



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

**Dopad nařízení Komise č. 548/2014 o zavedení Direktivy 2009/125/ES
(EcoDesign) na ekonomiku distribuční společnosti**

Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**

Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

Vedoucí práce: **Ing. Radek Hanuš, Ph.D.**

Jméno studenta: **Bc. Lucie Pacholíková**

Praha 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pacholíková** Jméno: **Lucie** Osobní číslo: **420073**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Dopad zavedení Direktivy 2009/125/EC (Ecodesign) na ekonomiku distribuční společnosti

Název diplomové práce anglicky:

Impact the implementation of Directive 2009/125 / EC (Ecodesign) on economy of the distribution company

Pokyny pro vypracování:

1. Parametry transformátorů, ztráty
2. Direktiva 2009/125/EC a nařízení Komise č. 548/2014
3. Charakteristika distribučního území PREDi
4. Měření a simulace ztrát na transformátoru 630 kVA
5. Výběr vhodného transformátoru splňující podmínky EC a ekonomickou efektivnost

Seznam doporučené literatury:

- [1] JEZIEFSKI, Eugeniusz. Transformátory: teoretické základy. Praha: Academia, 1973.
- [2] Baggini A., Sumper A.; Electrical energy efficiency: Technologies and Applications, 2012. ISBN: 9781119990048.
- [3] TOMAN, Petr. Provoz distribučních soustav. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 8001049353; 9788001049358

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Radek Hanuš, Ph.D., PREDistribuce, a.s.

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

Datum zadání diplomové práce: **26.01.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.05.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2019**

Ing. Radek Hanuš, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) konzultanta(ky)

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis držitele(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně, a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze dne 24. 5. 2018

.....
Lucie Pacholíkova

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu této diplomové práce panu Ing. Radku Hanušovi, Ph.D. za poskytnutí podkladů pro zpracování, rady a cenný čas, který mi věnoval a vedl přípravu této problematiky. Dále bych poděkovala Ing. Zbyňku Brettschneiderovi, Ph.D. a Ing. Jiřímu Ullrichovi za informace potřebné ke zpracování práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá dopadem Direktivy 2009/125/ES (Ecodesign) na distribuční společnost PREDi, a.s., konkrétně na transformátorech o výkonu 630 kVA. Jedná se o druhou etapu snížení ztrát, která bude platit od roku 1. července 2021. Data z měření zatížení na sekundární straně transformátorů se využijí k výpočtu ekonomické efektivity a rozhodnutí o volbě instalace po konci životnosti, či některých zařízeních před koncem životnosti. Výstupem práce bude doporučení pořadí výměny konkrétních transformátorů. Nově instalovaná zařízení splňují podmínky Ecodesignu 2021, budou mít technické parametry vhodné ke konkrétnímu zatížení distribučního transformátoru a ekonomická efektivnost bude vycházet z investičních nákladů a úspor na ztrátách.

Abstract

This diploma thesis deals with the impact of Directive 2009/125 / EC (Ecodesign) on distribution company PREdi, a.s., specifically on 630 kVA transformers. This is the second loss reduction phase that will apply from July 1, 2021. The workload measurement data on the secondary side of the transformers will be used to calculate the economic efficiency and decide on the choice of end-of-life installation or some end of life equipment. The output of the thesis will be recommendation of the order of exchange of specific transformers. Newly installed devices meet Ecodesign 2021 conditions, will have technical parameters appropriate to the specific workload of the distribution transformer, and economic efficiency will be based on investment costs and loss savings

Obsah

1.	Úvod do problematiky	9
2.	Elektrická soustava ČR.....	11
2.1.	Struktura soustavy ČR.....	11
2.2.	Distribuční soustava	12
2.3.1.	Distribuční transformátory na území PREDi, a.s.	13
2.3.2.	Měřicí zařízení MEG40	15
3.	Nařízení komise o EcoDesignu	17
3.2.	Nařízení Komise č. 548/2014	18
4.	Transformátor.....	22
4.1.	Princip transformátoru.....	23
4.1.1.	Stav nakrátko	23
4.1.2.	Stav naprázdno	24
4.2.	Ztráty transformátoru.....	25
4.2.1.	Ztráty naprázdno.....	25
4.2.2.	Ztráty nakrátko	26
4.3.	Ocenění ztrát	27
4.3.1.	Stálé náklady na ztráty.....	29
4.3.2.	Proměnné náklady na ztráty.....	31
4.3.3.	Volba diskontu.....	31
4.4.	Požadavky, shrnutí EC 2021.....	32
4.4.1.	Olejoyé a suché transformátory	32
4.4.2.	Dispoziční vlastnosti transformátoru	32
4.4.3.	Spolehlivost a provozní náklady oprav	33
4.4.4.	Hlukové limity.....	33
4.4.5.	Ostatní požadavky	34
4.5.	Referenční model transformátoru	35
5.	Statistika ztrát na dTS.....	36
6.	Pořadí výměny zařízení	38

6.1.	Vícekritériální rozhodování	38
6.1.1.	Globální a dílčí cíle, varianty rozhodování	38
6.1.2.	Kritéria rozhodování	38
6.1.3.	Hodnocení kritérií	39
6.2.	Skupina 40+ roků v provozu	40
6.3.	Skupina 30,1-40 roků v provozu	42
6.4.	Skupina 20,1-30 roků v provozu	42
6.5.	Skupina 10,1-20 roků v provozu	44
6.6.	Skupina 0-10 roků v provozu	45
7.	Ekonomická efektivnost zařízení	46
7.1.	Skupina 40+ roků v provozu	46
7.2.	Skupina 30,1-40 roků v provozu	48
7.3.	Skupina 20,1-30 roků v provozu	48
7.4.	Skupina 10,1-20 roků v provozu	49
7.5.	Skupina 0-10 roků v provozu	50
7.6.	Souhrnné investice v letech	51
7.7.	Citlivostní analýza	54
7.8.	Scénáře	57
7.8.1.	Realistický	57
7.8.2.	Optimistický	57
7.8.3.	Pesimistický	58
8.	Závěr	59
9.	Reference	61
	Příloha 1	63
	Příloha 2	64

1. Úvod do problematiky

Cílem diplomové práce je zvolení vhodného postupu výměny transformátorů po zavedení Direktivy 2009/125/ES o EcoDesignu (EC) transformátorů. Jedná se konkrétně o distribuční transformační stanice (dTS) s jmenovitým výkonem 630 kVA, které jsou využívány v PREDi, a.s., pokrývají území distribuce Hlavního města Prahy a část nejbližšího okolí. Výpočet bude proveden na základě historických měření zatížení v různých částech území distribuce, ocenění ztrát, a zda nově instalovaná zařízení splňují požadavky na EC zavedené v druhém stupni od 1. července 2021. Distribuční společnosti PREDi, a.s. bude navrženo řešení, ohodnocené podle technického zpracování zařízení, investičních a provozních finančních prostředků.

Proč se Evropské společenství zabývá snížením energetické náročnosti zařízení? Je to z důvodu snížení emisí skleníkový plynů, ale také závislosti na energii a dovozu nerostných surovin. Pokud se zaměřím na původ slova, design znamená „*tvarování výrobku vycházející z funkční účelnosti a estetického vzhledu*“ [1]. Ve spojení s „eco“ má menší negativní dopady na životní prostředí. První snahy o snížení energetické náročnosti pocházejí už z 80. let, kdy se Evropská komise snažila o společnou energetickou politiku. Hlavním důvodem byly Ropné krize v 70. letech, kdy cena ropy vzrostla až čtyřnásobně. Západní svět si uvědomil velkou závislost na dovozu ropy, proto bylo nutné spotřebu snížit. To vedlo k úpravám spotřebičů, snižování energetické náročnosti, jak v běžné domácnosti, tak v průmyslové výrobě, ale i změny ve výrobě a přenosu elektrické energie. Změny se zaměřují na výrobu, užívání i likvidaci zařízení, s minimální zátěží pro životní prostředí.

Seznam symbolů a zkratk

EC	EcoDesign
dTS	distribuční transformační stanice
PREdi, a.s.	Pražská energetika, a.s.
ERÚ	Energetický regulační úřad
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
VVN	velmi vysoké napětí
VN	vysoké napětí
NN	nízké napětí
DS	distribuční soustava
TRF	transformátor
VKR	vícekritériální rozhodování

2. Elektrická soustava ČR

Na trh s elektřinou vstupuje několik subjektů – státní orgány spravující legislativu a směr, kterým se bude energetika ubírat jsou - Energetický regulační úřad (ERÚ), Státní energetická inspekce a Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO), který přejímá legislativu z Evropské rady. Dále mezi ně patří operátor trhu, výrobci, obchodníci, zákazníci (resp. odběratelé), provozovatel přenosové soustavy, a na straně distributorů je několik provozovatelů (ČEZ Distribuce, a.s.; E.ON Distribuce, a.s.; PREdi, a.s.).

2.1. Struktura soustavy ČR

Přenosovou soustavu má na starosti akciová společnost ČEPS, a.s., která je výhradním provozovatelem na našem území vedení 400 kV a 220 kV, a to na základě licence, která je udělována ERÚ. Zajišťuje rovnováhu mezi výrobou a spotřebou v reálném čase pomocí nástroje systémových služeb, dále import a export elektrické energie [2]. Délka obhospodařovaného vedení je na hladině velmi vysokého napětí (VVN) 400 kV celkem 3 724 km a 220 kV 1 909 km. Spadá pod ní i část vedení 110 kV, které je součástí distribuční soustavy, v délce 84 km. Postupně se vedení s končící dobou životnosti přestavuje na napěťovou hladinu 400 kV, které je hospodárnější a lépe využitelnější než hladina 220 kV. V roční zprávě o provozu elektrické soustavy za rok 2016 je uveden časový údaj o přerušení dodávky elektřiny v délce 37 minut, to je velké procento roční doby spolehlivosti dodávky. [3]

Distribuční soustava (DS) je vlastněna samostatnými společnostmi, které nevlastní výhradně stát, ale i tak je regulován státní správou. Rozdělení distribučních celků je na Obrázek 1. Největší podíl území vlastní ČEZ Distribuce, a.s. – celkem pokrývá pět distribučních regionů, spadá pod něj vedení velmi vysokého napětí 110 kV v délce 9 830 km, které jsou pouze ve venkovním provedení. Na hladině vysokého napětí (VN, 35–10 kV) má 40 189 km, kde 80 % pokrývá venkovní vedení, zbytek kabelové, a na nízkém napětí (NN) 0,4 kV 47 717 km, které je v 50 % podílu vedení kabelové. Druhým největším distributorem je E.ON Distribuce, a.s., které pokrývá území jižní části distribuce. Na hladině VVN má 3 915 km vedení, podobně rozloženého mezi kabelové a venkovní vedení jako ČEZ Distribuce a.s., hladina VN je 18 576 km, hladina NN 15 931 km. Vlastní méně než polovinu vedení, než kterým disponuje ČEZ Distribuce, a.s. [3], [4]. Třetí distributor PREdi, a.s. obhospodařuje distribuční soustavu na území Hlavního města Prahy a Roztoky. VVN v délce 213,9 km, vedení VN 3 864 km a hladina NN má 8 025,5 km délky vedení, a to více než 99 % kabelového. Než se elektřina dopraví od zdroje výroby (elektrárny) ke spotřebiteli, projde nejméně 4 transformacemi velikosti napětí, většinu právě obhospodařuje distribuce. Velké transformátory, nazývané systémové, transformují vyšší napětí, distribuční transformátory jsou koncové, v Evropě velikost napětí na sekundární straně 400/230 V. [5]



OBRÁZEK 1 - ROZDĚLENÍ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY [3]

2.2. Distribuční soustava

Hlavním úkolem provozovatele distribuční soustavy je připojení všech odběratelů a zajištění dopravy elektrické energie na tato místa. Z důvodu liberalizace trhu je funkce distribuce rozdělena mezi několik akciových společností, jejich činnost je regulována legislativou vydávanou MPO a ERÚ. Ti, dle cenové regulace, stanovují platby na konečných fakturách, které platí provoz této soustavy. Dle dokumentu „Cenové rozhodnutí ERÚ pro regulované ceny v elektroenergetice pro rok 2018“ regulované ceny elektřiny pro malé odběratele NN mírně porostou, v průměru stoupnou o 2,5 %. Regulovaná část tvoří asi 1/2 celkových plateb za elektrickou energii. Důvodem vzrůstu cen je vývoj ceny silové elektřiny, která v posledních měsících na evropských burzách vzrostla na cca 35 €/MWh. Z důvodu přednostního výkupu obnovitelných zdrojů je volatilita cen na burze vysoká. Cena silové elektřiny ovlivňuje cenu za využívání přenosových, resp. distribučních sítí, proto byla nutná úprava regulované ceny. Dalším důvodem je investice do elektrizační soustavy a nárůst spotřeby elektrické energie u konečných odběratelů, meziročně o 1,6 %. Konkrétně u PREdi, a.s. je očekávaný nárůst regulované ceny o 2,9 % pro domácnosti celkem, podíl ceny na zajišťování distribuce je 33,57 %. Pro malé podnikatele je tato změna o 2,8 %, podíl ceny na zajišťování distribuce 41,2 %. Ceny jsou bez daňových složek. Platba za distribuované množství elektřiny je stanovena dle výpočtů ERÚ, které jsou založeny na pokrytí nákladů na ztráty spojené s distribucí elektřiny, na náklady s měřením spotřeby a údržby distribučních sítí [6]. Pro srovnání konkrétních hodnot změny cen 2017/2018 uvedu příklad na jednotarifové sazbě D01d, jistič do 1x25A včetně, při odběru 1 MWh/rok – rozdíl v platbě za distribuci je 156,82 Kč, tedy 6,06 %. U sazby pro malé podnikatele C01d se stejnými parametry je změna ceny za distribuci 202,20 Kč, tedy nárůst o 5,38 %. Rozdíl plateb není procentuálně stejný, bude se lišit dle různých velikostí instalovaného jističe, velikosti odebrané elektřiny v nízkém a vysokém tarifu a typu tarifní sazby. Díky tomuto cenovému rozhodnutí je pravděpodobné, že příjmy za distribuční činnost stoupnou, budou dostupnější finance na obnovu zařízení a vedení. [7]

2.3. Charakteristika společnosti PREDi, a.s.

Přestože délka vedení distribuční soustavy PREDi, a.s. je v porovnání s ostatními menší, celková spotřeba elektřiny v netto na kilometr vedení NN je podílově větší, viz. Tabulka 1.

	ČEZ Distribuce, a.s.	E.ON Distribuce, a.s.	PREDi, a.s.
spotřeba ee [MWh]	34 949 995,9	12 128 407,6	5 929 511,0
délka vedení nn [km]	55 452,0	22 981,0	7 896,0
přenesená ee [MWh/km]	630,3	527,7	750,9

TABULKA 1 - PŘENESENÁ ELEKTRICKÁ ENERGIE (EE) NA NN VEDENÍ ZA ROK 2016 [3], [5]

Celkový počet zákazníků k 31. 12. 2017 na hladině VVN jsou 3, na hladině VN 2 022 odběratelů, hladina NN má celkem 795 055 odběratelů. Roční množství dodané elektřiny odběratelům je 2 622,3 GWh, dodaná energie do VVN a VN je 1 664,2 GWh, méně než 1 GWh je pro maloodběratele. Pod PREDi, a.s. patří 22 transformoven VVN/VN a 3 229 distribučních stanic různých výkonů. Předpokládaný rozvoj v letech 2017-2021 je zaměřen na vybudování transformoven VVN/VN 110/22 kV, rekonstrukci a výstavbu nového vedení VVN. Dále se bude zaměřovat na platnou legislativu a její dopad na distribuční společnost, která souvisí s Direktivou 2009/125/ES [8].

2.3.1. Distribuční transformátory na území PREDi, a.s.

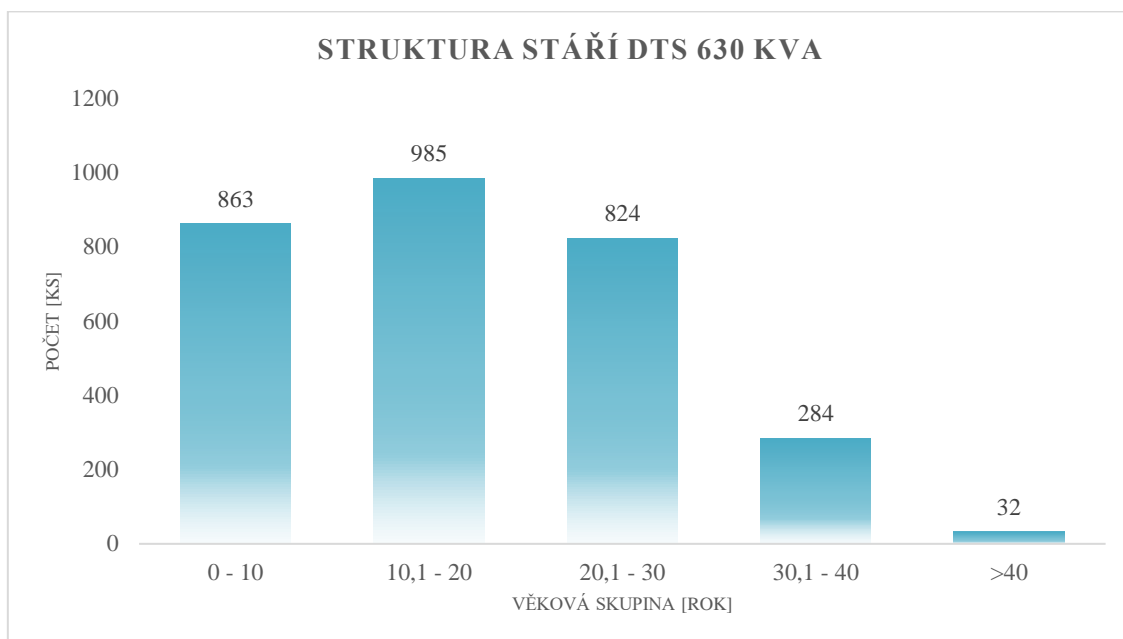
K analýze situace potřebujeme kompletní data o jednotlivých dTS – data z průběhu ročního zatížení jednotlivých fází intervalem 10 minut, které jsou měřeny na sekundární straně univerzálním monitorem MEG40, dále parametry jmenovitého výkonu, napětí sekundární strany, jmenovité ztráty naprázdno a nakrátko. Pokud nebyly udané některé hodnoty u jednotlivé transformační stanice, nelze správně vyhodnotit zařízení v síti a byly z analyzovaného vzorku vyjmuty. Celkový počet analyzovaných stanic s kompletními daty je 2 988, s průměrnou dobou provozu 17,17 let, 316 zařízení je za dobou životnosti 30 let (doba životnosti je v rozmezí 30-40 let). Hodnotu 35 let bere v úvahu, protože výměny transformačních stanic jsou plánované dopředu v dlouhodobém rámci. Účetní hodnota je odepisována po 30 let.

