

Ivan Jurić
HEP Proizvodnja, RHE Velebit
ivan.juric2@hep.hr

Ante Čović
HEP ODS, Elektra Zagreb
ante.covic@hep.hr

Joško Grašo
HEP ODS, Elektra Zagreb
josko.graso@hep.hr

Mario Šulc
Projektni biro Naglič d.o.o., Zagreb
mario.sulc@pbnaglic.hr

PRIMJENA SAMOSTOJEĆE TRANSFORMATORSKE STANICE INSTALIRANE SNAGE 2x2000 kVA U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

SAŽETAK

Razvojem društva i sve većom potrebom za električnom energijom dolazi do konstantnog povećanja instalirane snage u distribucijskim transformatorskim stanicama. U transformatorskim stanicama smještenim u građevinama, instalirane snage transformatora odavno su veće od 1000 kVA, dok je u samostojećim transformatorskim stanicama instalirana snaga transformatora do 1000 kVA. Upravo zbog potrebe za povećanjem instalirane snage transformatorskih stanica, Elektra Zagreb izradila je uputu s osnovnim gabaritima i nacrtima rasporeda opreme za samostojeće transformatorske stanice i transformatorske stanice u objektu snage transformatora 1(2)(3)x2000 kVA. Na temelju upute izrađen je glavni projekt transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV 1x2000 kVA, dok je još 2013. godine izgrađena prva samostojeća distribucijska transformatorska stanica s instaliranom snagom transformatora od 2000 kVA. Referatom će biti obuhvaćena izgradnja prve samostojeće distribucijske transformatorske stanice instalirane snage 2x2000 kVA za potrebe napajanja poslovne građevine. Kako se radi o prvom takvome objektu na prostoru Republike Hrvatske, cijeli objekt trebalo je od početka osmisliti, građevinski projektirati, proizvesti i na kraju izgraditi. Izgrađena transformatorska stanica s instaliranom snagom transformatora od 1(2)x2000 kVA, manje vizualno nagrđuju okoliš jer imaju manje tlocrtnne dimenzije u odnosu na transformatorske stanice s istom instaliranom snagom, ali uz uporabu više manjih transformatora. U ovom slučaju postigli smo bolju učinkovitost odnosno manje gubitke energije, koristili manje opreme u distribucijskoj transformatorskoj stanici, manje energije za izgradnju transformatora u tvornici i na kraju emitirali manje količine CO₂ u okoliš što će biti prikazano u ovom radu.

Ključne riječi: samostojeća transformatorska stanica, instalirana snaga, transformator, gubici, ugljični otisak

APPLICATION OF SELF-STANDING TRANSFORMER SUBSTATION WITH INSTALLED TRANSFORMER POWER OF 2X2000 KVA IN DISTRIBUTION NETWORK

SUMMARY

With the development of society and the greater need for electricity comes constant increase in installed transformer power in distribution transformer stations. The transformer station located in buildings with installed transformer power has long been larger than 1000 kVA while in self-standing transformer station installed transformer power is mostly up to 1000 kVA. Precisely because of the need

to increase the installed power of the transformer stations, Elektra Zagreb has made a reference of the basic scales and design of equipment for the self-standing and transformer stations in buildings with installed transformer power 1(2)(3)x2000 kVA. Based on the instructions the main project of the transformer station 10(20)/0.4 kV 1x2000 kVA was developed, while in 2013 the first self-standing distribution transformer stations with transformer power of 2000 kVA was built. The reference will include the construction of the first self-standing distribution transformer station of installed power 2x2000 kVA for the needs of a business building. Because this is the first such object on the territory of the Republic of Croatia, the entire facility was needed to be designed and constructed from the beginning. Constructed transformer stations with installed transformer power of 1(2)x2000 kVA are less penetrating into the environment from the visual aspect because they have smaller ground plan dimensions than transformer stations with same installed power but with use of more smaller installed transformers. In this case, we achieved better efficiency, less energy losses, used less equipment in the distribution transformer station, used less energy to build the transformer at the factory, and in the end produced less CO₂ emissions into the environment, which will be shown in this paper.

