

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vyhodnocení napěťových a výkonových poměrů na distribučních
trafostanicích VN/NN

Autor práce: **Jan Římnáč**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.**

2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan ŘIMNÁČ**
Osobní číslo: **E19B0165P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Téma práce: **Vyhodnocení napěťových a výkonových poměrů na distribučních trafostanicích vn/nn**
Zadávající katedra: **Katedra výkonové elektroniky a strojů**

Zásady pro vypracování

1. Vyhodnoťte napěťové poměry na distribučních trafostanicích, např. formou histogramu, a posuďte, zda napětí z hlediska odchylek napětí vyhovuje normě ČSN EN 50 160. Vyhodnocení proveďte pro jednotlivé distribuční trafostanice i souhrnně pro všechny posuzované stanice.
2. Vyhodnoťte výkonové poměry na distribučních trafostanicích, např. formou histogramu, dále určete maximální a průměrné zatížení.
3. Vyhodnoťte hodnoty účinníku přenášených výkonů na distribučních trafostanicích.
4. Vyhodnoťte přetoky činného a jalového výkonu do nadřazené sítě vn, identifikujte četnost přetoků a časové období, kdy k nim dochází.



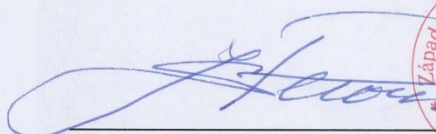
Rozsah bakalářské práce: **30 – 40**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**


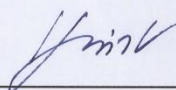
Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 50160: Charakteristiky napětí el. energie dodávané z veřejné distribuční sítě, 3.vydání 2012.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2022**


Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 8. října 2021

Abstrakt

Bakalářská práce obsahuje vyhodnocení dat naměřených na distribučních trafostanicích VN/NN od provozovatele distribuční sítě EG.D. Z naměřených dat jsou dopočteny konkrétní veličiny pro kontrolu dovolených odchylek napětí stanovených normou. Z naměřených hodnot je vyhodnoceno průměrné a maximální zatížení distribučních trafostanic souhrnně pro všechny distribuční trafostanice, ale i pro jednotlivé výkonové skupiny transformátorů. Dále je vypočítán účinník přenášených výkonů a určen charakter zátěže pro jednotlivá měření. V poslední části je vyhodnocena četnost a doba, kdy dochází k výkonovým přetokům do nadřazené sítě. Pro vyhodnocené doby přetoků výkonů jsou měření porovnávána mezi sebou a rozdělena do skupin s podobnými dobami výskytu.

Klíčová slova

distribuční trafostanice, zatížení, napěťové poměry, výkonové poměry, odchylky napětí, účinník

Abstract

This bachelors thesis contains assessment of measuring distribution transformer stations MV/LV by distribution network operator. Specific quantities are calculated to check voltage variations determined by standard. Average and maximum loading of distribution transformer stations are calculated from measurements for all transformers and also for groups lined up by power range of transformers. Power factor is calculated for transmitted powers with determination characters of loads. Thesis deals with frequency and rates, when power overflows occurs to superior network. Distribution transformer stations are divided into a groups, when power overflows occurs with similar rates in specific time periods.

Key Words

distribution transformer station, loading, voltage ratios, power ratios, voltage variations, power factor

Prohlášení

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

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

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za ochotu, čas a cenné rady, které mi věnovala při vypracování této bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	- 1 -
1 Distribuční trafostanice.....	- 2 -
1.1 Rozdělení distribučních trafostanic.....	- 2 -
1.2 Volba jmenovitého výkonu a zatížení transformátoru, zálohování.....	- 4 -
2 Měření na distribučních trafostanicích	- 8 -
2.1 Důvody měření.....	- 8 -
2.2 Měření na distribučních trafostanicích.....	- 8 -
2.3 Výkonové toky	- 9 -
2.4 Monitoring distribučních trafostanic VN/NN	- 10 -
3 Vyhodnocení napěťových a výkonových poměrů.....	- 12 -
3.1 Vyhodnocení napěťových poměrů na DTS.....	- 13 -
3.2 Vyhodnocení zatížení DTS	- 16 -
3.3 Vyhodnocení účinníku	- 32 -
3.4 Vyhodnocení výkonových přetoků do nadřazené sítě.....	- 34 -
Závěr	- 45 -
Literatura.....	- 47 -

Seznam symbolů a zkratek

Značka	Popisek	Jednotka
<i>VVN</i>	Velmi vysoké napětí	
<i>VN</i>	Vysoké napětí	
<i>U</i>	Napětí	(V)
<i>S</i>	Zdánlivý výkon	(VA)
<i>P</i>	Činný výkon	(W)
<i>S_n</i>	Jmenovitý výkon	(VA)
<i>Q</i>	Jalový výkon	(VAr)
<i>I</i>	Proud	(A)
<i>ČR</i>	Česká republika	
ΔP_0	Ztráty naprázdno	(W)
ΔP_k	Ztráty nakrátko	(W)
ΔP_{CELK}	Celkové ztráty	(W)
<i>DTS</i>	Distribuční transformační stanice	
<i>cosφ</i>	Účinník	(-)
<i>ERÚ</i>	Energetický regulační úřad	
<i>PPDS</i>	Pravidla provozování distribuční soustavy	
<i>PVGIS</i>	Photovoltaic geographical information system	
<i>UM</i>	Univerzální monitor nízkého napětí	
<i>FVE</i>	Fotovoltaická elektrárna	

Úvod

Přehled o aktuálním stavu sítě je povinností každé distribuční společnosti zajišťující dodávku elektrické energie. K zajištění spolehlivé a bezpečné dodávky je potřeba dodržovat stanovené normy, zákony a vyhlášky. Dodavatel elektrické energie je povinen zajistit dodávku elektrické energie se stanovenými parametry. Při nedodržení jmenovitých parametrů a dovolených odchylek je dodavatel penalizován. Z tohoto důvodu se provádí kontrolní měření na distribučních transformátorech. Důležitým parametrem je zatížení transformátoru, které určuje, jaký typ a jmenovitý výkon provozovatel distribuční sítě zvolí, jak z hlediska ekonomického, pořizovací cena a provozní náklady transformátoru, tak z hlediska možnosti budoucího připojení dalších odběratelů.

V mé bakalářské práci na téma vyhodnocení napěťových a výkonových poměrů na distribučních trafostanicích VN/NN nejdříve rozeberu používané distribuční transformátory, jejich provoz. Následně zpracuji naměřená data od distribuční společnosti EG.D a.s., která je jednou ze tří distribučních společností v ČR. Z naměřených dat vyhodnotím, jestli napěťové poměry odpovídají dovoleným odchylkám dle normy ČSN EN 50 160. Průměrné a maximální zatížení jednotlivých distribučních transformátorů podle velikosti jmenovitého výkonu. Z důvodu přibývajících obnovitelných zdrojů energie dochází k přetokům elektrické energie do nadřazené sítě, proto vyhodnotím jejich četnost a časové období, kdy k nim dochází.

1 Distribuční trafostanice

Distribuční trafostanice jsou stanice, kde dochází k transformaci napětí, nejčastěji z hladiny VN/NN pro následné připojení odběratelů NN. Do skupiny DTS můžeme zařadit vybrané stanice 110 kV/VN, které provozovatel distribuční sítě spravuje.

1.1 Rozdělení distribučních trafostanic

1.1.1 Podle způsobu umístění

Transformátory mají různé umístění podle jejich velikosti a provedení. Např. olejové transformátory lze umisťovat do rozvaděčů s olejovou jímkou, do transformátorových kiosků, na venkovní stanoviště a na stožáry. Stanoviště venkovních transformátorů je z betonového základu. Je opatřené jímkou pro zachycení úniků oleje, nebo alespoň štěrkovým ložem. Rozměry jímky by měly, alespoň o 1 m přesahovat rozměry transformátoru. [1]



Obr. 1.1: Transformátorový kiosek s uzavřenou jímkou [2]



Obr. 1.2: Venkovní stání transformátoru s protipožárními zdmi [2]

1.1.2 Podle typu chladicího média

Olejový transformátor: má uzavřenou nádobu, v které je chladicí médium-olej. Olej má vyšší měrnou tepelnou kapacitu než vzduch a je schopen lépe odvádět teplo. Vlivem vnější teploty je opatřen kompenzační nádobou, která při změnách teploty okolí kompenzuje objem oleje. Efektivnějším chlazením lze dosáhnout vyššího výkonu transformátoru. K zachycení možných úniků oleje musí být transformátor opatřen olejovou jímkou. Při vzniku poruchy dochází k riziku zahoření oleje, proto jsou v rozvodnách vybudované betonové zdi, aby nedošlo k rozšíření požáru. Kvůli použitému typu chladicího média nelze olejový transformátor použít v místech s rizikem vzniku požáru a výbuchu a mimo chráněné oblasti.

Suchý transformátor: má použité chladicí médium vzduch. Používá se pro menší výkony. Vzhledem k nepřítomnosti oleje je šetrnější k životnímu prostředí. Vyšší požární bezpečnost umožňuje použití v prostorách jako jsou letiště, metra, nemocnice atd. Větší rozměry v porovnání s olejovým transformátorem, kvůli větší chladicí ploše. [2]

Na štítku transformátoru bývá uvedeno, o jaký typ chlazení se jedná viz obr. 1.3.

KONČAR D&ST										
TRANSFORMÁTOR S PŘEPÍNAČEM POD ZATÍŽENÍM										
Typ	TRP 25000-123/H			Výrobní číslo	CT0401-460195			Rok výroby	1998	
Jmenovitý kmitočet	50 Hz			Počet fází	3			IEC76		
Izolační hladina	LI550 AC230-LI250 AC95/LI125 AC50/AC28			Skup. spoj	YNyn0(d)					
Jmenovitý výkon	25000 kVA			Chlazení	ONAN/ONAF					
1	92400	2	156.2	1	2	9.9 %				
9	110000	23000 V	131.2	627.6 A	Napětí nakrátko 10.7 %					
17	127600		113.1		11.9 %					
Stabilizační vinutí	6300 V			440.9 A	Hmotnost aktivní části 29.0 t					
Transportní hmotnost	41.0 t			Hmotnost oleje	8.5 t			Celková hmotnost 44.0 t		
Přirozené chlazení / ONAN / výkon: 15 MVA										

Obr. 1.3: Štítek transformátoru VVN/VN [2]

Chlazení transformátoru je charakterizováno 4 písmeny ve tvaru XXXX, kde

- 1. X: Určuje typ chladicího média vinutí
- 2. X: Určuje způsob cirkulace vnitřního chladicího média
- 3. X: Určuje typ vnějšího chladicího média
- 4. X: Určuje způsob cirkulace vnějšího chladicího média

Chladicí médium může být olej-O, vzduch-A, voda-V, jiná kapalina-K. Způsob cirkulace může být přirozený-N nebo nucený-F za použití ventilátoru či čerpadla podle

typu chladicího média. Např. transformátor viz obr. 1.3 má označení ONAN-olejový transformátor s přirozeným chlazením nádoby vzduchem.

1.1.3 Podle způsobu přepínání odboček

Jelikož v síti dochází k úbytkům napětí je potřeba mít transformátory s přepínatelnými odbočkami. Odbočky lze přepínat bez zatížení, ale i pod zatížením.

Transformátory s přepínáním odboček pod zatížením: při přepínání dochází ke krátkému přerušení obvodu, proto musí být vodiče lépe dimenzovány. Tato varianta se používá pro transformátory VVN/VN. Přepínání odboček se z pravidla provádí na straně vyššího napětí kvůli nižším proudům.

Příklad viz obr. 1.3 může být transformátor 110 kV $\pm 8 \times 2\%$ / 23 kV, kde na primární straně je celkem 17 přepínatelných odboček. 1. odbočka 92,4 kV, 9. odbočka jmenovité napětí 110 kV a 17. odbočka 127,6 kV. Sekundární vinutí má vyšší napětí, než je jmenovité napětí sítě 22 kV z důvodu vyrovnání napětí vlivem úbytku napětí na transformátoru.

Transformátory s přepínáním odboček bez zatížení: přepínač odboček zde není dimenzován na přepínání pod zatížením. K přepínání dochází pouze ve vypnutém stavu, proto není potřeba tak velký počet odboček. Realizuje se u distribučních transformátorů VN/NN, výjimečně se používá pro transformátory VN/NN přepínač odboček pod zatížením, ale pořizovací cena je třikrát větší. [2]

1.2 Volba jmenovitého výkonu a zatížení transformátoru, zálohování

1.2.1 Ztráty transformátoru

[2]Zatížení transformátoru určuje, jak velké ztráty na transformátoru budou. Celkové ztráty transformátoru jsou ztráty naprázdno a Jouleovy ztráty ve vinutí. Ztráty naprázdno se zjišťují při měření transformátoru naprázdno (bez zátěže) a nejsou závislé na zatížení. Jouleovy ztráty se určují z měření nakrátko a vlivem tepelných ztrát jsou závislé na zatížení. Celkové ztráty jsou dány vztahem (1.1).

$$\Delta P_{CELK} = \Delta P_0 + \Delta P_k \cdot \left(\frac{I}{I_n}\right)^2 \quad (1.1)$$

Kde ΔP_0 jsou ztráty v chodu naprázdno, ΔP_k jsou Jouleovy ztráty ve vinutí v chodu nakrátko, I je proud procházející transformátorem a I_n je jmenovitý proud transformátoru a poměr I/I_n , respektive S/S_n udává aktuální zatížení transformátoru.

Provozní náklady transformátoru, které vychází ze vztahu (1.2).

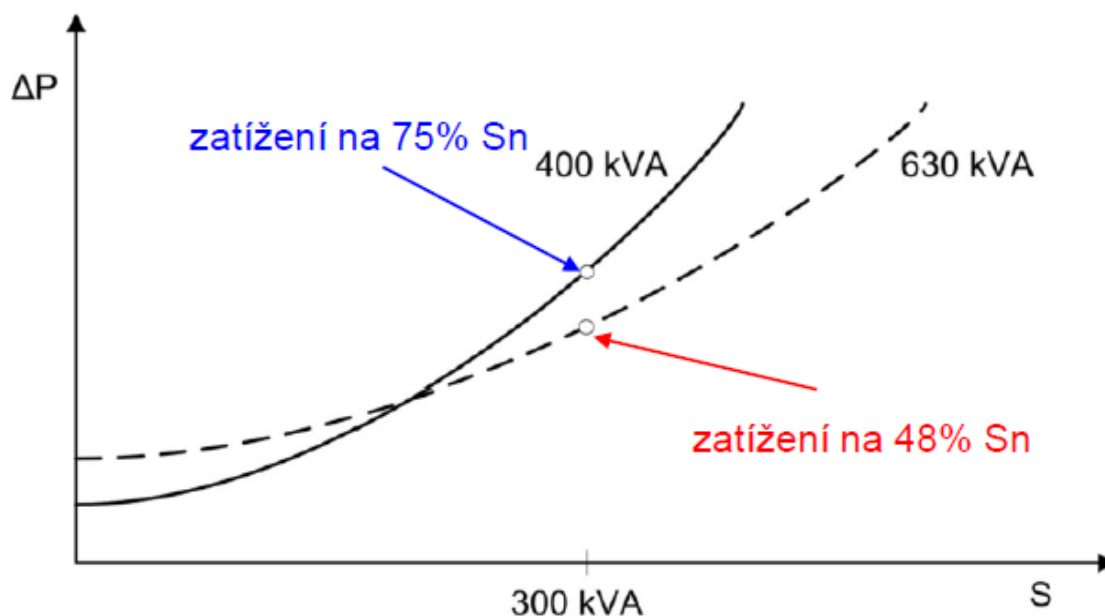
$$N_p = \left[\Delta P_0 + \Delta P_k \cdot \left(\frac{S_{STŘ}}{S_n} \right)^2 \right] \cdot T_p \cdot cw \quad (1.2)$$

kde $S_{STŘ}$ je střední zatížení transformátoru, S_n je jmenovitý výkon transformátoru, T_p je doba provozu transformátoru (pokud chceme znát roční provozní náklady $T_p = 8\,760$ h) a cw je cena elektrické energie za 1 kWh. [3]

1.2.2 Volba jmenovitého výkonu transformátoru

Pro snadnější volbu jmenovitého výkonu transformátoru a větší variabilitu při výměně stroje se transformátory vyrábí ve výrobních řadách podle jmenovitého výkonu transformátoru.

Jmenovitá řada používaných výkonů DTS: 50, 100, 160, 250, 400, 630, 1000 kVA.



Obr. 1.4: Porovnání ztrát transformátorů při zatížení 300kVA [2]

Optimální zatížení transformátoru je od 50 do 70 % jmenovitého výkonu transformátoru. Při větším zatížení je vzhledem k hospodárnosti transformátoru lepší volit větší jmenovitý výkon transformátoru viz obr. 1.4, kde je vidět, že při zatížení transformátoru 300 kVA bude mít transformátor s výkonem 630 kVA menší ztráty než transformátor 400 kVA. Volba vyššího jmenovitého výkonu znamená, že celková impedance transformátoru bude menší a povede na větší zkratové proudy při poruše. [2]

Určení instalovaného výkonu trafostanice ze vztahu (1.3). [1]

$$S_T = \frac{P_p}{\gamma \cdot \cos\varphi} \text{ (VA)} \quad (1.3)$$

Kde P_p je výpočtové zatížení, γ je koeficient využití transformátoru (volí se s ohledem na budoucí připojení odběratelů a poruchovost) a $\cos\varphi$ je střední účinník transformátoru

Z vypočteného instalovaného výkonu určíme velikost jmenovitého výkonu a počet transformátorů (1.4).

$$\sum_{i=1}^n S_{ni} \geq S_T \quad (1.4)$$

Častější způsob je použití transformátoru se stejným výkonem, potom lze vztah (1.4) upravit do tvaru (1.5).

$$n \cdot S_n \geq S_T \quad (1.5)$$

Kde n je počet transformátorů a S_n je jmenovitý výkon jednoho transformátoru

1.2.3 Zálohování

Zálohování transformátorů je hlediskem pro spolehlivé zajištění dodávky elektrické energie, proto jsou odběratelé rozděleny do 3 stupňů dodávky elektrické energie dle normy ČSN 34 1610.

1. Stupeň důležitosti dodávky: dodávka elektrické energie musí být zajištěna za každých okolností. Vztahuje se na odběratele, kde při poruše hrozí ohrožení životů a následné ekonomické ztráty. Je potřeba mít zálohovaný přívod energie a to tak, že musí být napájen ze dvou nezávislých zdrojů. Do tohoto stupně dodávky jsou zahrnuty např. nemocnice, hutě a sklářský průmysl.

2. Stupeň důležitosti dodávky: při výpadku elektrické energie nejsou ohroženy životy, ale hrozí velké ekonomické ztráty. Napájení musí být zajištěno ze dvou stran (oproti 1. stupni zdroje nemusí být nezávislé). Do této skupiny spadají např. obchodní domy, většina průmyslových provozů.

3. Stupeň důležitosti dodávky: jsou dodávky, u kterých se nevyžaduje nepřetržitá dodávka. Do 3. stupně se řadí např. domácnosti.

Zálohovat transformátory lze:

1) Dostatečná záloha ve výkonech instalovaných traf

Za bezporuchového stavu pracuje n transformátorů, při poruše libovolného transformátoru pracuje $(n-1)$ transformátorů. Ostatní transformátory mají dostatečnou výkonovou rezervu, aby převzaly celý přenášený výkon

2) Rezervním transformátorem

Za bezporuchového stavu pracuje $(n-1)$ transformátorů, při poruše je vyčleněn transformátor, který přebere veškerý přenášený výkon.

Skutečné využití transformátorů lze zjistit ze vztahu (1.6). [3]

$$\gamma_s = \frac{P_p}{n_p \cdot S_n \cdot \cos\varphi} \quad (1.6)$$

Kde n_p je počet pracujících transformátorů.

Toto využití by v normálních i poruchových provozních stavech nemělo být větší, než je dovolená přetížitelnost jednotek. Návrh počtu a velikosti jednotek i způsobu jejich zapojení by měl být proveden ve více variantách. [4]

2 Měření na distribučních trafostanicích

2.1 Důvody měření

Provozovatel distribuční sítě (PDS) dle vyhlášky ERÚ č. 540/2005 je povinen dodržet požadovanou kvalitu dodávek a služeb souvisejících s regulovanými činnostmi v elektroenergetice, včetně výše náhrad za její nedodržení, postupy a lhůty pro uplatnění nároku na náhrady, a postupy pro vykazování dodržení kvality dodávek a služeb.

Pro spolehlivý a bezpečný provoz elektrizační soustavy je nutné provádět kontrolní měření k zajištění a kontrole takových parametrů, při nichž jsou dodrženy standardy kvality dodávek elektřiny. [5]

DTS je velmi důležité distribuční zařízení, které je koncovým činitelem pro distribuci elektrické energie ke konečnému zákazníkovi. Jedna DTS může obsluhovat stovky domácností. Zde je nutné zjistit hodnoty zatížení a zjistit hodnoty kvality napětí a proudu. [6]

2.2 Měření na distribučních trafostanicích

Napětí v distribuční soustavě je jedním z hlavních parametrů, které musí PDS monitorovat a nesmí překročit dovolené odchylky stanovené normou ČSN EN 50 160.

Norma ČSN EN 50 160 stanovuje charakteristiky dodávky elektrické energie nízkým napětím, ale i pro VN a VVN. Norma stanovuje jmenovité napětí sítě NN 230 V. Dovolené odchylky jsou:

- během každého týdne musí být 95 % všech průměrných efektivních hodnot napětí v měřicích intervalech 10minut v rozsahu $U_n \pm 10\%$
- všechny průměrné efektivní hodnoty napětí v 10minutových intervalech nesmí přesáhnout $U_n + 10\% / -15\%$

Tedy napětí menší než 90 % U_n je charakterizováno jako podpětí a napětí větší než 110 % U_n jako přepětí. Proto PDS provádí měření na distribučních trafostanicích z důvodu monitoringu zpětných vlivů sítě nebo nějaké stížnosti.