Počet analyzovaných dTS [ks]	2 988
Průměrné stáří [rok]	17,17
Za hranicí $T_z = 35$ let [ks]	108
Celkové ztráty [MWh/rok]	30 407,55
Průměrné ztráty [MWh/ks]	10,18

TABULKA 2 - STATISTIKA DTS

Analýzou zatížení a oceněním ztrát zvolíme nejefektivnější pořadí výměny transformátorů, přednostně ty, které jsou více zatížené a je vhodná jejich výměna za zařízení lepších parametrů. Převážná část stanic v provozu nepřekročila polovinu času předpokládaného provozu, 32 zařízení je hluboko za hranicí maximální životnosti 40 let. Bližším zaměřením se na průběh ročního zatížení lze

zjistit, zda je stanice využívána, nebo je v oblasti, kde není vysoký odběr elektrické energie. Strukturu stáří rozdělíme do 5 věkových skupin, podle doby provozu zařízení, rozdělených podle grafu níže.



GRAF 1 - STRUKTURA STÁŘÍ DTS

Roční instalace nových distribučních transformačních stanic je do 100 kusů, 98 % instalovaných je s Al/Al hliníkovým vinutím, které jsou levnější. Dražší verze s mědí (Cu) je používána při vyšších výkonech, kde je potřeba lepších parametrů. V dnešní míře urbanizace a nové výstavby v Praze připadá přibližné číslo instalací i do nových městských částí. Dle Českého statistického úřadu bylo v Praze roku 2016 dokončeno 6 000 nových bytů [9]. Do budoucna je předpokládán rozvoj elektromobility, instalací dobíjecích stanic veřejných i soukromých, které budou napojeny právě na distribuční soustavu NN a zvyšovat zatížení sítě, v zájmu snížení provozních nákladů je vhodná instalace právě transformátorů s nižšími ztrátami při zatížení. Poměr obnovy starých a instalace nových stanovím na 9:1 ve prospěch obnovy, tedy výměna 90 kusů ročně. Lze předpokládat, že spotřeba elektriny (resp. růst zatížení) v celé oblasti mírně roste, meziročně v průměru o 1 %. [3] [8]

2.3.2. Měřicí zařízení MEG40

Zařízení MeG40 je univerzální měřicí přístroj pro hladinu NN/VN, kterou distribuční společnost využívá k záznamu zatížení a jiných parametrů, konkrétně na sekundární straně distribučních transformátorů. Zaznamenává hodnoty maxima v 10minutových intervalech po celý rok, zapisuje denní diagramy, vyhodnocuje energie za dané období, odchylky a události výchylek napětí.



OBRÁZEK 2 - MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ MEG40 [10]

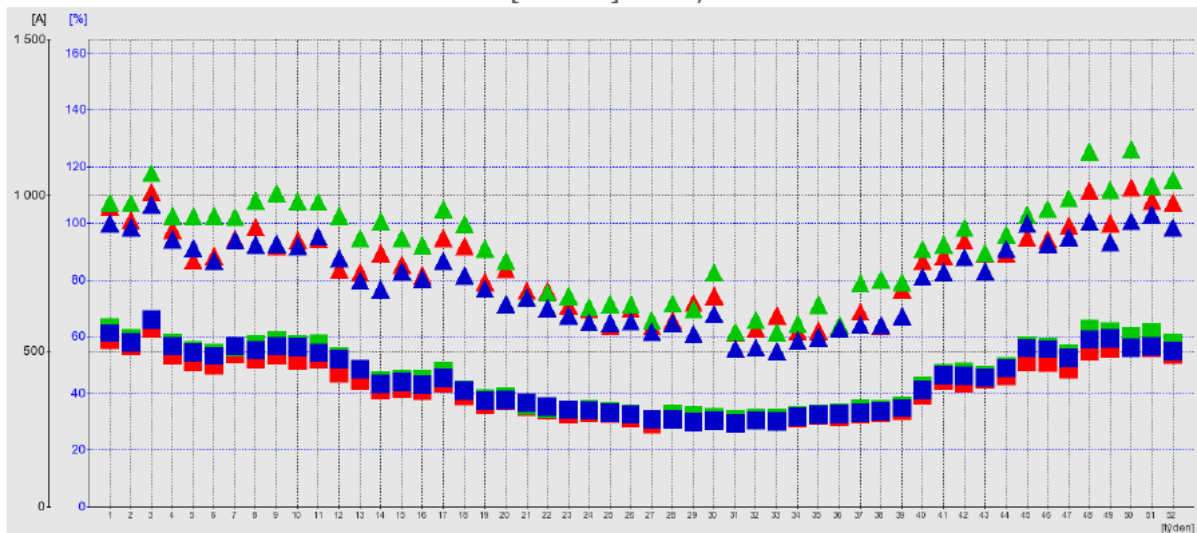
Výstupem je datový soubor s konkrétními hodnotami v 10minutových intervalech, viz Obrázek 3. U konkrétního času zaznamenává hodnoty napětí a proudů každé fáze, v jakém čase tohoto intervalu dosáhl maxima, hodnotu výkonu, jaloviny a účinníku.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Stanice	Trafo	Cas	U_L1	U_L2	U_L3	I_L1	I_L2	I_L3	I_L1max	I_L1maxT	I_L2max	I_L2maxT	I_L3max	I_L3maxT	I_MaxPer	EPp	EQL_EPp	EQC_EPp
2	22	L81	1.1.2016 0:00	240.64	241.16	240.58	258.522	249.478	215.652	258.522	1.1.2016 0:02	249.478	1.1.2016 0:02	215.652	1.1.2016 0:02	28.4402	57.367	9.0934	0
3	22	L81	1.1.2016 0:10	240.84	241.44	240.68	229.739	240.956	224.087	229.739	1.1.2016 0:12	240.956	1.1.2016 0:12	224.087	1.1.2016 0:12	26.5079	55.2965	7.44465	0
4	22	L81	1.1.2016 0:20	241.06	241.36	240.82	237.565	268.522	221.478	237.565	1.1.2016 0:22	268.522	1.1.2016 0:22	221.478	1.1.2016 0:22	29.5404	58.0224	7.22132	0
5	22	L81	1.1.2016 0:30	241.04	241.5	240.94	250.087	250.087	202.783	250.087	1.1.2016 0:32	250.087	1.1.2016 0:32	202.783	1.1.2016 0:32	27.5123	56.1323	6.53651	0
6	22	L81	1.1.2016 0:40	240.72	241.42	240.68	264.435	241.391	234.348	264.435	1.1.2016 0:42	241.391	1.1.2016 0:42	234.348	1.1.2016 0:42	29.0907	59.0956	6.38826	0
7	22	L81	1.1.2016 0:50	240.88	241.5	240.78	258.696	240.87	221.391	258.696	1.1.2016 0:52	240.87	1.1.2016 0:52	221.391	1.1.2016 0:52	28.4594	57.595	6.20713	0
8	22	L81	1.1.2016 1:00	240.6	241.3	240.5	274.783	245.478	236.435	274.783	1.1.2016 1:02	245.478	1.1.2016 1:02	236.435	1.1.2016 1:02	30.2291	60.3019	7.23688	0
9	22	L81	1.1.2016 1:10	240.62	241.34	240.6	279.13	239.044	225.652	279.13	1.1.2016 1:12	239.044	1.1.2016 1:12	225.652	1.1.2016 1:12	30.7074	59.2951	7.07026	0
10	22	L81	1.1.2016 1:20	240.68	241.24	240.62	278.174	252.174	231.13	278.174	1.1.2016 1:22	252.174	1.1.2016 1:22	231.13	1.1.2016 1:22	30.6022	60.7198	7.07079	0
11	22	L81	1.1.2016 1:30	240.72	241.34	240.58	238.522	214.174	208.783	238.522	1.1.2016 1:32	214.174	1.1.2016 1:32	208.783	1.1.2016 1:32	26.24	52.7131	6.46627	0
12	22	L81	1.1.2016 1:40	240.78	241.62	240.78	239.044	195.565	196.261	239.044	1.1.2016 1:42	195.565	1.1.2016 1:42	196.261	1.1.2016 1:42	26.2974	50.2721	6.43492	0
13	22	L81	1.1.2016 1:50	240.86	241.56	240.74	256.174	223.391	217.565	256.174	1.1.2016 1:52	223.391	1.1.2016 1:52	217.565	1.1.2016 1:52	28.1819	55.6479	6.37681	0
14	22	L81	1.1.2016 2:00	240.66	241.26	240.54	261.13	247.913	246.348	261.13	1.1.2016 2:02	247.913	1.1.2016 2:02	246.348	1.1.2016 2:02	28.7272	60.2924	6.36425	0
15	22	L81	1.1.2016 2:10	240.52	241.18	240.52	279.391	260.522	257.13	279.391	1.1.2016 2:12	260.522	1.1.2016 2:12	257.13	1.1.2016 2:12	30.7361	63.4647	7.82765	0
16	22	L81	1.1.2016 2:20	240.76	241.4	240.86	262.435	255.217	242.956	262.435	1.1.2016 2:22	255.217	1.1.2016 2:22	242.956	1.1.2016 2:22	28.8707	60.7958	5.92084	0
17	22	L81	1.1.2016 2:30	240.78	241.34	240.78	261.478	254.348	237.565	261.478	1.1.2016 2:32	254.348	1.1.2016 2:32	237.565	1.1.2016 2:32	28.7655	60.1499	6.53524	0
18	22	L81	1.1.2016 2:40	240.8	241.2	240.78	261.13	267.652	238.956	261.13	1.1.2016 2:42	267.652	1.1.2016 2:42	238.956	1.1.2016 2:42	29.4447	61.2422	6.99411	0
19	22	L81	1.1.2016 2:50	240.96	241.5	240.76	245.826	237.217	239.391	245.826	1.1.2016 2:52	237.217	1.1.2016 2:52	239.391	1.1.2016 2:52	27.0436	57.7469	V.75	0
20	22	L81	1.1.2016 3:00	240.6	241.02	240.4	261.304	285.391	263.826	261.304	1.1.2016 3:02	285.391	1.1.2016 3:02	263.826	1.1.2016 3:02	31.3962	64.6899	6.52883	0
21	22	L81	1.1.2016 3:10	240.48	240.92	240.38	252.87	284.261	245.913	252.87	1.1.2016 3:12	284.261	1.1.2016 3:12	245.913	1.1.2016 3:12	31.2718	62.4104	6.91804	0
22	22	L81	1.1.2016 3:20	240.56	241.12	240.62	255.652	268.957	210.174	255.652	1.1.2016 3:22	268.957	1.1.2016 3:22	210.174	1.1.2016 3:22	29.5882	58.6018	V1.51	0
23	22	L81	1.1.2016 3:30	240.86	241.48	240.8	224.87	226.435	178.609	224.87	1.1.2016 3:32	226.435	1.1.2016 3:32	178.609	1.1.2016 3:32	24.9103	50.2057	6.41275	0

OBRÁZEK 3 - NÁHLED VÝSTUPU Z MEG40

Možností výstupu je i grafický záznam průměrných a maximálních hodnot zatížení na konkrétní stanici a každé její fáze.

Bod měření: TS 1278 - [TS 1278] T 1 - 0,4 kV - 909 A - rok 2016



Legenda

- ▲ L1
- ▲ L2
- ▲ L3
- ▲ L4

Souhrnné hodnoty

Průměrné hodnoty			Maximální hodnoty			
Ø L1 [%/A]	Ø L2 [%/A]	Ø L3 [%/A]	Max.L1 [%/A]	Max.L2 [%/A]	Max.L3 [%/A]	Max(L1,L2,L3) [%/A]
62,9/572,0	66,3/602,3	66,0/600,4	112,7/1 024,9	126,4/1 148,5	106,8/970,5	126,4/1 148,5

OBRAZEK 4 - GRAFICKÝ ZÁZNAM HODNOT Z MEG40

3. Nařízení komise o EcoDesignu

Podle statistiky Mezinárodní energetické agentury IEA bylo v roce 2015 po celém světě vyrobeno 24 255 TWh elektrické energie. Členové Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj OECD, jejímž je Česká republika členem od roku 1995, a řadí se mezi ně i USA, společně vyrobili 44,7 % z celkového čísla, tedy 10 269,5 TWh. Země OECD v Evropské části 3 409,1 TWh. Statistiky OECD jsou přesné a úplné, proto poskytují lepší zhodnocení situace v energetickém sektoru. Přes 60 % světové výroby OECD pochází z tepelných zdrojů, jádro je na 18 %, vodní 14 %, a necelých 8 % z ostatních zdrojů. [11] Dle Leonardo Energy může i malé zlepšení účinnosti přinést velké snížení ztrát elektrické energie, celosvětová čísla ztrát se pohybují v rozmezí 4–20 %, což by byl významný rozdíl na konečné hodnotě ušetřené energie, pokud by se povedlo ušetřit alespoň část. Velký potenciál nabízí právě distribuční transformátory, kterých je velké množství po celé elektrické soustavě. Ty transformují elektrickou energii z napětí 1 kV až 50 kV, pro konečné užití napětí na sekundární straně 120 V až 1 kV, typickými odběrateli jsou rezidenční budovy a malé podniky terciálního sektoru. Již v této době mají distribuční transformátory účinnost pohybující se na 90–99 %, problémem je vysoká životnost až 40 let, která tak neumožňuje rychlejší výměnu a tím zlepšení účinnosti. Pokud se vymění transformátory, které neodpovídají platné legislativě, může se v Evropské unii (konkrétně 25 členských států, které přistoupily v roce 2004, patří mezi ně ČR a SR) ušetřit až 18,5 TWh ročně, což je stále větší množství, než vyrobila jaderná elektrárna Temelín za kalendářní rok 2017 (16,48 TWh). Tato hodnota představuje snížení produkce CO_{2eq} o 7 mil. tun ročně a úspora přes €1 mld. [12] Přestože je podle technických dokumentů účinnost zařízení v rozmezí 96–99 %, dle projektu Selecting Energy Efficient Distribution Transformers (SEEDT) je průměrná účinnost distribučních transformátorů na hodnotě 93,38 %, k roku 2008 [13]. Distribuční transformátory mají životnost 30–40 let, a jsou v nepřetržitém provozu, proto zvýšení účinnosti může ušetřit za dobu životního cyklu velké množství elektrické energie. V rozhodnutí o koupi převažují investiční náklady, provozní náklady však představují 30–70 % celkových nákladů za dobu provozu zařízení. Pro uvědomění si tohoto problému slouží náklady za celou dobu životnosti.

3.1. Direktiva 2009/125/ES

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/EC ze dne 21. října 2009 „O stanovení rámce určení požadavků na EcoDesignu výrobků spojených se spotřebou energie“ – oprava původní verze 2005/32/ES byla nezbytná v zájmu trvale udržitelného rozvoje Evropské unie. Snižuje se negativní dopad na životní prostředí v průběhu celého životního cyklu zařízení, ale s ohledem na ekonomickou náročnost. Odpovídajícím návrhem výrobku lze efektivněji snížit spotřebu při nižších výrobních nákladech. Je důležité snižovat energetickou náročnost z důvodu rostoucí poptávky po elektrické energii, a v zájmu snižování emisí, které jsou závazné dle strategií EU 2020 a 2030, snižování spotřeby elektrické energie je jedna ze šesti priorit Společenství. Směrnice se zabývá zlepšením evropského trhu, hospodářské soutěže a pohybu výrobků, které však musí splňovat označení shody dle platných norem. Zaměřuje se na kategorie výrobků, kterých se doposud nařízení nedotýkalo. Harmonizují se na parametry zařízení spotřebovávající, vyrábějící, měřící a přenášející elektrickou energii, tak i výrobků využívající se ve stavebnictví, jako jsou okna, izolační materiály, ale také výrobky využívající vodu, jako jsou sprchové hlavice. Nový EcoDesign výrobku by neměl být na úkor původních funkčních vlastností. Trvale udržitelný rozvoj bude ku prospěchu výrobcům i spotřebitelům, tak i životnímu prostředí. Má pozitivní dopad na zdravotní, sociální, hospodářské i environmentální aspekty. Základem je informovat spotřebitele o parametrech o údajích zařízení, které by měli být viditelně vyznačené na obalu. [14]

3.2. Nařízení Komise č. 548/2014

Nařízení Komise č. 548/2014 ze dne 21. května 2014 provádí směrnici Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES v oblasti malých, středních a velkých transformátorů uváděných a provozovaných na evropském trhu, s výkonem nad 1 kVA používaných v elektrických přenosových a distribučních sítích. Vyjmuty z tohoto nařízení jsou speciální typy transformátorů, např. využívané na moři, k přímému připojení k peci, pro tísňové situace apod. Analyzovaly se environmentální a ekonomické aspekty provozu transformátorů, kde vyplynulo, že návrhem výrobku lze zmírnit dopady na životní prostředí, a to snížením spotřeby materiálů využitých při výrobě jako je měď, železo, hliník a pryskyřice. Ku prospěchu věci je zvýšení energetické účinnosti středních a velkých transformátorů, protože ztráty na těchto transformátorech v zemích EU27 za rok 2008 dosáhly k 93,4 TWh/rok. Potenciál v ušetření elektrické energie pro rok 2025, po aplikaci těchto opatření, je 16,2 TWh/rok, což odpovídá 3,7 milionu tun emisí CO₂. Výkonovým transformátorem je dle definice dvou a více vinutíové zařízení, které elektromagnetickou indukcí mění velikost střídavého napětí, za účelem přenosu elektrické energie. Střední výkonový transformátor je pracující s napětím 1,1 – 36 kV a jmenovitým výkonem 5 kVA - 40 MVA. Velký výkonovým transformátorem je s velikostí napětí přesahující 36 kV a jmenovitým výkonem vyšším než 5 kVA. Dále nařízení rozlišuje způsob chlazení transformátorů, a to ponořený do kapaliny a suchého typu. Jedním ze způsobů montáže zařízení středního výkonu je na sloup elektrického

vedení, zde jsou pak specifické požadavky na velikost zařízení. Důležitým parametrem pro ohraničení maximálních hodnot ztrát jsou ztráty při chodu naprázdno P_0 , definované jako činný výkon pohlcený při kmitočtu 50 Hz, kdy je sekundární strana otevřena, a také ztráty pod zatížením P_k , což je činný výkon pohlcený při kmitočtu 50 Hz a referenční teplotě, spojený dvojicí vinutí, pod jmenovitým proudem. Dalším hodnoceným parametrem je index špičkové účinnosti PEI, maximální hodnota poměru přenášeného zdánlivého výkonu po odečtení ztráty k přenášenému zdánlivému výkonu transformátoru, vzorec pro výpočet $PEI = 1 - \frac{2(P_0 + P_{c0})}{S_r \sqrt{\frac{P_0 + P_{c0}}{P_k}}}$, kde P_{c0} je elektrický

výkon vyžadovaný pro napájení chladicího systému při chodu naprázdno a S_r je jmenovitý výkon při zatížení.

