



Pedagogická  
fakulta  
Faculty  
of Education

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra aplikované fyziky a techniky

Bakalářská práce

# Optimalizace návrhu napájecího transformátoru pro síť 22 kV pro vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny

Vypracoval: Jakub Lísal

Vedoucí práce: Ing. Michal Šerý, Ph.D.

Konzultant: Ing. František Žák, Ph.D.

České Budějovice 2019

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval/a samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 19. prosince 2019

Jakub Lísal

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalovi Šerému, Ph.D., který se ujal vedení mé bakalářské práce poté, co původní vedoucí doc. PaedDr. Petr Adámek, Ph.D., těžce onemocněl. Velké poděkování patří také doc. PaedDr. Petru Adámkovi, Ph.D. Velice si cením vstřícného přístupu, všech připomínek a rad. Rovněž patří velké poděkování Ing. Františku Žákovi, Ph.D., který byl po celou dobu konzultantem. Věnoval mi spoustu volného času a při společných setkáních jsem vždy načerpal mnoho nových poznatků a informací. Rovněž děkuji kolegům z práce, kteří mě plně podporovali. Nesmím opomenout všechny rodinné příslušníky, včetně přítelkyně, kteří mi dodali psychickou sílu a pohodu.

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá výběrem optimálního transformátoru za daných předpokladů a naměřených dat. V první části je popsána teorie, princip funkce transformátoru a jeho pracovní stavy, včetně matematického vyjádření. Rovněž je popsána konstrukce celého stroje a uvedeny různé způsoby použití transformátoru. V druhé části je vybrán optimální transformátor pro vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny na základě vznikajících ztrát při nesouměrném zatížení. Při výběru byla zohledněna výše vznikajících ztrát a pořizovací cena uvažovaných transformátorů.

## **Klíčová slova**

Transformátor, jmenovitý výkon, ztráty naprázdno, ztráty nakrátko, výrobce, zatížení

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with choosing the optimal transformer considering the supposition and measured data. The first part contains description of functioning of the transformer and its working states, including the mathematical expression, as well as description of the transformer's construction and mentions various uses of the transformer. In the second part the optimal transformer for power extraction from photovoltaic power plant is chosen based on losses created during unsymmetrical load. The amount of created losses and the cost of the transformers is considered during the choosing.

## **Keywords**

Transformer, power rating, losses on-load, losses short circuit, producer, load

# Obsah

1	Úvod.....	7
2	Konstrukce transformátoru .....	9
2.1	Elektrický obvod .....	10
2.2	Magnetický obvod.....	11
2.3	Izolace.....	15
2.4	Chlazení.....	15
2.4.1	Chlazení ONAN – transformátory olejové, s přirozeným prouděním chladiva a přirozeným odvodem tepla z povrchu nádoby. ....	16
2.4.2	Chlazení ONAF – transformátory olejové, s přirozeným prouděním chladiva a ofukováním.....	16
2.4.3	Chlazení OFAF – transformátory olejové, s nuceným prouděním chladiva a ofukováním.....	17
3	Princip transformátoru, pracovní stavy.....	19
3.1	Faradayův zákon elektromagnetické indukce, Indukovaného napětí, převod	20
3.2	Transformátor naprázdno .....	22
3.2.1	Ztrátový proud, ztráty naprázdno a celková impedance naprázdno.....	24
3.3	Transformátor při zatížení – náhradní schéma, fázový diagram .....	25
3.4	Transformátor nakrátko .....	28
3.4.1	Napětí nakrátko .....	30
3.5	Zapojení vinutí trojfázových transformátorů.....	31
3.5.1	Zapojení vinutí do hvězdy ( $Y, y$ ) .....	32
3.5.2	Zapojení vinutí do trojúhelníku ( $D, d$ ) .....	32
3.5.3	Zapojení vinutí do lomené hvězdy ( $z$ ) .....	33
3.5.4	Hodinový úhel.....	34
4	Druhy a rozdělení transformátorů .....	35

4.1	Měřicí (přístrojové) transformátory.....	36
4.1.1	Měřicí transformátor proudu (MTP).....	36
4.1.2	Měřicí transformátor napětí (MTN).....	37
4.2	Autotransformátor .....	38
5	Fotovoltaický systém .....	40
6	Praktická část.....	41
6.1	Základní data pro výpočet.....	47
6.2	Parametry transformátorů a výpočty .....	54
6.2.1	Transformátory SGB Czech Trafo s.r.o.....	54
6.2.2	Transformátory BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. ....	56
6.2.3	Transformátory Schneider Electric CZ, s.r.o. ....	57
6.2.4	Transformátory ABB s.r.o. ....	58
6.3	Transformátory, které jsou uvažovány pro nepřetržitý provoz.....	59
6.4	Transformátory, které jsou uvažovány pro spínaný provoz .....	64
7	Závěr .....	75
8	Seznam použité literatury .....	77
9	Přílohy.....	81

# 1 Úvod

V dnešní době si málokdo dokáže představit život bez elektrické energie. V České republice je elektřina v domácnosti samozřejmostí. Kde se ale všechna energie bere, když není odběratel nucen svou spotřebu omezovat? Pro naši zemi je po uhelných elektrárnách druhým hlavním zdrojem elektrické energie jaderná energetika, našimi sousedními státy odsuzována. Jen těžko lze najít stejně účinnou alternativu. Řešením můžou být alternativní zdroje. Bohužel nejsou v tuto chvíli dostatečně efektivní.

Tato práce není jen pouhým teoretickým rozbohem, ale obsahuje také praktickou část. V praktické části budou zpracována data, naměřená při přenášení výkonu z fotovoltaické elektrárny. Mírný podnebný pás, ve kterém se Česká republika nachází, není nejideálnějším místem pro fotovoltaické elektrárny, přesto zde své místo našlo nemalé množství těchto alternativních zdrojů elektrické energie. Z velkého množství dílčích systémů zajišťujících správnou funkci fotovoltaické elektrárny, bude tato práce zaměřena pouze na transformátor. Transformátor vyrobenou elektřinu transformuje na vyšší napětí a umožní přenos na velké vzdálenosti až ke koncovým odběratelům s nízkými ztrátami.

Úkolem teoretické části této práce je přiblížit i méně zasvěcenému čtenáři, jak transformátor vypadá, z čeho se skládá a jak funguje. Od základních konstrukčních částí, jako izolace vinutí či materiály a technologie používané pro výrobu vinutí, až po celkovou konstrukci a chlazení transformátoru při zátěži. Značná část práce je věnována principu transformátoru a základním pracovním stavům. Je vhodné zmínit i transformátory pro jiné použití, než jen transformátory pro energetiku, jelikož má transformátor obrovský rozsah využití.

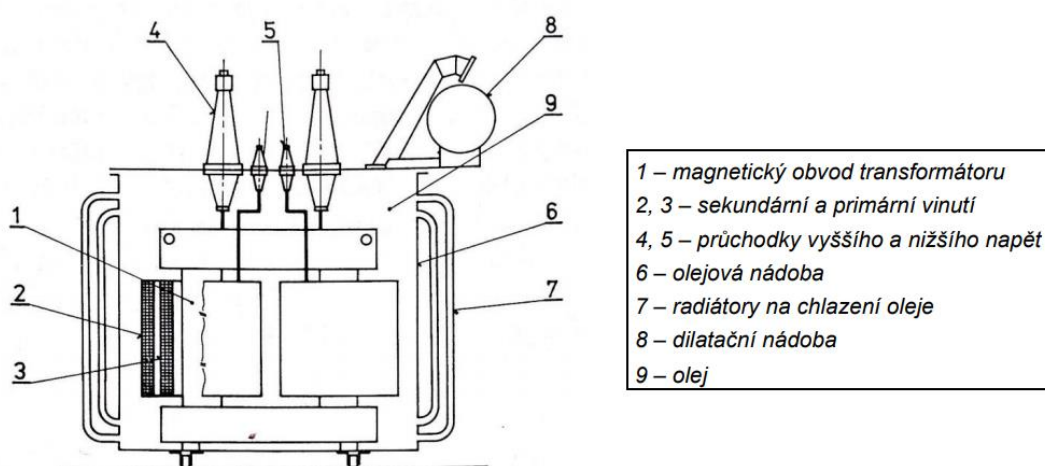
V praktické části práce bude vybrán optimální transformátor, případně kombinace transformátorů, pro vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny. Vzhledem k rozsáhlému zastoupení výrobců bude výběr omezen na čtyři. Také možnosti kombinovat různé jmenovité výkony transformátorů a tvořit jejich paralelní spojení lze nepřeberné množství. Proto i zde dojde k omezení na určité kombinace zapojení. V konečné fázi práce dojde k výběru optimálního transformátoru, případně paralelní

kombinace více transformátorů. Výběr proběhne na základě analýzy vypočtených ztrát transformátoru, vznikajících při zatížení, a investičních nákladů za transformátory.



## 2 Konstrukce transformátoru

Transformátor je stroj bez pohyblivých částí, tedy elektrický netočivý stroj. Na základě principu elektromagnetické indukce přenáší elektrickou energii mezi dvěma cívkami. Základní konstrukční části transformátoru tvoří magnetický a elektrický obvod. Magnetický obvod je složen z plechů, které obsahují feromagnetické materiály jako je železo, nikl a dále prvky zvyšující jejich elektrický odpor, nejčastěji se k tomuto účelu používá křemík. Elektrický obvod tvoří primární a sekundární vinutí. Některé transformátory mají i třetí vinutí, tzv. terciální. Součástí vinutí jsou svorky. U napájecích a distribučních transformátorů je ke svorkám primární cívky připojeno vstupní napětí (obvykle vyšší napětí). Ke svorkám sekundárního (výstupního) vinutí je připojena zátěž. Vzhledem k tomu, že transformátor je elektrický stroj s vlastními ztrátami, je potřeba transformátory chladit. Ztráty vznikají v magnetickém obvodu a také v důsledku průchodu proudem vinutím. Velikost celkových ztrát je relativně nízká, a proto transformátory mají obvykle vysokou účinnost. Nezbytnou část transformátoru tvoří různé kryty, které slouží k ochraně proti vlivům prostředí a také slouží jako ochrana před úrazem elektrickým proudem. Kryty mnohdy tvoří samotné pouzdro transformátoru. Konstrukční schéma jednofázového transformátoru je znázorněno na obrázku 1. [1][5]



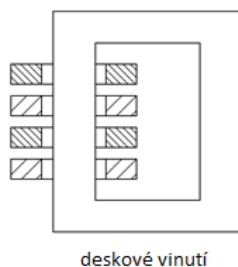
Obrázek 1: Konstrukční schéma 1f olejového transformátoru (převzato z [2])

## 2.1 Elektrický obvod

Elektrický obvod transformátoru představují izolované vodiče navinuté na izolační kostře cívky. Tím jsou vytvořeny cívky transformátoru s definovaným počtem závitů, napěťovou odolností a proudovou zatížitelností. Tato vinutí umožňující průchod elektrického proudu, jsou nejčastěji vyráběny z mědi (Cu), a to pro své vynikající elektrické i mechanické vlastnosti. Měď je poměrně tažná, snadno ohebná, lze ji dobře spojovat a zároveň má velice dobrou elektrickou vodivost. Pro málo proudově zatěžovaná vinutí se k výrobě využívá měděných vodičů kruhového průřezu. Běžná vinutí však využívají měděných vodičů obdélníkového průřezu. Nové technologie výroby cívek využívají měděné fólie. Nevýhodou mědi je vyšší cena a také vysoká hmotnost. Moderním materiálem používaným pro výrobu vinutí je hliník (Al). Moderní hliníkové vinutí je u transformátorů vinuto zejména z hliníkové folie. Výhodou hliníku je nízká cena a malá měrná hmotnost. Nutná volba většího průřezu hliníkového vodiče vůči měděnému má za následek i zvětšení povrchu vodiče a tím zlepšení přestupu tepla do chladicího media (olej, vzduch). Hliníková vinutí dosahují větších rozměrů, než vinutí měděná. Hmotnost těchto vinutí je však výrazně nižší. [1][2][3][5]

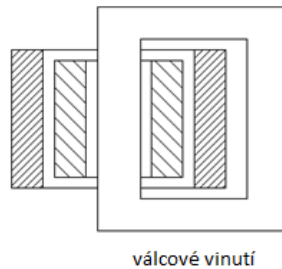
Vyrobené cívky jsou nasunuty na magnetické jádro transformátoru. Každá fáze transformátoru je tvořena primární (vstupní) a sekundární (výstupní) cívkou. Cívky mají určitý počet závitů vzhledem k požadovanému transformačnímu poměru a průřez volený s ohledem na jeho proudové zatížení, tudíž i výkon transformátoru. V závislosti od uspořádání, dělíme vinutí na dva základní druhy, viz. obrázek 2 a 3. [1][2][3][5]:

- desková vinutí – složené ze střídajících se kotoučů primárních a sekundárních cívek;



Obrázek 2: Deskový druh vinutí (převzato z [3])

- válcová vinutí – po celé délce jádra navinuty cívky. Nejprve navinuta jedna cívka, na ni navinuta druhá cívka.



Obrázek 3: Deskový druh vinutí (převzato z [3])

## 2.2 Magnetický obvod

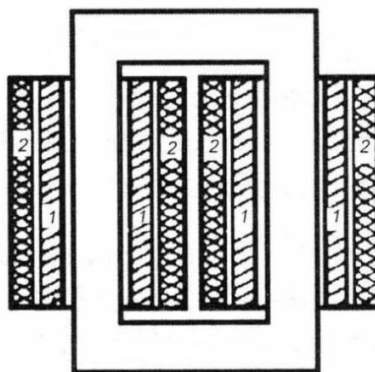
Magnetický obvod transformátoru představuje jádro, složené ze vzájemně izolovaných elektrotechnických plechů, spojek a sloupků. Tvar magnetického obvodu se mění s typem transformátoru. Od typu transformátoru se odvíjí také tvary plechů, které zpravidla označujeme písmeny – U, E, I a M. Značení voleno díky vizuální podobě s uvedenými písmeny. Průřez jádra odpovídá výkonu transformátoru. Roste-li výkon transformátoru, roste průřez jádra. Aby feromagnetické jádro vyplňovalo prostor mezi jádrem a vinutím, bývá odstupňováno. U velkých výkonů se průřez magnetického obvodu přibližuje kruhovému průřezu, který lépe vyplňuje vnitřní prostor cívek. [1][2][3]

Elektrotechnické neboli transformátorové plechy jsou vyráběné ze slitiny železo-křemík, magneticky měkkého materiálu s vyšším elektrickým odporem. Nejčastější tloušťky plechů 0,35 mm, válcované za tepla, nebo 0,5 mm, válcované za studena. Moderní transformátory mají magnetické obvody z amorfních materiálů, které mají nízké ztráty. Vzájemné odizolování plechů napomáhá ke snížení ztrát v železe. Snížení ztrát rovněž napomáhá použití plechů orientovaných a amorfních. Orientované i amorfní plechy dovolují navýšit magnetickou indukci v jádře, ve směru orientace, aniž by došlo ke zvýšení ztrát. Vyšší hodnoty magnetické indukce následně umožní zmenšit průřez jádra, což ovlivní i celkovou hmotnost transformátoru. [1][2][3]

Dělení podle konstrukce magnetického obvodu:

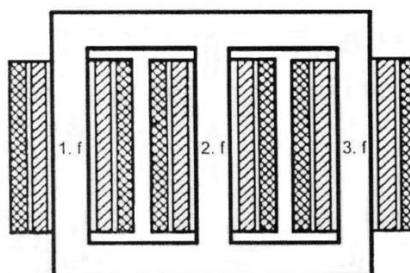
- **Jádrové transformátory**

O jádrové konstrukci hovoříme ve chvíli, kdy vinutí obklopuje jádro transformátoru. Konstrukce jednofázového jádrového transformátoru představuje pouze jednu cestu, kudy se může uzavřít magnetický obvod. Vinutí usazená na dvou jádrech jsou zapojena buď sériově, nebo paralelně. Na obrázku 4 je polovina vinutí vyššího napětí označena 1 a polovina nižšího napětí označena 2. Obě cívky jsou navinuty na jednom jádře, druhé poloviny obou vinutí na jádře druhém a mají opačný smysl vinutí. [4]



Obrázek 4: Jednofázový jádrový transformátor (převzato z [4])

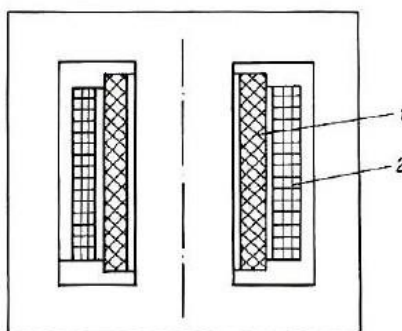
Třífázový transformátor může být konstruován ze tří jednofázových transformátorů. Tato konstrukce se používá zejména u velkých výkonů blokových transformátorů. U třífázového jádrového transformátoru vinutí s magnetickým obvodem tvoří jeden celek. Na obrázku 5 je znázorněno, že každé fázi odpovídá jedno jádro. [4]



Obrázek 5: Třífázový jádrový transformátor (převzato z [4])

- **Plášťové transformátory**

U plášťové konstrukce jádro obklopuje vinutí. Konstrukce jednofázového plášťového transformátoru je znázorněna na obrázku 6. Na středním jádru magnetického obvodu je navinuta cívka nižšího i vyššího napětí. Cívka vyššího napětí zpravidla zaujímá polohu dále od jádra (označeno 2 na obrázku 6), kvůli lepšímu chlazení. Cívka nižšího napětí označeno 1, je u magnetického jádra. Přes střední jádro transformátoru teče celý magnetický tok. Následně dojde k rozdělení magnetického toku přes krajní jádra, na kterých není žádné vinutí. Rovnoměrným rozdělením magnetického toku dochází k omezení rozptylových toků. Boční magnetické sloupky pak mívají poloviční průřez.[1][4]



Obrázek 6: Jednofázový plášťový transformátor (převzato z [3])

Třífázový plášťový transformátor je konstrukčně tvořen ze tří jader, spojených magnetickými spojkami, viz. obrázek 7. Zapojení vinutí provedeno tak, aby součet fázových toků magnetického obvodu neovlivnil celkový magnetický tok. [6]

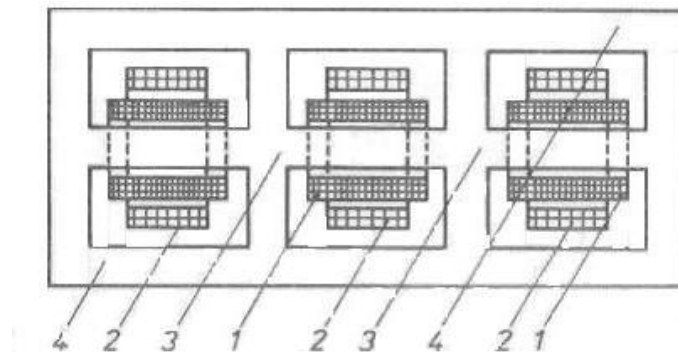
Popis konstrukce plášťového transformátoru na obrázku 7:

1 – cívka nižšího napětí

2 – cívka vyššího napětí

3 – jádro transformátoru

4 – magnetická spojka (plášť)



Obrázek 7: Třífázový plášťový transformátor (převzato z [6])

- **Toroidní transformátory**

Pro toroidní typ transformátoru je charakteristické toroidní jádro, které se vyznačuje nízkým rozptylovým tokem a proudem naprázdno. Toroidní jádro je vyráběno z orientovaných plechů s obsahem křemíku kolem 3 %. Nespornou výhodou je snadná montáž a vysoká účinnost. Použití toroidních jader je nejčastější ve vysokofrekvenčních aplikacích. Příklad toroidního transformátoru je znázorněn na obrázku 8. [2][7]



Obrázek 8: Toroidní transformátor (převzato z [7])

## 2.3 Izolace

Izolace zajišťuje nevodivé oddělení jednotlivých závitů vinutí, izolaci mezi jádrem a vinutím, izolaci mezi vinutím jednotlivých fází nebo izolaci mezi nádobou transformátoru a vinutím. Aby nedošlo k porušení izolace transformátoru a tím ke ztrátě mechanických i elektrických vlastností, je potřeba dodržovat určité provozní podmínky. Nepřekračovat přípustné napěťové hladiny a udržovat dovolené tepelné cykly stroje. K izolaci lze použít mnoho materiálů různých skupenství v závislosti na typu a výkonu transformátoru. Nejčastěji používané jsou látky pevného skupenství, mezi které patří – laky, keramické hmoty, silikony, slídy, PVC apod. Mezi plynné izolanty patří vzduch i fluorid sírový SF<sub>6</sub> a příkladem kapalných skupenství je transformátorový olej. Na izolaci jsou kladeny vysoké nároky, hlavně z hlediska elektrické pevnosti, odolnosti vůči vysokým teplotám, přenosu tepla, vlivům prostředí (prach, vlhkost) a chemickým vlivům. [8][9]

## 2.4 Chlazení

Při průchodu proudu vodičem dochází k jeho zahřívání. U transformátorů je potřeba efektivně odvádět přebytečné teplo chlazením. Malé transformátory jsou obvykle chlazeny vzduchem, výkonnější olejem. Údaj o použitém typu chlazení se nachází na štítku každého transformátoru. [1][9]

Označení jednotlivých chladících médií:

- **O** – olej
- **L** – nehořlavá izolační tekutina
- **G** – plyn
- **W** – voda
- **S** – tuhý izolant
- **A** – vzduch

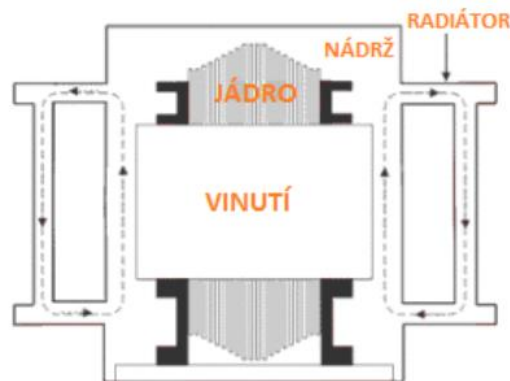
Označení podle oběhu chladícího média:

- **N** – přirozený oběh

- F – nucený, neřízený oběh
- D – nucený, řízený oběh

#### 2.4.1 Chlazení ONAN – transformátory olejové, s přirozeným prouděním chladiva a přirozeným odvodem tepla z povrchu nádoby

Na obrázku 9 je znázorněno schéma typu chlazení ONAN.



Obrázek 9: Chlazení ONAN (převzato z [9])

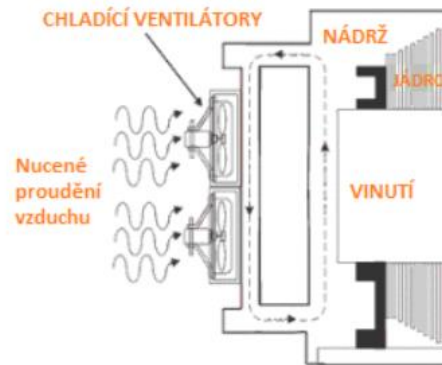
Chlazení ONAN je nejjednodušší systém chlazení, pro transformátory středních výkonů (až 50 MVA). Aktivní části jsou ponořeny v nádobě, naplněné transformátorovým olejem. Jakmile dojde k zahřátí oleje, nastane přirozená cirkulace. Horký olej stoupá do horní části nádoby a vystřídá ho olej studený. Teplo horkého oleje je odvedeno tepelnou výměnou mezi chladivem a povrchem nádoby (radiátorem), ochlazovaného vlivem vnějšího prostředí. Pro větší efektivitu chlazení bývá povrch nádoby vlnitý, případně tvořený souborem spojených desek, připomínající radiátor. [9][10][11]

#### 2.4.2 Chlazení ONAF – transformátory olejové, s přirozeným prouděním chladiva a ofukováním

Na obrázku 10 je znázorněno schéma typu chlazení ONAF. Tento způsob chlazení je používaný pro transformátory větších výkonů (do 15 – 150 MVA). Chladicí médium stále zaujímá transformátorový olej, využívající přirozeného proudění. Chlazení se zlepšuje



ofukováním povrchu nádoby nebo radiátoru ventilátory, které jsou k nádobě transformátoru namontovány. [9][10][11]

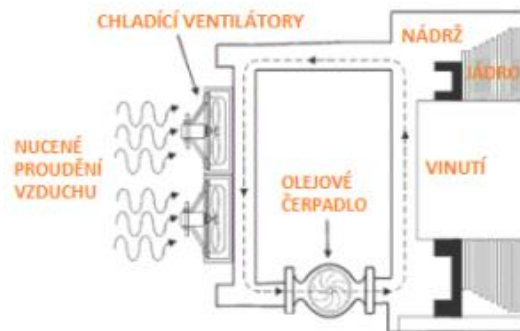


Obrázek 10: Chlazení ONAF (převzato z [9])

Při dopravě transformátoru lze ventilátory demontovat, což zmenší rozměry i hmotnost přepravovaného stroje. Ofukování dělíme na příčné, s jedním a více ventilátory nebo podélné, s ventilátory umístěnými pod radiátory. Ovládání ventilátorů může být automatické, vyhodnocované vzhledem k zatížení (na základě měření teploty oleje). Efektivnější je nepřetržitý provoz ventilátorů i při nižším zatížení, aby teplota stále klesala. Toto je však energeticky náročnější, a proto málo používané. Výhodou je, že při provozu transformátoru s nízkou teplotou se prodlužuje životnost izolace. Rovněž klesnou ztráty ve vinutí. [9][10][11]

#### **2.4.3 Chlazení OFAF – transformátory olejové, s nuceným prouděním chladiva a ofukováním**

Typ chlazení OFAF využívá nucené proudění oleje za pomoci olejového čerpadla a ofukováním povrchu nádoby pomocí ventilátorů. Olejové čerpadlo urychluje proudění horkého oleje v uzavřené smyčce, tím je chlazení oleje rychlejší a celý proces efektivnější. Obdobně jako u chlazení OLAF, lze regulovat chladicí systém automaticky nebo ručně. Na obrázku 11 je znázorněno schéma typu chlazení OFAF. [9][10][11]



Obrázek 11: Chlazení OFAF (převzato z [9])

### 3 Princip transformátoru, pracovní stavy

V následující kapitole budeme řešit poměry jednofázového transformátoru. Nicméně stejný princip platí i pro každou fázi 3fázového transformátoru.