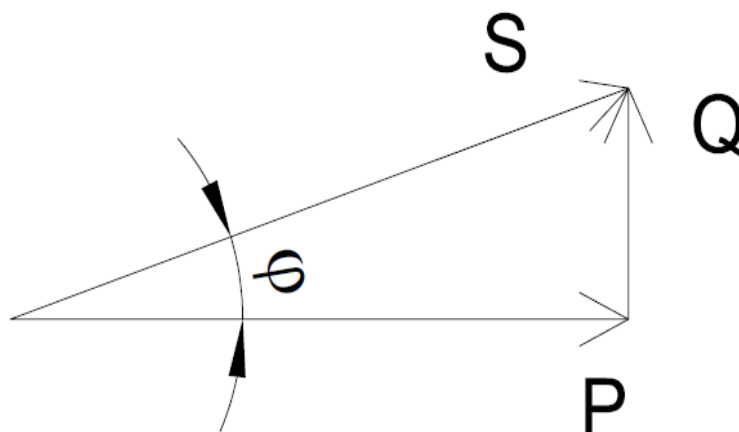
V normě jsou dále zahrnuty průběžné jevy jako jmenovitý kmitočet sítě, velikost rychlých změn napětí, míra vjemu flikru, nesymetrie napájecího napětí harmonická a meziharmonická napětí. Při měření kvality napětí pomocí měřicích přístrojů může PDS vyhodnotit výkonové poměry jako zatížení transformátoru, účinník a přetoky výkonů v DTS.

2.3 Výkonové toky

Vzhledem k solárnímu boomu, který v České republice odstartoval v roce 2006. V roce 2006 začal platit zákon č. 180/2005 Sb. O podpoře využívání obnovitelných zdrojů, kterým ERÚ stanovil výkupní cenu elektřiny FVE sazbou 15 Kč/kWh po dobu 20 let, který měl podpořit výrobu elektrické energie pomocí OZE, jelikož se ČR zavázala Evropské unii v rámci podpory OZE, že pokryje do roku 2020 13 % z celkové výroby elektrické energie pomocí OZE. [7] V roce 2008 během dvou let vzrostl instalovaný výkon FVE v ČR o 1 844 MW. [8] Z tohoto důvodu se začaly v síti objevovat přetoky činného výkonu do nadřazené sítě.

K přetokům jalového výkonu může docházet např. při málo zatížených kabelových vedeních, které mají velkou provozní kapacitu.

Z důvodu viz kapitola 1.2.2, se jmenovitý výkon transformátoru určuje jako zdánlivý v kVA je třeba si definovat činný, jalový a zdánlivý výkon viz vztah (2.1), (2.2) a (2.3), který vychází z obr. 2.3.



Obr. 2.1: Fázorový diagram pro zdánlivý, činný a jalový výkon

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \text{ (W)} \quad (2.1)$$

Kde P je činný výkon v třífázovém systému, U je velikost sdruženého napětí, I je velikost fázového proudu a $\cos\varphi$ je účinník.

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi \text{ (VAr)} \quad (2.2)$$

Kde Q je jalový výkon v třífázovém systému, U je velikost sdruženého napětí, I je velikost fázového proudu a $\sin\varphi$ je poměr jalového a zdánlivého výkonu.

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \text{ (VA)} \quad (2.2)$$

Kde S je zdánlivý výkon v třífázovém systému, U je velikost sdruženého napětí, I je velikost fázového proudu.

Z obr. 2.1 lze definovat vztah pro výpočet účinníku podle vztahu (2.3)

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \text{ (-)} \quad (2.3)$$

Ze vztahu (2.2) je vidět že smysl toku jalového výkonu neovlivní velikost výsledného účinníku, i přes tento problém je třeba vyhodnocovat, zda je se jedná o charakter zátěže induktivní nebo kapacitní.

2.4 Monitoring distribučních trafostanic VN/NN

Z důvodu zpracování naměřených dat od PDS EG.D, které budu v mé bakalářské práci vyhodnocovat, chci zmínit aktuální trendy v monitorování DTS VN/NN.

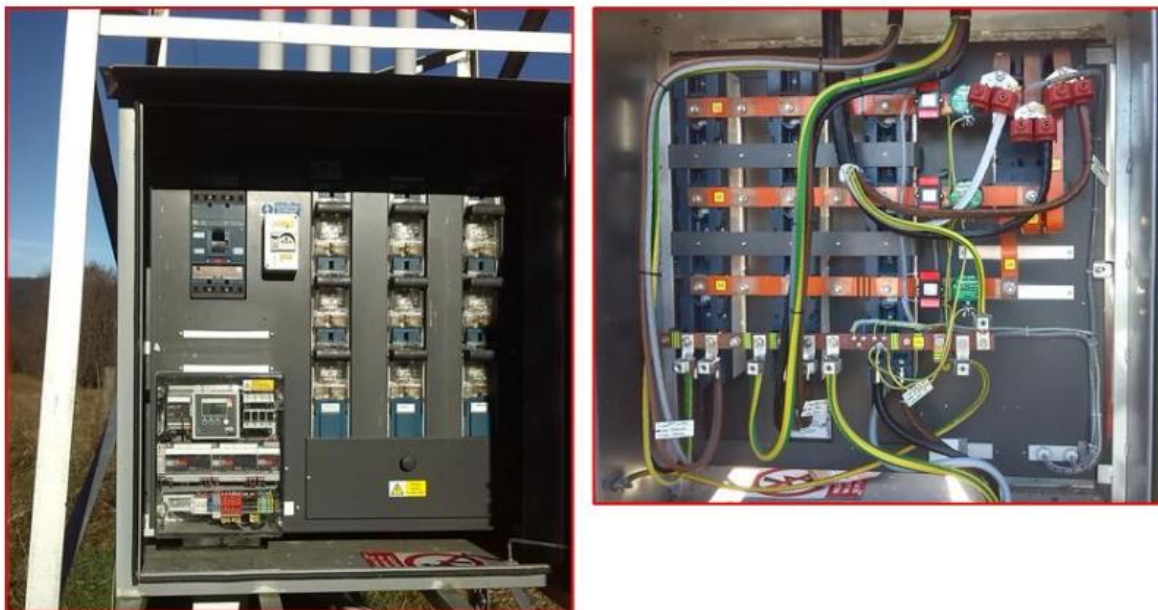
Momentálně neprobíhá trvalé měření na každé DTS VN/NN, z tohoto důvodu musí PDS provádět dočasná měření na DTS. Vlivem přibývajících zdrojů NN znamená pro distributora větší potřebu spolehlivého měření parametrů elektrických veličin. Do roku 2016 PDS EG.D používal přístroje EAM1, které se využívali pro trvalé měření DTS VN/NN, ale přístroj vyhodnocoval pouze zatížení DTS, proto bylo v roce 2016 rozhodnuto o ukončení jeho instalace. Z hlediska monitorování elektrických veličin na DTS je potřeba, aby měřící přístroj měřil veličiny dle požadavků normy ČSN EN 50 160. Přístroj by dále obsahoval funkce signalizace stavu hlavního jističe v DTS a řadu logických a ochranných funkcí. Tento přístroj obdržel pracovní označení **Univerzální monitor NN (UM)**. Od tohoto přístroje si PDS EG.D slibuje celou řadu benefitů: [9]

- lepší přehled o zatížení sítě umožňující efektivnější plánování její obnovy a rozvoje,
- monitoring kvality dodávky elektrické energie, možnost sledování událostí napětí s příležitostí k předcházení stížnosti odběratelů,
- dálkový odečet dat urychlí jejich dostupnost pro pracovníky provozních i metodických útvarů, včetně dispečerského řízení. [9]

Aktuální počet DTS VN/NN v distribuční síti EG.D je 19 724. [10] Aktualizovaný Národní akční plán pro chytré sítě požaduje po PDS monitorovat do roku 2030 65 % všech DTS. To je přibližně 13 000 UM pro DTS. Společnost EG.D si stanovila následující cíle:

- do roku 2025 nainstalovat 7 000 ks UM,
- do roku 2030 nainstalovat 15 000 ks UM.

Aktuálně má k roku 2022 PDS nainstalováno přibližně 1100 UM.



Obr. 2.2: Rozvaděč s doplněnou základní měřicí sestavou [9]

3 Vyhodnocení napěťových a výkonových poměrů

V praktické části mé bakalářské práce budu vyhodnocovat naměřená data od provozovatele distribuční sítě EG.D a.s. Obdržel jsem soubor, kde se nachází data z měření na 265 DTS 22/0,4 kV. Každé měření je označené svým ID měření a PDS k naměřeným datům dodal jmenovité výkony transformátorů a zda je připojený lokální zdroj NN. Měření byla provedena na hladině NN 0,4 kV.

Tab. 3.1: Příklad obdržení naměřených hodnot jednoho měření

Datum	Čas	V stř. L1 (V)	V stř. L2 (V)	V stř. L3 (V)	P stř. L1 (W)	P stř. L2 (W)	P stř. L3 (W)	P total stř. (W)	Q stř. L1 (VAr)	Q stř. L2 (VAr)	Q stř. L3 (VAr)	Q total stř. (VAr)
06.01.2015	14:50:00	239,9	239,4	239,6	6096,31	18994,6	15309,4	40400,3	2744,32	1685,8	2528,69	6958,81
06.01.2015	15:00:00	239,6	239,3	239,5	11447,7	19406,3	15701,4	46555,4	5312,22	3763,64	4292,9	13368,8
06.01.2015	15:10:00	239,4	239,1	239,2	14642,9	17779,3	21738,9	54161,1	4724,15	3822,44	3626,42	12173

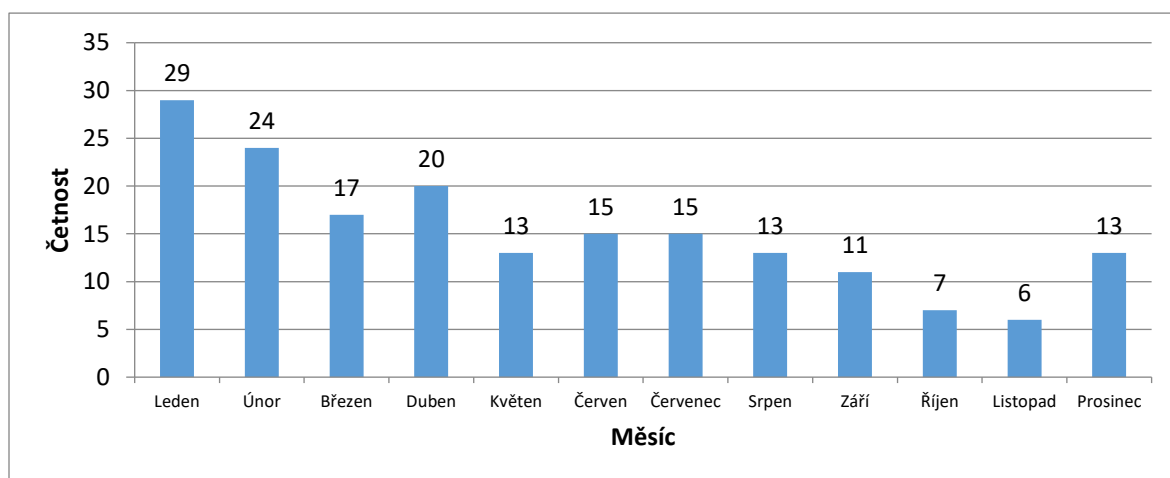
Měření proběhlo v 10minutových intervalech a PDS měřil RMS hodnotu napětí každé fáze, činný a jalový výkon v jednotlivých fázích a hodnotu celkového činného a jalového výkonu DTS. Doba měření na DTS se až na výjimky provedlo po dobu 1 týdne.

Při měření v 10minutových intervalech dochází k odečtení hodnoty napětí každých 10 period (pro 50 Hz, pro 60 Hz je počet period 12) a následně je z těchto hodnot dopočítaná R.M.S. hodnota napětí podle vztahu (3.1), kterou PDS naměřil.

$$U_{rms_10min} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N U_{rms_10}^2(n)}{N}} \quad (V) \quad (3.1)$$

Kde U_{rms_10} je hodnota napětí naměřená za 10 period a U_{rms_10min} je výsledná R.M.S. hodnota naměřená během 10minutového intervalu.

Měření probíhala v období 2015/2016 viz. obr. 3.1.



Obr. 3.1: Histogram četností měření na DTS v průběhu roku

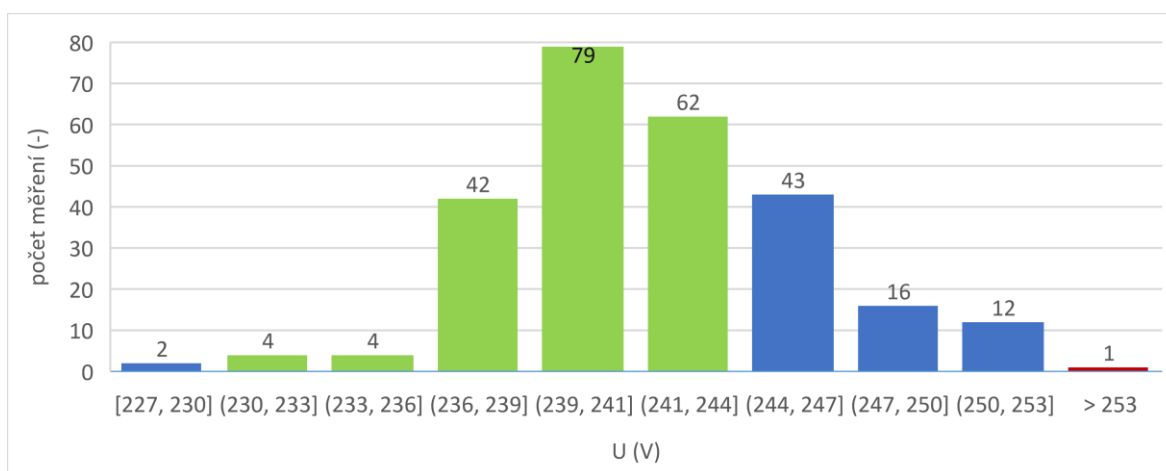
3.1 Vyhodnocení napěťových poměrů na DTS

Dle normy ČSN 50 160, která stanovuje dovolené odchylky napětí viz kapitola 2.2. PDS EG.D a.s. si stanovuje přísnější meze dovolených odchylek napětí a snaží se udržet napětí v mezích 230÷244 V. Z naměřených R.M.S. hodnot napětí jednotlivých fází jsem spočítal průměrnou hodnotu napětí všech fází podle vztahu (3.2), podle které jsem vyhodnotil dovolené odchylky napětí.

$$U_{STŘ} = \frac{U_{střL1} + U_{střL2} + U_{střL3}}{3} \quad (\text{V}) \quad (3.2)$$

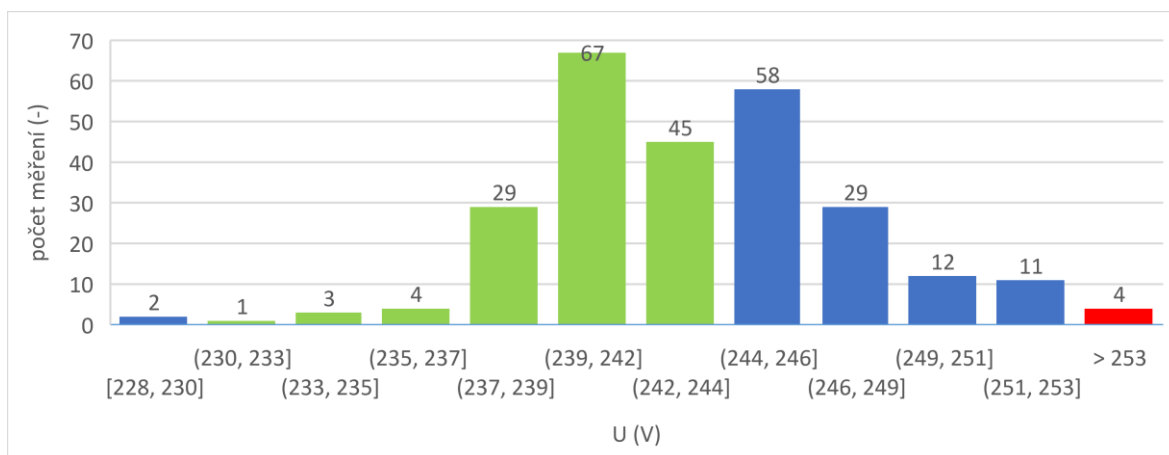
Kde $U_{střL1}$ je průměrná hodnota napětí během 10minutového intervalu měření, $U_{střL2}$ je průměrná hodnota napětí 2. fáze a $U_{střL3}$ je průměrná hodnota napětí 3. fáze.

Z obr. 3.2 je vidět, že z 254 měřených DTS jich 191 vyhovuje dle interních pokynů EG.D a.s. (označené zeleně) a průměrné napětí je tedy v 95 % času v mezích 230÷244 V. Dalších 73 DTS vyhovuje dovoleným odchylkám dle normy. Pouze 1 DTS nevyhovuje dovoleným odchylkám napětí a její průměrná hodnota napětí v 95 % času byla 253,3 V. DTS, která nesplnila dovolené odchylky napětí má jmenovitý výkon 160 kVA a je zde připojen zdroj NN o výkonu 13 kW.



Obr. 3.2: Histogram středních hodnot napětí v 95 % času

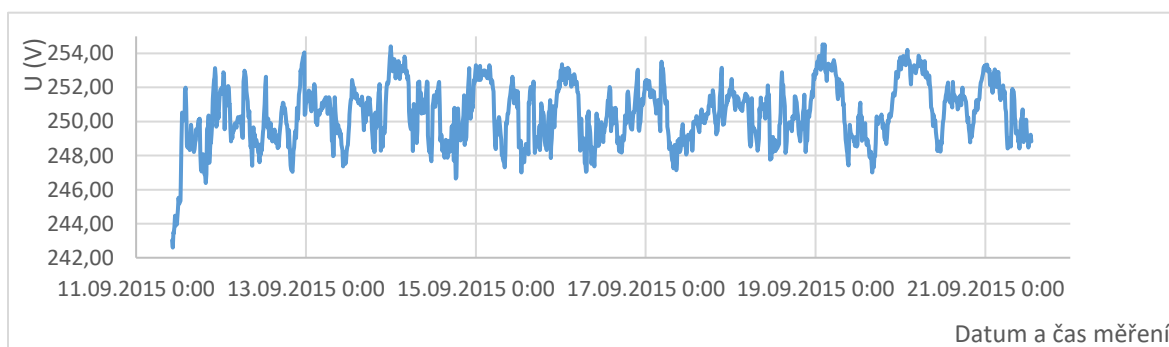
Viz obr. 3.2, kde jsem vyhodnotil odchylky napětí z hlediska průměrných hodnot napětí v 95 % času, a to v odchylkách $U_n \pm 10\%$. Dle normy nesmí žádná hodnota napětí během měření překročit rozsah $U_n +10\%/-15\%$. Proto jsem si pomocí funkcí v excelu MAX a MIN vyhodnotil maximální a minimální středních hodnot napětí dopočítané podle vztahu (3.2), které jsou vyhodnoceny v obr 3.3 a obr. 3.5.



Obr. 3.3: Histogram maximálních středních hodnot napětí během měření

Z obr. 3.3 lze vidět, že 251 DTS splňuje dovolené odchylky dle normy, z toho 149 DTS splňuje interní pokyny EG.D a napětí je zde v mezích 230 až 244 V. 4 DTS nevyhovují dovoleným odchylkám dle normy a překračují maximální hodnotu napětí.

V tab. 3.2 jsem uvedl DTS, které nesplnili dovolené odchylky napětí a jejich jmenovité výkony. Kromě DTS s ID měřením 124868, nebylo uvedeno, zda je připojený lokální zdroj NN, který by navyšoval napěťový profil DS. Na obr. 3.4 lze vidět, že u DTS (ID měření-122868) došlo k překročení maximální hodnoty napětí došlo během měření opakovaně, a to dokonce po dobu 20 hodin a 40 minut z celkové doby měření, které trvalo 10 dní a 3 hodiny. Tedy překročení maximální dovolené odchylky napětí trvalo 8,5 % času z celkové doby měření.



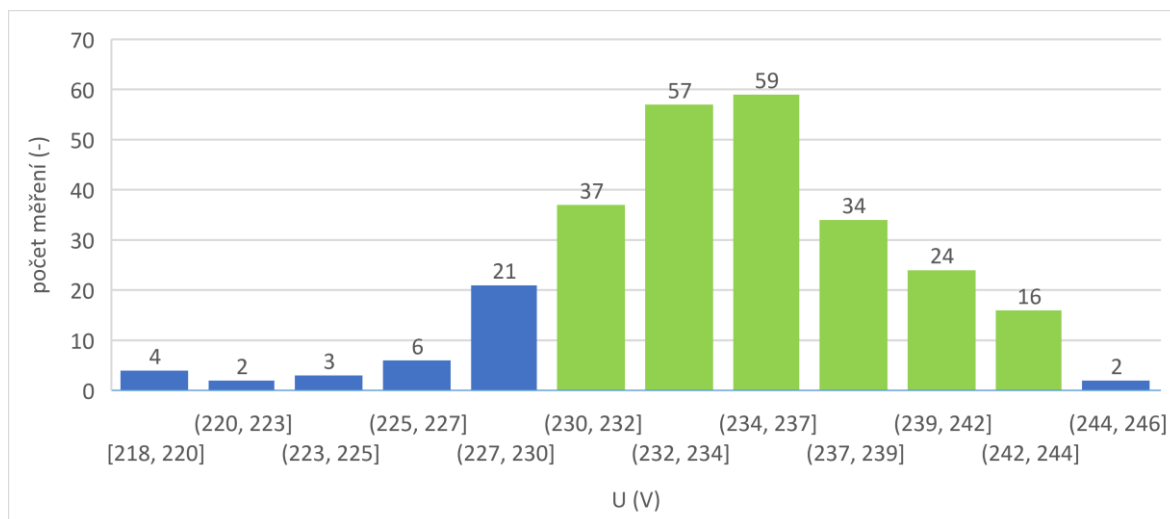
Obr. 3.4: Časový průběh napětí transformátoru nevyhovující dle dovolených odchylek (ID měření-122868)

Tab. 3.2: Velikosti napětí u DTS, které nesplnily dovolené odchylky napětí

ID Měření	$U_{střmax}$ (V)	S_n (kVA)
118421	253,3	250
119501	254,6	250
124868	254,5	160
126661	253,2	400

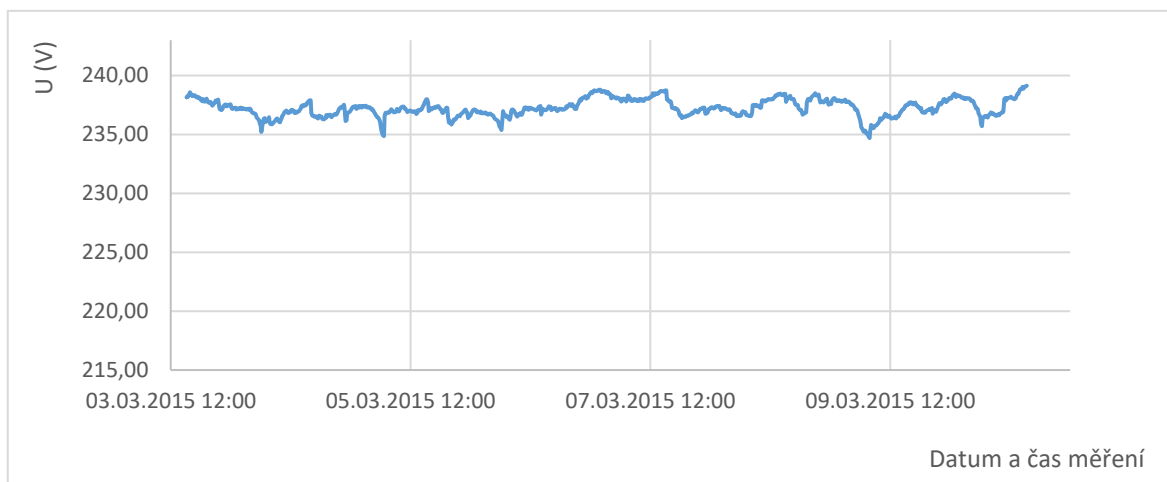
Viz obr. 3.5 všechny DTS splnily dolní dovolenou odchylku napětí, která je dle normy $U_n - 15 \%$, dokonce minimální dopočítaná střední hodnota napětí viz vztah (3.2) nebyla menší než $U_n - 10 \%$.