První stupeň platnosti regulace proběhl již 1. července 2015, následuje druhý stupeň obsahující přísnější parametry, který je platný od 1. července 2021. Sepsané minimální požadavky pro střední výkonové transformátory, suchého typu i ponořených do kapalin, musí splňovat maximální povolené hodnoty ztrát naprázdno i při zatížení, nebo index špičkové účinnosti PEI pro transformátory vyšších výkonů, které jsou stanovené v následujících tabulkách. Výjimkou jsou transformátory montované na sloupy. V následující Tabulka 3 jsou převzaté hodnoty maximálních ztrát pro třífázové středně výkonové transformátory ponořených do kapalin, které mají jmenovitý výkon $\leq 3\,150$ kVA, jejich napětí $U_1 \leq 24$ kV a $U_2 \leq 1,1$ kV. Pokud bude instalován střední výkonový transformátor s jmenovitým výkonem $\leq 3\,150$ kVA, který je vybaven odbočkovým spojením, které slouží k regulaci napětí, maximální hodnoty pro ztráty naprázdno se zvýší o 20 % (pro 1. i 2. stupeň), pro ztráty při zatížení jsou hodnoty v 1. stupni o 5 % vyšší, ve 2. stupni o 10 %. Dále jsou v Nařízení Komise č. 548/2014 uvedeny maximální hodnoty ztrát pro transformátory výkonů $\geq 3\,150$ kVA, pro transformátory suchého typu a další výjimky, jako jsou speciální transformátory s jiným rozsahem napětí na primární, resp. sekundární straně, se zdvojeným vinutím a také jiné požadavky na transformátory montované na sloupy, které mají jmenovitý výkon v rozsahu 25 kVA až 315 kVA. Hodnoty PEI nejsou stanoveny pro distribuční transformátory, ale pouze pro výkonové transformátory s jmenovitým výkonem $\geq 3\,150$ kVA, pro tyto výkony jsou hodnoty nad úrovní 99,348 % PEI u ponořených do kapaliny, u suchého typu je minimální hodnota PEI 99,158 %. [15]

Jmenovitý výkon [kVA]	Stupeň 1 (od 1. července 2015)			Stupeň 2 (od 1. července 2021)			
		Maximální ztráty P_k [W]	Maximální ztráty P_0 [W]		Maximální ztráty P_k [W]	Maximální ztráty P_0 [W]	
≤ 25	C_k	900	A_0	70	A_k	600	$A_0 - 10\%$ 63
50	C_k	1 100	A_0	90	A_k	750	$A_0 - 10\%$ 81
100	C_k	1 750	A_0	145	A_k	1 250	$A_0 - 10\%$ 131
160	C_k	2 350	A_0	210	A_k	1 750	$A_0 - 10\%$ 189
250	C_k	3 250	A_0	300	A_k	2 350	$A_0 - 10\%$ 270
315	C_k	3 900	A_0	360	A_k	2 800	$A_0 - 10\%$ 324
400	C_k	4 600	A_0	430	A_k	3 250	$A_0 - 10\%$ 387
500	C_k	5 500	A_0	510	A_k	3 900	$A_0 - 10\%$ 459
630	C_k	6 500	A_0	600	A_k	4 600	$A_0 - 10\%$ 540
800	C_k	8 400	A_0	650	A_k	6 000	$A_0 - 10\%$ 585
1 000	C_k	10 500	A_0	770	A_k	7 600	$A_0 - 10\%$ 693
1 250	B_k	11 000	A_0	950	A_k	9 500	$A_0 - 10\%$ 855
1 600	B_k	14 000	A_0	1 200	A_k	12 000	$A_0 - 10\%$ 1 080
2 000	B_k	18 000	A_0	1 450	A_k	15 000	$A_0 - 10\%$ 1 305
2 500	B_k	22 000	A_0	1 750	A_k	18 500	$A_0 - 10\%$ 1 575
3 150	B_k	27 500	A_0	2 200	A_k	23 000	$A_0 - 10\%$ 1 980

TABULKA 3 - MAXIMÁLNÍ ZTRÁTY PRO TRF PONOŘENÝCH DO KAPALIN [15]

Maximální hodnoty ztrát, ze kterých nařízení Komise vychází, jsou orientační referenční hodnoty, které v době přijetí tohoto nařízení byly pro střední výkonové transformátory vyhodnoceny na trhu jako nejlepší dostupná technologie:

- Střední výkonové transformátory ponořené do kapaliny: $A_0 - 20\%$, $A_k - 20\%$
- Střední výkonové transformátory suchého typu: $A_0 - 20\%$, $A_k - 20\%$
- Střední výkonové transformátory s jádrem z amorfní oceli: $A_0 - 50\%$, $A_k - 50\%$

Jsou kladeny na výrobce zařízení, který je povinen informovat o výrobku, dodat veškerou související dokumentaci a poskytovat informace na svých webových stránkách. Povinně zveřejňované informace jsou:

- Jmenovitý výkon, ztráty při zatížení a chodu naprázdno, elektrický výkon chladicího zařízení při chodu naprázdno
- U středních a velkých výkonových transformátorů s výkonem vyšším než $\geq 3\,150$ kVA uvádět index špičkové účinnosti a jeho odpovídající výkon v tomto stavu
- U transformátorů s dvojitým napětím maximální jmenovitý výkon při nižším napětí
- Informace o hmotnosti hlavních dílů, vlastnosti vodiče, materiál

- e) Pro střední transformátory montované na sloup viditelně umístit označení „Pouze pro provoz na sloupu“

Technická dokumentace musí obsahovat informace o výrobcí, identifikační znak modelu, alfanumerický kód k rozlišení modelu a všechny informace uvedené výše. Metody měření parametrů pro účel shody s požadavky nařízení jsou měřeny pomocí postupu, který je aktualizován a doporučen Evropskou unií. Pro kontrolu naměřených parametrů platí tolerance 5 %, měřená hodnota při kontrole nesmí být vyšší o tuto hodnotu. [15]

4. Transformátor

V následujících Tabulka 4 a Tabulka 5 jsou uvedené parametry transformátoru (TRF), na kterém bude znázorněn výpočet celkových ztrát. Tyto hodnoty jsou platné pro 1. vlnu Direktivy od 1. července 2015. TRF v zapojení Dyn je nejčastěji využíván pro distribuci VN/NN od výkonu 400 kVA. Používanější je verze s Al/Al vinutím na obou stranách, 95 % nově instalovaných traf jsou chlazené olejem.

Jmenovité napětí na VN straně	22kV $\pm 2 \times 2,5$ %
Jmenovité napětí na NN straně	420/242 V
Nejvyšší napětí na VN/NN straně	25/1,1 kV
Kmitočet	50 Hz
Zapojení	Dyn1
Chlazení	ONAN
Provedení	venkovní
Materiál vinutí VN	Cu nebo Al
Materiál vinutí NN	Cu drát nebo Cu/Al fólie
Třída izolace	A
Požadovaná záruka	5 let
Průchodka VN na konektorové připojení	Typ styčné plochy A (250 A, typ kontaktu kluzný)
Průchodka VN pro klasické (porcelánové) připojení	Klasické připojení na kabelová oka

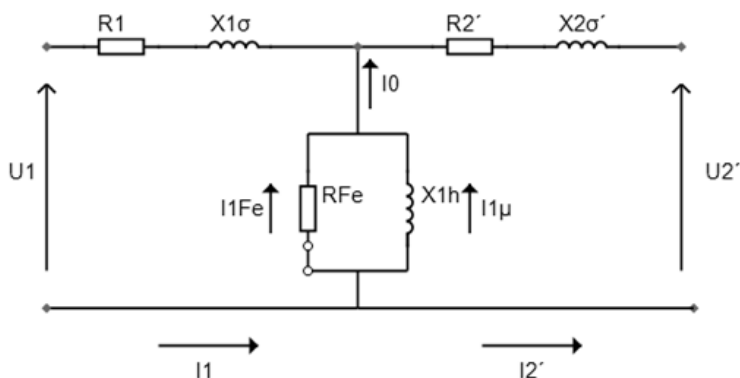
TABULKA 4 - ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE [13]

Jmenovitý výkon	630 kVA
Jmenovité napětí nakrátko při 75 °C	6 %
Ztráty naprázdno*	600 W
Ztráty nakrátko při 75 °C*	6 500 W
Výška pro VN konektorové připojení*	1 570 mm
Výška pro VN klasické připojení*	1 690 mm
Délka*	1 470 mm
Šířka*	880 mm
Hmotnost*	1 850 kg
Hladina akustického výkonu*	52 dB
* maximální hodnota bez tolerance	

TABULKA 5 - DALŠÍ TECHNICKÉ PARAMETRY PLATNÉ DLE 1. VLNY NAŘÍZENÍ DIREKTIVY [13]

4.1. Princip transformátoru

Úplné náhradní schéma jedné fáze transformátoru (T-článek), pro které budeme počítat náhradní parametry výše uvedeného TRF. Informace volně převzaty z literatury [16], [17], [18]

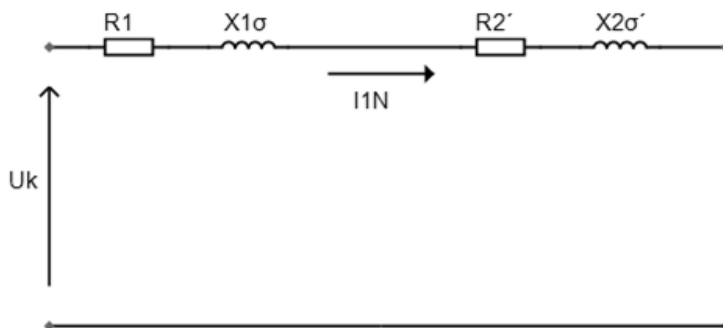


OBRÁZEK 5 - NÁHRADNÍ SCHÉMA TRANSFORMÁTORU

Vychází se z náhradního schématu, které je uvedené na Obrázek 5, a z jeho stavů naprázdno a nakrátko, kdy se spočítají odpovídající parametry $R_1, R'_2, R_{Fe}, X_{1\sigma}, X'_{2\sigma}, X_{1h}$.

4.1.1. Stav nakrátko

Výstupní svorky jsou zkratovány, napětí na výstupu je $U'_2 = 0$. Pokud se jedná o havarijní stav TRF, zkratový proud I_k dosáhne až 25ti násobku proudu jmenovitého I_{1N} , tím se i Jouelovy ztráty značně zvýší a může dojít k poškození zařízení. Pro tuto hodnotu se dimenzují ochrany. Měření nakrátko je ustálený stav, kdy obvodem protéká napětí nakrátko U_k při proudu $I_k = I_{1N}$. TRF se v takovémto stavu jeví jako celková zkratová impedance $Z_k = R_k + jX_k$, kde odpor je reálnou částí $R_k = R_1 + R'_2$, a rozptylová reaktance $X_{\sigma k} = X_{1\sigma} + X'_{2\sigma}$ je částí imaginární, složky jsou na sebe kolmé. Příčná větev se zanedbává.



OBRÁZEK 6 - TRANSFORMÁTOR NAKRÁTKO

Ve stavu nakrátko pro analýzu ztrát je nutné znát odpor R_k (výpočet dle Joulových ztrát), z univerzálního měřáku MEG40 máme hodnoty proudů každé fáze na sekundární straně, ke které budou vypočtené hodnoty vztaženy.

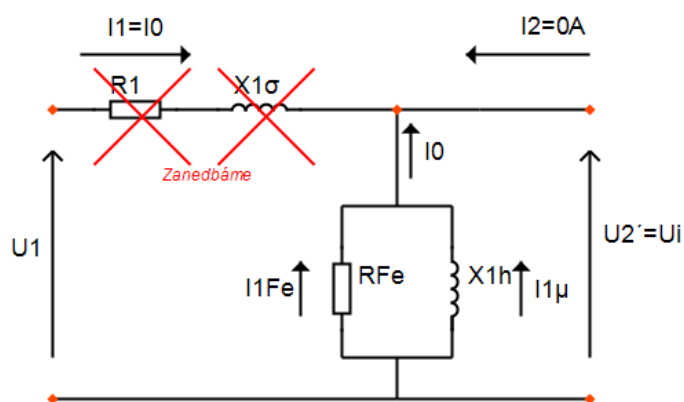
$$U_{2N} = 420 \text{ V} \quad (1.)$$

$$R_k = \frac{\Delta P_{kN}}{S_N} * \frac{U_{2N}^2}{S_N} = \frac{6500}{630000} * \frac{420^2}{630000} = 0,00288889 \Omega \quad (2.)$$

kde	U_{2N}	[V]	napětí na sekundární straně,
	S_N	[VA]	jmenovitý výkon,
	R_k	[Ω]	celkový odpor nakrátko,
	ΔP_{kN}	[W]	ztráty nakrátko jmenovité.

4.1.2. Stav naprázdno

Příčnou větev vypočítáme stavem naprázdno, kdy prvky $R_1, R'_2, X_{1\sigma}, X'_{2\sigma}$ jsou zanedbány, z důvodu, že primárním obvodem prochází proud, vznikají zde Joulovy ztráty na odporu R_1 , ale ztráty jsou dány poměrem $\left(\frac{I_0}{I_N}\right)^2$, I_1 je 5 % jmenovitého proudu, ztráty jsou $25 * 10^{-4}$ násobek jmenovitých ztráty, proto jsou bezvýznamné. Obvodem (primárním vinutím) prochází magnetizační proud I_0 , který je nutný pro vybuzení magnetického pole při jmenovitém napětí U_{1N} , proud $I_2 = 0$. Proud naprázdno I_0 má dvě složky – první má induktivní charakter, vyjádřeno parametrem X_{1h} -magnetizační reaktance, magnetické pole jádra se chová jako cívka, magnetický tok, je zpožděn za napětím o 90° . Druhá složka představuje hysterezní ztráty a ztráty vířivými proudy, je ve fázi s napětím, vyjádřena parametrem R_{Fe} (ztráty v železe) a vznikají časovou změnou magnetického toku. Hysterezní ztráty jsou závislé na ploše hysterezní smyčky a kmitočtu. Ztráty vířivé vznikají v obvodech, jimiž prochází střídavý proud, omezují se sestavením z transformátorových plechů, které jsou navzájem odizolovány, a tím se dosáhne snížení ztrát. Jmenovitý proud naprázdno $i_{0\%}$ u distribučních TRF tohoto výkonu je přibližně do 2 %.



OBRÁZEK 7 - TRANSFORMÁTOR NAPRÁZDNO

V našem výpočtu jsou ztráty naprázdno konstantní, vypočítány z doby provozu 8760 hodin.

4.2. Ztráty transformátoru

Ztráty transformátoru jsou hlavním parametrem, které jsou nutné pro správnou analýzu a vyhodnocení implementace EC. Distribuční TRF se skládají z železného jádra s vývodem na fázi, kde má každá fáze dvě vinutí – jeden s vyšším počtem závitů představující primární stranu vyššího napětí, a druhé vinutí s nižším počtem závitů, představující sekundární stranu nižšího napětí. Jsou tři druhy ztrát – naprázdno, při zatížení a ztráty vynaložené na běh chladicího systému, které jsou u některých typů transformátorů zanedbatelné, jako je to v našem případě. Pro zlepšení těchto hodnot platí několik technik, které snižují energetickou náročnost chodu zařízení. Díky lepšímu návrhu zařízení můžeme snížit ztráty naprázdno, jiná montáž, výroba a použití materiálů. Ztráty při zatížení jsou úměrné kvadrátu proudu I^2 , ten může být snížen změnou průřezu vinutí. Velikost energie vynaložené na běh chladicího systému změním konstrukcí systému. Kombinací těchto technik snížíme energetickou náročnost zařízení, metoda se nazývá the lowest Life Cycle Cost (LCC), snížení nákladů na životní cyklus zařízení. [12]

4.2.1. Ztráty naprázdno

Ztráty naprázdno ΔP_0 , také ztráty v železe, jsou stálé ztráty, jejichž zdroj je ze dvou jevů – hysterezní ztráty a ztráty vířivými proudy, nezávislé na zatížení transformátoru. Jsou dány pevnou konstrukcí, vlastnostmi materiálu a rozměry jádra transformátoru. Důležitým parametrem stavu naprázdno je poměrný proud naprázdno i_0 , je měřen při stavu naprázdno, kdy výstupní svorky sekundárního zapojení jsou rozpojené, proud v sekundárním vinutí je $I_2 = 0$, pak proud naprázdno I_0 je totožný s magnetizačním proudem I_μ . Proud je zpožděn za napětím U_{10} o 90° , resp. $\frac{\pi}{2}$, proud naprázdno je velmi malý oproti jmenovitému proudu, pohybuje se okolo hodnoty 2 % jmenovitého v závislosti na velikosti transformátoru. Zjednodušující předpoklad, blízký se skutečnosti, jsou neměnné parametry a lze vypočítat vynásobením jmenovitého parametru ztrát naprázdno dobou ročního provozu. [16] [17]

$$W_0 = 8760 * P_{0N} \quad (3.)$$

kde P_{0N} jmenovité ztráty naprázdno,
 W_0 ztracená energie naprázdno.

4.2.2. Ztráty nakrátko

Ztráty nakrátko ΔP_k , jinak nazývané ztráty v mědi, vznikají průchodem střídavého proudu vinutím, jsou větší než ztráty naprázdno a jejich velikost závisí na velikosti zatížení transformátoru, resp. velikosti druhé mocniny procházejícího proudu, vycházejí ze vzorce pro Joulovy ztráty. Závisí na velikosti odporu primárního a sekundárního vinutí, a to podle vzorce $\Delta P_{kn} = RI^2$. Pak reálné zatížení transformátoru v čase vychází ze jmenovité hodnoty ztrát nakrátko vynásobené poměrem kvadrátu zatížení aktuálního ke kvadrátu jmenovitému, tedy $P_k = P_{kn} * \frac{S^2}{S_n^2}$. Ovlivňující faktory jsou dle vzorce odporu vinutí $R = \frac{\rho * l}{S}$ délka vodiče, použitý materiál vinutí a průřez vodiče. U velkých transformátorů musíme počítat i s jalovými ztrátami $Q_k = Q_{kn} * \frac{S^2}{S_n^2}$, ty se objevují u vyšších výkonů, na naší hladině 630 kVA jsou nepodstatné. Důležitým parametrem související se ztrátami nakrátko je poměrné napětí nakrátko u_k , je to taková hodnota napětí na primárním vinutí, při kterém se na zkratovaném sekundárním napětí objeví jmenovitý proud I_n . Vztah je $u_k = \frac{U_{1k}}{U_n} [-]$.

Celkové ztráty závislé na zatížení jsou $P_z = P_0 + P_{kn} * \frac{S^2}{S_n^2} = P_0 + P_k$. [16] [17]

Pro náš výpočet budeme využívat upravený vzorec s parametrem odporu nakrátko, výstupem měření MEG40 jsou proudy každé fáze na sekundární straně v počtu N , měřeny po intervalu 10 minut, tedy převod na ztracenou energii W_{k_ILx} bude vynásoben $\frac{10}{60}$ pro převod na jednotku Wh a sumarizován.

$$W_{k_IL1} = I_{L1}^2 * R_k * \frac{10}{60} = I_{L1}^2 * \left(\frac{\Delta P_{kN}}{S_N} * \frac{U_{2N}^2}{S_N} \right) * \frac{10}{60} \quad (4.)$$

$$W_{k_IL2} = I_{L2}^2 * R_k * \frac{10}{60} = I_{L2}^2 * \left(\frac{\Delta P_{kN}}{S_N} * \frac{U_{2N}^2}{S_N} \right) * \frac{10}{60} \quad (5.)$$

$$W_{k_IL3} = I_{L3}^2 * R_k * \frac{10}{60} = I_{L3}^2 * \left(\frac{\Delta P_{kN}}{S_N} * \frac{U_{2N}^2}{S_N} \right) * \frac{10}{60} \quad (6.)$$

$$W_k = \sum_{i=1}^N W_{k_IL1i} + W_{k_IL2i} + W_{k_IL3i} \quad (7.)$$

$$W_z = W_0 + W_k [Wh] \quad (8.)$$

kde W_{k_ILx} ztracená energie na fázi x,
 I_{Lx} proud na fázi x,
 W_k ztracená energie nakrátko,
 W_z celková ztracená energie.

