajištění dostatečného množství a kvality elektrické energie umožňuje odběrateli efektivně provozovat připojená zařízení v daném odběrném místě. Množství elektrické energie záleží na nasmulovaném výkonu mezi odběratelem a dodavatelem a možném výkonu v daném místě.

Aby byla zajištěna také dostatečná kvalita, jsou v současné době v platnosti různé mezinárodní i lokální normy, které se zaměřují právě na kvalitu elektrické energie. Jedná se zejména o tyto uvedené normy:

- ČSN EN 50160 ed.3 (Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě)
- PPDS (Pravidla provozování distribuční soustavy), příloha 3
- PNE 33 3430 (Podniková norma - parametry kvality elektrické energie)
- dále různé normy týkající se elektromagnetického rušení a kompatibility

Norem, které se zabývají obecně jednotlivými parametry kvality elektrické energie je více a jsou napsány nejen pouze z pohledu na danou měřenou veličinu, ale také s ohledem na měřicí interval a měřicí přístroj.

Normy se v průběhu času a vývoje nových zařízení, které jsou odolnější či citlivější na kvalitu elektrické energie, postupně modifikují a mění se v nich případná kritéria.

Požadavky na kvalitu elektrické energie se mohou částečně mezi normami lišit, a to s ohledem na:

- odběrné / předávací místo
- napěťovou hladinu

3.4 Základní parametry kvality elektrické energie

Kvalita elektrické energie je definována souborem parametrů, které jsou vztaženy pro danou napěťovou hladinu, a které musí být ze strany distributora dodržovány. Elektrická energie je dodávána k odběrateli formou napájecího napětí od výrobce přes přenosovou a distribuční soustavu do odběrného místa. Odebíraná energie závisí na velikosti dodávaného napětí a na připojené zátěži odběratele.

Základní norma týkající se kvality elektrické energie může tedy definovat pouze parametry vztahující se na napětí, a to:

- kmitočtu
- velikosti
- tvaru vlny
- symetrie třífázového napětí

Tyto uvedené charakteristiky napětí jsou pak dále definovány v různých národních i mezinárodních normách. Zde jsou uvedeny základní parametry kvality elektrického napětí definované normou ČSN EN 50160 ed. 3 [6]:

1. kmitočet sítě
2. velikost napájecího napětí
3. odchylky napájecího napětí
4. rychlé změny napětí
5. míra vjemu blikání - flickr
6. krátkodobé poklesy napájecího napětí
7. krátkodobá přerušení napájecího napětí
8. dlouhodobá přerušení napájecího napětí
9. dočasná a přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí
10. nesymetrie napájecího napětí
11. harmonická a meziharmonická napětí
12. úroveň napětí signálů v napájecím napětí

Další popis je vzhledem k zaměření diplomové práce věnován krátkodobým poklesům napájecího napětí.

4 Krátkodobé poklesy napájecího napětí

Krátkodobé poklesy napájecího napětí mohou být způsobeny poruchami v distribuční nebo přenosové síti či připojením velkých zátěží na straně odběratele. Jedná se o nahodilé a nepředvídatelné jevy, jejichž četnost se může lišit s ohledem na lokalitu a roční období.

Krátkodobé poklesy napájecího napětí obecně způsobují velké potíže zejména v provozech, kde je vyžadováno nepřerušované napájení. Mezi tyto provozy obecně patří výrobní provozy, které zpracovávají materiál buď tepelnou cestou (sklárný, hutě atd.) nebo stroje s charakterem výrobní linky sestávající se z celé řady operací. A právě mezi takovéto provozy patří papírenský výrobní závod. V těchto provozech u jednoduchých zařízení malého výkonu nemusí být problém poklesu napájecího napětí až tak markantní, jako u velkých zátěží či řídicí elektroniky. Zejména četnost a komplexnost elektrických silových i řídicích zařízení klade důraz na kvalitu napájecího napětí.

4.1 Velikost napájecího napětí

Velikost napájecího napětí v distribuční síti je učena napěťovou hladinou, která je dána v rámci elektrizační soustavy.

Základní vztah pro střídavé elektrické napětí je:

$$u = U_m \cdot \sin(\omega t) \quad [\text{V}] \quad (4.1)$$

kde:

u je okamžitá hodnota napětí

U_m je amplituda napětí

ω je úhlová frekvence ($2 \cdot \pi \cdot f$)

t je čas

Pro efektivní hodnotu napětí pak platí:

$$U_{\text{ef}} = U_m \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2(t) dt} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad [\text{V}] \quad (4.2)$$

Velikosti jmenovitého napětí, které se používají v české elektrizační soustavě, jsou tato:

pro přenosovou soustavu:

- 400 kV
- 220 kV

pro distribuční soustavu:

- 110 kV
- 35 kV
- 23 kV
- 0,4 kV

Výše uvedené velikosti napětí jsou uvedeny v efektivních hodnotách pro sdružená napětí.

4.2 Odchytky napájecího napětí

Vzhledem ke složitosti a komplexnosti distribuční soustavy však nelze zcela přesně zajistit, aby v každém bodě napájecí soustavy byla přesná hodnota napájecího napětí. Hodnota napájecího napětí je totiž ovlivněna mnoha faktory, ke kterým patří zejména:

- impedance elektrické napájecí sítě
- počet a velikost připojených zdrojů
- počet a velikost připojených spotřebičů
- provozní charakteristika připojených spotřebičů, a to zejména jejich linearita a četnost spínání

Z tohoto důvodu jsou v normách zabývajících se kvalitou elektrické energie stanoveny přípustné meze, ve kterých se napájecí napětí musí za normálního provozu vyskytovat. Tyto meze jsou stanoveny pro určité velikosti napětí odlišně.

Pro distribuční síť je stanovena velikost napětí takto:

S vyloučením přerušení napájení musí být během každého týdne 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřících intervalech 10 min v rozsahu $U_n \pm 10\%$. Pro síť nn dále platí, že všechny průměrné efektivní hodnoty napájecího napětí v měřících intervalech 10 min musí být v rozsahu $U_n +10\%/-15\%$ [1].

Pro síť nn tedy platí s vyloučením přerušení napájení možný výskyt 5% průměrných efektivních hodnot mimo toleranční pásmo $\pm 10\% U_n$, avšak ne nižších než 15 %. Pro ostatní distribuční síť vyplývá, že pro splnění podmínek výše uvedeného předpisu je s vyloučením přerušení napájení možný výskyt 5 % průměrných efektivních hodnot.

Tedy za předpokladu týdenního měření dostaneme:

1 týden = 1008 měřených 10 min hodnot

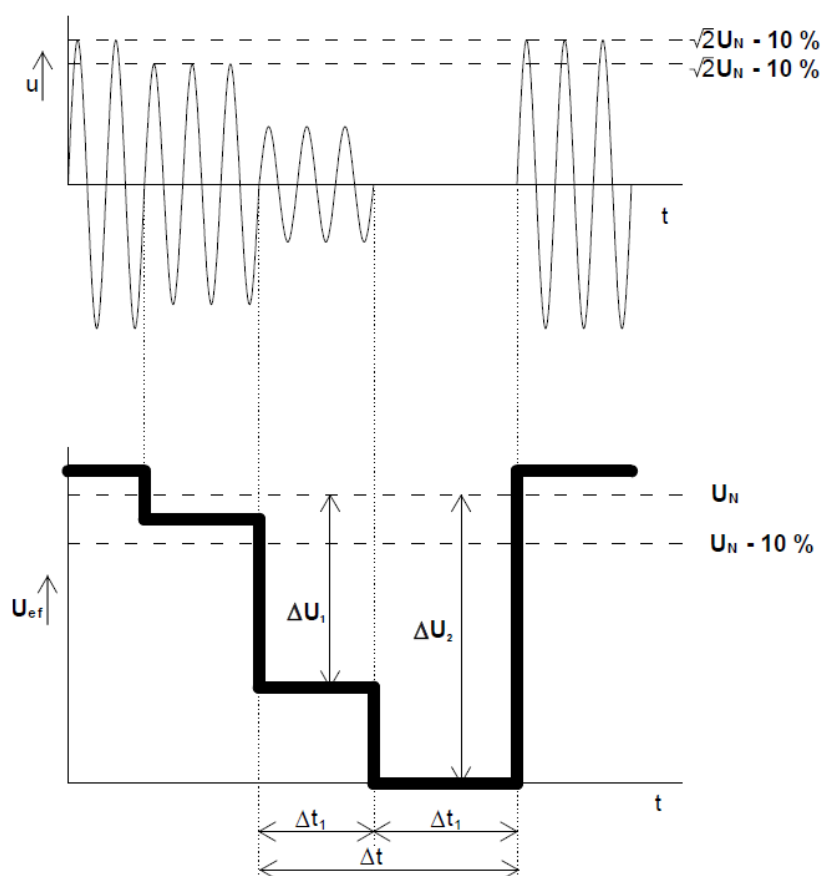
5 % pak odpovídá 50,4 dovolených průměrných efektivních hodnot mimo stanovenou velikost napájecího napětí, tedy době 8,4 h během týdenního intervalu měření.

Tyto odchylky napájecího napětí však nepostihují krátkodobé poklesy nebo výpadky napájecího napětí, protože v rámci agregace a zpracování dat i při výskytu krátkodobého poklesu nedojde k zásadnímu ovlivnění průměrných efektivních 10minutových hodnot tohoto napětí. Nicméně takovýto pokles však zcela zásadně může ovlivnit chod připojeného zařízení.

Z tohoto důvodu je tedy nezbytné sledovat krátkodobé poklesy a přerušení samostatně.

4.3 Definice krátkodobého poklesu a přerušení napájecího napětí

Krátkodobý pokles napětí je dočasný pokles pod prahovou počáteční hodnotu, která je definována procentuální hodnotou jmenovitého napětí (U_n) a konec poklesu je určen časem, kdy napětí dosáhne zpět prahové hodnoty zvýšené o hysterezi, která je stanovena zpravidla na 2 % ze jmenovitého napětí U_n . Jedná se tedy o dvou-rozměrný jev, který je definován jak svou hloubkou (zbytkovým napětím U_{res}), tak dobou trvání.

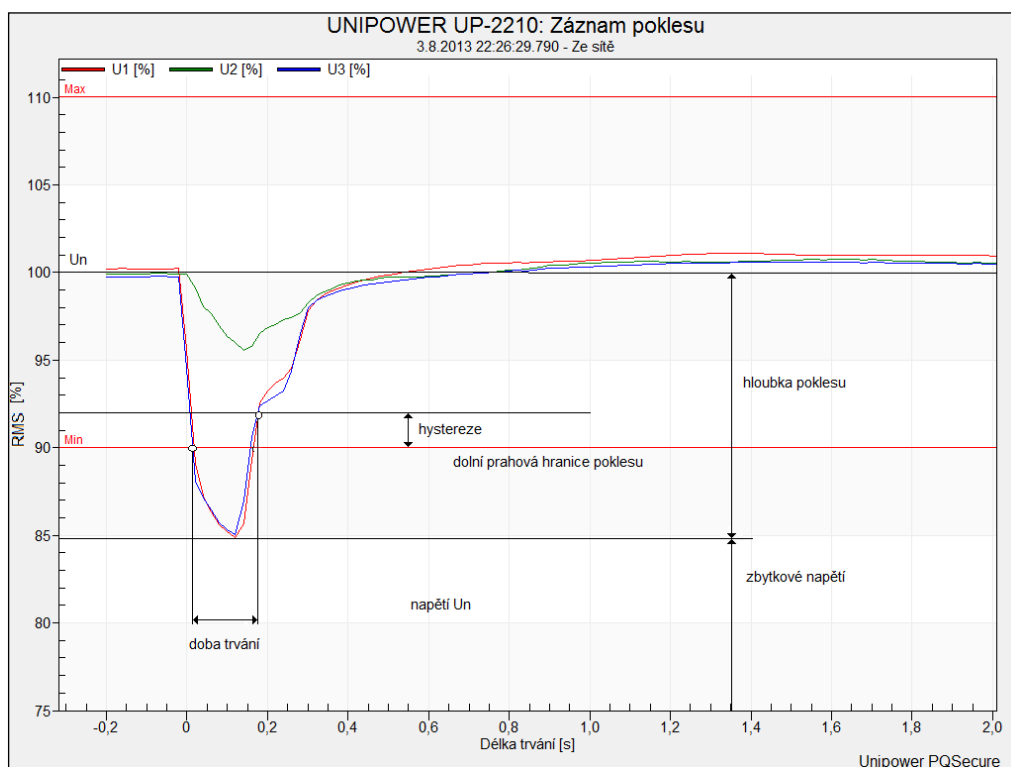


Obr. 4.1 Znárodnění poklesu a přerušení napájecího napětí [1].

V případě měření / záznamu poklesů se zaznamenává efektivní hodnota napětí, a to dle pravidel popsaných v normě ČSN EN 61000-4-30 [5], která stanovuje nejen měřicí intervaly, ale také nároky na měřicí techniku.

Doba poklesů se pohybuje od 10 milisekund do 1 minuty, ale obvykle jeho délka trvání je do 1 sekundy. Velikost zbytkového napětí krátkodobého poklesu je definován nejnižší hodnotou napětí v době trvání poklesu.

Pokud dojde k poklesu napájecího napětí po delší čas nepřekračující 1 minutu nebo s hloubkou 100 % jmenovitého napětí nebo všech fází s hloubkou 95 % jmenovitého napětí, jedná se již o krátké přerušení napětí.



Obr. 4.2 Příklad zaznamenaného poklesu napětí.

Na ukázce jsou vidět průběhy napětí jednotlivých měřených fází.

Základní parametry, které jsou význačné pro pokles napětí, jsou uvedeny zde:

- prahová hranice poklesu (dle ČSN EN 50160 ed.3) – 10 %/-10 % od U_n .
- doba trvání (měří se doba od překročení prahové hranice až po návrat nad prahovou hranici + hystereze, standardně 2 %)
- hloubka (hloubka z nominální nebo aktuální hodnoty na hodnotu zbytkového napětí U_{res})
- zbytkové napětí U_{res} - nejnižší hodnota napětí během doby poklesu)

Pokles je tedy charakteristický hlavně svou hloubkou a délkou. V případě hlubšího poklesu, ale s krátkou dobou trvání, nemusí dojít k větším problémům s provozem některých připojených zařízení. To stejné platí v případě poklesu těsně pod prahovou hranici poklesu napětí a delší dobou trvání. Proto je dnes při připojování spotřebičů do napájecí sítě potřeba znát i citlivost těchto spotřebičů na poklesy napájecího napětí, tedy imunitu vůči poklesům.

4.4 Důvod výskytu poklesu napájecího napětí

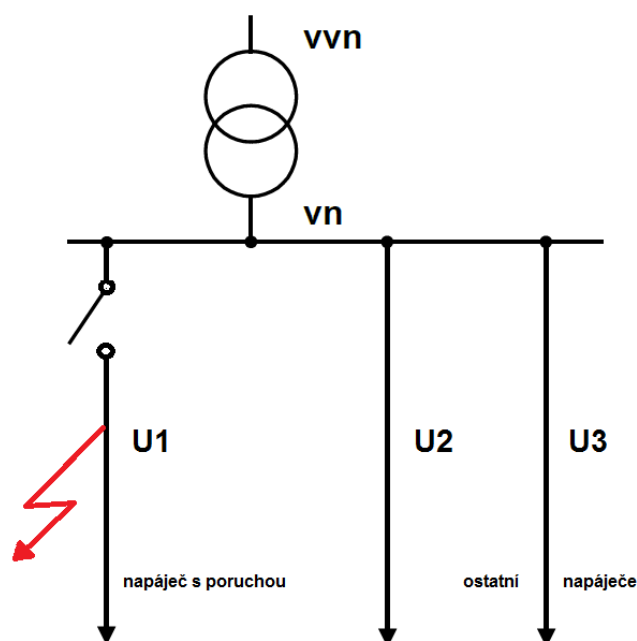
Příčiny výskytu poklesů napájecího napětí mohou být různé, nicméně nejčastěji jsou poklesy způsobeny [1]:

- spínacími operacemi, při nichž jsou zapínány velké odběry,
- zkratovými poruchami a následnou funkcí ochran (např. opětovného zapínání). Tyto poruchy mohou pocházet z odběratelských sítí, z veřejných rozvodných sítí nebo mohou být způsobeny atmosférickými vlivy,
- změnami jalového a činného proudu odebíraného zátěžemi připojenými k síti a tak způsobujícími změny úbytku napětí na impedanci sítě,
- změnami zkratového výkonu sítě, způsobenými změnami ve skladbě generátorů nebo změnami v konfiguraci sítě.

Pokud vezmeme v úvahu napájecí napětí v distribuční síti 110 kV, hlavní příčinou poklesů a krátkých přerušování napájecího napětí jsou reakce ochranných prvků (vybavení ochran), které vypnou vedení a poté opět připojí, tzv. OZ v případě výskytu poruchy v dané distribuční síti.

4.5 Chránění sítě - vznik opětovného zapínání OZ

V případě poruchy (zkrat nebo atmosférický jev) nedochází k poklesu jen na postiženém vedení, ale také na dalších paralelních větvích, a to v rozsahu (hloubce) v závislosti na typu vedení a vzdálenosti od poruchy.



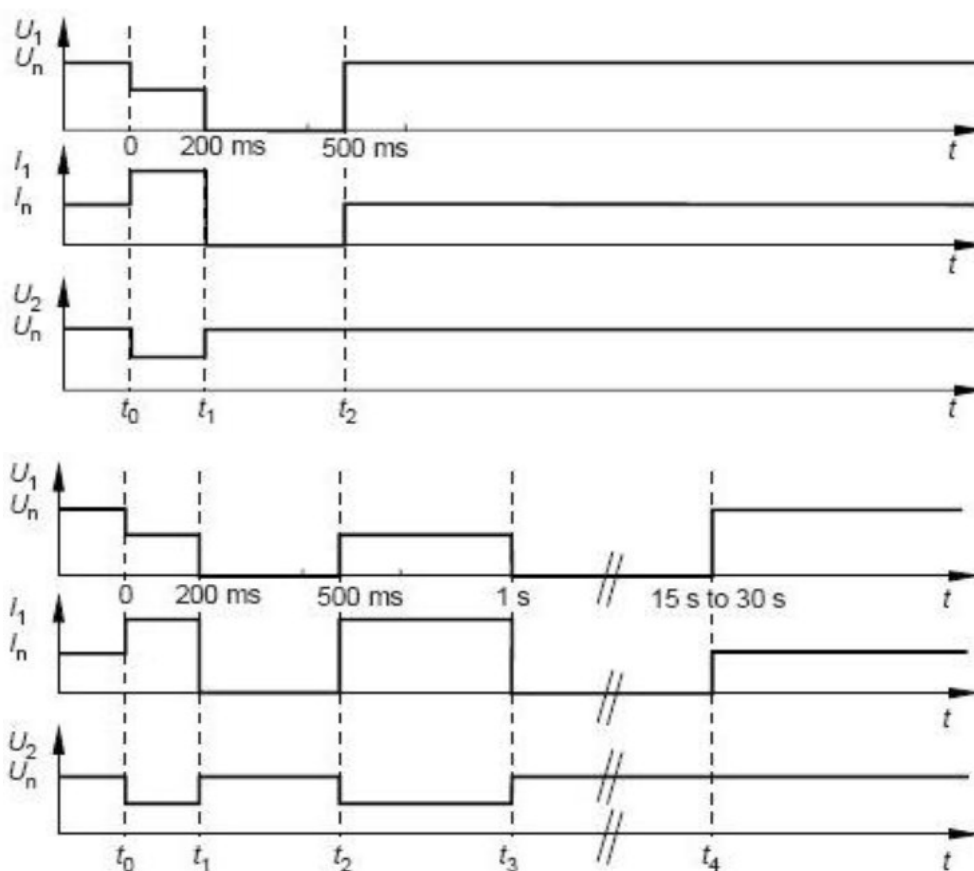
Obr. 4.3 Ukázka příčiny vzniku krátkodobého poklesu napětí – zkrat.