Ze všech průměrných středních hodnot napětí během 95 % času měření jsem si spočítal průměrnou hodnotu napětí, která je 241,8 V. Napětí se pohybovalo v mezích větší než jmenovité, což je vidět na obr. 3.2.

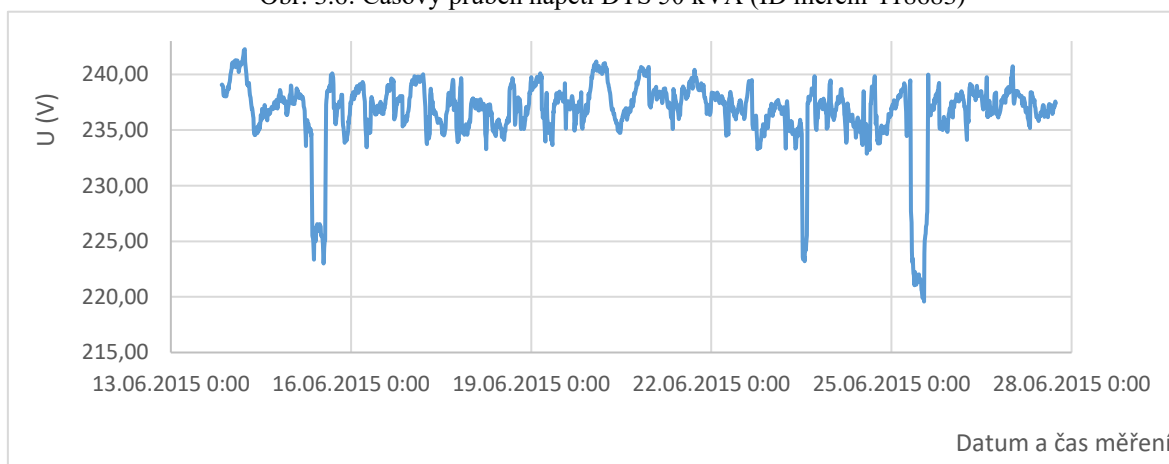


Obr. 3.5: Histogram minimálních středních hodnot napětí během měření

Pro zajímavost jsem si vybral 2 transformátory, kde rozdíl maximální a minimální hodnoty napětí byl nejmenší a největší. Z časového průběhu napětí viz obr. 3.6 malé DTS 50 kVA je vidět, že rozdíl maximální a minimální hodnoty napětí je 4,4 V. Oproti tomu DTS 160 kVA viz obr. 3.7 má velký rozkmit napětí, to se pohybovalo v mezích od 219,6 V do 242,3 V. Rozdíl těchto napětí je 22,7 V, což je přibližně 10 % U_n .



Obr. 3.6: Časový průběh napětí DTS 50 kVA (ID měření-118683)



Obr. 3.7: Časový průběh napětí DTS 160 kVA (ID měření-121328)

3.2 Vyhodnocení zatížení DTS

Zatížení DTS má vliv na její provozní náklady, proto je třeba vyhodnocovat maximální a průměrné zatížení, z hlediska provozních ztrát a tím spojených nákladů na provoz DTS viz kapitola 1.2.1, ale možnost budoucího rozšíření distribuce elektrické energie ke konečným uživatelům. Z celkového počtu 265 měření na DTS, jsem byl nucen nevyhodnocovat zatížení na 82 DTS, vlivem chyby měřící přístroje, kdy došlo k zaokrouhlení hodnot výkonů na jednotky kW respektive kVAr viz tab. 3.3 a při vyhodnocení těchto dat vyšlo u některých DTS, že zatížení DTS bylo větší než 500 % S_n a u některých pouze 0,5 % S_n . Proto jsem se rozhodl, nevyhodnocovat zatížení u DTS s těmito hodnotami, aby vyhodnocení zatížení nebylo zkreslené.

Obdržená naměřená data viz tab. 3.3 nemají dopočítané všechny potřebné parametry pro vyhodnocení zatížení, musel jsem určit zdánlivý výkon DTS za použití Pythagorovy věty, podle vztahu (3.3).

Tab. 3.3: Příklad zaokrouhlených hodnot

Datum	U1	U2	U3	P1	P2	P3	P	Q1	Q2	Q3	Q
27.07.2015 13:50	241,2	241,6	240,2	-16000	-19000	-15000	-50000	-7000	-6000	-5000	-18000
27.07.2015 14:00	240,9	242,0	240,4	-16000	-13000	-14000	-44000	-6000	-6000	-6000	-17000
27.07.2015 14:10	240,8	242,2	240,6	-18000	-13000	-15000	-45000	-6000	-5000	-6000	-17000
27.07.2015 14:20	241,0	242,2	240,7	-20000	-16000	-15000	-51000	-6000	-5000	-6000	-17000

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ (VA)} \quad (3.3)$$

Kde P je třífázový činný výkon a Q je třífázový jalový výkon.

Po dopočítání všech zdánlivých výkonů bylo potřeba vyhodnotit zatížení v desetiminutových intervalech měření, které jsem vyhodnotil v procentech, podle vztahu (3.4).

$$\text{zatížení DTS} = \frac{S}{S_n} * 100 \text{ (\%)} \quad (3.4)$$

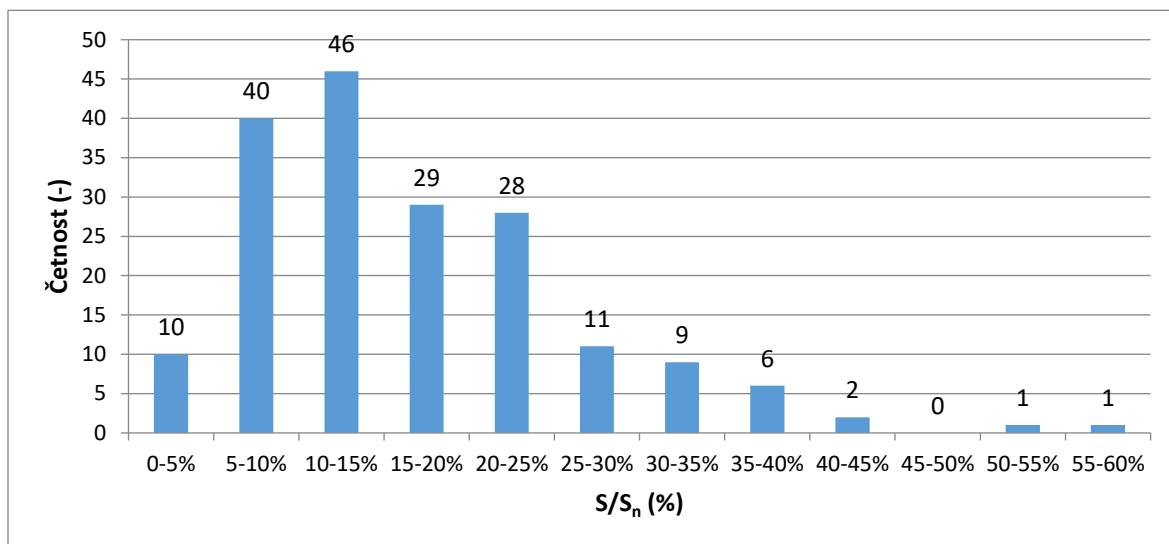
Kde S je zdánlivý výkon v desetiminutovém intervalu měření a S_n je jmenovitý výkon DTS.

Po dopočítání aktuálního zatížení DTS během 10minutového intervalu jsem použil funkce PRŮMĚR, MAX a MEDIAN v excelu, k vyhodnocení průměrného (středního) a maximálního zatížení DTS.

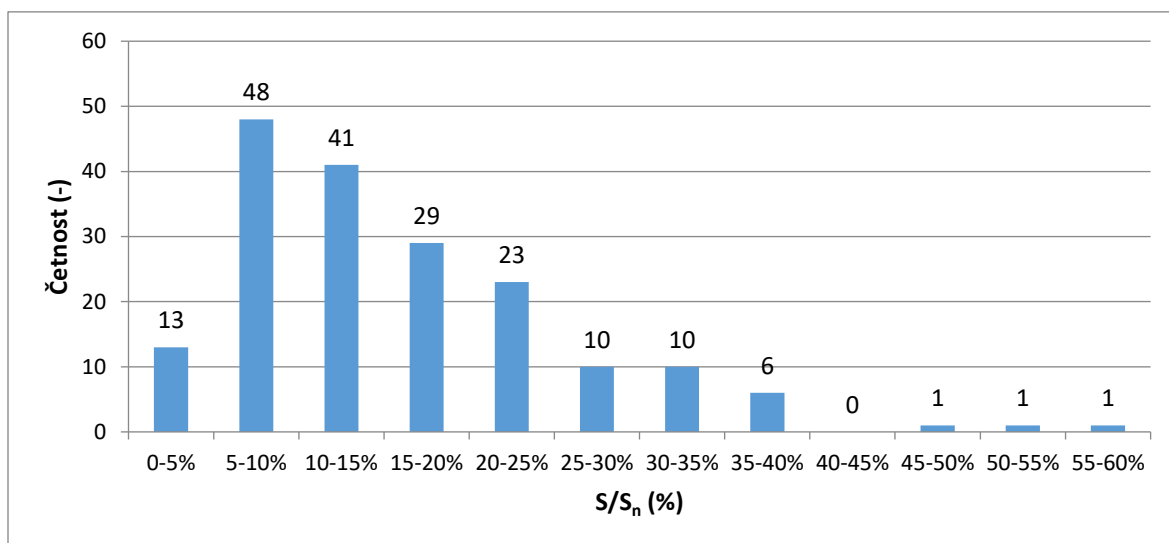
Zatížení DTS vyhodnotím souhrnně pro všechny měření na DTS, potom rozdělím jednotlivé zatížení DTS do skupin podle jmenovitého výkonu DTS.

Viz obr. 3.8 jde vidět, že z 183 vyhodnocených DTS se jejich průměrné zatížení pohybuje od 3 do 63 %. Průměr průměrného zatížení DTS je 16,7 %, což je na zatížení DTS poměrně malá hodnota. Z obdržených dat nelze přesně určit, proč je zatížení DTS tak malé. Vzhledem k době měření na DTS, která se obvykle pohybovala okolo týdnu, v některých případech déle, nelze přesně říct, jak se průměrné zatížení mění v průběhu roku.

Pro zajímavost jsem spočítal i medián zatížení, ten by oproti průměrnému zatížení neměl být ovlivněn extrémními hodnotami, ale jak je vidět viz obr. 3.8 a obr. 3.9, medián a průměrné zatížení se moc neliší. V některých případech pouze o jednotky procent, proto jsem ho uvedl pouze u zatížení všech DTS.



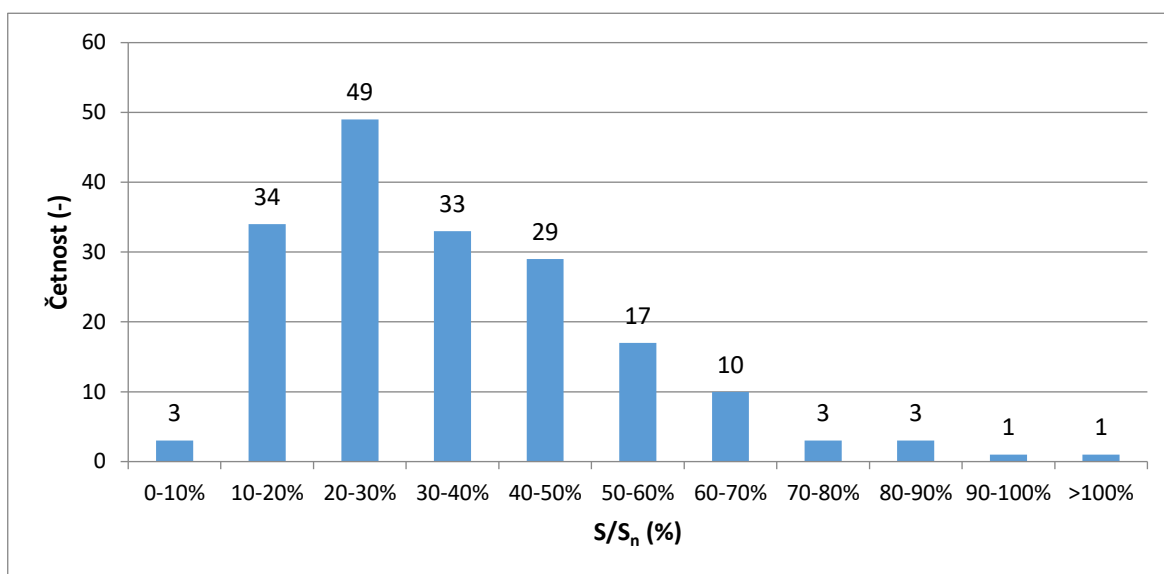
Obr. 3.8: Průměrné zatížení DTS (souhrnně pro všechny DTS)



Obr. 3.9: Medián zatížení DTS (souhrnně pro všechny DTS)

Důležité je mít přehled o maximálním zatížení transformátoru, jelikož spotřeba elektrické energie není během dne konstantní, ale dochází k výkonovým špičkám, je potřeba ověřit, zda nedochází k přetěžování transformátoru. Při přetížení transformátoru dochází k nárůstu tepelných ztrát a dochází k většímu tepelnému namáhání stroje (snižuje se životnost transformátoru).

136 DTS bylo při maximálním zatížení během měření zatíženo pod 45 %. Hodnota zatížení pro těchto 136 DTS je nízká oproti optimálnímu zatížení transformátoru. Pro dalších 46 DTS se zatížení pohybovalo v rozmezí od 45 do 88 %, což je můžeme považovat z hlediska ztrát za optimální zatížení. Maximální zatížení DTS, která v obr. 3.10 vyčnívala, byla DTS o výkonu 100 kVA. Na této DTS došlo k přetížení o 56 %, tedy její maximální zatížení v 10minutovém intervalu bylo 156 %.



Obr. 3.10: Histogram maximálního zatížení DTS (souhrnně pro všechny DTS)

Jmenovité výkony DTS, které se objevily v měřeních byly 50, 100, 160, 250, 400 a 630 kVA viz tab. 3.4. Jak jsem zmiňoval výše, pro některé DTS jsem zatížení nevyhodnotila, dokonce pro 2 DTS nebyl uveden jejich jmenovitý výkon. Zastoupení DTS, u kterých jsem vyhodnotil zatížení podle jmenovitých výkonů je uveden v tab. 3.4.

Tab.3.4: Zastoupení jednotlivých DTS podle jejich jmenovitého výkonu

S _n (kVA)	n (-)	n _s (-)
50	5	1
100	12	7
160	49	30
250	57	40
400	106	82
630	34	23

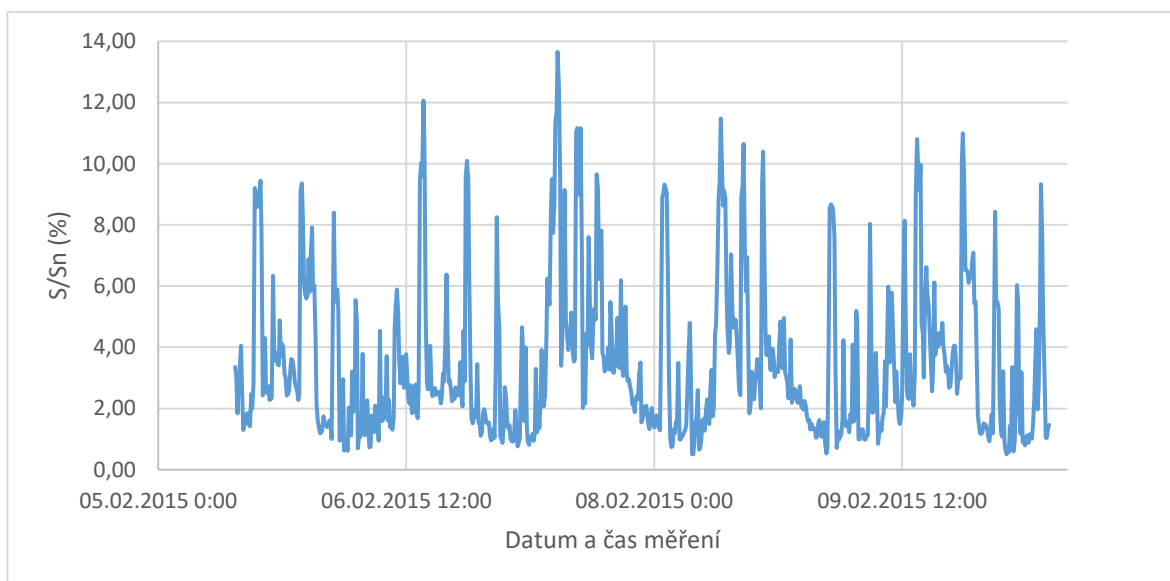
Kde S_n je jmenovitý výkon transformátoru, n je celkový počet DTS a n_s je počet transformátorů, pro které jsem vyhodnotil zatížení.

Největší zastoupení DTS bylo o výkonu 400 kVA. Naopak nejmenší zastoupení měly DTS o výkonu 50 kVA.

3.2.1 Vyhodnocení zatížení pro DTS 50 kVA

Vyhodnocení zatížení pro DTS o výkonu 50 kVA bylo možné pouze u jedné DTS, proto zde uvedu pouze průběh zatížení v čase měření.

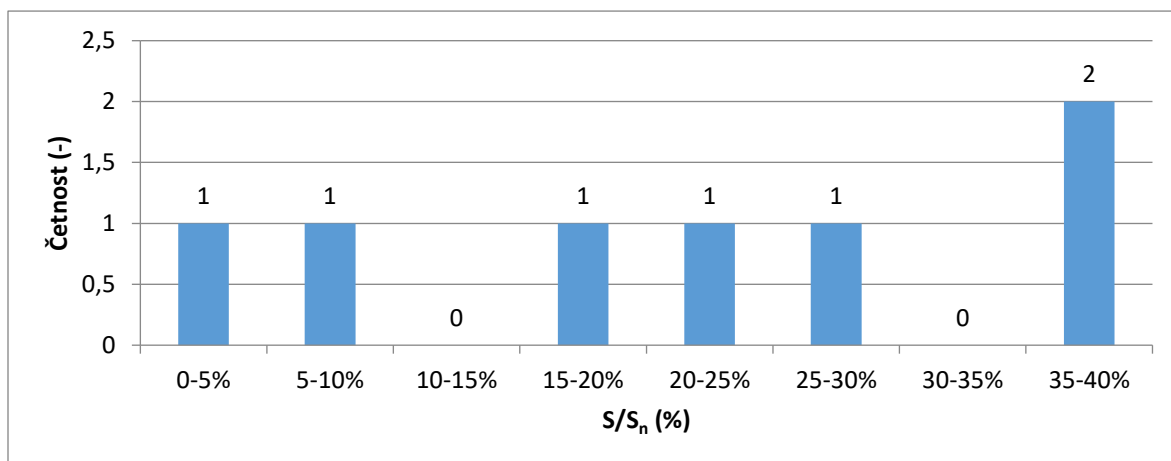
Zatížení DTS 50 kVA viz obr. 3.11 se pohybovalo v rozsahu od 0,5 do 13,7 %. To je zatížení velice malé, ale je možné, že k zatížení dochází pouze výjimečně, protože v poznámkách měření bylo uvedeno Monitoring napětí v DTS. Z tohoto důvodu se domnívám, že mohlo proběhnout měření na DTS i bez většího odběru elektrické energie.