4.3. Ocenění ztrát

Ocenění ztrát je složitá věc, nevíme konkrétní plynoucí toky výnosy za poskytnuté distribuční služby, a to z důvodu velkého množství zákazníků, u kterých není znám přesný diagram odběru elektrické energie, z něhož plynou poplatky za distribuci. Využívá se k tomu metodiky měrných tržeb pro příslušné napěťové hladiny, tzv. usměrněná cena a odpovídající ekonomicky oprávněným nákladům. U nás konkrétně pro dTS to bude hladina 6 - TR22/0,4 (transformace VN/NN).

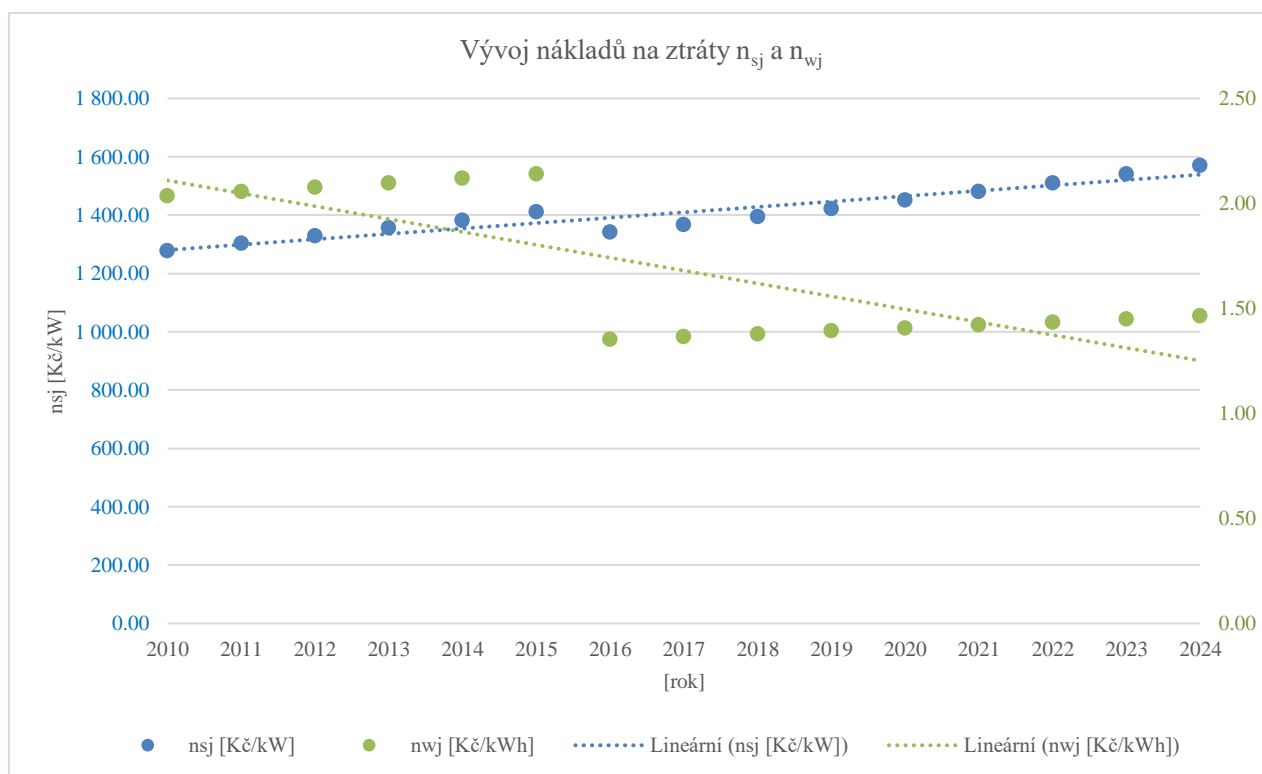
Po stanovení měrných tržeb je nutné znát:

- stálé a provozní náklady prvků v distribuční soustavě, společné náklady,
- toky výkonů a elektrické práce,
- tržby za poskytované distribuční služby.

Míra tržeb je regulovaná přes ERÚ v „Cenovém rozhodnutí pro rok 2018“, uvedené v kapitole 2.2, kde je pro aktuální rok cena pro distribuci navýšena v průměru o 2,8 % pro odběratele na území PREdi, a.s. Dle výroční zprávy 2016 PRE distribuce byly tržby za distribuční služby ve Skupině 5 964 519 tis. Kč. V letošním roce se dá předpokládat růst přijatých tržeb za distribuční činnost. V důsledku zákona č. 458/2000 Sb. Jsou organizační složky nákupu elektřiny, distribuce, obchodu odděleny ekonomicky. Rozdělením napěťových hladin lze samostatně pro každou posoudit její působení na ekonomiku společnosti a její oddělení stálých n_{sj} a proměnných nákladů n_{wj} :

- stálá složka zahrnující dostatečný pohotový výkon pro dodávku energie n_{sj} ,
- proměnná složka závisící na množství spotřebované energie a ztrátách v síti n_{wj} .

Zjednodušujícím předpokladem pro další výpočet je izolovaná část transformace 22/0,4 kV. Hodnoty jsou získány z dokumentů výpočtu měrných tržeb pro PREdi, a.s., ukazující postupný vývoj při přepočtu cen v roce 2011 a 2016. Trend lineární spojnice stálých nákladů je mírně rostoucí, kdežto cena za variabilní náklady má spojnicí trendu klesající, cena se po přepočítání snížila téměř o polovinu, jak je patrné z grafu níže. [19]



GRAF 2 - VÝVOJ CEN NÁKLADŮ NA ZTRÁTY [19]

Pro naše účely budeme vycházet z hodnot roku 2016 až 2024. Z důvodu poklesu cen silové elektřiny na burze bylo vhodné přepočítat náklady na ztráty vyvozených z měrných tržeb distribuční společnosti. Cena na burze v roce 2011 se pohybovala mezi 50–60 €/MWh, v roce 2016 byla pod hranicí 30 €/MWh.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
nsj [Kč/kW]	1 341,2947	1 368,1206	1 395,4830	1 423,3927	1 451,8605	1 480,8977	1 510,5157	1 540,7260	1 571,5405
nwj [Kč/kWh]	1,3527	1,3662	1,3799	1,3937	1,4076	1,4217	1,4359	1,4503	1,4648

TABULKA 6 - VÝVOJ CEN NÁKLADŮ NA ZTRÁTY [19]

Trend vývoje cen je konstantní – stálé náklady rostou o 2 % meziročně, variabilní o 1 % meziročně.

4.3.1. Stálé náklady na ztráty

Stálé náklady na ztráty jsou pro dostatečný rezervovaný výkon pro transformaci VN/NN. Využitím koeficientu soudobosti zatížení β , jinak také koeficient náročnosti, odhadneme, kolik zařízení pracuje současně. Je definován:

$$\beta = \frac{P_{max}}{P_i} [-] \quad (9.)$$

kde P_{max} maximální příkon,
 P_i instalovaný příkon.

Stanovení této hodnoty bude přibližné, vybereme reprezentativní vzorek 10ti zařízení, které mají průměrné roční zatížení, 2 kusy z každé věkové skupiny, a stejně velký vzorek zařízení, které mají nejvyšší ztráty ve věkové skupině – z výsledků maxim poté analyticky vypočítáme průměrná maxima pro rezervovaný příkon vyžadující všechna zařízení. Hodnoty při maximu zatížení zařízení s průměrnými ztrátami jsou v Tabulka 7, s maximálními v Tabulka 8. Hodnoty maxim jsou v převážně v zimním období. Kopírují celkové zatížení Prahy, kdy v průběhu zimy stoupají maxima, z důvodu elektrického vytápění obytných místností. Denní doba maxima se pohybuje v odpoledních hodinách, tedy v době nízkého tarifu, kdy se spouštějí spotřebiče přes HDO, který má plovoucí dobu mezi 13–17 hodinou odpoledne. Maximální hodnoty proudů jsou vyznačeny tučně.

Skupina	Název	Datum	UL1	UL2	UL3	IL1_max	IL1_max	IL1_max
0-10	TS_36	22.1.2016 11:40	235.26	235.48	234.92	302.348	274.348	345.304
	TS_258	31.12.2016 19:40	232.44	232.26	231.62	73.6522	89.7391	132.522
10,1-20	TS_22	4.12.2016 13:50	241.2	241.5	240.9	411.826	440.261	370.957
	TS_44	20.1.2016 13:10	233.48	234.26	233.64	371.826	397.217	487.217
20,1-30	TS_88	15.2.2016 12:20	231.32	231.32	232.28	427.13	467.652	421.391
	TS_261	26.2.2016 15:20	229.26	229.22	228.94	278.957	240.00	216.956
30,1-40	TS_2246	28.2.2016 12:00	241.3	243.32	242.46	201.391	87.0435	121.304
	TS_3327	13.3.2016 13:20	230.4	229.68	230.78	243.565	359.913	249.13
>40	TS_2746	20.8.2016 18:40	230.74	231.26	232.06	434.261	513.478	419.217
	TS_2044	10.11.2016 10:30	225.1	225.68	225.56	509.217	486.957	483.565

TABULKA 7 - MAXIMUM ZATÍŽENÍ PRŮMĚRNÝCH ZTRÁT

Skupina	Název	Datum	UL1	UL2	UL3	IL1_max	IL1_max	IL1_max
0-10	TS_2615	20.1.2016 13:30	233.78	233.96	234.64	977.391	907.478	933.13
	TS_2685	19.1.2016 12:00	232.5	231.56	233.26	759.13	911.044	814.956
10,1-20	TS_2318	6.12.2016 10:10	228.32	229.12	228.84	873.13	847.13	935.739
	TS_2675	4.1.2016 13:20	223.2	222.96	224.64	885.478	983.565	857.913
20,1-30	TS_1119	20.12.2016 16:20	231.94	230.66	230.86	530.087	623.391	679.913
	TS_4983	6.12.2016 16:10	225.36	225.96	225.38	562.348	612.174	619.13
30,1-40	TS_3713	4.12.2016 14:00	229.84	75.56	229.68	379.739	373.826	457.043
	TS_5233	24.6.2016 15:20	229.19	229.41	229.22	304.261	355.565	344.783
>40	TS_3322	20.12.2016 12:40	226.54	229.34	229.1	573.565	434.957	399.304
	TS_3518	4.12.2016 14:00	229.28	230.32	230.76	981.739	918.696	824.609

TABULKA 8 - MAXIMUM ZATÍŽENÍ MAXIMÁLNÍCH ZTRÁT

Pro jmenovitou hodnotu proudu vztaženou na sekundární stranu vycházíme z následujícího vzorce:

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}} = \frac{630\,000}{\sqrt{3} * 400} = 909,32 \text{ [A]} \quad (10.)$$

Ted' již můžeme použít výpočet podle vzorce koeficientu soudobosti zatížení, dosazením maxim a počtu použitých zařízení.

$$\beta = \frac{P_{max}}{P_i} = \frac{I_{max}}{I_i} = \frac{3\,735,91 + 7\,474,69}{20 * 909,32} = 61,64 \% \quad (11.)$$

Počet zúčastněných zařízení je 2 988 kusů se jmenovitým proudem 909,32 A. Předpokladem bude roční růst soudobosti o 1 %. Z výše uvedených hodnot v tabulkách vidíme, že odebírané napětí je přibližně kolem hodnoty 230 V, uvažujeme $\cos\varphi = 0,95$. Platby jsou nediskontované, tento krok bude proveden v následujícím shrnujícím výpočtu.

$$\text{Platba za rez. výkon} = n_{sj} * U * I_{max} * \cos\varphi * \beta \quad (12.)$$

	n_{sj} [Kč/kW]	Max proud soudobý [kA]	Rezervovaný výkon [kW]	Platba za rezer. výkon [tis. Kč]
2016	1 341,29	1 674,85	365 955,11	490 853,66
2017	1 368,12	1 691,60	369 614,66	505 677,44
2018	1 395,48	1 708,34	373 274,21	520 897,83
2019	1 423,39	1 725,09	376 933,77	536 524,76
2020	1 451,86	1 741,84	380 593,32	552 568,41
2021	1 480,89	1 758,59	384 252,87	569 039,20
2022	1 510,51	1 775,34	387 912,42	585 947,80
2023	1 540,72	1 792,09	391 571,97	603 305,12
2024	1 571,54	1 808,84	395 231,52	621 122,35

TABULKA 9 - VÝVOJ PLATBY ZA STÁLOU SLOŽKU

4.3.2. Proměnné náklady na ztráty

Proměnné, neboli variabilní náklady na ztráty, jsou závislé na zatížení a tomu odpovídající ztracené energii. Tímto výpočtem se budeme podrobněji zabývat v dalších kapitolách pro konkrétní dTS.

4.3.3. Volba diskontu

Hodnota diskontu záleží na výpočtech upřednostňované zadavatelem projektu. Pro PREdi, a.s. byla použita hodnota vážené průměrné ceny kapitálu WACC po zdanění, ve tvaru:

$$WACC = r \frac{E}{E + D} + i(1 - \tau) * \frac{D}{E + D} = 6,3 \% \quad (13.)$$

kde

r	roční výnos,
E	vlastní kapitál,
D	cizí kapitál,
i	cena cizího kapitálu,
τ	sazba daně z příjmu.

Odborným výpočtem byla hodnota WACC po zdanění pro distribuční společnost působící v regulovaném prostředí stanovena na hodnotě 6,3 %.

4.4. Požadavky, shrnutí EC 2021

Parametry uvedené v Nařízení Komise č. 548/2014 jsou popsány výše pro všechny výkony transformátorů, nás konkrétně bude zajímat ten s výkonem 630 kVA, rekapitulace hodnot v tabulce níže:

630 kVA	Aktuální stav	2. stupeň (1. červenec 2021)	2. stupeň (1. červenec 2021) s korekcí
P_k [W]	6 500	4 600	5 060
P_o [W]	600	540	600

TABULKA 10 - POŽADAVKY ECODESIGN

V projednávání je případná korekce ztrát o 10 %, toto však ještě není definitivně rozhodnuto, ale pokud by návrh korekce prošel, byla by možná instalace zařízení s většími maximálními ztrátami, to se projeví v kupní ceně a fyzické velikosti zařízení.

4.4.1. Olejové a suché transformátory

Konečná volba mezi těmito typy využívaných transformátorů bude jasná hned na začátku, při pohledu na množství ročně instalovaných olejových, těch bývá kolem 100 kusů, kdežto suchého typu je pár jednotek, obvykle kolem 3 nových kusů ročně. Chladicí médium olej je největší výhodou, ale i slabinou, kdy při poruše se stává z oleje vysoce hořlavá látka, která lze špatně uhasit, většinou se nechává kontrolovaně dohořet. V těchto případech se musí zabránit kontaminaci životního prostředí, zařízení musí mít pod sebou zachytné vany, kam se uniklý olej dostane a poté ekologicky zlikviduje. Olej má skvělé izolační vlastnosti, odvádí přebytečné teplo. Transformátory suchého typu jsou využívány převážně v průmyslu, kde byl problém se vznětlivostí oleje u výrobních strojů pracujících s elektrinou. Ztráty nakrátko jsou u suchého typu větší, jeho pořizovací cena je také vyšší. Proto PREdi, a.s. upřednostňuje výběr olejového v hermeticky uzavřené obálce, který je prakticky bezúdržbový a vysoce spolehlivý.

Většina dnešních transformátorů podobného výkonu 630 kVA je s chladicí technologií ONAN – přirozený průtok oleje přes radiátory, dále existuje ONAF s přirozeným průtokem oleje přes radiátory a umělým prouděním vzduchu, a OFAF s nuceným průtokem oleje a nuceným prouděním vzduchu.

4.4.2. Dispoziční vlastnosti transformátoru

V městské zástavbě je zapotřebí každého místa, proto jsou distribuční zařízení instalována do sklepních prostor v obytných domech, nebo mají vlastní stavbu, jako je typ instalace kiosku, který je nejvíce využíván, viz. Obrázek 8. Jedná se o malou stavbu umístěnou, s potřebným větráním a označením, že se jedná o elektrické zařízení. Další s více než tisícem kusů analyzovaných transformačních stanic je vestavěného typu – uložena ve sklepních místnostech a jim podobných. Dále jsou instalovány blokové, plechové, podzemní, vestavěné. Umožňují ochranu osob před dotykem částí pod napětím.



OBRÁZEK 8 - DTS TYPU KIOSEK [20]

Se zvyšujícími se nároky na maximální hodnoty ztrát výrobci dodávají transformátory větší velikosti, než byly dříve. To bude problém z hlediska logistiky a instalace do sklepních prostor ve staré zástavbě, kde již není místo pro vybudování zařízení typu kiosku. Zvyšující se hmotnost a větší šířka způsobí, že instalace bude nemožná, protože obvyklá šířka dveří je do 90 cm. Bohužel pokud chtějí výrobci splnit Nařízení o EcoDesignu 2021, musí buď zlepšit technologii výroby, nebo právě zvětšit rozměry zařízení.

4.4.3. Spolehlivost a provozní náklady oprav

Distribuční transformační stanice mají vysokou spolehlivost (náročnější opravy jsou prováděny na 1–2 kusech dTS ročně v celé oblasti PREDi), většina je umístěna ve sklepních místnostech obytných domů či v kiosku, kde jsou chráněny před přírodními podmínkami, počasím, korozi a mechanickému poškození. Provádějí se periodické revize a drobné opravy, našim předpokladem je, že cena této činnosti je nízká, nepromítne se do provozních nákladů.

4.4.4. Hlukové limity

Je nutné dodržet ekologické a technické požadavky, které zaručí konformitu občanů žijící v blízkosti umístěného transformátoru a sníží dopad na kvalitu životního prostředí. Předpokládané umístění distribučního transformátoru na území Prahy je v hustě zabydlené oblasti, opatření proti hluku je jedním z hlavních kritérií. Provedení instalace je venkovní a vnitřní (většinou ve sklepních prostorách obytných domů). Hodnoty hluku jsou uvedeny v nařízení vlády č. 272/2011 Sb., Tabulka 11 stanovující maximální hodnoty hladin hluku ve vnitřních místnostech. Maximální hodnota hluku dodávaných zařízení je max. 52 dB, měřené v jeho blízkosti, místnost s transformátorem je od obytných prostor oddělená stavebními prvky, které snižují velikost hluku. Mezi ně patří stavební plášť místnosti, který je upravený pro provoz energetického zařízení,

protihlukové dveře a upravené větrací průduchy eliminující hladinu hluku. Pro představu - 60 dB je úroveň hlasitosti normální konverzace. [21]

Druh místnosti	Max. dovolená hladina $L_{pA,max}$ akustického tlaku [dB]
Nemocniční pokoje	25
Lékařské ordinace	35
Operační sály	35
Obytné místnosti, hotelové pokoje	25
Školní zařízení, kulturní střediska	45
Čekárny, kavárny, restaurace	50
Prodejny, sportovní haly	55

TABULKA 11 - MAX. DOVOLENÉ HLADINY HLUKU $L_{pA,MAX}$

4.4.5. Ostatní požadavky

Nadále se zpřísňující požadavky na bezpečnost osob, zvířat a věcí doplňují i estetické požadavky na životní prostředí lidí, v tomto případě se instalují dTS do sklepních prostor. Dále působení elektromagnetického pole na živý organismus (které však není plně vysvětleno), využívání olejů nepoškozující v takové míře životní prostředí v případě úniku a recyklovatelné materiály.