Na feromagnetické jádro je navinuta primární cívka s počtem závitů  $N_1$  a sekundární cívka s počtem závitů  $N_2$ . Uvažujeme obě cívky pravotočivé. Svorky primárního vinutí jsou připojeny ke zdroji střídavého napětí. Při chodu naprázdno napětí  $u_1$  protlačí primárním vinutím s počtem závitů  $N_1$  proud  $i_0$ . Procházející proud  $i_0$  vybudí v magnetickém obvodu střídavý tok  $\phi$ , o kmitočtu sítě  $f$ , který začne obvodem procházet ve smyslu znázorněném na obrázku 12. Časovou změnou magnetického indukčního toku  $\phi$  se indukuje v 1 závitě primárního vinutí napětí  $u_{i1}$ . Ve všech závitech primárního vinutí potom napětí  $u_{i1}$  dle [13]:

$$u_{i1} = u_{iz}N_1 \quad (1)$$

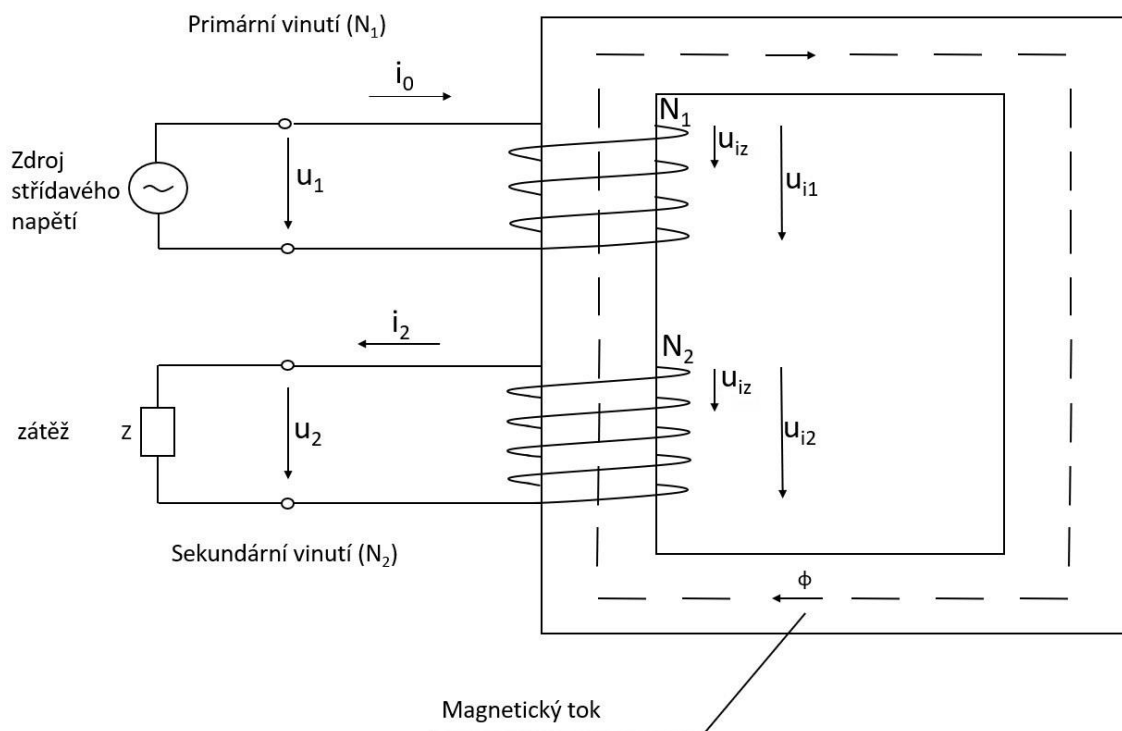
[12][13][14]

Jestliže jsou cívky navinuty ve stejném smyslu, časová změna magnetického indukčního toku  $\phi$  indukuje v jednom závitě sekundárního vinutí stejně velké, orientované napětí  $u_{i2}$ . Indukované napětí  $u_{i2}$  v sekundárním vinutí vyjádříme vztahem dle [13]:

$$u_{i2} = -u_{iz}N_2 \quad (2)$$

[12][13][14]

Velikost výstupního napětí  $u_2$  odpovídá hodnotě indukovaného napětí  $u_{i2}$ , jelikož v ideálním transformátoru neuvažujeme ztráty. Po připojení zátěže začne sekundárním obvodem protékat proud  $i_2$ . Směr proudu  $i_2$  je určen podle Lenzova zákona. Lenzův zákon zjednodušeně říká, že indukovaný elektrický proud je orientován tak, aby svým magnetickým polem působil proti příčině, která ho vyvolala. Schéma popisující princip transformátoru je zobrazeno na obrázku 12. [5][12][13][14]



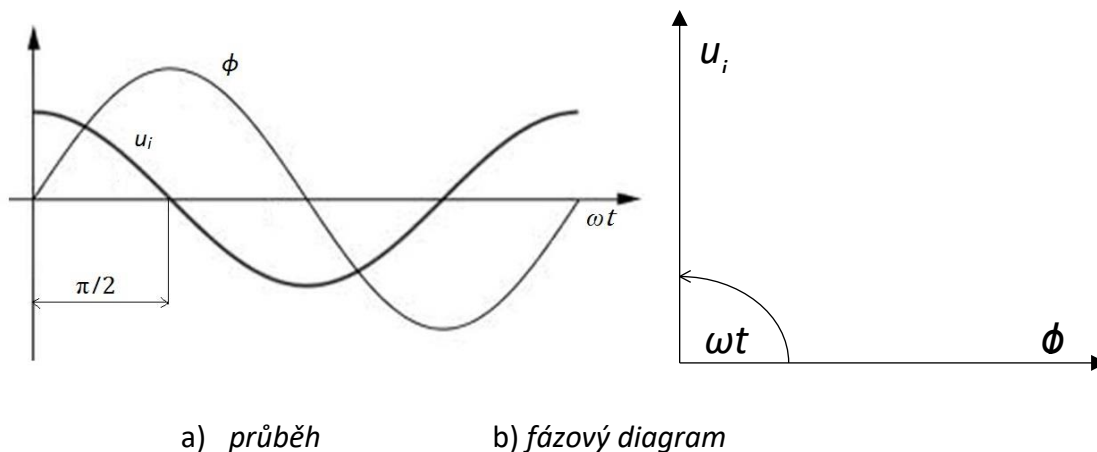
Obrázek 12: Schéma - princip transformátoru (upraveno z [13])

### 3.1 Faradayův zákon elektromagnetické indukce, indukovaného napětí, převod

Faradayův zákon elektromagnetické indukce objevil roku 1831 Michael Faraday. Faradayův zákon elektromagnetické indukce zní: Při časové změně  $dt$  magnetického indukčního toku  $d\phi$  ve vodiči dochází ve vodiči ke vzniku indukovaného napětí  $u_i$ . Hodnota indukovaného napětí v  $N$  závitěch lze vyjádřit dle [13]:

$$u_i = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (3)$$

Indukované napětí  $u_i$  má sinusový průběh a je vůči fázoru magnetického indukčního toku, které má kosinový průběh, posunuté o  $90^\circ \Rightarrow$  Indukované napětí „předbíhá“ magnetický indukční tok. Průběh je znázorněn na obrázku 13.



Obrázek 13: Posun mezi magnetickým indukčním tokem a indukovaným napětím  
(upraveno z [13])

Dosadíme-li do vzorce pro indukované napětí, vyjádřené Faradayovým zákonem, okamžitou hodnotu magnetického indukčního toku, dostaneme vztah dle [13]:

$$u_i = - \frac{d(\phi_{max} \sin \omega t)}{dt} = \omega \phi_{max} \cos \omega t \quad (4)$$

Jelikož je fázový posun mezi indukovaným napětím a magnetickým indukčním tokem  $90^\circ$ , maximální hodnota indukovaného napětí odpovídá pro  $\cos \omega t = 1$ , tedy při maximálních hodnotách amplitudy dle obrázku 13 a). Amplituda maximální při hodnotách  $\omega t = 0; 2\pi$ . Z toho vyplývá vyjádření maximální hodnoty indukovaného napětí v jednom závitě, při  $\cos \omega t = 1$ , neboli  $\omega t = 0; 2\pi$ , dle [13]:

$$U_{iNmax} = 2\pi f \phi_{max} \quad (5)$$

po dosažení maximální hodnoty získáme efektivní hodnotu indukovaného napětí dle [13]:

$$U_{iN} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{iNmax} = \pi\sqrt{2} \phi_{max} \quad (6)$$

Jednoduchou úpravou rovnice 6 dostaneme vzorec indukovaného napětí pro jednotlivá vinutí dle [13]:

$$U_{i1} = U_{iN} N_1 = 4,44f\phi N_1 \quad (7)$$

$$U_{i2} = U_{iN} N_2 = 4,44f\phi N_2 \quad (8)$$

[3][12][13][14]

### Převod transformátoru

Převod transformátoru značíme  $p$ . Je dán poměrem svorkových napětí. Uvažujeme-li ideální transformátor, kdy jsou ztráty transformátoru nulové, platí pro obvod primární i sekundární cívky II. Kirchhoffův zákon. Vyjádření II. Kirchhoffova zákona dle [13]:

$$U_1 - U_{i1} = 0 \Rightarrow U_1 = U_{i1} \quad (9)$$

$$U_2 - U_{i2} = 0 \Rightarrow U_2 = U_{i2} \quad (10)$$

Jelikož je poměr definován poměrem svorkových napětí, lze zapsat dle [13]:

$$p = \frac{U_1}{U_2} \quad (11)$$

z rovnic 9 a 10 vyplývá, že indukované a svorkové napětí má stejnou velikost. Za svorkové napětí lze dosadit vyjádřené indukované napětí z rovnic 7 a 8 dle [13]:

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{4,44f\phi N_1}{4,44f\phi N_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (12)$$

Převod transformátorů lze vyjádřit i pomocí proudů v převráceném poměru vůči napětí. Vyjádření převodu dle [13]:

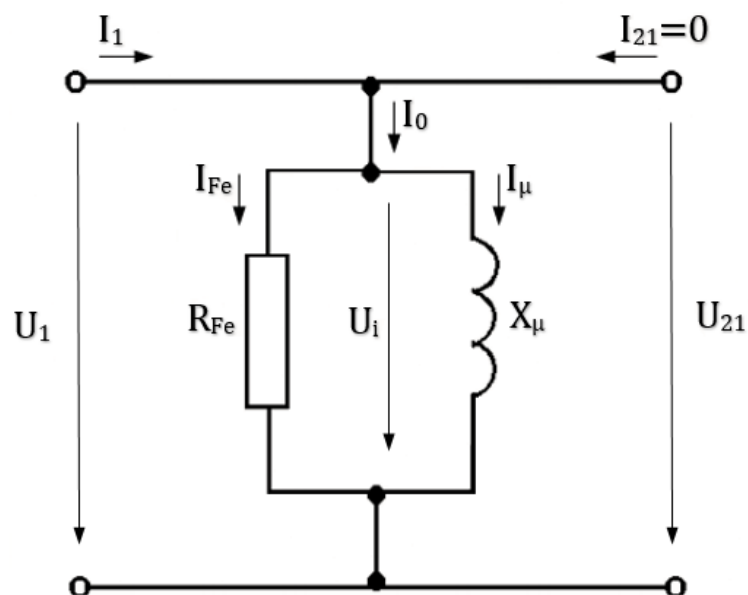
$$p = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (13)$$

[3][12][13][14][15]

### 3.2 Transformátor naprázdno

Transformátor při chodu naprázdno má rozpojen sekundární obvod nebo není zatížen a sekundární proud  $I_{21} = 0$ . Jelikož je sekundární proud nulový, budou i napěťové úbytky na odporu sekundárního vinutí  $R_{21}$  a rozptylové reaktanci  $X_{216}$  nulové – můžeme

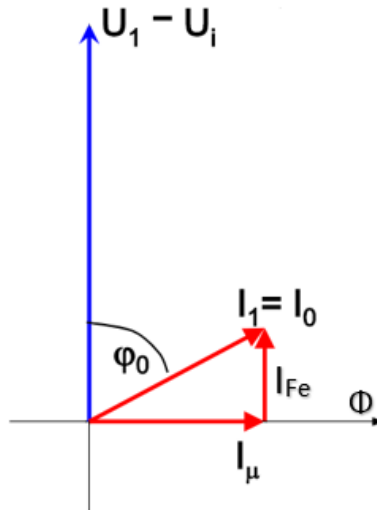
v náhradním schématu zanedbat. Primární proud  $I_1$  klesne na hodnotu proudu naprázdno  $I_0$  o velikosti 1–20 % proudu  $I_1$ . Velikost proudu naprázdno se odvíjí od velikosti transformátoru – čím větší transformátor, tím menší proud naprázdno  $I_0$ . Vzhledem k tomu, že primární proud  $I_1$  je poměrně malý, můžeme zanedbat i napěťové úbytky na odporu primárního vinutí  $R_1$  a rozptylové reaktanci  $X_{1\sigma}$ . Po zanedbání napěťových úbytků odporů  $R_1, R_{21}$  a rozptylových reaktancí  $X_{1\sigma}, X_{21\sigma}$  získáme náhradní schéma, znázorněné na obrázku 14. Náhradní schéma transformátoru naprázdno uvažuje pouze úbytky napětí na odporu  $R_{Fe}$  a magnetizační reaktanci  $X_\mu$ . [3][5][8][15][16]



Obrázek 14: Náhradní schéma transformátoru naprázdno (upraveno z [16])

Na obrázku 15 je znázorněn fázový diagram, který vyplývá z náhradního schématu transformátoru naprázdno. Výsledný proud naprázdno  $I_0$  je vektorovým součtem proudu  $I_{Fe}$ , představujícím činné ztráty vířivými proudy a proudu  $I_\mu$ , představující jalovou složku (vytváří magnetické pole). Matematické vyjádření proudu naprázdno  $I_0$  dle [13]:

$$I_0 = \sqrt{I_\mu^2 + I_{Fe}^2} \quad (14)$$



Obrázek 15: Fázový diagram transformátoru naprázdno (upraveno z [17])

### 3.2.1 Ztrátový proud, ztráty naprázdno a celková impedance naprázdno

Při magnetizaci střídavým magnetickým tokem  $\phi$  vznikají ztráty naprázdno  $P_0$ , složené ze ztrát vířivými proudy a tepelných ztrát. Při chodu naprázdno odebírá transformátor ze sítě proud  $I_{Fe}$ , potřebný pro krytí ztrát naprázdno  $P_0$ . Matematické vyjádření proudu  $I_{Fe}$  dle [13]:

$$I_{Fe} = \frac{P_{Fe}}{U_1} \quad (15)$$

vzhledem k tomu, že se ztráty naprázdno rovnají ztrátám v železe, lze je vyjádřit dle [13] následovně:

$$P_{Fe} = P_0 = I_{Fe}^2 R_{Fe} = \frac{U_1^2}{R_{Fe}} \quad (16)$$

velikost odporu  $R_{Fe}$  vyjádříme dle [13]:

$$R_{Fe} = \frac{P_0}{I_{Fe}^2} = \frac{U_1^2}{P_0} \quad (17)$$

výsledná impedance transformátoru naprázdno  $Z_0$  dle [13]:

$$Z_0 = \frac{U_1}{I_0} \quad (18)$$



Od velikosti ztrát naprázdno  $P_0$  a velikosti proudu naprázdno  $I_0$  se odvíjí účinek transformátoru naprázdno  $\cos\varphi_0$ . Transformátor naprázdno má účinek malý, zpravidla v rozsahu od 0,1 do 0,5. Jalová složka proudu  $I_0$  je vyšší než složka činná, tím vznikne velký fázový posun mezi proudem a napětím. Síť je zatěžována odběrem jalové energie a způsobuje ztráty na vedení. V ideálním případě je  $\cos\varphi_0 = 0,9 - 1$ . [3][5][8][16][17]

### 3.3 Transformátor při zatížení – náhradní schéma, fázový diagram

O transformátoru při zatížení lze hovořit tehdy, kdy je primární vinutí připojené ke zdroji střídavého napětí  $U_1$  a k sekundárnímu vinutí, připojena zátěž  $Z$ . Náhradní schéma transformátoru na obrázku 16 tvoří obvod složený z indukčností a odporů, respektující skutečné ztráty transformátoru. Abychom mohli ztrátové činitele zakreslit do náhradního schématu, musí být vztaženy na primární stranu transformátoru. Odpory i reaktance se na primární stranu přepočítají za podmínky: přepočtený proud  $I_{21}$  v činném odporu vinutí  $R_{21}$  musí vyvolat stejně velké ztráty, jako vyvolá skutečný proud  $I_2$  v činném odporu vinutí  $R_2$ . Pro činný odpor vinutí lze vyjádřit podmínku následovně dle [13]:

$$I_2^2 R_2 = I_{21}^2 R_{21} \quad (19)$$

z rovnosti skutečných hodnot s indexem 2 a přepočtených hodnot s indexem 21 lze vyjádřit vztah pro přepočtený odpor  $R_{21}$  dle [13]:

$$R_{21} = R_2 \frac{I_2^2}{I_{21}^2} = R_2 \left(\frac{I_2}{I_{21}}\right)^2 \quad (20)$$

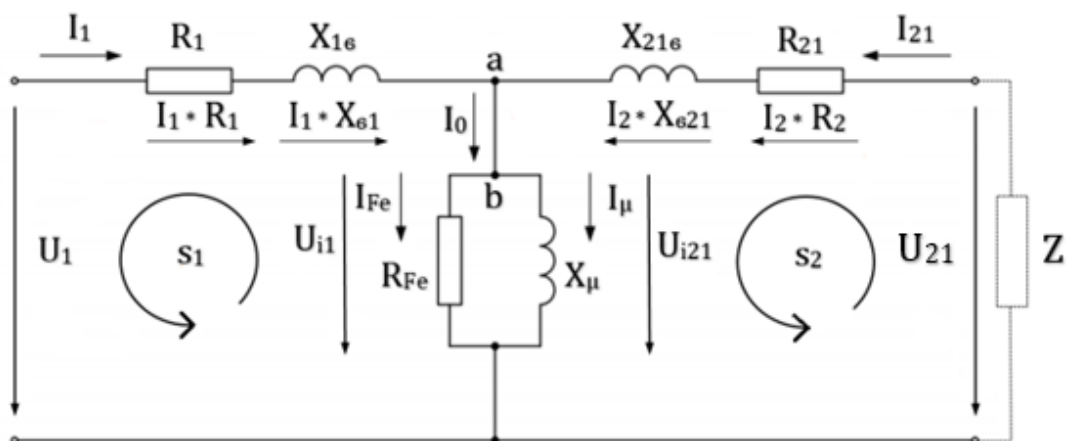
z rovnice 13 lze poměr proudů nahradit převodem transformátoru  $p$  a získáme vztah dle [13]:

$$R_{21} = R_2 p^2 \quad (21)$$

Obdobně lze vyjádřit i rozptylovou reaktanci  $X_{621}$  dle [13]:

$$X_{621} = X_{62} p^2 \quad (22)$$

[12][13][15]



Obrázek 16: Náhradní schéma zatíženého transformátoru (upraveno z [15])

Náhradní schéma zatíženého transformátoru z hlediska popisu rozdělíme na dva obvody.

1. **Paralelní obvod** – představuje magnetický obvod transformátoru. Charakterizuje ztráty magnetického obvodu transformátoru, vzniklé úbytkem proudu při vytváření magnetického pole a krytí ztrát v železe. Měření ztrát je prováděno při chodu naprázdno.

$R_{Fe}$  – činná složka. Ztráty vznikající v železném jádře transformátoru, způsobené hysterezí a vířivými proudy.

$X_{\mu}$  – magnetizační reaktance – jalová složka. Magnetický tok vyvolaný proudem je vlivem magnetického pole jádra zpožděný za napětím o  $90^{\circ}$ .

2. **Sériový obvod** – představuje primární i sekundární vinutí transformátoru. Charakterizuje ztráty ve vinutí, vzniklé úbytkem napětí. Měření ztrát je prováděno při chodu nakrátko.

$R_1$  a  $R_{21}$  – tepelné činné ztráty vznikající na odporu primárního i sekundárního vinutí.

$X_{e1}$  a  $X_{e21}$  – rozptylová reaktance primárního a sekundárního vinutí – jalová složka. Magnetický tok se uzavírá mimo magnetický obvod a nepodílí se na elektromagnetické indukci, čímž vznikají úbytky napětí. [8][15][16][18]

Vyjádřením 1. Kirchhoffova zákona pro uzel  $a$  a  $b$  + vyjádřením 2. Kirchhoffova zákona pro smyčku  $s_1$  a  $s_2$  získáme rovnice popisující transformátor.

1. Kirchhoffův zákon pro uzel  $a$  a  $b$  dle [13]:

$$a: I_1 + I_{21} - I_0 = 0 \quad (23)$$

$$b: I_0 - I_{Fe} - I_\mu = 0 \quad (24)$$

úpravou lze získat vztah pro primární proud  $I_1$  a proud  $I_0$  dle [13]:

$$a: I_1 = I_0 - I_{21} \quad (25)$$

$$b: I_0 = I_{Fe} + I_\mu \quad (26)$$

2. Kirchhoffův zákon pro smyčku  $s_1$  a  $s_2$  dle [13]:

$$s_1: U_1 - U_{i1} - I_1 jX_{16} - I_1 R_1 = 0 \quad (27)$$

$$s_2: -U_{21} + I_{21} R_{21} + I_{21} jX_{216} + U_{i21} = 0 \quad (28)$$

úpravou lze získat vztah pro primární napětí  $U_1$  a napětí  $U_{21}$  dle [13]:

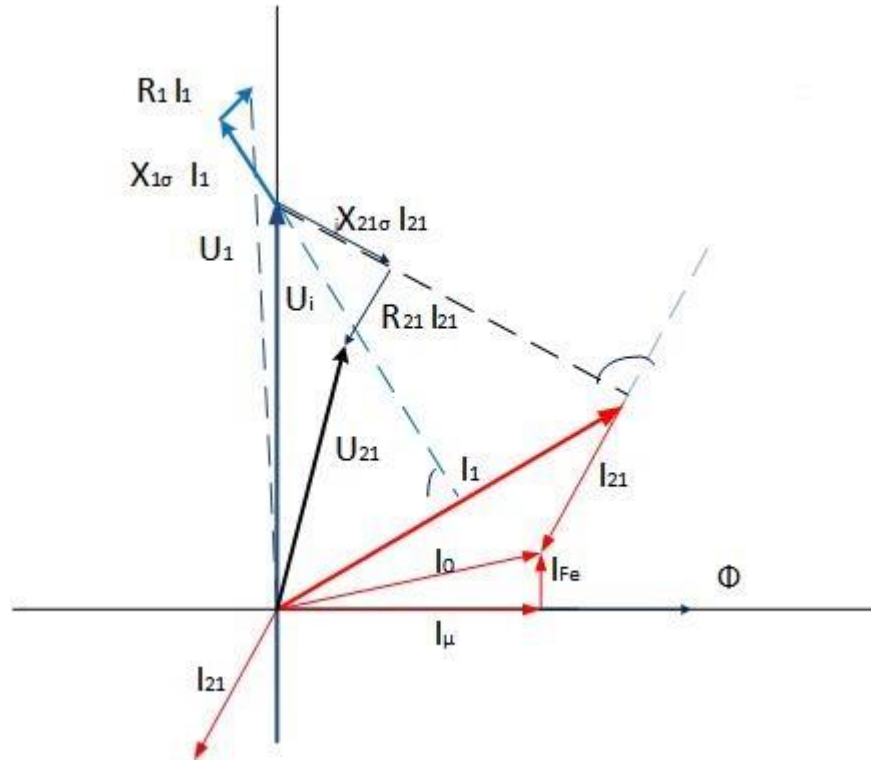
$$s_1: U_1 = U_{i1} + I_1 jX_{16} + I_1 R_1 = U_{i1} + I_1 (R_1 + jX_{16}) \quad (29)$$

$$s_2: U_{21} = U_{i21} + I_{21} jX_{216} + I_{21} R_{21} = U_{i21} + I_{21} (R_{21} + jX_{216}) \quad (30)$$

[8][15][16][18]

Pro konstrukci fázového diagramu na obrázku 17 vycházíme z veličin  $U_{21}$  a  $I_{21}$ , naměřených v sekundárním obvodu transformátoru. Do fázového diagramu zakreslíme složku proudu  $I_{Fe}$  i složku proudu  $I_\mu$ , jejichž vektorovým součtem získáme magnetizační proud  $I_0$ . Složka proudu  $I_{Fe}$  je ve fázi s indukovaným napětím  $U_i$  a složka proudu  $I_\mu$  zpožděná o  $90^\circ$  za indukovaným napětím  $U_i$ . Vynesením sekundárního proudu  $I_{21}$  v opačném smyslu, než smyslu proudu  $I_0$  a následného spojení počátku vektoru proudu  $I_{21}$  získáme proud  $I_1$ . K vynesenému sekundárnímu napětí  $U_{21}$  se přičte úbytek napětí sekundárního odporu  $R_{21}$  a rozptylové reaktance  $X_{216}$ . Vektorovým součtem získáme indukované napětí  $U_i$ . Fázor sekundárního proudu  $I_{21}$  je ve fázi s úbytkem napětí na odporu sekundárního vinutí  $R_{21}$ . Úbytek napětí rozptylové reaktance sekundárního vinutí je posunut o  $90^\circ$  před fázorem sekundárního proudu  $I_{21}$ . V poslední řadě dojde k přičtení úbytku napětí na primárním odporu  $R_1$  a rozptylové reaktance  $X_{16}$ . Fázor

primárního proudu  $I_1$  je ve fázi s úbytkem napětí na odporu primárního vinutí  $R_1$ . Úbytek napětí rozptylové reaktance primárního vinutí je posunut o  $90^\circ$  před fázorem primárního proudu  $I_1$ . Vektorovým součtem získáme primární napětí  $U_1$ . [3][8][15]



Obrázek 17: Fázový diagram zatíženého transformátoru (převzato z [18])

### 3.4 Transformátor nakrátko

Transformátor se ve stavu nakrátko nachází tehdy, má-li spojeny sekundární svorky bez odporovou spojkou nebo dojde k poruše, z čehož plyne velikost sekundárního napětí  $U_{21} = 0$ . Primárním obvodem při zkratu protéká značný proud  $I_{1k}$  a sekundárním obvodem proud  $I_{21k}$ . Můžeme zanedbat proud naprázdno  $I_0$ , jelikož je 200x až 400x menší než zkratový proud  $I_{1k}$ . Z velikosti proudu naprázdno  $I_0$  plyne, že na paralelní větvi vzniknou velmi malé úbytky napětí a můžeme je také zanedbat. Proud  $I_{21k}$  lze nahradit proudem  $I_{1k}$  ze vztahu dle [13]:

$$I_{1k} = -I_{21k} \quad (31)$$

počítáme pouze s proudem  $I_{1k}$ , který prochází celým obvodem. Čím větší uvažujeme transformátor, tím větší vzniká proud nakrátko. Jeho velikost je přibližně 20 až 25 násobek jmenovitého proudu  $I_N$ , matematicky vyjádřeno dle [13]:

$$I_{1k} = (20 \text{ až } 25)I_N \quad (32)$$

V poslední řadě sečteme odpory  $R_1, R_{21}$  a rozptylové reaktance  $X_{16}, X_{216}$  zapojené do série. Výsledné hodnoty odporu a rozptylové reaktance získáme ze vztahů dle [13]:

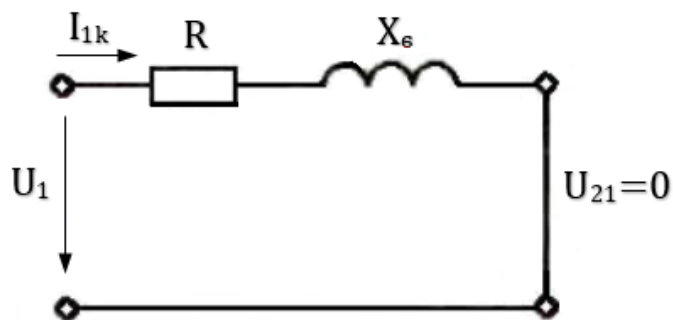
$$R = R_1 + R_{21} \quad (33)$$

$$X_6 = X_{16} + X_{216} \quad (34)$$

Výsledná impedance obvodu  $Z$  se vypočte dle [13]:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_6^2} \quad (35)$$

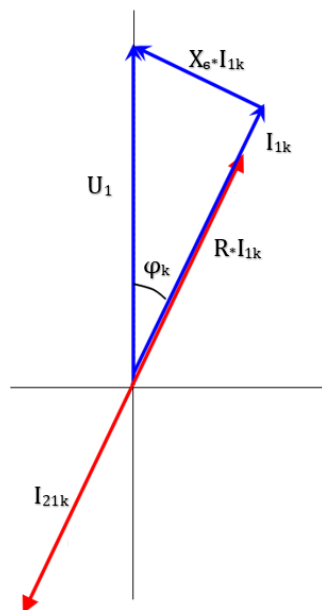
Provedením výše zmíněných úprav získáme náhradní schéma transformátoru nakrátko, znázorněné na obrázku 18. [3][5][8][13][16][17][19]



Obrázek 18: Náhradní schéma transformátoru nakrátko (upraveno z [16])

Z fázového diagramu transformátoru nakrátko na obrázku 19 je patrné, že se transformátor při zkratu chová jako spotřebič s činným odporem  $R$  a rozptylovou reaktancí  $X_6$ . Celé primární napětí  $U_1$  se rozdělí na úbytky napětí činného odporu  $R$  a rozptylové reaktance  $X_6$  dle [13]:

$$U_1 = jX_6 I_{1k} + R U_{1k} \quad (36)$$



Obrázek 19: Fázový diagram trans. nakrátko (převzato z [17])

[3][8][16][17][19]