Obr. 3.11: Průběh zatížení DTS 50 kVA (ID měření-116827)

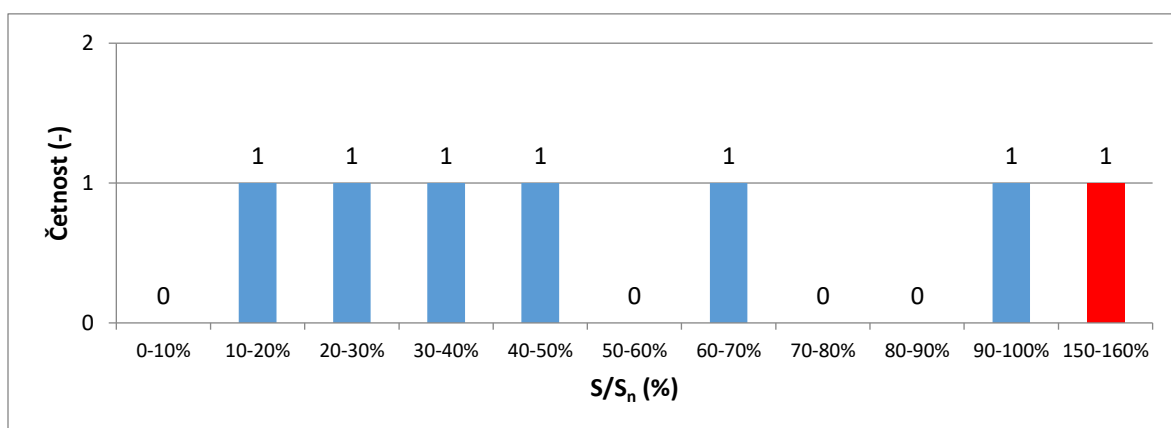
3.2.2 Vyhodnocení zatížení pro DTS 100 kVA

Zatížení DTS o výkonu 100 kVA jsem vyhodnotil pro 7 DTS. Viz obr. 3.12 z 7 vyhodnocených měření DTS bylo pro 3 DTS průměrné zatížení menší než 20 %, tedy zatížení velice malé a z hlediska zatížení neoptimální. Ztráty transformátoru jsou z velké části pouze ztráty naprázdno. Pouze u 2 DTS 100 kVA bylo průměrné zatížení v rozmezí 35 až 40 %. Průměrné zatížení pro skupinu DTS o výkonu 100 kVA bylo 22 %.



Obr. 3.12: Histogram průměrného zatížení pro DTS 100 kVA

Viz obr. 3.13 je na první pohled patrné, že u jedné DTS došlo v průběhu měření (ID měření-122481) k přetížení DTS na 156 % jmenovitého výkonu. Průměrné maximální zatížení této skupiny DTS je 63 %, což je hlavně způsobeno malým počtem DTS a jedním přetíženým transformátorem v této skupině DTS.

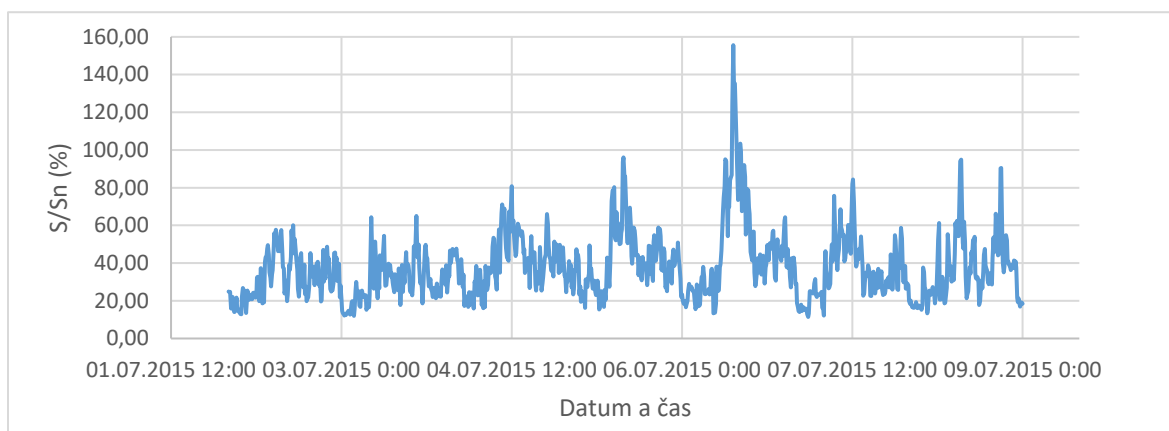


Obr. 3.13: Histogram maximálního zatížení pro DTS 100 kVA

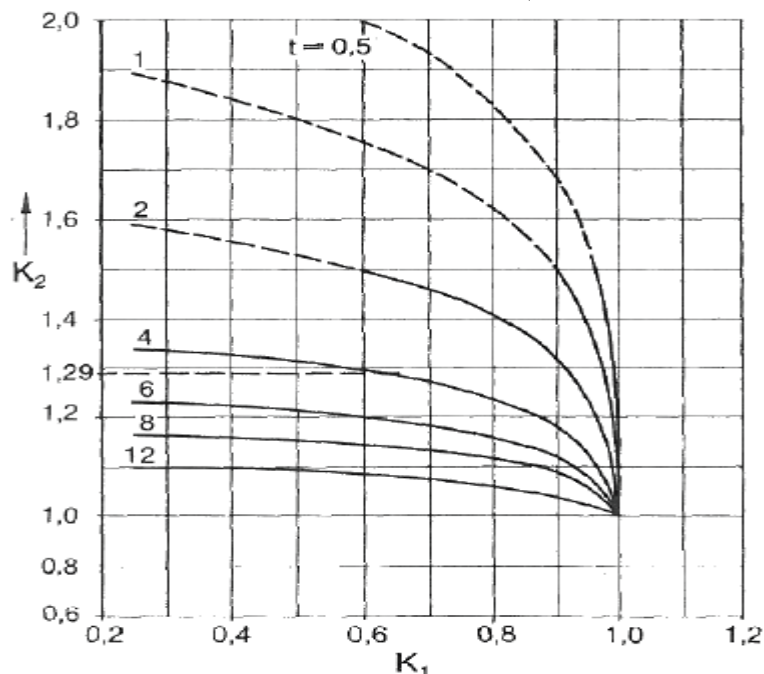
Z naměřených hodnot lze vidět, že k přetížení došlo okolo 11. hodiny viz tab. 3.6. Jelikož neznám informace a přesné parametry měřených transformátorů nemůžu usoudit, z jakého důvodu došlo k přetížení transformátoru. Transformátor byl přetěžován po dobu 1 hodiny a transformátorem tekla proud větší než 1,5násobek jmenovitého proudu. Tak velké přetížení transformátoru má za následek zvýšení ztrát transformátoru. Vzhledem k tomu, že měření proběhlo v letních měsících, muselo dle mého názoru dojít k výraznému oteplení stroje.

Tab. 3.6: Naměřené hodnoty DTS 100 kVA při přetížení (ID měření-122481)

Datum a čas	P1 (kW)	P2 (kW)	P3 (kW)	P (kW)	Q1 (kVAr)	Q2 (kVAr)	Q3 (kVAr)	Q (kVAr)	S (kVA)	S/Sn (%)
06.07.2015 10:30	12551	24810	45721	83080	7267	5648	11953	24868	86722,0	86,7
06.07.2015 10:40	18772	35324	65437	119530	9616	6309	17982	33907	124246,1	124,2
06.07.2015 10:50	35204	54189	57403	146800	15657	13078	22866	51601	155605,0	155,6
06.07.2015 11:00	27699	46465	49859	124020	17222	13630	23075	53927	135237,1	135,2
06.07.2015 11:10	24674	51955	51101	127730	14395	10644	19699	44738	135338,2	135,3
06.07.2015 11:20	34362	40993	43063	118420	12107	6539	14809	33455	123055,0	123,1
06.07.2015 11:30	37027	31700	34161	102890	7374	851	8991	17216	104320,4	104,3
06.07.2015 11:40	30360	20071	40068	90500	2448	-661	8872	10659	91125,5	91,1



Obr. 3.14: Průběh zatížení DTS 100 kVA (ID měření-122481)



Obr. 3.15: Přetěžovací charakteristika transformátoru [1]

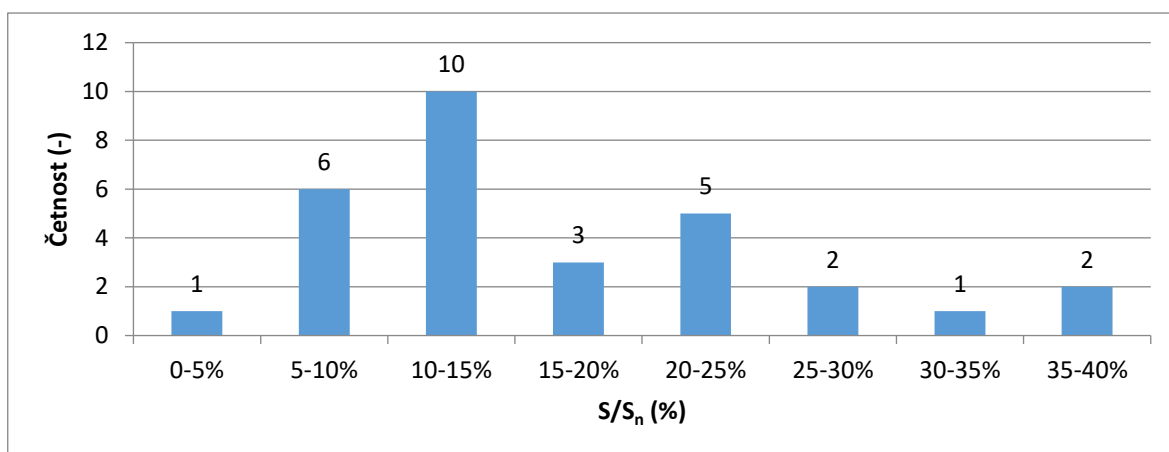
Viz. obr. 3.15, kde parametr K_1 je průměrné zatížení transformátoru před přetížením, parametr K_2 charakterizuje, k jak velkému přetížení má dojít a parametr t je doba, po

kteřou můžeme daný transformátor přetěžovat. Důležitě je zmínit, že tato charakteristika není pro daný transformátor, u kterého došlo k přetížení, ale z charakteristiky je vidět, že průměrné zatížení transformátoru bylo přibližně 40 % a transformátor bychom chtěli přetížit na 1,5násobek jmenovitého výkonu, mohli bychom transformátor přetěžovat po dobu přibližně 3 hodin. Proto lze s největší pravděpodobností tvrdit, že nedošlo k poškození stroje během přetížení.

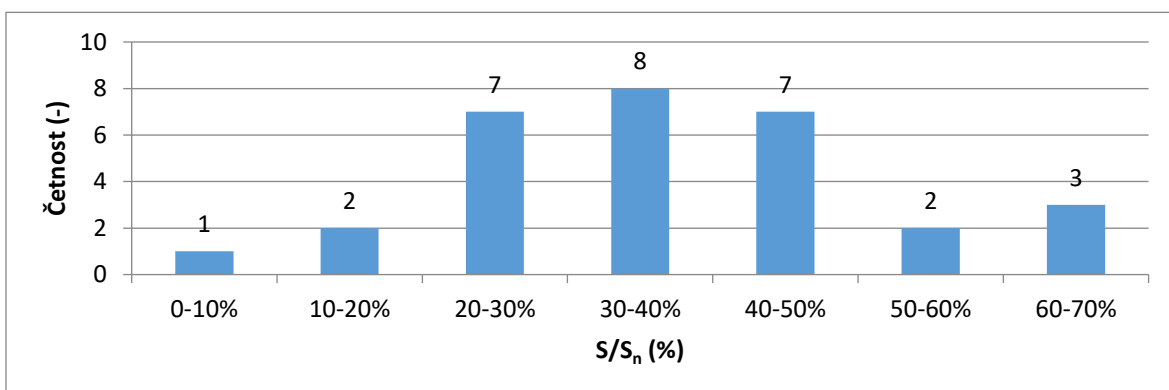
3.2.3 Vyhodnocení zatížení pro DTS 160 kVA

U DTS o výkonu 160 kVA jsem vyhodnotil zatížení pro 30 DTS.

Průměrné zatížení DTS o výkonu 160 kVA bylo v průměru 17 %, to je zatížení malé a dokonce o 5 % menší než u DTS o výkonu 100 kVA viz kapitola 3.2.2. Mezi měřeními DTS byly pouze 2 DTS, které měly zatížení 37 a 38 %, o kterých bychom mohli tvrdit, že se blíží k optimálnímu zatížení. 20 DTS bylo po dobu měření zatíženo pod 20 % jmenovitého výkonu.



Obr. 3.16: Histogram průměrného zatížení DTS 160 kVA



Obr. 3.17: Histogram maximálního zatížení DTS 160 kVA

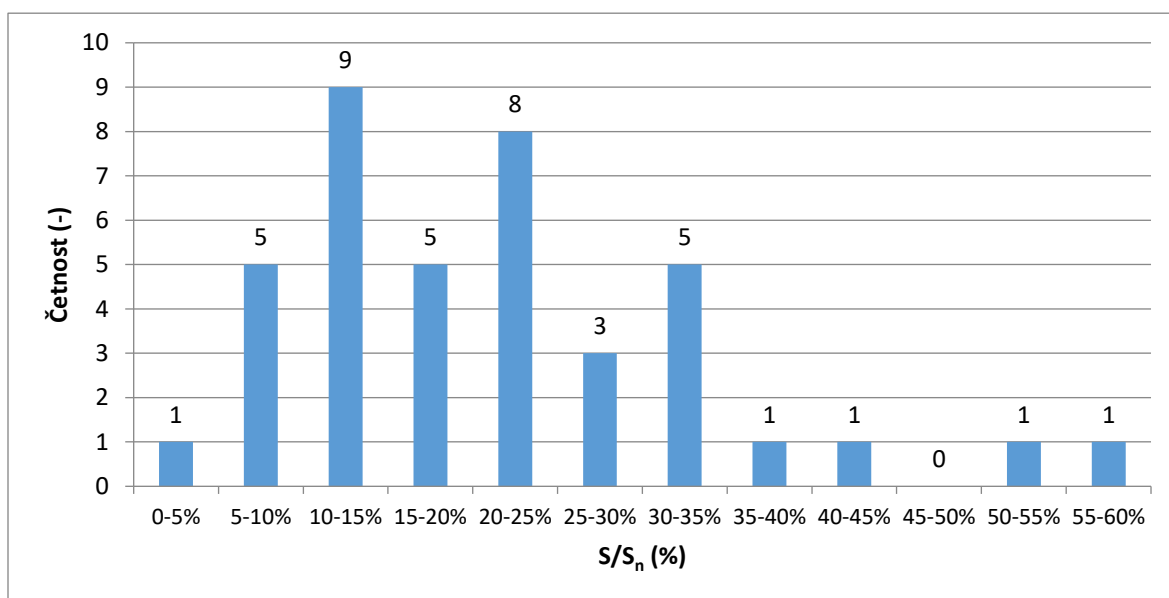
18 DTS bylo maximálně zatíženo pod 40 % jmenovitého výkonu. Pouze 5 DTS bylo maximálně zatíženo od 50 do 70 %, což by odpovídalo optimálnímu zatížení DTS, ale vzhledem k tomu, že se jedná o maximální zatížení během měření, tak bych očekával

takové zatížení jako průměrné. Zbylých 7 DTS bylo zatíženo mezi 40 až 50 % jmenovitého výkonu.

3.2.4 Vyhodnocení zatížení pro DTS 250 kVA

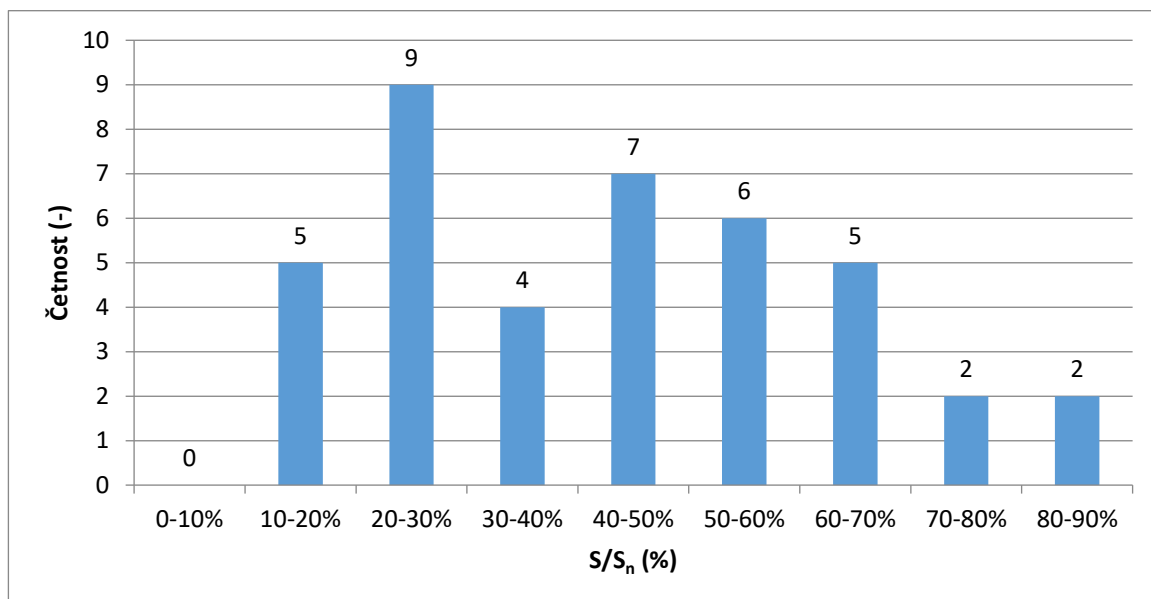
Z naměřených dat vhodných pro vyhodnocení zatížení byla skupina DTS o výkonu 250 kVA druhou nejčetnější skupinou, její počet činí 40 DTS.

DTS o výkonu 250 kVA byly průměrně zatíženy na 21 %, což je průměrné zatížení srovnatelné se skupinou DTS o výkonu 100 kVA. Viz obr. 3.18 je zatížení 15 DTS do 15 %, tedy velice málo zatížené DTS. 22 DTS bylo zatíženo v rozmezí 15 až 40 % jmenovitého výkonu. Pouze 3 DTS byly průměrně zatíženy od 40 do 60 %. Stejně jako v předchozích skupinách se průměrné zatížení DTS pohybuje na velice nízkých hodnotách a pouze pár DTS se blíží optimálnímu zatížení.



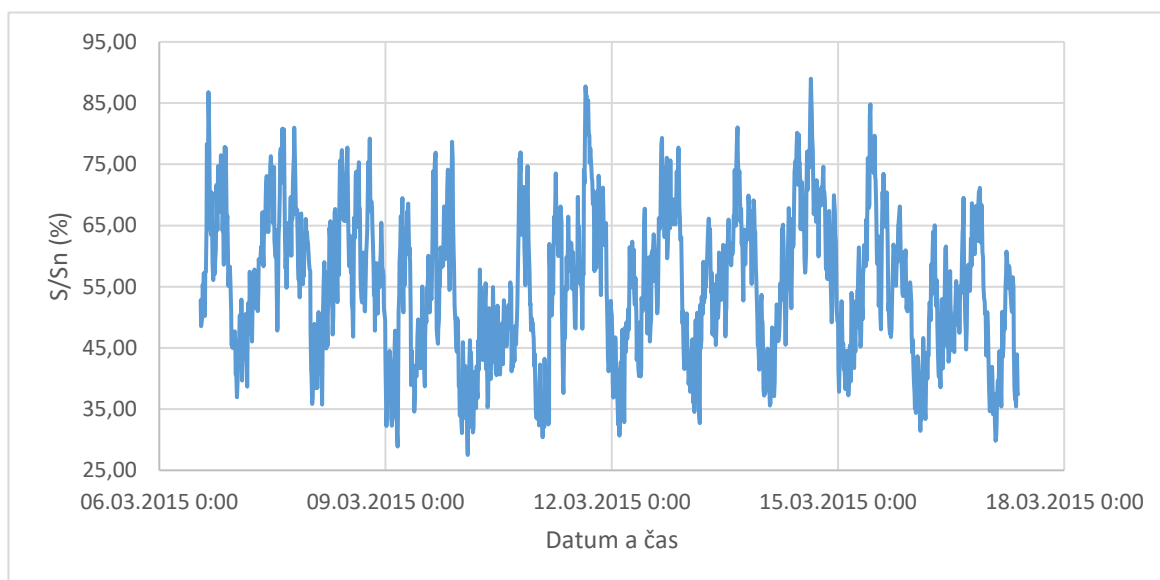
Obr. 3.18: Histogram průměrného zatížení pro DTS 250 kVA

Z hlediska max. zatížení viz obr. 3.19 bylo 14 DTS o výkonu 250 kVA bylo maximálně zatíženo do 30 % jmenovitého výkonu. Dalších 11 DTS bylo maximálně zatíženo od 30 do 50 % jmenovitého výkonu. Pouze 11 DTS bylo optimálně zatíženo mezi 50 až 70 % jmenovitého výkonu. 4 DTS během zatížení dosáhly maximálního zatížení v rozmezí 70 až 90 % jmenovitého výkonu.



Obr. 3.19: Histogram maximálního zatížení pro DTS 250 kVA

DTS viz obr. 3.20 byla maximálně zatížena na 89 % jmenovitého výkonu. Průměrné zatížení této DTS bylo 55 %. V poznámkách u této DTS PDS uvedl, že se jednalo o monitoring kvality dodávky elektrické energie z důvodu podané stížnosti, ale z naměřených dat můžu potvrdit, že během měření nedošlo k přerušení dodávky elektrické energie a naměřené napětí zde bylo dle dovolených odchylek daných normou, které jsem vyhodnotil v kapitole 3.1 také v pořádku.