Key words: self-standing transformer stations, installed power, transformer, energy losses, carbon footprint

1. UVOD

Transformatorske stanice koje su predmet ovoga referata bilo je potrebno izgraditi za potrebe proširenja elektroenergetske mreže, povećanja sigurnosti napajanja postojećih potrošača, te priključenja novih poslovnih objekata na lokaciji gdje su izgrađene. Referatom će biti obuhvaćene dvije transformatorske stanice, 1x2000 kVA izgrađena i puštena u pogon 2013. godine i transformatorska stanica 2x2000 kVA, izgrađena i puštena u pogon 2019. godine, na kojoj će biti glavni fokus.

Transformatorske stanice obuhvaćene referatom su prve takvoga tipa izgrađene na području Republike Hrvatske i predstavljaju zaokret prema nekim drugim vremenima u kojima se sve veći fokus stavlja na veću učinkovitost, kvalitetu i sigurnost opskrbe te upotrebu električne energije sukladno dobu dekarbonizacije u kojemu živimo.

2. UPUTA S OSNOVNIM GABARITIMA I SKICOM RASPOREDA OPREME ZA SAMOSTOJEĆE TRANSFORMATORSKE STANICE TS 10(20)/0,4 kV SNAGE 1(2)(3)x2000 kVA

Navedenom uputom koja je izrađena u Elektri Zagreb 2011. godine razrađena su rješenja izrade samostojećih betonskih kućišta za montažu transformatora nazivne snage 2000 kVA. Napravljeno je više varijanti u kojim je moguća ugradnja jednog, dva ili tri transformatora snage 2000 kVA, a sama primjena pojedinog rješenja bila bi uvjetovana situacijom na terenu te zahtjevima investitora u ovisnosti što se gradi.

Također uz navedenu uputu za samostojeće transformatorske stanice napravljena je uputa s osnovnim gabaritima i skicom rasporeda opreme za transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV u objektu snage 1(2)(3)x2000 kVA. Treba reći da je sve i krenulo od transformatorskih stanica u objektu sa instaliranim snagama od nekoliko megavata. Tada se pokrenula izrada upute kako bi se tipizirali tipovi transformatorskih stanica u objektu od projekta do projekta, te je izrađena uputa dala razradu nekoliko rješenja s obzirom na prostor u objektu i brojem transformatora. Stoga više nije bilo nepoznanica oko oblika i tipa transformatorske stanice u slučaju potrebe za izgradnjom nekog objekta, bilo u užem centru grada ili na samoj periferiji.