Na obrázku 4.3 je uveden příklad výskytu zkratu na napáječi 1. Zde dojde k poklesu nebo i krátkodobému přerušení napájecího napětí, které trvá desetiny sekundy. Tato porucha se ale projeví také na paralelních vývodech 2 a 3. Zde se projeví již jen jako pokles napájecího napětí, a to s hloubkou závislou na vzdálenosti od daného zkratu.

Koncepce napájecích sítí v České republice, zejména tvrdě zemněných (od 110 kV výše), umožňuje jednopólové OZ. Ty jsou nejšetnější k poklesům napětí, a to z důvodu vypínání jen jedné postižené fáze. Z pohledu stability to přináší poměrně dlouhý čas beznapěťové pauzy (0,6 – 1 s), který je důležitý pro úspěšný OZ - vypnutí zkratu.

Jakmile dojde k výskytu poruchy, dochází k rychlému vybavení ochran a odpojení daného místa s poruchou v krátkém čase (cca 0,1 s v prvním stupni a 0,3-0,5 s ve druhém stupni) [1].

V případě úspěšného cyklu OZ dojde po poklesu k návratu napětí do normálních provozních hodnot před poruchou. V případě neúspěšného vypnutí zkratu dochází k opětovnému OZ. V případě opětovného cyklu OZ, je přechodný děj klasifikován jako jeden pokles, nikoli dva, protože se vztahují k jedné události.



Obr. 4.4 Průběhy napětí a proudu u odběratelů při funkci OZ [3].

- t_0 - okamžik výskytu poruchy
- t_0 až t_1 – doba detekce poruchy
- t_1 až t_2 – doba výpadku napáječe s poruchou

4.6 Důsledky poklesů v napájecí síti

Poklesy v napájecí síti způsobují velké problémy ve všech provozech, které nejsou nějakým spolehlivým způsobem zálohovány a chráněny proti změnám napětí. Zejména v provozech se spotřebiči s vysokými výkony dochází k problémům, protože při poklesu napětí dochází obvykle k výpadku těchto spotřebičů a současně s tímto přechodným dějem dochází k velké změně odebíraného proudu, zejména k jeho nárůstu. Při obnovení napájení pak vzniká další problém, a to možnost samovolného najetí spotřebičů, což negativně ovlivní jak danou napájecí síť, ale také mnohdy i bezpečnost samotnou.

Značné problémy poklesy napětí způsobují také řídicí elektronice a zejména v obvodech s pohony (papírenský průmysl), které jsou řízeny výkonovými měniči kmitočtu. Tato zařízení jsou bez případných úprav citlivá i na malou změnu napájecího napětí, což má za následek jejich chybnou funkci končící odstavením připojených pohonů. Negativně se také poklesy napětí projevovaly na počítačích, kdy bez použití záložního zdroje došlo nejen k jeho vypnutí, ale také hrozila ztráta právě zpracovávaných dat nebo poškození HDD.

I když jsou poklesy napájecího napětí v řádu desítek až stovek milisekund, mohou způsobit odstavení provozu na desítky minut. S tím jsou spojené jak provozní ztráty v rámci neodebraného nasmlouvaného výkonu, tak hlavně výrobní ztráty, které především v rozsáhlých provozech mohou dosahovat desítek až stovek tisíc korun za každý pokles napájecího napětí. Z tohoto důvodu je nezbytné, aby odběratel provedl všechna možná opatření k tomu, aby bylo minimalizováno riziko ovlivnění provozované technologie vlivem poklesů napájecího napětí způsobených jak cykly OZ, které mají za následek pokles napětí, tak i další opatření k eliminaci jevů vzniknuvších na vnitřní straně sítě v závodu.

4.7 Vyhodnocení poklesu napájecího napětí

Jak bylo zmíněno, poklesy jsou charakterizovány dobou trvání a hloubkou vůči nominální hodnotě napětí. Další charakteristikou může být také strmost daného poklesu, ale vzhledem k převaze poklesů napětí způsobených automatikou OZ, nepřináší další charakterizace tohoto jevu vzhledem na strmost zásadní význam.

Vyhodnocení poklesu analyzátozem musí být v souladu s normou EN 61000-4-30, která definuje, jakým způsobem má být pokles napájecího napětí zaznamenán. Zde se liší způsob záznamu poklesu dle třídy přesnosti použitého analyzátoru a podle napájecí sítě. Podle této normy se zaznamenává každá efektivní hodnota půlperiody napětí $U_{\text{rms}(1/2)}$ na všech měřených kanálech (pro třídu A) a každá efektivní hodnota celé periody U_{rms} (pro třídu S). Hodnota U_{rms} obsahuje harmonické, meziharmonické, napětí signálů atd.

Detekce poklesu napájecího napětí se provede překročením prahové hranice, která je definována jako procentuální hodnota jmenovitého napětí U_N (nebo U_C - dohodnuté napětí) nebo napětí s klouzavou referencí (při záznamu musí být definováno, od jaké hodnoty je pokles počítán).

Pokles se tedy zaznamená takto:

- u jednofázového systému je začátek poklesu napětí definován, když hodnota napětí U_{rms} klesne pod prahovou hranici poklesu a jeho konec je, když je hodnota napětí U_{rms} rovna nebo vyšší než prahová hranice poklesu + hystereze napětí.
- u vícefázového systému je začátek poklesu napětí definován, když hodnota napětí U_{rms} jakéhokoliv měřeného kanálu klesne pod prahovou hranici poklesu a jeho konec je, když jsou všechny hodnoty napětí U_{rms} rovny nebo vyšší než prahová hranice poklesu + hystereze napětí.

Vlastní vyhodnocení se pak provede dle uvedeného charakteru poklesu, tedy jeho hloubky (úroveň zbytkového napětí U_{res}) a doby trvání, jako bylo uvedeno v 4.3.

4.8 Klasifikace poklesu napájecího napětí

Zaznamenané poklesy napájecího napětí lze po jejich záznamu klasifikovat statistickým způsobem, a to vzhledem k jeho četnosti výskytu, danou hloubkou a dobou trvání. Klasifikace se provádí s ohledem na ustanovení platných norem používaných v dané distribuční síti. Neexistuje tedy jedna klasifikace poklesů napětí, ale existuje mnoho norem, které obsahují vlastní klasifikaci tohoto děje. V rámci pravidel provozování distribučních soustav v ČR a platné normy ČSN EN 50160 došlo a stále dochází k úpravám této klasifikace, a to vzhledem na současný vývoj a požadavky energetického trhu.

Zde je v tabulce uveden příklad zatřídění poklesů v souladu s normou ČSN EN 50160 ed.3 a PNE 333430-7, ed.4., které jsou aktuální.

Zbytkové napětí U_{res} [% U_c]	Doba trvání t [ms]				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1\ 000$	$1\ 000 < t \leq 5\ 000$	$5\ 000 < t \leq 60\ 000$
$90 > U_{res} \geq 80$	hodnota A1	hodnota A2	hodnota A3	hodnota A4	hodnota A5
$80 > U_{res} \geq 70$	hodnota B1	hodnota B2	hodnota B3	hodnota B4	hodnota B5
$70 > U_{res} \geq 40$	hodnota C1	hodnota C2	hodnota C3	hodnota C4	hodnota C5
$40 > U_{res} \geq 5$	hodnota D1	hodnota D2	hodnota D3	hodnota D4	hodnota D5
$5 > U_{res}$	hodnota X1	hodnota X2	hodnota X3	hodnota X4	hodnota X5

Tab. 4.1 Klasifikace poklesů napájecího napětí podle ČSN EN 50160 ed.3.

Každá buňka pak reprezentuje počet výskytu poklesu napětí podle jeho hloubky a doby trvání. Jak bylo dříve zmíněno, u hodnot pod 5 % zbytkového napětí se jedná již o krátkodobé přerušení napájecího napětí.

Vlastní tabulka nepřináší kromě statistického zobrazení četnosti poklesů v rámci sledovaného období odpověď, jak se bude připojený spotřebič k napájecí síti chovat a reagovat na četnost a druh jednotlivých poklesů. Aby tedy bylo možno stanovit odolnost spotřebiče vůči tomuto jevu, je nezbytné provést dlouhodobé sledování

kvality elektrické energie se záznamem všech parametrů, zejména poklesů napájecího napětí.

Zmíněné normy uvádějí minimální časové období pro sledování, a to alespoň jeden rok. Je to zejména z důvodu, že poklesy napájecího napětí jsou nepředvídatelné jak z pohledu četnosti výskytu, tak i z pohledu hloubky a doby trvání. Vlastní roli hrají jak nenadálé stavy v distribuční síti (zkratky, poruchy na vedení) nebo i atmosférické jevy vyskytující se více či méně v určitém období. Tedy provádět měření alespoň jeden rok je zcela nezbytné.

Současná norma ČSN EN 50160 ed.3 nestanovuje maximální přípustný počet daných poklesů napájecího napětí, a to s ohledem právě i na neexistující podklady a statistická měření, která se začala provádět teprve před několika lety. Proto je zapotřebí tato data zjišťovat a teprve po nějaké době z nich lze provádět závěry.

Další nezbytností je sledování ostatních parametrů kvality elektrické energie, a to z důvodu stanovení vlivu chování spotřebiče na další vlivy sítě, jako jsou úroveň napětí, kmitočet sítě, úroveň harmonických napětí, flikru atd.

Teprve na základě provedeného komplexního sledování kvality po uvedenou dobu nejméně jednoho roku a jeho vyhodnocení umožňuje navrhnout opatření pro zvýšení spolehlivosti provozovaného spotřebiče.

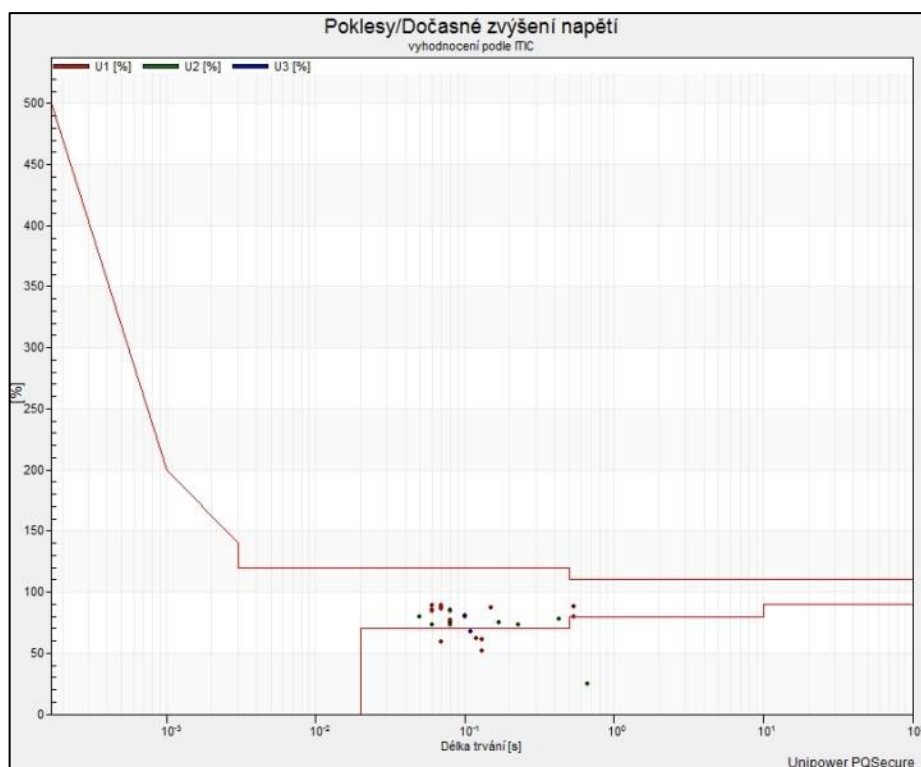
4.9 Grafické vyhodnocení poklesu napájecího napětí

Zaznamenané poklesy napájecího napětí lze tedy po jejich záznamu klasifikovat statistickým způsobem, a to vzhledem k jeho četnosti výskytu, danou hloubkou a dobou trvání. Na základě takto zpracovaných a zatříděných dat do tabulky (viz tabulka 4.1) je pak možné provést další vyhodnocení, a to s ohledem na stanovení přípustné meze výskytu poklesů nebo imunity spotřebiče na ně.

S postupem času vzniklo a stále vzniká několik norem a předpisů, které se zabývají stanovením odolnosti spotřebičů na krátkodobé poklesy napájecího napětí a stanovení přípustných mezí. Výsledkem je pak definice mezních křivek, které odělují přípustné a nepřípustné pásmo odolnosti spotřebiče.

Zde jsou ukázky vybraných vyhodnocení a graficky znázorněných mezí pro poklesy napájecího napětí. Oproti normě ČSN EN 50160 jsou zde v některých případech uvedeny rozdílné hodnoty zbytkového napětí a doby trvání a tedy i zatřídění v rámci klasifikace.

Pro výpočetní techniku, zejména zdroje napájení byla stanovena mezní křivka CBEMA, která pak byla následně upravena do konečné podoby a dnes známá jako křivka ITIC nebo jako IEEE 466.



Obr. 4.5 Ukázka vyhodnocení poklesů napětí podle ITIC.

Přípustná oblast, tedy pásmo, ve kterém by se měl vyskytovat takovýto spotřebič připojený do distribuční napájecí sítě, je ohraničeno červenou křivkou horní

a dolní mezí. Pokud tedy dojde k poklesu napájecího napětí nebo dočasnému zvýšení napětí uvnitř oblasti ohraničené těmito křivkami, daný spotřebič by měl standardně fungovat bez chybového stavu.

Další normou, která definuje požadovanou odolnost celé řady spotřebičů s polovodičovými součástkami a zařízeními vůči i poklesu napájecího napětí, je norma SEMI F47-0706 [12]. Vyjma běžných spotřebičů (elektronika) je zaměřena i na komponenty s polovodičovými prvky používané v zařízeních, jako jsou:

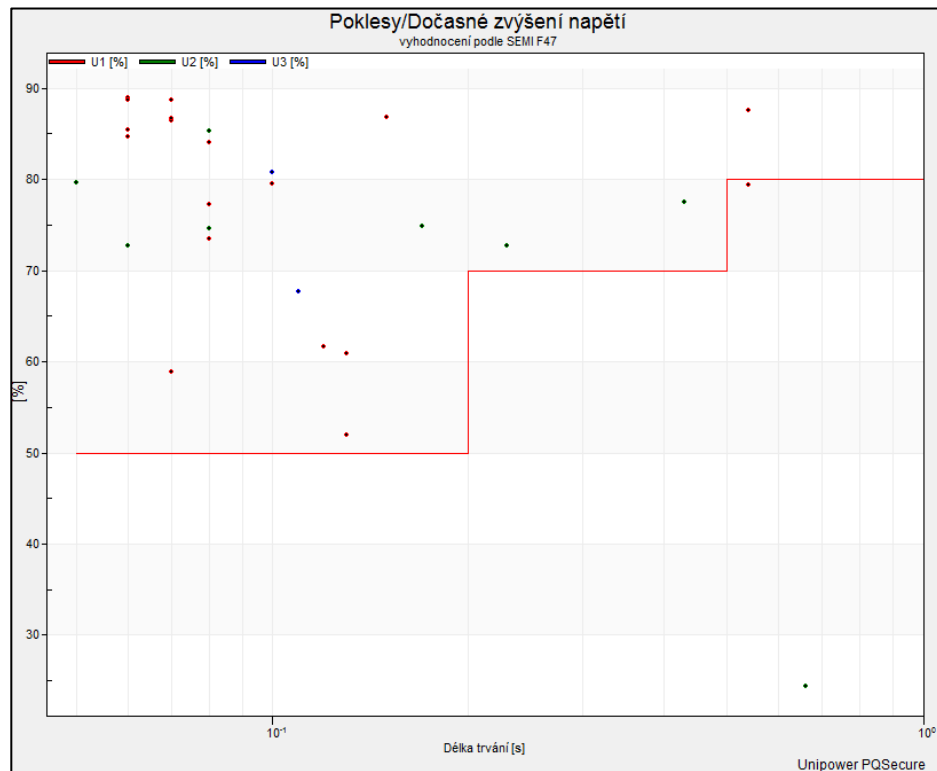
- generátory radiových a ultrazvukových vln
- napájecí zdroje
- výpočetní technika
- čerpadla a ventilátory
- zařízení pro řízení rychlosti

V následující tabulce jsou uvedeny kritéria odolnosti vůči poklesům napájecího napětí pro splnění této normy. Z větší části se slučuje s mezemi stanovenými v ČSN EN 50160, ale oproti této normě je zde jasný požadavek na splnění těchto mezí.

Zbytkové napětí U_{res} [% U_c]	Doba trvání t [ms]			
	$10 < t \leq 20$	$20 < t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1000$
$90 > U_{res} \geq 80$	hodnota A1	hodnota A2	hodnota A3	hodnota A4
$80 > U_{res} \geq 70$	hodnota B1	hodnota B2	hodnota B3	hodnota B4
$70 > U_{res} \geq 50$	hodnota C1	hodnota C2	hodnota C3	hodnota C4
$U_{res} < 50$	hodnota X1	hodnota X2	hodnota X3	hodnota X4

Tab. 4.2 Klasifikace odolnosti spotřebiče na poklesy napájecího napětí podle SEMI F47-0706.

Na následujícím obrázku je grafické znázornění klasifikace dle této normy.



Obr. 4.6 Ukázka vyhodnocení poklesů napětí podle SEMI F47-0706.

Všechny hodnoty poklesu nad červenou čarou (v tabulce 4.2 zvýrazněno zeleně) by neměly způsobit ovlivnění těchto spotřebičů v případě výskytu poklesu napájecího napětí. V případě poklesů pod touto mezí již nemusí být provoz zařízení výrobcem zaručen.

Způsob vyhodnocení také někdy zahrnuje rozdělení na více oblastí, tedy ne jen na dvě oblasti ohraničené mezemi. Takovým příkladem je národní švédská norma EIFS 2013:1 [13], která byla vydána švédským energetickým úřadem, a která se zabývá kvalitou dodávané elektrické energie distributorem. Tato norma je platná ve Švédsku od 1. 10. 2013 a definuje pro různé napěťové úrovně kritéria splnění kvality elektrické energie.

V následující tabulce je uvedena klasifikace poklesů podle této normy pro napájecí napětí nn a vn (dle normy $U_C < 45 \text{ kV}$). V tabulce jsou opět uvedeny meze dané hloubkou zbytkového napětí a dobou trvání. Pro úroveň nn a vn jsou oba parametry shodné s naší normou ČSN EN 50160 ed. 3.

Zbytkové napětí U_{res} [% U_C]	Doba trvání t [ms]				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1\,000$	$1\,000 < t \leq 5\,000$	$5\,000 < t \leq 60\,000$
$90 > U_{res} \geq 80$	A				
$80 > U_{res} \geq 70$					
$70 > U_{res} \geq 40$		B			C
$40 > U_{res} \geq 5$					
$5 > U_{res}$					

Tab. 4.3 Klasifikace poklesů napájecího napětí pro nn a vn podle EIFS 2013:1.

Avšak oproti používané normě u nás, tedy ČSN EN 50160, která jen klasifikuje – zatřídí naměřené poklesy do tabulky bez další návaznosti, švédská norma EIFS 2013:1 přímo definuje povolené meze pro jednotlivé oblasti a určitou odpovědnost distributora i odběratele.

Oblasti jsou uvedeny tři, a to:

- A (zelená): poklesy v této oblasti se mohou za běžného provozu vyskytovat. Tedy odběratel by měl provést taková opatření, aby v případě poklesu napájecího napětí v mezích oblasti A nedošlo k ovlivnění činnosti připojených spotřebičů.
- B (růžová): poklesy spadající do této oblasti by měly být distributorem minimalizovány a měly by být předmětem hledání řešení a spolupráce mezi distributorem a odběratelem postiženým těmito poklesy.
- C (červená): poklesy s hloubkou a dobou trvání v této oblasti by se neměly vyskytovat. Zde je na straně distributora provést nápravná opatření k jejich zamezení.