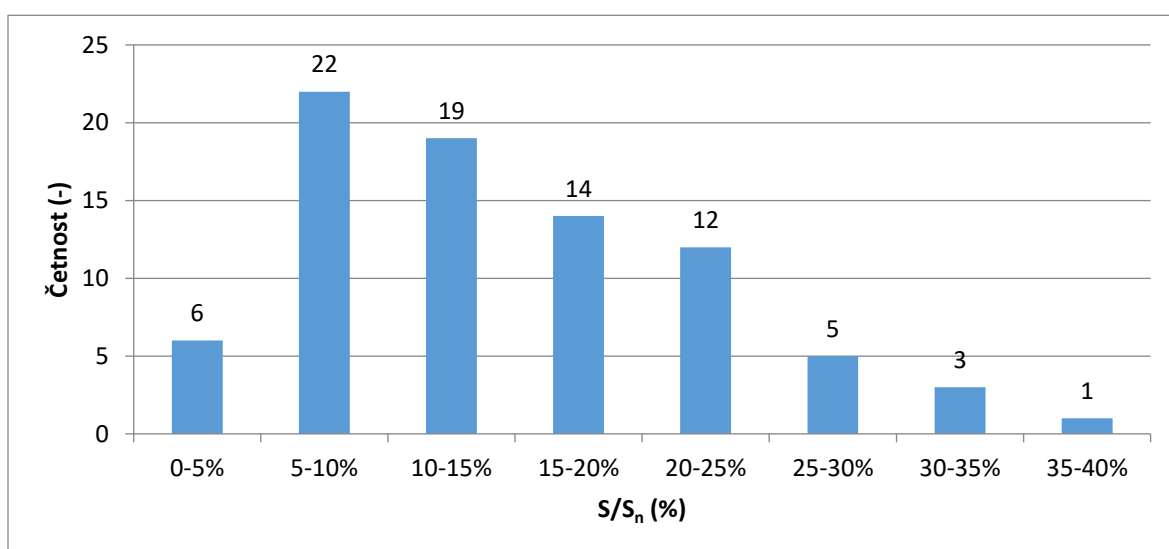


Obr. 3.20: Průběh zatížení DTS 250 kVA (ID měření-118541)

3.2.5 Vyhodnocení zatížení pro DTS 400 kVA

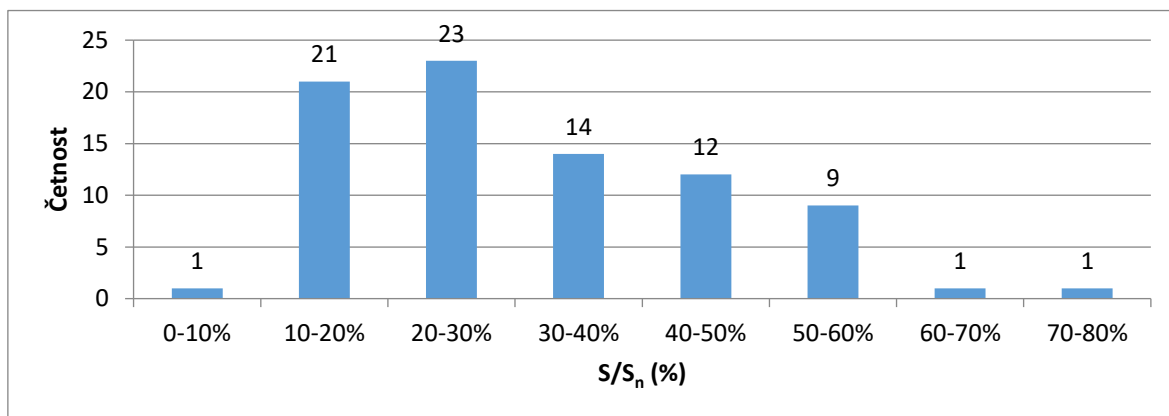
Skupina DTS o výkonu 400 kVA, byla nejčetnější skupinou. Obsahovala 82 DTS, což je téměř polovina z počtu měřených DTS, u kterých jsem vyhodnotil zatížení.

Skupina měřených DTS o výkonu 400 kVA převyšovala počet všech ostatních, proto bych očekával, že ve vytvořeném histogramu se bude průměrné zatížení pohybovat okolo 50 %, ale ani v tomhle případě tomu tak není. Skupina DTS 400 kVA byla průměrně zatížena na 15 %, což ji řadí na předposlední příčku podle průměrného zatížení skupin DTS (pokud neuvažuji skupinu 50 kVA, která obsahovala pouze jednu DTS). 61 z 82 DTS bylo zatíženo do 20 % jmenovitého výkonu. Takové zatížení je velice malé. 17 DTS bylo zatíženo mezi 20 až 30 % jmenovitého výkonu. 4 z 82 DTS byly zatíženy od 30 % do 40 % jmenovitého výkonu viz obr. 3.21.



Obr. 3.21: Histogram průměrného zatížení pro DTS 400 kVA

Z hlediska maximálního zatížení viz obr. 3.22 45 DTS bylo zatíženo do 30 % jmenovitého výkonu, jelikož jde o maximální dosaženou hodnotu během měření, je takto zatížená DTS značně předimenzovaná a nevyužitá. Pokud bych uvažoval, že takový průběh zatížení bude obdobný po celý čas, zvážil bych, zda není vhodné vyměnit transformátor za transformátor s nižším jmenovitým výkonem. 26 DTS dosáhlo maximálního zatížení mezi 30 až 50 % jmenovitého výkonu. 10 DTS bylo maximálně zatíženo mezi 50 až 70 % jmenovitého výkonu. Pouze jedna DTS byla zatížena maximálně na 79 % jmenovitého výkonu. Průměr maximálního zatížení skupiny DTS 400 kVA je 31 %.



Obr. 3.22: Histogram maximálního zatížení DTS 400 kVA

Jelikož zatížení DTS vychází malé, zkusím pro zajímavost vypočítat, jak by zatížení vypadalo, pokud by se zvolil transformátor s menším jmenovitým výkonem. Pro tento případ jsem si zvolil DTS (ID měření-116427), kde proběhlo měření z důvodu monitoringu kvality dodávky elektrické energie. Průměrné zatížení této DTS je 35 % a maximální dosažené zatížení během měření je 54 % jmenovitého výkonu. Pokud by se transformátor vyměnil za transformátor s výkonem 250 kVA, průměrné a maximální zatížení by se změnilo podle vztahu (3.5) pro výpočet využití nepřímou úměrou.

$$z_{avg} = \frac{S_{n_old} \cdot z_{old_avg}}{S_{n_new}} = \frac{400 \cdot 35}{250} = 56 \text{ (\%)} \quad (3.5)$$

Kde z_{avg} je průměrné zatížení pro nově zvolený transformátor o menším výkonu, $S_{n_old_avg}$ je jmenovitý výkon původního transformátoru, S_{n_new} je jmenovitý výkon nově zvoleného transformátoru a z_{old_avg} je velikost průměrného zatížení, které bylo naměřeno u původního transformátoru.

Pokud by došlo k výměně transformátoru za transformátor s menším výkonem, došlo by k změně zatížení z 35 na 56 % jmenovitého výkonu. Ještě je potřeba určit maximální zatížení nového transformátoru, jelikož z průměrného zatížení nelze určit, zda nedochází k přetížení transformátoru. Maximální zatížení pro transformátor s menším výkonem určit obdobným způsobem jako průměrné zatížení, akorát za průměrné zatížení dosadím maximální zatížení viz vztah (3.6).

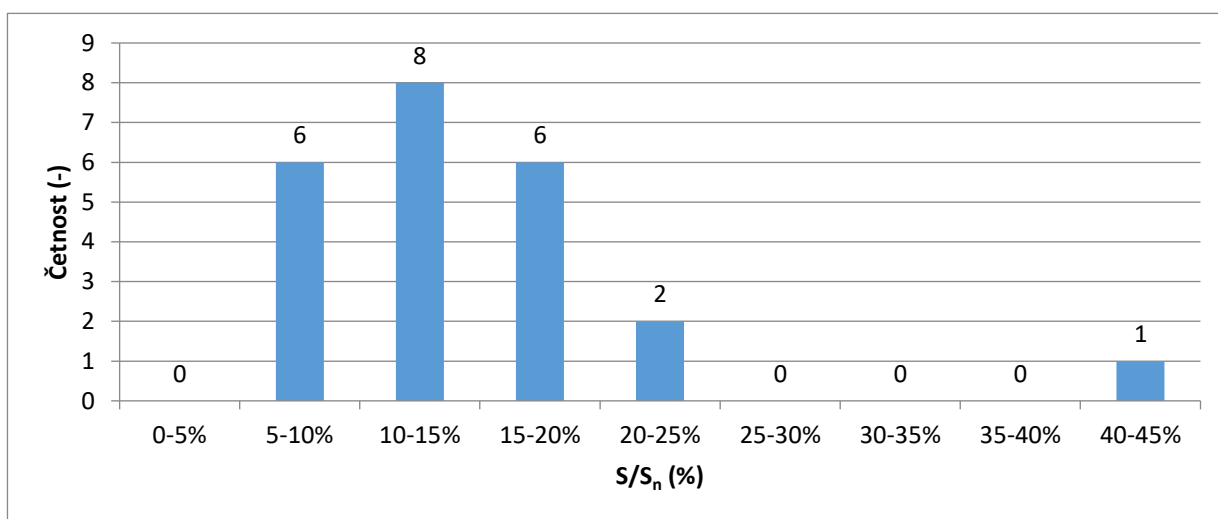
$$z_{max} = \frac{S_{n_old} \cdot z_{old_max}}{S_{n_new}} = \frac{400 \cdot 56}{250} = 89,6 \text{ (\%)} \quad (3.6)$$

Kde z_{max} je nová hodnota maximálního zatížení, z_{old_max} je maximální dosažené zatížení během měření pro původní transformátor.

Nově zvolený transformátor s menším jmenovitým výkonem by ve špičce dosáhl maximálního zatížení 89,6 %.

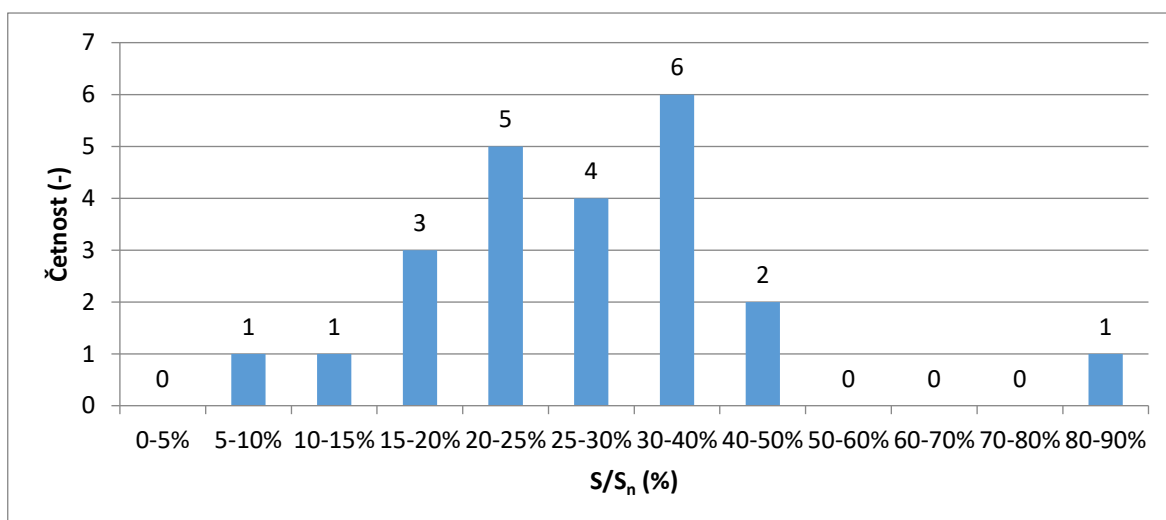
3.2.6 Vyhodnocení zatížení pro DTS 630 kVA

Skupina DTS o výkonu 630 kVA obsahovala 23 DTS, pro které jsem vyhodnotil zatížení. Viz obr. 3.23, 20 z 23 DTS bylo průměrně zatíženo na méně než 20 % jmenovitého výkonu-velice málo zatížené DTS. 2 DTS byly průměrně zatíženy na mezi 20 až 25 %, které bych také zahrnul do skupiny málo zatížených DTS. Jen 1 z 23 DTS byla zatížena na 41 % jmenovitého výkonu, což se blíží k optimálnímu zatížení. Průměrné zatížení skupiny DTS o výkonu 630 kVA bylo 14 % jmenovitého výkonu.



Obr. 3.23: Histogram průměrného zatížení pro DTS 630 kVA

Maximální zatížení pro 5 DTS bylo do 20 % jmenovitého výkonu viz obr. 3.24. 14 DTS byly maximálně zatíženy v rozmezí od 20 do 40 %. Další 2 DTS byly zatíženy na 50 % jmenovitého výkonu. 1 DTS byla dokonce maximálně zatížena na 85 %.



Obr. 3.24: Histogram maximálního zatížení pro DTS 630 kVA

3.2.7 Porovnání zatížení jednotlivých výkonových skupin DTS

Tab. 3.7: Porovnání zatížení jednotlivých výkonových skupin DTS

S_n (kVA)	n (-)	$\bar{\sigma} S/S_n$ (%)	Max S/S_n (%)
50	1	3	14
100	7	22	63
160	30	17	37
250	40	21	43
400	82	15	31
630	23	14	30

Kde S_n je jmenovitý výkon skupiny DTS, n je počet DTS v dané výkonové skupině, $\bar{\sigma} S/S_n$ je průměr průměrného zatížení DTS a Max S/S_n je průměrné maximální zatížení skupiny DTS.

Z hlediska průměrného zatížení byla nejvíce zatížená skupina DTS o výkonu 100 kVA, která byla průměrně zatížena na 22 % jmenovitého výkonu. Na druhém místě s průměrným zatížením 21 % byla skupina DTS o výkonu 250 kVA. Skupina DTS o výkonu 160 kVA byla 3. nejvíce zatížená skupina DTS s průměrným zatížením 17 %. 4. a 5. místo z hlediska průměrného zatížení a rozdílem 1 % v zatížení DTS jsou skupiny DTS o výkonu 400 a 630 kVA. S nejmenším průměrným zatížením skončila skupina DTS o výkonu 50 kVA, ale v této skupině se objevila pouze jedna DTS,

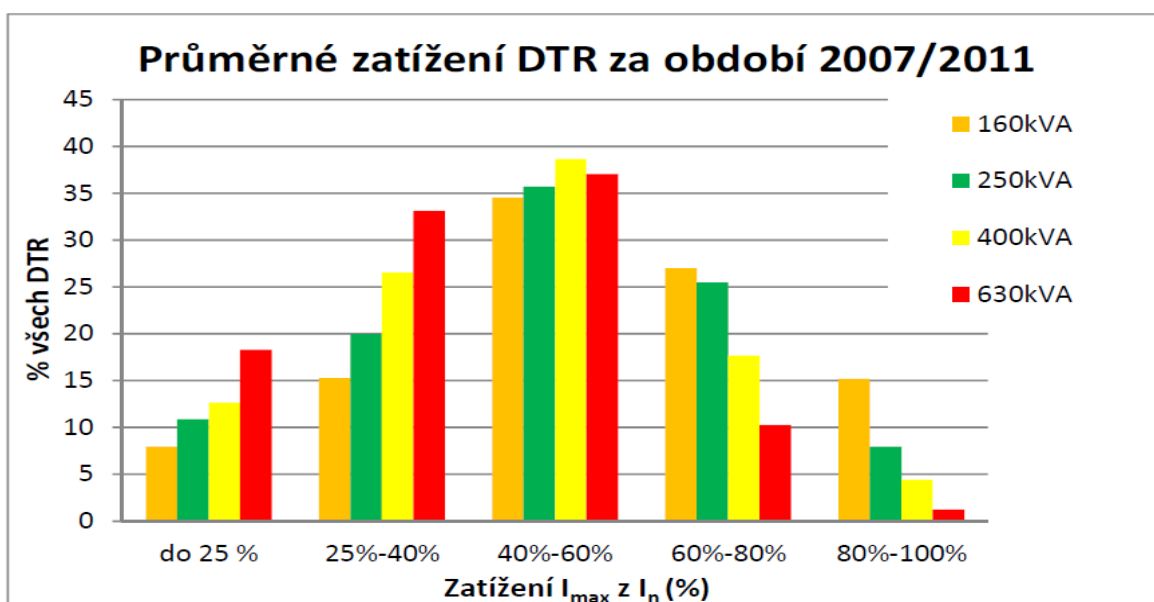
Z hlediska maximálního zatížení je vidět, že pořadí koreluje s průměrným zatížením DTS.

Měření na výše uvedených DTS se provádělo přibližně po dobu týdne u většiny DTS, objevily se i výjimky, kde měření bylo o pár dní delší. Z tohoto důvodu nelze odvodit závěr, zda všechny málo zatížené DTS jsou takto zatížené i v průběhu roku a vyplatila by se jejich výměna za transformátory s menším jmenovitým výkonem. Důležité je také zmínit, že zatížení transformátoru, respektive celé DTS není jediným parametrem pro volbu jmenovitého výkonu transformátoru. Jmenovitý výkon transformátoru se volí např. i s ohledem na impedanci, kde transformátor s větším jmenovitým výkonem bude mít menší impedanci, která bude mít za následek zhoršení zkratových poměrů v síti, ale zároveň povede k tomu, že daná síť bude tvrdší, tedy při větším zatížení nebude docházet ke kolísání napětí.

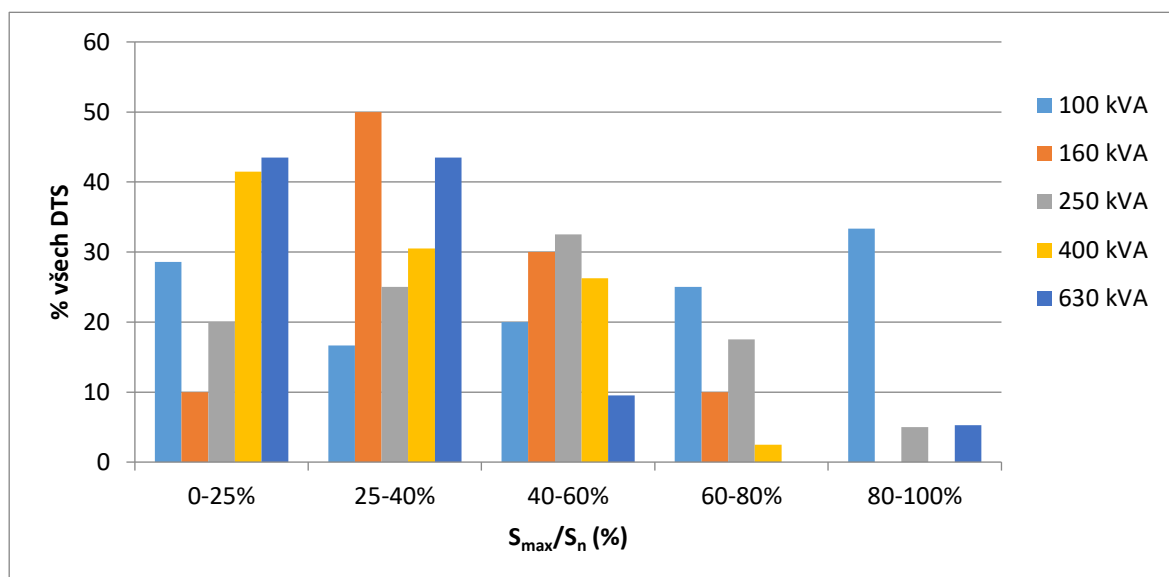
3.2.8 Porovnání maximálního zatížení se staršími hodnotami z roku 2007/ 2011

Na radu od vedoucí práce jsem se rozhodl porovnat mé hodnoty maximálního zatížení s daty, které v roce 2013 vyhodnotil Jakub Kuliš ve své diplomové práci na téma Analýza zatížení a regulačních možností distribučních transformátorů. Důležité je zmínit rozdíl mezi daty, jelikož moje vyhodnocení probíhalo z měření, která nebyla trvalé charakteru, ale jednalo se o měření např. z důvodu stížnosti nebo preventivních důvodů. Data, které vyhodnotil p. Kuliš, pochází z měření na DTS 22/0,4 kV v průběhu celého roku za použití přístroje EAM1, který vyhodnocuje maximální zatížení v průběhu roku. [11]

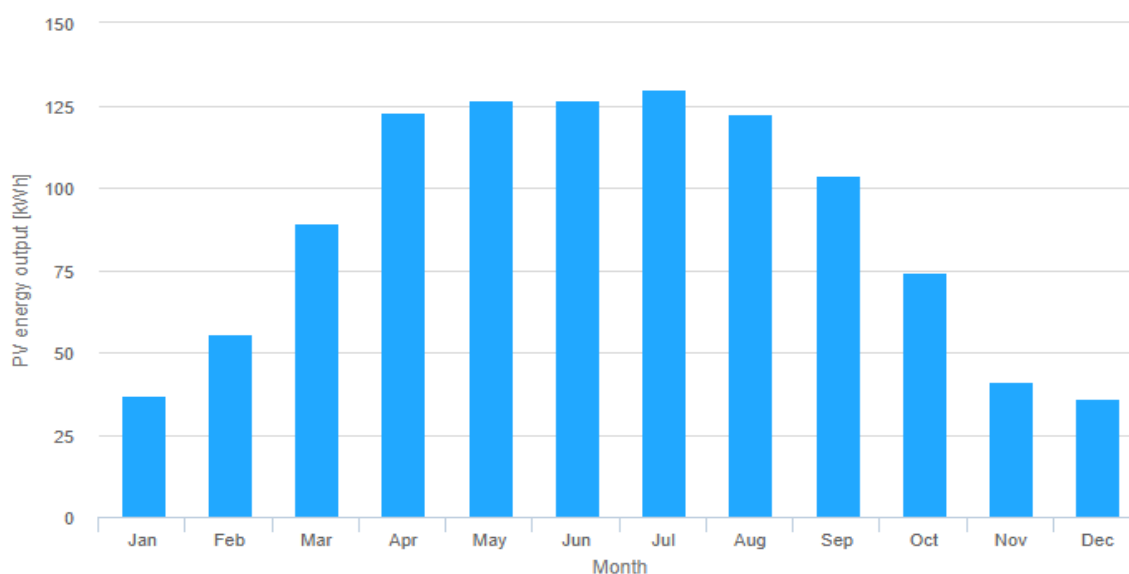
Z obr. 3.25 lze vidět, že z vyhodnocení dat z roku 2007 až 2011 je většina transformátorů maximálně zatížených mezi 40 až 60 % jmenovitého výkonu. Z vyhodnocení mých dat jsem ke stejnému závěru nedospěl, viz. obr. 3.26. Výsledky měření z roku 2007 až 2011 připomínají Gaussovu křivku, takový průběh jsem očekával i u mých výsledků, ale tomu se blíží pouze skupina transformátorů o výkonu 250 kVA. Podobnost výsledků lze vidět u transformátorů 630 kVA, kde zatížení 80 až 100 % u této výkonové skupiny dosáhlo minimum transformátorů. Ovšem velký rozdíl při porovnání těchto dat je celkový počet DTS. Zatímco já jsem vyhodnotil maximální zatížení pro 183 DTS z měření, která trvala obvykle týden, obr. 3.25 byl vytvořen za účelem vyhodnocení maximálního zatížení s počtem měření 1212 za období 2007/2008, 1966 za období 2008/2009, 1712 za období 2009/2010 a 1800 za období 2010/11. [11]



Obr. 3.25: Analýza maximálního zatížení DTS z roku 2007 až 2011 [11]



Obr. 3.26: Výsledky maximálního zatížení DTS mnou vyhodnocené



Obr. 3.27 Předpokládaná výroba FVE pro ČR podle PVGIS [12]

V obr. 3.1 jsem uvedl histogram četnosti měření za období, kdy byly naměřené moje výchozí hodnoty, jelikož se jednalo o DTS, ke kterým byly připojeny zdroje NN (FVE). Může být maximální zatížení ovlivněno ročním obdobím, jelikož v období od dubna do září vyrobí FVE nejvíce elektrické energie viz obr. 3.27. Při vizualizaci předběžné výroby elektrické energie jsem použil výchozí nastavení fotovoltaického systému a lokalitu zvolil České Budějovice, jen pro ukázkou rozložení výroby elektrické energie pomocí FVE. Z celkového počtu 183 měření, pro které jsem vyhodnotil zatížení, proběhlo měření na 87 DTS v období s největší vyrobenou elektrickou energií FVE. Z tohoto hlediska může být maximální zatížení ovlivněno oproti obr. 3.25.