- a) **úbytek napětí na činném odporu  $R$ :** Vytváří velké množství tepla způsobené průchodem proudem nakrátko  $I_{1k}$  vinutím. Vinutí se velice rychle zahřívá a dochází k poškození izolace v řádu vteřin. Matematické vyjádření dle [13]:

$$Q = RI_{1k}^2 t \quad (37)$$

- b) **úbytek napětí na rozptylové reaktanci  $X_s$ :** jalová složka, vytvářející velmi silné magnetické pole, které je schopno zdeformovat vodiče. [16]

### 3.4.1 Napětí nakrátko

Napětí nakrátko  $U_k$  je takové napětí, které zkratovaným transformátorem protlačí jmenovitý proud  $I_N$ . Napětí nakrátko  $U_k$  charakterizuje tvrdost transformátoru. Pro malé hodnoty napětí nakrátko  $U_k$  mluvíme o tvrdém zdroji, jelikož způsobí malý úbytek napětí na impedanci transformátoru  $Z$  a není tolik náchylný na změny zatížení. Naopak pro vysoké hodnoty napětí nakrátko  $U_k$  mluvíme o měkkém zdroji. Je více náchylný na změny zatížení, kdy dochází k velkým napěťovým úbytkům na impedanci  $Z$ . Napětí nakrátko  $U_k$  vyjádříme pomocí vztahu dle [13]:

$$U_k = I_N Z \quad (38)$$

napětí nakrátko  $U_k$  je velmi často vyjadřováno v procentech, potom mluvíme o procentním napětí nakrátko  $u_{k\%}$ . U transformátorů s výkonem do 16 000 kVA bývá  $u_{k\%} = 4$  až 6 %. Transformátory vyšších výkonů mají  $u_{k\%}$  11 % i více. Speciální pecní transformátory mají záměrně vysoké  $u_{k\%}$ , aby lépe odolávaly a zároveň omezovaly hodnoty zkratového proudu. Vztah pro procentní napětí nakrátko  $u_{k\%}$  dle [13]:

$$u_{k\%} = \frac{U_k}{U_1} 100 = \frac{I_N Z}{U_1} 100 \quad (39)$$

Ze vztahu lze vyjádřit celkovou impedanci transformátoru dle [13]:

$$Z = \frac{U_k}{I_N} = \frac{u_{k\%} U_1}{100 I_N} = \frac{u_{k\%} U_1}{100 I_N} \quad (40)$$

S rostoucím procentním napětím nakrátko  $u_{k\%}$  klesá zkratový proud nakrátko  $I_{1k}$ . Pokud se nejedná o zkratu odolný transformátor, který má  $u_{k\%} = 100$  %, musí se tento proud vypínat. Proud nakrátko  $I_{1k}$  vyjádříme vztahem dle [13]:

$$I_{1k} = \frac{U_1}{\frac{u_{k\%} U_1}{100 I_N}} = \frac{100}{u_{k\%}} I_N \quad (41)$$

[2][12][13][17]

### 3.5 Zapojení vinutí trojfázových transformátorů

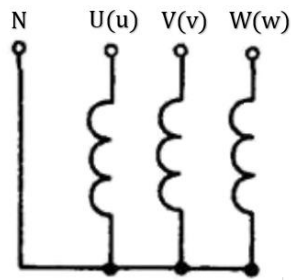
U trojfázových transformátorů můžeme zapojovat vinutí do hvězdy ( $Y, y$ ), trojúhelníka ( $D, d$ ) a lomené hvězdy ( $z$ ). Velká písmena značí zapojení primárního vinutí, malá písmena zapojení sekundárního vinutí. Zapojení primárního a sekundárního vinutí lze kombinovat ( $D, y$ ), ( $Y, d$ ). Zapojení do lomené hvězdy se používá pouze u sekundárního obvodu, k regulaci nesouměrného zatížení. Dle stejného kritéria jsou rozdělena napětí a značení jednotlivých fází. Velká písmena označují veličiny primárního obvodu, napětí ( $U, V, W$ ) a fáze ( $L_1, L_2, L_3$ ). Malá písmena označují veličiny sekundárního obvodu, napětí ( $u, v, w$ ) a fáze ( $l_1, l_2, l_3$ ). [8][12][13][16][20]

### 3.5.1 Zapojení vinutí do hvězdy ( $Y, y$ )

V případě zapojení primárního/sekundárního vinutí do hvězdy jsou konce fází spojeny paralelně do jednoho uzlu. Uzel nazván nulový, jelikož napětí v něm se rovná nule. V případě vyvedení středního vodiče  $N$  z uzlu vinutí, získáme dva druhy napětí. Sdružené  $U_S$  – napětí mezi fázemi a fázové  $U_f$  – napětí mezi nulovým vodičem a fází. Vztah mezi fázovým a sdruženým napětím dle [13]:

$$U_f = \frac{U_S}{\sqrt{3}} \quad (42)$$

Výhodou vinutí do hvězdy je jednoduchá výroba a úspora materiálu, jelikož pro požadované napětí postačí menší počet závitů. Napětí je rozloženo po celé délce vinutí – ideálně elektricky namáhané. Schéma zapojení je znázorněné na obrázku 20. [8][12][13][16][20]

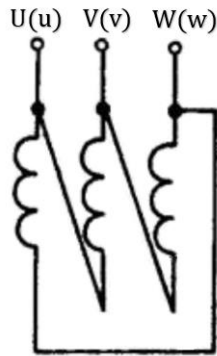


Obrázek 20: Schéma zapojení vinutí transformátoru do hvězdy (upraveno z [16])

### 3.5.2 Zapojení vinutí do trojúhelníku ( $D, d$ )

V případě zapojení primárního/sekundárního vinutí do trojúhelníku je vždy začátek jedné fáze spojen s koncem druhé, sousedící fáze. Všechny tři fáze tvoří sériový obvod a nevytváří nulový uzel. Získáváme pouze sdružené napětí  $U_S$ . Schéma zapojení je znázorněné na obrázku 21. [8][12][13][16][20]

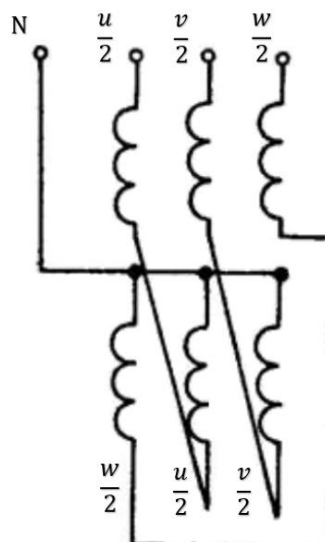




Obrázek 21: Schéma zapojení vinutí transformátoru do trojúhelníka (upraveno z [16])

### 3.5.3 Zapojení vinutí do lomené hvězdy (z)

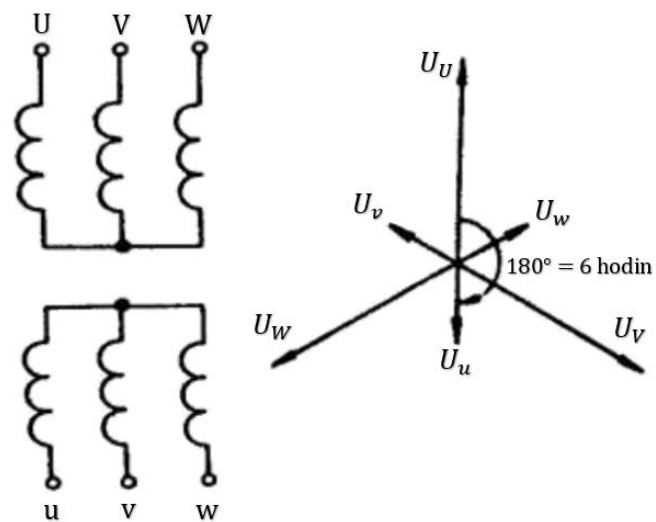
Již bylo zmíněno, že zapojení vinutí do lomené hvězdy používáme pouze pro sekundární vinutí. V případě zapojení sekundárního vinutí do lomené hvězdy je každá fáze rozdělena na dvě poloviny. Konce první poloviny každé cívky spojeny se začátky druhé poloviny téže cívky. Konce druhých polovin cívek tvoří nulový uzel, ze kterého lze vyvést střední vodič  $N$ . Výsledné zapojení je zobrazené na obrázku 22. Zapojení do lomené hvězdy používáno do výkonu 315 kVA u transformátorů, napájející odběr s nesouměrným zatížením. Nevýhodou použití je větší množství materiálu při výrobě cívek. [8][12][13][16][20]



Obrázek 22: Schéma zapojení vinutí transformátoru do lomené hvězdy (upraveno z [16])

### 3.5.4 Hodinový úhel

Hodinový úhel udává fázový posun mezi primárním a sekundárním napětím transformátoru. Vždy udává zpoždění sekundárního napětí za vstupním. Vyhodnocována je každá fáze samostatně. Vyjadřuje se v hodinách, přičemž 1 hodina = úhel  $30^\circ$ . Znázornění hodinového úhlu je na obrázku 23, kdy je primární i sekundární vinutí zapojeno do hvězdy (Yy) s hodinovým úhlem = 6. [8][12][13][16]



Obrázek 23: Zapojení vinutí Yy s hodinovým úhlem 6 hodin + fázový diagram  
(upraveno z [16])

## 4 Druhy a rozdělení transformátorů

Transformátory dělíme do několika skupin z různých úhlů pohledu. Z hlediska počtu fází:

- jednofázové
- trojfázové
- speciální

Z hlediska konstrukce magnetického obvodu, uvedeno v kapitole 2.2:

- plášťové
- jádrové
- toroidní

Z hlediska použitého chladícího média, uvedeno v kapitole 2.4:

- vzduchové
- olejové
- zalité v tuhém izolantu

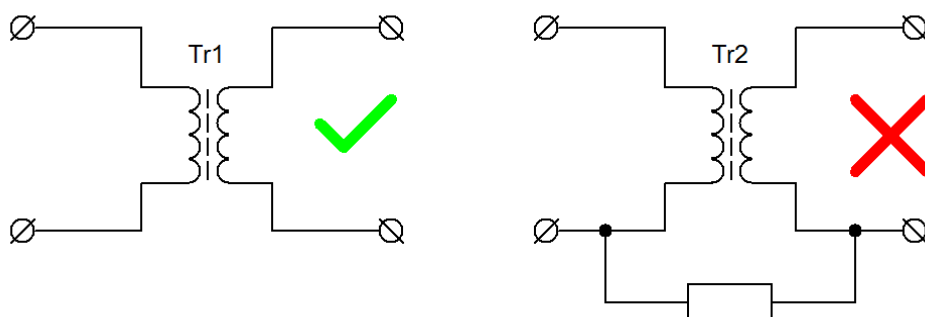
V poslední řadě transformátory dělíme podle použití:

- energetické
- výkonové
- distribuční
- pecní
- svařovací
- blokové
- měřicí
- přístrojové
- pecové
- bezpečnostní
- regulační (autotransformátor)

[12][13][14]

## 4.1 Měřicí (přístrojové) transformátory

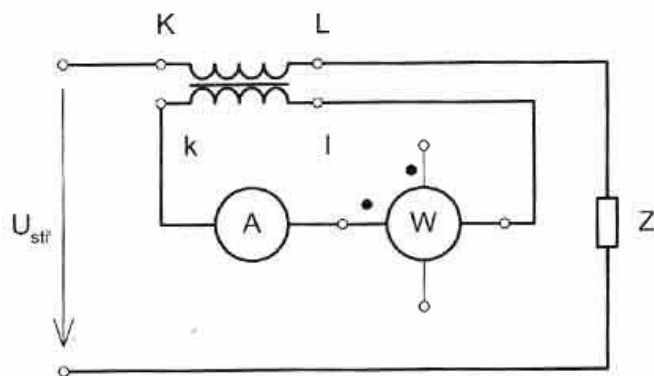
V případě, kdy je třeba měřit vysoké hodnoty střídavého proudu i napětí, používáme měřicí transformátory. Vysoké hodnoty střídavého napětí i střídavého proudu jsou „transformovány“ na hodnoty vhodné pro měřicí přístroje. Použití transformátorů rovněž zaručí galvanické oddělení měřícího a měřeného obvodu. Galvanické oddělení znamená, že obvody jsou vzájemně odděleny, nejsou spojeny žádným vodičem, ale dochází mezi nimi k přenosu energie. Primární a sekundární vinutí transformátoru není nijak spojené. Galvanické oddělení obvodů je znázorněné na obrázku 24. [6][9]



Obrázek 24: Galvanické oddělení obvodů (převzato z [21])

### 4.1.1 Měřicí transformátor proudu (MTP)

Měřicí transformátor proudu slouží k měření vysokých hodnot střídavých proudů. Primární neboli vstupní vinutí je zapojeno do série s měřeným obvodem a zátěží. Pro primární vinutí je požadovaný malý počet závitů, zpravidla jeden. K sekundárnímu neboli výstupnímu vinutí, které má naopak velký počet závitů, je připojení samotné měřicí zařízení (ampérmetr, proudová cívka wattmetru, elektroměr atd.). Sekundární vinutí je s ampérmetrem zapojeno do série, přičemž vnitřní odpor ampérmetru musí být co nejmenší, aby měřicí transformátor proudu pracoval ve stavu blízcím se stavu nakrátko. Díky velkému poměru mezi počtem závitů primárního a sekundárního vinutí dochází k převodu měřeného proudu na jmenovité hodnoty proudu s rozsahem do 5 či 1 A, na sekundární straně obvodu. Schéma zapojení měřícího transformátoru proudu je znázorněné na obrázku 25. [2][8][9]



Obrázek 25: Zjednodušené schéma zapojení měřicího transformátoru proudu  
(převzato z [23])

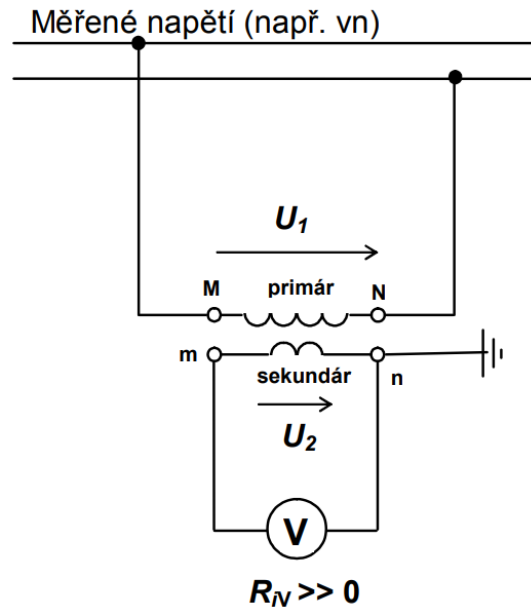
Minimální zatížení měřicího proudového transformátoru je právě při chodu nakrátko. Nikdy nesmí dojít při chodu k rozpojení obvodu sekundárního vinutí. Při rozpojení sekundárního obvodu například v důsledku odpojení měřicího přístroje, bude proudový transformátor přetížen a vnitřní energie se bude měnit v teplo. Zároveň se na rozpojených svorkách objeví vysoké napětí, které může být příčinou úrazu elektrickým proudem nebo může způsobit poškození izolace. Měřicí transformátory proudu bývají vybaveny tzv. zkratovačem pro případ nutnosti obvod sekundárního vinutí rozpojit, například kvůli výměně měřicího zařízení. [12][13][21]

Měřicí transformátory proudu se používají například k úpravě rozsahů střídavých hodnot ampérmetrů a úpravě hodnoty proudu u ochrany a jisticích elektronických prvků. [22]

#### 4.1.2 Měřicí transformátor napětí (MTN)

Obdobně jako měřicí transformátor proudu, slouží měřicí transformátor napětí k převodu vysoké hodnoty střídavého napětí na měřitelnou hodnotu běžným voltmetrem. Primární vinutí je připojeno paralelně k měřenému obvodu a má velký počet závitů. K sekundárnímu vinutí, které má naopak malý počet závitů, je připojeno samotné měřicí zařízení (voltmetr, napěťová cívka wattmetru atd.). V případě zapojení voltmetru je potřeba dosáhnout co možná největší vnitřní odpor, v ideálním případě má být vnitřní odpor měřicího přístroje roven nekonečnu. Nekonečně velký vnitřní odbor voltmetru je požadován, aby měřicí transformátor napětí pracoval jako při stavu naprázdno. Poměr závitů primárního a sekundární vinutí je volen tak, aby jmenovitá

hodnota sekundárního napětí dosahovala 100 V. Měřicí transformátor napětí nesmí být na sekundární straně spojen nakrátko. Díky malé impedanci nakrátko prochází při spoji nakrátko obvodem velký proud nakrátko a může dojít ke spálení vinutí. Schéma zapojení měřícího transformátoru napětí je znázorněné na obrázku 26. [2][8][9][12]



Obrázek 26: Zjednodušené schéma zapojení měřícího transformátoru napětí  
(převzato z [22])

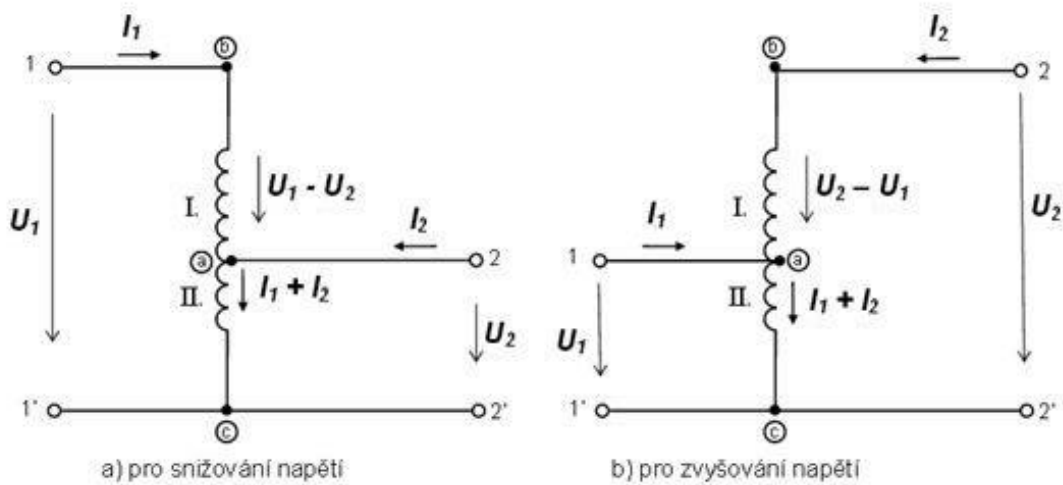
Měřicí transformátory napětí se používají například pro převodové měření spotřeby elektrické energie zákazníka připojeného na hladinu VN nebo VVN. Také lze použít pro oddělení obvodů VN kvůli bezpečnosti a chránění rozvodných zařízení VN. [13][22]

## 4.2 Autotransformátor

Autotransformátor je speciální typ transformátoru používaný v případech, kdy je požadované rozdílné než síťové napětí, případně pokud je třeba regulovat napětí za provozu. Autotransformátory jsou rovněž používány v energetice u napěťových hladin VVN a ZVN. Vyznačuje se tím, že primární i sekundární vinutí tvoří jedna cívka. Autotransformátor může být jednofázový nebo třífázový. Z hlediska konstrukce jde o jednu cívku navinutou na feromagnetické jádro. Díky tomu, že je použito pouze jedno vinutí pro primární i sekundární obvod, dochází ke značné úspoře materiálu. Oproti

běžnému transformátoru při stejném výkonu lze dosáhnout menších rozměrů, nižší hmotnosti a nižší ceny. [3][5]

Autotransformátor v principu funguje jako dělič napětí. Primární napětí je přivedeno na plný počet závitů, sekundární napětí je odváděno přes odbočky. Sekundární napětí lze regulovat pomocí volby vhodného počtu závitů sekundárního vinutí. Schéma zapojení autotransformátoru ve dvou variantách (snižovací a zvyšovací) je znázorněno na obrázku 27. [12]



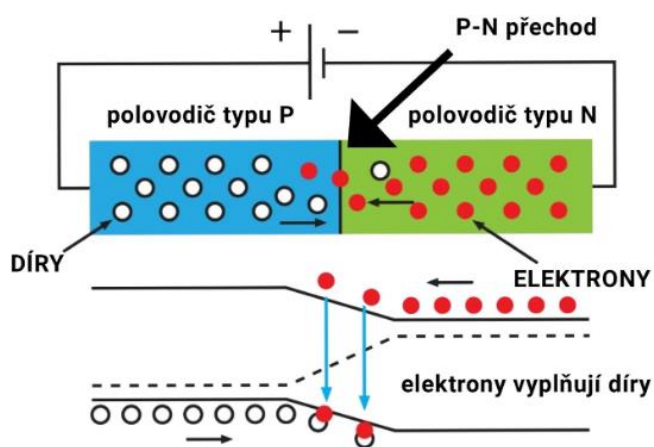
Obrázek 27: Schéma autotransformátoru (převzato z [24])

Použití jediného vinutí obnáší i určité nevýhody. Obvody nejsou galvanicky oddělené, jelikož primární i sekundární vinutí tvoří jedna cívka. Autotransformátor nelze používat k oddělení obvodů různých napěťových hladin (VN-NN; VN-VVN). Při poruše společné části vinutí značené II. na obrázku 27, dojde k přeskoku vyššího napětí do obvodu nižšího napětí a tím vzniká nebezpečí úrazu elektrickým proudem. V případě poruchy části vinutí značené I. na obrázku 27 nebude protékat obvodem proud a autotransformátor není nebezpečný. [13][24]

## 5 Fotovoltaický systém

Fotovoltaické elektrárny jsou tvořeny z fotovoltaických článků a fungují na základě fotovoltaického jevu, kdy dochází k přeměně slunečního záření na elektrickou energii. [25]

Fotovoltaický článek je složen ze dvou polovodičových vrstev typu P (má nedostatek elektronů) a N (má přebytek elektronů), které tvoří P-N přechod. Princip je nastíněn na obrázku 28. Dopadem fotonu slunečního záření se uvolní elektron z valenčního do vodivostního pásu obalu atomu. V místě, které elektron opustil, vznikne „díra“, neboli kladný náboj. Vzhledem k vytvořenému P-N přechodu dojde k oddělení náboje a v uzavřeném obvodu je náboj přitahován k elektrodě s opačným nábojem, dochází tím k rekombinaci a obvodem prochází proud. Jeden článek vytvoří napětí 0,5 - 0,6 V. Požadovaného napětí dosáhneme sériovou kombinací článků, vyššího proudu kombinací paralelní. K dosažení požadovaného výkonu používáme sério-paralelní zapojení. [26][35]



Obrázek 28: Princip fotovoltaického článku (převzato z [25])



## 6 Praktická část

V praktické části bakalářské práce bude zvolen optimální transformátor, případně kombinace více paralelně pracujících transformátorů pro vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny. Výpočty jsou aplikovány na fotovoltaické elektrárně, která byla uvedena do provozu ve 4. čtvrtletí roku 2010. Panely jsou pěvně upevněny na podstavcích. Instalovaný výkon činí 2 384 kW. Z hlediska zeměpisné polohy se fotovoltaická elektrárna nachází v severních Čechách.

Pro výpočet ztrát transformátoru byly použity naměřené hodnoty za rok 2018 s periodou odečtu 15 minut. Jednotlivé  $\frac{1}{4}$  hodinové hodnoty výkonu jsou použity pro výpočty pod označením  $S_T$ , okamžitého výkonu transformátoru. Jalový charakter nebyl zohledněn. Vzhledem k početnému zastoupení výrobců transformátorů na trhu došlo k omezení výběru na 4 výrobce. Zvolení výrobci:

- Společnost Elpro - Energo s.r.o., nabízející transformátory od výrobce SGB Czech Trafo s.r.o. [31]
- Společnost BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. [32]
- Společnost Schneider Electric CZ, s.r.o. [33]
- Společnost Power-energo s.r.o., nabízející transformátory od výrobce ABB s.r.o. [34]

K finální volbě bude třeba zohlednit i náklady na pořízení transformátoru, proto byla zaslána nezávazná poptávka napříč zvolenými výrobci. Získané ceny jsou zaneseny v tabulce 1. Ceny jsou uvedeny bez DPH a zahrnují dopravu.

Tabulka 1: Cenové nabídky výrobců

Výrobce	SGB Czech Trafo s.r.o.	BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s.	Schneider Electric CZ, s.r.o.	ABB s.r.o.
<b>S [kVA]</b>	<b>2 500</b>			
<b>cena [Kč]</b>	925 000	579 000	720 000	630 000
<b>S [kVA]</b>	<b>2 000</b>			
<b>cena [Kč]</b>	750 000	468 000	735 000	540 000
<b>S [kVA]</b>	<b>1 250</b>			
<b>cena [Kč]</b>	521 000	340 000	488 000	360 000
<b>S [kVA]</b>	<b>1 000</b>			
<b>cena [Kč]</b>	465 000	284 000	464 000	300 000
<b>S [kVA]</b>	<b>800</b>			
<b>cena [Kč]</b>	389 000	254 000	381 000	270 000
<b>S [kVA]</b>	<b>630</b>			
<b>cena [Kč]</b>	321 000	191 000	306 000	220 000
<b>S [kVA]</b>	<b>630 s amorfním magnetickým jádrem</b>			
<b>cena [Kč]</b>	nenabízí	nenabízí	nenabízí	410 000

Pro každý transformátor o určitém jmenovitém výkonu lze vypočítat optimální zatížení. Optimální zatížení vyplývá z parametrů transformátoru, ztrát naprázdno a nakrátko. Každý výrobce garantuje různé parametry ztrát naprázdno a nakrátko. Z toho důvodu

se může lišit optimální zatížení transformátoru při stejném jmenovitém výkonu, napříč výrobci. Jinak řečeno, na základě velikosti předpokládaného zatížení lze zvolit optimální výkon transformátoru. Matematické vyjádření optimálního zatížení transformátoru dle [27]:

$$S_{opt} = 100 \sqrt{\frac{\Delta P_0}{\Delta P_k}} \quad (43)$$

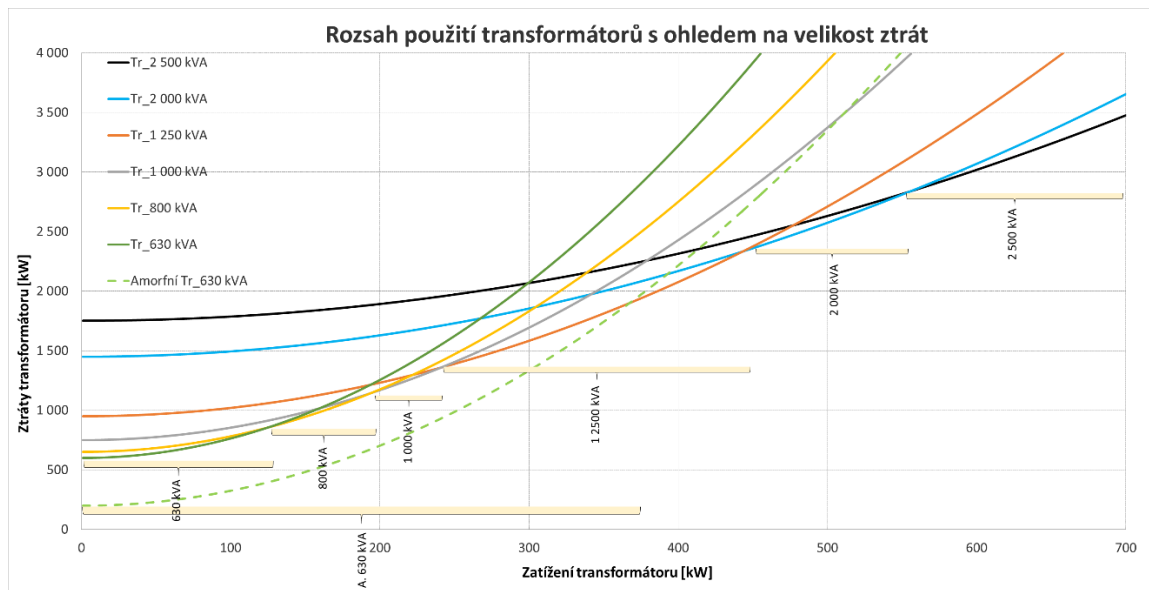
Kde

$S_{opt}$  optimální procentní zatížení transformátoru [%]

$\Delta P_0$  ztráty transformátoru naprázdno [kW]

$\Delta P_k$  ztráty transformátoru nakrátko [kW]

Graf 1 znázorňuje ztráty transformátoru o jmenovitém výkonu 630 kVA, 800 kVA, 1 000 kVA, 1 250 kVA, 2 000 kVA a 2 500 kVA. Jde o idealizovaný případ, kdy jsou použity fiktivní parametry ztrát naprázdno a nakrátko. V grafu je vyznačen rozsah zatížení pro každý transformátor, kdy vznikají nejnižší ztráty z uvažovaných transformátorů. Při uvažovaném zvyšujícím se zatížení, kdy transformátor dosáhne vyšších ztrát, než by dosáhlo při použití transformátoru o vyšším jmenovitém výkonu, protnou se křivky ztrát. V grafu je pak vyznačen jiný optimální výkon transformátoru. Výhodnějším se tak stává transformátor s vyšším jmenovitým výkonem. Pro menší hodnoty zatížení zůstává výhodný transformátor s menším výkonem. Z grafu 1 plyne, že nejmenší rozsah zatížení z hlediska vznikajících ztrát, přeneseme transformátor o jmenovitém výkonu 1 000 kVA. Naopak nejvyšší rozsah zatížení odpovídá transformátoru s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA. Díky použití amorfních materiálů má nižší parametry ztrát naprázdno a nakrátko než běžný olejový transformátor o stejném jmenovitém výkonu. Křivky zatížení transformátorů o jmenovitém výkonu 630 kVA mají stejný průběh, pouze se liší velikost ztrát při daném zatížení.