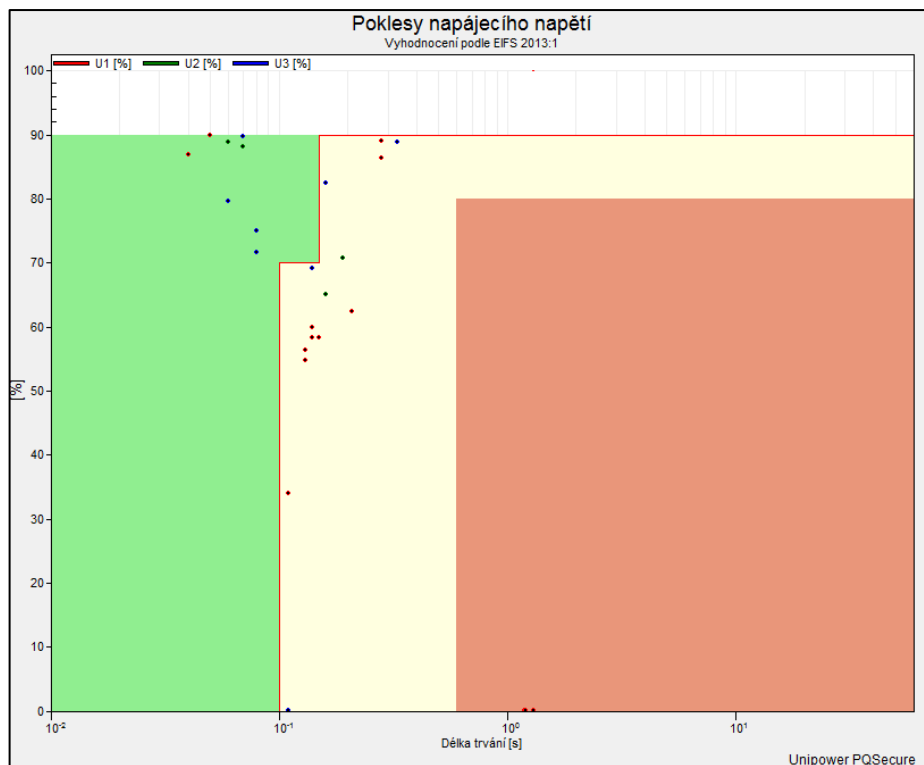
Další klasifikace dle této normy je určena pro vyšší hladiny napájecího napětí vvn. Klasifikace je spojená pro všechny napěťové úrovně vyšší než 45 kV (dle švédského standardu) a oproti předchozí jsou v ní jinak definovány doby trvání. Hloubka poklesu, resp. zbytkové napětí je shodné s klasifikací pro nn a vn a také s ČSN EN 50160 ed.3.

Zbytkové napětí U_{res} [% U_C]	Doba trvání t [ms]				
	$10 \leq t \leq 100$	$100 < t \leq 150$	$150 < t \leq 600$	$600 < t \leq 5\,000$	$5\,000 < t \leq 60\,000$
$90 > U_{res} \geq 80$	A				
$80 > U_{res} \geq 70$					
$70 > U_{res} \geq 40$					
$40 > U_{res} \geq 5$					
$5 > U_{res}$					

Tab. 4.4 Klasifikace poklesů napájecího napětí pro vvn podle EIFS 2013:1.

Tabulka opět klasifikuje poklesy podle hloubky a doby trvání a i v tomto případě je rozdělena do tří oblastí A, B a C.

Na obrázku 4.7 je uveden příklad klasifikace poklesů napětí podle této normy v programu UNIPOWER PQ Secure s vyobrazením zaznamenaných poklesů napětí.



Obr. 4.7 Ukázka vyhodnocení poklesů napětí podle EIFS 2013:1.

Z uvedených příkladů je zřejmé, že vyhodnocení poklesů napájecího napětí není v rámci norem jednotné a není zaměřeno jen na jeho četnost, hloubku a dobu trvání, ale také na hladinu napájecího napětí a druh připojeného spotřebiče.

Jednotlivé normy se mezi sebou liší, nicméně z uvedených příkladů je patrné, že v některých státech, jako například ve Švédsku, je již zakotvena odpovědnost distributora elektrické energie za kvalitu elektrické energie zahrnující poklesy napájecího napětí.

5 Struktura napájení papírenského závodu

Spolehlivost provozu papírenského závodu není závislá jen na kvalitě dodávané elektrické energie, ale také na dalších faktorech, mezi které patří:

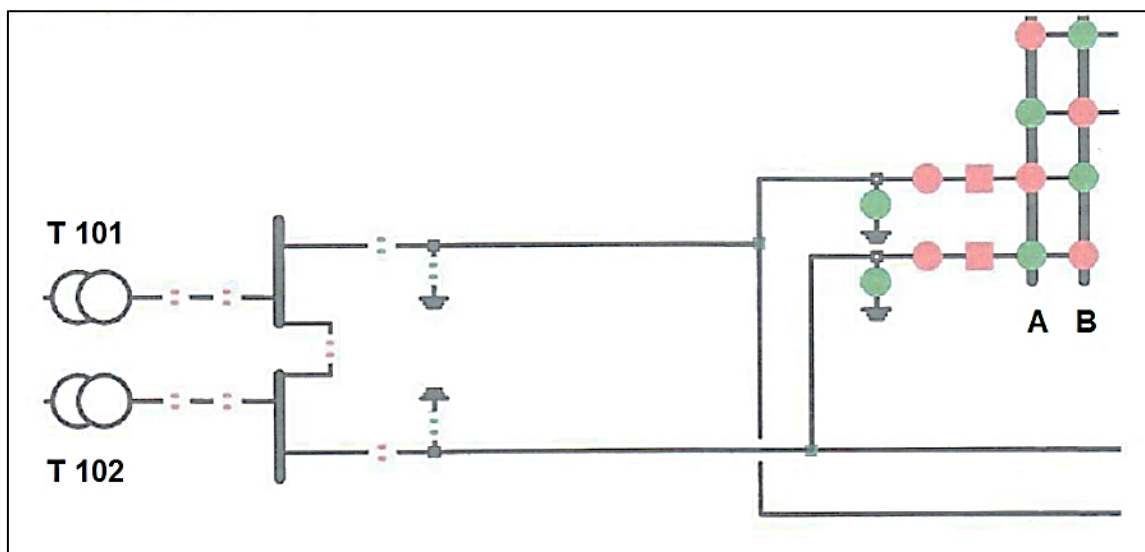
- způsob připojení závodu k distribuční síti
- počet dalších odběratelů na stejné síti a instalovaný výkon spotřebičů
- délka a impedance dané sítě

Tyto faktory mohou významně ovlivnit kvalitu dodávané elektrické energie jak v místě připojení papírenského závodu, tak i u dalších odběratelů.

Následující případ je ukázkovým příkladem popisující provoz papírenského závodu provozovaného v České republice.

5.1 Hlavní přívod napájecího napětí

Závod je připojen z napěťové hladiny 110 kV dvěma T-odbočkami, každá z jedné paralelní linky. Tyto linky jsou součástí jednoho z okruhů zapojené vícetransformačtorové (2-3 transformátory 400/110 kV) oblasti 110 kV můstkového typu. To vytváří poměrně dobře vyrovnané zkratové napájení papírenského závodu.



Obr. 5.1 Schema napájení papírenského závodu.

Vedení je provedeno vodiči 184-AL1/30-ST1A (AlFe 185/30) a je vedeno stožáry z normalizovaných ocelových válcovaných profilů z konstrukční oceli 11 523 (Fe510c podle ČSN EN 10025) spojovaných šrouby nebo svařováním. Zaústění vedení je v polích v rozvodně závodu přes vypínací a odpojovací prvky do transformátorů T101 a T102 s transformací 110/6 kV.

Základní parametry transformátorů T101 a T102:

typ: olejový

počet fází: 3

počet vinutí: 2 + stabil.

zapojení vinutí: YNyn0(d)

jmenovité hodnoty:

vinutí vvn: výkon 20 MVA, napětí 110 000 V, proud 105 A

vinutí vn: výkon 20 MVA, napětí 6300 V, proud 1832,9 A

vinutí stabil: výkon 6600 kVA, napětí 6300 V



Obr. 5.2 Venkovní rozvodna 110 kV.

Paralelní vedení a zapojení rozvodny umožňuje dle potřeby zapínat transformátory a přívodní linky. Současně toto zapojení řeší přeprnutí v případě poruchy či plá-

nované údržby na jednu z přívodních linek a současně řeší pravidelné a rovnoměrné používání obou transformátorů T101 a T102.

Z transformátoru jsou použity vývody jednotlivých fází na sběrnice a kabelový přívod do rozvodny 6 kV. Vývody jsou dále vedeny jako síť IT.

5.2 Hlavní rozvodna papírenského závodu 6 kV

Do vnitřní hlavní rozvodny je přivedeno z každého transformátoru napětí 6 kV pro napájení vnitřních rozvodů papírenského závodu z hlavních transformátorů přes kabelový rozvod (3x6 – AYKCY 3x240 mm²) o délce 40 m. Zde jsou připojeny na přípojnice W11, W21 a W12, W22 rozdělené do dvou samostatných sekcí, které lze v případě potřeby propojit výkonovým vypínačem.



Obr. 5.3 Vnitřní rozvodna 6 kV.

V této rozvodně jsou na přípojnice připojeny jednotlivé odbočky vybavené jistíci-
mi a ochrannými prvky s vývody na:

- 3 rozváděče s vývody pro 6 kV motory
- 19 samostatných transformátorů s transformací 6 kV/690 V, 500 V, a 400 V
vybavených přepětovými svodiči
- kompenzace

5.3 Rozvody napájecího napětí v rámci závodu

Pro vlastní rozvody z rozvodny 6 kV je použito kabelů 6-AYKCY o průřezu od 25 mm² do 300 mm². Rozvody jsou provedeny systémem napájení IT, tedy bez středního vodiče. To umožňuje provoz zařízení i s poruchou izolačního stavu, což v takovémto případě vyhodnotí systém ochrany, ale zařízení může být do plánované opravy v provozu. Tím se zvýší imunita takto provozovaných zařízení proti okamžitému odpojení. Nevýhodou zůstává skutečnost, že při poruše izolace lze zařízení si-
ce provozovat, ale současně dochází ke zvýšení napětí na ostatních fázích, což způsobuje přepětí v dané síti.

Rozvody jsou taženy přes kabelové lávky s největší vzdáleností 410 m od rozvodny 6 kV. V průběhu času došlo k několika změnám v rozvodech, zejména v uspořádání vedení a oddělení silových kabelů 6 kV od kabelů s nn rozvody a komunikačními rozvody, aby nedocházelo k ovlivňování těchto sítí, zejména pak komunikačních sítí.

5.4 Důležitá instalovaná zařízení z pohledu napájení

Papírenský závod je z pohledu napájení velmi složitý komplex, kde se využívá několik úrovní napájecího napětí a to s ohledem na připojenou technologii. Používané úrovně napětí jsou:

- 6 kV a dále po transformaci:
- 690 V
- 500 V
- 400 V
- 230 V

Tyto napěťové úrovně jsou použity pro napájení různých technologických zařízení. Mezi nejdůležitější zařízení papírenského závodu patří:

- přívodní rozvodna 110 kV
- hlavní rozvodna 6 kV
- rozvody el. napětí
- chránění přepětovými svodiči
- transformátory pro transformaci na nižší napětí
- podružné rozvodny
- vn kompenzace
- kotelna pro výrobu páry (ohřev válců v papírenském stroji)
- papírenský stroj a podružná technologie (mlýny, pohony)
- výkonové měniče kmitočtu pro regulaci pohonů
- řídicí centra - velíny
- počítačová síť
- záložní systémy napájení - UPS

Všechny výše uvedené stroje zařízení a zejména jejich správný chod jsou důležité pro zajištění spolehlivého provozu celého závodu.

6 Papírenský stroj

Nejdůležitějším strojem papírenského provozu je papírenský stroj, jehož kvalita a správnost chodu ovlivňuje zásadně jeho vlastní provoz a také úspěšnost celého závodu. Papírenský stroj je v podstatě soubor strojů a zařízení, které na sebe vzájemně navazují a jejichž činnost musí být zcela koordinována. V případě, že tato koordinace nebo vzájemná součinnost nefunguje, dochází buď k zmetkovitosti výroby nebo k vlastnímu výpadku stroje samotného.

Papírenských strojů existuje celá řada a liší se od sebe zejména z pohledu vyráběného papíru. Liší se tedy jak jejich složitostí, tak také energetickou náročností.

6.1 Základní popis papírenského stroje

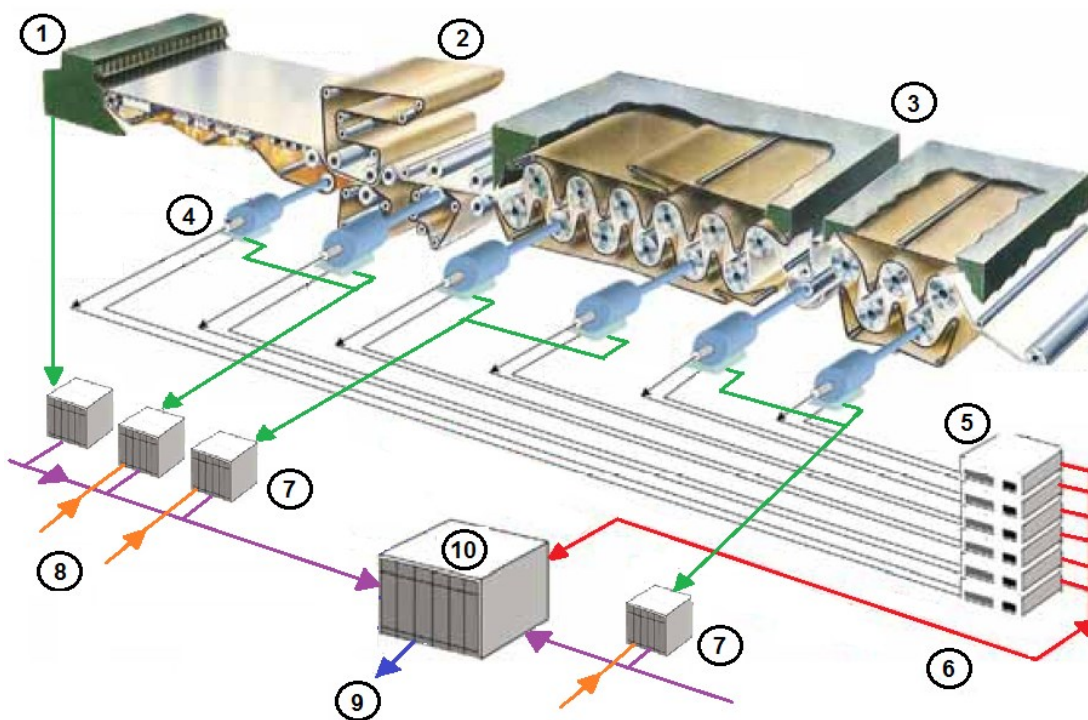
Papírenský stroj se skládá z mnoha funkčních celků, které zajišťují chod celého stroje. Z pohledu výroby lze papírenský stroj rozdělit na jednotlivé části podle procesů, mezi které patří:

- rozvláknění (materiál, celulóza)
- mletí (v mlecí lince na krátká a dlouhá vlákna)
- nátok (nanesení látky na síto)
- sušení (několikanásobný proces)
- klížení (v závislosti na druhu papíru)
- sušení (dosušení papíru)
- navíjení
- převíjení

Některé z vyjmenovaných procesů jsou zajištěny jedním řízeným pohonem, ale některé celou řadou pohonů. V historii se tyto pohony řešily jedním centrálním ss motorem a rozvodem pomocí transmisí a kuželových válců pro regulaci otáček jednotlivých částí. V dnešní době se v papírenském provozu vyjma ss motorů využívá

asynchronních motorů z důvodu snadnější údržby a efektivnějšího provozu (neexistence komutace, uhlíky atd.), jejichž otáčky jsou řízené měniči kmitočtu.

Následující obrázek popisuje hlavní části papírenského stroje.



Obr. 6.1 Základní popis papírenského stroje [9].

- 1) nátok látky na síto
- 2) lisy
- 3) sušičky
- 4) asynchronní třífázové motory s vývody signálů o otáčkách a provozním (případném) poruchovém stavu
- 5) měniče kmitočtu
- 6) řízení všech pohonů
- 7) RIO rozváděče - sběr signálů o stavu dané technologie / části
- 8) další signály z částí stroje
- 9) řízení operátorského stanoviště – velín
- 10) řídicí systém papírenského stroje

Na obrázku není zobrazena příprava látky – dispergace a bělení látky.

Výroba papíru je založena na přesné regulaci rychlosti jednotlivých procesů v daných částech papírenského stroje.

Otáčky motorů nejsou stejné a liší se v závislosti na průměru válce, tedy obvodové rychlosti a také z důvodu, že je nezbytné zachovat neustálý tah papíru tak, aby nedošlo k jeho mačkání v případě nedostatečného tahu nebo přetržení v případě nadměrného tahu.



Obr. 6.2 Papírenský stroj – začátek, nátok látky na síto.



Obr. 6.3 Skupina pohonů mlýnů přípravny látky.

Téměř ve všech částech papírenského stroje se využívá právě asynchronních motorů s kmitočtovou regulací. Tyto motory jsou vybaveny klecovou kotvou s vyšší izolační třídou, a to právě z důvodu jejich řízení měniči kmitočtu, které produkují ne-sinusové průběhy.

Motory jsou umístěné z pravé strany papírenského stroje tak, aby k nim byl zajištěn snadný přístup v případě servisního zásahu a také zajištěno chlazení okolním vzduchem.



Obr. 6.4 Skupina pohonů válců papírenského stroje.

Všechny motory jsou vybaveny čidly snímající otáčky a kompletní provozní stav. Tyto informace jsou pak zavedeny do RIO rozváděčů spolu s dalšími signály o stavu všech částí stroje. Rozváděče jsou umístěné v rozvodně pro papírenský stroj spolu s dalšími rozvody vn a nn.

Signály z RIO rozváděčů jsou pak svedeny do řídicího systému, který na základě vyhodnocení všech informací dává povely k ovládání jednotlivých měničů kmitočtu, tedy pohonů papírenského stroje a další technologie.



Obr. 6.5 Sběr řídicích signálů – RIO.

Všechny signály jsou pak kontrolovány na operátorském pracovišti, kde se celý stroj přes řídicí systém řídí.

6.2 Měníče kmitočtu pro řízení pohonů papírenského stroje

Jak bylo řečeno, hlavním důvodem použití měničů kmitočtu je možnost plynulé regulace otáček a momentu motoru s minimálními energetickými ztrátami.

Sledovaný papírenský stroj je vybaven celkem 42 pohony (asynchronní motory), které jsou řízeny měniči kmitočtu ABB typu ACS 143, ACS 600 a ACS 600 MultiDrive s napájecím třífázovým střídavým napětím 400 V a 690 V a výkonem v rozsahu 3-4300 kW. Další měniče kmitočtu jsou použity pro jednotlivé technologie přípravy

a zpracování látky, jako jsou mlýny, odvlhčovače a další nezbytná technologie založená na rotačních strojích.

Měníče kmitočtu jsou umístěny zejména ve vlastních skříních, které zajišťují jak přívod i vývod elektrické energie, tak také chlazení vlastními ventilátory, protože při jejich činnosti vzniká nadměrné odpadní teplo.