3.3 Vyhodnocení účinníku

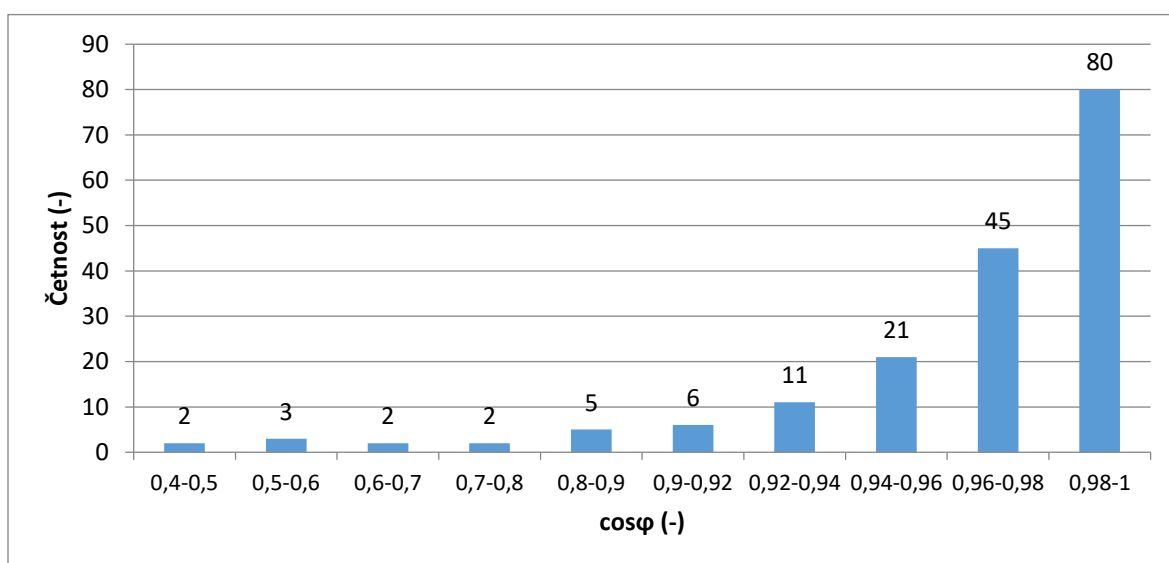
Z naměřených dat jsem provedl vyhodnocení účinníku pro 187 DTS. Jelikož se v naměřených datech poměrně často objevoval přetok výkonů do nadřazené sítě, je problematické vyhodnotit o jaký charakter zátěže se jedná. Z tohoto důvodu jsem účinník podle vztahu (3.7).

$$\cos\varphi = \frac{|P_{10min}|}{S_{10min}} \quad (-) \quad (3.7)$$

Kde P_{10min} je činný výkon během 10minutového intervalu měření a S_{10min} je zdánlivý výkon během 10minutového intervalu.

Z důvodu přetoků výkonu je problematické vyhodnotit charakter zátěže. Kladný jalový výkon jsem uvažoval jako induktivní charakter zátěže a záporný jalový výkon jako kapacitní charakter. U 187 DTS jsem vyhodnotil účinník pro každý desetiminutový interval a následně jsem spočítal průměrnou absolutní hodnotu účinníku, abych předešel chybě, kdy při stejně velkém jalovém výkonu, ale opačném charakteru by průměrný účinník vycházel 0. Charakter zátěže jsem vyhodnotil podle 2 parametrů, a to podle množství přeneseného jalového výkonu a podle doby trvání, jaký charakter zátěže převažoval. Následně jsem rozdělil do dvou skupin pro induktivní a kapacitní charakter zátěže.

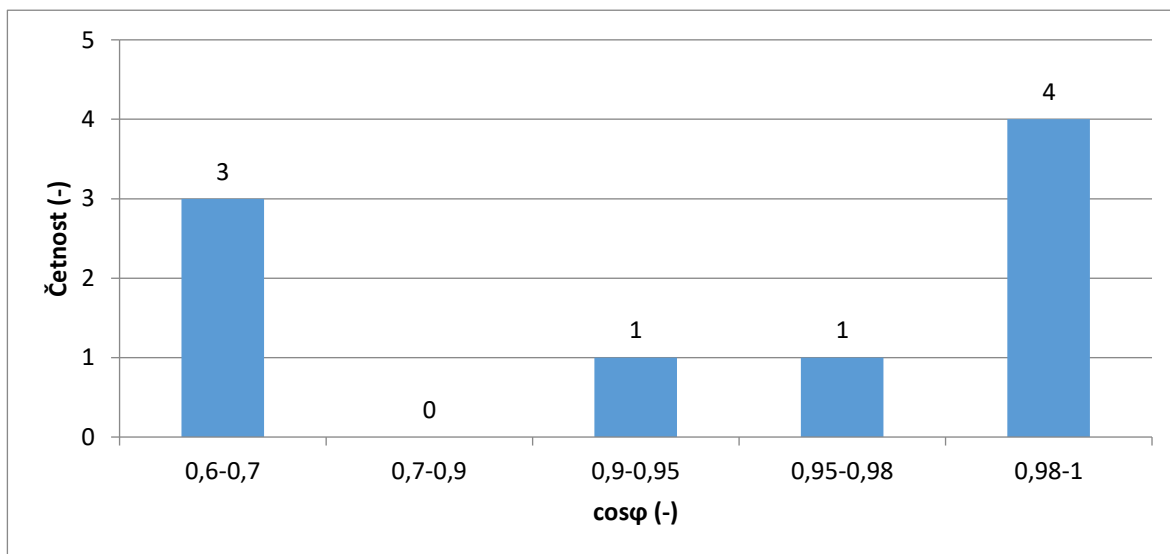
Z obr. 3.3.1 je vidět, že 177 z 187 měření DTS převažuje induktivní charakter zátěže během měření podle dvou výše zmíněných kritérií. Z toho 125 DTS má účinník v rozmezí 0,96 až 1. Dalších 38 DTS má účinník v rozmezí 0,9 až 0,96. V naměřených datech se objevili případy, kdy výsledný účinník vyšel velice malý.



Obr. 3.28: Histogram účinníku DTS induktivního charakteru zátěže

Dokonce 2 DTS měly účinník menší než 0,5, což z hlediska přenášeného výkonu znamená veliké jalové ztráty v poměru k přenesenému činnému výkonu. Z globálního hlediska je průměrná hodnota účinníku pro těchto 177 DTS je 0,95.

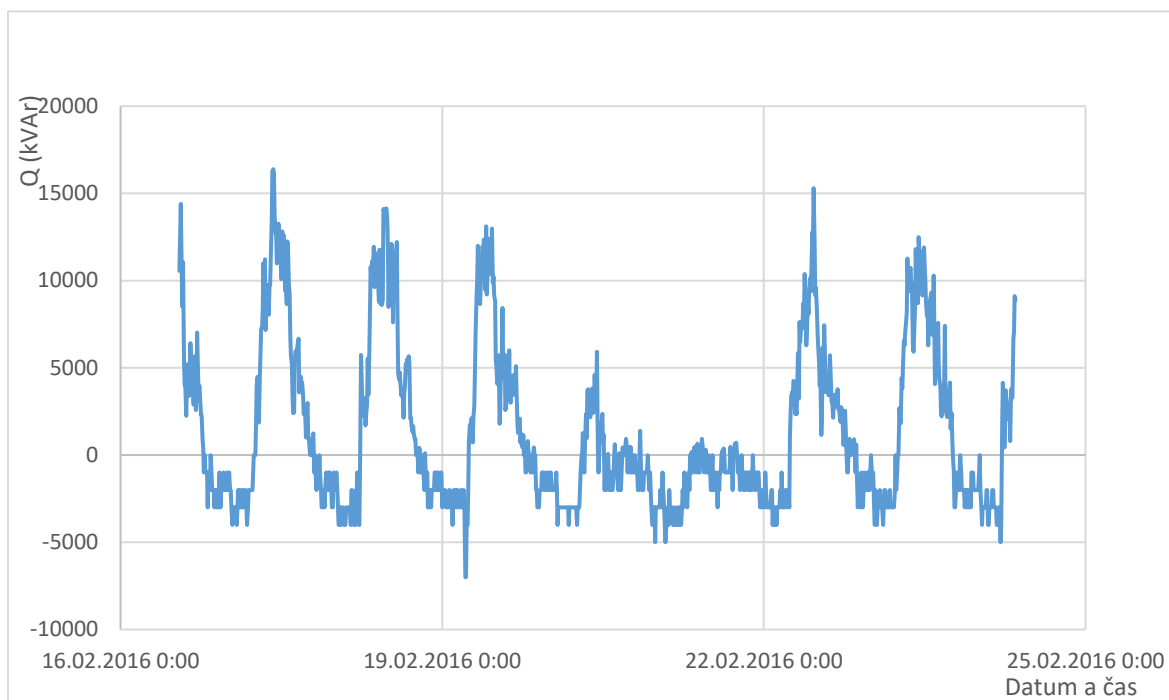
Kapacitní charakter zátěže se vyskytl u 9 DTS viz obr. 3.29. 5 DTS má kapacitní účinník v rozmezí 0,95 až 1. Pro 1 DTS je účinník 0,91. Dále se objevily 3 DTS, které mají účinník v rozmezí 0,6 až 0,7. U jedné z těchto DTS o výkonu 400 kVA (ID měření-121222) je uveden zdroj NN o výkonu 73,8 kW.



Obr. 3.29: Histogram účinníku DTS kapacitního charakteru zátěže

Důležité je zmínit, že jsem charakter zátěže vyhodnotil globálně pro celé měření na DTS a během měření docházelo v určitých časových intervalech ke změně charakteru zátěže z induktivního na kapacitní a naopak.

Všech výše uvedených 179 DTS splnilo má 2 kritéria pro stanovení charakteru zátěže. V naměřených datech se objevila 1 DTS, která je nesplnila. Jedná se o DTS o výkonu 400 kVA (ID měření-129581), kdy během měření byl přenášený jalový výkon po dobu 50,8 % z celkového času měření kapacitního charakteru, ale celková suma přeneseného jalového výkonu je induktivního charakteru. Na obr. 3.30 je vidět časový průběh jalového výkonu. Během měření opakovaně docházelo ke změně charakteru zátěže. Jelikož přetrvává po delší dobu kapacitní charakter zátěže, ale suma přeneseného výkonu je induktivního charakteru, nelze o tomto měření tvrdit, že převažoval pouze jeden charakter zátěže. Z toho důvodu jsem toto měření nezahrnul do histogramů pro induktivní a kapacitní charakter zátěže. Průměrná hodnota účinníku je u této DTS 0,998.



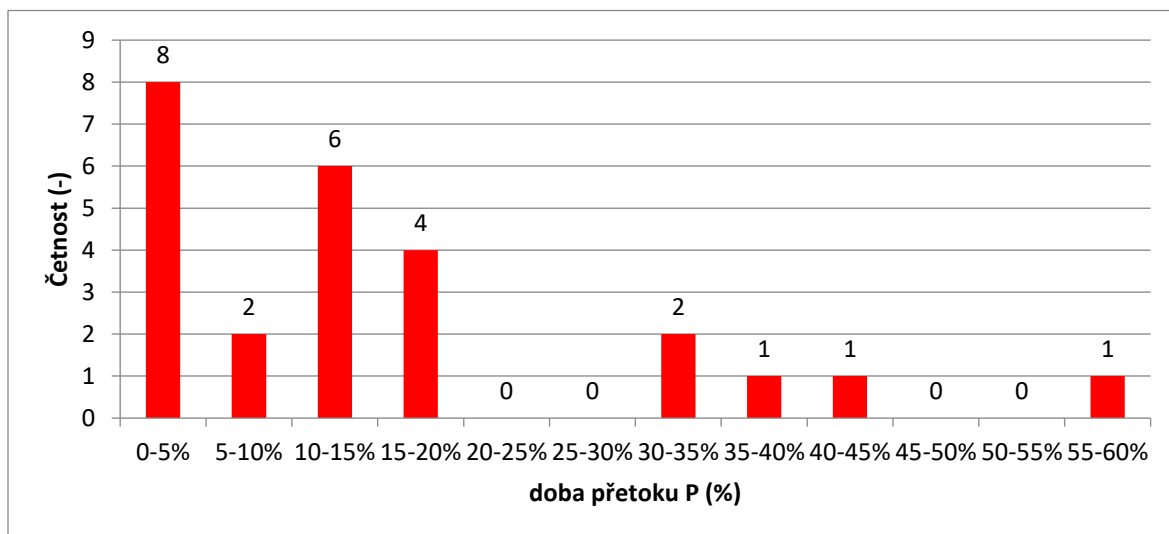
Obr. 3.30: Časový průběh jalového výkonu DTS s proměnným charakterem zátěže (ID měření-129581)

3.4 Vyhodnocení výkonových přetoků do nadřazené sítě

Z důvodu velkého výskytu zdrojů NN na měřených DTS (z celkového počtu 265 měření byl u 115 měření uveden zdroj NN) je potřeba vyhodnotit, zda dochází k přetokům elektrické energie. Z kapitoly 3.3, kde jsem vyhodnotil účinník DTS je patrné, že k těmto přetokům dochází. V této kapitole vyhodnotím četnost přetoků, ale i jejich období, kdy k nim docházelo. Vyhodnocení přetoků jsem provedl pro stejný počet měření DTS, jako pro vyhodnocení účinníku, tedy celkem 187 měření na DTS. Z naměřených hodnot jsem pro každé měření vyhodnotil přetok výkonu pomocí funkce POČET v excelu, abych zjistil, jak dlouho měření probíhalo (1 řádek~10 minut měření). Následně jsem pomocí stejné funkce zjistil počet hodnot, kdy došlo k přetoku a jejich četnost jsem vyhodnotil do histogramů viz kapitola 3.4.1 a 3.4.2. Pro vyhodnocení doby trvání přetoku jsem pomocí funkce KDYŽ stanovil podmínku, pokud došlo k přetoku zapiš čas, kdy k němu došlo. Vyhodnocení doby trvání přetoků se nachází v kapitole 3.4.3 a 3.4.4.

3.4.1 Četnost přetoků činného výkonu

Přetok činného výkonu do nadřazené sítě se objevil u 25 měření. Celkovou dobu, kdy došlo k přetoku činného výkonu jsem vyhodnotil v procentech k celkovému času měření, jelikož měření na DTS netrvala stejnou dobu. Viz obr. 3.31 je vidět, že u 8 měření došlo k přetoku činného výkonu po dobu menší než 5 % z celkové doby měření, z toho u 5 měření došlo k přetoku po dobu menší než 1 % z doby měření. V tab. 3.8 jsem pro měření uvedl přesné hodnoty doby trvání přetoku a zdroj NN, pokud byl uveden.

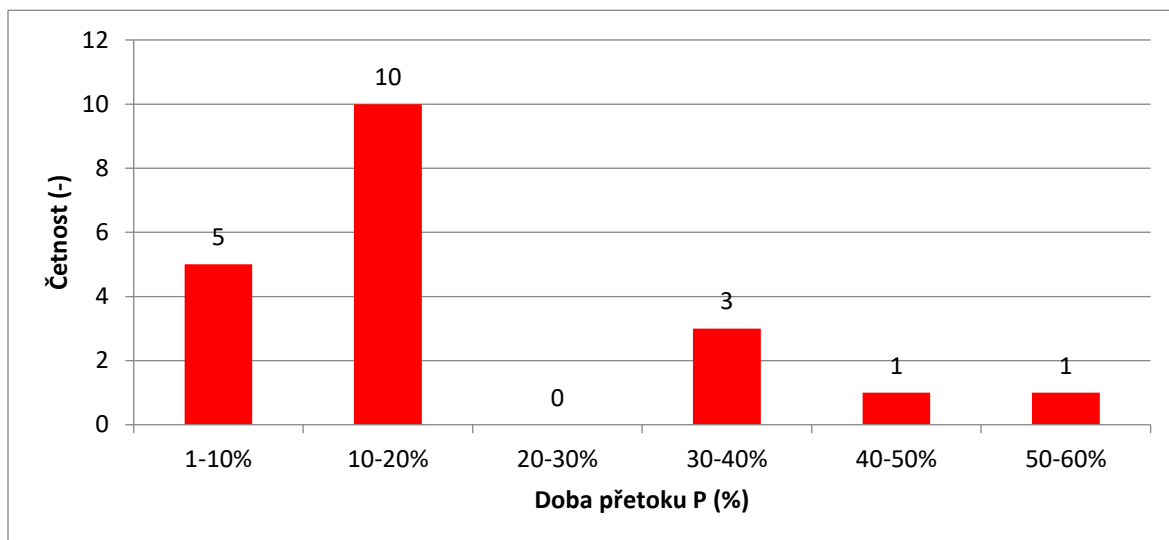


Obr. 3.31: Histogram přetoků činného výkonu podle doby trvání

Tab. 3.8: Výskyt přetoků činného výkonu

ID měření	doba přetoku P (%)	zdroje NN (kW)	ID měření	doba přetoku P (%)	zdroje NN (kW)
123682	12,18	-	117624	8,31	-
123981	13,08	24	118625	43,38	10
124041	34,62	-	118628	7,57	3
124161	4,45	49	118941	16,00	118
124243	0,84	35	119481	13,26	96
124284	34,44	38	119722	1,73	40
124288	0,44	79	120122	1,59	20
126401	0,83	8	120722	13,64	43
127361	0,40	88	121222	13,68	73,8
128541	0,51	-	121223	16,84	73,8
129982	14,98	41	121621	37,68	338
130601	58,29	90	122061	18,48	35
131086	17,57	90			

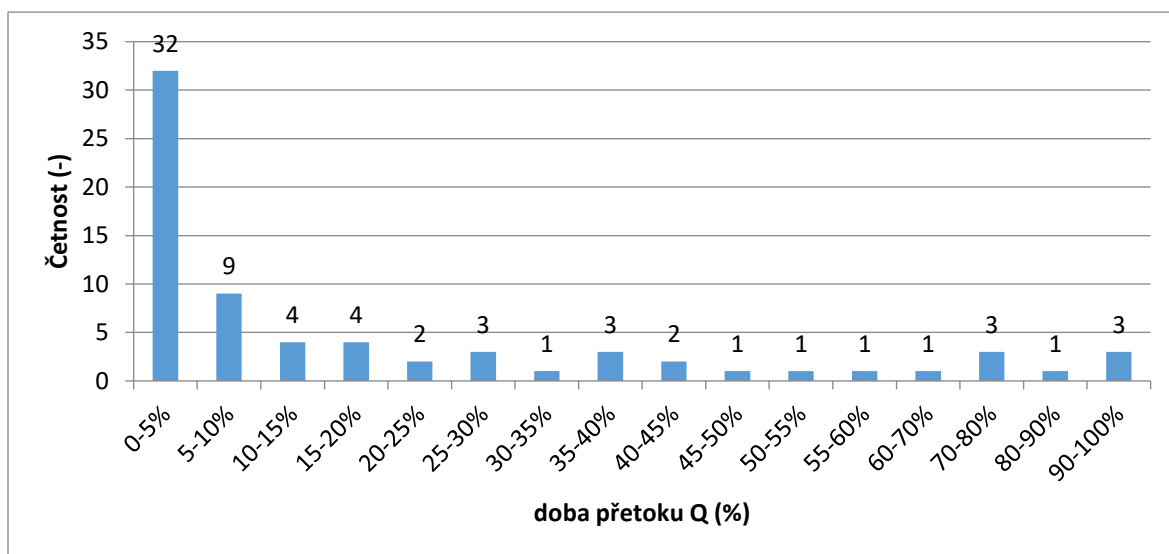
Průměrná doba trvání přetoku činného výkonu byla 15,4 % z celkové doby měření. Pokud bych zanedbal přetok, který trval méně než 1 % z celkové doby měření, byla by průměrná doba trvání přetoku činného výkonu 19,1 % a následný histogram viz obr. 3.32.