4.5. Referenční model transformátoru

V současné nabídce firem vyrábějící energetická zařízení nejsou distribuční transformátory, které by splňovaly požadavky pro EcoDesign pro rok 2021. Stále není jisté, zda budou v platnosti původní maximální ztráty, či se připustí korekce – proto uvažujeme obě varianty. Rozdíl obou transformátorů je v pořizovací ceně, rozměrech, hmotnosti a dovolených maximálních ztrát.

	EC 2015	EC 2021	EC 2021 s korekcí
Jmenovité napětí na VN straně	22 kV	22 kV	22 kV
Jmenovité napětí na NN straně	420 V	420 V	420 V
Jmenovitý výkon	630 kVA	630 kVA	630 kVA
Kmitočet	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Zapojení	Dyn1	Dyn1	Dyn1
Chlazení	ONAN	ONAN	ONAN
Provedení	venkovní	venkovní	venkovní
Materiál vinutí VN/NN	Al/Al	Al/Al	Al/Al
Jmenovité napětí nakrátko	6 %	6 %	6 %
Ztráty naprázdno	600 W	540 W	600 W
Ztráty nakrátko při 75 °C	6 500 W	4 600 W	5 060 W
Výška	1 690 mm	1 720 mm	1 680 mm
Délka	1 470 mm	1 540 mm	1 410 mm
Šířka	880 mm	930 mm	890 mm
Hmotnost	1 850 kg	2 826 kg	2 217 kg
Hladina akustického výkonu	52 dB	52 dB	52 dB
Referenční cena	180 000 Kč	244 800 Kč	212 400 Kč

TABULKA 12 - PARAMETRY TRANSFORMÁTORŮ

Jsou aktuálně v provozu transformátory, které by splňovaly požadavky na maximální hodnoty ztrát pro EcoDesign 2021, resp. EcoDesign 2021 s korekcí? Ne, bohužel běžně nabízené zařízení ještě nejsou v takovém stádiu pokroku.

5. Statistika ztrát na dTS

Výpočtem uvedeném v kapitole 4.2 máme celkovou velikost ztrácené energie za období roku 2016 analyzovaných transformátorů. Rozdělíme ztráty naprázdno a nakrátko (proudovou zatíženost dTS), tato informace nám dále poslouží k posouzení pořadí výměny za nové zařízení – vytíženější budou přednostně vyměněny z důvodu vyšších provozních nákladů na ztráty. Roční celkové ztráty energie těchto kusů jsou 30 407,55 MWh, více než 80 % z nich tvoří právě ztráty naprázdno, počítané pro 8 760 hod ročního fondu času provozovaného zařízení. V následující Tabulka 13 jsou na ukázkou zobrazené průměrné jmenovité hodnoty P_{0N} a P_{kN} jednotlivých věkových skupin. Postup vývoje a zpříšňování požadavků na ztráty je s časem doby zprovoznění patrný. Od těch nejstarších, po nejnověji instalované v první vlně EcoDesignu 2015, ztráty naprázdno z průměrné hodnoty $P_{0N} = 1\,320\text{ W}$ klesly na maximální přípustnou instalovanou hodnotu $P_{0N} = 600\text{ W}$, tedy o více než polovinu provozních nákladů ušetří provozovatel. U ztrát nakrátko takový posun není, z průměrné velikosti jmenovitých ztrát nakrátko instalovaných před více jak 40 lety, $P_{kN} = 7\,050\text{ W}$, je hodnota na $P_{kN} = 6\,500\text{ W}$. Největší potenciál pro snížení ztrát mají skupiny s vysokou jmenovitou hodnotou ztrát naprázdno – tedy zařízení déle skupiny 20,1-30 roků v provozu až více jako 40 roků v provozu.

Skupina [rok]	$\varnothing P_{0N}$ [kW]	$\varnothing P_{kN}$ [kW]
0-10	0,78	6,94
10,1-20	0,88	7,38
20,1-30	1,04	7,21
30,1-40	1,30	7,02
>40	1,32	7,05

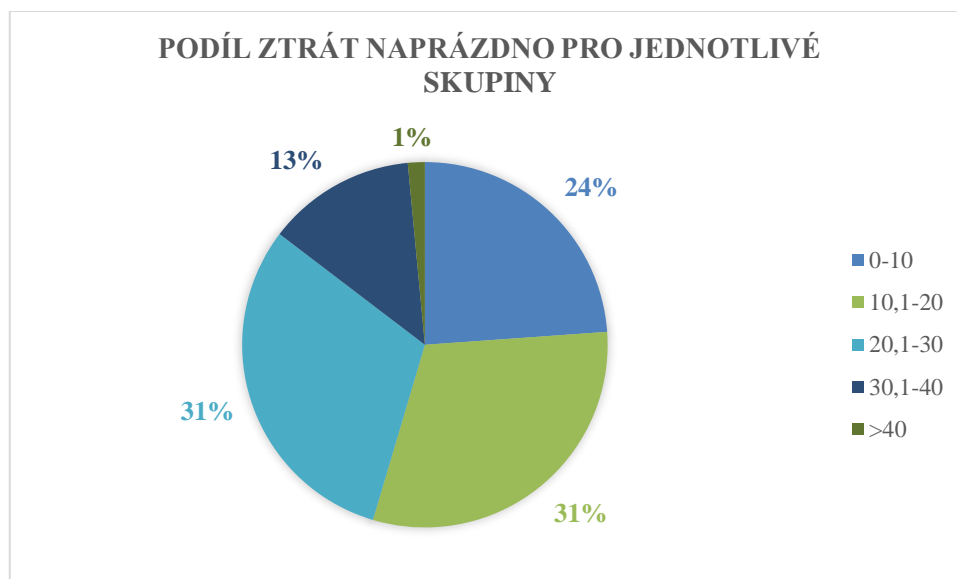
TABULKA 13 - PRŮMĚRNÉ HODNOTY SKUPIN P_{0N} A P_{kN}

Ztráty rozdělené podle věkových skupin a ztrát naprázdno, resp. při zatížení jsou v Tabulka 14, kde je procentuální zastoupení na celkovém podílu konkrétní složky ztrát, i roční ztráta přepočítaná na kus. Jak již bylo výše uvedeno, ztráty naprázdno představují majoritní část celkových ztrát. Ztráty naprázdno přepočítané na kus jsou vysoké pro skupinu více jak 20 roků v provozu – budeme se zaměřovat právě na výměnu těchto kusů.

Skupina [rok]	P_0 [MWh]	Podíl	Na ks [MWh/ks]	P_k [MWh]	Podíl	Na kus [MWh/ks]
0-10	5 893,64	23,93 %	6,829	1 707,85	29,54 %	1,98
10,1-20	7 584,58	30,80 %	7,700	2 260,84	39,10 %	2,30
20,1-30	7 533,78	30,59 %	9,143	1 361,55	23,55 %	1,65
30,1-40	3 243,21	13,17 %	11,420	393,16	6,80 %	1,38
>40	370,11	1,50 %	11,566	58,82	1,02 %	1,84
Celkem	24 625,32	\varnothing	8,24	5 782,23	\varnothing	1,94

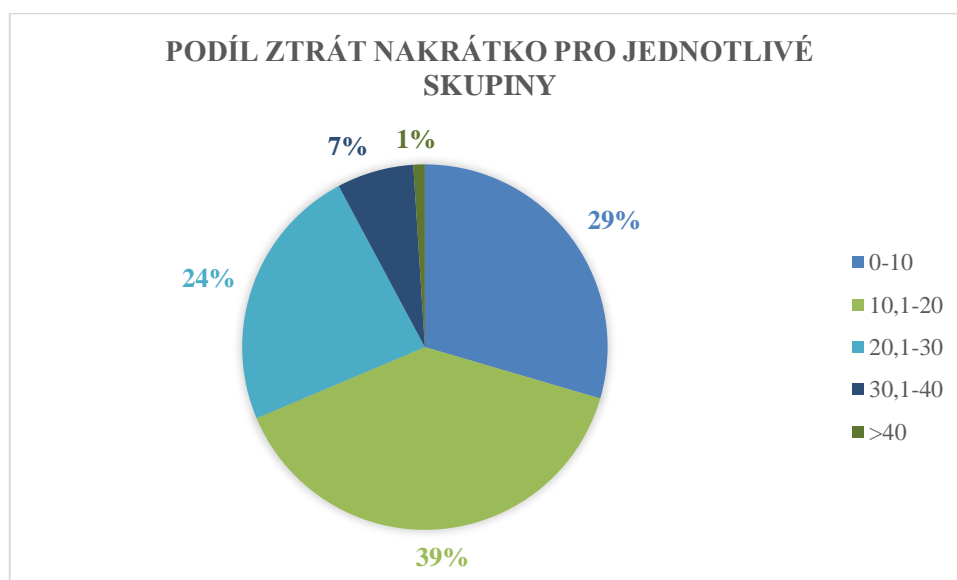
TABULKA 14 - ROZDĚLENÍ ZTRÁT JEDNOTLIVÝCH VĚKOVÝCH SKUPIN

Podle koláčového grafu v součtu většinu ztrát naprázdno vytváří skupina dTS v provozu v *10,1-20 roků* a *20,1-30 roků*. V prvním případě je to z důvodu velkého počtu zařízení (985 kusů), v druhém kvůli horším jmenovitých parametrů ztrát naprázdno. S nově instalovanými zařízeními mají tendenci hodnoty ročních ztrát naprázdno klesat.



GRAF 3 - PODÍL ZTRÁT NA PRÁZDNO

Naopak u ztrát nakrátko (Graf 4) není analýza pohledem na velikost ročních ztrát jednotlivých skupin jednoznačná. Závisí na proudovém zatížení fází na sekundární straně a parametrech jmenovitých ztrát na krátko. V Tabulka 13 jsou však patrné horší průměrné hodnoty parametrů nakrátko na kus ve skupině transformátorů v provozu *10,1-20 roků*. V té době nebyly omezeny parametry maximálních ztrát jako je v dnes u EcoDesignu. Ve skupině *0-10,1 roků* průměrné hodnoty nakrátko snižuje již 3 roky v platnosti Nařízení o EcoDesignu (1. červenec 2015).



GRAF 4 - PODÍL ZTRÁT NAKRÁTKO

6. Pořadí výměny zařízení

Nejrizikovější skupinou pro velikost ztrát a případnou poruchu jsou zařízení s dobou provozu více jak 40 let. Jedná se o 32 kusů, které bude vhodné v nejbližší době vyměnit. Následovat bude skupina mezi 30,1 – 40 rokem provozu, kde se jedná o 284 kusů k výměně. V těchto dvou případech nebude nutné řešit zbytkovou účetní hodnotu zařízení, protože odpisy energetických zařízení jsou 30 let [8], zbytková hodnota všech je tedy 0 Kč. V úvahu přijdou náklady na likvidaci. Případné tržby prodejem transformátorového oleje, který se dále upravuje na tzv. inhibovaný transformátorový olej (použitý) - zjednodušujícím předpokladem bude odečtení těchto částek, na konci životnosti máme nulové náklady na likvidaci zařízení. První instalace nových transformátorů budou vztaženy k roku 2019. Výběr pořadí výměny budeme hodnotit dle vícekriteriálního rozhodování (VKR), a zda bude výhodnější do zatíženější dTS instalovat verzi EcoDesign 2015, resp. EcoDesign 2021 nebo EcoDesign 2021 s korekcí.

6.1. Vícekriteriální rozhodování

Pro korektní zpracování vícekriteriálního rozhodování potřebujeme stanovit globální cíl a jeho dílčí cíle, hodnocené parametry, jejich váhy, škálové ohodnocení a použité metody rozhodovacího procesu.

6.1.1. Globální a dílčí cíle, varianty rozhodování

Globálním cílem je zvolení ekonomicky výhodného typu transformátoru z výše uvedených nabízených typů. Rozdělení dílčích cílů bude – ekonomika, velikost ztrát s ohledem na zatížení, prostorová velikost zařízení, potřeba rychlé výměny s ohledem na dobu provozu. Varianty pro rozhodování jsou následující, pro zařízení s kratší dobou provozu přidáme možnost ponechání stávajícího zařízení:

Varianta 1	EC 2015
Varianta 2	EC 2021
Varianta 3	EC 2021 s korekcí
Varianta 4	ponechat

TABULKA 15 - VARIANTY PRO ROZHODOVÁNÍ

6.1.2. Kritéria rozhodování

V ekonomických dílčích cílech budeme hledět na investiční náklady, provozní variabilní náklady na ztráty (závislé na zatížení zařízení). Velikost zařízení bude mít menší váhu, pravděpodobnost nutnosti instalace transformační stanice do sklepních prostor, kde by mohl být problém s průchodem zařízení vstupními dveřmi během instalace, není tak vysoká. Velkou váhu bude mít potřeba výměny zařízení, poruchovost transformátorů po konci doby životnosti roste. Rozdělení vah v_k hodnocených kritérií je v následující tabulce podle *Přímé metody stanovení vah*, která závisí na vlastním rozhodnutí zpracovatele VKR, platí $\sum_{k=1}^m v_k = 1$; $v_k \geq 0$. Použití metod

stanovení vah jako je Metfesselova alokace nebo bodovací metoda je nedůležité, jsou jenom modifikací přímé metody.

Kritérium		v_k
K1	Investice	35 %
K2	Ztráty jmenovité	15 %
K3	Ztráty při zatížení	25 %
K4	Velikost zařízení	5 %
K5	Doba provozu	20 %

TABULKA 16 - PŘÍMÁ METODA STANOVENÍ VAH

Pro zpřesnění a zmenšení lidského faktoru na rozdělení vah využijeme Saatyho metodu stanovení vah – kdy do tabulky složené z kombinací K1-K5 volíme v horní polovině čísla ve stanoveném rozmezí dle důležitosti kritéria, zda je v řádku důležitější, resp. méně důležité než ve sloupci. Přidělené hodnoty jsou v rozmezí 0,25 – méně důležité, 1,0 – stejně důležité, 1,75 – více důležité. Výsledné pořadí vah je totožné, jako v přímé metodě, jen rozdělení procentuálního počtu je pozměněné.

	K1	K2	K3	K4	K5	Geom. Prům.	Váha
K1	1,00	1,50	1,25	1,75	1,25	1,3261	26 %
K2	0,67	1,00	0,75	1,50	1,25	0,9872	19 %
K3	0,80	1,33	1,00	1,50	1,25	1,1487	22 %
K4	0,57	0,67	0,67	1,00	0,25	0,5762	11 %
K5	0,80	0,80	0,80	4,00	1,00	1,1542	22 %

TABULKA 17 - SAATYHO METODA STANOVENÍ VAH

Dále pořadí umístění postupu výměny stanovíme podle vzorce uvedeného níže, metoda rozhodování bude volena podle výsledků pořadí výměny:

$$\text{pořadí výměny}_i = \sum_{j=1}^5 K_{ji} * v_{Kj} \quad (14.)$$

kde K_{ji} hodnota kritéria j i-tého zařízení,
 v_{Kj} váha j -tého kritéria.

6.1.3. Hodnocení kritérií

Pro zhodnocení každé transformační stanice musíme ohodnotit průběh ztrát při zatížení, které má každé jiné, ostatní parametry budou konstantní pro každou variantu. Pro kritérium K1 – investice volíme 3 bodovou metodu hodnocení, kdy 1 – nejlevnější a 3 - nejdražší. Kritérium K2 – ztráty jmenovité budou také konstantní pro každou variantu, zase využijeme 3 bodovou hodnotící metodu, kdy 1 – nejméně ztrátové a 3 – nejztrátovější. Další konstantní kritérium prostorová velikost zařízení K4 hodnotíme podle 1 – nejmenší, 3 – největší. Tyto hodnoty budeme dále přičítat k dopočítaným hodnotám kritérií K3 a K5, které se budou měnit každým kusem zařízení. Výsledkem bude pořadí umístění, podle kterého budeme určovat pořadí případné výměny zařízení.

Jak je podle Tabulka 18 zřejmé, nevhodnější bude instalace zařízení EC 2015 hodnocených podle těchto 3 konstantních kritérií, to pouze dokud nebude v platnosti 2. vlna Nařízení o EcoDesignu. Konečné rozhodnutí bude záviset na ostatních dvou kritériích a ekonomice provozu, které budeme hodnotit pro každou skupinu věkového rozřídění zvlášť v následujících kapitolách.

	Kritéria konstantní			Pořadí	
	K1	K2	K4	Přímá	Saatyho
EC2015	1	3	1	0,85	0,94
EC2021	3	1	3	1,35	1,29
EC2021 s korekcí	2	2	2	1,10	1,11
Váha přímá	35 %	15 %	5 %		
Váha Saatyho m.	26 %	19 %	11 %		

TABULKA 18 - KONSTANTNÍ HODNOTY HODNOCENÍ

6.2. Skupina 40+ roků v provozu

Obdobným postupem ohodnotíme kritéria K3 a K5. Zde však máme čísla konkrétních hodnot doby provozu a ztrát. Funkcí RANK v programu Excel ohodnotíme pořadí, u K3 – ztrát hodnotíme „nejlepším číslem“ 1 ty hodnoty, které mají vysoké ztráty, a bude zapotřebí dřívější výměna. Postup u hodnocení K5 doby provozu bude podobný, nejlepší číslem 1 ohodnotíme nejdéle sloužící zařízení. Aby hodnoty byly ekvivalentní ke kritériím výše spočítaným, převedeme je také na 3-bodovou stupnici. Výsledná čísla sečteme s konstantou rovnající se součtu K1+K2+K4 pro přímou a Saatyho metodu zvlášť. V druhé části tabulky je srovnání ekonomiky ztrát v původním roce 2016, ale převedených do cen v roce 2019, a ztrát v roce instalace 2019, nediskontovaných. V tomto roce předpokládáme začátek provozu nově instalovaných zařízení, roční nákup se pohybuje okolo 100 kusů (zahrnuta obnova + nová distribuční území). Srovnáním metod stanovení vah přímé a Saatyho zjistíme, že užitečnější bude využití pouze Saatyho metody při výpočtu v dalších věkových skupinách. Saatyho metoda logičtěji vybírá zařízení, kde bude největší úspora na ztrátách při zatížení. Ročně je předpokládaná výměna 90 kusů transformátorů, předpoklad ukončení projektu výměny skupiny 40+ roků v provozu bude na konci první třetiny roku 2019.