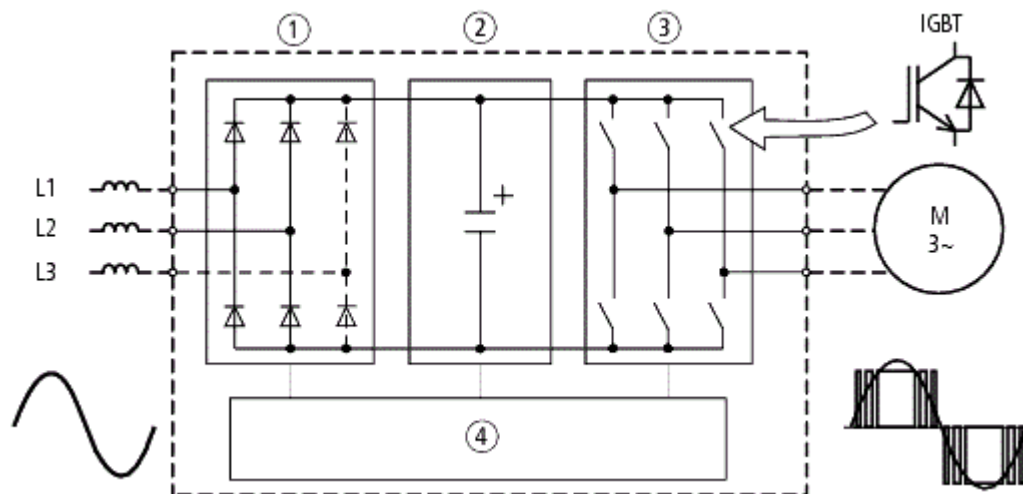


Obr. 6.6 Měníče kmitočtu ABB, typ ACS 600 MultiDrive.

Další měniče jsou umístěny v podružných rozvodnách tak, aby byly co nejkratší rozvody k jednotlivým pohonům.

Základní činnost použitých měničů frekvence vychází z principu klasického měniče s neřízeným usměrňovačem a stejnosměrným meziobvodem, který je na obrázku 6.7.

Tedy vstupní napájecí napětí je usměrněno v usměrňovači (1) a dále přes stejnosměrný meziobvod (2) přivedeno ke střídači (3). Střídač pak na základě řídicích signálů vytváří pro připojený motor třífázové proměnné napětí a kmitočet.



Obr. 6.7 Princip řízení motoru měničem kmitočtu [11].

Činnost tohoto zařízení je bezproblémová až do momentu změny vstupních parametrů, a to napájecího napětí. Tolerance uvedených měničů je $\pm 10\% U_N$. Pokles napájecího napětí má za následek rychlého vybíjení kondenzátoru ve stejnosměrném meziobvodu (2). Při zapůsobení OZ dojde k rychlému nárůstu napájecího napětí na původní hodnotu a dobíjecí proud kondenzátoru ve stejnosměrném meziobvodu je dán rozdílem napájecího napětí a napětí kondenzátoru a je omezen pouze indukčností obvodu. Díky tomu může dojít k nárůstu proudu na hodnotu, která je pak vyhodnocena ochranou měniče jako nepřijatelná a měnič je odpojen.

Může ale nastat další situace, a to taková, že pokud nedošlo k zablokování činnosti střídače, může po OZ dojít k nebezpečnému odběru proudu z usměrňovače a následně nárůstu proudu do motoru.

Z tohoto důvodu jsou primárně měniče kmitočtu od výrobce nastaveny jen na odolnost proti menším poklesům napájecího napětí, aby nedocházelo k proudovým špičkám jak vlastního měniče, tak i připojeného motoru. V konkrétním provozu je tato mez nastavena na 70% a výrobce nedoporučuje nastavení nižší úrovně.

6.3 Příčiny neplánovaných odstávek papírenského stroje

Aby bylo možno stanovit hlavní příčiny neplánovaných odstávek (výpadků) provozu papírenského závodu, je nezbytné provést šetření ve vlastní síti závodu a konfrontovat se stavem distribuční napájecí sítě. Dlouhodobým zjišťováním příčin neplánovaných odstávek provozu papírenského závodu bylo zjištěno, že nejzávažnějším problémem jsou poklesy napájecího napětí z distribuční sítě vln 110 kV. Díky sledování těchto poklesů a komunikaci s distributorem bylo zjištěno, že největší podíl na poklesech tvoří vypínací a ochranný cyklus OZ. Ten je s největší četností vyvolán atmosférickými jevy (bouřky) a povětrnostními podmínkami ovlivňující distribuční síť přepětími i zkraty a tím dochází k vybavení ochranných prvků.

Pokles napětí ovlivňuje hlavně výkonové měniče kmitočtu, které jsou využívány pro provoz pohonů v papírenském stroji. Základním problémem je výpadek řídicích obvodů těchto měničů, což má za následek přerušení funkce měniče a rovněž odstavení papírenského stroje.

Vzhledem k využívání také starších typů měničů bez filtrace vyšších harmonických, rovněž docházelo a dochází k rušení vlastní napájecí sítě zejména vyšší úrovní páté harmonické napětí. Ta je způsobena nelineárním odběrem usměřovače na vstupním obvodu měniče kmitočtu, dále se šíří v síti a negativně ovlivňuje napájecí technologii, zejména výpočetní techniku.

To vše má za následek přerušení výroby a odstavení papírenského stroje. Opětovné rozjetí papírenského stroje je náročné a zdlouhavé, čímž spolu se škodami na výrobku a někdy i částech stroje vznikají i provozní ztráty.

Hlavní příčinou jsou tedy poklesy napájecího napětí v síti distributora. Pro jejich sledování, záznam a vyhodnocení je tedy nezbytné trvalé sledování jak poklesů napětí, tak všech parametrů kvality dodávané elektrické energie, aby bylo možno sledovat jak současný stav sítě, tak také trend v rámci času.

7 Systém sledování poklesů napětí a dalších parametrů kvality elektrické energie

Aby bylo možné provádět jakákoli opatření vedoucí ke snížení vlivu poklesů v závodu, je nezbytné zajistit měření úrovně napětí a jeho změn jak na hlavním přívodu el. energie, tak také v rámci vnitřní sítě závodu. Měření je také nutné provádět po delší dobu nebo nejlépe trvale. Z naměřených dat (alespoň za 1 rok, zejména v období největšího výskytu poklesů) lze pak odhalit nejcitlivější technologii instalovanou v závodu. Vzhledem k proaktivnímu přístupu hlavního energetika papírenského závodu byl v minulosti realizován systém měření a záznamu kvality elektrické energie se zaměřením na poklesy napájecího napětí z distribuční sítě 110 kV a také úroveň harmonických napětí a proudů uvnitř závodu.

Ačkoli původní záměr sledování kvality elektrické energie směřoval ke zjišťování úrovně harmonického zkreslení napětí v rámci sítě závodu, systém se velmi rychle zaměřil zejména na záznam poklesů napájecího napětí. Měření stacionárními analyzátory bylo zahájeno v roce 2001 po jejich instalaci na hlavní rozvodně a v roce 2005 byl instalován třetí analyzátor k papírenskému stroji.

Na základě ukládaných dat je pravidelně prováděno vyhodnocení kvality el. energie za celý měsíc, a to sledované parametry dle ČSN EN 50160 v týdenním intervalu a poklesy napájecího napětí v měsíčním intervalu.

7.1 Způsob záznamu kvality elektrické energie

Standardní měření kvality elektrické energie se provádí v souladu s platnou normou ČSN EN 50160 ed.3, a to z důvodu případné konfrontace naměřených dat s distributorem. Dle této normy se měření provádí v rozsahu týdne s opakováním. Interval pro záznam dat jsou závislé od sledovaného parametru. Dle normy ČSN

EN 50160 ed.3 se používají předepsané intervaly ukládání hodnot jednotlivých parametrů kvality napětí, kmitočtu, harmonických i meziharmonických napětí, flikru a ostatních parametrů kvality elektrické energie.

V případě týdenního měření jsou tato naměřená data obrazem chování daného měřeného místa s ohledem na kvalitu elektrické energie. Nicméně pro zajištění měření poklesů napětí v daném měřeném místě je týdenní měřicí interval nedostatečný. Jak bylo dříve zmíněno, poklesy napájecího napětí jsou svým charakterem nahodilý a neperiodický děj. Pokud je tedy třeba provést základní přehled o výskytu poklesů napětí, je třeba zajistit dlouhodobý nebo lépe nepřetržitý záznam.

Pro sledování kvality elektrické energie včetně poklesů napětí je zapotřebí speciální měřicí techniku, jakou je analyzátor kvality elektrické energie. Analyzátory se vyrábějí dvojího typu, a to jako:

1. přenosné, které jsou určeny pro dočasnou instalaci v měřeném místě
2. stacionární, které jsou určeny pro trvalé měření v měřeném místě

V případě, že je požadavek na zajištění detailního zmapování stavu napájecí sítě, je doporučeno kombinovat obě alternativy současně.

7.2 Požadavky na měřicí techniku

Aby byla zajištěna porovnatelnost naměřených dat, je zapotřebí zajistit stejnou, pokud možno nejvyšší třídu přesnosti použitých přístrojů a rovněž synchronizovat čas v přístrojích. Pro účely sledování kvality elektrické energie v papírenském závo-
du jsou použity stacionární analyzátory UP-2210 švédského výrobce UNIPOWER s měřením a třídou přesnosti A podle normy ČSN EN 61000-4-30.

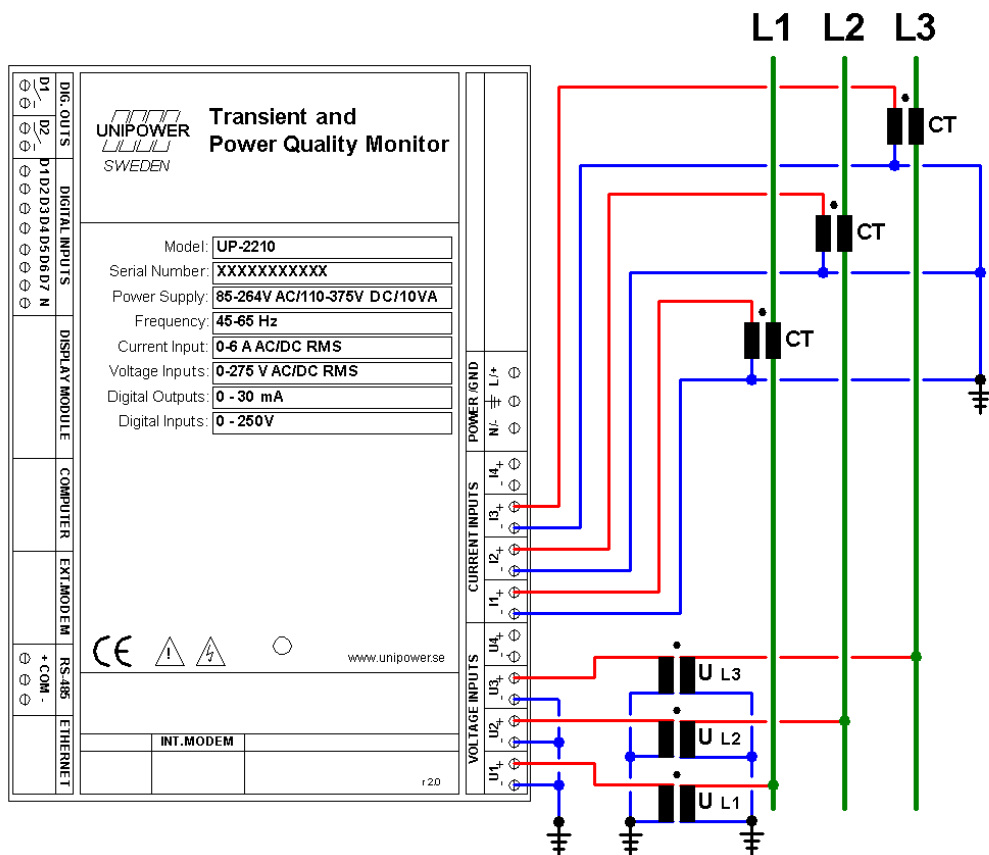
Norma ČSN EN 61000-4-30 definuje požadavky na analyzátory, a to zejména:

- jednotlivé třídy přesnosti analyzátorů (třída A a třída S)
- hardwarové požadavky na vybavení analyzátorů (zejména fázový závěs a anti-alias filtr)
- algoritmy pro výpočet dat
- algoritmy pro agregaci a ukládání dat
- odolnost vůči okolním vlivům

Tato norma v rámci některých měřených parametrů (harmonická napětí a flickr) odkazuje na další normy, kde jsou tyto parametry detailně definovány.

7.3 Stacionární analyzátor

Dva stacionární analyzátory UP-2210 jsou umístěny v rozváděči v hlavní roz-
vodně 110 kV a připojeny přes měřicí transformátory napětí a proudů, které jsou na
jednotlivých fázích dvou hlavních napájecích transformátorech T101 a T102.



Obr. 7.1 Zapojení stacionárního analyzátoru UNIPOWER UP-2210.

Analyzátoři jsou vybaveny galvanicky oddělenými 4 napěťovými a 4 proudovými a jsou postaveny na platformě s vyloučením jakéhokoli operačního systému, který může být potenciální bezpečnostní i spolehlivostní riziko a také bez točivých částí (HDD, ventilátor atd.).

Základní technické parametry:

- 4 napěťové vstupy (0-275 V AC/DC)
- 4 proudové vstupy (0-6 A AC/DC)
- 7 digitálních vstupů / 2 digitální výstupy
- komunikace LAN / RS-485
- paměť 8MB pro 4 týdenní záznam dat

To zajišťuje jejich dlouhodobou životnost a spolehlivost, kterou dokazuje jejich více než 12 letý spolehlivý provoz. Vzhledem k zapojení hlavních transformátorů je použito připojení analyzátoru dle výše uvedeného obrázku 7.1. Aby byly správně vypočítávány hodnoty napětí, proudů a jejich vzájemných hodnot, jsou nastaveny převodové konstanty použitých měřicích transformátorů.



Obr. 7.2 Instalace stacionárních analyzátorů UNIPOWER UP-2210 na rozvodně 110 kV.

Třetí analyzátor je umístěn v rozvodně papírenského stroje a na jeho vstupy jsou přivedena 4 napětí z nejdůležitějších částí stroje.

Hlavní předností stacionárního analyzátoru UP-2210 je, že pracuje jako tzv. černá skříňka s pamětí, která v případě potřeby podává obraz zpětně o proběhlých událostech. Analyzátor umožňuje provádět záznam všech měřených parametrů kvality elektrické energie bez přerušování, a tak získat přehled o dění v daném měřeném místě. Interní paměť má kapacitu pro dlouhodobý záznam, ale z důvodu rych-

lého přehledu o stavu napájecí sítě jsou data z analyzátorů stahována průběžně v intervalu $\frac{1}{2}$ h do centrální databáze.

Časová synchronizace analyzátorů je zajištěna centrálním počítačem, který je připojen k internetu a automaticky provádí vlastní časovou synchronizaci. Centrální počítač pak následně provádí synchronizaci analyzátorů při každém stahování dat.

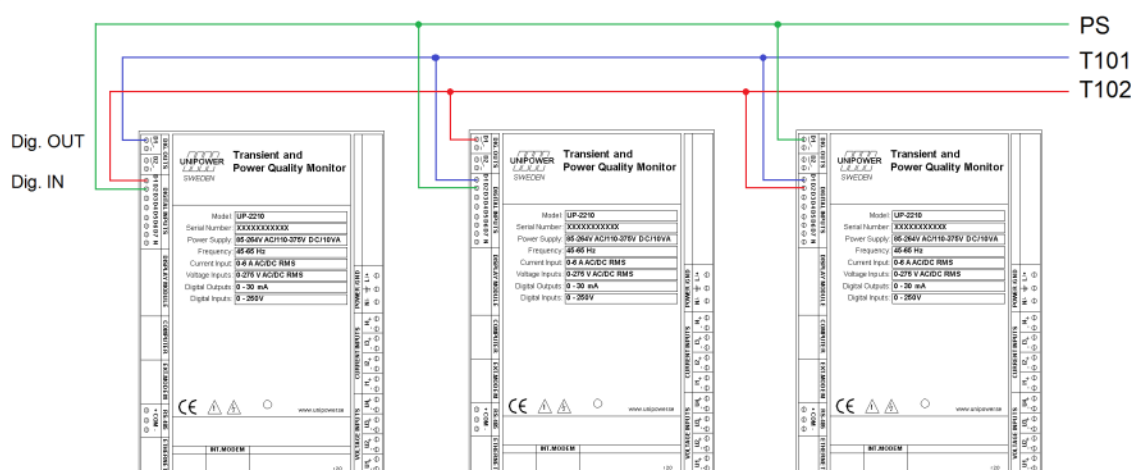
Nastavené parametry pro záznam měřených hodnot jsou dle normy ČSN EN 50160 ed.3, a to jak ukládací interval, tak meze pro záznam poklesů a dočasně zvýšených napětí. Dále jsou nastaveny meze pro záznam přechodných dějů (transientů).

7.4 Logika spouštění záznamu okamžitých hodnot

Jak bylo zmíněno, nastavení analyzátorů je v souladu s normou ČSN EN 50160 ed.3 včetně nastavení záznamu poklesů napájecího napětí s dolní mezí $-10\% U_n$. Toto nastavení běžně vyhovuje pro získání informace v daném místě měření. Pokud ale chceme odhalit úroveň šíření poklesů napětí v rámci vnitřní napájecí sítě, je zapotřebí, aby stejný záznam poklesu (resp. okamžitých hodnot napětí i proudů) byl pořízen i dalšími analyzátorů. Zde ale může vlivem ztlumení přes transformátory a další vlivy (impedance, rezonance atd.) dojít k tomu, že na jiném analyzátoru, tedy na jiném měřeném místě již pokles nemusí dosáhnout meze pro spuštění záznamu ($-10\% U_n$) a záznam by tedy nebyl proveden. To stejné nastane, pokud dojde k události v rámci vnitřní sítě. Pokud chceme zaznamenat vliv této události na distribuční síť, je zapotřebí, aby záznam okamžitých hodnot napětí i proudů byl pořízen analyzátorů na hlavním přívodu do závodu na straně vvn.

Proto byla zvolena speciální logika koordinace záznamu okamžitých hodnot, resp. poklesů napětí. Logika je založena na využití binárních vstupů (celkem možno 7) a výstupů (celkem 2).

System spočívá v tom, že v případě záznamu poklesu napětí na jednom analyzátoru dojde k vyslání binárního signálu z tohoto analyzátoru, a signál je pak přivezen na binární vstup dvou dalších analyzátorů. Toto zapojení ilustruje následující obrázek 7.3.



Obr. 7.3 Logika spuštění záznamu okamžitých hodnot.

Při přijetí signálu z jednoho analyzátoru další dva analyzátory provedou záznam okamžitých hodnot napětí i proudů (resp. poklesu napětí) stejně, jako kdyby došlo k překročení prahové hodnoty na jejich napěťových vstupech. Označení binárních vstupů v programování analyzátorů pak umožňuje snadné rozklíčování původce spuštění záznamu.

Díky tomuto systému je možné kompletně zmapovat úroveň napětí a šíření poklesů resp. přepětí a současně zjistit směr tohoto poklesu, a to na základě logiky rozpoznání směru poklesu z vzájemného průběhu napětí a proudů.

Společné vyhodnocení vstupního napětí z napájecích transformátorů a napěťových úrovní uvnitř závodu pomáhá odhalit vliv poklesu a jeho důsledky.

7.5 Přenosný analyzátor

Jako první přístroje pro zmapování úrovně napětí v rámci podnikové napájecí sítě byly používány starší přenosné analyzátor UNIPOWER. Díky jejich používání byla odhalena slabá místa v rozvodech a vysoká úroveň rušení pocházející zejména od měničů kmitočtu a kompenzací.