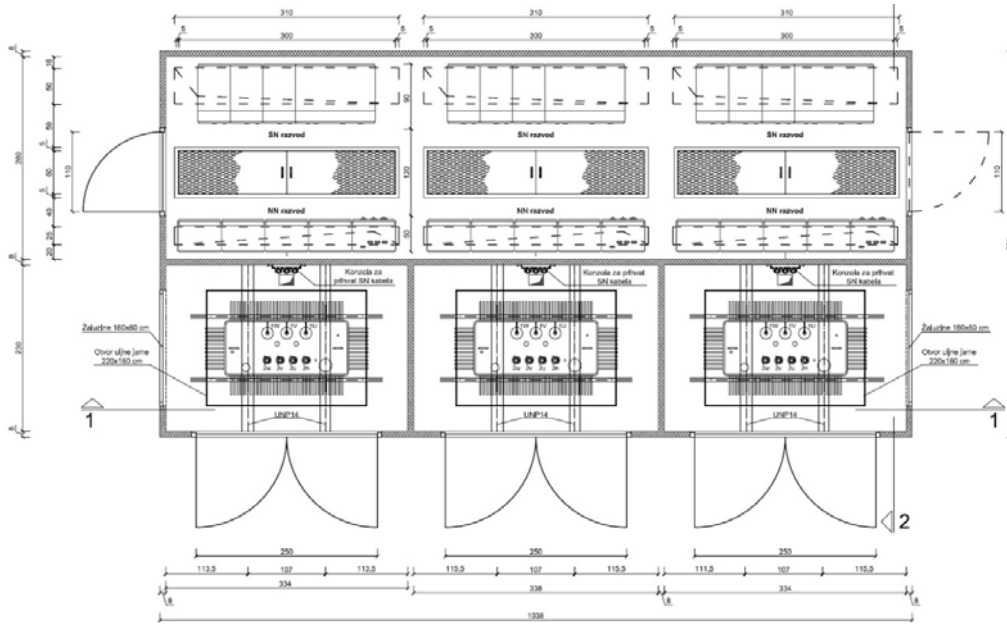
Treba napomenuti da se u samostojeće transformatorske stanice ugrađuju uljni, a u transformatorske stanice u objektu suhi transformatori. Razrađene su 3 varijante samostojećih transformatorskih stanica s obzirom na broj ugrađenih uljnih transformatora i razmještaja opreme:

- Transformatorska stanica 1x2000 kVA,
- Transformatorska stanica 1x2000 kVA,
- Transformatorska stanica 2x2000 kVA,
- Transformatorska stanica 3x2000 kVA.

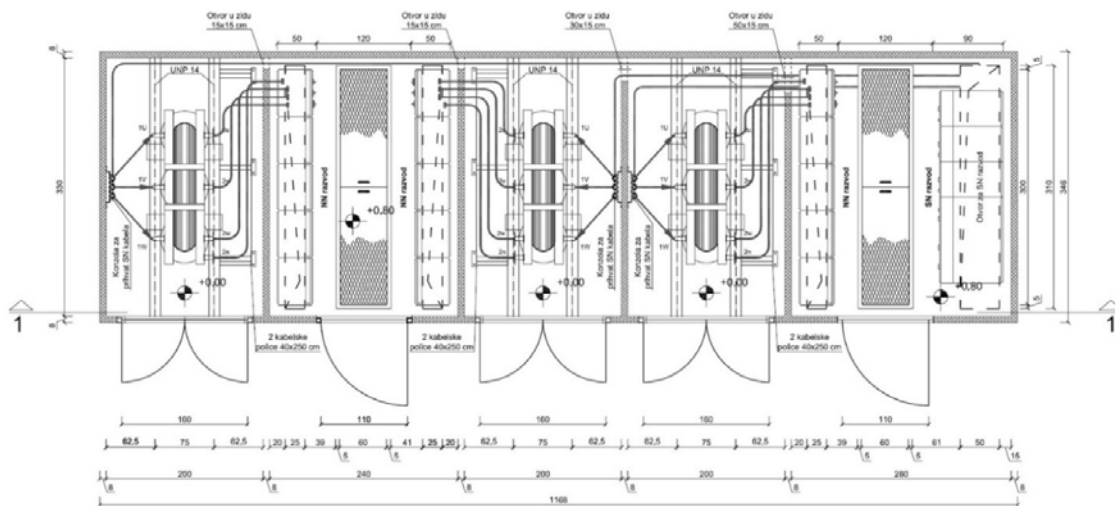
Razrađeno je nekoliko varijanti transformatorskih stanica u objektu s obzirom na broj ugrađenih suhih transformatora i razmještaja opreme u objektu:

- Transformatorska stanica 1x2000 kVA – 4 varijante,
- Transformatorska stanica 2x2000 kVA – 3 varijante,
- Transformatorska stanica 3x2000 kVA – 3 varijante.