Pořadí výměny			T _{prov}	Cena ztrát [Kč/rok]			
dTS	přímá	Saatyho	[rok]	původní 2016	EC 2015	EC 2021	EC 2021 korek
1084	4	17	49,01	11 074	7 628	6 807	7 561
1348	5	16	46,41	11 666	8 341	7 312	8 116
1608	6	1	46,08	32 806	7 798	6 927	7 693
2044	2	2	49,77	21 265	11 328	9 425	10 441
2341	3	5	49,40	14 294	8 298	7 281	8 082
2362	7	14	45,58	13 530	7 413	6 655	7 394
2383	1	6	50,37	13 024	10 193	8 622	9 557
2444	20	28	41,67	9 877	8 172	7 192	7 984
2455	13	10	43,07	21 705	8 439	7 381	8 192
2457	12	7	43,08	22 210	7 761	6 901	7 665
2630	8	9	45,57	17 236	8 370	7 332	8 139
2746	25	22	41,04	19 921	15 993	12 726	14 072
2769	9	18	45,26	11 772	9 610	8 209	9 104
2784	28	29	40,46	11 686	8 181	7 198	7 991
2798	10	3	43,80	24 800	10 628	8 930	9 897
2807	19	12	41,89	25 657	9 442	8 091	8 973
2842	11	15	43,45	14 096	11 128	9 284	10 285
2959	30	27	40,29	15 419	12 723	10 412	11 527
2998	15	24	42,74	10 674	8 028	7 090	7 872
3020	24	31	41,26	10 166	7 683	6 845	7 603
3040	23	26	41,29	12 604	9 265	7 965	8 835
3087	26	32	40,68	10 496	8 443	7 384	8 195
3139	14	4	42,95	28 707	12 110	9 979	11 050
3145	29	23	40,30	23 593	8 194	7 208	8 002
3147	16	11	42,05	24 012	7 874	6 981	7 753
3206	17	25	42,00	11 250	8 293	7 277	8 078
3213	31	30	40,20	12 378	9 247	7 953	8 821
3290	21	13	41,51	26 159	7 865	6 974	7 745
3322	22	8	41,34	38 155	12 783	10 455	11 574
3355	27	20	40,47	25 866	11 219	9 348	10 357
3361	18	19	41,91	17 443	9 571	8 182	9 073
3518	32	21	40,00	34 234	18 977	14 839	16 396

TABULKA 19 - POŘADÍ VÝMĚNY 40+

6.3. Skupina 30,1-40 roků v provozu

Postup stejný jako výše – jen s vyšším počtem zkoumaných stanic. Přímá metoda hodnocení vah byla v prvním případě neúčinná, budeme pokračovat výpočtem pouze s vahami určených Saatyho metodou. Výměna této skupiny transformátorů se předpokládá po výměně všech zařízení ve skupině 40+ roků v provozu. Celkový počet analyzovaných zařízení je 284, v Příloha 1 je doporučené pořadí výměny dle VKR. Ročně se předpokládá výměna 90 kusů starých transformačních stanic. S tímto projektem se začne ve 2. třetině roku 2019, pravděpodobně ukončení obnovy bude v polovině roku 2022. Toto datum je již v období druhé etapy EcoDesignu, část výměny bude provedena variantou EC 2021 nebo EC 2021 s korekcí, rozhodnutí závisí na legislativě v budoucnu. 190 prvních zařízení na výměnu můžeme rozhodnout mezi všemi variantami. Volba varianty bude záviset na investičních a provozních nákladech za dobu životnosti, viz v kapitole 7.

6.4. Skupina 20,1-30 roků v provozu

Předpokládaná výměna této skupiny stanic se dostane na řadu v druhé polovině roku 2022, tedy kdy bude v platnosti druhá etapa Nařízení o EcoDesignu. Stále předpokládáme i variantu EC 2021 s korekcí. Počet zařízení v této skupině je v současnosti 824 kusů. Vybereme pouze zařízení s vyšší hodnotou ztrát, nad 16 MWh – tomu odpovídá 40 dTS. V následující tabulce je pořadí výměny stanic a ocenění ztrát EC 2021 (s korekcí) vztaženy k cenám roku 2022. Předpokládané ukončení výměny této skupiny bude provedeno do konce roku 2022.

Pořadí výměny		T prov	Cena ztrát [Kč/rok]		
dTS	Saatyho	[rok]	původní 2016	EC 2021	EC 2021 korek
5177	1	29,74	24 771	6 876	7 639
5336	2	29,29	24 248	7 625	8 463
2695	3	29,86	25 484	16 908	18 674
4956	4	28,62	28 605	9 889	10 954
1163	5	27,90	25 440	7 077	7 860
1119	6	27,77	26 094	9 210	10 206
4952	7	29,37	35 716	14 833	16 392
5222	8	28,70	31 703	15 542	17 172
5383	9	29,22	28 345	19 534	21 563
1278	10	28,99	25 966	16 692	18 436
4738	11	28,75	28 372	9 818	10 875
5398	12	28,98	27 463	10 254	11 354
5342	13	27,58	23 328	15 448	17 068
3120	14	29,01	25 139	8 358	9 269
4983	15	27,17	30 985	10 731	11 880
1326	16	28,29	28 688	9 106	10 092
452	17	27,75	23 410	7 520	8 347
448	18	29,04	26 506	8 049	8 929
4982	19	27,17	23 161	10 758	11 910
2219	20	26,49	25 877	8 221	9 118
37	21	28,82	25 138	7 952	8 822
4989	22	27,17	26 078	8 081	8 965
4972	23	27,25	28 498	8 528	9 457
1347	24	27,37	28 080	8 763	9 715
5617	25	28,32	32 821	12 590	13 925
1283	26	27,36	28 192	10 353	11 464
4985	27	27,17	23 130	7 049	7 829
3872	28	28,37	29 424	8 501	9 426
2990	29	27,78	40 236	17 755	19 606
162	30	27,51	27 110	8 595	9 530
5615	31	27,47	28 403	7 676	8 519
4386	32	26,77	29 282	10 355	11 466
5394	33	27,09	28 867	8 459	9 381
4117	34	26,59	29 377	10 577	11 710
1542	35	27,28	29 299	10 092	11 177
462	36	26,68	28 140	8 742	9 692
536	37	26,17	25 407	12 793	14 148
2002	38	26,40	28 050	9 053	10 033
4118	39	26,26	23 493	15 662	17 304
4975	40	26,89	24 178	7 426	8 244

TABULKA 20 - POŘADÍ VÝMĚNY A NÁKLADY NA ZTRÁTY VARIANT

6.5. Skupina 10,1-20 roků v provozu

Na výměnu v této věkové skupině by přicházely v úvahu zařízení s velmi vysokými ztrátami – konkrétně vyšší než 20 MWh za rok. Tyto podmínky splňuje 14 zařízení. Případná plánovaná výměna bude v roce 2023. Zde už musíme uvažovat zbytkovou účetní hodnotu z lineárních odpisů z referenční ceny 180 000 Kč za 30 let účetní doby životnosti. V tabulce níže je předpokládané pořadí výměny. Zda bude výhodnější vyměnit a za jaký typ, bude spočítán dále v ekonomickém zhodnocení skupiny.

$$\text{roční odpisy} = \frac{INV}{T_{\dot{z}}} = 6\,000 \text{ Kč} \quad (15.)$$

Pořadí výměny		T _{prov} akt [rok]	Zbyt. do T _z v 2023 [rok]	Zbytková úč. hod. [Kč]	Cena ztrát [Kč/rok]		
dTS	Saatyho				původní 2016	EC 2021	EC 2021 korek
462	1	16,35	8,65	51 924	23 062	10 096	11 158
1119	2	15,32	9,68	58 087	25 996	15 809	17 443
1326	3	15,92	9,08	54 490	23 182	9 978	11 028
536	4	15,88	9,12	54 736	24 342	15 447	17 044
1283	5	16,01	8,99	53 951	21 931	7 939	8 785
1347	6	16,91	8,09	48 523	20 145	6 425	7 120
37	7	15,85	9,15	54 899	21 922	13 465	14 864
1163	8	13,80	11,20	67 226	22 911	14 009	15 463
162	9	10,83	14,17	84 997	24 471	17 123	18 888
452	10	10,62	14,38	86 256	24 593	16 483	18 184
1278	11	13,70	11,30	67 815	22 219	7 845	8 682
448	12	14,87	10,13	60 801	20 963	4 989	5 540
2002	13	13,49	11,51	69 090	20 863	8 698	9 621
1542	14	13,41	11,59	69 515	20 317	7 442	8 239

TABULKA 21 - POŘADÍ VÝMĚNY SKUPINY 20,1-10 ROKŮ V PROVOZU

6.6. Skupina 0-10 roků v provozu

Postup volíme stejný jako u předchozí věkové skupiny, zařízení se ztrátami vyššími než 20 MWh/rok. Výpočty budou vztaženy k cenám roku 2023. V tabulce níže je předpokládané pořadí výměny. Zda bude výhodnější vyměnit a za jaký typ, bude spočítáno dále v ekonomickém zhodnocení skupiny.

Pořadí výměny		T _{prov} akt [rok]	Zbyt. do T _z v 2023 [rok]	Zbytková úč. hod. [Kč]	Cena ztrát [Kč/rok]		
dTS	Saatyho				původní 2016	EC 2021	EC 2021 korek
162	1	8,39	16,61	99 646	25 341	16 772	18 502
536	2	6,95	18,05	108 311	24 793	14 742	16 269
1283	3	6,13	18,87	113 215	24 243	10 555	11 664
452	4	9,57	15,43	92 550	20 595	8 384	9 275
1278	5	8,36	16,64	99 826	21 181	8 685	9 606
462	6	7,17	17,83	106 954	20 807	13 363	14 752
37	7	4,51	20,49	122 926	21 556	8 529	9 434
1326	8	2,60	22,40	134 387	23 711	15 140	16 706
448	9	1,19	23,81	142 888	24 173	5 244	5 821
1163	10	5,23	19,77	118 643	20 496	10 847	11 984
1119	11	4,74	20,26	121 569	20 585	8 570	9 480

TABULKA 22 - POŘADÍ VÝMĚNY 0-10 ROKŮ V PROVOZU

7. Ekonomická efektivnost zařízení

Ekonomické zhodnocení investice provádíme podle čisté současné hodnoty projektu NPV, nákladového typu (volíme nižší hodnotu jako nejvýhodnější).

$$NPV = \sum_{t=1}^{T\check{z}} \frac{CF_t}{(1+r)^t} + INV \quad (16.)$$

kde

NPV	čistá současná hodnota,
$T\check{z}$	doba životnosti účetní,
CF_t	cashflow v roce t ,
INV	investice do projektu,
r	diskont.

Předpokládáme růst zatížení o 1 % ročně, investiční náklady jsou konstantní, předpoklad vývoje cen stálých nákladů na ztráty jsou 2 % za rok, cena nákladů variabilních roste o 1 % za rok. Platba za variabilní složku je stanovena hodnotou N_{wjt} :

$$N_{wjt} = \sum_{j=1}^n n_{wt} * W_{zj} \quad (17.)$$

kde

N_{wjt}	suma celkových plateb za variabilní složku v roce t ,
n_{wt}	cena variabilní složky na kWh v roce t ,
W_{zj}	celková ztracená energie na j tém zařízení,
t	rok výpočtu.

7.1. Skupina 40+ roků v provozu

Výpočtem celkových investičních a provozních nákladů získáme čistou současnou hodnotu projektu za celou dobu účetní životnosti zařízení pro skupinu 40+ roků v provozu. Neuvažujeme likvidační náklady, účetní hodnota zařízení je nulová. NPV je nákladového charakteru, volíme nejnižší hodnotu jako nejvýhodnější pro investora. V téměř všech případech se vyplatí instalace zařízení podle EC 2015, a to pouze do doby 1. července 2021, kdy bude v platnosti druhá vlna. Pouze v jednom případě je výhodnější NPV projektu instalace zařízení s číslem TS_3518 (zvýrazněno), v důsledku vyššího zatížení je čistá současná hodnota v případě instalace EC 2021 s korekcí výhodnější než verze EC 2015. Ztráty nakrátko (zatížení) jsou zvýšeny meziročně o 1 %. Pořadí výměny je sestupné - TS_1608, TS_2044...

Nákladové NPV [Kč]							
dTS	EC 2015	EC 2021	EC 2021 korekce	dTS	EC 2015	EC 2021	EC 2021 korekce
1608	294 332	347 377	326 319	1084	291 818	345 580	324 342
2044	346 575	384 719	367 395	2769	321 148	366 544	347 403
2798	336 224	377 320	359 256	3361	320 576	366 135	346 953
3139	358 157	392 997	376 501	3355	344 971	383 572	366 134
2341	301 729	352 664	332 135	3518	459 786	465 639	456 407
2383	329 772	372 709	354 184	2746	415 614	434 066	421 677
2457	293 790	346 990	325 893	3145	300 200	351 571	330 933
3322	368 110	400 111	384 326	2998	297 737	349 811	328 996
2630	302 806	353 434	332 982	3206	301 658	352 614	332 079
2455	303 822	354 160	333 780	3040	316 046	362 898	343 392
3147	295 464	348 186	327 209	2959	367 222	399 477	383 629
2807	318 670	364 773	345 454	2444	299 864	351 331	330 668
3290	295 319	348 082	327 095	2784	300 003	351 431	330 778
2362	288 638	343 307	321 842	3213	315 783	362 710	343 185
2842	343 618	382 605	365 070	3020	292 624	346 156	324 976
1348	302 372	353 124	332 641	3087	303 879	354 201	333 826

TABULKA 23 - NPV PROJEKTU 40+ SKUPINY – DOPORUČENÁ VARIANTA POŘADÍ VÝMĚNY

Roční úspora finančních prostředků, při instalaci doporučených variant dle tabulky výše, bude 174 610 Kč. Celková cena ročních ztrát z roku 2016 byla diskontována do roku 2019, kdy se předpokládá první rok provozu těchto zařízení. Pokud bude instalace zařízení prováděna po 1. červenci 2021, a nebude povolena varianta EC 2021 s korekcí, celková úspora ročních nákladů bude 176 167 Kč, avšak za vyšších investičních nákladů. Celková investice v roce 2019 na výměnu veškerých dTS skupiny 40+ roků v provozu je -5 792 400 Kč doporučené varianty podle Tabulka 23, čistá současná hodnota nákladů provozních i investičních dílčího projektu výměny je -10 324 949 Kč. V následující tabulce je investice v roce a náklady na ztráty po implementaci investice v roce 2019. Celkem vyměníme 31 kusů za referenční transformátor splňující podmínky EC 2015, u jednoho je výhodnější instalace EC 2021 s korekcí.

Náklady na ztráty a investice v letech		
	EC 2015 + EC 2021 N_{wj}	Investice v roce
[rok]	[Kč]	[Kč]
původní	-483 042	-
2019	-306 875	-5 792 400

TABULKA 24 - NÁKLADY NA ZTRÁTY A INVESTICE V ROCE

7.2. Skupina 30,1-40 roků v provozu

Neuvažujeme likvidační náklady, účetní hodnota zařízení je nulová. NPV je nákladového charakteru, volíme nejnižší hodnotu VKR jako nejvýhodnější pro investora. Při volbě, kterou variantu využijeme, vyhrává jednoznačně EC 2015. Ovšem tempem výměny, nebo i finančním omezením, které máme stanoveno na 90 kusů za rok, stihneme do doby vstupu do platnosti EC 2021 vyměnit 193 kusů v této věkové skupině. Po datu 1. července 2021 je výhodnější instalace EC 2021 s korekcí, ale zase v případě, bude-li legislativně dovoleno. Do konce roku 2019 se stihne vyměnit 58 kusů zařízení, v roce 2020 dalších 90 kusů, a do 1. července 2021 45 kusů varianty EC 2015. Zbytek 91 zařízení bude spadat do druhé vlny Nařízení po 1. červenci 2021, výměna potrvá do půlky roku 2022. V následující Tabulka 25 jsou náklady na ztráty při postupné výměně přepočítané na ceny ztrát v odpovídajících letech a investice do zařízení v každém roce, nediskontované.

Náklady na ztráty a investice v letech				
	EC 2015 + EC 2021 N_{wj}	Investice v roce	EC 2015 + EC 2021 s korekcí N_{wj}	Investice v roce
[rok]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
původní	-4 918 850	-	-4 918 850	-
2019	-4 066 138	-10 440 000	-4 066 138	-10 440 000
2020	-3 235 032	-16 200 000	-3 235 032	-16 200 000
2021	-2 676 336	-19 116 000	-2 714 138	-17 658 000
2022	-2 568 864	-11 260 800	-2 606 188	-9 770 400

TABULKA 25 - NÁKLADY NA ZTRÁTY A INVESTICE V LETECH

7.3. Skupina 20,1-30 roků v provozu

Pro tuto skupinu jsme vybrali 40 kusů zařízení s vyššími ztrátami než 16 MWh za rok, které budeme analyzovat. Po výměně se roční náklady na ztráty sníží o více jako polovinu. Čistá současná hodnota tohoto dílčího projektu výměny 40 zařízení je pro EC 2021 -15 867 561 Kč, pro EC 2021 s korekcí -15 222 482 Kč, vyplatí se investovat do druhé varianty s korekcí, pokud bude povolena. V následující tabulce je investice v odpovídajícím roce a náklady na ztráty po implementaci investice v roce 2022.

Náklady na ztráty a investice v roce				
	EC 2015 + EC 2021 N_{wj}	Investice v roce	EC 2015 + EC 2021 s korekcí N_{wj}	Investice v roce
[rok]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
původní	-1 102 503	-	-1 102 503	-
2022	-421 451	-9 792 000	-466 615	-8 496 000

TABULKA 26 - NÁKLADY NA ZTRÁTY A INVESTICE V ROCE

7.4. Skupina 10,1-20 roků v provozu

Pro posouzení výměny si spočítáme roční ekvivalentní hodnotu RCF, pomocí annuity a_T , dle vzorce:

$$RCF = NPV * a_T \quad (18.)$$

$$a_T = \frac{q^T * (q - 1)}{q^T - 1} \quad (19.)$$

kde RCF roční ekvivalentní cashflow,
 a_T annuita za dobu T,
 $q = 1 + r$ úroková míra, resp. hodnota diskontu.

Vypočítáme vývoj cen ztrát v průběhu let a vynásobíme anuitou, abychom dostali hodnotu RCF vhodnou k porovnání. Pro varianty výměny zařízení za EcoDesign přičteme zbytkovou účetní hodnotu zařízení. V Tabulka 27 jsou hodnoty RCF pro každou dTS a zvýrazněná varianta s nejlepším výsledkem. Instalace se předpokládá na rok 2023. Ve 4 případech se nedoporučuje výměna, avšak u některých se vyplatí předčasně zařízení vyměnit před koncem účetní doby životnosti. Tabulka je seřazena podle případného postupu výměny a vyznačení, zda se vymění. Čistá současná hodnota projektu pro v případě platnosti EC s korekcí je -6 367 835 Kč, v případě neplatnosti korekce je -6 482 798 Kč. Cena investice dílčího projektu při platnosti EC 2021 s korekcí je -1 976 400 Kč, při neplatnosti korekce -2 203 200 Kč. Ve 4 případech volíme zachování zařízení, ve 2 je výhodnější instalace EC 2021, a v 7 případech výměna zařízení za EC 2021 s korekcí, v případě platnosti výjimky, jinak je nutná instalace EC 2021.

Nákladové RCF [Kč]			
dTS	Původní	EC 2021	EC 2021 s korekcí
462	40 937	38 429	37 701
1119	42 864	48 088	48 279
1326	47 884	38 432	37 684
536	40 173	47 253	47 386
1283	42 042	35 109	34 033
1347	36 391	32 265	30 946
37	39 640	44 075	43 889
1163	41 642	45 876	45 778
162	55 967	52 221	52 623
452	56 112	51 285	51 585
1278	45 633	35 997	34 906
448	44 095	30 874	29 324
2002	44 573	37 467	36 513
1542	42 251	35 476	34 321

TABULKA 27 - VÝMĚNA DTS

V následující tabulce je investice v odpovídajícím roce a náklady na ztráty po implementaci investice v roce 2023.