Vzhledem k tomu, že tyto přístroje již byly z technického důvodu vyřazeny a nebyly rovněž vybaveny dnes požadovanými funkcemi zahrnující současně sledované parametry kvality elektrické energie, uvažuje se o pořízení nového přenosného analyzátoru, který bude sloužit zejména k týdenním nebo delším měřením v rámci celého závodu, aby byla zjištěna úroveň napájecího napětí a jeho kvalita v daném měřeném místě se všemi parametry kvality el. energie, mezi které patří:

- úroveň napětí a proudů a jeho změny
- úroveň harmonických napětí a proudů
- úroveň harmonických výkonu (směr toku harmonických)
- velikost odebíraného výkonu
- flickr
- rychlé změny napětí (RCV)
- poklesy napětí a dočasné zvýšení napětí
- přechodné děje (transienty)

8 Měření a vyhodnocení kvality elektrické energie v závodu

Vlastní měření kvality elektrické energie včetně záznamu poklesů napětí je zajištěno sestavou skládající se ze tří stacionárních analyzátorů UP-2210 švédského výrobce UNIPOWER. Dva analyzátory jsou umístěny na hlavním přívodu do závodu a připojeny k měřicím obvodům vstupních transformátorů T101 a T102. Třetí analyzátor je umístěn v rozvodně k papírenskému stroji.

Jako doplňující bylo pro tuto práci provedeno týdenní měření vstupních parametrů (třífázové napětí a proudy) na měniči kmitočtu ABB typu ACS 600 připojeného k pohonu čerpadla na odvápnění, a to přenosným analyzátozem Unilyzer 900 od stejného výrobce UNIPOWER.

V následujících kapitolách je popis souboru uskutečněných měření se zaměřením na poklesy napájecí sítě a další vybrané parametry kvality elektrické energie.

Pro účely této práce byly zpracovány poskytnuté naměřené hodnoty za celý rok 2013. Data byla pořízena stacionárními analyzátory, které jsou blíže popsány v kapitole 7. Zaznamenané a uložené hodnoty byly zpracovány v programu Unipower PQ Secure SQL, který umožňuje provádět jak kompletní správu analyzátorů, tak také detailní vyhodnocení všech zaznamenaných dat.

Vzhledem k faktu, že v průběhu roku dochází pravidelně k přepínání hlavních transformátorů T101 a T102 z důvodu rovnoměrného využití, byly duplicitně zaznamenané hodnoty vyříděny.

8.1 Vyhodnocení poklesů napětí na hlavním přívodu 110 kV

Všechny zaznamenané poklesy ve sledovaném období 2013 byly konzultovány s distributorem a dle poskytnutých informací byly způsobeny systémem opětovného zapínání „OZ“. Kompletní údaje o zaznamenaných poklesech napětí byly zaneseny do tabulky obsahující:

- datum výskytu
- čas výskytu
- hloubku v % U_n (zbytkové napětí U_{res}) a dobu trvání na straně 110 kV
- hloubku v % U_n (zbytkové napětí U_{res}) a dobu trvání na straně 0,4 kV
- výpadek papírenského stroje (PS)
- postiženou fází
- příčinu poklesu (pokud je známá)

pořadí	datum	čas	T101 a T102 (110 kV)		PS (0,4 kV)	výpadek PS	postižená fáze			příčina poklesu
			hloubka [%]	doba trvání [ms]	hloubka [%]		L1	L2	L3	
1	6.1	8.54:59	88,44	90,00	90,88	-	1	1	1	OZ - námraza vedení
2	25.1.	8.22:29	69,27	190,00	66,91	1	1	1		OZ - vítr
3	26.1.	7.18:02	74,56	250,00	89,08	1	1		1	OZ - námraza vedení
4	26.1.	11.26:02	69,72	180,00	70,02	1	1		1	4x OZ námraza vedení
5	26.1.	12.01:09	76,59	220,00				1	1	
6	26.1.	12.14:34	76,02	170,00				1	1	
7	26.1.	12.35:59	75,81	440,00				1	1	
8	29.1.	14.51:10	69,46	160,00	65,28	1	1	1		OZ - námraza vedení
9	19.2.	7.3:16	86,42	370,00	89,57	-	1	1		OZ - sněžení - vítr
10	22.2.	8.04:46	89,00	70,00	94,40	-		1		OZ - vítr
11	15.3.	13.03:32	85,24	280,00	86,28	1	1	1	1	3x OZ kalamita, sníh, vítr
12	15.3.	13.05:26	84,81	270,00			1	1	1	
13	15.3.	13.05:58	84,55	280,00			1	1	1	
14	2.4.	5.57:10	69,08	140,00	95,20	-			1	OZ
15	7.4.	0.20:24	86,94	40,00	93,54	-	1			OZ
16	17.4.	5.46:25	33,99	110,00	65,57	1		1		OZ - bouřka
17	21.4.	6.04:32	58,26	140,00	75,90	1	1			OZ - bouřka
18	18.5.	2.32:30	89,32	30,00	-	-				OZ
19	19.5.	4.33:12	88,90	60,00	92,65	-	1			OZ
20	29.5.	13.56:48	88,13	70,00	90,64	-		1		OZ - bouřka
21	9.6.	12.49:29	86,36	280,00	86,54	-	1	1	1	OZ - bouřka
22	10.6.	4.15:07	59,83	140,00	77,75	-		1		OZ - bouřka

Pokračování tabulky na další straně.

pořadí	datum	čas	T101 a T102 (110 kV)		PS (0,4 kV)	výpadek PS	postižená fáze			příčina poklesu
			hloubka [%]	doba trvání [ms]	hloubka [%]		L1	L2	L3	
23	10.6.	13.06:04	58,40	150,00	60,82	1	1	1	1	OZ - bouřka
24	10.6.	13.27:01	56,35	130,00	59,23	1	1	1		OZ - bouřka
25	18.6.	5.08:59	70,83	190,00	82,95	-		1		OZ - bouřka
26	18.6.	18.43:42	88,83	330,00	89,72	-	1	1	1	OZ - bouřka
27	18.6.	22.28:02	79,65	60,00	94,40	-			1	OZ - bouřka
28	23.6.	4.45:45	63,43	210,00	80,56	-		1		OZ - bouřka
29	27.6.	11.38:41	65,10	160,00	80,24	-		1		OZ - bouřka
30	4.7.	5.23:37	71,58	80,00	95,78	-			1	OZ
31	20.7.	4.52:15	54,69	130,00	75,27	-	1			OZ - ptáci
32	25.7.	20.37:28	82,38	160,00	95,97	-			1	OZ - bouřka
33	26.7.	23.42:54	89,88	50,00	95,86	-	1			OZ - bouřka
34	27.7.	1.19:43	74,99	80,00	94,88	-			1	OZ - bouřka
35	31.7.	4.56:19	89,65	70,00	98,10	-			1	OZ - ptáci
36	3.8.	22.26:28	85,39	120,00	89,58	-	1			OZ - bouřka
37	4.8.	19.27:15	87,82	50,00	95,92	-			1	OZ - bouřka
38	9.8.	19.52:13	68,13	100,00	83,24	-	1			OZ - bouřka
39	9.8.	23.46:46	37,39	110,00	65,02	1	1			OZ - bouřka
40	15.8.	1.09:46	77,32	80,00	87,02	-	1			OZ
41	15.8.	5.20:13	42,62	160,00	73,85	1	1			OZ - ptáci
42	17.8.	2.16:30	57,19	100,00	75,93	-	1			OZ
43	22.8.	5.03:59	77,66	80,00	94,92	-			1	OZ
44	12.9.	3.57:23	88,85	60,00	97,20	-			1	OZ
45	14.9.	6.35:38	87,36	60,00	96,89	-			1	OZ - bouřka
46	25.9.	13.04:23	80,73	140,00	82,80	-	1			OZ - bouřka
47	27.9.	6.48:24	74,01	80,00	85,07	-		1		OZ
48	27.9.	8.15:18	74,72	80,00	95,34	-			1	OZ
49	20.12.	11.25:10	89,60	50,00	97,03	-			1	OZ - námraza vedení
50	20.12.	14.48:34	47,09	90,00	49,67	1	1	1	1	OZ - námraza vedení
51	21.12.	9.02:25	88,42	80,00	97,38	-			1	OZ - námraza vedení
52	21.12.	9.33:17	85,68	100,00	83,55	-	1			OZ - námraza vedení
Celkem						12	27	23	26	

Tab. 8.1 Souhrn zaznamenaných poklesů za rok 2013.

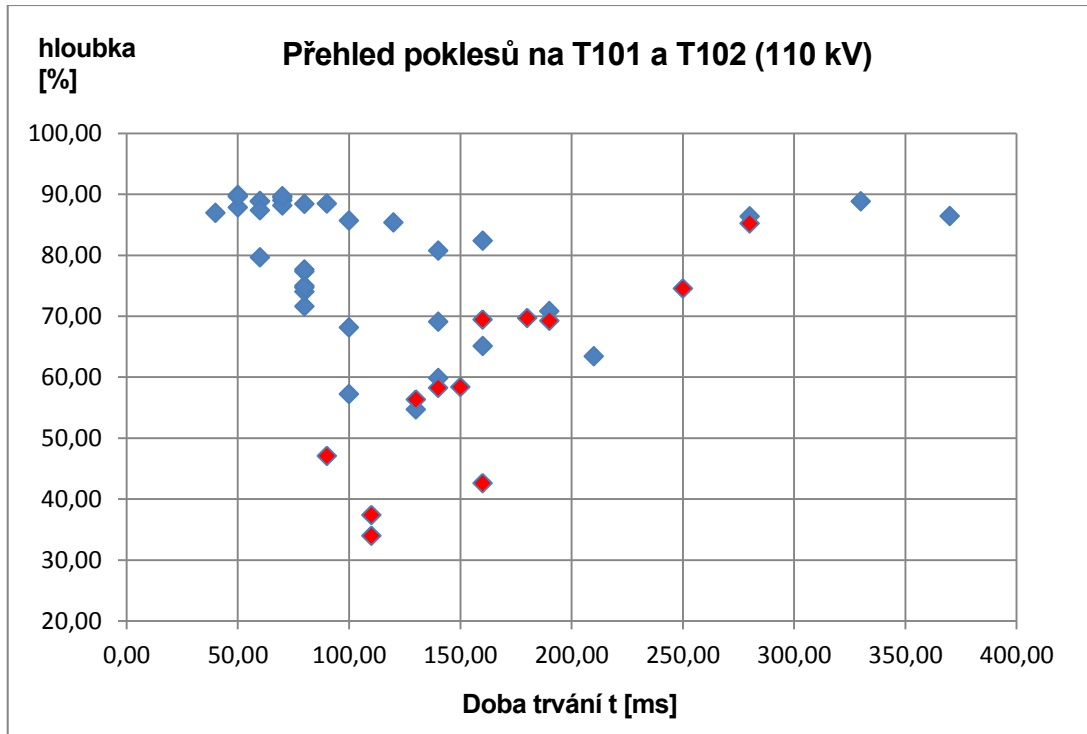
V souladu s požadavky a doporučením na vyhodnocení poklesů jsou uvedeny v případě opakovaných OZ tyto poklesy sdruženě jako jeden (uveden pouze první v rámci 2 s), protože takto vyvolané poklesy jsou způsobeny stejnou událostí.

V tabulce jsou červeně zvýrazněny poklesy napětí, které zapříčinily výpadek papírenského stroje. U poklesů s daty 26. 1. (pořadové číslo 5, 6, 7) a 15. 3. (pořadové číslo 12, 13) došlo k výpadku papírenského stroje při prvním poklesu a další zaznamenané v tabulce již tedy neměly vliv na výpadek nejedoucího papírenského stroje. Proto byly tyto poklesy brány sdruženy do jednoho jako příčina výpadku papírenského stroje.

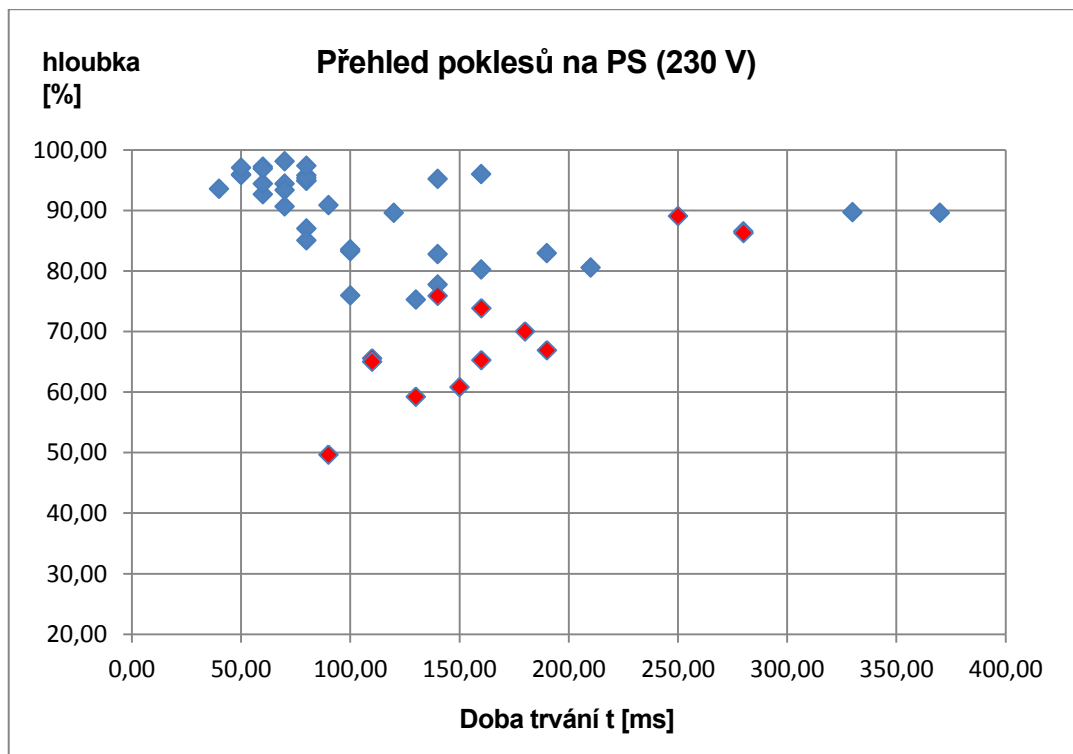
Ačkoli pro zjišťování vlivu distribuční napájecí sítě na výpadky papírenského stroje jsou důležité hodnoty poklesů zaznamenaných na přívodu do závodu (hlavní transformátory T101 a T102), podružné měření a porovnání úrovní poklesů z analyzátoru u papírenského stroje poskytuje cennou informaci, jak se pokles z distribuční sítě projevil zde.

Dalším důležitým kritériem je počet postižených fází. Z tabulky vyplývá, že v případě jednopólového OZ a tedy postižení jen jedné fáze je možné překlenout poklesy s větší hloubkou i dobou trvání, než u poklesu napětí na více fázích.

Data v tabulce lze dále vyjádřit v rozložení četnosti vztažené na oba parametry poklesu napětí, tedy jeho hloubku a dobu trvání. Následující grafy zobrazují poklesy napětí. V grafech nejsou zobrazeny poklesy pod pořadovým číslem 5, 6, 7 a 12, 13, protože jejich výskyt již neovlivnil provoz papírenského stroje, protože byl ve výpadku po předchozím poklesu 4, resp. 11.



Graf 8.1 Přehled poklesů napětí zaznamenaných v rozvodně 110 kV.



Graf 8.2 Přehled poklesů napětí zaznamenaných v rozvodně papírenského stroje.

8.2 Klasifikace poklesů napětí podle ČSN EN 50160

Ze zaznamenaných hodnot lze dále provést klasifikaci četnosti poklesů napětí v rámci hloubky a doby trvání. Tato klasifikace je tabulkovým přepisem předchozího grafu s poklesy na straně 110 kV.

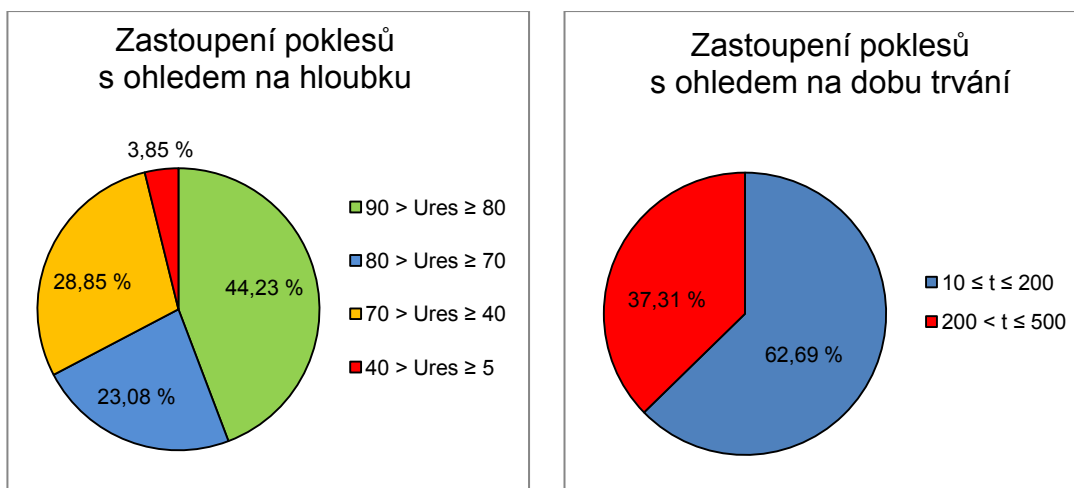
V tabulce jsou zaneseny jednotlivé poklesy v souladu s normou ČSN EN 50160 ed.3, která je v současnosti platná.

Zbytkové napětí U_{res} [% U_c]	Doba trvání t [ms]					Celkem
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1\,000$	$1\,000 < t \leq 5\,000$	$5\,000 < t \leq 60\,000$	
$90 > U_{res} \geq 80$	17	6	0	0	0	23
$80 > U_{res} \geq 70$	9	3	0	0	0	12
$70 > U_{res} \geq 40$	14	1	0	0	0	15
$40 > U_{res} \geq 5$	2	0	0	0	0	2
$5 > U_{res}$	0	0	0	0	0	0
Celkem	42	10	0	0	0	52

Tab. 8.2 Klasifikace zaznamenaných poklesů podle ČSN EN 50160 ed.3.

Celkové souhrny označeny barevně nejsou normou vyžadovány, ale zpřehledňují celkové počty výskytu poklesů. Vzhledem k tomu, že v současné době norma ČSN EN 50160 ed.3 nijak nedefinuje maximální přípustnou hodnotu poklesů jak z pohledu četnosti, tak i hloubky a doby trvání, jedná se spíše o přehled, který dle současného vývoje v rámci normy je předmětem dalšího zkoumání.

Následující grafy zobrazují stejné údaje, ale jsou procentuálním vyjádřením četnosti, hloubky a doby trvání.



Graf 8.3 Procentuální vyjádření výskytu poklesu napětí podle ČSN EN 50160 ed.3.

Ze zaznamenaných a zpracovaných údajů lze pak stanovit, že nejčastější typ poklesu napájecího napětí je do hloubky 80 % U_n a doby trvání do 200 ms.

Důležitým parametrem je také vlastní příčina poklesu, protože bez vědomosti tohoto parametru nelze zcela stanovit nápravná opatření. Na základě konzultace s distributorem byly objasněny téměř všechny poklesy napájecího napětí.

Hlavní příčinou byly cykly OZ. Ty byly vyvolány poruchami na vedení způsobených atmosférickými ději (bouřky) a také vlivem ročního období (námrazy na vedení v zimě a ptáci na jaře a na podzim). Z těchto zjištěných skutečností nelze dané události nijak ovlivnit, vyjma dokončení úprav vedení vn zamezující dosednutí většího ptactva na sloupy vedení a možného způsobení zkratu křídly (3x nahlášeno).