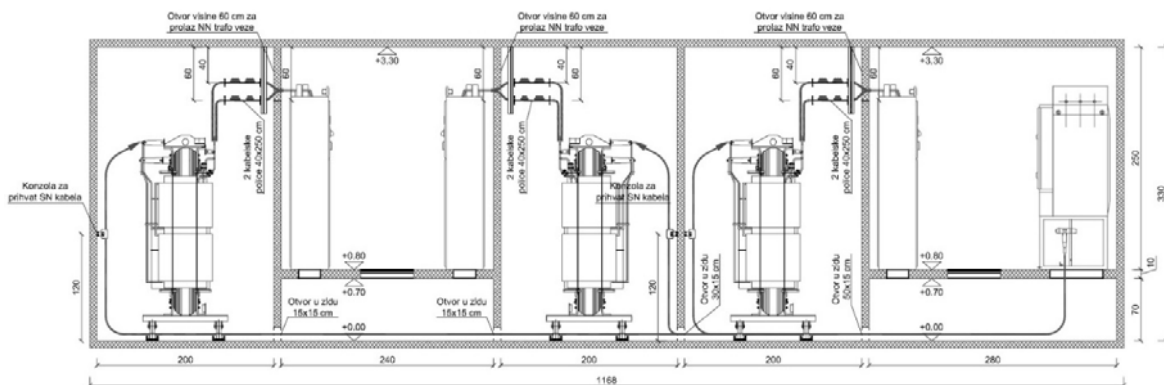
Zbog velikog broja nacрта u kojima su razrađene sve varijante izgradnje prikazane iz tlocrta, i presjeka, neće sve varijante biti prikazane u samome referatu već samo nekoliko primjera. Slika 1. prikazuje samostojeću transformatorsku stanicu 3x2000 kVA s uljnim transformatorom, dok Slika 2. i Slika 3. prikazuju transformatorsku stanicu 3x2000 kVA u objektu, sa suhim transformatorom i određenim rasporedom opreme sukladno definiranom prostoru.



Slika 1. Samostojeća transformatorska stanica 3x2000 kVA – Tlocrt



Slika 2. Transformatorska stanica u objektu 3x2000 kVA – Tlocrt



Slika 3. Transformatorska stanica u objektu 3x2000 kVA – Presjek

3. SAMOSTOJEĆA TRANSFORMATORSKA STANICA INSTALIRANE SNAGE TRANSFORMATORA OD 2000 kVA

3.1. Samostojeća transformatorska stanice 10(20)/0,4 kV instalirane snage transformatora 1x2000 kVA

Na području Elektre Zagreb 2013. godine izgrađena je transformatorska stanica za smještaj transformatora snage 2000 kVA, Slika 4. Transformatorska stanica izvedena je kao samostojeći objekt, armirano betonsko montažno kućište za smještaj električne opreme namijenjene napajanju električnom energijom naselja, poslovnih građevina i kompleksa, industrijskih postrojenja, gradilišta, sportskih objekata i slično.