Náklady na ztráty a investice v letech				
[rok]	EC 2015 + EC 2021 N_{wj} [Kč]	Investice v roce [Kč]	EC 2015 + EC 2021 s korekcí N_{wj} [Kč]	Investice v roce [Kč]
původní	-428 687	-	-428 687	-
2023	-268 043	-2 203 200	-277 752	-1 976 400

TABULKA 28 - NÁKLADY NA ZTRÁTY A INVESTICE V ROCE

7.5. Skupina 0-10 roků v provozu

Výpočet proveden stejně jako u předchozí skupiny. Instalace se předpokládá na rok 2023. Výsledkem je doporučení výměny všech analyzovaných transformátorů, a to z důvodu velkých jmenovitých parametrů oproti EcoDesignu. Čistá současná hodnota projektu pro v případě platnosti EC s korekcí je -6 762 123 Kč, v případě neplatnosti korekce je -6 832 083 Kč. Cena investice dílčího projektu při platnosti EC 2021 s korekcí je -2 466 000 Kč, při neplatnosti korekce - 2 692 800 Kč. Ve všech případech jsme zvolili výměnu stávajícího zařízení – EC 2021 je po 4 kusech, EC 2021 v 7 kusech, zase za výše uvedené podmínky platnosti.

TS	Parametry [kW]		Nákladové RCF [Kč]		
	P_k pův	P_0 pův	Původní	EC 2021	EC 2021 korekce
162	7,54	1,75	53 332	42 008	41 280
536	6,20	1,04	56 377	51 854	52 046
1283	6,24	2,68	63 806	42 836	42 088
452	7,40	1,68	53 610	50 089	50 222
1278	7,26	0,82	44 803	38 549	37 474
462	6,28	1,27	46 005	36 647	35 328
37	7,24	1,66	56 655	49 177	48 991
1326	6,85	1,30	58 591	50 913	50 815
448	7,52	1,68	67 038	56 562	56 965
1163	7,73	1,65	60 102	53 714	54 013
1119	7,42	0,79	49 895	40 029	38 938

TABULKA 29 - VÝMĚNA DTS 0-10 ROKŮ

V následující tabulce je investice v odpovídajícím roce a náklady na ztráty po implementaci investice v roce 2023.

Náklady na ztráty a investice v letech				
[rok]	EC 2015 + EC 2021 N_{wj} [Kč]	Investice v roce [Kč]	EC 2015 + EC 2021 s korekcí N_{wj} [Kč]	Investice v roce [Kč]
původní	-344 628	-	-344 628	-
2023	-193 298	-2 692 800	-230 963	-2 466 000

TABULKA 30 - NÁKLADY NA ZTRÁTY A INVESTICE V ROCE

7.6. Souhrnné investice v letech

Pokud budeme aplikovat výměnu transformátorů dle výše uvedených výpočtů, průběžné investice v letech budou následující – viz tabulka níže, pro obě varianty EC 2021.

Investice do variant nediskont. [Kč]	2019	2020	2021	2022	2023
EC 2021 s korekcí	-16 232 400	-16 200 000	-17 658 000	-18 266 400	-4 654 800
EC 2021	-16 264 800	-16 200 000	-19 116 000	-21 052 800	-4 896 000

TABULKA 31 - INVESTICE V LETECH 2019-2023

Celkem vyměníme v projektu 376 transformátorů, jedná se o obnovu více jak 12 % aktiv dTS o výkonu 630 kVA v následujících letech. Předpokladem je, že zařízení parametrů EC 2021 s korekcí, resp. bez korekce bude již od roku 2019 dostupné na trhu.

Počet vyměněných dTS [ks]					
Při platnosti EC 2021 s korekcí					
rok	2019	2020	2021	2022	2023
EC 2015	89	90	45	0	0
EC 2021 s korekcí	1	0	45	86	14
EC 2021	0	0	0	0	6
Celkem	90	90	90	86	20
Při platnosti EC 2021					
EC 2015	89	90	45	0	0
EC 2021 s korekcí	1	0	0	0	0
EC 2021	0	0	45	86	20
Celkem	90	90	90	86	20

TABULKA 32 - POČET VYMĚNĚNÝCH TRF V LETECH

Náklady na ztráty variabilní jsou porovnány s náklady, kdyby nebyly provedeny žádné investice, ale zatížení by rostlo stejně o hodnotu 1 %. Vzniklou roční úsporu použijeme dále pro stanovení čisté současné hodnoty projektu, která nám bude představovat teoretické „příjmy“. Hodnoty v Tabulka 33 jsou nediskontované, bude provedeno v posledním kroku výpočtu.

Náklady na ztráty – varianty						
[rok]	původní celkové[kWh]	N _{wj} bez investic [Kč]	N _{wj} po investicích EC 2021 s korekcí [Kč]	Roční úspora při EC 2021 s korekcí [Kč]	N _{wj} po investicích EC 2021 [Kč]	Roční úspora při EC 2021[Kč]
2019	5 413 385	7 544 456	6 283 911	1 260 545	6 283 911	1 260 545
2020	5 422 041	7 632 086	5 481 384	2 150 702	5 481 384	2 150 702
2021	5 430 784	7 720 836	4 989 390	2 731 446	4 951 210	2 769 626
2022	5 439 614	7 810 724	4 267 366	3 543 357	4 190 683	3 620 041
2023	5 448 533	7 901 765	3 947 330	3 954 435	3 825 424	4 076 342
2024	5 457 541	7 993 977	3 987 133	4 006 845	3 863 995	4 129 983
2025	5 466 639	8 087 376	4 027 339	4 060 037	3 902 958	4 184 419
2026	5 475 827	8 181 980	4 067 955	4 114 025	3 942 317	4 239 663
2027	5 485 108	8 277 806	4 108 984	4 168 822	3 982 076	4 295 730
2028	5 494 482	8 374 871	4 150 430	4 224 441	4 022 240	4 352 631
2029	5 503 949	8 473 195	4 192 298	4 280 897	4 062 812	4 410 382
2030	5 513 511	8 572 794	4 234 591	4 338 203	4 103 797	4 468 997
2031	5 523 168	8 673 689	4 277 315	4 396 373	4 145 199	4 528 489
2032	5 532 923	8 775 897	4 320 474	4 455 423	4 187 023	4 588 874
2033	5 542 774	8 879 438	4 364 072	4 515 366	4 229 272	4 650 166
2034	5 552 724	8 984 332	4 408 114	4 576 217	4 271 951	4 712 381
2035	5 562 774	9 090 598	4 452 605	4 637 993	4 315 065	4 775 533
2036	5 572 924	9 198 257	4 497 549	4 700 709	4 358 618	4 839 640
2037	5 583 176	9 307 330	4 542 950	4 764 379	4 402 614	4 904 716
2038	5 593 530	9 417 837	4 588 815	4 829 022	4 447 059	4 970 778
2039	5 603 988	9 529 799	4 635 146	4 894 653	4 491 956	5 037 842
2040	5 614 550	9 643 238	4 681 950	4 961 288	4 537 312	5 105 926
2041	5 625 218	9 758 176	4 729 231	5 028 946	4 583 129	5 175 047
2042	5 635 993	9 874 636	4 776 994	5 097 642	4 629 413	5 245 223
2043	5 646 875	9 992 640	4 825 244	5 167 396	4 676 170	5 316 470
2044	5 657 867	10 112 211	4 873 986	5 238 225	4 723 403	5 388 807
2045	5 668 968	10 233 372	4 923 225	5 310 147	4 771 118	5 462 254
2046	5 680 180	10 356 148	4 972 967	5 383 180	4 819 320	5 536 827
2047	5 691 504	10 480 562	5 023 217	5 457 345	4 868 014	5 612 548
2048	5 702 942	10 606 640	5 073 979	5 532 660	4 917 205	5 689 435

TABULKA 33 - NÁKLADY NA ZTRÁTY

Předpokládáme neměnné parametry – diskont 6,3 %, růst zatížení 1 % ročně, cena variabilní složky roste o 2 %. K výpočtu využíváme následující vzorce:

$$DCF = \sum_{t=1}^T \frac{INV_t}{(1+r)^t} + \sum_{t=1}^T \frac{úspory_t}{(1+r)^t} \quad (20.)$$

$$NPV = \text{Kumulovaný DCF} = \sum_{t=1}^T DCF_t \quad (21.)$$

Ekonomika projektu						
[rok]	CF EC 2021 s korekcí [Kč]	CF EC 2021 [Kč]	DCF EC 2021 s korekcí [Kč]	DCF EC 2021 [Kč]	Kumulovaný DCF EC 2021 s korekcí [Kč]	Kumulovaný DCF EC 2021 [Kč]
2019	-14 971 855	-15 004 255	-14 084 530	-14 115 009	-14 084 530	-14 115 009
2020	-14 049 298	-14 049 298	-12 433 348	-12 433 348	-26 517 878	-26 548 358
2021	-14 926 554	-16 346 374	-12 426 813	-13 608 856	-38 944 691	-40 157 214
2022	-14 723 043	-17 432 759	-11 530 935	-13 653 156	-50 475 625	-53 810 370
2023	-700 365	-819 658	-516 010	-603 902	-50 991 635	-54 414 272
2024	4 006 845	4 129 983	2 777 173	2 862 521	-48 214 463	-51 551 752
2025	4 060 037	4 184 419	2 647 263	2 728 364	-45 567 199	-48 823 388
2026	4 114 025	4 239 663	2 523 485	2 600 550	-43 043 714	-46 222 838
2027	4 168 822	4 295 730	2 405 548	2 478 778	-40 638 166	-43 744 060
2028	4 224 441	4 352 631	2 293 172	2 362 758	-38 344 994	-41 381 302
2029	4 280 897	4 410 382	2 186 094	2 252 218	-36 158 900	-39 129 084
2030	4 338 203	4 468 997	2 084 062	2 146 895	-34 074 838	-36 982 189
2031	4 396 373	4 528 489	1 986 836	2 046 543	-32 088 001	-34 935 646
2032	4 455 423	4 588 874	1 894 189	1 950 924	-30 193 813	-32 984 722
2033	4 515 366	4 650 166	1 805 901	1 859 814	-28 387 912	-31 124 908
2034	4 576 217	4 712 381	1 721 767	1 772 998	-26 666 144	-29 351 910
2035	4 637 993	4 775 533	1 641 590	1 690 271	-25 024 555	-27 661 639
2036	4 700 709	4 839 640	1 565 181	1 611 440	-23 459 374	-26 050 199
2037	4 764 379	4 904 716	1 492 362	1 536 320	-21 967 011	-24 513 878
2038	4 829 022	4 970 778	1 422 964	1 464 735	-20 544 047	-23 049 143
2039	4 894 653	5 037 842	1 356 823	1 396 516	-19 187 224	-21 652 627
2040	4 961 288	5 105 926	1 293 787	1 331 505	-17 893 437	-20 321 122
2041	5 028 946	5 175 047	1 233 707	1 269 548	-16 659 731	-19 051 574
2042	5 097 642	5 245 223	1 176 443	1 210 502	-15 483 288	-17 841 072
2043	5 167 396	5 316 470	1 121 864	1 154 228	-14 361 424	-16 686 843
2044	5 238 225	5 388 807	1 069 841	1 100 596	-13 291 583	-15 586 248
2045	5 310 147	5 462 254	1 020 254	1 049 479	-12 271 329	-14 536 769
2046	5 383 180	5 536 827	972 988	1 000 759	-11 298 340	-13 536 010
2047	5 457 345	5 612 548	927 933	954 323	-10 370 407	-12 581 687
2048	5 532 660	5 689 435	884 985	910 062	-9 485 422	-11 671 624

TABULKA 34 - EKONOMIKA PROJEKTU

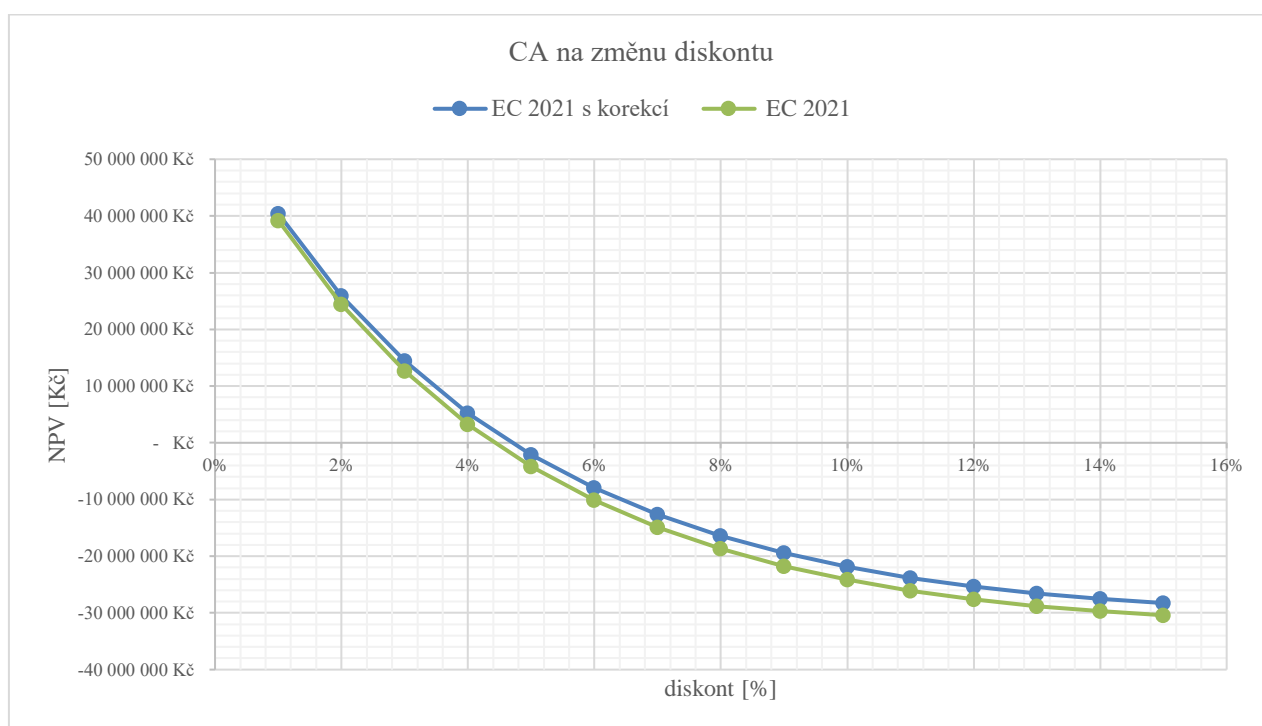
Výsledkem je nevýhodné NPV projektu, vycházející v záporných hodnotách. Úspory nejsou natolik velké, aby pokryly prvotní investiční náklady na začátku projektu. NPV celého projektu založeného na vstupních údajích investice a vzniklých úspor je pro EC s korekcí **-9 485 422 Kč**, pro EC bez korekce **-11 671 624 Kč**. Graficky znázorněno v Příloze 2. Citlivostní analýzou dále zjistíme, jak se bude měnit výsledek čisté současné hodnoty projektu při změnách parametrů.

Do projektu jsme nezapočítávali stálé náklady za rezervovaný výkon – ten bude stejný pro všechny varianty při investování i bez investic, proto nám neovlivní rozdíly mezi výslednými NPV. Konečné číslo za 30 let provozu sumy diskontovaných CF je **1 458 693 tis. Kč**.

7.7. Citlivostní analýza

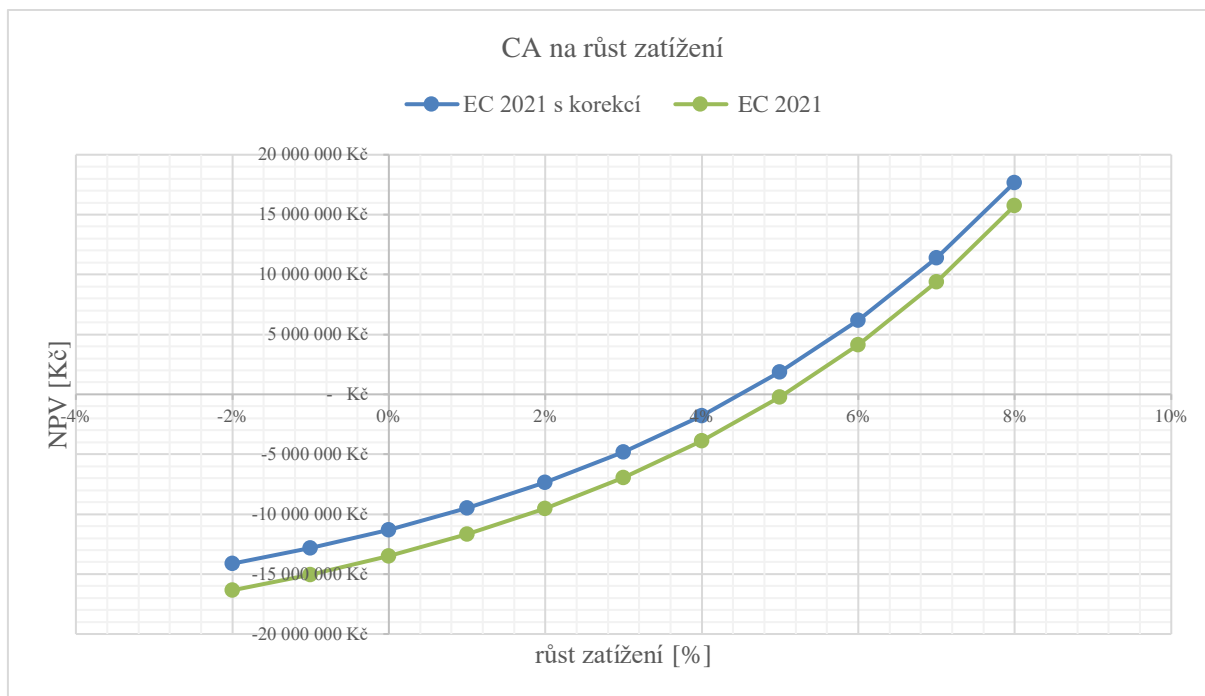
Citlivostní analýzu provedeme v závislosti na velikosti diskontu, procentuální změny velikosti zatížení, procentuální změny nákladů na ztráty variabilních a na investičních nákladech dle typu zařízení.

Citlivostní analýza na změnu diskontu WACC po zdanění má největší vliv na NPV projektu – do kladných hodnot se dostává při hodnotě kolem 4,5 %, ve vyšších hodnotách se směrnice ustaluje a není zde takový spád.



