

DOI: [10.46793/CIGRE37.A2.02](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.A2.02)

A2.02

**PREDNOSTI PRIMENE PRIRODNOG HLAĐENJA ENERGETSKIH
TRANSFORMATORA VEĆIH NAZNAČENIH SNAGA****BENEFITS OF APPLYING NATURAL COOLING OF POWER TRANSFORMERS WITH
HIGHER RATED POWER****Jelena Čelović, Milan Čelović, Aleksandr Bushev, Ana Pastor, Lenka Cvetković***

Kratak sadržaj: Prirodno hlađenje "ONAN" (*eng. Oil Natural Air Natural*) predstavlja najjednostavniju metodu hlađenja energetskih transformatora. Toplotna energija generisana u namotajima i sklopu magnetnog kola prenosi se principom strujanja i zračenja na okolni fluid–vazduh kako sa površine radijatora tako i sa površine transformatorskog suda. U principu, transformatori većih naznačenih snaga imaju veće gubitke usled opterećenja i gubitke praznog hoda, odnosno intenzivnije generisanje toplotne energije tokom rada što uslovljava potrebu za povećanim odvođenjem toplote, odnosno hlađenjem transformatora. Jedan od načina da se poveća odvođenje toplote jeste povećanje koeficijenta prenosa toplote između spoljašnje površine radijatora i vazduha, odnosno primena hlađenja "ONAN/ONAF" (*eng. Oil Natural Air Forced*) gde se prinudnim strujanjem ambijentalnog fluida–vazduha uz pomoć ventilatora postiže veća snaga odnošenja toplote. Konkretne smernice u odabiru između ONAN ili ONAN/ONAF striktno ne postoje, te je na teritoriji Republike Srbije ustaljena praksa, a nepisano pravilo, da se gotovo svi energetski transformatori naznačene snage od 16MVA do 63MVA hlade rashladnim sistemom ONAN/ONAF, odnosno svi energetski transformatori naznačene snage do 16MVA rashladnim sistemom ONAN. Kako su prednosti primene rashladnog sistema ONAN u odnosu na ONAN/ONAF brojne, a trendovi energetske efikasnosti/smanjenja snage gubitaka energetskih transformatora sve zastupljeniji, javila se ideja za kreiranje ovog rada u cilju razmatranja opravdanosti, odnosno prednosti primene prirodnog načina hlađenja energetskih transformatora većih snaga. Fokus ovog rada biće na jedinicima energetskih transformatora naznačene snage 16MVA do 63MVA, naponskog nivoa 110kV.

Ključne reči: ONAN, ONAN/ONAF, sniženi gubici, pouzdanost rashladnog sistema, energetska efikasnost

Abstract: Natural cooling "ONAN" represents the simplest method of cooling power transformers. Losses created in the windings and the magnetic core assembly are transmitted by the principle of convection and radiation to the surrounding fluid–air both from the surfaces

* Jelena Čelović, Comel transformatori, Jelena.Celovic@comel.co.rs

Milan Čelović, Comel transformatori d.o.o., Milan.Celovic@comel.co.rs

Aleksandr Bushev, Comel Transformatori d.o.o., aleksandr.bushev@comel.co.rs

Ana Pastor, Comel transformatori, anapastor97@gmail.com

Lenka Cvetković, Comel Transformatori d.o.o., lenka.cvetkovic@comel.co.rs

of the radiators and from the surface of the transformer tank. In general, power transformers with higher rated power have higher load losses and no-load losses, meaning more intense generation of heat during operation, which necessitates the need for increased heat removal, i.e. cooling of the transformer. One of the ways to increase heat removal is to increase the heat transfer coefficient between the outer surface of the radiator and the air, i.e. the application of ONAN/ONAF cooling, where the forced flow of the ambient fluid–air with the help of a fan achieves greater heat transfer power. Specific guidelines for choosing between ONAN or ONAN/ONAF strictly do not exist, and in the territory of the Republic of Serbia it is an established practice, and an unwritten rule, that almost all power transformers with a rated power of 16MVA to 63MVA are cooled by the ONAN/ONAF cooling system, that is, all power transformers with a rated power of up to 16MVA by the ONAN cooling system. As the advantages of applying the ONAN cooling system in relation to ONAN/ONAF are numerous, and the trends of energy efficiency/reducing the power losses of power transformers are increasingly prevalent, the idea for creating this work arose in order to consider the justification, that is, the advantages of applying a natural way of cooling power transformers of higher power. The focus of this work will be on power transformer units with rated power 16MVA to 63MVA, voltage level 110kV.

Keywords: *ONAN, ONAN/ONAF, reduced losses, cooling system reliability, energy efficiency*

1 UVOD

Ovaj rad motivisan je savremenim trendom smanjenja snage generisanja gubitaka u energetskim transformatorima, odnosno pravilnika o eko dizajnu koji definiše minimalnu energetsku efikasnost, kako za sve električne uređaje tako i za energetske transformatore. Jedinice proizvedene već od jula 2015. (Tier 1), a posebno jula 2021. (Tier 2), imaju primetno smanjenu kombinaciju gubitaka usled opterećenja i gubitaka u praznom hodu u poređenju sa starijim energetskim transformatorskim tj. jedinicama proizvedenim pre 10 i više godina, pojedinačno i u zbiru, a sve to kako bi ispunili zahteve navedene u standardu. Između ostalog, veoma dobro poređenje gubitaka za različite nazivne vrednosti snage energetskih transformatora predstavljeno je CIGRE radom [1].

Fokus je na tipičnim jedinicama u okviru Elektrodistributivne mreže Srbije, nazivnih snaga 16, 31.5 i 40MVA, dok je analiza sprovedena u sledećim koracima za svaku od prethodno pomenutih jedinica:

- Kao početak analize uzima se proizvedena jedinica prema zahtevu Tier 2 pravilnika o eko dizajnu u izvedbi rashladnog sistema ONAN/ONAF kod koje je sproveden (uspešan) ogled zagrevanja.
- Kako su računске vrednosti porasta temperatura u slučaju uspešnog oglada zagrevanja uvek veće od izmerenih, ustanovi se računska margina, odnosno odstupanje računskih od izmerenih vrednosti. Ove vrednosti kreću se u rasponu 2–5 K, a konkretan primer dat je u nastavku:
 - Dozvoljeni srednji porast temperature namotaja 65K
 - Računski srednji porast temperature namotaja 62K
 - Izmereni srednji porast temperature namotaja 58K

- Identičnim računskim smernicama i pretpostavkama dimenzioniše se ONAN rashladni sistem tako da se postigne isti računski srednji porast temperature namotaja kod posmatrane jedinice kao u slučaju ONAN/ONAF rashladnog sistema. Dakle, zadržava se ista računska margina konstatovana prethodno sprovedenim ogledom zagrevanja.

Drugim rečima, izjednačavaju se snage odnošenja toplote u varijantama ONAN i ONAN/ONAF rashladnog sistema za isti transformator.

- Vrš se uporedna analiza gabarita, odnosno masa i dimenzija

Cilj rada jeste da na ilustrativan i što jednostavniji način prikaže najpre mogućnosti i devijacije, a zatim konkretne prednosti primene ONAN rashladnog sistema umesto ONAN/ONAF opcije. Drugim rečima, cilj rada jeste ilustracija mogućnosti i prednosti “izbacivanja” ventilatora uz povećanje pasivnog dela rashladnog sistema.

Tabela I: Osnovne tehničke karakteristike energetskog transformatora snage 16MVA

Naznačena snaga	16 MVA
Naznačeni napon	110±10×1.5% / 6.3 kV
Sprega	YN, d5
Način hlađenja	ONAN / ONAF*
Garantovana vrednost napona kratkog spoja	$ek_{110-6.3kV}^{16MVA} = 11\%$
Garantovana vrednost gubitaka usled opterećenja	≤ 72.5 kW
Garantovana vrednost gubitaka u režimu praznog hoda	≤ 10 kW
PEI Tier 2	≥ 99.663%
Napomene	*U nastavku sprovedena je analiza u slučaju ONAN rashladnog sistema dimenzionisanog za odnošenje toplote pri punom opterećenju.