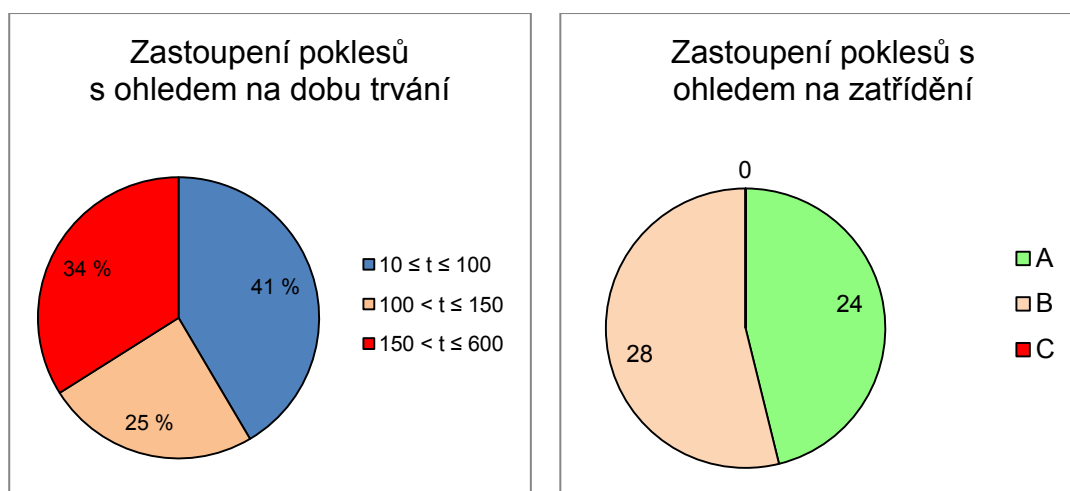
8.3 Příklad klasifikace poklesů napětí podle EIFS 2013:1

Jak bylo v kapitole 4.9 uvedeno, existují i různé lokální národní normy platné v dané zemi. Pokud bychom zanesli zaznamenané poklesy do tabulky klasifikace podle švédské normy EIFS 2013:1 (viz kapitola 4.9), dojde z důvodu zařídění podle rozdílných časů k jiným poměrům těchto poklesů. Modelový příklad ukazuje následující tabulka.

Zbytkové napětí U_{res} [% U_c]	Doba trvání t [ms]						
	$10 \leq t \leq 100$	$100 < t \leq 150$	$150 < t \leq 600$	$600 < t \leq 5\,000$	$5\,000 < t \leq 60\,000$		
$90 > U_{res} \geq 80$	24 A		28 B			0 C	
$80 > U_{res} \geq 70$							
$70 > U_{res} \geq 40$							
$40 > U_{res} \geq 5$							
$5 > U_{res}$							

Tab. 8.3 Klasifikace zaznamenaných poklesů podle EIFS 2013:1.

Vzhledem k rozdělení uvedených oblastí je vhodné vyjádření i v procentuálním výskytu vztáženého na dobu trvání a také zařídění do dané oblasti (A, B, C).



Graf 8.4 Procentuální vyjádření výskytu poklesu napětí podle EIFS 2013:1.

Zde pak převládají poklesy napětí v oblasti B (růžová) nad oblastí A (zelená), která dle této normy je předmětem diskuze a hledání řešení ve spolupráci mezi distributorem a odběratelem elektrické energie. Vzhledem k jasnému stanovení přípustných mezí je zde mnohem snadnější cesta k nalezení řešení či dohody mezi oběma stranami. Dřívější zkušenosti i z ČR ukazují i takové případy, kdy k dohodám či kompenzacím za způsobené poklesy napájecího napětí a tedy výrobním ztrátám odběratele ze strany distributora docházelo.

8.4 Stanovení citlivosti papírenského stroje na poklesy napětí

Z uvedených hodnot v souhrnné tabulce vyplývá, že téměř ve všech případech je v rozvodně papírenského stroje zaznamenán pokles s nižší hloubkou, než je zaznamenán na hlavních transformátorech 110 kV. Tato informace pak nabízí možnost hledání imunity napájecího systému papírenského stroje právě s porovnáním těchto údajů.

Pokud bychom v tabulce klasifikace dle obou norem zvýraznily ty poklesy, které měly vliv na odstavení papírenského stroje, dostávají tyto klasifikace význam pro stanovení citlivosti papírenského stroje na poklesy napájecího napětí.

V následujících tabulkách jsou červeně zvýrazněny poklesy, které způsobily výpadek papírenského stroje a také celkový počet poklesů v dané buňce, resp. oblasti.

Zbytkové napětí U_{res} [% U_c]	Doba trvání t [ms]					Celkem
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1\ 000$	$1\ 000 < t \leq 5\ 000$	$5\ 000 < t \leq 60\ 000$	
$90 > U_{res} \geq 80$	17	6 (1)	0	0	0	23
$80 > U_{res} \geq 70$	9	3 (1)	0	0	0	12
$70 > U_{res} \geq 40$	14 (8)	1	0	0	0	15
$40 > U_{res} \geq 5$	2 (2)	0	0	0	0	2
$5 > U_{res}$	0	0	0	0	0	0
Celkem	42	10	0	0	0	52

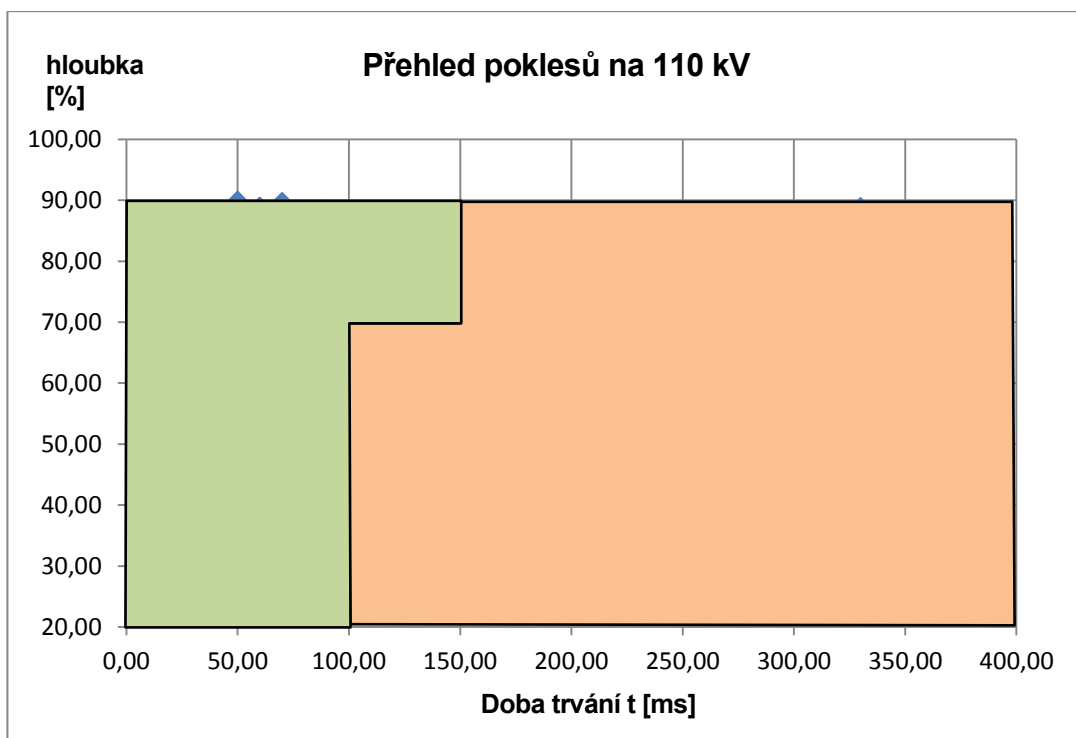
Tab. 8.4 Klasifikace zaznamenaných poklesů podle ČSN EN50160 ed.3 se zvýrazněním počtu výpadků papírenského stroje.

Zbytkové napětí U_{res} [% U_c]	Doba trvání t [ms]					
	$10 \leq t \leq 100$	$100 < t \leq 150$	$150 < t \leq 600$	$600 < t \leq 5\ 000$	$5\ 000 < t \leq 60\ 000$	
$90 > U_{res} \geq 80$	24 (1) A		28 (11) B			0 C
$80 > U_{res} \geq 70$						
$70 > U_{res} \geq 40$	A		B			C
$40 > U_{res} \geq 5$						
$5 > U_{res}$	A		B			C

Tab. 8.5 Klasifikace zaznamenaných poklesů podle EIFS 2013:1 se zvýrazněním počtu výpadků papírenského stroje.

Na základě toho pak vyplývá skutečnost, že v rámci klasifikace podle EIFS 2013:1 pouze jeden pokles napětí v oblasti A, měl za následek výpadek papírenského stroje, a to ale z důvodu hloubky 47 % a doby trvání 90 ms. Ostatní výpadky papírenského stroje byly způsobeny poklesy v oblasti B.

Pokud prolne graf 8.1 vyjadřující četnost, hloubku a dobu trvání poklesů zaznamenaných na hlavním přívodu 110 kV s tabulkou klasifikace podle EIFS 2013:1, lze přehledně zobrazit pravděpodobné meze (odpovídající oblasti B) pro stanovení citlivosti papírenského stroje v rámci sledovaného období.

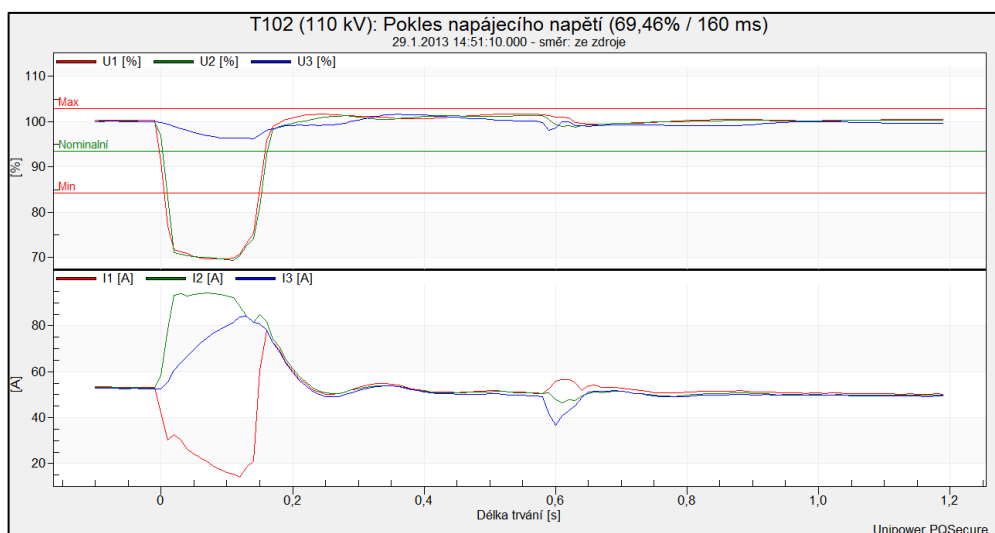


Graf 8.5 Přehled poklesů napětí na hlavním přívodu 110 kV
zaříděných dle EIFS 2013:1.

Dalším možným ukazatelem citlivosti papírenského stroje na poklesy napětí je poměr počtu výpadků stroje k počtu poklesů napájecího napětí. Tato čísla by šla meziročně porovnávat, ale vzhledem k faktu, že poklesy nejsou vždy stejné a liší se počtem postižených fází, hloubkou a dobou trvání, bylo by nezbytné provést v rámci několikaletého úseku porovnání sobě podobných poklesů svým charakterem a reakcí papírenského stroje na ně. Proto je pro nalezení přesných mezí citlivosti papírenského stroje na poklesy napětí nutné provést porovnání většího množství dat v rámci delšího období a vzít v potaz skutečnost, zda byl pokles napětí na jedné nebo více fázích.

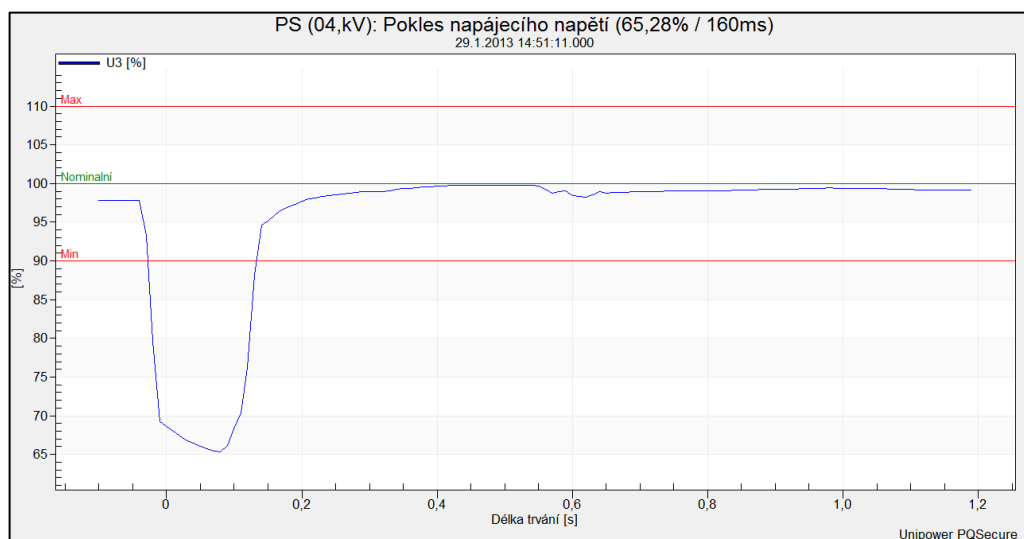
8.5 Grafické vyhodnocení průběhu vybraného poklesu napětí

Následující graf zobrazuje příklad vybraného poklesu napětí z 29. 1. 2013 včetně průběhů efektivních hodnot napětí ($U_{\text{rms}(1/2)}$) a proudů ($I_{\text{rms}(1/2)}$).



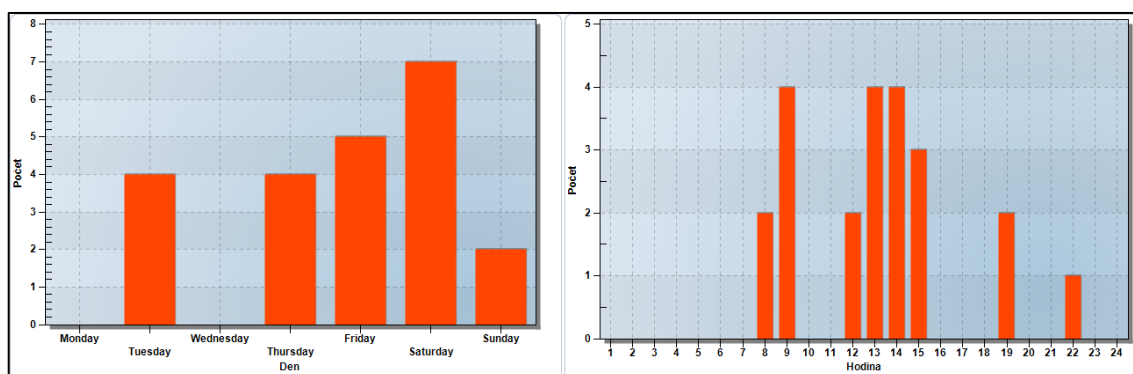
Obr. 8.1 Rozbor poklesu napětí na hlavní rozvodně 110 kV.

Stejný pokles napětí byl zaznamenán analyzátozem také v rozvodně pro papírenský stroj a jeho průběh koresponduje s poklesem na hlavním přívodu 110 kV.



Obr. 8.2 Rozbor stejného poklesu napětí v rozvodně papírenského stroje (0,4 kV).

V případě, že by poklesy byly zapříčiněny jinými vlivy, než atmosférickými, lze efektivně zohlednit výskyt poklesů vůči dni a hodině, a tak odhalit možnou příčinu (např. zapínání velkých spotřebičů atd.).



Obr. 8.3 Četnost poklesů v rámci výskytu (den / hodina).

Vyhodnocení četnosti poklesu napětí či přechodného děje (transientů) s ohledem na den a čas výskytu je také velmi užitečné při vyhledávání zdrojů těchto událostí v rámci vlastní podnikové sítě.

8.6 Statistické vyhodnocení dalších parametrů kvality el. energie

Ačkoli poklesy napájecího napětí mají zcela zásadní vliv na provoz papírenského stroje, pro stanovení kvality dodávané elektrické energie ze strany distributora či v rámci podnikové sítě je zapotřebí provést měření dalších parametrů kvality elektrické energie. Na naměřených hodnotách byla provedena detailní analýza a bylo zjištěno, že při běžném provozu (tedy bez výskytu poklesů napětí) jsou veškeré požadované parametry kvality el. energie v tolerancích daných normou ČSN EN 50160 ed.3. V následujících kapitolách je provedeno vyhodnocení vybraného týdenního intervalu v souladu s požadavky normou. Týdenní interval byl zvolen v období 4. - 11. 3. 2013.

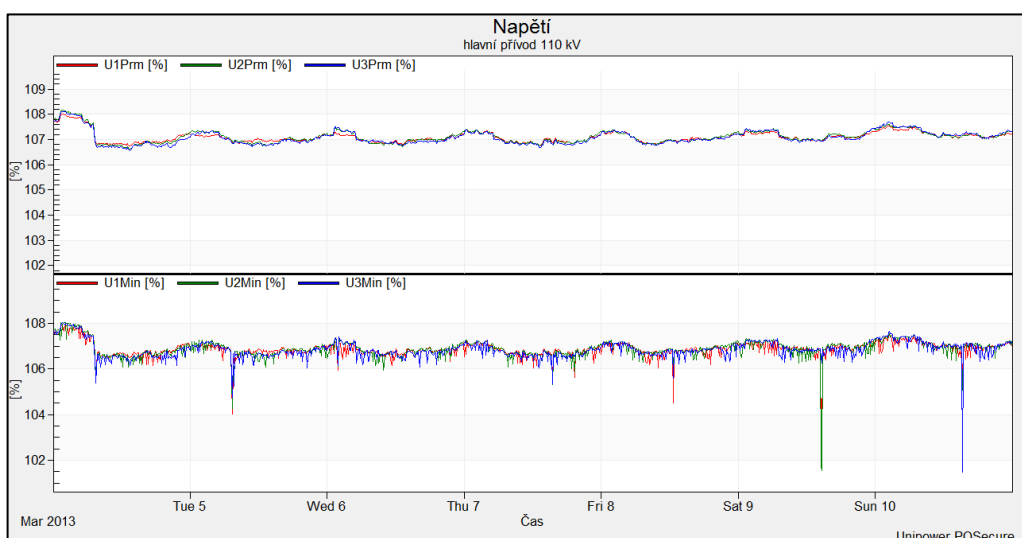
8.6.1. Odchyly napájecího napětí

Pro vvn nejsou hodnoty pro odchyly napájecího napětí v normě ČSN EN 50160 ed.3 stanoveny a jsou na dohodě mezi distributorem a odběratelem. Následující tabulka zobrazuje statistické hodnoty průměrných 10minutových hodnot napětí v % k nominálnímu / dohodnutému napětí.

Měřený kanál	Max	99,5 %	95 %	5 %	0,5 %	Min
U1Prm [%]	108,00	107,95	107,46	106,83	106,76	106,74
U2Prm [%]	108,16	108,11	107,53	106,79	106,67	106,58
U3Prm [%]	108,11	108,07	107,55	106,74	106,63	106,56

Tab. 8.6 Vyhodnocení napájecího napětí.

Velmi vhodné je také provést rozbor hodnot v grafu. V případě napájecího napětí je vhodné sledovat nejen jeho průměrné hodnoty, ale také minimální hodnoty napětí 10minutových vzorků. V případě záznamu poklesu napětí jsou tyto hodnoty rovny efektivní hodnotě půlperrody napětí $U_{rms(1/2)}$, tedy hloubce poklesu.