*Graf 1: Optimální rozsah použití transformátorů o uvažovaných jmenovitých výkonech  
(upraveno z [27])*

Vzhledem k tomu, že maximální dosažený výkon fotovoltaické elektrárny činí 2 203 kW, je nutné přizpůsobit této hodnotě jmenovitý výkon transformátoru nebo skupiny paralelně pracujících transformátorů. Kombinace transformátorů je volena tak, aby maximální přenesený výkon nepřesáhl 95 % hodnoty jmenovitého výkonu transformátoru nebo součtu jmenovitých výkonů paralelně pracujících transformátorů. Pro výpočet jsou uvažovány následující kombinace transformátorů:

- Transformátor o jmenovitém výkonu 2 500 kVA
- Paralelní kombinace transformátorů o jmenovitých výkonech 2x 1 250 kVA
- Paralelní kombinace transformátorů o jmenovitých výkonech 3x 1 000 kVA
- Paralelní kombinace transformátorů o jmenovitých výkonech 3x 800 kVA
- Paralelní kombinace transformátorů o jmenovitých výkonech 1x 1 000 kVA a 1x 2 000 kVA
- Paralelní kombinace transformátorů o jmenovitých výkonech 4x 630 kVA
- Paralelní kombinace transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitých výkonech 4x 630 kVA

Vzhledem k obrovskému množství možných kombinací paralelních spojení a spínání transformátorů, byl výběr omezen na výše zmíněné, které pro cíl práce naprosto dostačují.

Podmínky pro paralelní chod transformátorů:

1. **Stejný sled fází** – splněné při výběru transformátoru [16]
2. **Stejné hodinové číslo** – v katalogu výrobce uveden údaj o zapojení vinutí a hodinovém čísle, při výběru transformátoru. [16]
3. **Stejný převod a jmenovitá napětí** – transformátory s rozdílným jmenovitým napětím není možné provozovat. Rozdílný převod zapříčiní, že začne obvodem procházet trvalý vyrovnávací proud, omezený pouze impedancí transformátoru. Provoz s rozdílným převodem je přípustný s odchylkou maximálně desetin procenta. [16]
4. **Stejná napětí nakrátko** – transformátory s rozdílným napětím nakrátko  $u_{k\%}$  je možné provozovat, pokud rozdíl nepřesáhne 10 %. Rozdíl napětí nakrátko způsobí nerovnoměrné rozdělení zatížení mezi paralelně pracující transformátory. V případě paralelního chodu transformátorů s rozdílným napětím nakrátko je dobré, aby měl transformátor s menším jmenovitým výkonem větší napětí nakrátko, jelikož převezme menší zatížení. Při rozdílném napětí nakrátko je nutné zkontrolovat, že ani v krajních případech zatížení nedojde k přetížení některého z transformátorů. Matematické vyjádření rozdělení zatížení dle [13]:

$$\frac{S_A}{S_{nA}} u_{kA\%} = \frac{S_B}{S_{nB}} u_{kB\%} \quad (44)$$

Z rovnice 44 lze vyjádřit poměr rozdělení zatížení mezi transformátory, dle [13]:

$$S_A : S_B = \frac{S_{nA}}{u_{kA\%}} : \frac{S_{nB}}{u_{kB\%}} \quad (45)$$

Kde

$S_A, S_B$  okamžitý přenášený výkon transformátoru A a B [kW]

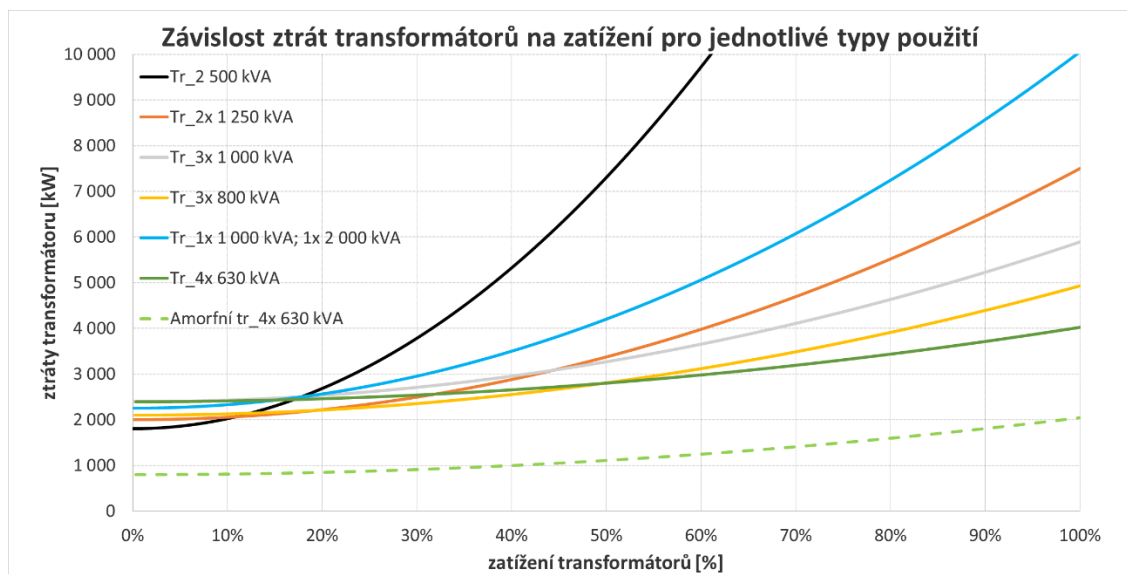
$S_{nA}, S_{nB}$  jmenovitý výkon transformátoru A a B [kVA]

$u_{kA\%}, u_{kB\%}$  procentní napětí nakrátko transformátoru A a B [%]

[16]

5. **Stejný jmenovitý výkon** – transformátory s rozdílným jmenovitým výkonem lze provozovat. Doporučuje se zachovat maximální poměr jmenovitých výkonů 1:3. Při větším poměru ztrácí paralelní spolupráce transformátorů smysl. [16][35]

Graf 2 znázorňuje průběh ztrát transformátoru při uvažovaném rozsahu přenosu výkonu z FVE do sítě, a to s různými kombinacemi paralelně pracujících transformátorů. V grafu jsou použity fiktivní parametry ztrát naprázdno a ztrát nakrátko, stejně jako v předchozím případě u grafu 1. Pro tvorbu grafu je uvažován nepřetržitý provoz všech transformátorů. Z pohledu závislosti výše ztrát na zatížení, vychází nejlépe paralelní provoz čtyř transformátorů o jmenovitém výkonu 630 kVA s amorfním magnetickým jádrem. Nejhuře chod samostatně pracujícího transformátoru o jmenovitém výkonu 2 500 kVA.



Graf 2: Závislost ztrát uvažovaných kombinací transformátorů na zatížení

Následující část práce bude uvažovat:

1. **Nepřetržitý provoz paralelně pracujících transformátorů**
2. **Spínaný provoz paralelně pracujících transformátorů**

## 6.1 Základní data pro výpočet

Veškeré předchozí teze směřovaly k volbě optimálního transformátoru na základě nejnižších ztrát vznikajících při zatížení. Druhou, velmi důležitou součástí optimálního výběru tvoří ekonomické hledisko. Z hlediska výše ztrát, vznikajících při zatížení, vychází z grafu 2 nejlépe paralelní chod čtyř transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA. Nicméně je třeba zjistit, zda ušlý zisk za ztráty odpovídá nákladům na pořízení zvoleného transformátoru, případně kombinaci transformátorů. Vzhledem k tomu, že referenční fotovoltaická elektrárna byla uvedena do provozu v posledním čtvrtletí roku 2010, lze dohledat výkupní cenu elektrické energie a cenu zeleného bonusu v Kč/MWh. Ceny jsou uvedeny v Cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 3/2018 ze dne 25. září 2018, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie [28]. Na obrázku 29 lze vidět výřez z Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 3/2018. Pro jednu fotovoltaickou elektrárnu lze uplatnit pouze jednu z podpor. Nelze kombinovat výkup elektřiny a zelený bonus. V tomto případě je uplatněna cena za výkup elektřiny. Z toho vyplývá, že 1 MWh ztrát je pokryta z výroby elektřiny a odpovídá výkupní ceně elektrické energie.

$$ztráty = \text{výkupní cena} \quad (46)$$

Každá 1 MWh ztrát transformátoru činí finanční ztrátu 14 530 Kč.

$$1 \text{ MWh} = 14\,530 \text{ Kč} \quad (47)$$

(1.10.) Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření:

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Jednotarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		b	c	d	e	l	m
500		-	31.12.2005	-	-	8 189	7 159
501		1.1.2006	31.12.2007	-	-	17 185	16 155
502		1.1.2008	31.12.2008	-	-	16 761	15 731
503		1.1.2009	31.12.2009	0	30	15 725	14 535
504		1.1.2009	31.12.2009	30	-	15 610	14 580
505		1.1.2010	31.12.2010	0	30	14 646	13 456
506	Výroba elektřiny využitím slunečního záření	1.1.2010	31.12.2010	30	-	14 530	13 500
507		1.1.2011	31.12.2011	0	30	8 787	7 597
508		1.1.2011	31.12.2011	30	100	6 916	5 886
509		1.1.2011	31.12.2011	100	-	6 444	5 414
510		1.1.2012	31.12.2012	0	30	7 077	5 887
511		1.1.2013	30.6.2013	0	5	3 840	2 650
512		1.1.2013	30.6.2013	5	30	3 188	1 998
513		1.7.2013	31.12.2013	0	5	3 367	2 177
514		1.7.2013	31.12.2013	5	30	2 739	1 549

Obrázek 29: Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření (převzato z [29])

Výpočet ztrát je proveden pro všechny uvažované kombinace zapojení transformátorů za pomoci vzorce z Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2018 ze dne 20. listopadu 2018, kterým se stanovují ceny za související službu v elektroenergetice a ostatní regulované ceny dle [29]:

$$P_z = P_0 + P_k \left( \frac{S_t}{S_n} \right)^2 \quad (48)$$

Kde

$P_z$  ztrátový výkon transformátoru [kW]

$P_0$  ztráty transformátoru naprázdno [kW]

$P_k$  ztráty transformátoru nakrátko [kW]

$S_t$  okamžitý přenášený výkon [kW]

$S_n$  jmenovitý výkon transformátoru [kVA]

Výpočet ztrát je proveden pro každou naměřenou ¼ hodinovou hodnotu. Součtem vypočtených ¼ hodinových hodnot ztrátového výkonu a následné vydělení 4, dostaneme ztráty v kWh.



$$W_z = [P_0 + P_k \left(\frac{S_t}{S_n}\right)^2] / 4 \quad (49)$$

Kde

$W_z$  ztrátová energie transformátoru [kWh]

Procentní vyjádření ztrátové energie:

$$W_{z\%} = 100 \frac{W_z}{P} \quad (50)$$

Kde

$W_{z\%}$  procentní ztrátová energie transformátoru [%]

$P$  celkový přenášený výkon [kWh]

Při paralelním provozu transformátorů je proveden výpočet ztrát pro každý transformátor zvlášť. Celkové ztráty tvoří součet ztrát každého pracujícího transformátoru. V případě spínaného provozu paralelně pracujících transformátorů je třeba uvažovat výpočet ztrát pouze ve chvíli, kdy je daný transformátor v provozu.

Neméně důležitým výpočtem je hodnota minimálního zatížení pro ekonomický provoz paralelně pracujících transformátorů  $S_{Pmin}$ . Níže uvedené vzorce platí pouze v případě, kdy se rovnají jmenovité výkony paralelně pracujících transformátorů. Matematické vyjádření minimálního zatížení pro ekonomický provoz dvou paralelně pracujících transformátorů dle [27]:

$$S_{Pmin} = 100 \sqrt{\frac{2P_0}{P_k}} \quad (51)$$

Matematické vyjádření pro tři paralelně pracující transformátory je:

$$S_{Pmin} = 100 \sqrt{\frac{6P_0}{P_k}} \quad (52)$$

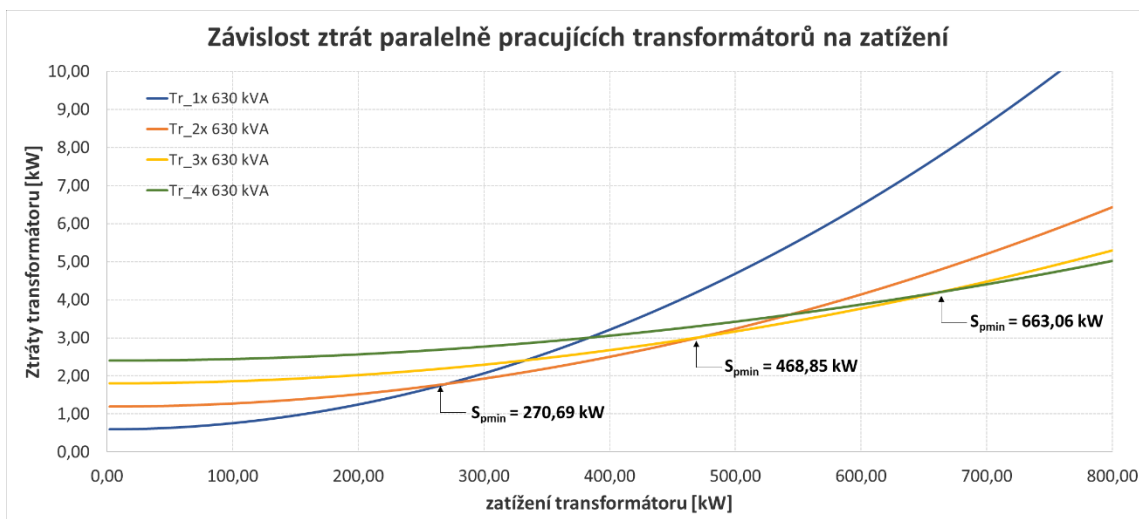
Matematické vyjádření pro čtyři paralelně pracující transformátory je:

$$S_{Pmin} = 100 \sqrt{\frac{12P_o}{P_k}} \quad (53)$$

Kde

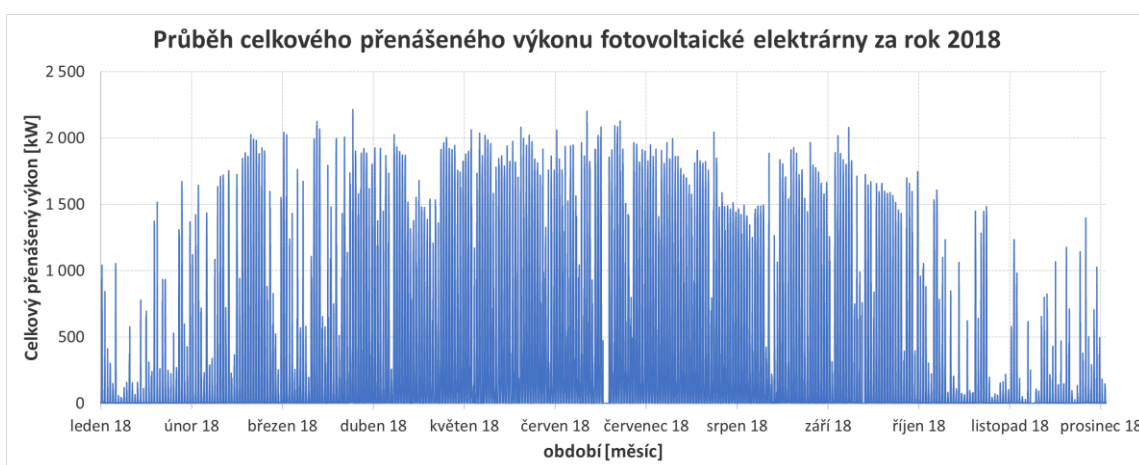
$S_{Pmin}$  minimální zatížení pro ekonomický chod paralelně pracujících transformátorů [%]

V grafu 3 je znázorněn průběh ztrát transformátorů od výrobce SGB Czech Trafo s.r.o. o jmenovitém výkonu 630 kVA. Při tvorbě grafu jsou použity reálné hodnoty ztrát naprázdno a nakrátko. Z grafu 3 jsou patrné meze minimálního zatížení pro ekonomický provoz paralelně pracujících transformátorů. Jakmile dosáhne první transformátor zatížení  $S_{Pmin} = 42,97 \% = 270,69 \text{ kW}$  svého jmenovitého výkonu, je výhodné připnout druhý transformátor. Poté, co dosáhne skupina dvou paralelně pracujících transformátorů zatížení  $S_{Pmin} = 74,42 \% = 468,85 \text{ kW}$  jmenovitého výkonu jednoho transformátoru, stává se výhodným provoz tří paralelně pracujících transformátorů. Poslední hranice dosáhne skupina tří paralelně pracujících transformátorů při hodnotě zatížení  $S_{Pmin} = 105,25 \% = 663,06 \text{ kW}$ . Od této hranice je ekonomicky výhodné provozovat čtyři paralelně pracující transformátory, které si za předpokladu shodných jmenovitých výkonů a napětí nakrátko, rozdělí zatížení rovnoměrně v poměru 1:1:1:1.



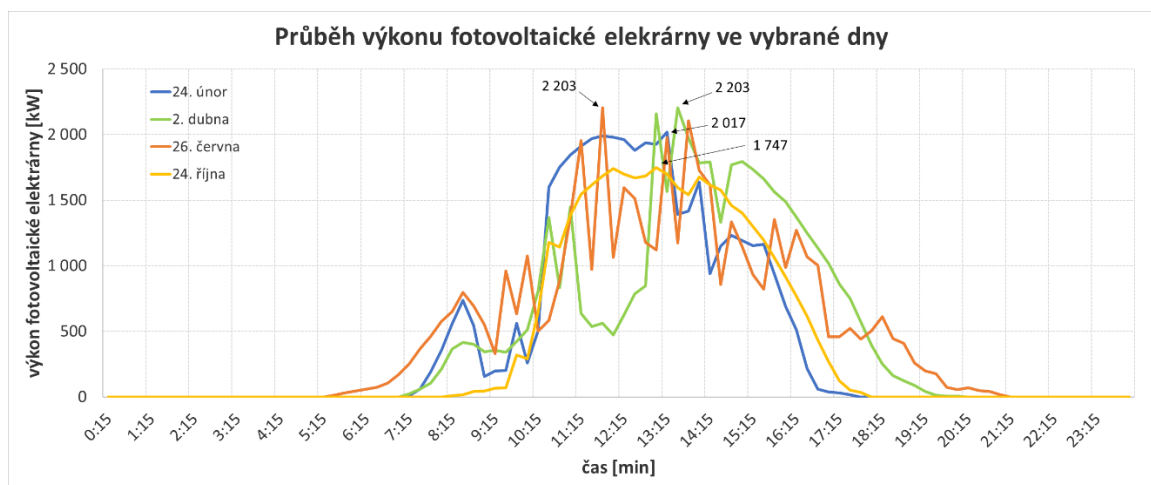
*Graf 3: Závislost ztrát paralelně pracujících transformátorů o jmenovitém výkonu 630 kVA, výrobce SGB Czech Trafo s.r.o.*

Již bylo zmíněné, že při výpočtu ztrát transformátoru jsou použity skutečné naměřené hodnoty za celý rok 2018 s periodou odečtu 15 minut. V grafu 4 je znázorněn průběh přenášeného výkonu za celý rok 2018. Z průběhu výkonu vyplývá, že výkon fotovoltaické elektrárny kolísá nepravidelně s časem. Výkon ovlivňují hlavně vlivy okolního prostředí, roční období a aktuální situace podnebí. Nejstálější výkon má fotovoltaická elektrárna v letních měsících, přibližně od dubna do srpna. Naopak v zimních měsících je výkon poměrně malý a nestálý. Příčina je zcela jasná, je jí doba slunečního svitu v daném období.



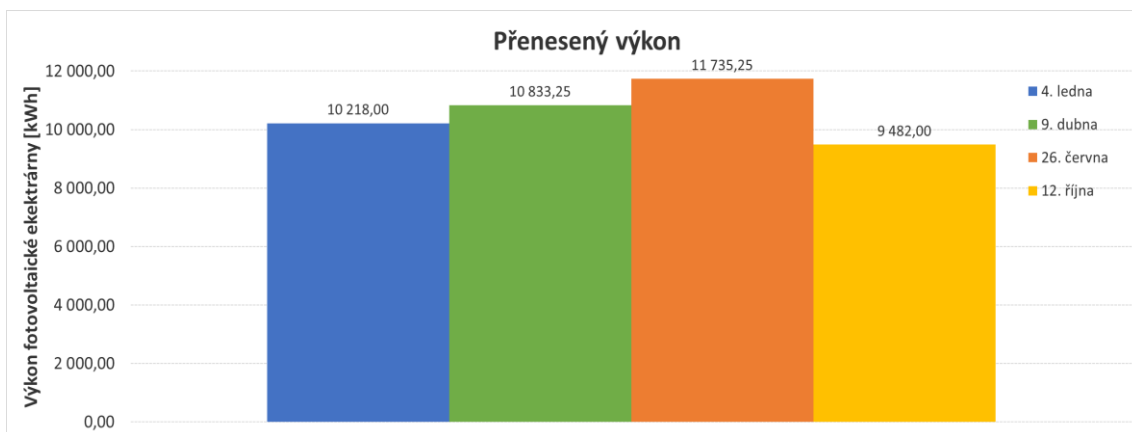
*Graf 4: Průběh celkového přenášeného výkonu*

Pro lepší představu o charakteru výkonu fotovoltaické elektrárny je vytvořen graf 5, který porovnává charakter denní výroby ve vybraných dnech. Pro tvorbu grafu jsou použita data výroby ze čtyř dnů v roce tak, aby každý den spadl do jiného ročního období a zároveň obsahoval maximální dosažený výkon v daném období. Zatímco nejmenší dosažený výkon 1 747 kW byl v říjnu, tedy na podzim, nejvyšší dosažený výkon 2 203 kW byl v červnu a dubnu. Z grafu plyne, že nejvyšších výkonů fotovoltaická elektrárna dosahuje na jaře a v létě. V levé i pravé části grafu, kdy se křivka výkonu téměř dotýká časové osy, fotovoltaický systém nevyrobí.



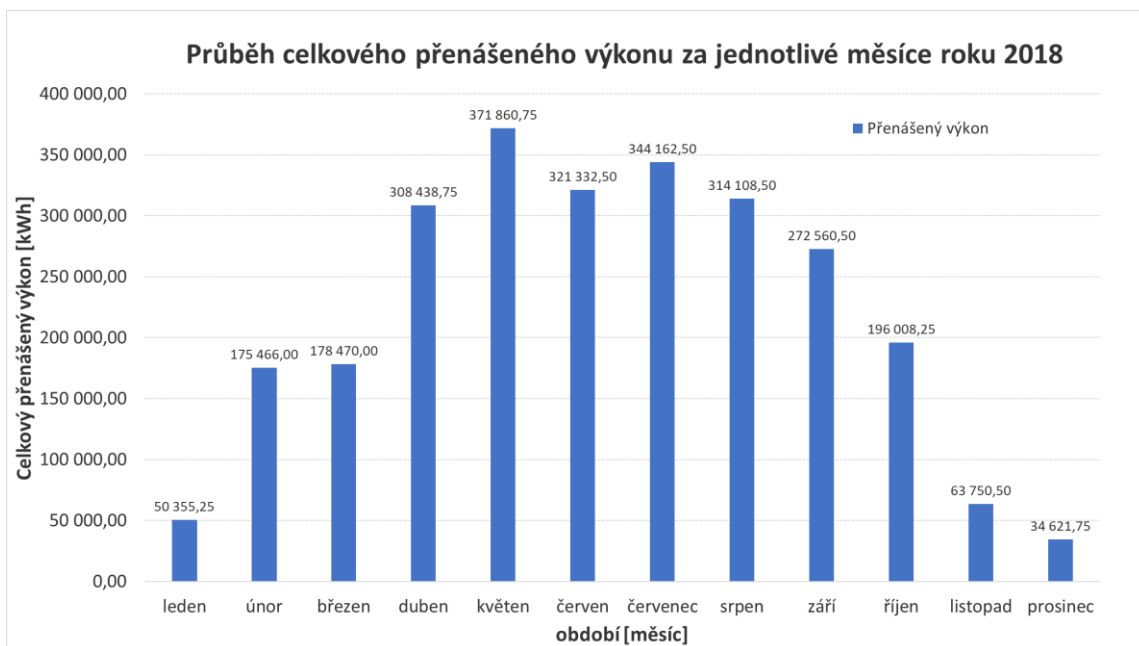
*Graf 5: Průběh výkonu fotovoltaické elektrárny ve vybraných dnech*

Pro lepší představu je do Graf 6 vnesen celkový přenesený výkon v kWh pro výše zmíněné dny. Stejně jako byl maximální dosažený výkon v měsících dubnu a červnu, celkový přenesený výkon za tyto dny byl také nejvyšší. Jelikož má červen delší dny, přenesený výkon je vyšší oproti dubnovým dnům. Nejnižší přenesený výkon byl 24. října.



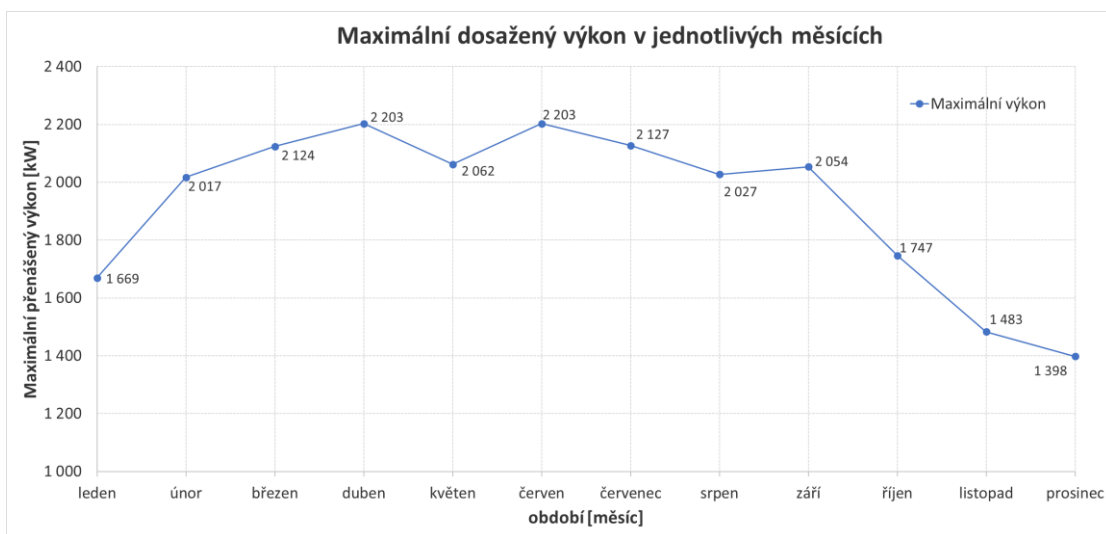
Graf 6: Celkový přenesený výkon ve vybrané dny

Samozřejmě nesmí chybět zobrazení celkového přenášeného výkonu přes transformátor za celý rok v kWh. Nejpřehlednější vyjádření plyne z Graf 7, který znázorňuje celkový přenesený výkon za každý měsíc v roce 2018. Jelikož zůstává celkový přenášený výkon pro jednotlivé měsíce stejný, dochází pouze k rozdělení zatížení v odpovídajícím poměru při paralelním provozu mezi transformátory. Graf 7 potvrzuje předchozí tvrzení, že přenos nejvyšších výkonů nastává od jara do podzimu. Obrovský pokles přenášeného výkonu je patrný na první pohled v prosinci, kdy klesl oproti květnu o 337 239 kWh.