Tabela II: Osnovne tehničke karakteristike energetskog transformatora snage 31.5MVA

Naznačena snaga	31.5 / 31.5 / 10.5 MVA
Naznačeni napon	110±11×1.5% / 36.75 / 10.5 kV
Sprega	YN, yn0, (d5)
Način hlađenja	ONAN / ONAF*
Garantovana vrednost napona kratkog spoja	$ek_{110-36.75kV}^{31.5MVA} = 14\%$
Garantovana vrednost gubitaka usled opterećenja	≤ 146.5 kW
Garantovana vrednost gubitaka u režimu praznog hoda	≤ 14 kW
PEI Tier 2	≥ 99.712%
Napomene	*U nastavku sprovedena je analiza u slučaju ONAN rashladnog sistema dimenzionisanog za odnošenje toplote pri punom opterećenju.

Tabela III: Osnovne tehničke karakteristike energetskog transformatora snage 40MVA

Naznačena snaga	40 MVA
Naznačeni napon	$110 \pm 11 \times 1.5\%$ /10.5 kV
Sprega	YN, d5
Način hlađenja	ONAN / ONAF*
Garantovana vrednost napona kratkog spoja	$ek_{110-10.5kV}^{40MVA} = 18\%$
Garantovana vrednost gubitaka usled opterećenja	≤ 155 kW
Garantovana vrednost gubitaka u režimu praznog hoda	≤ 19.5 kW
PEI Tier 2	$\geq 99.724\%$
Napomene	*U nastavku sprovedena je analiza u slučaju ONAN rashladnog sistema dimenzionisanog za odnošenje toplote pri punom opterećenju.

2 TEORIJSKA POZADINA

2.1 Pregled rashladnih sistema energetskih transformatora

Oznake i opisi rashladnih sistema koji se koriste u energetskim transformatorima predstavljeni su u Tabeli IV navedenoj u nastavku. Nove oznake nabrojane u drugoj koloni, definisane IEC 60076 standardom, dominantno su u upotrebi kada je reč o novim transformatorima, dok se sa starim oznakama datim u prvoj koloni obično susrećemo prilikom remonta starih jedinica.

Fokus ovog rada jeste na ONAN i ONAN/ONAF sistemima hlađenja i isključivo na novim transformatorima te je prednost u nastavku data novim oznakama.

Tabela IV: Klasifikacija rashladnih sistema

Stare oznake	Nove–aktuelne oznake	Opis
OA	ONAN	Ulje – prirodno, vazduh - prirodno
FA	ONAF	Vazduh – forsirano
OA/FA/FA OA/FA	ONAN/ONAF/ONAF ONAN/ONAF	Ulje – prirodno, praćeno sa jednim ili dva stepena vazduh – forsirano (ventilatori)
OA/FA/FOA	ONAN/ONAF/OFAF	Ulje – prirodno, praćeno sa jednim stepenom vazduh – forsirano (ventilatori) i drugim stepenom ulje – forsirano (pumpe)
OA/FOA	ONAN/ODAF	Ulje – prirodno, praćeno sa jednim stepenom vazduh – forsirano i ulje – dirigovano (pumpe)
OA/FOA/FOA	ONAN/ODAF/ODAF	Ulje – prirodno, praćeno sa dva stepena ulje – dirigovano (pumpe), vazduh – forsirano (ventilatori)

FOA	OFAF	Forsirano ulje / vazduh bez prirodne cirkulacije
FOW	OFWF	Forsirano ulje / voda bez prirodne cirkulacije (ulje / voda izmenjivač toplote)
FOA	ODAF	Ulje – drigovano, vazduh - forsirano uz pomoć pumpi i ventilatora bez prirodne cirkulacije
FOW	ODWF	Ulje – dirigovano, voda – forsirano bez prirodne cirkulacije

2.2 Rashladni sistem ONAN

Za transformatore malih snaga, površina transformatorskog suda u stanju je da odvede kompletnu generisanu toplotu na okolni vazduh, dok transformatori većih snaga zahtevaju mnogo veću površinu odavanja toplote u obliku radijatora / cevovoda direktno montiranih na transformatorski sud ili montiranih zasebno kao celine. U slučaju manjeg broja radijatora, a sve u cilju postizanja što manjih gabarita, poželjno je da se radijatori montiraju direktno na transformatorski sud.

Radijatori koji se koriste na transformatorima sa ONAN načinom hlađenja, uglavnom poseduju okrugle rashladne cevi sa ravnim rebrima velikih poprečnih preseka, a sve u cilju postizanja prirodne konvekcije transformatorskog ulja sa minimalnim otporom. Toplo ulje se kroz jezgro i namotaje podiže do nivoa otvora na transformatorskom sudu / ulaza u radijator. Zatim ohlađeno ulje pada na dno radijatora i kroz ulaz na transformatorskom sudu dospeva do jezgra i namotaja. Prethodno pomenuto jeste termosifonski efekat koji odlikuje relativno spora brzina protoka ulja kako kroz aktivni deo transformatora tako i kroz radijatore. Isto tako, vazduh cirkuliše kroz radijator prirodnom konvekcijom ili pak potpomognut vetrom.

Termosifonska sila (*eng. Thermal head*) može se definisati kao razlika između centra gravitacije fluida u transformatorskom sudu i radijatora. U okviru aranžmana koji se sastoji od niza radijatora, termosifonska sila i protok ulja mogu se povećavati podizanjem (povećavanjem visine) noseće konstrukcije (gravitacionog centra radijatora), kao i u slučaju korišćenja izdignutih radijatora, poznatijih po engleskom nazivu „goose-neck“. Takođe, treba napomenuti da je neophodno postići adekvatan balans, jer povećanje protoka dovodi do povećanog gubitka pritiska usled trenja, čime se redukuje benefit dobijen na kontu termosifonske sile, odnosno povećanjem visinske razlike aktivnog dela i radijatora.

U skladu sa prethodno navedenim, povećanje brzine protoka ulja i odvođenje toplote može se postići korišćenjem „goose-neck“ radijatora. Dobro su rešenje, posebno u ONAN sistemima hlađenja, naravno, kada ne postoje ograničenja za njihovu montažu, kako u pogledu izolacionih rastojanja, tako i u pogledu dispozicije opreme u okviru postrojenja.

2.3 Rashladni sistem ONAF/FA

Kada vetar i prirodna konvekcija nisu dovoljni da odvedu generisanu toplotu, neophodno je vazduh forsirati kroz radijatore uz pomoć ventilatora. Transformatori sa prinudnim / forsiranim vazдушnim hlađenjem jesu transformatori ONAF klase. Prethodno pomenuta klasa transformatora zahteva dodatnu (pomoćnu) električnu energiju za napajanje motora ventilatora, tačnije opreme za hlađenje, što nije slučaj kod ONAN klase. U velikom broju slučajeva prinudno/forsirano hlađenje nije neophodno do nekog nivoa opterećenja, ventilatori su

isključeni dok temperatura ne pređe graničnu—definisanu vrednost. U skladu sa prethodno navedenim, pri nižim opterećenjima transformator se hladi prirodnom konvekcijom, i ova klasa transformatora je definisana ONAN/ONAF grupom.

U slučaju korišćenja ventilatora, koeficijent prenosa toplote značajno se uvećava. U određenim projektima prednost se daje primeni ONAN/ONAF tipa hlađenja zbog kompaktnijeg rasporeda opreme nego u slučaju ONAN hlađenja, kako je za hlađenje neophodan manji broj radijatora.

Oprema za hlađenje zahteva pravilno održavanje u cilju efikasnog rada i obezbeđivanja dugog životnog veka transformatora. Postoji potreba za održavanjem kako ventilatora, pumpi tako i prateće opreme. Dodatno, informativno, u slučaju OFAF ili OFWF sistema hlađenja, neophodno je održavanje hladnjaka.