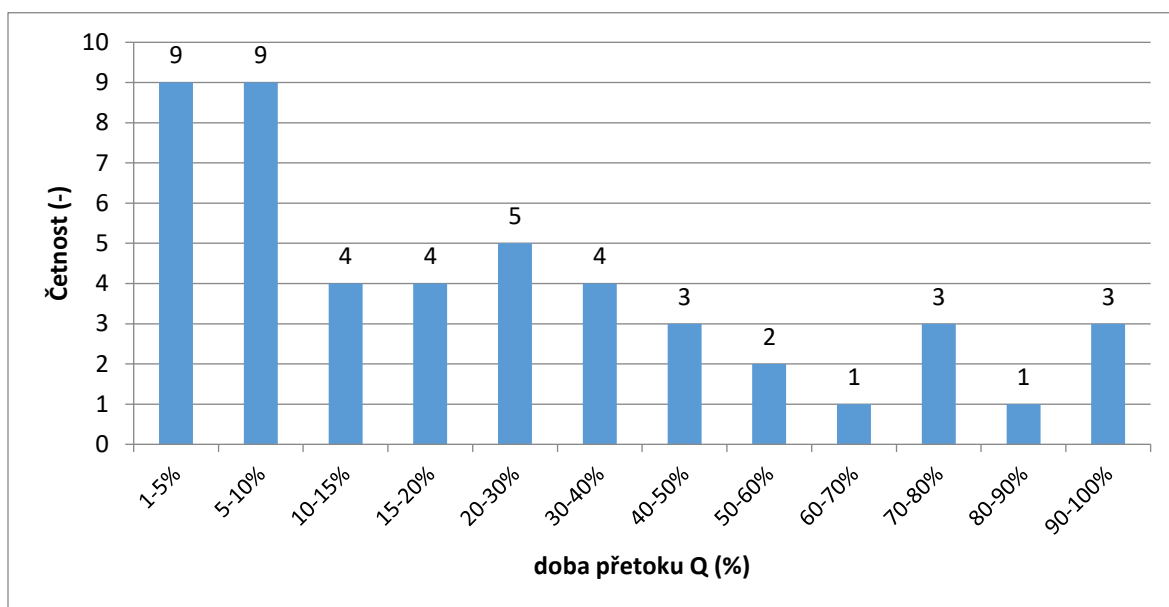
Obr. 3.32: Histogram četnosti přetoků činného výkonu po zanedbání přetoků s dobou trvání <1 %

3.4.2 Četnost přetoků jalového výkonu

Přetok jalového výkonu se vyskytl u 71 měření DTS z počtu 187 měření. Vyhodnocení doby trvání přetoku jalového výkonu jsem provedl obdobně jako pro činný výkon. Viz obr. 3.33, kde je vidět, že u 3 měření se objevil přetok jalového výkonu téměř po celou dobu měření. Pro 2 měření DTS, kde došlo k přetoku jalového výkonu téměř po celou dobu měření byl uveden důvod měření zpětných vlivů FVE a pro 3. případ bylo měření provedeno z důvodu stížnosti a následného snížení napětí na DTS (napětí z hlediska odchylek bylo v průběhu měření v dovolených mezích stanovených normou). Pro 32 měření DTS přetok jalového výkonu trval po dobu menší než 5 % z celkové doby měření, z toho u 23 měření byl přetok menší než 1 % z celkové doby měření. Z tohoto důvodu v obr. 3.34 uvádím histogram, kde jsem malé přetoky jalového výkonu zanedbal pro větší přehlednost ostatních dat. Viz obr. 3.34 je vidět, že přetoky jalové výkonu převažují v levé části histogramu. Průměrná doba trvání přetoku jalového výkonu je 19,8 %. Po zanedbání minoritních přetoků s dobou trvání menší než 1 % z doby měření je průměrná doba přetoku jalového výkonu 29,1 %, tedy po zanedbání minoritních přetoků došlo k navýšení doby trvání přetoku o 10,7 %.



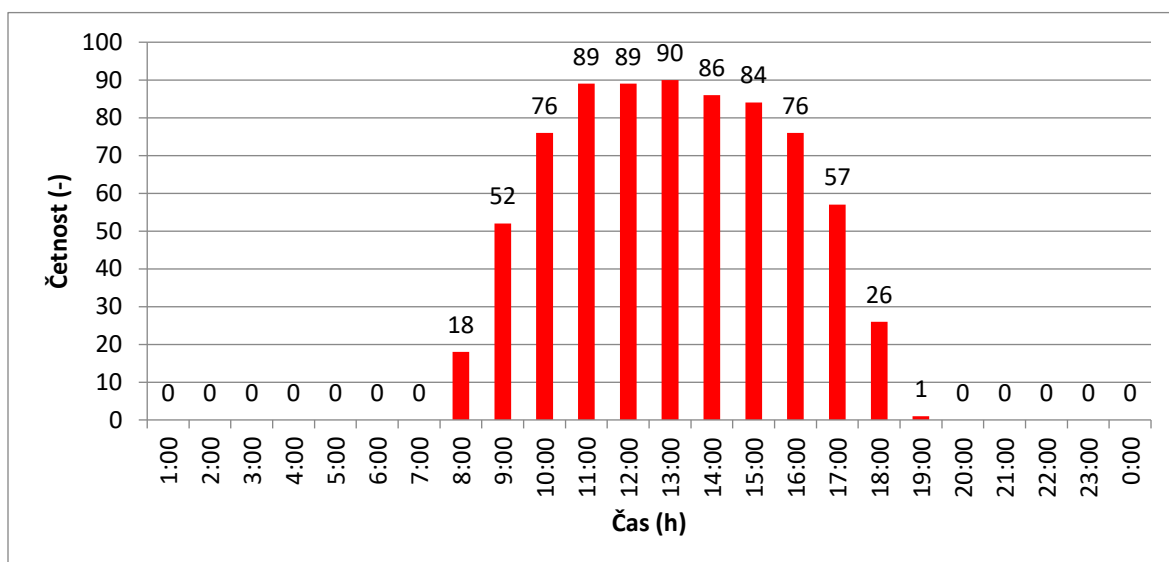
Obr. 3.33: Histogram četnosti přetoků jalového výkonu podle doby trvání



Obr. 3.34: Histogram četnosti přetoků jalového výkonu po zanedbání přetoků s dobou trvání <1 %

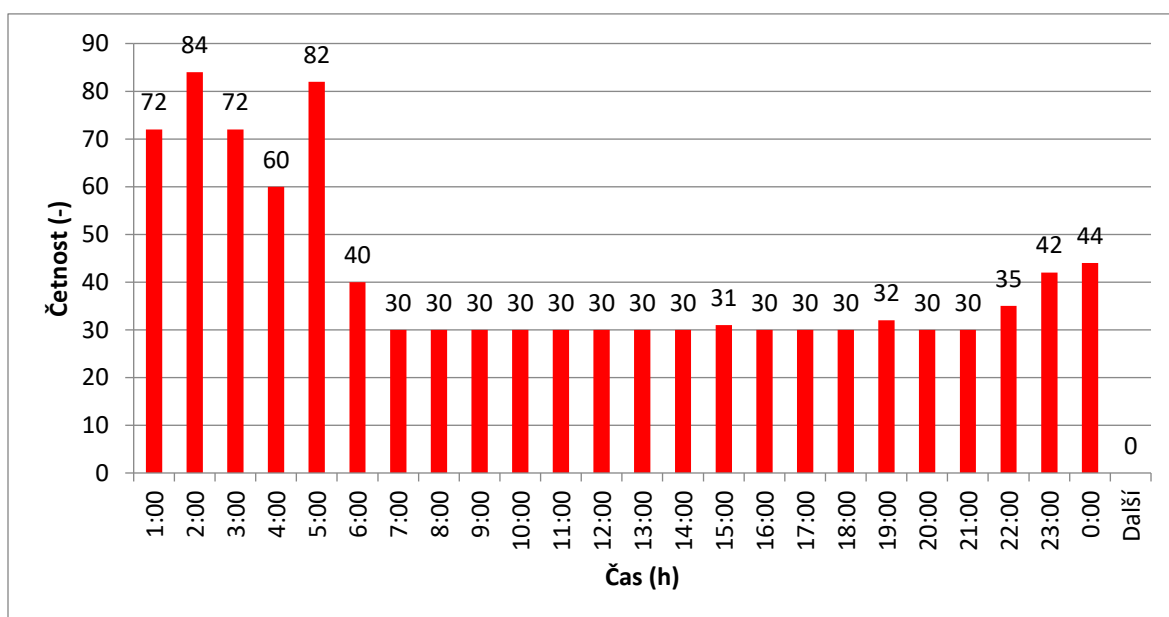
3.4.3 Časové období přetoků činného výkonu

Postup, který jsem využil pro vyhodnocení, kdy dochází k přetokům činného výkonu jsem popsal na začátku kapitoly 3.4. Z vyhodnocených časových období činných přetoků jsem vytvořil histogramy pro každé měření zvlášť, abych zjistil, zda během měření dochází k přetokům ve stejné časové období nebo se jejich výskyt diametrálně liší. Po vyhodnocení jednotlivých histogramů jsem si všiml, že přetoky činného výkonu se nejčastěji objevují v poledních hodinách (přibližně od 10:00 do 17:00), což je nejpravděpodobněji časové období, kdy dochází k největší výrobě elektrické energie pomocí FVE. Viz obr. 3.35 uvádím histogram pro měření s takovým průběhem.



Obr. 3.35: Histogram časového období, kdy došlo k přetokům činného výkonu (ID měření-124041)

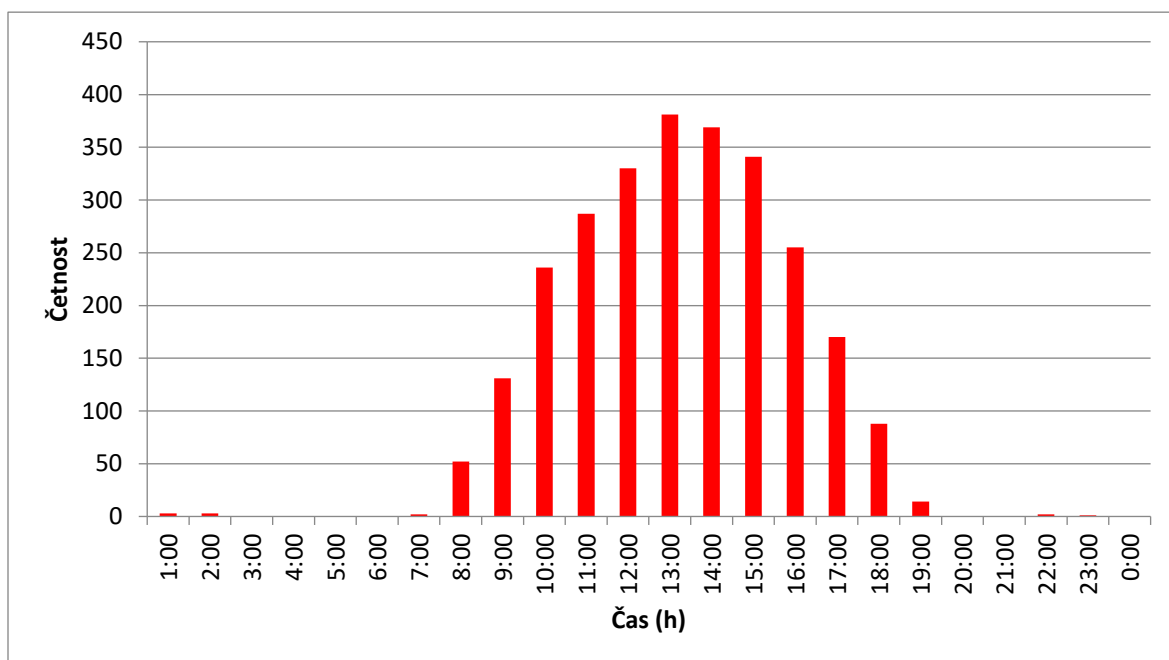
Dále se v měřeních objevily 2 případy, kdy docházelo k přetoku činného výkonu v noci a brzy ráno. Během dne byla jejich četnost nižší, ten případ uvádím v obr. 3.36.



Obr. 3.36: Histogram přetoků činného výkonu pro DTS (ID měření-130601)

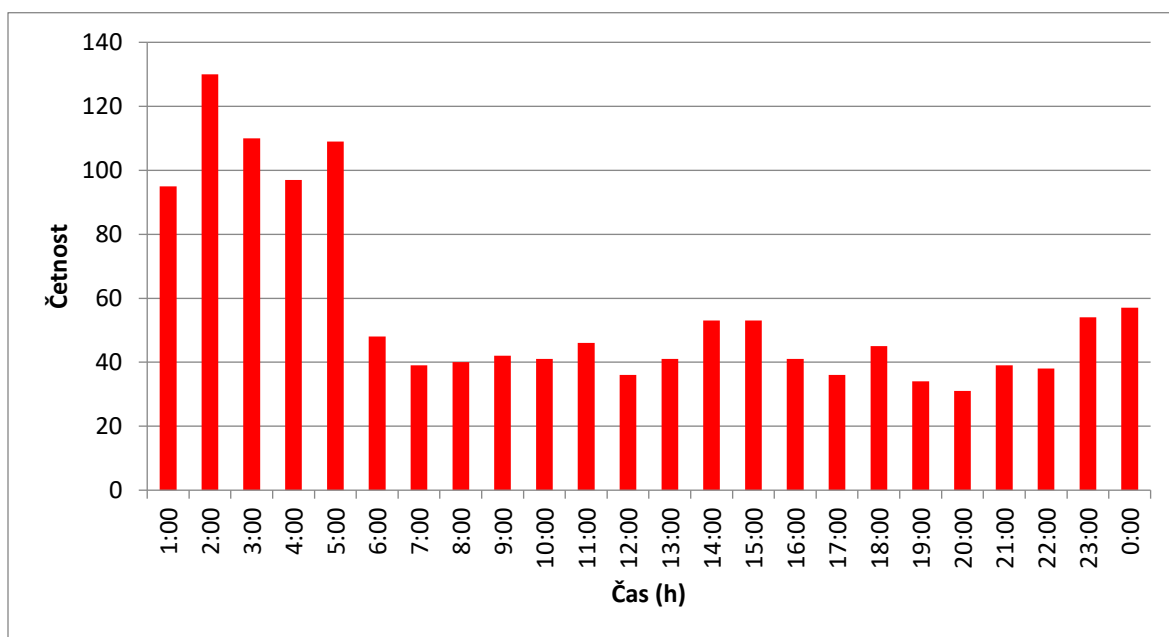
U dalších měření se neobjevila žádná další podobnost, proto pro všechny DTS, kde se objevil přetok činného výkonu vyhodnotím histogram pro skupiny s největším výskytem během dne, pro skupinu s největším výskytem během nočních hodin a pro poslední skupinu, kde se přetok činného výkonu objevoval po celou dobu měření s různou četností během každé hodiny.

Pro 1. skupinu jsem vyhodnotil časová období, kdy dochází k přetokům činného výkonu viz obr. 3.37, kde je vidět, že nejčastěji docházelo k přetokům v odpoledních hodinách, do této skupiny jsem zařadil 17 měření z celkového počtu 25.



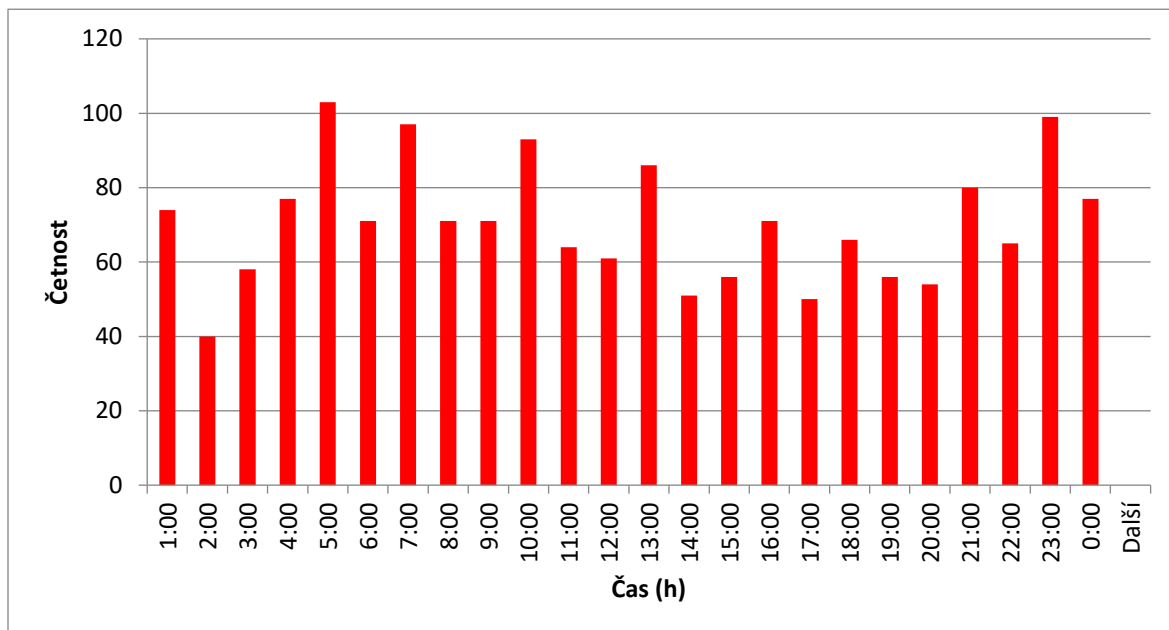
Obr. 3.37: Histogram přetoků činného výkonu podle doby výskytu (1. skupina)

Pro 2. skupinu, kdy se přetok činného výkonu nejčastěji objevil v nočních až brzkých ranních hodinách jsem zařadil hodnoty z 3 měření a jejich četnost je vidět na obr. 3.38.



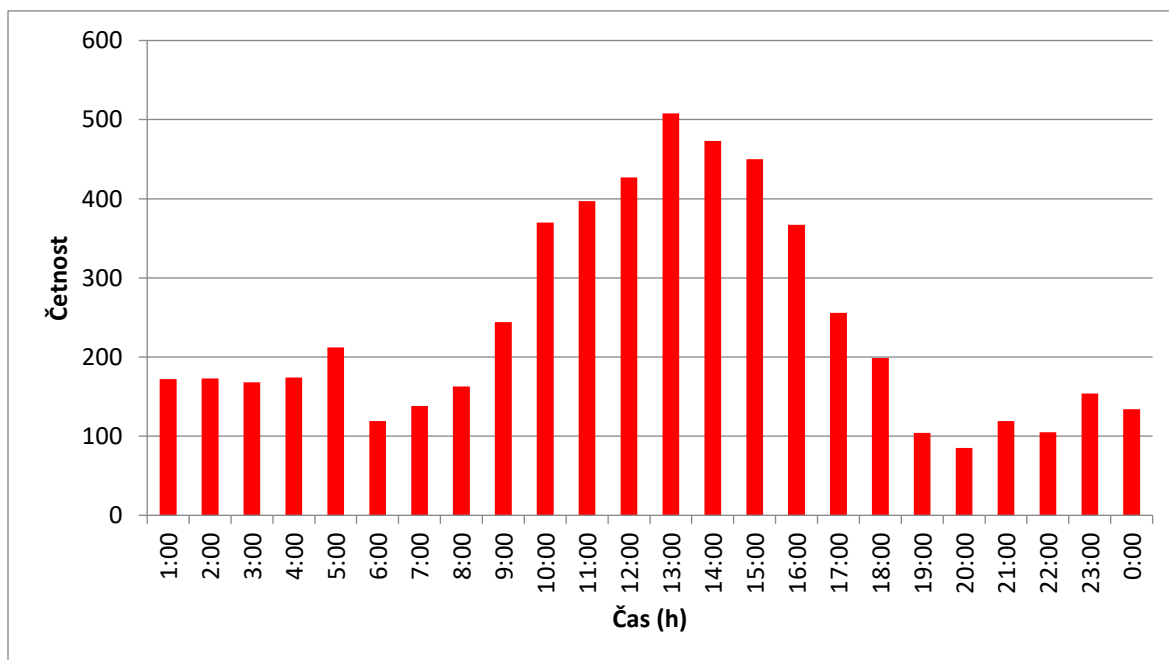
Obr. 3.38: Histogram přetoků činného výkonu podle doby výskytu (2. skupina)

Do 3. skupiny viz obr. 3.39 jsem zařadil zbylých 5 měření, jelikož jsem mezi nimi nenašel žádnou podobnost.



Obr. 3.39: Histogram přetoků činného výkonu podle doby výskytu (3. skupina)

V posledním případě vyhodnotím dobu přetoků pro všechny skupiny najednou viz obr. 3.40, kde je vidět, že k největšímu výskytu přetoků dochází stejně jako pro 1. skupinu v odpoledních hodinách, vlivem FVE a také jelikož počet měření s tímto podobným průběhem je největší právě pro 1. skupinu.