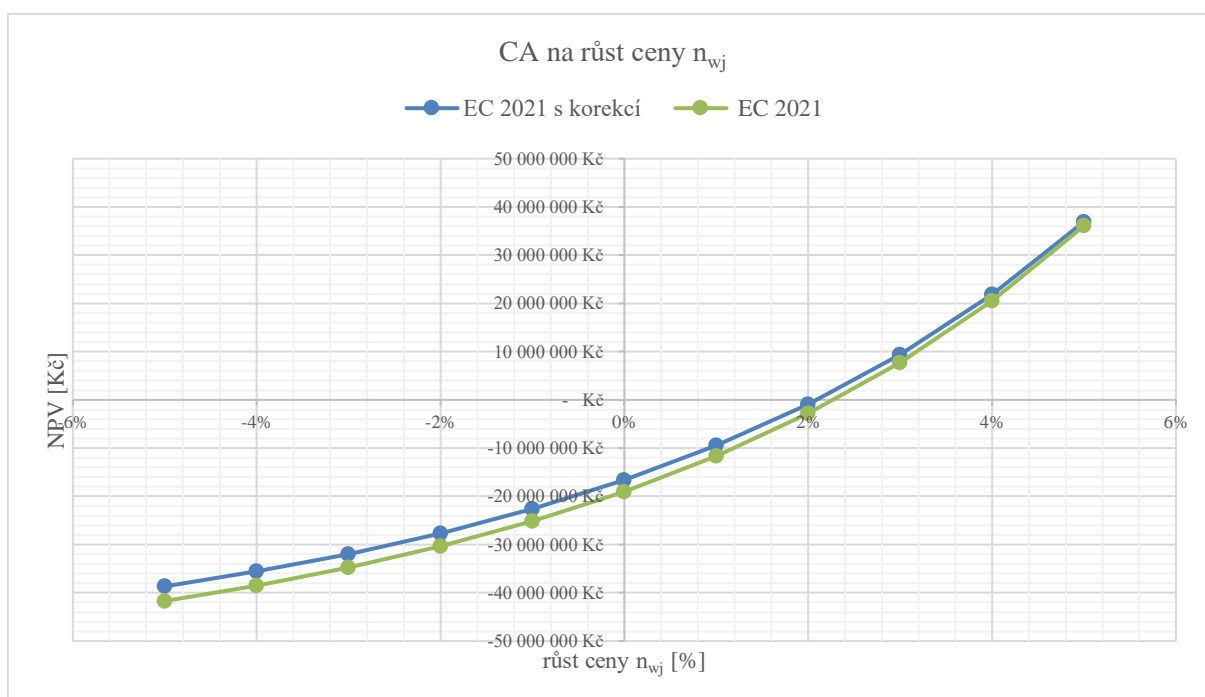
GRAF 5 - CA NA ZMĚNU DISKONTU

Pravděpodobnost procentuálního ročního růstu zatížení je velmi pravděpodobná, ale nebude dosahovat vzrůstu meziročních hodnot nad 4 %, aby se NPV projektu dostalo do kladných hodnot. Méně pravděpodobné je pokles růstu do záporných hodnot.



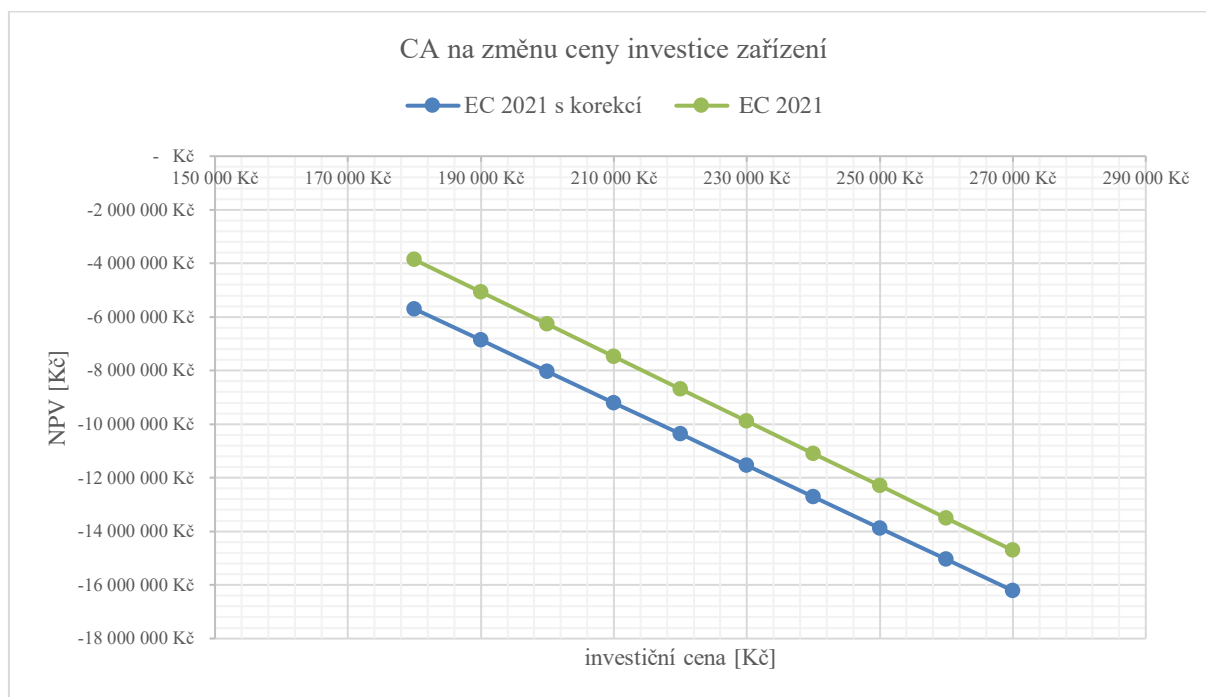
GRAF 6 - CA NA RŮST ZATÍŽENÍ

Výše zmíněno bylo přepočítání hodnoty variabilních nákladů n_{wj} v roce 2016 – zde byl pokles této ceny téměř o polovinu oproti roku 2011. Avšak situace na burze s energií je v dnešní době příznivější, proto nepředpokládáme snížení ceny nákladů n_{wj} . Konstantní růst je stanoven na 1 %, v budoucnu se ukáže po přepočítání dle budoucích cen a parametrů, zda se cena variabilních nákladů bude zvyšovat a případně o kolik.



GRAF 7 - CA NA RŮST CENY N_{wj}

Referenční cena zařízení je pouze odhadnutá, takže změna investiční ceny zařízení je pravděpodobná, více směrem nahoru do vyšších částek. Vliv na NPV je lineární, pohybující se ve velkém rozmezí konečné hodnoty projektu.



GRAF 8 - CA NA ZMĚNU CENY INVESTICE ZAŘÍZENÍ

7.8. Scénáře

V následující části ukážeme, jak se nám vyvine čistá současná hodnota variant, pokud stanovíme vstupní parametry podle předepsaného scénáře, jako je změna diskontu, růst zatížení, změna cen variabilních nákladů a cen investic do zařízení. Podle těchto údajů snadno vyhodnotíme efektivnost investice.

7.8.1. Realistický

Tento stav světa je reálný, odpovídající skutečným vlivům, jako je nárůst spotřeby elektrické energie, a to z důvodu rozvoje elektromobility, kterou společnost PREdi, a.s. podporuje a rozvíjí poskytování služeb v tomto odvětví. Změna referenční ceny zařízení bude spíše směrem nahoru. Vývoj ceny nákladů na ztráty bude stejný. NPV se výrazně nezmění oproti původním výpočtům.

- diskont 7 %,
- růst zatížení 1,5 %,
- změna nákladů na ztráty 1 %,
- investice do EC 2021 je 250 000 Kč,
- investice do EC 2021 je 220 000 Kč.

NPV [Kč]	
EC 2021 s korekcí	-9 371 501
EC 2021	-11 264 689

TABULKA 35 - REALISTICKÝ SCÉNÁŘ

7.8.2. Optimistický

V nejlepším případě bude rozvoj elektromobility větší, než se předpokládá. Vývoj cen na burze nebudou tolik ovlivňovat obnovitelné zdroje a jejich cena poroste, což se projeví v ocenění nákladů na ztráty. Diskont zachováme stejný. Investice do zařízení bude stejná, jako jsou uvedené referenční ceny. NPV se dostane do kladných hodnot.

- diskont 6,3 %,
- růst zatížení 2,5 %,
- změna nákladů na ztráty 2 %,
- investice do EC 2021 je 244 800 Kč,
- investice do EC 2021 je 212 400 Kč.

NPV [Kč]	
EC 2021 s korekcí	3 241 662
EC 2021	1 336 984

TABULKA 36 - OPTIMISTICKÝ SCÉNÁŘ

7.8.3. Pesimistický

V nejhorším případě bude rozvoj elektromobility utlumen, růst zatížení se bude snižovat o malé procento. Vývoj cen na burze nebude příznivý pro výrobce elektrické energie, dotkne se to také ceny variabilních nákladů. Diskont zachováme stejný. Investice do zařízení bude stejná, jako jsou uvedené referenční ceny. NPV bude v horších číslech než ostatní.

- diskont 6,3 %,
- růst zatížení -0,2 %,
- změna nákladů na ztráty 0,5 %,
- investice do EC 2021 je 250 000 Kč,
- investice do EC 2021 je 220 000 Kč.

NPV [Kč]	
EC 2021 s korekcí	-15 147 279
EC 2021	-17 457 538

TABULKA 37 - PESIMISTICKÝ SCÉNÁŘ

8. Závěr

Jaké dopady z toho vyplývají pro distribuční společnost PREDI a.s.? Společnost spadá do Evropského hospodářského trhu, kde platí nařízení Komise a Rady EU. Konkrétně Nařízení č. 548/2014 platí pro nové transformátory, které jsou uváděny do provozu po 1. červenci 2015, resp. 1. července 2021. Nové zařízení musí splňovat parametry výše uvedené v legislativě. Pokud měla do této doby distribuční společnost svého dodavatele transformátorů, který musel projít výběrovým řízením na realizaci zakázky, bude nutné přezkoumat aktuální situaci. Po stanovení požadovaných podmínek na zařízení bude nutné vytvořit poptávku na transformátor, který bude splňovat maximální hodnoty ztrát dle níže uvedené v Tabulka 38. V úvahu jsou 2 varianty v 2. stupni EcoDesignu 2021s korekcí a bez korekce. Výběr varianty závisí na schválení evropskou legislativou.

630 kVA	Aktuální stav	2. stupeň (1. červenec 2021)	2. stupeň (1. červenec 2021) s korekcí
P_k [W]	6 500	4 600	5 060
P_o [W]	600	540	600

TABULKA 38 - ETAPY ECODESIGNU

Výměna byla analyzována na určených distribučních transformačních zařízeních, které jsou za dobou životnosti, nebo se jim blíží konec doby účetní životnosti, či jsou hodně zatížené odběrem elektrické energie.

Ekonomická efektivnost je zpracována pomocí vzniklých úspor proměnných nákladů na zařízení po každé investici, která je naplánovaná v letech 2019–2023, kdy se vymění celkem 376 kusů zařízení z celkového počtu 2 988 kusů. Předpokládá se 1 % meziroční růst zatížení, diskont reálný 6,3 % určený investorem (WACC po zdanění), 2 % růst stálých nákladů na ztráty a 1 % růst proměnných nákladů na ztráty. Čistá současná hodnota projektu výměny je -9 485 422 Kč pro variantu EC 2021 s korekcí, pro variantu EC 2021 bez korekce je hodnota -11 671 624 Kč. Hodnoty jsou záporné z důvodu velké investice a velikostí úspor, které nesníží vstupní investici natolik, aby se dostala do kladných hodnot. V případě optimistického scénáře je hodnota NPV kladná, za předpokladu růstu cen nákladů na ztráty a růstu zatížení. Porovnáme-li čistou současnou hodnotu zahrnující náklady na ztráty proměnné a případné investice, výsledky budou obdobné.

Náklady na ztráty + investice [Kč]	
NPV původní	-113 752 958
NPV EC 2021 s korekcí	-123 081 890
NPV EC 2021	-125 424 583

TABULKA 39 - NPV NÁKLADŮ NA ZTRÁTY

Oddělenou složku, nezapočítávající se do výdajů projektu, je stála složka za rezervaci výkonu v síti. Platby jsou vypočítány přes koeficient soudobosti zařízení z reprezentativního prvku skupiny transformátorů. Čistá současná hodnota stálých nákladů těchto transformátorů je **1 458 693 tis. Kč** za účetní dobu životnosti 30 let.

Výpočtem sice dostáváme zápornou hodnotu čisté současné hodnoty s využitím úspor nákladů na ztrátách. Avšak většina zařízení, která jsou doporučena vyměnit, jsou, či budou za dobou své životnosti. Je u nich velké riziko poruch, které jsou nežádoucí s ohledem na spolehlivost chodu sítě. Otázkou do budoucnosti je, zda bude povolena verze EC 2021 s korekcí či nikoliv.

9. Reference

- [1] Kolektiv autorů, Nový akademický slovník cizích slov, Academia, 2007.
- [2] ČEPS, „ČEPS a.s.“ 19. 12. 2017. [Online]. Available: <https://www.ceps.cz/>.
- [3] ERÚ, „Roční zpráva provozu ES rok 2016,“ [Online]. Available: https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2016.pdf/800e5a09-a58a-4a73-913f-abc30cda42a5. [Přístup získán 19. 12. 2017].
- [4] A. Baggini a A. Sumper, Electrical Energy Efficiency : Technologies and Applications, Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.
- [5] PREDi, *Provozní zpráva 2017*, Praha: PREDi, a.s., 2017.
- [6] Energetický regulační úřad, „ERÚ,“ 24. 11. 2017. [Online]. Available: https://www.eru.cz/documents/10540/3531646/20171124_TZ_CR_2018.pdf/f15b51d5-d90a-4f16-9abd-def5bb5c4c78. [Přístup získán 4. 1. 2018].
- [7] ERÚ, „Kalkulátor ERÚ,“ [Online]. Available: <http://kalkulator.eru.cz/>. [Přístup získán 4. 1. 2018].
- [8] PREDistribuce, „Souhrnné zprávy PRE,“ 24. 12. 2017. [Online]. Available: <https://www.predistribuce.cz/cs/distribucni-sit/legislativni-predpisy/>.
- [9] ČSÚ, „Český statistický úřad,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.czso.cz/csu/xa/prazska-bytova-vystavba-v-roce-2016>.
- [10] e-mega, „e-mega.cz,“ Univerzální monitor MEg40, 11. 4. 2018. [Online]. Available: <http://www.e-mega.cz>.
- [11] International energy agency, „IEA,“ [Online]. Available: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>. [Přístup získán 4. 1. 2018].
- [12] L. energy, „Leonardo,“ 3. 11. 2016. [Online]. Available: file:///C:/Users/Lucie/Downloads/Transformers_Brochure.pdf. [Přístup získán 4. 1. 2018].
- [13] „Selecting Energy Efficient Distribution Transformers,“ 6. 2008. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/seedt_technical_guide_en.pdf. [Přístup získán 24. 12. 2017].
- [14] Evropský parlament, „EUR-Lex,“ 21. 10. 2009. [Online]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32009L0125>. [Přístup získán 23. 11. 2017].
- [15] K. EU a eurlex, „Nařízení Komise 548/2014,“ [Online]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0548&from=EN>. [Přístup získán 28. 11. 2017].

- [16] P. Voženílek, V. Novotný a P. Mindl, *Elektromechanické měniče*, Praha: České vysoké učení technické, 2005.
- [17] K. Pokorný, *Elektrické stroje: Elektrické stroje střídavé*. 3. vyd., Brno: Ediční středisko Vysokého učení technického, 1986.
- [18] E. Jezierski, *Transformátory: teoretické základy*, Praha: Academia, 1973.
- [19] doc. Ing. Jaromír Vastl CSc., Ing. Martin Beneš PhD., Prof. Ing. Oldřich Starý CSc. a doc. Ing. Jiří Vašíček CSc., *Měrné tržby PREDistribuce, a.s.*, Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd: ČVUT FEL, 2011, 2016.
- [20] Emontas, „Emontas,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.emontas.cz/fotogalerie/trafostanice-fotogalerie>.
- [21] Podniková norma, *PNE 38 1753:2005*, PREDi a.s., 2005.

Příloha 1

č.	dTS	č.	dTS	č.	dTS	č.	dTS	č.	dTS	č.	dTS	č.	dTS	č.	dTS
1	3645	41	3414	81	4868	121	4278	161	3475	201	3973	241	4688	281	4730
2	3642	42	2782	82	3669	122	5277	162	3675	202	3969	242	2889	282	5064
3	3605	43	5283	83	5278	123	3697	163	4484	203	4707	243	3676	283	5193
4	3563	44	5204	84	3579	124	3478	164	3942	204	1685	244	5075	284	5066
5	3562	45	3497	85	5281	125	4563	165	3774	205	3971	245	4749		
6	5201	46	3238	86	5279	126	3594	166	3689	206	4137	246	3677		
7	3607	47	3886	87	3327	127	3628	167	4678	207	5024	247	4679		
8	3564	48	5275	88	3535	128	3938	168	4439	208	4932	248	2629		
9	3647	49	5369	89	3890	129	3476	169	179	209	4937	249	5077		
10	3713	50	3632	90	5170	130	3624	170	623	210	4887	250	3752		
11	5227	51	3817	91	4275	131	3910	171	5023	211	4769	251	4758		
12	3764	52	3828	92	5347	132	5341	172	4480	212	5062	252	4725		
13	5233	53	5273	93	4873	133	3629	173	5271	213	4726	253	3963		
14	3993	54	3285	94	4578	134	3531	174	5360	214	4646	254	3885		
15	5220	55	5282	95	3412	135	4907	175	3671	215	3929	255	4968		
16	3568	56	5232	96	3411	136	4286	176	3863	216	3970	256	5076		
17	3496	57	5276	97	3656	137	5021	177	7410	217	4471	257	2013		
18	3158	58	5339	98	3581	138	3891	178	4939	218	5063	258	4783		
19	3625	59	3635	99	4794	139	4141	179	4936	219	4723	259	5256		
20	5224	60	2865	100	3553	140	5167	180	3680	220	3978	260	4904		
21	3569	61	3582	101	4804	141	4806	181	5175	221	4861	261	4589		
22	3857	62	3577	102	2759	142	3482	182	5365	222	4722	262	5073		
23	3567	63	3584	103	3684	143	3375	183	3679	223	3790	263	4831		
24	3763	64	3597	104	3583	144	4912	184	4773	224	4718	264	5143		
25	3457	65	2446	105	3488	145	4908	185	5039	225	3847	265	4665		
26	3565	66	3499	106	3694	146	3479	186	3816	226	5259	266	4704		
27	2273	67	5346	107	3934	147	4411	187	4139	227	4638	267	3957		
28	3646	68	3534	108	3678	148	3159	188	4768	228	4651	268	3896		
29	3501	69	3810	109	4476	149	3710	189	3907	229	5171	269	5072		
30	5340	70	3698	110	3515	150	3587	190	3931	230	4435	270	5406		
31	2766	71	3937	111	3141	151	3481	191	5125	231	5065	271	4732		
32	4259	72	3465	112	3477	152	4802	192	4469	232	4813	272	3951		
33	5343	73	3578	113	5237	153	5169	193	4595	233	4934	273	1437		
34	3561	74	4805	114	3818	154	4650	194	3972	234	5067	274	216		
35	5364	75	3585	115	4145	155	4909	195	3452	235	5142	275	3976		
36	3566	76	1016	116	3681	156	3471	196	5026	236	3943	276	5068		
37	3960	77	5225	117	4882	157	3864	197	3871	237	4379	277	3703		
38	3474	78	3731	118	5022	158	3941	198	5272	238	4591	278	5257		
39	3586	79	5228	119	3894	159	4871	199	5135	239	4815	279	4727		
40	5246	80	4265	120	5041	160	3222	200	4440	240	91	280	4728		

Příloha 2