3 ONAN ILI ONAN/ONAF

3.1 Prednosti

Ako postoji slučaj u kojem se može primeniti ili ONAN ili mešovito ONAN/ONAF hlađenje, ONAN hlađenje ima sledeće prednosti:

- Pouzdanije jer ne zahteva dodatne uređaje u okviru komandno—signalnog ormana neophodne za napajanje, pokretanje i rad rashladne opreme.
- Zahteva manje održavanja.
- Uvećanje troškova neophodnih za montiranje dodatnih radijatora je u velikoj meri kompenzovano redukovanjem troškova usled odsustva ventilatora i dodatnih uređaja za kontrolu rada rashladnog sistema.
- Posebno je korisno kada je potrebna jedinica niskog nivoa zvučnog pritiska, na primer u urbanim zonama. Odsustvo ventilatora za hlađenje olakšava postizanje zahtevanog nivoa zvučnog pritiska.
- Nema dodatnih gubitaka električne energije neophodne za rashladni sistem, konkretno povezanih sa ventilatorima za hlađenje.
- Tokom eksploatacionog perioda, dobar deo vremena transformatori rade u režimu podopterećenja, ispod nazivne snage, te u slučaju ONAN hlađenja, gde su radijatori dimenzionisani za odnošenje toplote pri punom (100%) opterećenju, radne temperature usled generisanih gubitaka bile bi znatno manje nego u slučaju gde imamo ONAN/ONAF hlađenje kod kojeg je ONAN režim tipično definisan za odnošenje toplote u opsegu 60–80% nazivnog opterećenja.

Dakle, kada je opterećenje na transformatoru manje od njegove pune nazivne vrednosti, temperature unutar transformatora još su niže i njegov životni vek osetno se povećava.

- Manje kablovskih trasa na transformatoru, uglavnom potrebnih za napajanje motora ventilatora.

3.2 Nedostaci

Iako postoje brojne prednosti prilikom korišćenja ONAN rashladnog sistema, postoji i nekoliko nedostataka koji se sigurno ne mogu zanemariti:

- Ukupna masa i dimenzije transformatora kao što su dužina, širina i visina biće povećane dodavanjem novih radijatora ili samo dodatnih panela/rebara u poređenju sa ONAN/ONAF sistemom hlađenja.

Uporednim analizama koje slede, zaključice se da je dominantno širina transformatora problematična.

- U skladu sa prethodno navedenim, za nove projekte neophodno je predvideti veće dimenzije uljnih jama i temelja, ili detaljno analizirati postojeće ukoliko novi energetske transformator zamenjuje stari na postojećim temeljima.

Prethodno u najvećem broju slučajeva neće predstavljati problem, jer su transformatori identičnih karakteristika manjih gabarita sada u odnosu na rešenja pre 30 godina, uprkos rigoroznijim zahtevima u pogledu garantovanih gubitaka.

- Manje prostora za postavljanje zaštitne opreme, merdevina, kablovskih kutija i slično.
- Potencijalni problemi u vezi sa preopterećenjem transformatora, naravno ako je to predviđeno naknadno, a ne u izvornoj fazi, prilikom proizvodnje transformatora.

3.3 Uporedna Analiza 16MVA–110kV

Prva uporedna analiza biće sprovedena na trofaznom dvonamotnom energetskom transformatoru naznačene snage 16MVA sa teretnom regulacijom napona na visokonaponskom 110kV priključku. Ostale tehničke karakteristike u skladu sa Tabelom I.

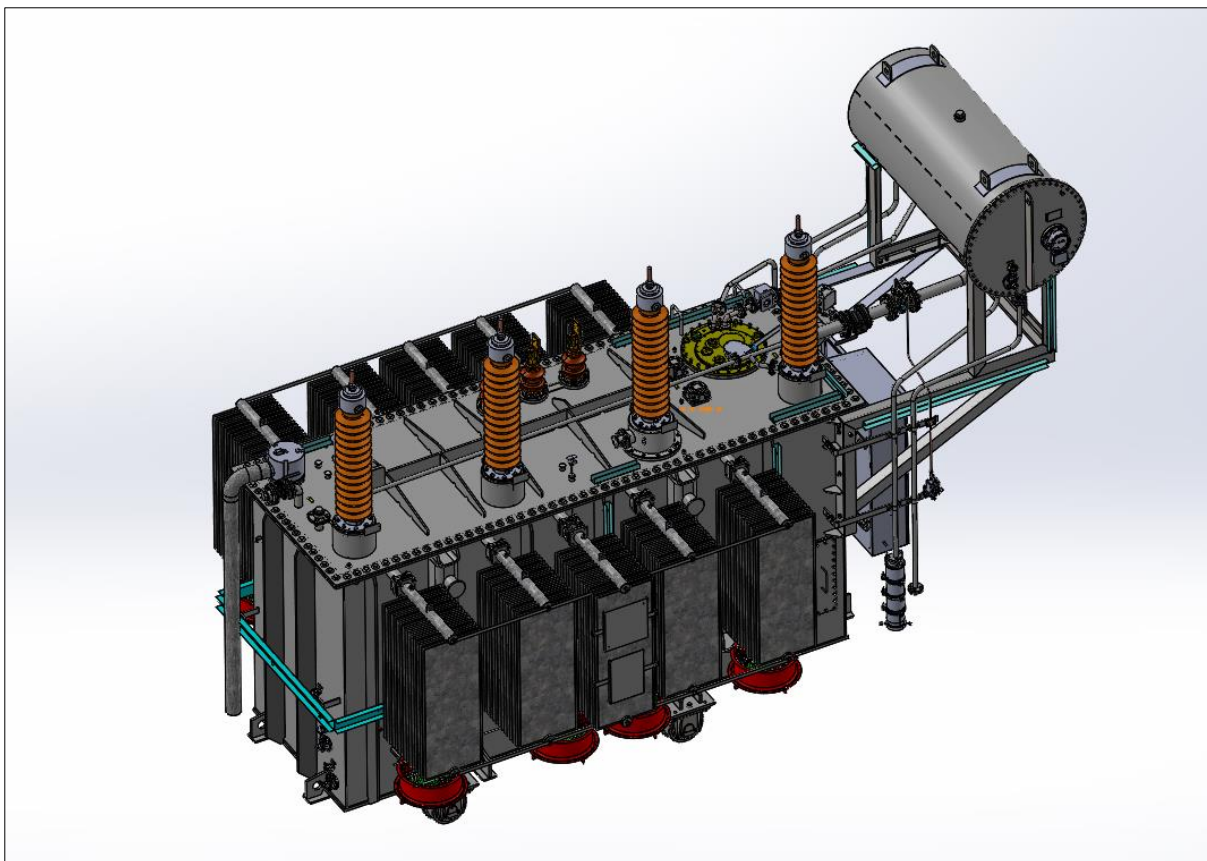
Uporedni pregled zahtevane snage generisanje gubitaka u periodu pre stupanja na snagu pravilnika o ekodizajnu i nakon istog:

Tabela V: Uporedni pregled garantovanih gubitaka za 16MVA

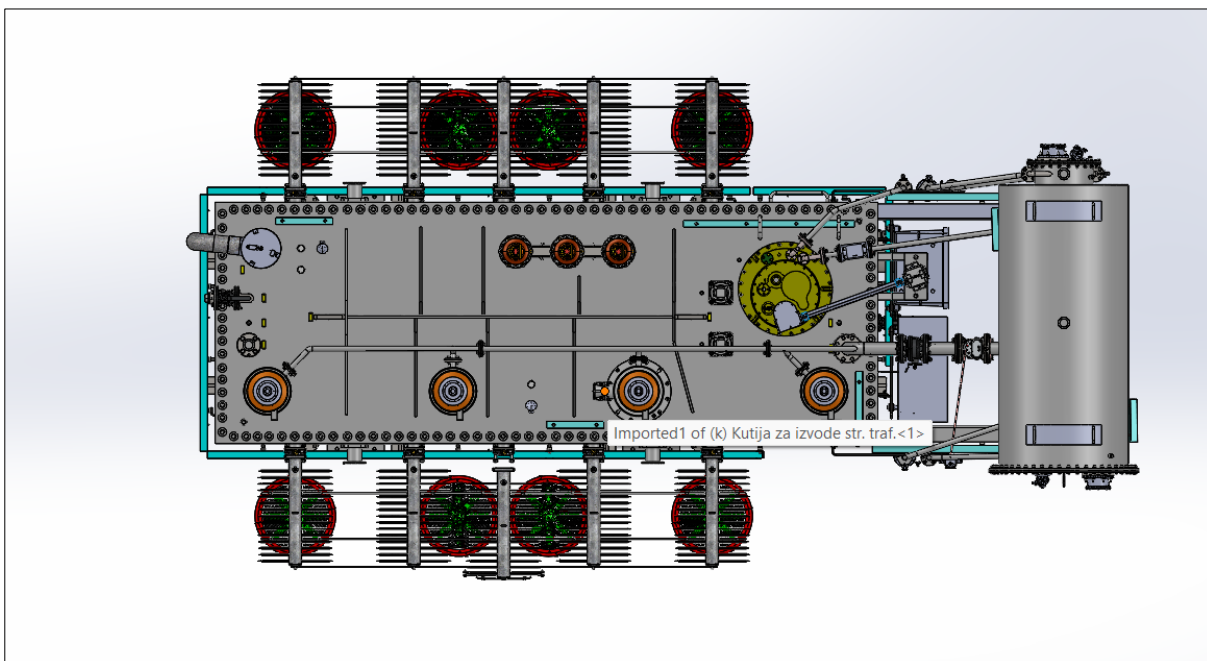
Garantovani gubici	Stari – konvencionalni	Novi – Tier 2	Komentar
Usled opterećenja PCu	78 kW	72.5 kW	Niži oko 7%
Praznog hoda PFe	16 kW	10 kW	Niži 37.5 %