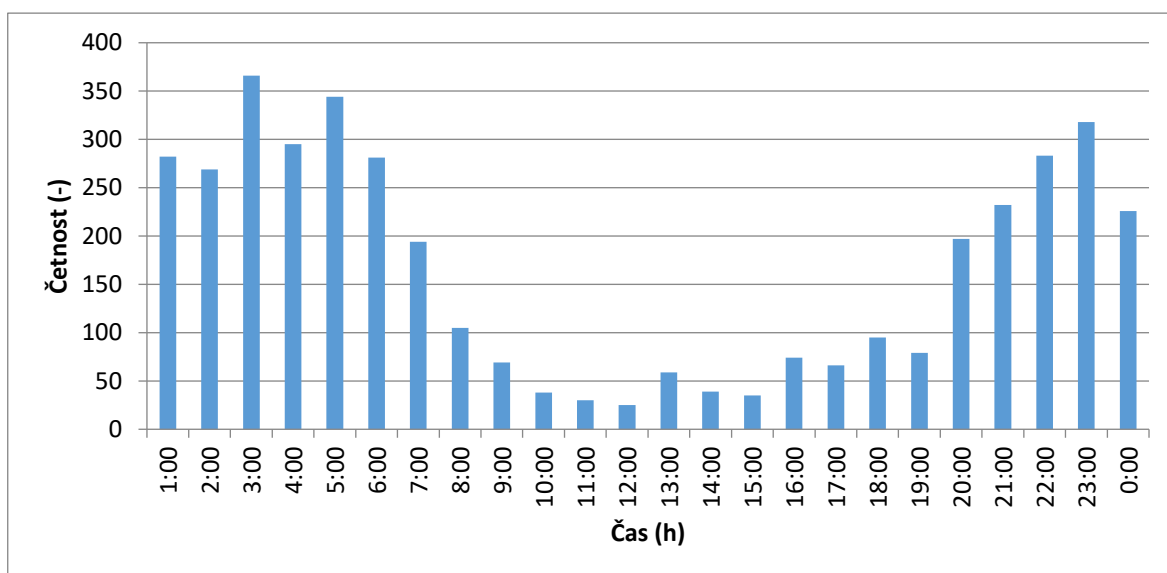


Obr. 3.40: Histogram přetoků činného výkonu podle doby výskytu (všechny skupiny dohromady)

3.4.4 Časové období přetoků jalového výkonu

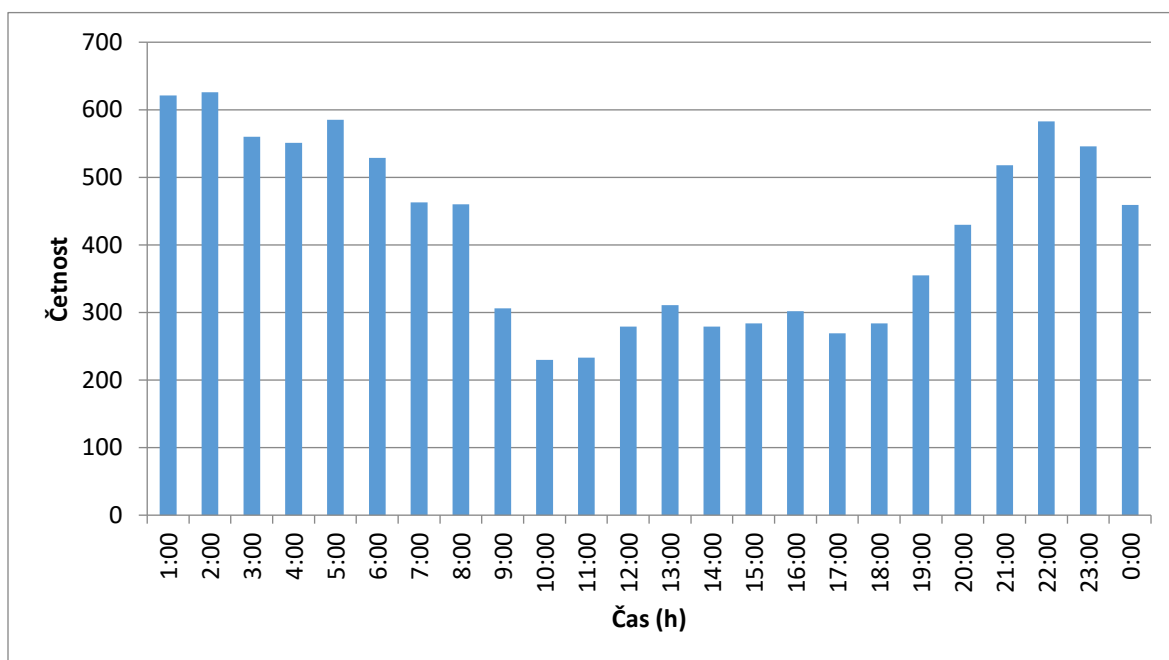
Období, kdy se v naměřených datech objevují přetoky jalového výkonu jsem vyhodnotil stejným způsobem jako pro činný výkon v kapitole 3.4.3. Z celkového počtu 71 měření, kde došlo k přetoku jalového výkonu, jsem zanedbal 23 měření, kde doba přetoku byla menší než 1 % z celkového času měření. Pro těchto 48 měření jsem si vyhodnotil histogram četnosti výskytu přetoku a porovnal je mezi sebou. Při porovnávání jednotlivých histogramů, jsem se rozhodl rozdělit měřené DTS do 5 skupin, které měly podobné doby výskytu přetoku jalového výkonu.

Viz obr. 3.41 uvádím histogram pro 1. skupinu, do které jsem zařadil 18 z 48 měření DTS, kde se přetok jalového výkonu objevuje nejčastěji v nočních a ranních hodinách, kde předpokládám, že dochází k odlehčení sítě a následně je DTS zatížena pouze kapacitou vedení (pokud se jedná o kabelové vedení).



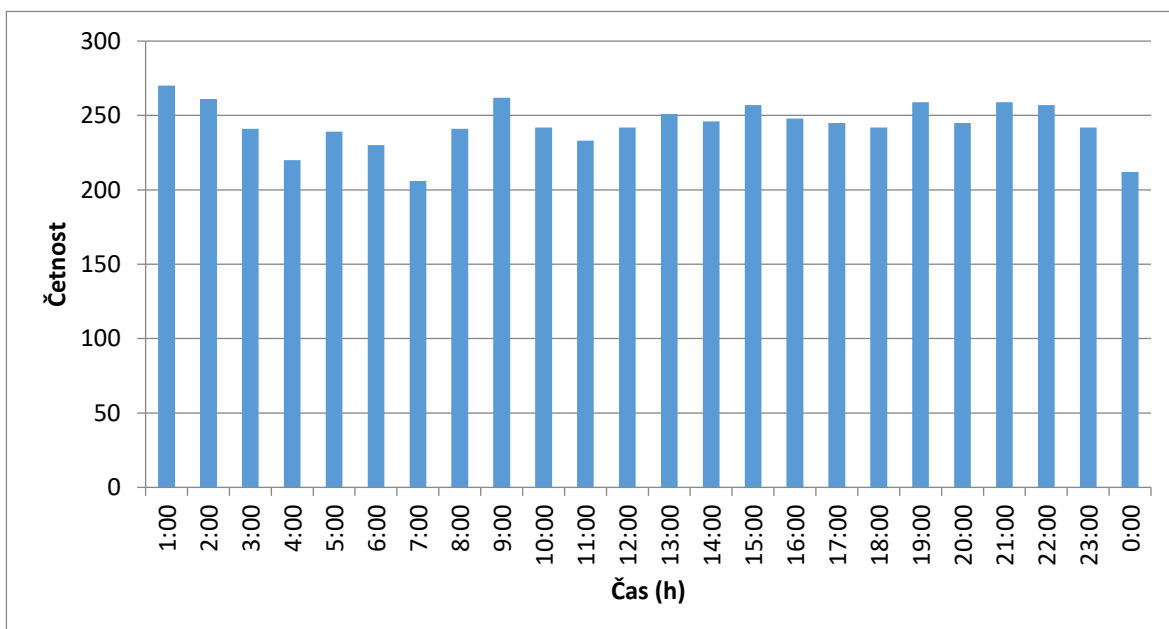
Obr. 3.41: Histogram výskytu přetoku jalového výkonu podle doby výskytu (1. skupina)

Do 2. skupiny jsem zařadil data z 14 měření, kde stejně jako 1. skupině dochází nejčastěji k přetokům jalového výkonu v nočních a ranních hodinách, ale také se během měření častěji u této skupiny vyskytoval přetok jalového výkonu během dne. Pro 1. skupinu byl výskyt přetoků v odpoledních hodinách velice nízký. V obr. 3.42 uvádím četnost přetoků jalového výkonu dle doby výskytu pro 2. skupinu.



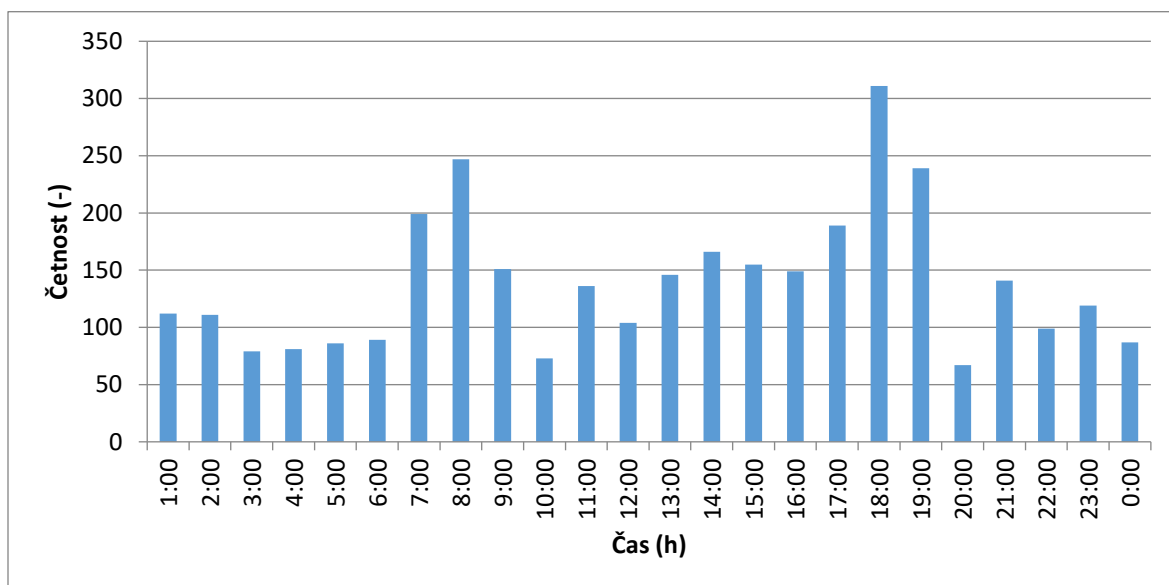
Obr. 3.42: Histogram výskytu přetoku jalového výkonu podle doby výskytu (2. skupina)

Do 3. skupiny jsem zařadil 6 měření DTS, kde se objevil přetok jalového výkonu. Tato skupina je zajímavá tím, že se přetok jalového výkonu objevuje konstantně po celý den. Viz obr. 3.43, kde je vidět v 4. a 7. hodině, že nedochází k přetokům tak často jako v ostatních hodinách, to může být způsobeno tím, že v histogramu jsou uvedeny hodnoty z více měření najednou.



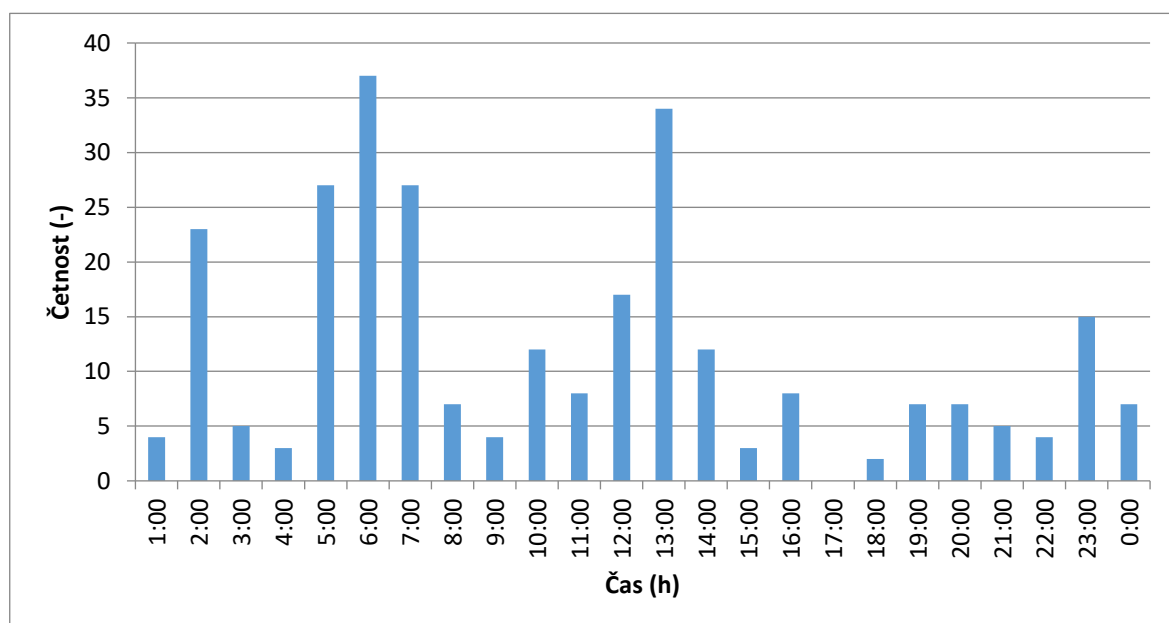
Obr. 3.43: Histogram výskytu přetoku jalového výkonu podle doby výskytu (3. skupina)

Do 4. skupiny jsem zahrnul data z 3 měření na DTS. Viz obr. 3.44 je vidět, že u těchto měření došlo k přetoku jalového výkonu v 6 hodin večer a ráno, ale zároveň dochází k tomu, že se přetok objevuje s větší četností i během dne.



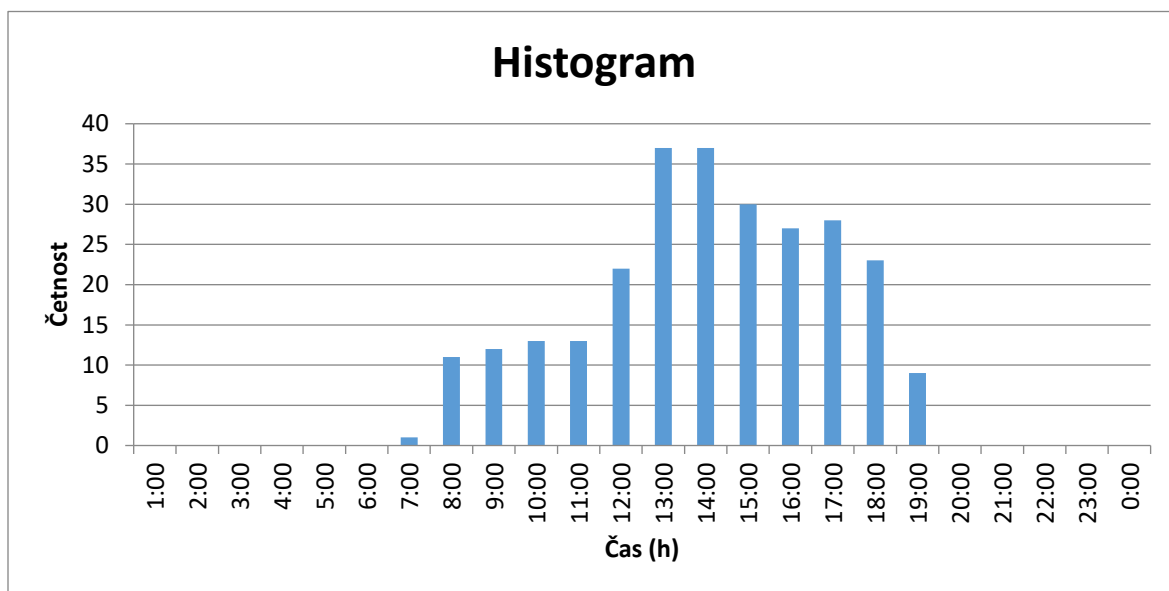
Obr. 3.44: Histogram výskytu přetoku jalového výkonu podle doby výskytu (4. skupina)

Poslední 5. skupina obsahuje data z měření na 6 DTS. V této skupině jsou všechny DTS, kde došlo k přetoku jalového výkonu po dobu menší než 10 % z celkového času měření, z toho dokonce pro 3 DTS byl přetok menší než 2 %. Z důvodu malé četnosti výskytu přetoku jalového výkonu je poněkud problematické zařadit je do výše uvedených skupin, proto jsem je zařadil do 5. skupiny samostatně viz obr. 3.45.



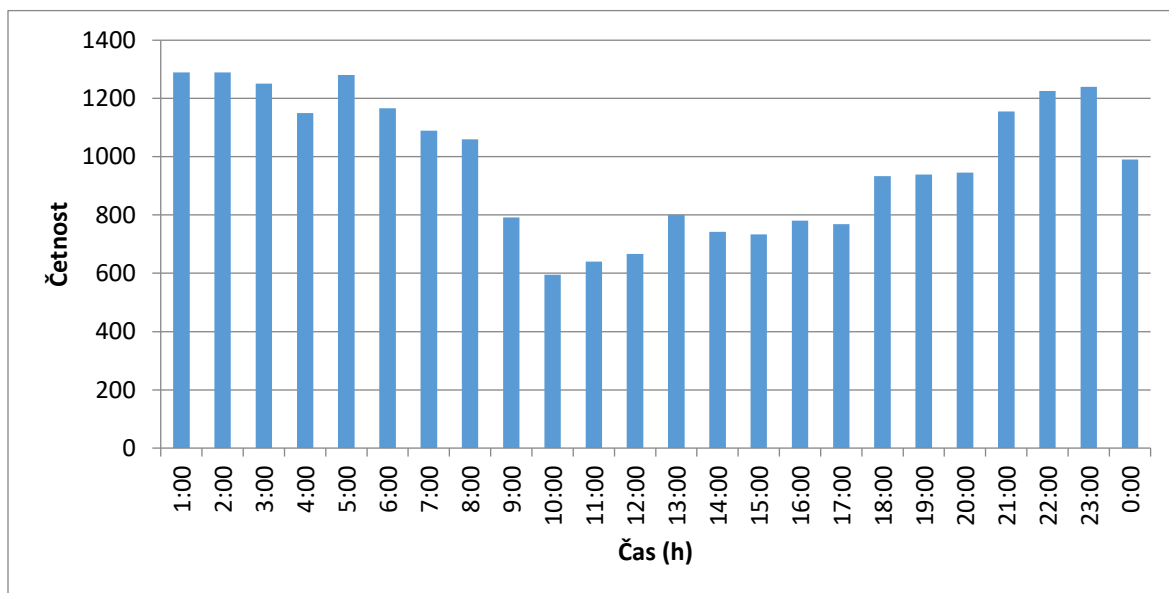
Obr. 3.45: Histogram výskytu přetoku jalového výkonu podle doby výskytu (5. skupina)

Ve výše uvedených skupinách je uvedeno 47 z 48 měření na DTS. Viz obr. 3.46 poslední DTS, která není uvedena ani v jedné skupině, protože období, kdy dochází k přetoku jalového výkonu spíše připomíná přetok činného výkonu s připojenou FVE viz 1. skupina v kapitole 3.4.3.



Obr. 3.46: Histogram výskytu přetoku jalového výkonu u DTS (ID měření-119481)

Viz obr. 3.47 jsem vyhodnotil histogram výskytu přetoku souhrnně pro všechny měření DTS, který se svým nejvíce podobá 2. skupině.



Obr. 3.47: Histogram výskytu přetoku jalového výkonu souhrnně pro všechny DTS

Závěr

V bakalářské práci bylo cílem vyhodnotit napěťové a výkonové poměry na distribučních trafostanicích VN/NN z naměřených dat od provozovatele distribuční sítě EG.D. Jedná se o přechodná měření kvality napětí na distribučních trafostanicích, která trvala u většiny měření týden, v některých případech byla doba měření delší.

V první části došlo k vyhodnocení napěťových poměrů, kde jsem ověřil, zda během měření nedošlo k překročení dovolených odchylek velikosti napětí stanovených normou ČSN EN 50 160, kdy z 265 měření jich 264 vyhovuje z hlediska dovolených odchylek po dobu 95 % času během týdne. 261 z 265 měření splnilo dovolené odchylky, které musí být dodrženy za každých okolností. Distributor EG.D si dle interních pokynů zároveň stanovuje přísnější odchylky napětí než jsou dány normou a snaží se udržet napětí v mezích 230 až 244 V. Dodržení napětí v odchylkách dle interních pokynů splnilo 191 měření DTS.

Dále došlo k vyhodnocení průměrného a maximálního zatížení distribučních trafostanic. Průměrné zatížení trafostanic se pohybovalo okolo 15 %, což může být ovlivněno tím, že na měřených distribučních trafostanicích se často objevovaly zdroje NN, které mohou zatížení dlouhodobě snižovat. Maximální zatížení se souhrnně pro všechny měření pohybovalo lehce přes 36 %. Vyhodnocené zatížení je menší než ideální zatížení transformátoru, které je mezi 50-60 %. Nízké zatížení znamená lepší možnosti budoucího připojení konečných uživatelů a vlivem menšího zatížení také dochází k delší životnosti transformátoru.

V 3. části došlo k vyhodnocení výkonových poměrů. Nejdříve došlo k stanovení účinníku měření a následného určení, zda se jedná o induktivní nebo kapacitní charakter. Z důvodů výskytů výkonových přetoků jsem byl nucen vyhodnotit absolutní hodnotu účinníku. Průměrná hodnota účinníku pro 187 měření vyšla 0,95, z toho u 9 měření převažoval během měření kapacitní charakter.

V poslední části jsem analyzoval data výkonů a určil, kdy došlo k výkonovým přetokům do nadřazené sítě. Přetoky činného výkonu se vyskytly u 25 z 187 vyhodnocených měření. Přetoky činného výkonu se nejčastěji objevovali odpoledne okolo 13. hodiny, kdy v tento čas dosahovaly největší četnosti. Doby, kdy se vyskytoval přetok činného výkonu jsou podobné jako graf denní výroby FVE. U měření DTS s přetoky činného výkonu byl u 21 z 25 měření uveden zdroj NN, z důvodů častých výskytů přetoků činného výkonu v odpoledních hodinách lze předpokládat, že se jedná právě o FVE. Přetoky jalového

výkonu se vyskytly u 71 z 187 vyhodnocených měření. Bylo zjištěno, že k přetokům jalového výkonu dochází nejčastěji v nočních hodinách a brzkých ranních hodinách, což mohlo být způsobeno nabíjecím výkonem kabelových vedení při nižším zatížení v tuto dobu. V naměřených datech nebylo uvedeno, o jaký typ vedení se jedná. Všechny výše uvedené výsledky jsou přehledně vyhodnoceny v histogramech.

Literatura

- [1] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav* [online]. První. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011[cit. 2022-04-24]. ISBN 978-80-01-049358.
- [2] TESAŘOVÁ, Miloslava. *Přednášky z předmětu EE2* [online]. Plzeň 2021 [cit. 2022-05-19].
Dostupné z: <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kee/ee2/>
- [3] *Volba výkonu a počtu napájecích transformátorů*. ZČU v Plzni, 2021.
- [4] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Vysoké učení technické v Brně, 2015.
- [5] *Vyhláška ERÚ č.540/2005 o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice*. [cit. 2022-05-20].
- [6] *Online měření kvality elektrické energie v DTS* [online]. [cit. 2022-05-01].
- [7] VOBOŘIL, David. *Příčiny solárního boomu v České republice*. 2015. [cit. 2022-05-18].
- [8] *Seznam FVE v České republice* [online]. [cit. 2022-05-15].
Dostupné z: <https://www.elektrarny.pro/>
- [9] JUŘÍK, Michal. *ČK CIRED-Koncepce a postupy nasazování plošného monitoringu DTS VN/NN v distribuční síti EG.D*. Tábor, 2021.
- [10] *Informace o distribuční soustavě EG.D* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: www.egd.cz/sites/default/files/2020-08/332_Popis_DS_elektro_2020.pdf

- [11] KULIŠ, Jakub. *Analýza zatížení a regulačních možností distribučních transformátorů*. Plzeň, 2013. Diplomová práce. ZČU.
- [12] *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z webu https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/