Graf 7: Celkový přenášený výkon fotovoltaické elektrárny po měsících v roce 2018

V neposlední řadě je v grafu 8 tvořena křivka z maximálních dosažených výkonů v jednotlivých měsících. Není pravidlem, že maximální dosažený výkon v měsíci znamená i nejvyšší přenesený výkon. Značné rozdíly získáme porovnáním srpna a září. Zatímco v srpnu byl maximální dosažený výkon 2 027 kW, v září 2 054 kW => maximální dosažený výkon v srpnu o 27 kW nižší oproti září. Přenesený výkon v srpnu činí 314 108,50 kWh v září 272 560,50 kWh => celkový přenesený výkonu v srpnu o 41 548,00 kWh vyšší oproti září. Z toho vyplývá, že maximální dosažený výkon v kW nezaručí nejvyšší přenesený výkon v kWh.



Graf 8: Maximální výkony v roce 2018

## 6.2 Parametry transformátorů a výpočty

Výpočty jsou provedeny ve dvou variantách. Pro paralelní chod uvažovaných kombinací transformátorů, které pracují nepřetržitě a paralelní chod uvažovaných transformátorů, kdy jsou malé výkony přenášeny jedním transformátorem a další transformátory jsou spínány po dosažení vypočtené hodnoty  $S_{pmin}$ . Jelikož bylo naměřeno obrovské množství dat rok 2018, celkem 35 040 hodnot  $\frac{1}{4}$  hodinového přenášeného výkonu, budou uvedeny v tabulkách souhrnně měsíční vypočtené hodnoty.

### 6.2.1 Transformátory SGB Czech Trafo s.r.o.

Prvním ze zvolených je společnost Elpro - Energo s.r.o., nabízející transformátory od výrobce SGB Czech Trafo s.r.o. Pro výpočet ztrát transformátorů jsou použity

parametry uvedené v katalogu výrobce, uvedené v tabulce 2. Základní údaje pro Olejové transformátory SGB Czech Trafo s.r.o. [31]:

- Pro venkovní i vnitřní instalaci
- Hermetické provedení
- Skupina zapojení Dyn1
- Převod 0,4/22 kV

Technické parametry transformátorů včetně rozměrů:

*Tabulka 2: Technické parametry transformátorů SGB Czech Trafo s.r.o.*

Typ	$S_n$ [kVA]	$u_{k\%}$ [%]	$L_{pA}$ [dB]	$P_0$ [kW]	$P_k$ [kW]	$D$ [mm]	$\check{S}$ [mm]	$V$ [mm]	$m$ [kg]	$H$ [kg]
<b>DOTEL 630H/20</b>	630	4	45	0,60	6,50	1 130	870	1 690	1 750	320
<b>DOTEL 800H/20</b>	800	6	47	0,65	8,40	1 300	950	1 750	2 000	350
<b>DOTEL 1000H/20</b>	1 000	6	48	0,77	10,50	1 650	1 000	1 750	2 500	450
<b>DOTUL 1250H/20</b>	1 250	6	50	0,95	11,00	1 780	1 060	1 760	2 990	520
<b>DOTUL 2000H/20</b>	2 000	6	53	1,45	18,00	1 850	1 220	2 220	4 850	1 120
<b>DOTUL 2500H/20</b>	2 500	6	55	1,75	22,00	2 100	1 350	2 300	6 000	1 500

kde

$S_n$  jmenovitý výkon transformátoru [kVA]

$u_{k\%}$  procentní napětí nakrátko [%]

$L_{pA}$  hlučnost transformátoru [dB]

$P_0$  ztráty transformátoru naprázdno [kW]

$P_k$  ztráty transformátoru nakrátko [kW]

$D$  délka transformátoru [mm]

$\check{S}$  šířka transformátoru [mm]

$V$  výška transformátoru [mm]

$m$  celková hmotnost transformátoru [kg]

$H$  hmotnost transformátorového oleje [kg]

### 6.2.2 Transformátory BEZ TRANSFORMÁTORŮ, a.s.

Druhým výrobcem transformátorů zahrnutým do výběru je společnost BEZ TRANSFORMÁTORŮ, a.s. Parametry uvedené v katalogu výrobce jsou opět použity pro výpočet ztrát a uvedeny v tabulce 3. Transformátory výrobce BEZ TRANSFORMÁTORŮ, a.s. mají shodné parametry ztrát naprázdno a nakrátko, jako nabízí výrobce SGB Czech Trafo s.r.o. a ABB s.r.o. Jediný rozdíl vyplývá z konstrukčních parametrů a hlučnosti. Základní údaje pro Olejové transformátory BEZ TRANSFORMÁTORŮ, a.s. [32]:

- Pro venkovní i vnitřní instalaci
- Hermeticky uzavřený, vlnová nádoba, zcela naplněný olejem
- Skupina zapojení vinutí Dyn1
- Převod 0,4/22 kV
- Chladicí systém ONAN
- Materiál vinutí měď Al



Technické parametry transformátorů včetně rozměrů:

Tabulka 3: Technické parametry transformátorů BEZ TRANSFORMÁTORŮ, a.s.

Typ	$S_n$ [kVA]	$u_k\%$ [%]	$L_{pA}$ [dB]	$P_0$ [kW]	$P_k$ [kW]	$D$ [mm]	Š [mm]	$V$ [mm]	$m$ [kg]	$H$ [kg]
TOHn 379/22	630	4	42	0,60	6,50	1 275	880	1 665	1 775	335
TOHn 389/22	800	6	43	0,65	8,40	1 385	940	1 730	2 440	505
TOHn 399/22	1 000	6	45	0,77	10,50	1 635	950	1 815	2 645	510
TOHn 409/22	1 250	6	47	0,95	11,00	1 700	965	1 945	3 255	630
TOHn 429/22	2 000	6	50	1,45	18,00	1 940	1 190	2 195	5 025	1 040
TOHn 439/22	2 500	6	52	1,75	22,00	2 055	1 215	2 250	5 686	1 130

### 6.2.3 Transformátory Schneider Electric CZ, s.r.o.

Třetím výrobcem transformátorů z výběru je společnost Schneider Electric CZ, s.r.o. Tyto transformátory mají totožné parametry ztrát naprázdno, jako nabízí výrobce SGB Czech Trafo s.r.o., BEZ TRANSFORMÁTORŮ, a.s. a ABB s.r.o. Liší se pouze udávané parametry ztrát nakrátko, které výrobce Schneider Electric CZ, s.r.o. nabízí nižší. Z toho plyne, že celkové vypočtené ztráty při zatížení by měly vycházet nejnižší. Technické parametry z katalogu uvedeny v tabulce 4. Z nabízených transformátorů výrobce Schneider Electric CZ, s.r.o. je vybrán typ AoAk. Tento typ má pro všechny uvažované jmenovité výkony, garantované nejnižší parametry ztrát nakrátko a naprázdno. Jedinou výjimku tvoří transformátor o jmenovitém výkonu 2 500 kVA, který výrobce nabízí pouze typu AoBk. Základní údaje pro Olejové transformátory Schneider Electric CZ, s.r.o. [33]:

- Pro venkovní i vnitřní instalaci
- Hermeticky uzavřený s plnicím ventilem

- Skupina zapojení vinutí Dyn1
- Převod 0,4/22 kV
- Chladicí systém ONAN

Technické parametry transformátorů včetně rozměrů:

*Tabulka 4: Technické parametry transformátorů Schneider Electric CZ, s.r.o*

Typ	$S_n$ [kVA]	$u_k\%$ [%]	$L_{pA}$ [dB]	$P_0$ [kW]	$P_k$ [kW]	$D$ [mm]	Š [mm]	$V$ [mm]	$m$ [kg]	$H$ [kg]
AoAk	630	4	neudána	0,60	4,60	1 430	870	1 810	2 510	468
AoAk	800	6	neudána	0,65	6,00	1 570	910	1 830	2 950	556
AoAk	1 000	6	neudána	0,77	7,60	1 640	1 030	2 000	3 580	665
AoAk	1 250	6	neudána	0,95	9,50	1 770	1 030	2 020	4 150	740
AoAk	2 000	6	neudána	1,45	15,00	2 080	1 350	2 140	5 640	1 080
AoBk	2 500	6	neudána	1,75	22,00	2 390	1 350	2 420	5 670	1 060

#### 6.2.4 Transformátory ABB s.r.o.

Posledním z řady je společnost Power-energo s.r.o., nabízející transformátory výrobce ABB s.r.o. Proti ostatním výrobcům byl výběr rozšířen o transformátor s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA. Tento transformátor má garantované daleko nižší parametry ztrát naprázdno a nakrátko. U zbývajících jmenovitých výkonů zůstávají parametry ztrát naprázdno a nakrátko shodné s parametry garantovanými výrobcem SGB Czech Trafo s.r.o. a BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. Odlišnost technických parametrů lze opět nalézt pouze u rozměrů a hmotností, viz. tabulka 5. Základní údaje pro Olejové transformátory ABB s.r.o. [34]:

- Pro venkovní i vnitřní instalaci
- Hermeticky uzavřený, zcela naplněný olejem

- Skupina zapojení vinutí Dyn1
- Převod 0,4/22 kV
- Chladicí systém ONAN
- Materiál vinutí hliník Al nebo měď Cu

Technické parametry transformátorů včetně rozměrů:

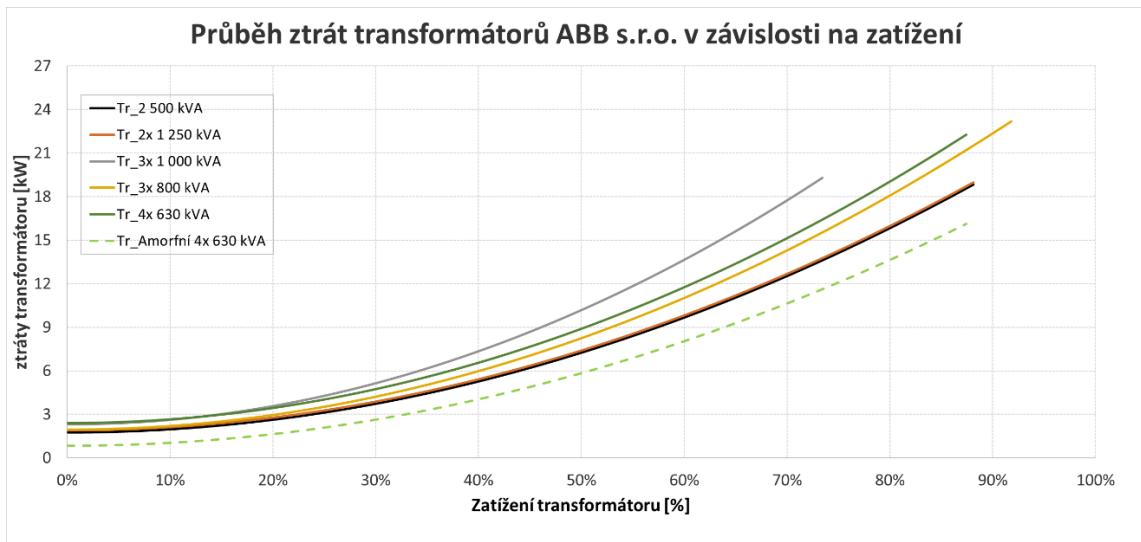
*Tabulka 5: Technické parametry transformátorů ABB s.r.o.*

Typ	$S_n$ [kVA]	$u_k\%$ [%]	$L_{pA}$ [dB]	$P_0$ [kW]	$P_k$ [kW]	$D$ [mm]	Š [mm]	$V$ [mm]	$m$ [kg]	$H$ [kg]
Amorfni	630	6	neudána	0,21	5,00	1 610	1 000	1 460	2 930	435
TNOSCT	630	6	neudána	0,60	6,50	1 289	931	1 548	1 850	379
TNOSCT	800	6	neudána	0,65	8,40	1 550	980	1 715	2 192	420
TNOSCT	1 000	6	neudána	0,77	10,50	1 600	980	1 735	2 600	490
TNOSCT	1 250	6	neudána	0,95	11,00	1 700	980	1 785	3 056	585
TNOSCT	2 000	6	neudána	1,45	18,00	2 000	1 270	1 995	5 110	935
TNOSCT	2 500	6	neudána	17,50	22,00	2 270	1 440	1 975	5 810	1 025

### 6.3 Transformátory, které jsou uvažovány pro nepřetržitý provoz

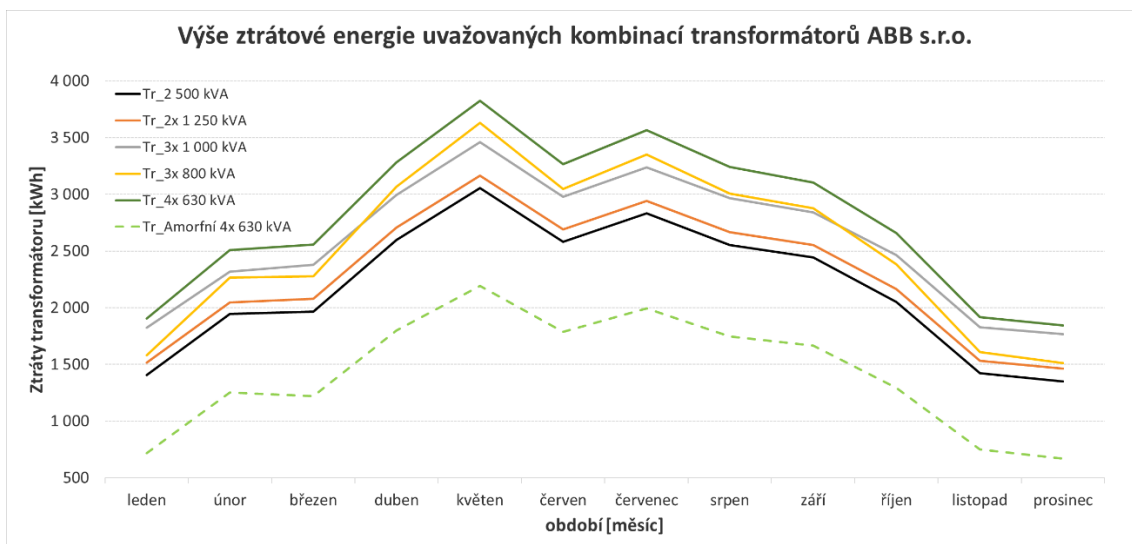
Průběh celkového přenášeného výkonu byl znázorněn v Graf 4. V případě, kdy je uvažován nepřetržitý provoz transformátorů, postrádá smysl vytvářet graf průběhu ztrát v závislosti na zatížení pro každého výrobce zvlášť. Charakter průběhu zůstane stejný, maximálně dojde k odchylce vzhledem k výši ztrát při daném zatížení, což je ovlivněno parametry ztrát naprázdno a nakrátko. Rovněž nebyl uvažován trvalý chod paralelně pracujících transformátorů o jmenovitém výkonu 1 000 kVA a 2 000 kVA. Trvalé, nerovnoměrné zatěžování obou transformátorů není uvažované. Pro znázornění průběhu ztrát v závislosti na zatížení slouží Graf 9. Při tvorbě grafu jsou použité parametry ztrát naprázdno a nakrátko, nabízené výrobcem ABB s.r.o. Z Graf 9 je patrné,

že nejnižší ztráty vznikají při paralelní kombinaci čtyř transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA. Z hlediska nejnižších ztrát následuje transformátor o jmenovitém výkonu 2 500 kVA.



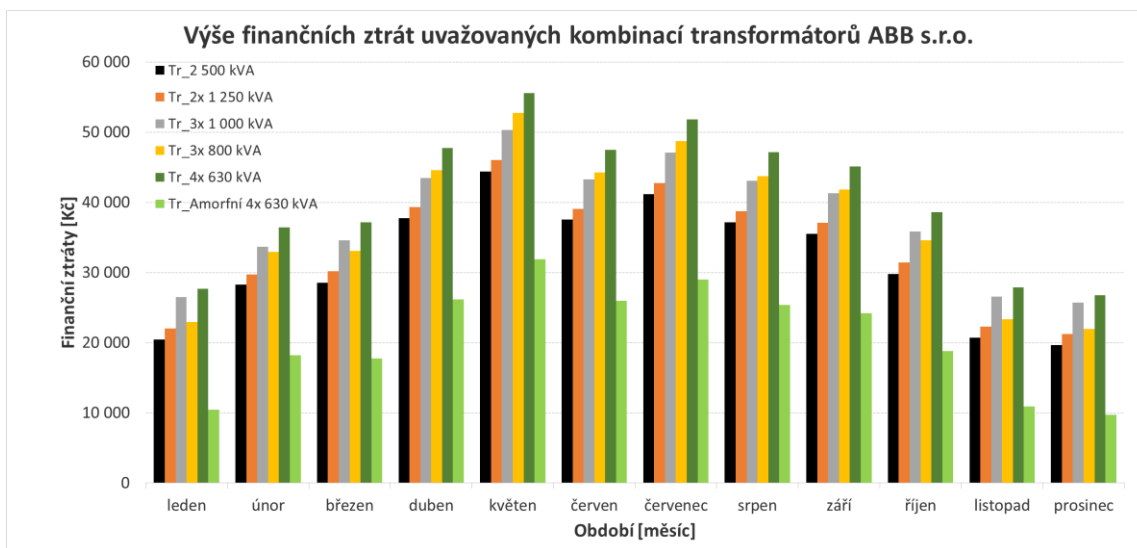
*Graf 9: Průběh ztrát uvažovaných paralelních kombinací transformátorů výrobce ABB s.r.o., za předpokladu trvalého provozu transformátorů*

V grafu 9 je znázorněn průběh ztrát při rostoucím zatížení. Z grafu není zřejmé, jaká je celková výše ztrát. Pro lepší pochopení a názornější ukázkou je vyhotoven graf 10, který zobrazuje křivku měsíčních ztrát v kWh. Nejnižší ztráty vznikají při použití paralelní kombinace čtyř transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA, které následuje transformátor o jmenovitém výkonu 2 500 kVA.



*Graf 10: Výše ztrát transformátorů výrobce ABB s.r.o. za jednotlivé měsíce roku 2018, pro všechny uvažované typy zapojení transformátorů*

Graf 10 může vést k myšlence, že ztráty nejsou až tak vysoké. Maximální ztráty dosahují necelých 4 000 kWh za měsíc, v případě použití nejhorší možné kombinace zapojení, a to čtyř paralelně pracujících transformátorů o jmenovitém výkonu 630 kVA. Opak je pravdou. Vzhledem k vysoké výkupní ceně vyrobené elektrické energie je finanční ztráta poměrně vysoká. V případě nejvyšších ztrát v roce 2018, tedy v květnu, které činí 3 824,28 kWh, dosahuje finanční ztráta převratné částky 55 566,92 Kč. Porovnáme-li dva extrémní případy, kombinaci čtyř paralelně pracujících transformátorů o jmenovitém výkonu 630 kVA a čtyř paralelně pracujících transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o stejném jmenovitém výkonu, dostaneme finanční úsporu 23 699,98 Kč za jeden měsíc provozu, pouze vhodnou volbou kombinací transformátorů! Graf 11 znázorňuje výši finančních ztrát za jednotlivé měsíce.



Graf 11: Finanční ztráty pro výrobce ABB s.r.o. za jednotlivé měsíce roku 2018, pro všechny uvažované typy zapojení

Optimální volbou pro vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny z hlediska vznikajících ztrát v případě nepřetržitého provozu uvažovaných kombinací transformátorů, je kombinace čtyř paralelně pracujících transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA nebo transformátor o jmenovitém výkonu 2 500 kVA.

Rozhodujícím faktorem se v tuto chvíli stává pořizovací cena transformátorů, jelikož pro transformátor o jmenovitém výkonu 2 500 kVA jsou roční ztráty a vzniklé finanční ztráty stejné napříč výrobcí.

V tabulce 6 je uveden souhrn pořizovacích cen transformátorů o jmenovitém výkonu 2 500 kVA a cena transformátoru s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA, pro jednotlivé zvolené výrobce. Vyjádříme-li finanční úsporu za ztráty v případě použití čtyř paralelně pracujících transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA, namísto použití transformátoru o jmenovitém výkonu 2 500 kVA, dostaneme roční úsporu ve výši:

$$\text{roční úspora} = 380\,789,44 - 248\,322,87 = 132\,466,57 \text{ Kč} \quad (54)$$

Požizovací cena transformátoru o jmenovitém výkonu 2 500 kVA je 579 000 Kč. Pořizovací cena paralelní kombinace čtyř transformátorů s amorfním magnetickým

jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA je 1 640 000 Kč. Vzhledem k vyšším pořizovacím nákladům čtyř transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA o 1 061 000 Kč, oproti pořizovací ceně jednoho transformátoru o jmenovitém výkonu 2 500 kVA, je třeba zajistit návratnost.

$$\text{pořizovací náklady} = 1\,640\,000 - 579\,000 = 1\,061\,000 \text{ Kč} \quad (55)$$

Pokud budeme uvažovat životnost fotovoltaické elektrárny 20 let, vyplatí se investovat do čtyř transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA od výrobce ABB s.r.o. Návratnost zjistíme tak, že se podělí rozdíl pořizovacích nákladů, rozdílem roční úspory:

$$\text{návratnost} = \frac{\text{pořizovací náklady}}{\text{roční úspora}} = \frac{1\,061\,000,00}{132\,466,57} = 8,00 \text{ let} \quad (56)$$

Návratnost proti pořizovacím nákladům transformátoru o jmenovitém výkonu 2 500 kVA činí cca 8 let.

*Tabulka 6: Ceny transformátorů o jmenovitém výkonu 2 500 kVA a čtyř transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA, napříč zvolenými výrobci*

<b>výrobce</b>	<b>S [kVA]</b>	<b>cena [Kč]</b>	<b>Roční ztráty <math>W_z</math> [kWh]</b>	<b>Roční finanční ztráty <math>F</math> [Kč]</b>
<b>SGB Czech Trafo s.r.o.</b>	2 500	925 000	26 207,12	380 789,44
<b>BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s.</b>	2 500	579 000	26 207,12	380 789,44
<b>Schneider Electric CZ, s.r.o.</b>	2 500	720 000	26 207,12	380 789,44
<b>ABB s.r.o.</b>	2 500	630 000	26 207,12	380 789,44
<b>ABB s.r.o.</b>	4x 630 Amorfní	1 640 000	17 090,35	248 322,87

Souhrnné hodnoty přeneseného výkonu  $P$ , ztrát  $W_z$ , finančních ztrát  $F$ , doby chodu  $t$  a dosaženého maxima  $P_{max}$  za jednotlivé měsíce roku 2018 jsou uvedeny v tabulce 10, 11, 12 a 13 v příloze. Zmíněné souhrnné hodnoty jsou uvedeny zvlášť pro každý transformátor a všechny uvažované kombinace zapojení. Vzhledem k tomu, že stále uvažujeme nepřetržitý provoz všech transformátorů i při paralelní kombinaci, nemá cenu udávat dobu chodu pro každý transformátor zvlášť. Doba chodu je uvedena

pouze jednou. Stejně tak hodnota dosaženého maxima zůstává pro všechny měsíce stejná, je tudíž uvedena pouze v prvním případě.

#### 6.4 Transformátory, které jsou uvažovány pro spínaný provoz

Druhým případem je uvažovaný spínaný provoz transformátorů. Pro transformátor o jmenovitém výkonu 2 500 kVA se nic nemění, jelikož pracuje samostatně. V našem případě nebudou uvažovány finanční náklady na zřízení automatiky spínání, jelikož to není cílem práce. Spínaný provoz nabývá smyslu ve chvíli, kdy je uvažována paralelní kombinace alespoň dvou transformátorů. Nejnižší přenášené výkony zvládne jeden transformátor, ke kterému se ve chvíli dosažení minimálního zatížení pro ekonomicky výhodný provoz paralelně pracujících transformátorů, připne druhý. Stejně tak nastane i připnutí případného třetího a čtvrtého transformátoru, pokud jsou ve výpočtu uvažovány. Ztráty při malém přenášeném výkonu ovlivní převážně parametr ztrát naprázdno. S rostoucím zatížením způsobí růst ztráty nakrátko. V tabulce 7 jsou uvedeny hodnoty zatížení pro ekonomicky výhodný provoz paralelně pracujících transformátorů, všech uvažovaných jmenovitých výkonů, výrobce ABB s.ro.

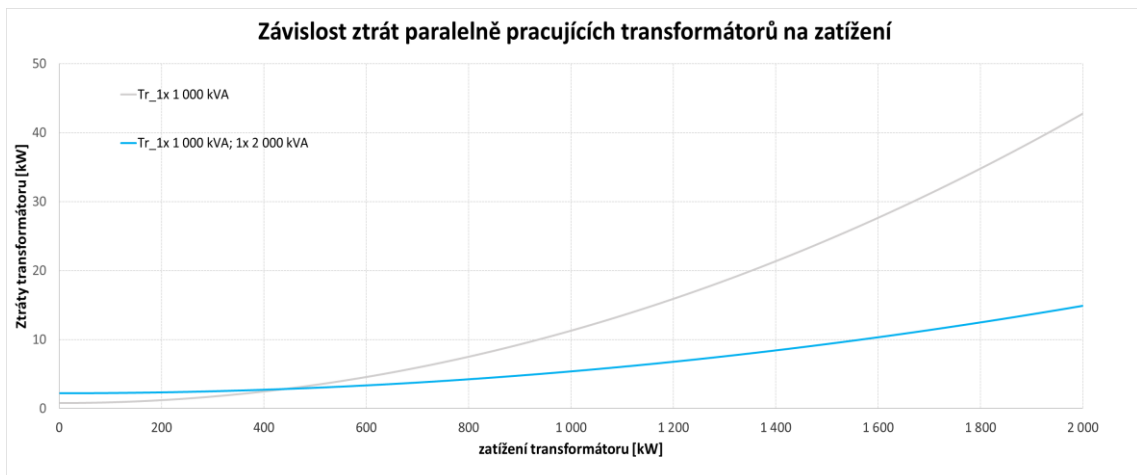
*Tabulka 7: Mez minimálních zatížení pro ekonomicky výhodný provoz, pro všechny uvažované typy zapojení, výrobce ABB s.r.o.*

	$S_{Pmin}$ 2. transformátor		$S_{Pmin}$ 3. transformátor		$S_{Pmin}$ 4. transformátor	
	[%]	[kW]	[%]	[kW]	[%]	[kW]
<b>1 250 kVA</b>	41,00	519,51	71,98	899,81		
<b>1 000 kVA</b>	38,30	382,97	66,33	663,32		
<b>800 kVA</b>	39,34	314,72	68,14	545,11		
<b>630 kVA</b>	42,97	270,69	74,42	468,85	105,25	663,06
<b>Amorfni 630 kVA</b>	28,98	182,59	50,20	316,26	70,99	447,26
<b>1 000 kVA při spojení s 2 000 kVA</b>	44,46	444,67				



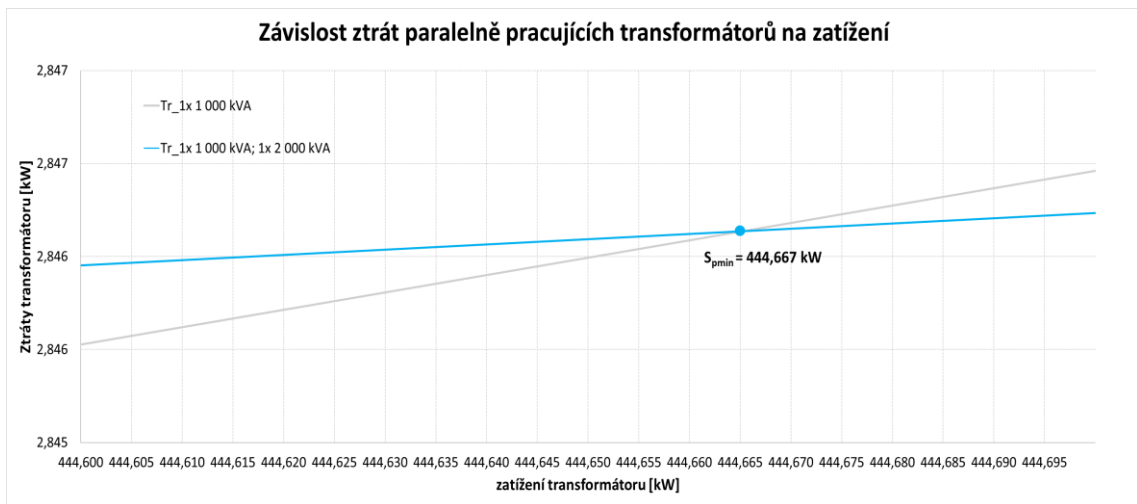
Výpočet ztrát při spínaném provozu transformátorů je proveden pro všechny uvažované kombinace zapojení. Atypickým případem se stává paralelní chod transformátorů o jmenovitém výkonu 1 000 kVA a 2 000 kVA. U transformátorů se stejným napětím nakrátko a stejným jmenovitým výkonem, dojde k rozdělení zatížení vždy ve stejném poměru. V našem případě jsou použity transformátory shodného napětí nakrátko, ale s rozdílným jmenovitým výkonem. Transformátor o jmenovitém výkonu 1 000 kVA bude trvale v provozu a zajistí přenos nižších hodnot výkonu. Ve chvíli, kdy se připne druhý transformátor o jmenovitém výkonu 2 000 kVA, dojde k rozdělení zatížení, na základě rovnice (44). Transformátor o jmenovitém výkonu 1 000 kVA převezme 33,33 % zatížení a transformátor o jmenovitém výkonu 2 000 kVA převezme 66,67 % zatížení.