Tabela VI: Uporedni pregled korišćenja ONAN umesto ONAN/ONAF za 16MVA

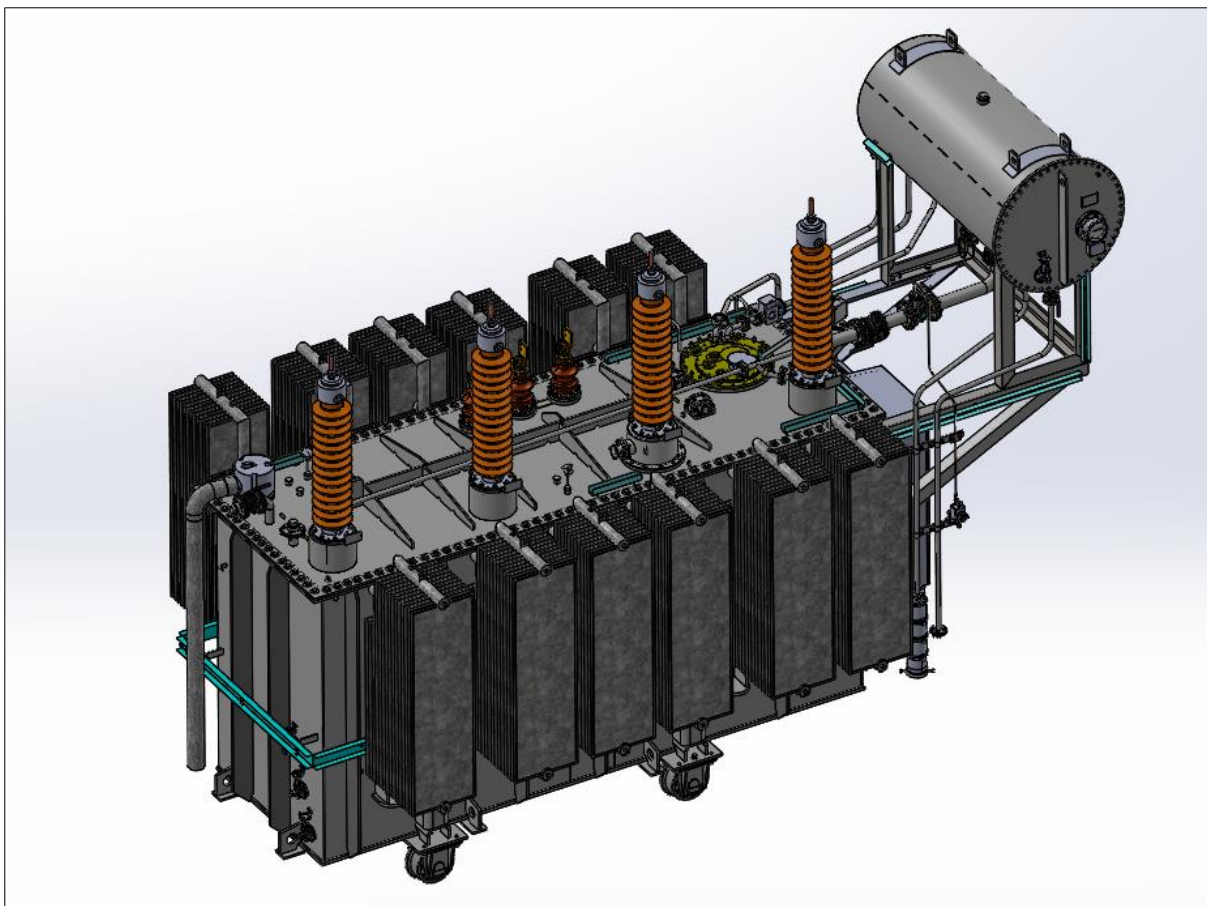
Referenta veličina	ONAN / ONAF	ONAN
Broj radijatora	10	12
Tip radijatora	Standardni	„Goose-neck“
Broj članaka	15	3+17
Dimenzije članaka	(1300×520) mm	(1300/1700×520) mm
Broj ventilatora	8	0
Masa rashladnog sistema bez ulja	1950 kg	3900 kg
Masa ulja u radijatorima	700 kg	1400 kg
Okvirni gabariti transformatora	(6650×3350×4500) mm	(6650×3800×4500) mm
Dodatni gubici rashladnog sistema	2 kW	0



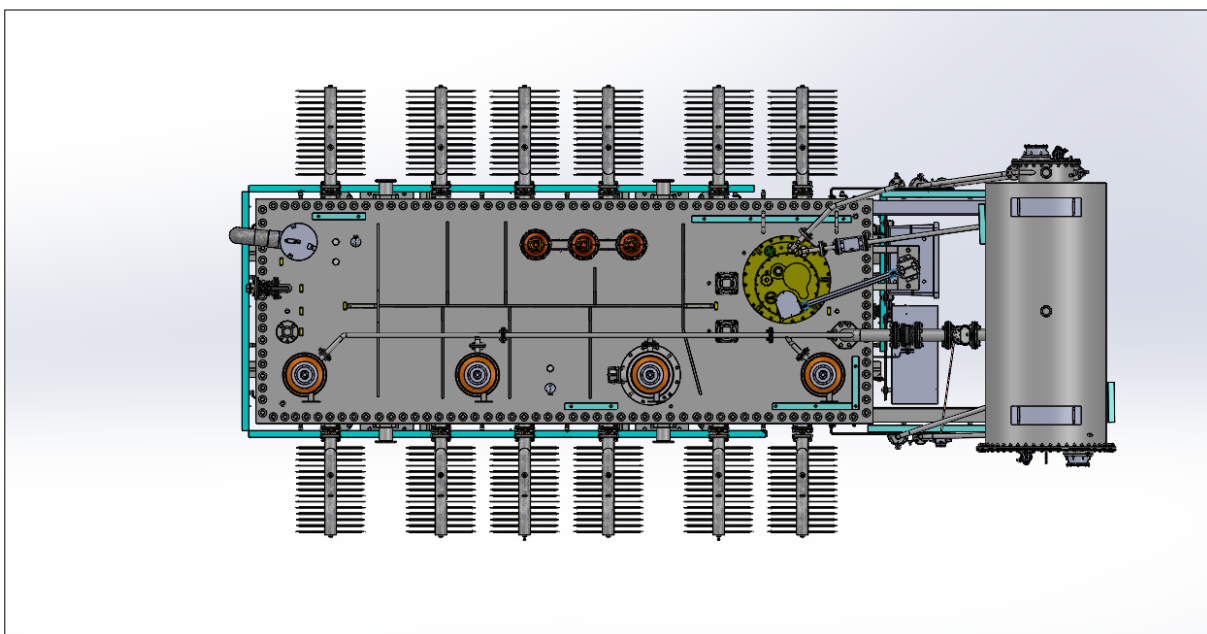
Slika 1: Uporedna Analiza 1 – 16MVA ONAN/ONAF dizajn, izometrijska projekcija



Slika 2: Uporedna Analiza 1 – 16MVA ONAN/ONAF dizajn, projekcija/pogled odozgo



Slika 3: Uporedna Analiza 1 – 16MVA ONAN dizajn, izometrijska projekcija



Slika 4: Uporedna Analiza 1 – 16MVA ONAN dizajn, projekcija/pogled odozgo

3.4 Uporedna Analiza 31.5MVA–110kV

Sledeća uporedna analiza biće sprovedena na trofaznom tronamotnom energetsom transformatoru naznačene snage 31.5MVA sa teretnom regulacijom napona na visokonaponskom 110kV priključku i stabilizacionim tercijerom. Ostale tehničke karakteristike u skladu sa Tabelom II.