Obr. 8.4 Grafický rozbor napětí 110 kV.

8.6.2. Kmitočet sítě

Jmenovitý kmitočet napájecího napětí je 50 Hz je za normálních provozních podmínek u systémů se synchronním připojením k propojenému systému 50 Hz ± 1 % (tj. 49,5 Hz...50,5 Hz) během 99,5 % roku, 50 Hz +4 %/-6 % (tj. 47 Hz...52 Hz) během 100 % času.

	Max	99,5 %	95 %	5%	0,5 %	Min
F Prm [Hz]	50,060	50,050	50,030	49,975	49,950	49,945

Tab. 8.7 Vyhodnocení kmitočtu sítě.

8.6.3. Míra vjemu flikru

Za normálních provozních podmínek musí být po 95 % času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá míra vjemu flikru $Plt \leq 1$.

	Max	99,5 %	95 %	5 %	0,5 %	Min
PLT1	0,6090	0,1900	0,1660	0,0490	0,0390	0,0390
PLT2	0,7900	0,2440	0,1590	0,0450	0,0330	0,0330
PLT3	0,4370	0,2460	0,1600	0,0420	0,0370	0,0370

Tab. 8.8 Vyhodnocení flikru.

8.6.4. Nesymetrie napájecího napětí

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky.

	Max	99,5 %	95 %	5 %	0,5 %	Min
U Nes [%]	0,1850	0,1700	0,1450	0,0550	0,0400	0,0350

Tab. 8.9 Vyhodnocení nesymetrie napětí.

8.6.5. Harmonická napětí

Za normálních provozních podmínek má být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot každého jednotlivého harmonického napětí menší nebo rovno hodnotě uvedené v tabulce 7 v ČSN EN 50160 ed.3.

	Max	99,5 %	95 %	5 %	0,5 %	Min
HU1_03: 150Hz Prm [%]	0,3147	0,2932	0,2729	0,1256	0,1048	0,1047
HU1_05: 250Hz Prm [%]	0,5447	0,5235	0,4406	0,0628	0,0418	0,0209
HU1_07: 350Hz Prm [%]	0,6284	0,6076	0,5456	0,0420	0,0210	0
HU1_09: 450Hz Prm [%]	0,0420	0,0420	0,0419	0	0	0
HU1_11: 550Hz Prm [%]	0,1888	0,1470	0,1259	0,0210	0,0209	0
HU1_13: 650Hz Prm [%]	0,1888	0,1670	0,1462	0,0210	0,0209	0,0209
HU1_21: 1050Hz Prm [%]	0,0210	0,0209	0	0	0	0
HU2_03: 150Hz Prm [%]	0,4387	0,4176	0,3946	0,1890	0,1680	0,1676
HU2_05: 250Hz Prm [%]	0,5869	0,5863	0,4378	0,0627	0,0416	0,0209
HU2_07: 350Hz Prm [%]	0,6700	0,6281	0,5464	0,0630	0,0208	0,0208
HU2_09: 450Hz Prm [%]	0,0630	0,0420	0,0210	0	0	0
HU2_11: 550Hz Prm [%]	0,1470	0,1261	0,1051	0,0210	0,0209	0
HU2_13: 650Hz Prm [%]	0,1678	0,1466	0,1257	0,0415	0,0209	0,0209
HU2_15: 750Hz Prm [%]	0,0420	0,0211	0,0210	0	0	0
HU2_21: 1050Hz Prm [%]	0,0211	0,0210	0,0210	0	0	0
HU3_03: 150Hz Prm [%]	0,2517	0,2505	0,2298	0,1459	0,1258	0,1257
HU3_05: 250Hz Prm [%]	0,5039	0,4621	0,4197	0,0419	0,0208	0,0208
HU3_07: 350Hz Prm [%]	0,6910	0,6697	0,5872	0,0841	0,0419	0,0210
HU3_09: 450Hz Prm [%]	0,0420	0,0210	0,0210	0	0	0
HU3_11: 550Hz Prm [%]	0,1679	0,1470	0,1260	0,0210	0,0209	0
HU3_13: 650Hz Prm [%]	0,1888	0,1672	0,1462	0,0419	0,0210	0
HU3_15: 750Hz Prm [%]	0,0210	0,0210	0	0	0	0
HU3_21: 1050Hz Prm [%]	0,0210	0,0210	0	0	0	0

Tab. 8.10 Vyhodnocení harmonických napětí.

Harmonická napětí také můžeme vyjádřit jako celkový činitel harmonického zkreslení THD.

	Max	99,5 %	95 %	5 %	0,5 %	Min
THDF U1 Prm [%]	0,8600	0,8400	0,7250	0,3900	0,3450	0,3350
THDF U2 Prm [%]	0,9550	0,9300	0,7800	0,4400	0,4000	0,3700
THDF U3 Prm [%]	0,9200	0,8500	0,7700	0,3350	0,2650	0,2550

Tab. 8.11 Vyhodnocení celkového harmonického zkreslení.

Ve sledovaném období byly všechny zaznamenané hodnoty v tolerancích předepsaných normou ČSN EN 50160 ed.3.

8.7 Vyhodnocení měření na měniči kmitočtu

V rámci vyhodnocení kvality bylo provedeno rovněž týdenní měření uvnitř podnikové sítě na vybraném měniči kmitočtu ABB typu ACS 600, který ovládá pohon čerpadla v přípravně látky s výkonem 30 kW. Měření bylo provedeno přenosným analyzátelem Unilyzer U900 firmy Unipower a vyhodnocení přesně týdenního vzorku dat bylo provedeno rovněž v programu PQ Secure.

Vzhledem k provozování izolované sítě v rámci závodu bylo měřeno vstupní sdružené napětí 690 V a příslušné fázové proudy na všech třech fázích. Z týdenního měření 1008 vzorků bylo rovněž provedeno statistické zpracování dat podle ČSN EN 50160 ed.3.



Obr. 8.5 Měření vstupních veličin měniče kmitočtu přenosným analyzátelem.

Při tomto týdenním měření nedošlo k žádným poklesům napětí, a tedy z měření nebyly vyloučeny žádné hodnoty pro statistické zpracování, které by mohly být poklesem napětí ovlivněny.

Následující tabulka zobrazuje naměřené a zpracované hodnoty.

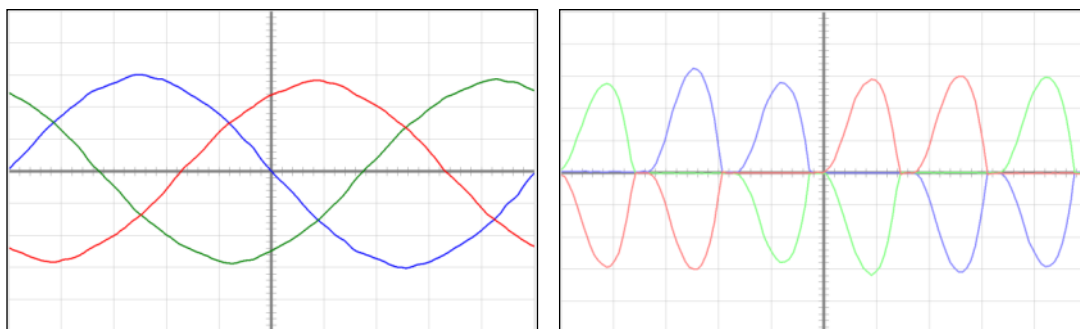
veličina / hodnota	Max	99,5 %	95 %	5 %	0,5 %	Min
napětí						
U12 Prm [V]	717,52	716,61	704,16	688,58	685,51	683,85
U23 Prm [V]	716,74	715,86	705,30	689,69	686,74	685,16
U31 Prm [V]	715,58	714,54	703,43	688,29	685,24	683,50
kmitočet						
F Prm [Hz]	50,064	50,048	50,030	49,978	49,951	49,936
nesymetrie						
U Nes [%]	0,2656	0,2625	0,2406	0,0938	0,0781	0,0563
flikr						
PLT1	0,4580	0,4535	0,3529	0,1501	0,1085	0,1085
PLT2	0,4632	0,4539	0,3494	0,1505	0,1112	0,1112
PLT3	0,4640	0,4567	0,3703	0,1529	0,1100	0,1100
celkové harmonické zkreslení						
THDF U1 Prm [%]	1,9950	1,9650	1,8850	1,5700	0,7450	0,6300
THDF U2 Prm [%]	2,2650	2,0300	1,9300	1,5800	0,7300	0,6450
THDF U3 Prm [%]	1,9050	1,8600	1,7550	1,4550	0,6700	0,5600
harmonická napětí						
HU1_03: 150Hz Prm [%]	0,2188	0,2107	0,1954	0,1351	0,1224	0,1071
HU1_05: 250Hz Prm [%]	1,5791	1,5372	1,4955	1,2051	0,5465	0,4609
HU1_07: 350Hz Prm [%]	1,0428	0,9964	0,9320	0,6848	0,1925	0,1106
HU2_03: 150Hz Prm [%]	0,3716	0,3609	0,3474	0,2685	0,2481	0,2379
HU2_05: 250Hz Prm [%]	1,4919	1,4561	1,4127	1,0717	0,4918	0,3761
HU2_07: 350Hz Prm [%]	1,0900	1,0362	0,9371	0,6535	0,1539	0,1053
HU3_03: 150Hz Prm [%]	0,2079	0,1983	0,1860	0,1371	0,1259	0,1198
HU3_05: 250Hz Prm [%]	1,3464	1,3000	1,2603	1,0179	0,4533	0,3684
HU3_07: 350Hz Prm [%]	1,0833	1,0445	0,9825	0,7128	0,2047	0,1491

Tab. 8.12 Vyhodnocení týdenního měření kvality elektrické energie.

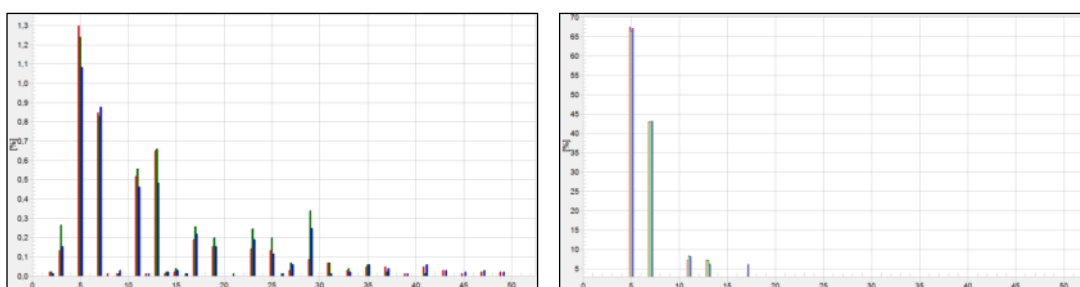
Všechny naměřené hodnoty byly v toleranci s normou ČSN EN 50160 ed.3 (zvýrazněné hodnoty). Z měření lze tedy konstatovat, že samotný měnič frekvence v daném měřeném místě zásadně kvalitu elektrické energie neovlivňuje. Jiná situace by ale jistě nastala v případě instalace větší skupiny měničů.

Při měření byly také zaznamenány okamžité průběhy napětí a proudů a harmonického zkreslení.

Na následujících obrázcích jsou průběhy zobrazující harmonické zkreslení napětí a zejména proudů, při nesinusovém odběru vstupního usměrňovače měniče.

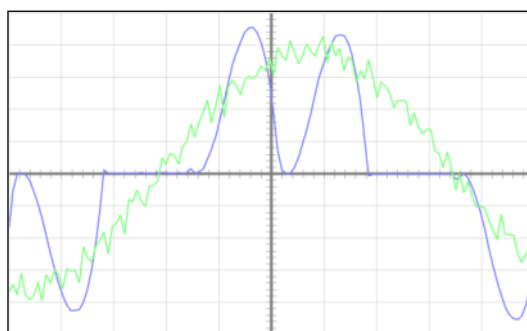


Obr. 8.6 Průběhy napětí (vlevo) a proudů (vpravo).



Obr. 8.7 Harmonická napětí (vlevo) a proudů (vpravo).

V rámci měření byl také porovnán průběh vstupního a výstupního proudu. Následující obrázek zobrazuje průběh křivky vstupního proudu (modrá) i výstupního proudu (zelená) měniče kmitočtu. Na průbězích je patrný rozdíl v jejich kmitočtu (posunutí průchodu nulou v rámci $\frac{1}{2}$ periody) i tvaru.



Obr. 8.8 Porovnání průběhů odebíraného proudu (modrý) a generovaného s nižším kmitočtem (zelený).

9 Opatření pro zvýšení spolehlivosti provozu

Důvody ke snížení citlivosti papírenského stroje na poklesy napájecího napětí a další rušivé vlivy, které mají za následek jeho výpadek a také případné škody na materiálu, jsou jak technické, tak i ekonomické.

Z hlediska technického se jedná o zajištění dlouhodobého a spolehlivého provozu všech částí stroje, které vyžadují minimalizaci přechodných stavů, zejména omezení proudových i mechanických rázů motorů, převodovek a další připojené technologie.

Z hlediska ekonomického se jedná o snížení provozních i výrobních ztrát složených jak z ceny znehodnoceného materiálu, tak i z ceny za prošlý zisk z důvodu výpadku stroje.

Díky nepřetržitému sledování kvality elektrické energie jak ze sítě distributora, tak i z vlastní sítě a současnému proaktivnímu přístupu odpovědných pracovníků závodu, došlo v průběhu posledních let k několika zásadním úpravám ve vlastní napájecí síti. Změny se týkaly v zajištění omezení šíření vyšších harmonických napětí (zejména páté harmonické) způsobujících rezonanční jevy ve vnitřní síti, dále pak minimalizaci poruch vzniklé provozem starších zařízení, což rovněž vedlo ke snížení výpadků papírenského stroje.

9.1 Kompenzace s filtrací harmonických napětí

Hlavní úpravy byly provedeny zejména na oddělení napájecích obvodů řídicího systému papírenského stroje, a to z důvodu zamezení vlivu vlastního rušení vyššími harmonickými napětími v rámci podnikové napájecí sítě. Toto rušení způsobovaly výkonové měniče kmitočtu a zapříčinily jak špatnou funkci řídicího systému, nesprávného vybavení jističů, rezonancí atd. Z tohoto důvodu došlo také k instalaci nn kompenzace s filtrem na pátou harmonickou.

Tato úprava přinesla mnohá zlepšení funkčnosti, ale neřešila výpadky papírenského stroje při poklesu napájecího napětí.

9.2 Zálohované napájení důležitých zařízení

Dalším krokem tedy bylo celkové zálohování napájecího napětí řídicího systému přes zdroj nepřerušeno napájení UPS. Výkonné třífázové systémy UPS jsou použity pro zajištění nepřerušeno napájení řídicího systému a důležitých RIO rozváděčů se sběrem signálů od pohonů a další technologie ovládací elektroniky. V případě poklesu napětí tedy nedochází k odstavení papírenského stroje vinou nesprávné funkce z důvodu ztráty napájecího napětí řídicích a kontrolních prvků. Při neřízeném odstavení papírenského stroje dochází často k znehodnocení vyráběného materiálu a mnohdy také k poškození válců. Úprava napájení řídicího systému spočívající v instalaci UPS systému rovněž umožňuje řízené odstavení stroje při kompletním výpadku napájení, aby došlo k minimálním ztrátám na materiálu.

V případě přerušení napětí po dobu delší jak 10 sekund dojde k řízenému odpojení stykačů, aby se zabránilo samovolnému rozjetí strojů po jeho výpadku.

Vzhledem k tomu, že při poklesu napájecího napětí dále docházelo k odstavení některých důležitých technologických procesů pro papírenský stroj, je UPS využívána na zálohování vybraných procesů, komunikačních modulů, PC a IT technologií s napájecím napětím 230 V. Díky tomu nedochází v případě poklesu napětí k jejich okamžitému odstavení a tedy i k odstavení papírenského stroje z důvodu ztráty řídicích a kontrolních signálů do řídicího systému.

Další možností je pak doplnění UPS pro vlastní měniče kmitočtu, které by v případě poklesu napájecího napětí neomezily svou funkci. Vzhledem k dnešní nabídce průmyslových UPS s výkony až 1250 kVA (např. AEG řady Protect Blue) [15] lze využít i toto řešení. Zde je však nutné zohlednit finanční náročnost investice a také pravidelný servis UPS systémů.

9.3 Úprava nastavení měničů kmitočtu

Po zajištění řídicích obvodů měniče zálohovaným napájením UPS, zůstává závislost správné činnosti měniče na poklesu napětí. Použité měniče typu ACS 600 mají možnost nastavení prahové hodnoty podpětí, při kterém dojde k vypnutí měniče. Hodnotu lze nastavit až na hodnotu 65 % U_n , což by v rámci provedeného vyhodnocení poklesů umožnilo překlenutí měničů zhruba v 50 % zaznamenaných poklesů, které byly nad tuto prahovou hodnotu ve sledovaném období. Zde je však zapotřebí zohlednit proudové a momentové rázy v případě opětovného zapnutí napájecího napětí.

9.4 Měniče kmitočtu s přímým řízením DTC

Vzhledem k tomu, že přední výrobci měničů kmitočtu si uvědomují citlivost těchto zařízení na pokles napájecího napětí i jejich vliv generování vyšších harmonických, existují dnes již typy měničů kmitočtu, které nabízejí řešení problémů. V rámci filtrace vyšších harmonických lze pro výkonové měniče použít více pulsní vstupní usměrňovače nebo měniče s usměrňovačem na bázi aktivních prvků IGBT. Dalším doplněním je zařazení tlumivky ve stejnosměrném meziobvodu nebo použití měničů s filtry.

Pro řešení překlenutí poklesu či krátkodobého výpadku napájení je možné využít měniče s přímým řízením DTC (Direct Torque Control). Oproti jiným typům řízení (vektorové nebo skalární) tyto měniče disponují [14]:

- rychlejším a přesnějším řízením momentu
- okamžitou reakcí na změnu zatížení
- tichým chodem
- efektivním řízením momentu motoru už od nulových otáček
- potlačení momentových rázů
- a také možnost překlenutí krátkodobých poklesů napájení.

U tohoto typu měniče se využívá momentu kinetické energie připojené rotující zátěže. Toho lze využít u velkých rotačních válců se setrvačností, nikoli však u čer-

padel, které jsou nezbytnou součástí papírenského stroje. Zde ale krátkodobý výpadek není tak zásadní, jako u válců.

Na trhu se měniči s DTC řízením zabývá renomovaný výrobce ABB a jejich nová řada měničů ASC 800 nabízí velké uplatnění i v papírenském průmyslu. Měníče s přímým řízením momentu DTC jsou v současné době dostupné v mnoha výkonových variantách a je tedy možné jejich využití v mnoha částech papírenského stroje.

9.5 Vlastní zdroj napájení

Vzhledem k tomu, že je pro výrobu papíru nezbytné použití technologických procesů založených na teplotě a její regulaci, je součástí papírenského závodu také kotelna na výrobu páry. Pára se využívá zejména k vyhřívání válců v sušící části papírenského stroje, a to s ohledem na druh papíru a také dalších technologických procesech. V minulosti byla původní uhelná kotelna nahrazena za moderní plynovou kotelnou.

Současná kapacita generátoru páry i prostorová zástavba kotelny umožňuje instalaci dodatečné parní turbíny s alternátorem. Vzhledem k tomu, že souhrnný příkon papírenského stroje je do 5,5 MW, bylo by možné kompletně pokrýt spotřebu nejen tohoto stroje, ale i další části závodu. Prakticky by to znamenalo možnost vybudování a provoz vlastní ostrovní sítě. Tím by se kompletně zamezilo vlivu distribuční sítě na provoz papírenského stroje.