Pro porovnání byl vytvořen graf 12, tj. graf závislosti ztrát na zatížení. Při tvorbě grafu byl uvažován transformátor výrobce ABB s.r.o. Ve chvíli, kdy se protnou křivky ztrát, jsou ztráty stejné pro transformátor o jmenovitém výkonu 1x 1 000 kVA a paralelní kombinace transformátorů o jmenovitém výkonu 1x 1 000 kVA a 1x 2 000 kVA. Tento bod odpovídá minimálnímu zatížení pro ekonomicky výhodný provoz paralelní kombinace transformátorů o jmenovitém výkonu 1 000 kVA a 2 000 kVA.



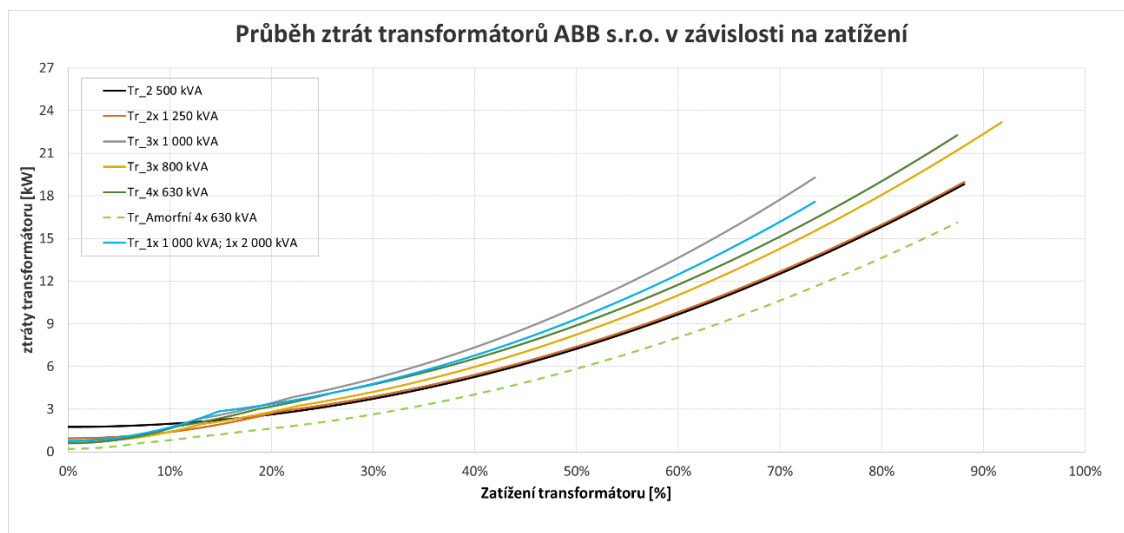
*Graf 12: Závislost ztrát transformátoru ABB s.r.o. o jmenovitém výkonu 1x 1 000 kVA a paralelní kombinace transformátorů o jmenovitém výkonu 1x 1 000 kVA a 1x 2 000 kVA, pro zjištění  $S_{Pmin}$*

Na první pohled není mez pro ekonomicky výhodný provoz patrná. Graf 12 je upraven tak, aby byl dostatečně omezen rozsah os x a y. Mez pro ekonomicky výhodný provoz paralelní kombinace transformátorů o jmenovitém výkonu 1 000 kVA a 2 000 kVA, získané stejným způsobem u všech zvolených výrobců. Úpravou vznikne graf 13 v dostatečném detailu, aby mohla být vyčtena hodnota minimálního zatížení pro ekonomicky výhodný paralelní provoz transformátorů.



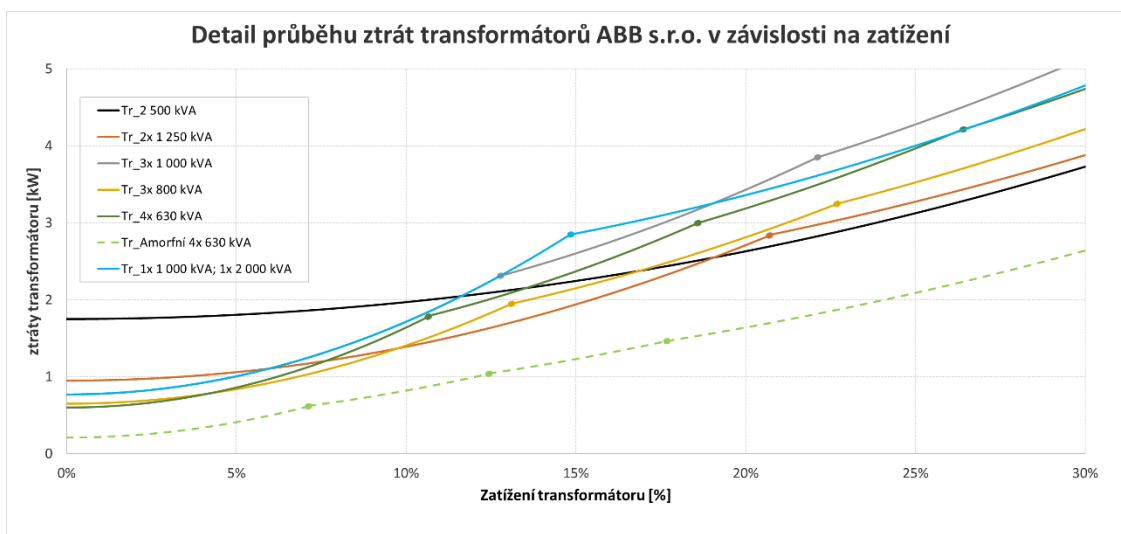
*Graf 13: Detail závislosti ztrát, pro určení meze pro ekonomicky výhodný provoz paralelní kombinace transformátorů o jmenovitém výkonu 1x 1 000 kVA a 1x 2 000 kVA*

Pro znázornění závislosti ztrát na zatížení při spínaném provozu transformátorů, je vytvořen graf 14. Graf je vyhotoven za použití parametrů ztrát naprázdno a nakrátko, výrobce ABB s.r.o. Tento graf je téměř totožný s grafem 9, který uvažuje trvalý provoz transformátorů. Mohlo by dojít k mylnému závěru, že budou i celkové ztráty stejné. Rozdíl není na první pohled patrný. Při zatížení paralelně pracujících transformátorů je průběh křivky odlišný hlavně v oblasti 0 – 30 % zatížení.



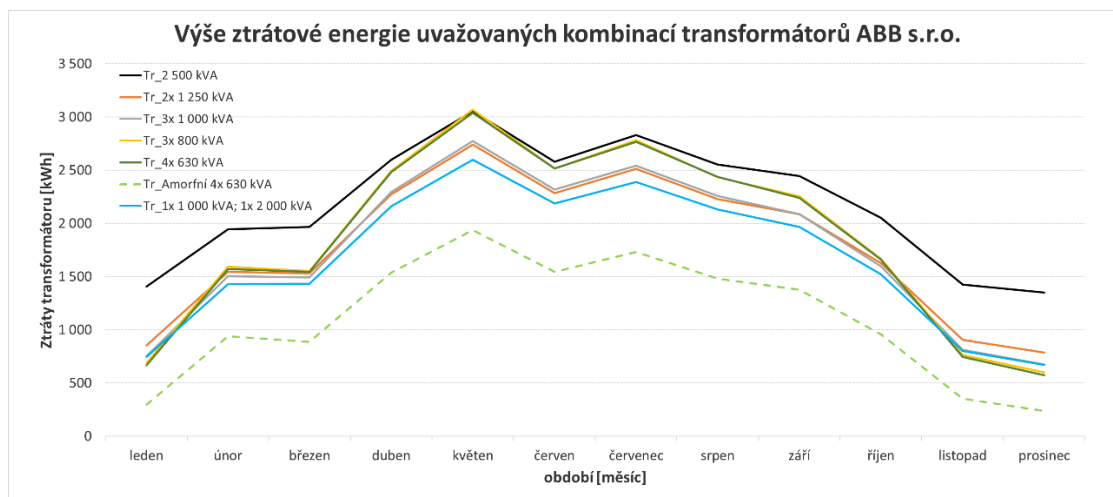
*Graf 14: Průběh ztrát všech uvažovaných kombinací spolupracujících transformátorů výrobce ABB s.r.o., za předpokladu spínaného provozu transformátorů*

Za účelem vysvětlení je vytvořen graf 15, zobrazující detail závislosti ztrát na zatížení v rozsahu zatížení 0 – 30 %. Body na jednotlivých křivkách značí, kdy došlo k paralelnímu připojení dalšího transformátoru, a to u všech uvažovaných kombinací. Z grafu 15 vyplývá první odlišnost od grafu 9. Již bylo řečeno, že při nízkém zatížení hraje značnou roli parametr ztrát naprázdno. Vzhledem k tomu, že transformátory s menším jmenovitým výkonem mají menší ztráty naprázdno, celkové ztráty v tomto rozsahu zatížení jsou nižší. Proč je převážná většina přenášeného výkonu nízká? Budeme vycházet z předpokladu, že průměrná doba slunečního svitu v severních Čechách, činí přibližně 1 600 h [30]. Z celkového časového období jednoho roku, který má 8 760 h, tvoří sluneční svit poměrně malou část. Ve zbylém čase je přenášený výkon minimální. Z toho důvodu lze očekávat, že celkové ztráty nebudou nejnižší při použití transformátoru o jmenovitém výkonu 2 500 kVA, ale při použití jedné z uvažovaných kombinací spínaných, paralelně pracujících transformátorů.



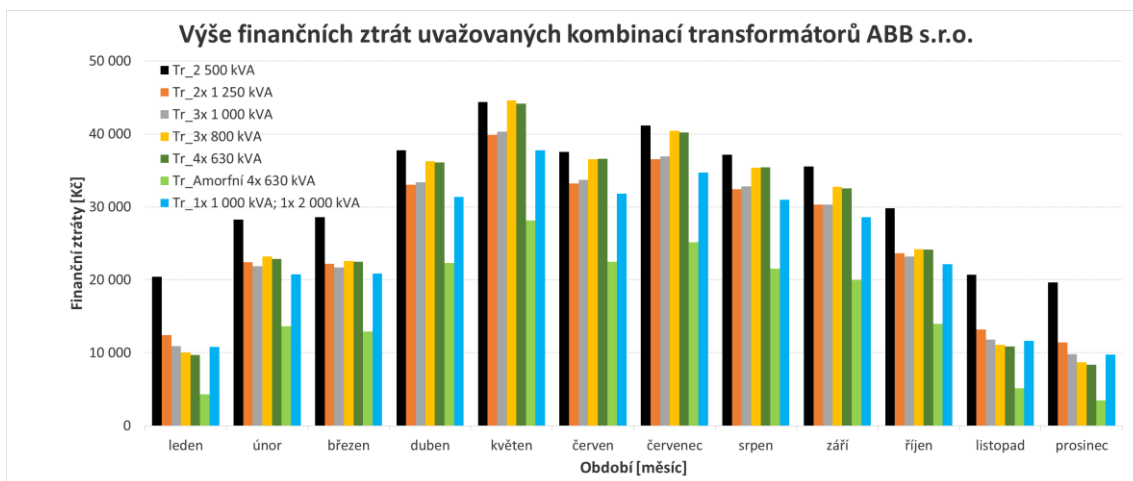
*Graf 15: Průběh ztrát v intervalu zatížení 0 – 30 %, všech uvažovaných kombinací spolupracujících transformátorů výrobce ABB s.r.o., za předpokladu spínaného provozu transformátorů*

Z grafu 15 nelze s jistotou určit, která uvažovaná paralelní kombinace transformátorů bude mít nejnižší ztráty. Nejnižší ztráty v závislosti na zatížení má na první pohled paralelní kombinace čtyř transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA, od výrobce ABB s.r.o., jelikož mají nejnižší garantované parametry ztrát naprázdno a nakrátko. K porovnání výše ztrátové energie za jednotlivé měsíce slouží graf 16. Znázorňuje výši ztrát za jednotlivé měsíce pro všechny uvažované kombinace zapojení.



*Graf 16: Výše ztrát transformátorů výrobce ABB s.r.o. za jednotlivé měsíce roku 2018, pro všechny uvažované typy zapojení transformátorů*

Nejnižší měsíční ztráty vznikají při přenášení zatížení paralelní kombinací čtyř transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA. Z hlediska výše ztrát může následovat téměř jakákoliv uvažovaná kombinace zapojení, kromě provozu transformátoru o jmenovitém výkonu 2 500 kVA, jelikož se křivky grafu 16 v některých místech protínají. Například v říjnu vznikají druhé nejnižší ztráty u paralelní kombinace transformátorů o jmenovitém výkonu 1 000 kVA a 2 000 kVA. V listopadu se naopak stává výhodnější paralelní kombinace tří transformátorů o jmenovitém výkonu 1 000 kVA, ale také paralelní kombinace čtyř transformátorů o jmenovitém výkonu 630 kVA. Příčina je jednoznačná. Nízký přenášený výkon. Jak již bylo zmíněno, při přenosu nízkých výkonů je výhodnější transformátor s nižším jmenovitým výkonem, který má nižší parametry ztrát naprázdno. Finanční ztráty uvažovaných typů zapojení výrobce ABB s.r.o. jsou znázorněny v grafu 17.



*Graf 17: Finanční ztráty pro výrobce ABB s.r.o. za jednotlivé měsíce roku 2018, pro všechny uvažované typy zapojení, za předpokladu spínaného provozu transformátorů*

Graf 17 potvrzuje předchozí tvrzení, že nejnižší ztráty vznikají za použití čtyř paralelně pracujících transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA. Výše finančních ztrát pro uvažované kombinace zapojení není v jednotlivých měsících stejná. Vše se odvíjí od výše přenášeného výkonu. V porovnání s grafem 11, který uvažoval trvalý chod transformátorů, se dostáváme na daleko nižší ztráty. To platí pro všechny uvažované kombinace zapojení při spínaném provozu transformátorů.

Závěr je možné vyvodit ve chvíli, kdy porovnáme ztráty pro všechny zvolené výrobce a všechny uvažované kombinace zapojení. Prozatím byly zhotoveny grafy pouze pro transformátory výrobce ABB s.r.o. Ostatní výrobci mohou garantovat lepší parametry ztrát naprázdno a nakrátko, případně může být výhodnější pořizovací cena. Celková výše ztrát napříč zvolenými výrobci, zahrnující všechny uvažované kombinace zapojení, je uvedena v tabulce 8.

Tabulka 8: Pořizovací cena všech uvažovaných kombinací transformátorů, jejich roční ztráty a roční finanční ztráty, napříč zvolenými výrobci

Výrobce	S [kVA]	cena [Kč]	Roční ztráty $W_z$ [kWh]	Roční finanční ztráty $F$ [Kč]
<b>SGB Czech Trafo s.r.o.</b>	1x 2 500	925 000	26 207,12	380 789,44
	2x 1 250	1 042 000	21 377,78	310 619,19
	3x 1 000	1 395 000	21 112,87	306 770,02
	3x 800	1 167 000	22 417,52	32 5726,53
	1x 1 000; 1x 2 000	1 215 000	20 038,18	29 1154,82
	4x 630	1 284 000	22 252,20	32 3324,48
	Amorfní 4x630			
<b>BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s.</b>	1x 2 500	579 000	26 207,12	380 789,44
	2x 1 250	680 000	21 377,78	310 619,19
	3x 1 000	852 000	21 112,87	306 770,02
	3x 800	762 000	22 417,52	325 726,53
	1x 1 000; 1x 2 000	752 000	20 038,18	291 154,82
	4x 630	764 000	22 252,20	323 324,48
	Amorfní 4x630			
<b>Schneider Electric CZ, s.r.o.</b>	1x 2 500	720 000	26 207,12	380 789,44
	2x 1 250	976 000	19 835,55	288 210,60
	3x 1 000	1 392 000	17 913,65	260 285,38
	3x 800	1 143 000	18 379,54	267 054,65
	1x 1 000; 1x 2 000	1 199 000	17 797,10	258 591,84
	4x 630	1 224 000	18 297,23	265 858,74
	Amorfní 4x 630			
<b>ABB s.r.o.</b>	1x 2 500	630 000	26 207,12	380 789,44
	2x 1 250	720 000	21 377,78	310 619,19
	3x 1 000	900 000	21 112,87	306 770,02
	3x 800	810 000	22 417,52	325 726,53
	1x 1 000; 1x 2 000	840 000	20 038,18	29 1154,82
	4x 630	880 000	22 252,20	323 324,48
	Amorfní 4x 630	1 640 000	13 281,24	192 976,36

V tabulce 8 jsou uvedeny sumární ceny ve chvíli, kdy je použito více transformátorů. Výrobci SGB Czech Trafo s.r.o., BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. a ABB s.r.o. nabízí stejné

parametry ztrát naprázdno a nakrátko pro všechny uvažované jmenovité výkony transformátorů. Výjimku tvoří transformátor s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA, který nabízí pouze výrobce ABB s.r.o. a garantuje daleko lepší parametry ztrát. Nejnižší parametry ztrát naprázdno a nakrátko pro transformátory o jmenovitých výkonech 2 000 kVA, 1 250kVA, 1 000 kVA, 800 kVA a 630 kVA nabízí výrobce Schneider Electric CZ, s.r.o. Z toho důvodu mají tyto transformátory celkové ztráty nejnižší. K optimálnímu výběru dojdeme postupně, eliminací nejméně vhodných kombinací zapojení transformátorů z hlediska ztrát a pořizovacích cen. V první řadě vyřadíme z výběru transformátor o jmenovitém výkonu 2 500 kVA od všech zvolených výrobců. Dále můžeme vyřadit z výběru transformátory výrobce SGB Czech Trafo s.r.o., jelikož ostatní výrobci garantují nižší pořizovací cenu, při stejných parametrech ztrát naprázdno a nakrátko. Dále je možné vyřadit všechny uvažované typy zapojení, kromě paralelní kombinace čtyř transformátorů s amorfním magnetickým jádrem, výrobce ABB s.r.o., ze stejného důvodu. Výrobce BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. garantuje nejnižší pořizovací ceny při stejných parametrech ztrát naprázdno a nakrátko. Výběr byl omezen na uvažované kombinace zapojení, výrobců BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s., Schneider Electric CZ, s.r.o. a jednu kombinaci transformátorů výrobce ABB s.r.o. Nyní musíme zjistit, zda je ekonomicky výhodné investovat do dražších transformátorů výrobce Schneider Electric CZ, s.r.o., který garantuje lepší parametry ztrát nebo pořídit lacinější transformátory výrobce BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s.

Z uvažovaných typů zapojení transformátorů byla vybrána od výrobce BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. paralelní kombinace transformátorů o jmenovitém výkonu 1 000 kVA a 2 000 kVA, která je z hlediska ztrát a pořizovacích nákladů nejvýhodnější. Tato varianta byla zvolena jako referenční při porovnání zbylých kombinací zapojení, které tvoří transformátory výrobce Schneider Electric CZ, s.r.o. a paralelní kombinace čtyř transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA výrobce ABB s.r.o. Porovnání je uvedeno v tabulce 9. Ačkoliv výrobce Schneider Electric CZ, s.r.o. garantuje nižší parametry ztrát naprázdno a nakrátko, pořizovací náklady jsou vyšší. Finanční návratnost činí v nejlepším případě, paralelní kombinaci transformátorů o jmenovitém výkonu 1 000 kVA a 2 000 kVA, necelých 14 let. Vzhledem k životnosti fotovoltaických elektráren zůstává ekonomicky nejvýhodnějším paralelní



kombinace transformátorů o jmenovitém výkonu 1 000 kVA a 2 000 kVA od výrobce BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s.

*Tabulka 9: Porovnání finanční návratnosti při kombinacích zapojení výrobců Schneider Electric CZ, s.r.o. a ABB s.r.o., vůči paralelní kombinaci transformátorů o jmenovitém výkonu 1 000 kVA a 2 000 kVA výrobce BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s.*

<b>Výrobce</b>	<b>S [kVA]</b>	<b>Roční úspora za ztráty [Kč]</b>	<b>Rozdíl cen transformátorů [Kč]</b>	<b>Návratnost [rok]</b>
<b>Schneider Electric CZ, s.r.o.</b>	2x 1 250	2 944,22	224 000	76,10
	3x 1 000	30 869,44	640 000	20,70
	3x 800	24 100,17	391 000	16,20
	1x 1 000; 1x 2 000	32 562,98	447 000	13,70
	4x 630	25 296,08	472 000	18,70
<b>ABB s.r.o.</b>	Amorfní 4x 630	98 178,46	888 000	9,00

Zbývá porovnat poslední dvě varianty. Paralelní kombinaci transformátorů o jmenovitém výkonu 1 000 kVA a 2 000 kVA od výrobce BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. a paralelní kombinaci čtyř transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA výrobce ABB s.r.o. Pořizovací náklady na transformátory výrobce ABB s.r.o. jsou vyšší o 888 000,00 Kč. Na druhou stranu, roční finanční úspora za ztráty je vyšší o 98 178,46 Kč, oproti paralelní kombinaci transformátorů o jmenovitém výkonu 1 000 kVA a 2 000 kVA od výrobce BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. Podělíme-li tyto dvě hodnoty, zjistíme, za jak dlouho se stane výhodnější provozovat transformátory výrobce ABB s.r.o. Navzdory vyšším pořizovacím nákladům se po 9 letech stane výhodnější paralelní kombinace čtyř transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA od výrobce ABB s.r.o.

V prvním případě, kdy byl uvažován trvalý chod transformátorů, vyšla nejlépe rovněž paralelní kombinace čtyř transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA. Přičemž roční finanční ztráty dosahovaly částky

248 322,87 Kč. Pokud uvažujeme spínaný provoz transformátorů, dosahují roční finanční ztráty částky 192 976,36 Kč. Pouhým spínáním transformátorů ve správný čas dostaneme roční úsporu oproti trvalému provozu ve výši 55 346,51 Kč.

Optimální volba pro vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny, z uvažovaných kombinací zapojení od zvolených výrobců, je spínaný provoz čtyř paralelně pracujících transformátorů s amorfním magnetickým jádrem o jmenovitém výkonu 630 kVA.

Souhrnné hodnoty přeneseného výkonu  $P$ , ztrát  $W_z$ , finančních ztrát  $F$ , doby chodu  $t$  a dosaženého maxima  $P_{max}$  za jednotlivé měsíce roku 2018 jsou uvedeny v tabulkách 14, 15, 16 a 17 v příloze.

## Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo zvolit optimální transformátor pro vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny pro síť 22 kV. K docílení požadovaného výsledku bylo třeba přiblížit funkci transformátoru a jeho konstrukčních částí.

V teoretické části práce byly popsány základní konstrukční části, včetně elektrického a magnetického obvodu, izolace a chlazení, kterému byla věnována první kapitola. V druhé kapitole teoretické části byl popsán princip funkce transformátoru a jednotlivé pracovní stavy, ve kterých se může transformátor nacházet. Třetí kapitola byla věnována typům zapojení vinutí pro trojfázové transformátory. Ve čtvrté kapitole byly zmíněné některé speciální případy využití transformátoru. V poslední kapitole teoretické části byl stručně popsán princip funkce fotovoltaického systému. Vzhledem k tomu, že cílem této bakalářské práce byla volba optimálního transformátoru pro vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny, nebyla kapitole o fotovoltaickém systému věnována větší pozornost.

Praktická část byla věnována zpracování získaných dat. Nejprve došlo k uvedení doplňující teorie, potřebné k výpočtům. Dále byly uvedeny základní technické parametry pro jednotlivé zvolené výrobce transformátorů a jednotlivé uvažované jmenovité výkony. Praktická část byla při zpracování vypočtených dat rozdělena na dvě části.

V první části byl uvažován nepřetržitý provoz transformátorů. V této části práce byl graficky popsán průběh ztrát v závislosti na zatížení, měsíční výše ztrát a výše přenášeného výkonu, pro všechny uvažované typy zapojení, výrobce ABB s.r.o. Dosaženými výsledky bylo zjištěno, že při trvalém provozu transformátorů je nejdůležitější zaměřit se na nabízené parametry transformátoru ztrát naprázdno a nakrátko.

V druhé části byl uvažován spínaný provoz transformátoru. Stejně jako v prvním případě byl graficky popsán průběh ztrát v závislosti na zatížení, měsíční výše ztrát a výše přenášeného výkonu, pro všechny uvažované typy zapojení výrobce ABB s.r.o. Dosaženými výsledky bylo zjištěno, že spínáním transformátorů ve vhodnou chvíli bude docíleno značného snížení ztrát. V této části práce byla vybrána nejvhodnější kombinace

transformátorů od jednoho ze zvolených výrobců, pro vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny pro síť 22 kV.

V praktické části byla zpracována získaná data. Při zpracování nedošlo k žádné komplikaci. Vzhledem k požadovanému rozsahu bakalářské práce bylo zpracování omezeno pouze na výběr optimálního transformátoru pro vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny, na základě vypočtených ztrát a pořizovacích cen transformátoru. Jelikož byla fotovoltaická elektrárna uvedena do provozu v roce 2010, cena výkupu elektřiny byla vysoká. Daleko vyšší, než je dnes. Rozšířením práce by mohlo být porovnání optimálního výběru při použití dnešních cen výkupu elektřiny. Také výběr zvolených výrobců, včetně uvažovaných kombinací zapojení, byl značně omezen. Rovněž nebyly uvažované finanční náklady na zřízení automatiky spínání transformátorů.

Tato bakalářská práce se zaměřila na výběr optimálního transformátoru pro vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny pro síť 22 kV na základě vznikajících ztrát a pořizovacích cen transformátoru. Bylo docíleno požadovaného výsledku a zvolena optimální kombinace transformátorů.