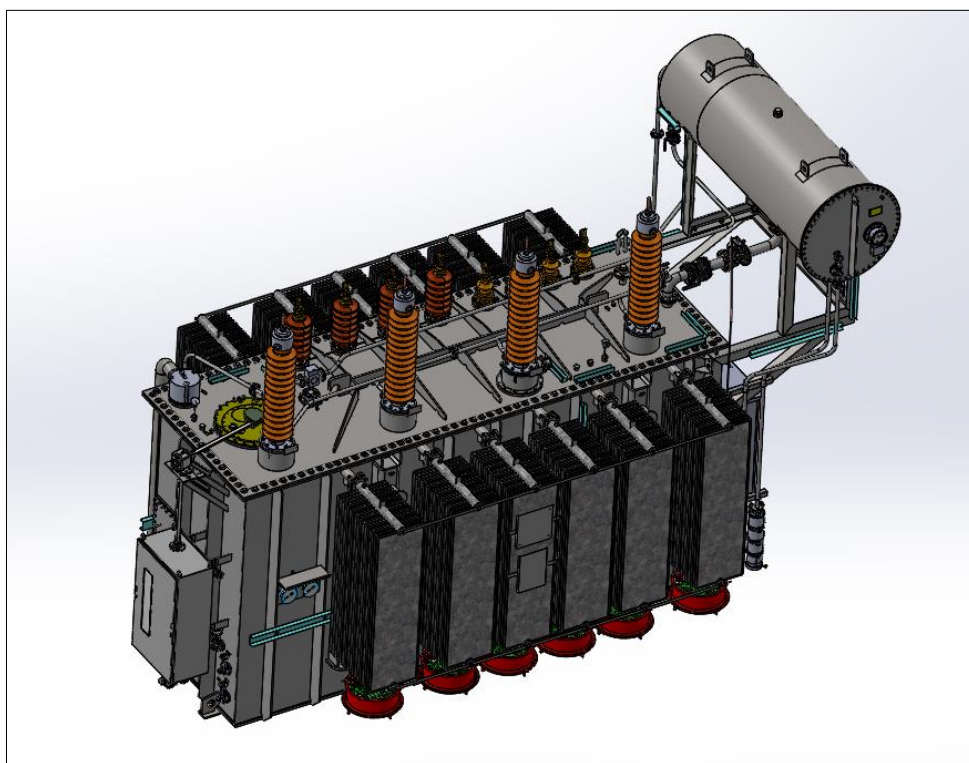
Uporedni pregled zahtevane snage generisanje gubitaka u periodu pre stupanja na snagu pravilnika o ekodizajnu i nakon istog:

Tabela VII: Uporedni pregled garantovanih gubitaka za 31.5MVA

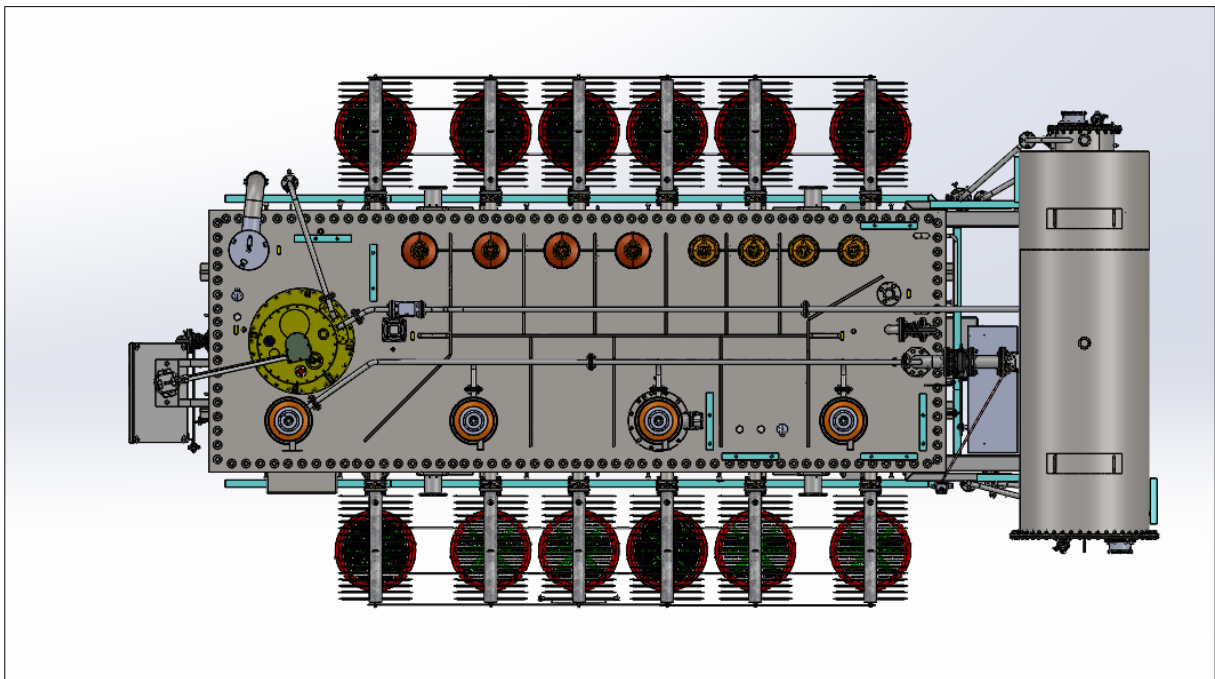
Garantovani gubici	Stari – konvencionalni	Novi – Tier 2	Komentar
Usled opterećenja PCu	175 kW	146.5 kW	Niži oko 14%
Praznog hoda PFe	30 kW	14 kW	Niži oko 53 %

Tabela VIII: Uporedni pregled korišćenja ONAN umesto ONAN/ONAF za 31.5MVA

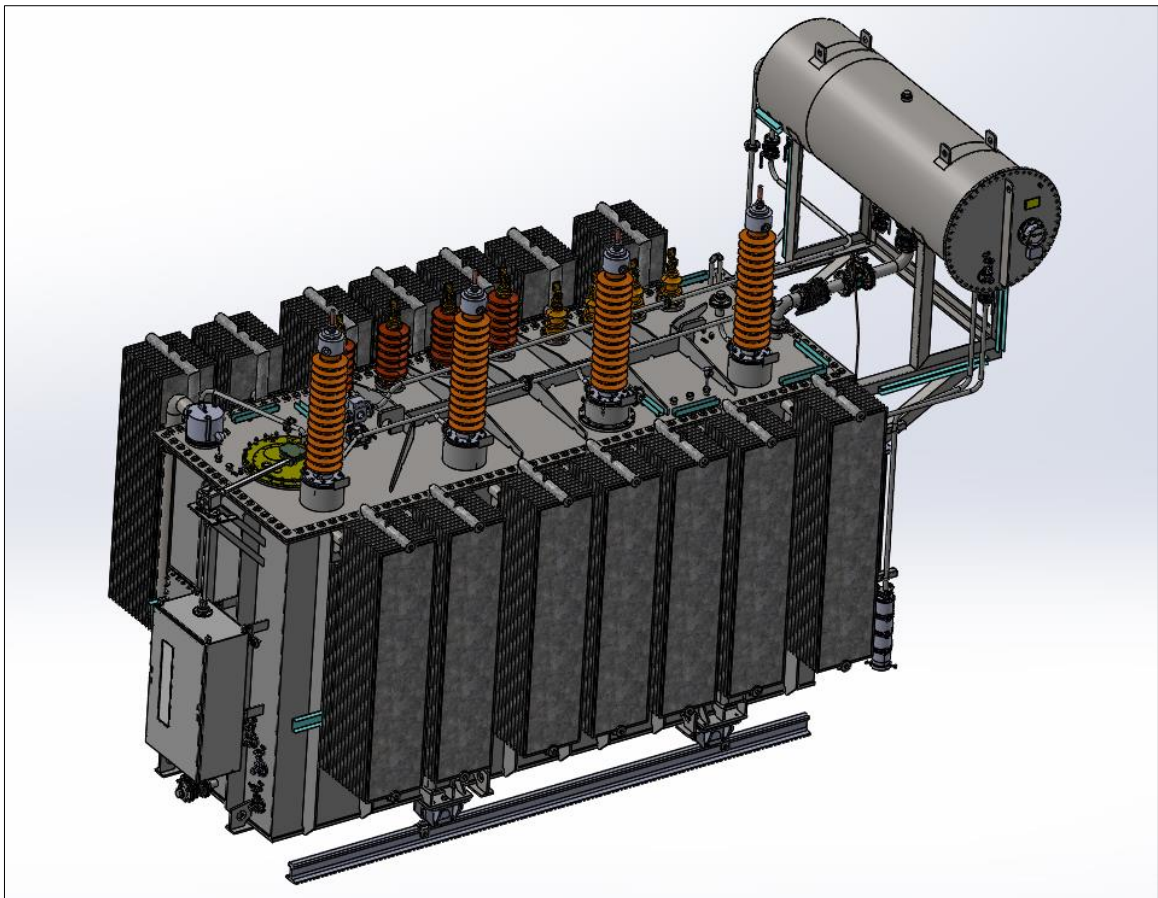
Referenta veličina	ONAN / ONAF	ONAN
Broj radijatora	12	14
Tip radijatora	Standardni	„Goose-neck“
Broj članaka	17	3+19
Dimenzije članaka	(1800×520) mm	(1800/2200×520) mm
Broj ventilatora	12	0
Masa rashladnog sistema bez ulja	3600 kg	6450 kg
Masa ulja u radijatorima	1300 kg	2250 kg
Okvirni gabariti transformatora	(7250×3750×4900) mm	(7250×4200×4900) mm
Dodatni gubici rashladnog sistema	3 kW	0