Vyjma zcela pozitivního vlivu na nepřerušovaný provoz papírenského stroje by toto řešení vyžadovalo investiční náklady na pořízení parní turbíny s alternátorem, vyčlenění volné kapacity rozvodů v rozvodně 6 kV pro oddělenou ostrovní napájecí síť a také zajištění pravidelné údržby a revizí, které jsou z pohledu dlouhodobého provozu také finančně náročné. Zde je zapotřebí provést analýzu nákladů na realizaci a údržbu.

9.6 Pořízení přenosného analyzátoru

Jako první přístroje pro zmapování úrovně napětí a rušení v rámci vnitřní napájecí sítě byly používány starší přenosné analyzátory UNIPOWER, které umožnily odhalit slabá místa a zmapovat úroveň rušení v jednotlivých místech podnikové sítě. Tyto přístroje jsou v současnosti vyřazeny. Rovněž v rámci času došlo k výrazným změnám v měřících možnostech nových moderních analyzátorů.

Aby bylo možné nadále pokračovat v odhalování slabých míst v rámci vnitřní sítě, je vhodné doplnit stávající měřicí systém složený ze stacionárních analyzátorů o moderní přenosný analyzátor Unilyzer 900, který je rovněž ve stejné třídě přesnosti A a bude sloužit zejména k týdenním nebo delším měřením v rámci celého závodu.

Tím bude zajištěno měření kvality v daném měřeném místě se všemi parametry kvality el. energie, zejména pak:

- úroveň napětí a proudů a jeho změny
- úroveň harmonických napětí
- úroveň harmonických výkonu (směr toku harmonických)
- velikost odebíraného výkonu
- flickr včetně okamžitých hodnot flickru
- rychlé změny napětí (RCV)
- poklesy napájecího napětí zejména na papírenském stroji a podružných rozvodnách
- přechodné děje (transienty)

Analyzátor disponuje měřicími rozsahy pro měření napětí 0-1000 V a proudů 0-2000 A, které umožňují provádět měření na výkonných strojích používaných v celém závodu. Kompaktní rozměry a komunikační rozhraní umožňuje instalaci a měření v jakémkoli typu rozváděče.

Kapacita paměti dovoluje provádět kompletní záznam měřených hodnot po dobu 60 dnů, což umožňuje použití analyzátoru také k dlouhodobému sledování v měřeném místě [10].



Obr.9.1 Přenosný analyzátor UNIPOWER Unilyzer 900.

Měřená data by byla stahována do přenosného nebo stolního počítače. Vzhledem k plné kompatibilitě s již instalovanými stacionárními analyzátorů UP-2210 lze provádět vyhodnocení naměřených dat ve stávajícím programu PQ Secure současně jak ze stacionárních, tak i přenosného analyzátoru a tak porovnávat tok energií a úrovně šíření ručení a změn napětí v rámci vlastní sítě.

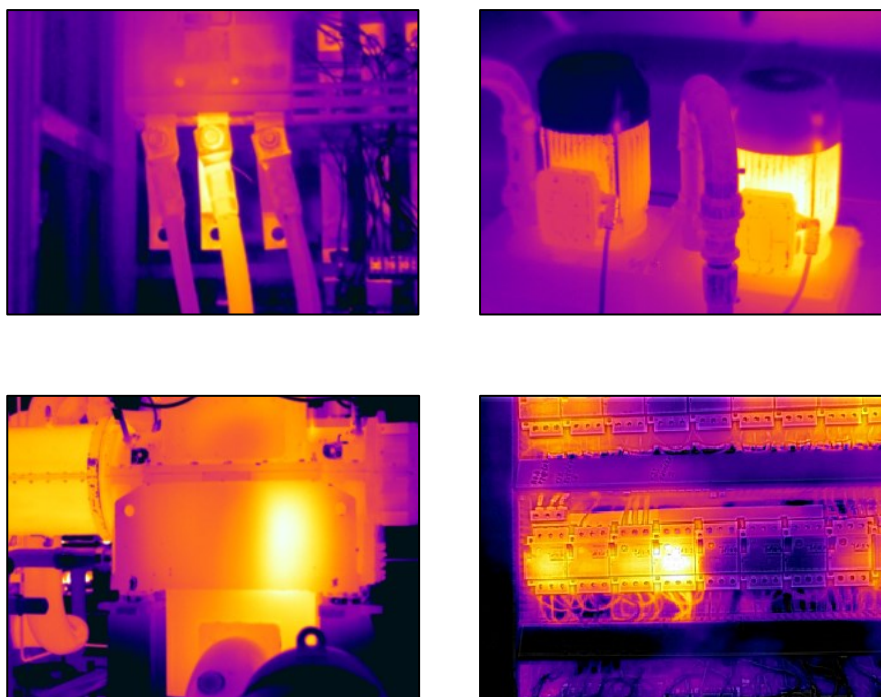
9.7 Termodiagnostika elektrorozvodů a strojů a výrobní technologie

Vzhledem k tomu, že k poruchám dochází i ve vlastní síti a na provozovaných zařízeních, jako další možnost ke zvýšení spolehlivosti provozu závodu je pravidelné a systematické provádění termodiagnostiky vhodnou ruční termokamerou. Termodiagnostika je založena na pasivním bezkontaktním snímání povrchových teplot měřeného objektu bez nutnosti jeho odstávky [16].

Mezi nejčastější závady v průmyslových provozech patří právě závady na rozvodu elektrické energie a připojených strojů a zařízení, jako jsou:

- špatný kontakt na přípojnicích, mezi pohyblivými částmi nn a vn zařízení
- špatný kontakt na svorkovnicích
- přehřívání relé, stykačů a jističů
- přehřívání motorů (vinutí, ložiska)
- přehřívání převodovek, ložisek, čerpadel atd.

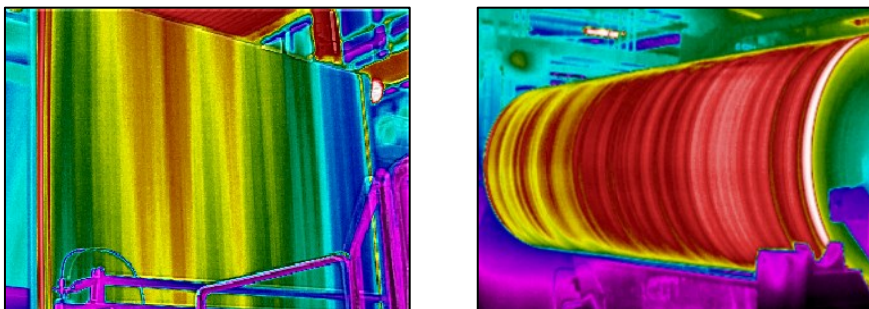
Ukázky typických závad nalezených termokamerou [7].



Obr. 9.2 Ukázky závad nalezených termokamerou: přechodový odpor (vlevo nahoře), přehřáté vinutí motoru (vpravo nahoře), vadné ložisko v převodovce (vlevo dole), přehřátý stykač (vpravo dole).

Uvedené závady patří mezi nejčastější a jsou typické pro průmyslové provozy. Porucha daného stroje či zařízení však s sebou nese sekundární projevy, a to např. odstavení papírenského stroje a také případné finanční ztráty z poškození zařízení, na kterém porucha vznikla. Nezřídka závady elektroinstalace končí i požárem.

Další využití termografie lze pak doporučit na vlastní kontrolu výrobního procesu. V případě papírenského závodu se jedná zejména o kontrolu homogenity vyhřívaných válců papírenského stroje a také vlhkosti papíru. Ta se projevuje odlišnou teplotou na povrchu měřeného objektu. Pokud jsou na sítu, látce nebo hotového papíru velké rozdíly, mohou pak způsobit při dosychání nerovnoměrné pnutí, což má za následek mačkání nebo trhání v hotové roli.



Obr. 9.3 Ukázky tepelných nehomogenit: na sítu (vlevo) a na roli s papírem (vpravo).

Termodiagnostika, tak jako každá diagnostika, zahrnuje soubor činností, které na sebe navazují a mají současně kontrolní charakter. Mezi tyto činnosti patří:

- časový plán kontroly jednotlivých vybraných míst / prvků / strojů
- pořízení snímků a jejich identifikace
- vyhodnocení snímků a klasifikace nalezených závad
- návrh řešení / opravy
- kontrola provedené opravy

Termodiagnostika tedy neřeší kvalitu napájecího napětí, ale poskytuje cennou informaci o okamžitém stavu provozovaných strojů, zařízení a v neposlední řadě také výrobního procesu, což umožňuje zvýšit jejich spolehlivost, resp. kvalitu.

10 Závěr

Cílem diplomové práce bylo provést rozbor vlivu poklesu napájecího napětí a jeho vlivu na provoz papírenského závodu zejména na citlivá zařízení a nalézt možná opatření pro zvýšení jejich spolehlivosti.

Většina strojů a zařízení je závislá na elektrické energii, a proto je velmi důležité sledování její kvality k zajištění bezproblémového chodu těchto zařízení. Vzhledem ke stále se rozšiřujícímu počtu citlivých zařízení a také zařízení s nelineárním odběrem, je kvalita elektrické energie velmi důležitá. Vzhledem k dodavatelsko-odběratelským vztahům mezi distributorem a odběratelem, je navíc elektrická energie standardním obchodním artiklem, který je definován nejen svým množstvím, ale také svou kvalitou.

Papírenský průmysl je založen na velkém odběru různých druhů vstupních surovin, mezi které patří voda, pára, plyn a v největší míře právě elektrická energie. Pro zajištění spolehlivosti papírenského provozu je nezbytné zajistit kvalitu všech těchto vstupů. Zejména velké množství provozovaných měničů kmitočtu, které jsou nezbytné pro zajištění efektivního a spolehlivého provozu papírenského stroje, vyžaduje zaměření právě na kvalitu elektrické energie.

Aby bylo možné jakkoli vyhodnocovat kvalitu elektrické energie, je zapotřebí provádět její opakované nebo lépe trvalé sledování a záznam. K pořízení kvalitních dat je zapotřebí speciální měřicí techniky, a to analyzátorů kvality elektrické energie, které se nabízejí ve stacionárním nebo přenosném provedení. Jejich vzájemná kombinace umožňuje maximální flexibilitu při záznamu dat. Z naměřených statistických hodnot i přechodných dějů lze následně navrhovat a provádět úpravy ve stávající napájecí síti, aby byla udržena nebo zvýšena její kvalita, a aby byly maximálně eliminovány rušivé vlivy.

I když poklesy napájecího napětí nejsou typickým a statisticky snadno měřitelným parametrem, jejich výskyt zcela zásadně ovlivňuje spolehlivý provoz jakéhokoli

zařízení, zejména pak papírenského stroje. I krátkodobý pokles napájecího napětí pod určitou úroveň zapříčiní odstavení jednoho nebo skupiny měničů kmitočtu pohánějících asynchronní motory a tedy dojde ke ztrátě synchronního běhu pohonů papírenského stroje a jeho výpadku.

Vyhodnocení souboru dat bylo provedeno z naměřených dat pořízených stacionárními analyzátory v roce 2013 a také doplňujícím měřením na měniči kmitočtu. Hlavní zaměření práce bylo na poklesy napájecího napětí na přívodních linkách 110 kV. Naměřená data byla zpracována podle charakteru poklesů napětí, tedy hloubky a doby trvání. K těmto údajům byly rovněž vyhodnoceny další parametry, a to úroveň poklesů napětí v rozvodně papírenského stroje a také příčina poklesů dle informací distributora. Zjištěním bylo, že v daném sledovaném období byly poklesy napětí způsobeny výhradně cykly OZ, a to z důvodu poruch způsobenými atmosférickými vlivy a počasím. Ke klasifikaci poklesů napětí i vyhodnocení dalších statistických dat byla použita platná norma ČSN EN 50160 ed.3.

Pro zajímavost byla klasifikace poklesů provedena také na národní švédské normě EIFS 2013:1, která je právě v rámci poklesů napájecího napětí konkrétnější než tuzemské normy a přímo definuje oblasti případné odpovědnosti a nápravných opatření. Naše současná legislativa a k ní příslušné normy nijak neupravují počet ani druh dovolených napětíových událostí, jako jsou poklesy napětí. V současné době je z pohledu distributora pouze na straně odběratele učinit taková opatření, aby jím provozované připojené zařízení spolehlivě pracovalo i v případě výskytu poklesů v napájecí síti. Zde by jistě bylo vhodné hledat společný dialog mezi distributorem a odběratelem ke spolupráci, jak ukazuje například švédský model, a ke kterému také dříve v ojedinělých případech docházelo.

Z provedeného vyhodnocení dat bylo také uvedeno několik návrhů opatření k zajištění větší spolehlivosti provozu papírenského závodu i v případě výskytu poklesů napětí. Zde by byla na místě hlubší analýza investičních nákladů a zhodnocení návratnosti jednotlivých variant opatření v poměru ke ztrátám způsobených výpadky papírenského stroje.

11 Seznam použité literatury

- [1] Petr Toman a kolektiv. *Provoz distribučních soustav*. ČVUT. ISBN: 978-80-01-04935-8.
- [2] Josef Tlustý a kolektiv. *Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí*. ČVUT. ISBN: 978-80-01-04939-6.
- [3] PNE 33 3430-4, 3.vydání. *Parametry kvality elektrické energie – část 4: Poklesy a krátká přerušení napětí*.
- [4] Provozovatelé lokálních distribučních soustav. *PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUTUČNÍCH SOUSTAV Příloha č. 3, kvalita napětí v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení*. Dostupný z WWW: <<http://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/ppds2011.html>>.
- [5] ČSN EN 61000-4-30 (33 3432): *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-30: Zkušební a měřicí technika – Metody měření kvality energie*
- [6] ČSN EN 50160 ed.3 (33 0122): *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*.
- [7] Interní materiál společnosti SpektraVision s.r.o.
- [8] PNE 33 3430-7, 4.vydání. *Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti – část 7*
- [9] Obrázek papírenského stroje [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.controlengcesko.com/fileadmin/grafika/%C4%8CERVENEC2011/hItema20.jpg>>.
- [10] Materiály k přístrojům firmy UNIPOWER
- [11] Obrázek měniče kmitočtu [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.eatonelektrotechnika.cz/priruckazapojeni/drives079.html>>.
- [12] Informace o normách [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.powerqualityworld.com/search/label/Standards>>.

[13] Norma EIFS 2013:1 (ISSN 2000-592X): *Předpis požadavků, které musí být splněny pro zajištění kvality elektrické energie v rámci distribuce a přenosu el. energie.*

[14] Naděžda Pavelková. *Řešení poklesů napětí v oblasti měničů ABB.* Sborník CIRED 2013

[15] Průmyslové UPS Protect Blue [online]. [cit. 2014-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.aeg-ups.cz/protect-blue-1.html>>.

[16] Štěpán Svoboda. *Termodiagnostika v elektroenergetice.* Bakalářská práce.

12 Seznam použitých vzorců

Vzorec 4.1 Střídavé napětí.....	16
Vzorec 4.2 Efektivní hodnota napětí.....	17

13 Seznam grafů

Graf 8.1 Přehled poklesů napětí zaznamenaných v rozvodně 110 kV.....	59
Graf 8.2 Přehled poklesů napětí zaznamenaných v rozvodně pap. stroje.....	59
Graf 8.3 Procentuální vyjádření výskytu poklesů podle ČSN EN 50160 ed.3.....	61
Graf 8.4 Procentuální vyjádření výskytu poklesů podle EIFS 2013:1.....	62
Graf 8.5 Přehled poklesů napětí zaznamenaných v rozvodně 110 kV zatříděných podle EIFS 2013:1.....	65

14 Seznam obrázků

Obr. 2.1	Elektrizační soustava v ČR.....	9
Obr. 2.2	Druhy rozvodů distribuční soustavy.....	10
Obr. 4.1	Znázornění poklesu a přerušení napájecího napětí.....	19
Obr. 4.2	Příklad zaznamenaného poklesu napětí.....	20
Obr. 4.3	Ukázka příčiny vzniku krátkodobého poklesu napětí - zkrat	22
Obr. 4.4	Průběhy napětí a proudu u odběratelů při funkci OZ	23
Obr. 4.5	Ukázka vyhodnocení poklesu napětí podle ITIC	28
Obr. 4.6	Ukázka vyhodnocení poklesu napětí podle SEMI F47-0706.....	30
Obr. 4.7	Ukázka vyhodnocení poklesu napětí podle EIFS 2013:1.....	33
Obr. 5.1	Schéma napájení papírenského závodu	34
Obr. 5.2	Venkovní rozvodna 110 kV.....	35
Obr. 5.3	Vnitřní rozvodna 6 kV.....	36
Obr. 6.1	Základní popis papírenského stroje.....	40
Obr. 6.2	Papírenský stroj – začátek, nátok látky na síto.....	41
Obr. 6.3	Skupina pohonů mlýnů přípravný látky.....	41
Obr. 6.4	Skupina pohonů válců papírenského stroje.....	42
Obr. 6.5	Sběr řídicích signálů - RIO.....	43
Obr. 6.6	Měniče kmitočtu ABB, typ ACS 600 MultiDrive.....	44
Obr. 6.7	Princip řízení motoru měničem kmitočtu.....	45
Obr. 7.1	Zapojení stacionárního analyzátor UNIPOWER UP-2210.....	50
Obr. 7.2	Instalace stacionárních analyzátorů UNIPOWER UP-2210.....	51
Obr. 7.3	Logika spouštění záznamu okamžitých hodnot.....	53
Obr. 7.4	Přenosný analyzátor UNIPOWER Unilyzer 900.....	50
Obr. 8.1	Rozbor poklesu napětí na hlavní rozvodně 110 kV.....	66
Obr. 8.2	Rozbor stejného poklesu napětí v rozvodně pap. stroje 0,4 kV	66
Obr. 8.3	Četnost poklesů napětí v rámci výskytu.....	67
Obr. 8.4	Grafický rozbor napětí 110 kV.....	68
Obr. 8.5	Měření vstupních veličin měniče kmitočtu přenosným analyzátozem.....	71
Obr. 8.6	Průběhy napětí a proudů.....	73
Obr. 8.7	Harmonická napětí a proudů.....	73
Obr. 8.8	Porovnání průběhů odebíraného a generovaného proudu	73
Obr. 9.1	Přenosný analyzátor UNIPOWER Unilyzer 900.....	79
Obr. 9.2	Ukázky závad nalezených termokamerou.....	80
Obr. 9.3	Ukázky tepelných nehomogenit.....	81

15 Seznam tabulek

Tab. 4.1	Klasifikace poklesu napájecího napětí podle ČSN EN 50160 ed.3.....	26
Tab. 4.2	Klasifikace poklesu napájecího napětí podle SEMI F47-0706.....	29
Tab. 4.3	Klasifikace poklesu napájecího napětí pro nn a vn podle EIFS 2013:1...	31
Tab. 4.4	Klasifikace poklesu napájecího napětí pro v vn podle EIFS 2013:1.....	32
Tab. 8.1	Souhrn zaznamenaných poklesů za rok 2013.....	56- 57
Tab. 8.2	Klasifikace zaznamenaných poklesů podle ČSN EN 50160 ed.3.....	60
Tab. 8.3	Klasifikace zaznamenaných poklesů podle EIFS 2013:1.	62
Tab. 8.4	Klasifikace zaznamenaných poklesů podle ČSN EN 50160 ed.3 se zvýrazněním počtu výpadků papírenského stroje.....	64
Tab. 8.5	Klasifikace zaznamenaných poklesů podle EIFS 2013:1 se zvýrazněním počtu výpadků papírenského stroje.....	64
Tab. 8.6	Vyhodnocení napájecího napětí.....	68
Tab. 8.7	Vyhodnocení kmitočtu sítě.....	69
Tab. 8.8	Vyhodnocení flikru.....	69
Tab. 8.9	Vyhodnocení nesymetrie napětí.....	69
Tab. 8.10	Vyhodnocení harmonických napětí.....	70
Tab. 8.11	Vyhodnocení celkového harmonického zkreslení.....	70
Tab. 8.12	Vyhodnocení týdenního měření kvality el. energie.....	72