## Seznam použité literatury

- [1] *Transformátor - základní vlastnosti a dělení*. OENERGETICE.cz. [online]  
[cit. 27.4.2019]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/transformator-zakladni-vlastnosti-a-deleni/>
- [2] MAŇHAL, Jan. *Magnetické pole transformátoru*. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Jan Bouzek.
- [3] VOŽENÍLEK, Ladislav. *Kurs elektrotechniky. Druhé přepracované vydání*. Praha: SNTL, 1988. ISBN 04-514-88.
- [4] *Transformátory. Transformátory a povídání o nich*. [online] Copyright ©  
[cit. 28.4.2019]. Dostupné z: [www.elektrika.cz/data/clanky/transformatory](http://www.elektrika.cz/data/clanky/transformatory)
- [5] ZOUFALÝ, Jiří Bc. *Elektrické stroje a přístroje*. PROJECTS.OSU.EU. [online]  
Copyright © [cit. 07.5.2019]. Dostupné z: [http://projekty.osu.cz/irp2016/Elektricke\\_stroje\\_a\\_pristroje-elearning.pdf](http://projekty.osu.cz/irp2016/Elektricke_stroje_a_pristroje-elearning.pdf)
- [6] *Trojfázový transformátor. Elektronická učebnice zo silnoprúdových zariadení*.  
[online] [cit. 8.5.2019].  
Dostupné z: <http://www.spslevice.sk/ucebnice/soc-ucebnice2007/Elektronicka%20ucebnica%20SIZ/HTML/Trojfazove%20transformatory/Trojfazove%20transformatory.htm>
- [7] ELUC. *ELUC lekce 754 - konstrukce a princip*. [online] [cit. 26.5.2019]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/754>
- [8] *O škole. Střední škola Elektrotechnická, Na jízdárně 30, Ostrava*. [online]  
Copyright © [cit. 1.6.2019]. Dostupné z: [http://www.sse-najizdarne.cz/dokumenty/studijni\\_materialy/elektricke\\_stroje\\_a\\_pristroje.pdf](http://www.sse-najizdarne.cz/dokumenty/studijni_materialy/elektricke_stroje_a_pristroje.pdf)
- [9] PRYTOLUK, Jakub. *Diagnostika transformátorů – výrobní zkoušky*. Plzeň 2016. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Michal Svoboda.
- [10] *Chladicí systém a metody transformátoru. Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik*. [online] [cit. 1.6.2019]. Dostupné z: <https://riverglennapts.com/cs/transformer-accessories/885-transformer-cooling-system-and-methods.html>

- [11] HARMAN, Dominik Bc. *Účinnost chladících systémů transformátorů přenosové soustavy*. Plzeň 2016. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce prof. Ing. Václav Mentlík, Csc.
- [12] MRAVEC, Rudolf. *Elektrické stroje a přístroje I, II*. Praha: SNTL, 1982.
- [13] SCHANDL, Bohuslav Ing. *Elektrické stroje a přístroje*. SPSŠE v Českých Budějovicích, 2014.
- [14] LINHART, Tomáš. *Obecná teorie transformátorů*. Plzeň 2012. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Lucie Noháčová, Ph.D.
- [15] VŠETULA, Miroslav. *Paralelní chod transformátorů*. Ostrava 2016. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava v Ostravě. Vedoucí práce Ing. Václav Čech, Ph.D.
- [16] NAVRÁTILOVÁ, Eva Ing. *Učební materiál - transformátory*. Střední škola Havířov 2009.
- [17] MONČKA, Aleš. *Transformátory VN – průzkum trhu*. Ostrava 2011. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava v Ostravě. Vedoucí práce Ing. David Helštýn.
- [18] ELUC. *ELUC lekce 756 – Transformátor při zatížení*. [online] [cit. 17.6.2019]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/756>
- [19] ELUC. *ELUC lekce 757 – Transformátor při chodu nakrátko*. [online] [cit. 17.6.2019]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/757>
- [20] ELUC. *ELUC lekce 761 – Trojfázový transformátor – zapojení vinutí*. [online] [cit. 17.6.2019]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/761>
- [21] *Co je co – galvanické oddělení. RoboDoupě - web nejen o robotice*. [online] Copyright © 2019 [cit. 07.8.2019]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2015/co-je-co-4/>
- [22] VRÁNA, Václav doc. Ing. *Transformátory. Studijní materiál pro studenty bakalářských studijních programů*. [online] Copyright © [cit. 8.8.2019]. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/BC\\_FBI/Prednasky/Trafa\\_bc.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/BC_FBI/Prednasky/Trafa_bc.pdf)
- [23] Autor neznámý. *Elektrotechnická měření. První vydání*. BEN – technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-022-9.
- [24] ELUC. *ELUC lekce 764 – Trojfázové speciální transformátory*. [online] [cit. 27.10.2019]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/764>

- [25] *Uložte energii ze solárních panelů do Virtuální baterie | E.ON Solar. Solární systémy a fotovoltaika s Virtuální baterií | E.ON Solar.* [online] [cit. 27.10.2019]. Dostupné z: <https://www.eon-solar.cz/blog/1-jak-funguje-fotovoltaicky-neboli-solarni-panel>
- [26] *Fotovoltaické elektrárny - princip funkce a součásti, elektrárny v ČR.* OENERGETICE.cz. [online] [cit. 20.11.2019]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>
- [27] ŽÁK, František Ing. Ph.D. *Vliv zatížení transformátorů na jejich ztráty. Konference ČK CIRED 2019.* Tábor 2019.
- [28] *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 3/2018 ze dne 25. září 2018, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie.* ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. [online] Copyright © [cit. 20.11.2019]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/4697359/ERV\\_6\\_2018.pdf/b19eac97-d73e-472d-8105-d4e119a69cb8](https://www.eru.cz/documents/10540/4697359/ERV_6_2018.pdf/b19eac97-d73e-472d-8105-d4e119a69cb8)
- [29] *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2018 ze dne 20. listopadu 2018, kterým se stanovují ceny za související službu v elektroenergetice a ostatní regulované ceny.* ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. [online] Copyright © [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/3899124/ERV\\_10\\_2018.pdf/3feb1c47-0aa0-4766-a0d0-39715afd9fe0](https://www.eru.cz/documents/10540/3899124/ERV_10_2018.pdf/3feb1c47-0aa0-4766-a0d0-39715afd9fe0)
- [30] BERANOVSKÝ, Jiří a TRUXA, Jan. *Alternativní energie pro váš dům. 2. aktualizované vydání.* ERA vydavatelství, 2004. ISBN 80-86517-89-6.
- [31] *Transformátory. Elpro-Energo.* [online] [cit. 8.12.2019]. Dostupné z: <http://www.elpro-energo.cz>
- [32] *Distribučné transformátory. BEZ Bratislava.* [online] Copyright © 2015 [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: <http://www.bez.sk/sk>
- [33] *Schneider Electric Czech Republic . Globální specialista na efektivní hospodaření s energiemi a průmyslovou automatizací.* [online] Copyright ©2018 [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: <https://www.se.com/cz/cs/>
- [34] *Dodavatel technologií pro vysoké napětí a VVN. Power-energo s.r.o. Dodavatel technologií pro vysoké napětí a VVN* [online]. Copyright © 2019 [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: <https://www.power-energo.cz>

[35] *PŘÍLOHA 4 PPDS: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN  
A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY,  
2017. ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. [online] Copyright © [cit. 09.12.2019].  
Dostupné z: [https://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-  
other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/ppds-2017\\_priloha-4.pdf](https://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/ppds-2017_priloha-4.pdf)*



# Přílohy

Tabulka 10: Přehled vypočtených hodnot při uvažovaném trvalém provozu transformátorů výrobce ABB s.r.o.

jmennovitý výkon transformátoru [kVA]	měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	suma	
2 500	přenesený výkon P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25	
	ztrátová energie W <sub>z</sub> [kWh]	1 405,82	1 944,28	1 965,65	2 597,49	3 054,76	2 581,54	2 831,22	2 554,81	2 444,64	2 051,53	1 423,90	1 351,48	26 207,12	
	finanční ztráty F [Kč]	20 426,54	28 250,44	28 560,89	37 741,55	44 385,61	37 509,83	41 137,56	37 121,45	35 520,61	29 808,70	20 689,24	19 637,03	380 789,45	
	doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00		8 760,00
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00		
															1 315 567,63
2x 1 250	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	25 177,63	87 733,00	89 235,00	154 219,38	185 930,38	160 666,25	172 081,25	157 054,25	136 280,25	98 004,13	31 875,25	17 310,88	1 315 567,63	
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	25 177,63	87 733,00	89 235,00	154 219,38	185 930,38	160 666,25	172 081,25	157 054,25	136 280,25	98 004,13	31 875,25	17 310,88	1 315 567,63	
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25	
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	758,71	1 022,54	1 038,55	1 352,75	1 583,18	1 344,77	1 471,41	1 333,21	1 276,32	1 081,64	765,95	731,54		13 760,56
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	758,71	1 022,54	1 038,55	1 352,75	1 583,18	1 344,77	1 471,41	1 333,21	1 276,32	1 081,64	765,95	731,54		13 760,56
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	1 517,42	2 045,08	2 077,10	2 705,49	3 166,36	2 689,54	2 942,82	2 666,41	2 552,64	2 163,28	1 531,90	1 463,08		27 521,12
finanční ztráty F [Kč]	22 048,09	29 715,07	30 180,26	39 310,79	46 007,16	39 079,07	42 759,11	38 742,99	37 089,85	31 432,42	22 258,48	21 258,58		399 881,87	
doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00		8 760,00	
3x 1 000	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	16 785,08	58 488,67	59 490,00	102 812,92	123 953,58	107 110,83	114 720,83	104 702,83	90 853,50	65 336,08	21 250,17	11 540,58	877 045,08	
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	16 785,08	58 488,67	59 490,00	102 812,92	123 953,58	107 110,83	114 720,83	104 702,83	90 853,50	65 336,08	21 250,17	11 540,58	877 045,08	
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	16 785,08	58 488,67	59 490,00	102 812,92	123 953,58	107 110,83	114 720,83	104 702,83	90 853,50	65 336,08	21 250,17	11 540,58	877 045,08	
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25	
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	607,29	772,08	792,65	997,70	1 153,81	992,41	1 079,72	988,11	947,04	821,49	608,72	589,28		10 350,31
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	607,29	772,08	792,65	997,70	1 153,81	992,41	1 079,72	988,11	947,04	821,49	608,72	589,28		10 350,31
ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	607,29	772,08	792,65	997,70	1 153,81	992,41	1 079,72	988,11	947,04	821,49	608,72	589,28		10 350,31	
ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	1 821,87	2 316,24	2 377,95	2 993,09	3 461,44	2 977,24	3 239,17	2 964,34	2 841,11	2 464,48	1 826,17	1 767,84		31 050,92	
finanční ztráty F [Kč]	26 471,75	33 654,95	34 551,60	43 489,63	50 294,68	43 259,22	47 065,09	43 071,80	41 281,30	35 808,88	26 534,20	25 686,73		451 169,84	
doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00		8 760,00	
3x 800	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	16 785,08	58 488,67	59 490,00	102 812,92	123 953,58	107 110,83	114 720,83	104 702,83	90 853,50	65 336,08	21 250,17	11 540,58	877 045,08	
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	16 785,08	58 488,67	59 490,00	102 812,92	123 953,58	107 110,83	114 720,83	104 702,83	90 853,50	65 336,08	21 250,17	11 540,58	877 045,08	
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	16 785,08	58 488,67	59 490,00	102 812,92	123 953,58	107 110,83	114 720,83	104 702,83	90 853,50	65 336,08	21 250,17	11 540,58	877 045,08	
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25	
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	526,61	755,10	758,62	1 022,12	1 209,77	1 015,51	1 117,15	1 002,64	958,80	794,05	535,90	504,10		10 200,38
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	526,61	755,10	758,62	1 022,12	1 209,77	1 015,51	1 117,15	1 002,64	958,80	794,05	535,90	504,10		10 200,38
ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	526,61	755,10	758,62	1 022,12	1 209,77	1 015,51	1 117,15	1 002,64	958,80	794,05	535,90	504,10		10 200,38	
ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	1 579,84	2 265,30	2 275,87	3 066,37	3 629,30	3 046,54	3 351,46	3 007,92	2 876,39	2 382,16	1 607,71	1 512,30		30 601,15	
finanční ztráty F [Kč]	22 955,01	32 914,78	33 068,45	44 554,28	52 733,68	44 266,28	48 696,69	43 705,07	41 793,88	34 612,80	23 360,00	21 973,73		444 634,67	
doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00		8 760,00	
4x 630	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	12 588,81	43 866,50	44 617,50	77 109,69	92 965,19	80 333,13	86 040,63	78 527,13	68 140,13	49 002,06	15 937,63	8 655,44	657 783,81	
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	12 588,81	43 866,50	44 617,50	77 109,69	92 965,19	80 333,13	86 040,63	78 527,13	68 140,13	49 002,06	15 937,63	8 655,44	657 783,81	
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	12 588,81	43 866,50	44 617,50	77 109,69	92 965,19	80 333,13	86 040,63	78 527,13	68 140,13	49 002,06	15 937,63	8 655,44	657 783,81	
	přenesený výkon 4. transformátor P <sub>4</sub> [kWh]	12 588,81	43 866,50	44 617,50	77 109,69	92 965,19	80 333,13	86 040,63	78 527,13	68 140,13	49 002,06	15 937,63	8 655,44	657 783,81	
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25	
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	476,59	626,60	639,29	820,92	956,07	816,28	891,07	810,70	776,47	664,44	479,66	460,79		8 418,89
ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	476,59	626,60	639,29	820,92	956,07	816,28	891,07	810,70	776,47	664,44	479,66	460,79		8 418,89	
ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	476,59	626,60	639,29	820,92	956,07	816,28	891,07	810,70	776,47	664,44	479,66	460,79		8 418,89	
ztrátová energie 4. transformátor W <sub>z4</sub> [kWh]	476,59	626,60	639,29	820,92	956,07	816,28	891,07	810,70	776,47	664,44	479,66	460,79		8 418,89	
ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	1 906,35	2 506,42	2 557,15	3 283,68	3 824,29	3 265,13	3 564,28	3 242,79	3 105,89	2 657,77	1 918,64	1 843,15		33 675,54	
finanční ztráty F [Kč]	27 699,34	36 418,24	37 155,37	47 711,89	55 566,93	47 442,37	51 789,02	47 117,74	45 128,63	38 617,33	27 877,77	26 781,03		489 305,64	
doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00		8 760,00	
Amorfní 4x 630	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	12 588,81	43 866,50	44 617,50	77 109,69	92 965,19	80 333,13	86 040,63	78 527,13	68 140,13	49 002,06	15 937,63	8 655,44	657 783,81	
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	12 588,81	43 866,50	44 617,50	77 109,69	92 965,19	80 333,13	86 040,63	78 527,13	68 140,13	49 002,06	15 937,63	8 655,44	657 783,81	
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	12 588,81	43 866,50	44 617,50	77 109,69	92 965,19	80 333,13	86 040,63	78 527,13	68 140,13	49 002,06	15 937,63	8 655,44	657 783,81	
	přenesený výkon 4. transformátor P <sub>4</sub> [kWh]	12 588,81	43 866,50	44 617,50	77 109,69	92 965,19	80 333,13	86 040,63	78 527,13	68 140,13	49 002,06	15 937,63	8 655,44	657 783,81	
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25	
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	179,46	312,97	304,87	450,37	548,30	446,80	498,29	436,47	416,18	323,71	187,86	167,31		4 272,59
ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	179,46	312,97	304,87	450,37	548,30	446,80	498,29	436,47	416,18	323,71	187,86	167,31		4 272,59	
ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	179,46	312,97	304,87	450,37	548,30	446,80	498,29	436,47	416,18	323,71	187,86	167,31		4 272,59	
ztrátová energie 4. transformátor W <sub>z4</sub> [kWh]	179,46	312,97	304,87	450,37	548,30	446,80	498,29	436,47	416,18	323,71	187,86	167,31		4 272,59	
ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	717,85	1 251,88	1 219,47	1 801,48	2 193,18	1 787,21	1 993,18	1 745,88	1 664,72	1 294,85	751,44	669,23		17 090,36	

Tabulka 11: Přehled vypočtených hodnot při uvažovaném trvalém provozu transformátorů výrobce Schneider Electric CZ, s.r.o.

jmennovitý výkon transformátoru [kVA]	měsíc	měsíc												celkem
		leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosincek	
2 500	přenesený výkon P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie W <sub>z</sub> [kWh]	1 405,82	1 944,28	1 965,65	2 597,49	3 054,76	2 581,54	2 831,22	2 554,81	2 444,64	2 051,53	1 423,90	1 351,48	26 207,12
	finanční ztráty F [Kč]	20 426,54	28 250,44	28 560,89	37 741,55	44 385,61	37 509,83	41 137,56	37 121,45	35 520,61	29 808,70	20 689,24	19 637,03	380 789,45
	doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	740,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00	1 315 567,63
	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	25 177,63	87 733,00	89 235,00	154 219,38	185 930,38	160 666,25	172 081,25	157 054,25	136 280,25	98 004,13	31 875,25	17 310,88	1 315 567,63
2x 1 250	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	25 177,63	87 733,00	89 235,00	154 219,38	185 930,38	160 666,25	172 081,25	157 054,25	136 280,25	98 004,13	31 875,25	17 310,88	
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	751,63	970,16	993,18	1 261,55	1 463,67	1 254,67	1 367,14	1 247,79	1 195,55	1 030,65	754,77	728,17	13 018,94
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	751,63	970,16	993,18	1 261,55	1 463,67	1 254,67	1 367,14	1 247,79	1 195,55	1 030,65	754,77	728,17	13 018,94
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	1 503,26	1 940,32	1 986,36	2 523,11	2 927,34	2 509,33	2 734,29	2 495,58	2 391,10	2 061,31	1 509,55	1 456,33	26 037,86
	finanční ztráty F [Kč]	21 843,39	28 192,82	28 861,86	36 660,73	42 538,31	36 460,61	39 729,18	36 260,71	34 742,65	29 950,80	21 933,73	21 160,54	378 330,34
3x 1 000	doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	16 785,08	58 488,67	59 490,00	102 812,92	123 953,58	107 110,83	114 720,83	104 702,83	90 853,50	65 336,08	21 250,17	11 540,58	877 045,08
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	16 785,08	58 488,67	59 490,00	102 812,92	123 953,58	107 110,83	114 720,83	104 702,83	90 853,50	65 336,08	21 250,17	11 540,58	877 045,08
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	16 785,08	58 488,67	59 490,00	102 812,92	123 953,58	107 110,83	114 720,83	104 702,83	90 853,50	65 336,08	21 250,17	11 540,58	877 045,08
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	597,79	701,75	731,74	875,26	993,36	871,44	939,74	873,43	838,59	753,04	593,72	584,75	9 354,61
3x 800	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	597,79	701,75	731,74	875,26	993,36	871,44	939,74	873,43	838,59	753,04	593,72	584,75	9 354,61
	ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	597,79	701,75	731,74	875,26	993,36	871,44	939,74	873,43	838,59	753,04	593,72	584,75	9 354,61
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	1 793,36	2 105,25	2 195,22	2 625,79	2 980,09	2 614,31	2 819,21	2 620,29	2 515,78	2 259,12	1 781,16	1 754,25	28 063,83
	finanční ztráty F [Kč]	26 057,49	30 589,31	31 896,49	38 152,71	43 300,76	37 985,94	40 963,15	38 072,76	36 554,30	32 825,06	25 880,21	25 489,28	407 767,45
	doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	16 785,08	58 488,67	59 490,00	102 812,92	123 953,58	107 110,83	114 720,83	104 702,83	90 853,50	65 336,08	21 250,17	11 540,58	877 045,08
4x 630	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	16 785,08	58 488,67	59 490,00	102 812,92	123 953,58	107 110,83	114 720,83	104 702,83	90 853,50	65 336,08	21 250,17	11 540,58	877 045,08
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	16 785,08	58 488,67	59 490,00	102 812,92	123 953,58	107 110,83	114 720,83	104 702,83	90 853,50	65 336,08	21 250,17	11 540,58	877 045,08
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	514,32	664,16	679,86	863,80	1 002,29	859,08	936,14	854,34	818,57	705,54	516,50	498,24	8 912,84
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	514,32	664,16	679,86	863,80	1 002,29	859,08	936,14	854,34	818,57	705,54	516,50	498,24	8 912,84
	ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	514,32	664,16	679,86	863,80	1 002,29	859,08	936,14	854,34	818,57	705,54	516,50	498,24	8 912,84
4x 630	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	1 542,97	1 992,47	2 039,58	2 591,40	3 006,87	2 577,25	2 808,41	2 563,03	2 455,70	2 116,61	1 549,73	1 494,73	26 738,53
	finanční ztráty F [Kč]	22 419,33	28 950,59	29 635,12	37 653,09	43 689,81	37 447,38	40 806,24	37 240,80	35 681,38	30 754,42	22 514,22	21 718,42	388 510,89
	doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	12 588,81	43 866,50	44 617,50	77 109,69	92 965,19	80 333,13	86 040,63	78 527,13	68 140,13	49 002,06	15 937,63	8 655,44	657 783,81
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	12 588,81	43 866,50	44 617,50	77 109,69	92 965,19	80 333,13	86 040,63	78 527,13	68 140,13	49 002,06	15 937,63	8 655,44	657 783,81
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	12 588,81	43 866,50	44 617,50	77 109,69	92 965,19	80 333,13	86 040,63	78 527,13	68 140,13	49 002,06	15 937,63	8 655,44	657 783,81
4x 630	přenesený výkon 4. transformátor P <sub>4</sub> [kWh]	12 588,81	43 866,50	44 617,50	77 109,69	92 965,19	80 333,13	86 040,63	78 527,13	68 140,13	49 002,06	15 937,63	8 655,44	657 783,81
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	467,76	561,30	582,73	707,24	807,09	703,95	761,09	704,21	675,78	600,88	465,73	456,58	7 494,35
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	467,76	561,30	582,73	707,24	807,09	703,95	761,09	704,21	675,78	600,88	465,73	456,58	7 494,35
	ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	467,76	561,30	582,73	707,24	807,09	703,95	761,09	704,21	675,78	600,88	465,73	456,58	7 494,35
	ztrátová energie 4. transformátor W <sub>z4</sub> [kWh]	467,76	561,30	582,73	707,24	807,09	703,95	761,09	704,21	675,78	600,88	465,73	456,58	7 494,35
4x 630	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	1 871,06	2 245,21	2 330,92	2 828,94	3 228,36	2 815,82	3 044,36	2 815,82	2 403,53	2 062,91	1 826,33	1 754,25	29 977,40
	finanční ztráty F [Kč]	27 186,46	32 622,84	33 868,23	41 104,55	46 908,14	40 913,81	44 234,54	40 928,72	39 276,40	34 923,23	21 068,10	26 536,58	435 571,62
	doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00

Tabulka 12: Přehled vypočtených hodnot při uvažovaném trvalém provozu transformátorů výrobce SGB Czech Trafo s.r.o.

jmennovitý výkon transformátoru [kVA]	měsíc	měsíc												celkem
		leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosincek	
2 500	přenesený výkon P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie W <sub>z</sub> [kWh]	1 405,82	1 944,28	1 965,65	2 597,49	3 054,76	2 581,54	2 831,22	2 554,81	2 444,64	2 051,53	1 423,90	1 351,48	26 207,12
	finanční ztráty F [Kč]	20 426,54	28 250,44	28 560,89	37 741,55	44 385,61	37 509,83	41 137,56	37 121,45	35 520,61	29 808,70	20 689,24	19 637,03	380 789,45
	doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	740,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00	1 315 567,63
	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	25 177,63	87 733,00	89 235,00	154 219,38	185 930,38	160 666,25	172 081,25	157 054,25	136 280,25	98 004,13	31 875,25	17 310,88	1 315 567,63
2x 1 250	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	25 177,63	87 733,00	89 235,00	154 219,38	185 930,38	160 666,25	172 081,25	157 054,25	136 280,25	98 004,13	31 875,25	17 310,88	
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	751,63	970,16	993,18	1 261,55	1 463,67	1 254,67	1 367,14	1 247,79	1 195,55	1 030,65	754,77	728,17	13 018,94
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	751,63	970,16	993,18	1 261,55	1 463,67	1 254,67	1 367,14	1 247,79	1 195,				



Tabulka 14: Přehled vypočtených hodnot při uvažovaném spínaném provozu transformátorů výrobce ABB s.r.o.

jmenovitý výkon transformátoru [kVA]	měsíc	roční souhrn												
		leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	suma
2 500	přenesený výkon P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie W <sub>z</sub> [kWh]	1 405,82	1 944,28	1 965,65	2 597,49	3 054,76	2 581,54	2 831,22	2 554,81	2 444,64	2 051,53	1 423,90	1 351,48	26 207,12
	finanční ztráty F [Kč]	20 426,54	28 250,44	28 560,89	37 741,55	44 385,61	37 509,83	41 137,56	37 121,45	35 520,61	29 808,70	20 689,24	19 637,03	380 789,45
	doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00	
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
2x 1 250	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	38 202,88	101 487,13	111 810,50	170 961,88	204 261,88	182 483,88	191 283,88	177 129,50	151 974,00	113 539,50	43 945,25	29 369,88	1 516 450,13
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	12 152,38	73 978,88	66 659,50	137 476,88	167 598,88	138 848,63	152 878,63	136 979,00	120 586,50	82 468,75	19 805,25	5 251,88	1 114 685,13
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	786,63	1 061,73	1 107,81	1 407,14	1 640,79	1 415,42	1 534,55	1 398,03	1 323,52	1 129,73	794,29	757,05	14 356,68
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	68,49	481,76	421,47	867,93	1 101,56	868,31	978,21	832,09	762,79	497,75	112,16	28,59	7 021,10
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	855,12	1 543,48	1 529,29	2 275,07	2 742,35	2 283,73	2 512,76	2 230,11	2 086,30	1 624,47	906,46	785,64	21 377,78
	finanční ztráty F [Kč]	12 424,89	22 426,80	22 220,57	33 056,72	39 846,41	33 182,56	36 510,39	32 403,55	30 314,01	23 647,21	13 700,79	11 415,28	310 619,19
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	27,25	116,50	117,75	228,75	257,25	243,25	247,00	239,25	196,00	147,25	41,75	13,00	1 875,00
	doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00	
	3x 1 000	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	33 338,88	74 427,42	84 916,25	121 390,54	144 331,50	132 057,38	135 359,50	126 996,04	108 462,96	82 988,83	35 352,38	26 578,92
přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]		10 548,38	54 416,67	59 518,50	101 132,79	120 789,50	103 952,88	112 405,25	101 869,54	87 360,46	62 227,08	16 938,63	5 511,17	831 070,83
přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]		6 468,00	46 621,92	39 635,25	85 915,42	106 739,75	85 322,25	96 397,75	85 242,92	76 737,08	50 792,33	11 459,50	2 521,88	693 863,83
přenesený výkon celkem P [kWh]		50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]		640,68	821,69	877,46	1 061,30	1 221,87	1 079,75	1 150,34	1 064,66	1 002,99	880,28	642,87	625,92	11 078,82
ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]		63,01	364,44	349,46	660,74	817,26	673,33	742,25	644,53	572,33	391,37	101,29	32,09	5 412,10
ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]		39,46	319,52	267,09	573,11	736,34	566,25	650,04	548,78	511,17	325,53	69,71	14,94	6 421,95
ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]		752,15	1 505,64	1 494,02	2 295,16	2 775,46	2 319,34	2 542,64	2 257,97	2 086,49	1 597,18	813,87	672,95	21 112,87
finanční ztráty F [Kč]		10 928,68	21 877,00	21 708,13	33 348,64	40 327,48	33 700,00	36 944,50	32 808,34	30 316,76	23 207,04	11 825,49	9 777,97	306 770,02
doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]		744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]		34,75	133,25	149,50	258,00	286,50	277,25	272,50	281,25	218,75	170,00	54,50	19,75	2 156,00
doba chodu 3. transformátor t <sub>3</sub> [h]		10,00	102,75	93,25	199,75	231,75	206,25	219,00	208,50	177,25	126,00	32,75	8,00	1 624,25
maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00		
3x 800	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	31 104,83	71 487,42	79 247,33	116 813,46	139 276,17	124 787,29	130 115,29	121 760,42	104 850,63	79 034,50	33 566,75	24 877,92	1 056 922,00
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	11 458,08	55 149,42	55 672,33	100 999,21	121 783,67	105 181,04	112 836,79	102 006,67	87 981,37	62 792,00	17 334,00	6 465,17	839 659,50
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	7 792,33	48 829,17	43 550,33	90 626,08	110 800,92	91 364,17	101 210,42	90 341,42	79 728,50	54 181,75	12 849,75	3 278,65	734 553,50
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	564,32	797,14	826,12	1 070,64	1 260,49	1 075,43	1 169,97	1 062,99	1 004,47	840,73	566,52	538,47	10 777,28
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	72,93	417,67	399,51	742,98	936,84	760,72	841,13	719,77	650,01	438,42	111,60	39,53	6 131,10
	ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	51,16	380,27	327,75	681,65	871,88	678,92	772,42	650,79	601,19	387,45	89,59	20,57	5 509,14
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	688,41	1 595,08	1 553,38	2 495,26	3 069,20	2 515,07	2 783,52	2 433,54	2 255,66	1 666,61	763,21	598,57	22 417,52
	finanční ztráty F [Kč]	10 002,59	23 176,52	22 570,66	36 256,14	44 595,54	36 543,90	40 444,58	35 359,40	32 774,75	24 215,81	11 089,43	8 697,22	325 726,53
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	43,75	143,75	170,75	270,75	303,75	301,50	297,50	288,00	231,00	183,00	60,75	27,50	2 322,00
	doba chodu 3. transformátor t <sub>3</sub> [h]	25,50	113,75	112,75	223,00	252,00	236,50	233,75	237,75	192,25	142,75	39,75	11,75	1 826,75
maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00		
1x 1 000; 1x 2 000	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	33 134,42	74 251,83	84 633,33	119 733,08	143 296,42	129 542,00	134 212,00	125 223,00	107 774,17	81 920,58	30 021,83	26 273,42	1 095 016,08
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	17 220,83	101 214,17	93 836,67	188 705,67	228 564,33	191 790,50	209 950,50	188 885,50	164 786,33	114 087,67	28 728,67	8 348,33	1 536 119,17
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	649,94	823,89	881,73	1 057,17	1 221,47	1 072,32	1 149,95	1 060,58	1 003,46	878,36	643,19	625,40	11 067,45
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	94,07	605,95	552,19	1 103,17	1 377,60	1 116,55	1 239,52	1 071,48	963,32	644,69	156,79	45,39	9 970,73
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	744,02	1 429,84	1 433,92	2 160,34	2 599,07	2 188,87	2 389,47	2 132,07	1 966,79	1 523,05	799,97	670,78	20 038,18
	finanční ztráty F [Kč]	10 810,54	20 775,57	20 834,87	31 389,73	37 764,44	31 804,31	34 719,00	30 978,92	28 577,42	22 129,91	11 623,63	9 746,49	291 154,82
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	30,50	124,50	133,25	245,50	273,25	264,00	266,00	258,75	208,50	160,00	49,00	17,25	2 030,50
	doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00	
	4x 630	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	28 227,79	57 837,77	66 013,60	92 194,02	110 176,23	100 444,19	103 208,31	96 999,65	83 230,40	63 675,83	29 487,88	22 898,38
přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]		10 471,54	44 129,27	46 519,35	79 811,52	95 063,98	83 320,94	88 688,81	81 189,40	69 210,40	50 349,83	14 551,13	6 546,88	669 853,04
přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]		6 804,92	38 532,52	36 210,60	71 996,65	86 565,73	73 575,69	79 967,06	71 987,27	62 566,90	43 888,33	11 116,68	3 277,75	586 490,29
přenesený výkon 4. transformátor P <sub>4</sub> [kWh]		4 8												