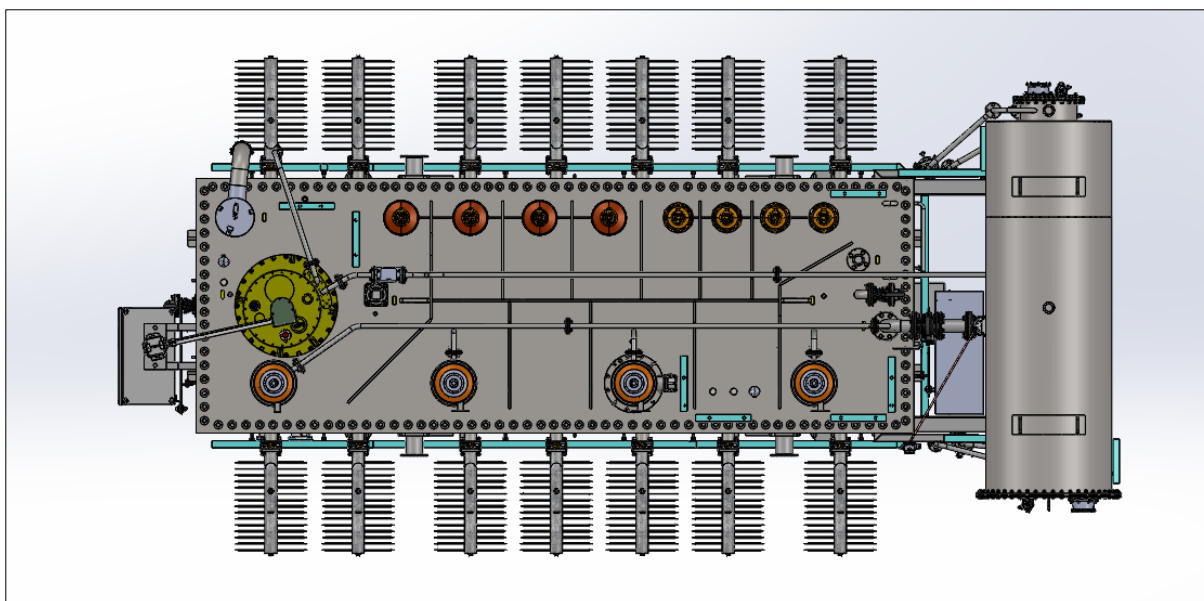
Slika 5: Uporedna Analiza 2 – 31.5MVA ONAN/ONAF dizajn, izometrijska projekcija



Slika 6: Uporedna Analiza 2 – 31.5MVA ONAN/ONAF dizajn, projekcija/pogled odozgo



Slika 7: Uporedna Analiza 2 – 31.5MVA ONAN dizajn, izometrijska projekcija



Slika 8: Uporedna Analiza 2 – 31.5MVA ONAN dizajn, projekcija/pogled odozgo

3.5 Uporedna Analiza 40MVA–110kV

Poslednja uporedna analiza biće sprovedena na trofaznom dvonamotnom energetskom transformatoru naznačene snage 40MVA sa teretnom regulacijom napona na visokonaponskom 110kV priključku. Ostale tehničke karakteristike u skladu sa Tabelom III.

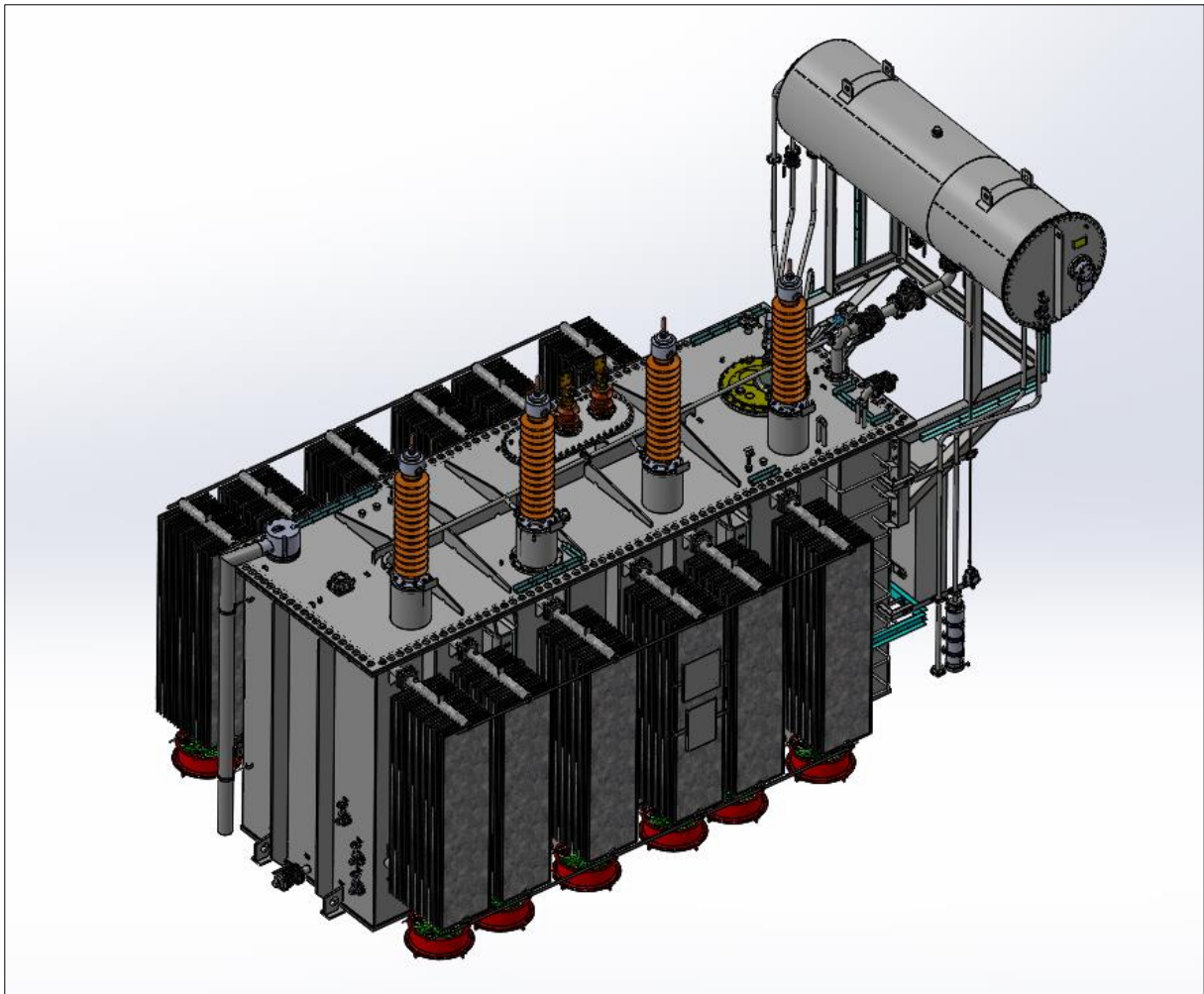
Uporedni pregled zahtevane snage generisanje gubitaka u periodu pre stupanja na snagu pravilnika o ekodizajnu i nakon istog:

Tabela IX: Uporedni pregled garantovanih gubitaka za 40MVA

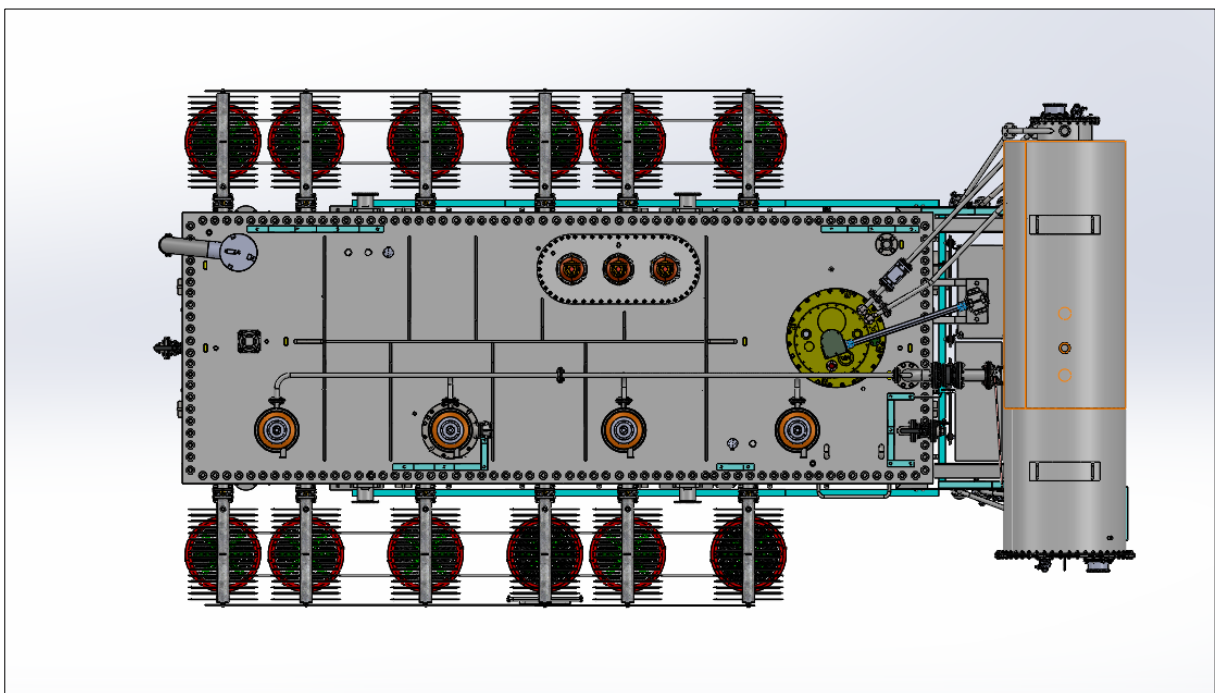
Garantovani gubici	Stari – konvencionalni	Novi – Tier 2	Komentar
Usled opterećenja PCu	200 kW	155 kW	Niži oko 22.5%
Praznog hoda PFe	20 kW	19.5 kW	Niži 2.5 %

Tabela X: Uporedni pregled korišćenja ONAN umesto ONAN/ONAF za 40MVA

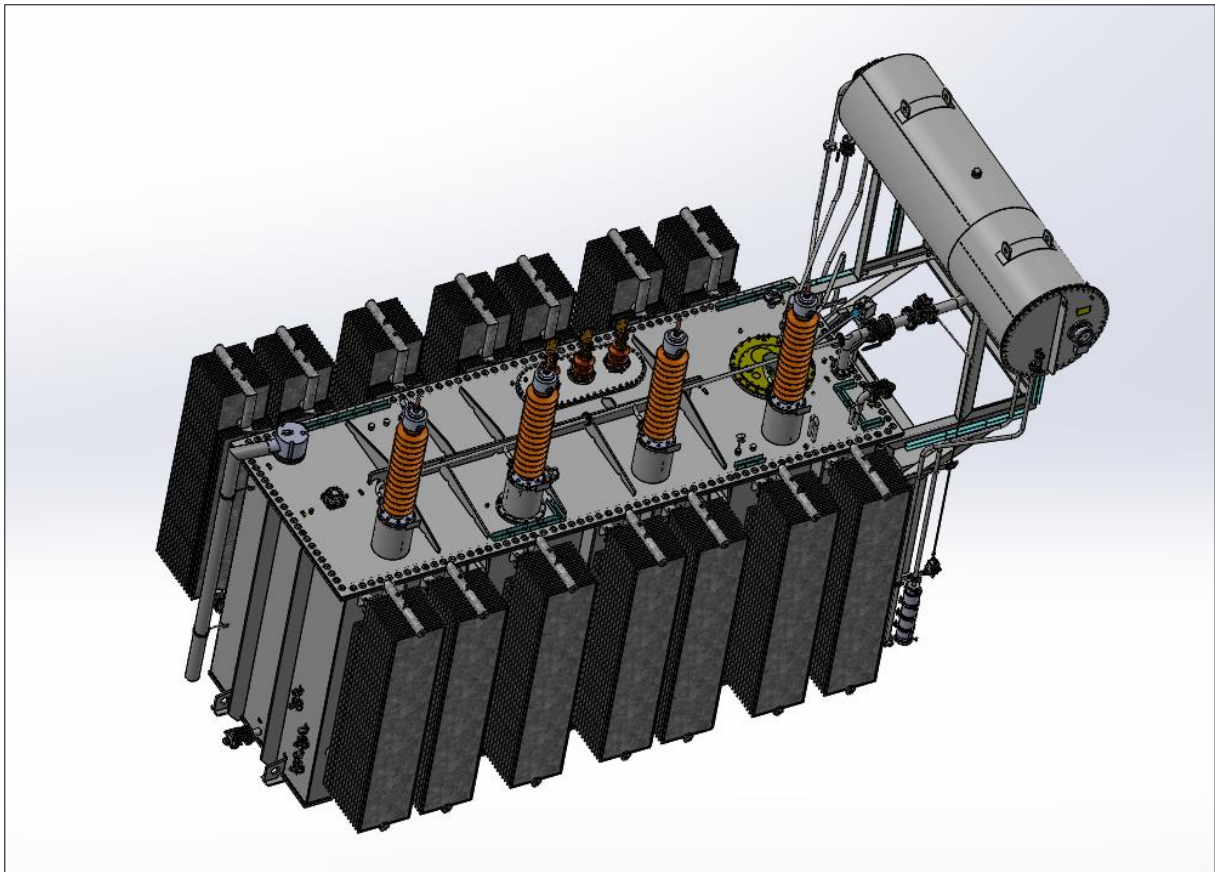
Referenta veličina	ONAN / ONAF	ONAN
Broj radijatora	12	14
Tip radijatora	Standardni	„Goose-neck“
Broj članaka	16	3+21
Dimenzije članaka	(2000×520) mm	(2000/2400×520) mm
Broj ventilatora	12	0
Masa rashladnog sistema bez ulja	3750 kg	7700 kg
Masa ulja u radijatorima	1350 kg	2700 kg
Okvirni gabariti transformatora	(7750×3900×5000) mm	(7750×4600×5000) mm
Dodatni gubici rashladnog sistema	3 kW	0