Tabulka 15: Přehled vypočtených hodnot při uvažovaném spínaném provozu transformátorů výrobce Schneider Electric CZ, s.r.o.

jmennovitý výkon transformátoru [kVA]	měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	suma
		2 500	přenesený výkon P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50
	ztrátová energie W <sub>z</sub> [kWh]	1 405,82	1 944,28	1 965,65	2 597,49	3 054,76	2 581,54	2 831,22	2 554,81	2 444,64	2 051,53	1 423,90	1 351,48	26 207,12
	finanční ztráty F [Kč]	20 426,54	28 250,44	28 560,89	37 741,55	44 385,61	37 509,83	41 137,56	37 121,45	35 520,61	29 808,70	20 689,24	19 637,03	380 789,40
	doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	740,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00	
2x 1 250	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	38 736,63	102 498,00	114 043,50	173 051,38	206 144,88	185 730,88	193 105,13	179 356,63	153 517,50	115 216,50	44 958,00	29 773,50	1 536 132,50
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	11 618,63	72 968,00	64 426,50	135 387,38	165 715,88	135 601,63	151 057,38	134 751,88	119 043,00	80 791,75	18 792,50	4 848,25	1 095 002,75
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	778,34	1 008,97	1 064,03	1 318,81	1 522,67	1 331,71	1 430,64	1 314,74	1 243,87	1 080,40	784,24	752,18	13 630,61
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	59,91	425,93	367,74	768,42	974,94	764,67	867,41	738,12	676,18	440,27	97,05	24,29	6 204,95
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	838,26	1 434,91	1 431,77	2 087,23	2 497,62	2 096,38	2 298,06	2 052,86	1 920,05	1 520,67	881,29	776,47	19 835,55
	finanční ztráty F [Kč]	12 179,88	20 849,19	20 803,63	30 327,41	36 290,37	30 460,43	33 390,75	29 828,05	27 896,33	22 095,33	12 805,20	11 282,05	288 210,60
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	740,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	25,25	112,75	109,50	221,00	250,25	231,25	240,25	231,00	190,25	141,00	38,00	11,50	1 802,00
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00	
3x 1 000	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	34 917,83	77 614,83	90 010,88	126 688,33	149 601,25	138 520,46	141 415,25	132 545,63	112 931,21	87 037,46	37 462,75	27 473,13	1 156 219,00
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	10 171,08	53 746,58	51 625,13	100 749,33	120 251,75	104 315,96	111 174,00	101 206,13	86 654,71	61 937,21	16 580,75	5 150,88	823 563,50
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	5 266,33	44 104,58	36 834,00	81 001,08	102 007,75	78 496,08	91 573,25	80 356,75	72 974,58	47 033,58	9 707,00	1 997,75	651 352,75
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	635,82	752,59	817,05	945,93	1 067,18	964,88	1 019,27	954,76	900,13	814,51	628,27	615,47	10 115,86
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	50,56	287,68	271,57	529,27	647,89	545,84	588,88	519,24	455,74	316,61	89,28	25,32	4 321,01
	ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	26,55	240,44	199,02	432,55	558,41	419,32	492,82	416,99	388,71	243,54	48,61	9,82	3 476,78
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	712,93	1 280,72	1 287,65	1 907,75	2 273,48	1 930,05	2 100,97	1 890,98	1 744,59	1 374,66	759,26	650,61	17 913,65
	finanční ztráty F [Kč]	10 358,80	18 608,80	18 709,52	27 719,61	33 033,70	28 043,62	30 527,07	27 475,98	25 348,93	19 973,83	11 032,00	9 453,43	260 285,38
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	740,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	30,00	124,00	131,75	244,25	272,50	262,75	263,75	257,50	206,50	159,50	48,50	16,75	2 017,75	
doba chodu 3. transformátor t <sub>3</sub> [h]	14,00	92,25	81,50	179,25	212,00	177,75	199,00	188,25	161,50	110,50	25,50	5,75	1 447,25	
maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00		
3x 800	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	32 993,08	73 954,17	84 111,79	120 696,38	143 397,08	130 872,63	134 595,67	126 034,88	107 946,63	82 351,25	34 933,83	26 457,63	1 098 345,00
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	10 676,33	54 507,92	53 962,54	101 007,13	121 179,58	103 995,38	112 679,92	101 849,88	87 223,62	62 157,50	17 084,83	5 577,88	831 902,50
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	6 685,83	47 003,92	40 395,67	86 735,25	107 284,08	86 464,50	96 886,92	86 223,75	77 390,25	51 499,50	11 713,83	2 586,25	700 887,75
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	850,35	705,98	751,40	916,98	1 058,14	930,90	995,19	917,69	865,85	754,71	544,80	530,32	9 522,30
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	55,63	320,89	306,69	579,65	721,01	591,08	653,64	565,21	502,13	342,74	89,17	28,26	4 756,10
	ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	35,61	283,35	238,80	508,34	651,49	503,59	574,64	487,10	453,04	289,48	62,38	13,32	4 101,14
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	641,60	1 310,22	1 296,90	2 004,96	2 430,64	2 025,57	2 233,47	1 969,99	1 821,02	1 386,93	696,35	571,90	18 379,54
	finanční ztráty F [Kč]	9 322,40	19 037,47	18 843,90	29 132,12	35 317,22	29 431,46	32 306,98	28 623,97	26 459,36	20 152,13	10 117,98	8 309,66	267 054,65
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	740,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	36,00	134,75	151,75	259,50	290,00	280,50	284,00	275,00	219,75	171,50	56,00	20,25	2 179,00	
doba chodu 3. transformátor t <sub>3</sub> [h]	20,00	104,50	96,75	203,50	234,25	211,50	221,25	213,00	180,25	129,25	34,00	8,25	1 656,50	
maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00		
1x 1 000; 1x 2 000	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	34 680,58	77 177,67	90 383,17	126 016,75	149 273,08	137 344,33	141 201,17	132 346,17	112 654,00	87 014,92	37 869,67	27 794,08	1 153 755,58
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	15 674,67	98 288,33	88 086,83	182 422,00	222 587,67	183 988,17	202 961,33	181 762,33	159 906,50	108 993,33	25 880,83	6 827,67	1 477 379,67
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	636,34	753,75	824,60	949,57	1 071,76	967,94	1 025,20	961,03	903,64	819,72	632,79	618,31	10 164,66
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	76,98	518,42	459,62	943,01	1 179,95	949,92	1 057,50	914,86	825,44	547,14	126,33	33,27	7 632,44
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	713,32	1 272,17	1 284,22	1 892,58	2 251,71	1 917,86	2 082,70	1 875,89	1 729,08	1 366,85	759,11	651,59	17 797,10
	finanční ztráty F [Kč]	10 364,57	18 484,59	18 659,78	27 499,24	32 717,38	27 866,52	30 261,62	27 256,74	25 123,50	19 860,39	11 029,93	9 467,56	258 591,84
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	740,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	25,75	115,50	115,50	226,25	254,75	240,00	244,50	236,75	193,50	144,50	40,25	7,50	1 849,75
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00	
4x 630	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	29 860,90	60 698,00	70 510,79	96 964,62	114 314,56	106 038,02	107 818,38	102 278,08	87 039,94	67 849,75	21 452,56	24 554,48	899 371,08
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	10 134,40	44 121,75	46 536,04	80 831,88	96 266,31	85 794,77	89 903,88	81 966,63	69 843,94	50 813,25	14 981,56	5 822,23	677 016,83
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	6 508,52	37 714,63	33 994,04	70 136,13	85 215,56	70 921,52	77 907,13	69 889,96	61 200,19	42 119,13	10 134,31	2 795,48	568 536,58
	přenesený výkon 4. transformátor P <sub>4</sub> [kWh]	3 851,44	32 931,63	27 429,13	60 506,13	76 064,31	58 578,19	68 533,13	59 973,63	54 485,44	35 226,13	7 182,06	1 449,56	486 210,75
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	507,56	609,65	660,47	769,81	871,70	784,65	829,16	779,81	731,63	659,20	501,35	492,23	8 197,22
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub></sub>													

Tabulka 16: Přehled vypočtených hodnot při uvažovaném spínaném provozu transformátorů výrobce SGB Czech Trafo s.r.o

jménovitý výkon transformátoru [kVA]	měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	suma	
		2 500	přenesený výkon P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75
	ztrátová energie W <sub>z</sub> [kWh]	1 405,82	1 944,28	1 965,65	2 597,49	3 054,76	2 581,54	2 831,22	2 554,81	2 444,64	2 051,53	1 423,90	1 351,48	26 207,12	
	finanční ztráty F [Kč]	20 426,54	28 250,44	28 560,89	37 741,55	44 385,61	37 509,83	41 137,56	37 121,45	35 520,61	29 808,70	20 689,24	19 637,03	380 789,45	
	doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00		
2x 1 250	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	38 202,88	101 487,13	111 810,50	170 961,88	204 261,88	182 483,88	191 283,88	177 129,50	151 974,00	113 539,50	43 945,25	29 369,88	1 516 450,13	
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	12 152,38	73 978,88	66 659,50	137 476,88	167 598,88	139 848,63	152 878,63	136 979,00	120 586,50	82 468,75	19 805,25	5 251,88	1 114 685,13	
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25	
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	786,63	1 061,73	1 107,81	1 407,14	1 640,79	1 415,42	1 534,55	1 398,03	1 323,52	1 129,73	794,29	513,00	14 356,68	
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	68,49	481,76	421,47	867,93	1 101,56	868,31	978,21	832,09	762,79	497,75	112,16	28,59	7 021,10	
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	855,12	1 543,48	1 529,29	2 275,07	2 742,35	2 283,73	2 512,76	2 230,11	2 086,30	1 627,47	906,46	785,64	5 511,17	21 377,78
	finanční ztráty F [Kč]	12 424,89	22 426,80	22 220,57	33 056,72	39 846,41	33 182,56	36 510,39	32 403,55	30 314,01	23 647,21	13 170,79	11 415,28	310 619,19	
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	27,25	116,50	117,75	228,75	257,25	243,25	247,00	239,25	196,00	147,25	41,75	13,00	1 875,00	
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00		
3x 1 000	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	33 338,88	74 427,42	84 916,25	121 390,54	144 331,50	132 057,38	135 359,50	126 996,04	108 462,96	82 988,83	35 352,38	26 578,92	1 106 200,58	
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	10 548,38	54 416,67	53 918,50	101 132,79	120 789,50	103 952,88	112 405,25	101 869,54	87 360,46	62 227,08	16 938,63	5 511,17	831 070,83	
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	6 468,00	46 621,92	39 635,25	85 915,42	106 739,75	85 322,25	96 397,75	85 242,92	76 737,08	50 792,33	11 459,50	2 531,67	693 863,83	
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25	
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	649,68	821,69	877,46	1 061,30	1 221,87	1 079,75	1 150,34	1 064,66	1 002,99	880,28	642,87	625,92	11 078,82	
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	63,01	364,44	349,46	660,74	817,26	673,32	742,25	644,53	572,33	391,37	101,29	32,09	5 412,10	
	ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	39,46	319,52	267,09	573,11	736,34	566,25	650,04	548,78	511,17	325,53	69,71	14,94	4 621,95	
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	752,15	1 505,64	1 494,02	2 295,16	2 775,46	2 319,34	2 542,64	2 257,97	2 086,49	1 597,18	813,87	672,95	21 112,87	
	finanční ztráty F [Kč]	10 928,68	21 877,00	21 708,13	33 348,64	40 327,48	33 700,00	36 944,50	32 808,34	30 316,76	23 207,04	11 825,49	9 777,59	307 700,72	
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	34,75	133,25	149,50	258,00	286,50	277,25	281,25	272,50	218,75	170,00	54,50	19,75	2 158,00		
doba chodu 3. transformátor t <sub>3</sub> [h]	19,00	102,75	93,25	199,75	231,75	206,25	219,00	208,50	177,25	126,00	32,75	8,00	1 624,25		
maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00			
3x 800	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	31 104,83	71 487,42	79 247,33	116 813,46	139 276,17	124 787,29	130 115,29	121 760,42	104 850,63	79 034,50	33 566,75	24 877,92	1 056 922,00	
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	11 458,08	55 149,42	55 672,33	100 999,21	121 783,67	105 181,04	112 836,79	102 006,67	87 981,37	62 792,00	17 334,00	6 465,17	809 659,75	
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	7 792,33	48 829,17	43 550,33	90 626,08	110 800,92	91 364,17	101 210,42	90 341,42	79 728,50	54 181,75	12 849,75	3 278,67	734 553,50	
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25	
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	564,32	797,14	826,12	1 070,64	1 260,49	1 075,43	1 169,97	1 062,99	1 004,47	840,73	566,52	538,47	10 777,28	
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	72,93	417,67	399,51	742,98	936,84	760,72	841,13	719,77	650,01	438,42	111,60	39,53	6 131,10	
	ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	51,16	380,27	327,75	681,65	871,88	678,92	772,42	650,79	601,19	387,45	85,09	20,57	5 509,14	
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	688,41	1 595,08	1 553,38	2 495,26	3 069,20	2 515,07	2 783,52	2 433,54	2 255,66	1 666,61	763,21	598,57	22 417,52	
	finanční ztráty F [Kč]	10 002,59	23 176,52	22 570,66	36 256,14	44 595,54	36 549,90	40 444,58	35 359,40	32 774,75	24 215,81	11 089,43	8 697,22	325 726,53	
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	43,75	143,75	170,75	270,75	303,75	301,50	297,50	288,00	231,00	183,00	60,75	24,00	2 322,00		
doba chodu 3. transformátor t <sub>3</sub> [h]	25,50	113,75	112,75	223,00	252,00	236,50	243,00	233,75	192,25	142,75	39,75	11,75	1 826,75		
maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00			
1x 1 000; 1x 2 000	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	33 134,42	74 251,83	84 633,33	119 733,08	143 296,42	129 542,00	134 212,00	125 223,00	107 774,17	81 920,58	35 021,83	26 273,42	1 095 016,08	
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	17 220,83	101 214,17	93 836,67	188 705,67	228 564,33	191 790,50	209 950,50	188 885,50	164 786,33	114 087,67	28 728,67	8 348,33	1 536 119,17	
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25	
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	649,94	823,89	881,73	1 057,17	1 221,47	1 072,32	1 149,95	1 060,58	1 003,46	878,36	643,19	625,40	11 067,45	
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	94,07	605,95	552,19	1 103,17	1 377,60	1 116,55	1 239,52	1 071,48	963,32	644,69	156,79	45,39	8 970,73	
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	744,02	1 429,84	1 433,92	2 160,34	2 599,07	2 188,87	2 389,47	2 132,07	1 966,79	1 523,05	799,97	670,78	20 038,18	
	finanční ztráty F [Kč]	10 810,54	20 775,57	20 834,87	31 389,73	37 764,44	31 804,31	34 719,00	30 978,92	28 577,42	22 129,91	11 623,63	9 746,49	291 154,82	
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	30,50	124,50	133,25	245,50	273,25	264,00	266,00	258,75	208,50	160,00	49,00	17,25	2 030,50	
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00		
4x 630	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	28 227,79	57 837,77	66 013,60	92 194,02	110 176,23	100 444,19	103 208,31	96 999,65	83 230,40	63 675,83	29 487,88	22 898,38	854 394,04	
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	10 471,54	44 129,27	46 519,35	79 811,52	95 063,98	83 320,94	88 688,81	81 189,40	69 210,40	50 349,83	14 551,13	6 546,88	669 853,04	
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	6 804,92	38 532,52	36 210,60	71 996,65	86 565,73	73 575,69	79 967,06	71 987,27	62 566,90	43 888,33	11 116,88	3 277,75	586 490,29	
	přenesený výkon 4. transformátor P <sub>4</sub> [kWh]	4 851,00	34 966,44	29 726,44	64 436,56	80 054,81	63 991,69	72 298,31	63 932,19	57 552,81	38 094,25	8 594,63	1 898,75	520 397,88	
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25	
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	521,25	674,59	717,22	875,55	1 018,15									

Tabulka 17: Přehled vypočtených hodnot při uvažovaném trvalém provozu transformátorů výrobce BEZ TRANSFORMÁTORŮ, a.s.

jménovitý výkon transformátoru [kVA]	měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	suma
		2 500	přenesený výkon P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50
	ztrátová energie W <sub>z</sub> [kWh]	1 405,82	1 944,28	1 965,65	2 597,49	3 054,76	2 581,54	2 831,22	2 554,81	2 444,64	2 051,53	1 423,90	1 351,48	26 207,12
	finanční ztráty F [Kč]	20 426,54	28 250,44	28 560,89	37 741,55	44 385,61	37 509,83	41 137,56	37 121,45	35 520,61	29 808,70	20 689,24	19 637,03	380 789,45
	doba chodu t [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	744,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00	
2x 1 250	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	38 202,88	101 487,13	111 810,50	170 961,88	204 261,88	182 483,88	191 283,88	177 129,50	151 974,00	113 539,50	43 945,25	29 369,88	1 516 450,13
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	12 152,38	73 978,88	66 659,50	137 476,88	167 598,88	139 848,63	152 878,63	136 979,00	120 586,50	82 468,75	19 805,25	5 251,88	1 114 685,13
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	786,63	1 061,73	1 107,81	1 407,14	1 640,79	1 415,42	1 534,55	1 398,03	1 323,52	1 129,73	794,29	757,05	14 356,68
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	68,49	481,76	421,47	867,93	1 101,56	868,31	978,21	832,09	762,79	497,75	112,16	28,59	7 021,10
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	855,12	1 543,48	1 529,29	2 275,07	2 742,35	2 283,73	2 512,76	2 230,11	2 086,30	1 627,47	906,46	785,64	21 377,78
	finanční ztráty F [Kč]	12 424,89	22 426,80	22 220,57	33 056,72	39 846,41	33 182,56	36 510,39	32 403,55	30 314,01	23 647,21	13 170,79	11 415,28	310 619,19
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	744,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	27,25	116,50	117,75	228,75	257,25	243,25	247,00	239,25	196,00	147,25	41,75	13,00	1 875,00
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00	
3x 1 000	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	33 338,88	74 427,42	84 916,25	121 390,54	144 331,50	132 057,38	135 359,50	126 996,04	108 462,96	82 988,83	35 352,38	26 578,92	1 106 200,58
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	10 548,38	54 416,67	53 918,50	101 132,79	120 789,50	103 952,88	112 405,25	101 869,54	87 360,46	62 227,08	16 938,63	5 511,17	831 070,83
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	6 468,00	46 621,92	39 635,25	85 915,42	106 739,75	85 322,25	96 397,75	85 242,92	76 737,08	50 792,33	11 459,50	2 531,67	693 863,83
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	649,68	821,69	877,46	1 061,30	1 221,87	1 079,75	1 150,34	1 064,66	1 002,99	880,28	642,87	625,92	11 078,82
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	63,01	364,44	349,46	660,74	817,26	673,32	742,25	644,53	572,33	391,37	101,29	32,09	5 412,10
	ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	39,46	319,52	267,09	573,11	736,34	566,25	650,04	548,78	511,17	325,53	69,71	14,94	4 621,95
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	752,15	1 505,64	1 494,02	2 295,16	2 775,46	2 319,34	2 542,64	2 257,97	2 086,49	1 509,18	813,87	672,95	21 112,87
	finanční ztráty F [Kč]	10 928,68	21 877,00	21 708,13	33 348,64	40 327,48	33 700,00	36 944,50	32 808,34	30 316,76	23 207,04	11 825,49	9 777,59	306 770,02
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	34,75	133,25	149,50	258,00	286,50	277,25	281,25	272,50	218,75	170,00	54,50	19,75	2 156,00	
doba chodu 3. transformátor t <sub>3</sub> [h]	19,00	102,75	93,25	199,75	231,75	206,25	219,00	208,50	177,25	126,00	32,75	8,00	1 624,25	
maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00		
3x 800	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	31 104,83	71 487,42	79 247,33	116 813,46	139 276,17	124 787,29	130 115,29	121 760,42	104 850,63	79 034,50	33 566,75	24 877,92	1 056 922,70
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	11 458,08	55 149,42	55 672,33	100 999,21	121 783,67	105 181,04	112 836,79	102 006,67	87 981,37	62 792,00	17 334,00	6 465,17	899 659,75
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	7 792,33	48 829,17	43 550,33	90 626,08	110 800,92	91 364,17	101 210,42	90 341,42	79 728,50	54 181,75	12 849,75	3 278,67	734 553,50
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	564,32	797,14	826,12	1 070,64	1 260,49	1 075,43	1 169,97	1 062,99	1 004,47	840,73	566,52	538,47	10 777,28
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	72,93	417,67	399,51	742,98	936,84	760,72	841,13	719,77	650,01	438,42	111,60	39,53	6 131,10
	ztrátová energie 3. transformátor W <sub>z3</sub> [kWh]	51,16	380,27	327,75	681,65	871,88	678,92	772,42	650,79	601,19	387,45	85,09	20,57	5 509,14
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	688,41	1 595,08	1 553,38	2 495,26	3 069,20	2 515,07	2 783,52	2 433,54	2 255,66	1 666,61	763,21	598,57	22 417,52
	finanční ztráty F [Kč]	10 002,59	23 176,52	22 570,66	36 256,14	44 595,54	36 549,90	40 444,58	35 359,40	32 774,75	24 215,81	11 089,43	8 697,22	325 726,53
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	43,75	143,75	170,75	270,75	303,75	301,50	297,50	288,00	231,00	183,00	60,75	27,50	2 322,00	
doba chodu 3. transformátor t <sub>3</sub> [h]	25,50	113,75	112,75	223,00	252,00	236,50	243,00	233,75	192,25	142,75	39,75	11,75	1 826,75	
maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00		
1x 1 000; 1x 2 000	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	33 134,42	74 251,83	84 633,33	119 733,08	143 296,42	129 542,00	134 212,00	125 223,00	107 774,17	81 920,58	35 021,83	26 273,42	1 095 016,08
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	17 220,83	101 214,17	93 836,67	188 705,67	228 564,33	191 790,50	209 950,50	188 885,50	164 786,33	114 087,67	28 728,67	8 348,33	1 536 119,17
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	649,94	823,89	881,73	1 057,17	1 221,47	1 072,32	1 149,95	1 060,58	1 003,46	878,36	643,19	625,40	11 067,45
	ztrátová energie 2. transformátor W <sub>z2</sub> [kWh]	94,07	605,95	552,19	1 103,17	1 377,60	1 116,55	1 239,52	1 071,48	963,32	644,69	156,79	45,39	8 970,73
	ztrátová energie celkem W <sub>z</sub> [kWh]	744,02	1 429,84	1 433,92	2 160,34	2 599,07	2 188,87	2 389,47	2 132,07	1 966,79	1 523,05	799,97	670,78	20 038,18
	finanční ztráty F [Kč]	10 810,54	20 775,57	20 834,87	31 389,73	37 764,44	31 804,31	34 719,00	30 978,92	28 577,42	22 129,91	11 623,63	9 746,49	291 154,82
	doba chodu 1. transformátor t <sub>1</sub> [h]	744,00	672,00	743,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	745,00	720,00	744,00	8 760,00
	doba chodu 2. transformátor t <sub>2</sub> [h]	30,50	124,50	133,25	245,50	273,25	264,00	266,00	258,75	208,50	160,00	49,00	17,25	2 030,50
	maximum P <sub>max</sub> [kW]	1 669,00	2 017,00	2 124,00	2 203,00	2 062,00	2 203,00	2 127,00	2 027,00	2 054,00	1 747,00	1 483,00	1 398,00	
4x 630	přenesený výkon 1. transformátor P <sub>1</sub> [kWh]	28 227,79	57 837,77	66 013,60	92 194,02	110 176,23	100 444,19	103 208,31	96 999,65	83 230,40	63 675,83	29 487,88	22 898,38	854 394,04
	přenesený výkon 2. transformátor P <sub>2</sub> [kWh]	10 471,54	44 129,27	46 519,35	79 811,52	95 063,98	83 320,94	88 688,81	81 189,40	69 210,40	50 349,83	14 551,13	6 546,88	669 853,04
	přenesený výkon 3. transformátor P <sub>3</sub> [kWh]	6 804,92	38 532,52	36 210,60	71 996,65	86 565,73	73 575,69	79 967,06	71 987,27	62 566,90	43 888,33	11 116,88	3 277,75	586 490,29
	přenesený výkon 4. transformátor P <sub>4</sub> [kWh]	4 851,00	34 966,44	29 726,44	64 436,56	80 054,81	63 991,69	72 298,31	63 932,19	57 552,81	38 094,25	8 594,63	1 898,75	520 397,88
	přenesený výkon celkem P [kWh]	50 355,25	175 466,00	178 470,00	308 438,75	371 860,75	321 332,50	344 162,50	314 108,50	272 560,50	196 008,25	63 750,50	34 621,75	2 631 135,25
	ztrátová energie 1. transformátor W <sub>z1</sub> [kWh]	521,25	674,59	717,22	875,55	1 018,15	890,71	954,63	880,00	828,47	717,08	516,08		