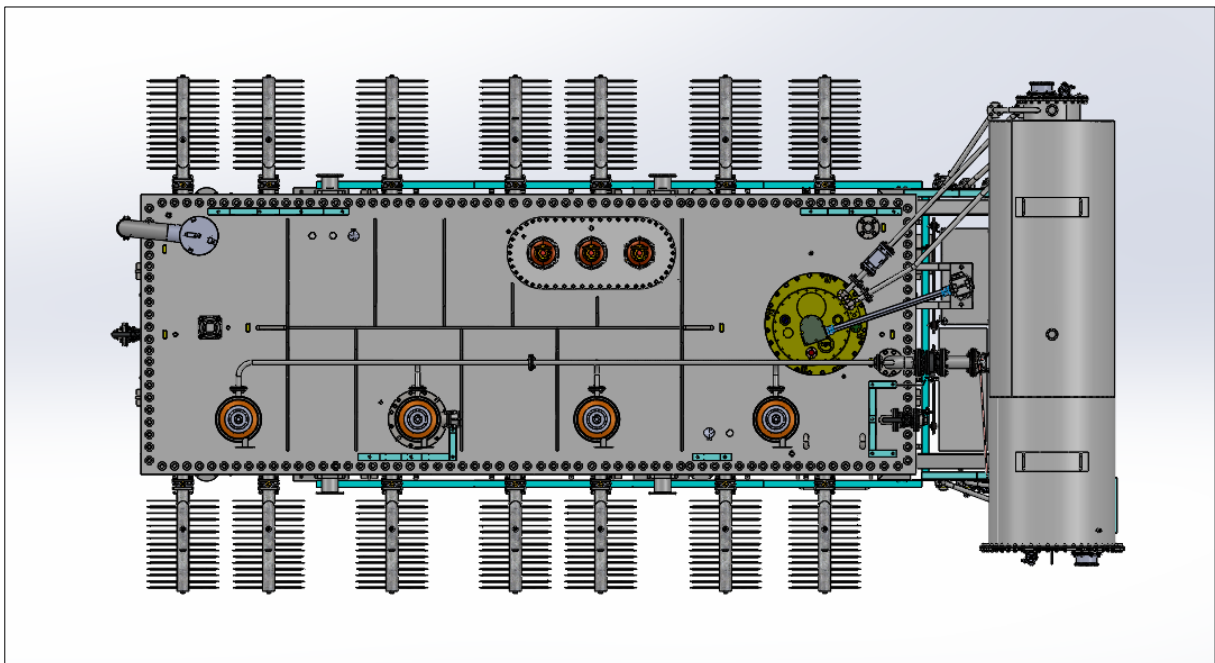
Slika 9: Uporedna Analiza 3 – 40MVA ONAN/ONAF dizajn, izometrijska projekcija



Slika 10: Uporedna Analiza 3 – 40MVA ONAN/ONAF dizajn, projekcija/pogled odozgo



Slika 11: Uporedna Analiza 3 – 40MVA ONAN dizajn, izometrijska projekcija



Slika 12: Uporedna Analiza 3 – 40MVA ONAN dizajn, projekcija/pogled odozgo

4 PREVAZILAŽENJE NEDOSTATAKA ONAN 100%

- U fazi projektovanja trafostanice potrebno je predvideti veće dimenzije uljne jame i temelja. Generalno, prethodno sagledavati kao neku vrstu dodatne tolerancije.
- Ako su dimenzije transformatora problematične i, ako je potrebno, mogu se koristiti tzv. izdignuti radijatori ili „goose-neck“ ,ili druga optimalnija konstruktivna rešenja radijatora, a sve u cilju povećanja efikasnosti hlađenja.
 - Visina transformatora u najvećem broju slučajeva nije limitirajući faktor, međutim onda kada jeste može se redukovati košenjem VN provodnih izolatora i obično se nagibom do 30° pronade optimalniji raspored na ploči transformatora.
 - Dužina transformatra može se smanjiti promenom dispozicije ormana motornog pogona teretne regulacione preklapke (OLTC), kao i komadno-signalnog ormana.
 - Ukoliko je širina transformatora problematična, na primer zbog dodavanja velikog broj članaka, onda je rešenje povećati dodatno broj radijatora i redukovati broj članaka.
- Ukoliko prethodno nije moguće iz nekih razloga kao što su postizanje zahtevanih izolacionih rastojanja ili pak manjka raspoloživog prostora, dodatni prostor može se postići na neki od sledećih načina, a sve na kontu raspoređivanja opreme transformatora:
 - Dodatne merdevine, u slučaju da se zahtevaju dva para, mogu da se uklone jedne i/ili isporuče kao demontažna opcija.
 - Radijatori mogu se montirati ispod konzervatora, ili u slučaju da to nije moguće, konzervator se može postaviti po podužnoj osi.
 - Promenom položaja transformatorske opreme, na primer komandno-signalni orman može se postaviti pored transformatora na sopstvenim nosačima korigovanjem dužine napojnih kablova.
- U slučaju da je neophodno preopterećenje i da se očekuje u toku eksploatacionog perioda, nema potencijalnih problema prilikom definisanja ONAN sistema hlađenja, predvidi se za tačan procenat preopterećenja kao što bi se radilo u slučaju ONAN/ONAF.
- U slučaju da se naknadno zahteva preopterećenje, nakon nekog eksploatacionog perioda, na primer 15 godina, u cilju postizanja adekvatnog sistema hlađenja sistem se može nadograditi na ONAN/ONAF jednostavnim dodavanjem prinudnog hlađenja. Sve korekcije je moguće sprovesti na licu mesta.

5 ZAKLJUČAK

- Kao posledice novih standarda i zahteva u pogledu energetske efikasnosti, novi transformatori proizvode se sa drastično nižim gubicima energije u poređenju sa starim transformatorima. Iz tog razloga sada možemo razmatrati primenu ONAN hlađenja na transformatorima većih naznačenih snaga.

- Na osnovu analize izvršene na transformatoru snage 16MVA u poglavlju 3.3 može se zaključiti da je moguće rashladni sistem realizovati u varijanti ONAN 100% uz sledeće napomene:
 - Težina transformatora bila bi povećana za oko 2.5 t
 - Širina transformatora bila bi veća dodatnih 450 mm
- Na osnovu analize izvršene na transformatoru snage 31.5MVA u poglavlju 3.4 može se zaključiti da je moguće rashladni sistem realizovati u varijanti ONAN 100% uz sledeće napomene:
 - Težina transformatora bila bi povećana za oko 3.8t
 - Širina transformatora bila bi veća dodatnih 450mm
- Na osnovu analize izvršene na transformatoru snage 40MVA u poglavlju 3.5 može se zaključiti da je moguće rashladni sistem realizovati u varijanti ONAN 100% uz sledeće napomene:
 - Težina transformatora bila bi povećana za oko 5t
 - Širina transformatora bila bi veća dodatnih 700mm, te je svakako sledeći korak razmotriti povećanje broja radiatora uz redukciju broj članaka.
- Na osnovu analiza sprovedenih na 16MVA, 31.5MVA i 40MVA može se ispratiti trend promena i za veće snage, odnosno za 50MVA i 63MVA i izvući identični zaključci.
- ONAN hlađenje ima više prednosti u odnosu na ONAN/ONAF hlađenje, posebno se ističe kriterijum pouzdanosti.
- Energetske transformatorske 40MVA, pa čak i više, konkretno 63MVA, projektovane prema zahtevima indeksa vršne efikasnosti ili drugim zahtevima za stvaranje nižih gubitaka, mogu se hladiti prirodnim uljnim hlađenjem bez dramatičnih modifikacija u dizajnu trafostanice.
- U slučajevima kada je ONAN rejting 75% ili više (bliži je ONAF rejtingu), ONAN hlađenje može se specificirati umesto mešovitog ONAN/ONAF hlađenja na osnovu analize troškova i koristi.
- U fazi projektovanja trafostanice mogu se predvideti svi slučajevi potrebni za ONAN tip hlađenja za transformatore koji su obrađeni u ovom radu.
- Korišćenjem ONAN umesto ONAN/ONAF ukupna masa transformatora povećava se u opsegu (3–6)%. Prilično sličan trend može se primetiti i kod mase ukupnog ulja.
- Vreme proizvodnje transformatora u ONAN izvedbi kraće je u poređenju sa ONAN/ONAF izvedbom.

6 LITERATURA

- [1] 36. Savetovanje CIGRE Srbija 2023 – 161 – Analiza opravdanosti investicionih troškova novih efikasnih energetskih transformatora tokom perioda njihove eksploatacije
- [2] IEC 60076-1:2011, Power Transformers – Part 1: General
- [3] S.V. Kulkarni, S. A. Khaparde -Transformer Engineering_Design, Technology, and Diagnostics, Second Edition
- [4] Design Manual – Cooling System Calculations, Comel Transformatori
- [5] IEC 60076-7:2018, Power Transformers – Part 7: Loading guide for mineral – oil – immersed power transformers.
- [6] K.R.M. Nair - Power and Distribution Transformers. Practical Design Guide
- [7] John Winders - Power Transformers. Principles and Applications