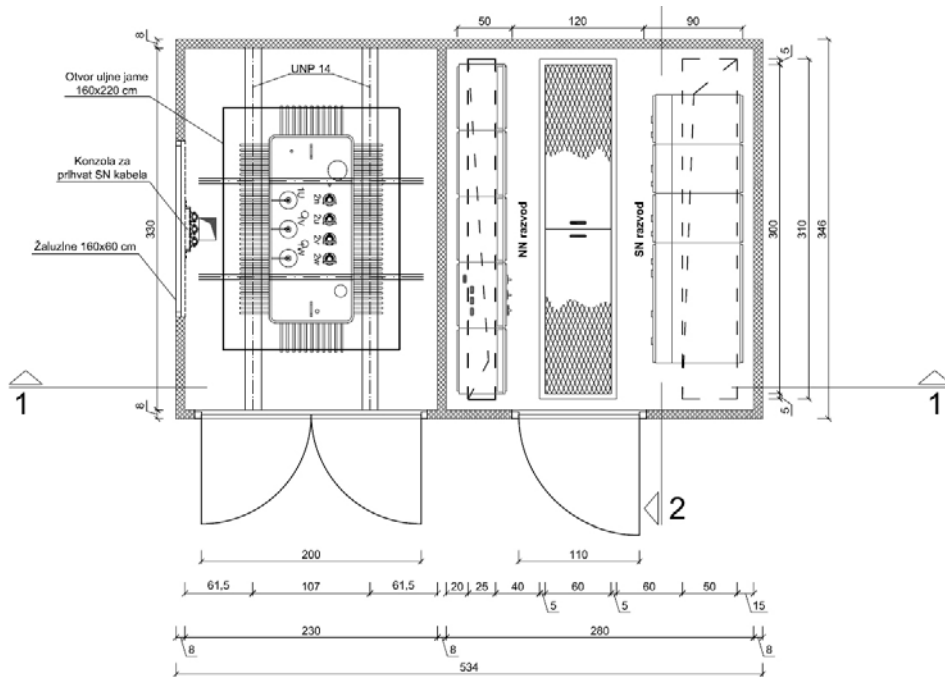


Slika 4. Samostojeća transformatorska stanica 1x2000 kVA

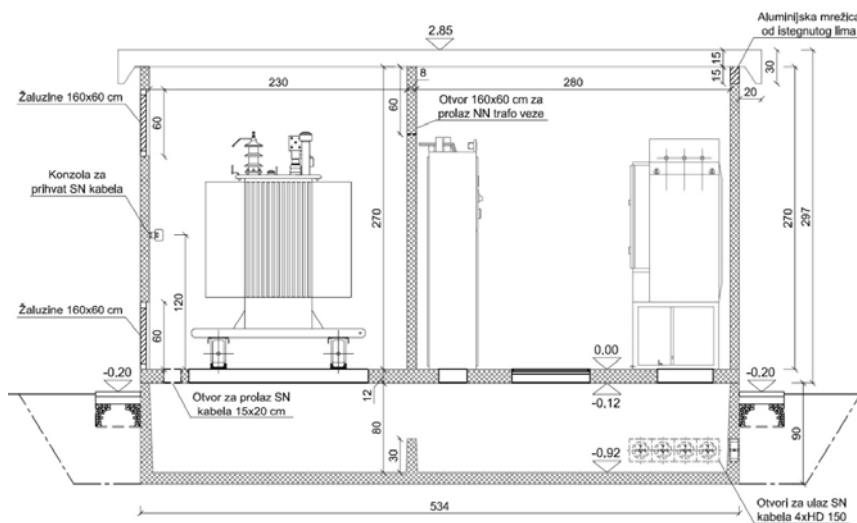
Dimenzije transformatorske stanice su 534x346 cm. Prijevoz na lokaciju nije moguć u jednom komadu poput kompaktne transformatorske stanice za smještaj transformatora snage do 1000 kVA, upravo zbog dimenzija same kućice. Montaža se obavlja po istome principu kao montaža transformatorskih stanica tipa MTS, DTS i ITS istog proizvođača, te traje do tjedan dana ovisno o vremenskim uvjetima.

Nakon obavljenih građevinskih radova i montiranja bravarije, odmah se pristupilo elektromontažnim radovima na unosu transformatora, srednjenaponskog i niskonaponskog razvoda, izradi unutrašnjeg prstena uzemljenja, rasvjete, spajanja srednjenaponskih i niskonaponskih kabela te ispitivanja opreme i same transformatorske stanice. Procedura izvođena elektromontažnih radova ista je kao i u slučajevima do sada ugrađivanih transformatorskih stanica instalirane snage pojedinog transformatora do 1000 kVA.

Na Slikama 5. i 6. prikazani su nacrti tlocrta i presjeka iz projekta samostojeće transformatorske stanice koja je izgrađena i puštena u pogon za napajanje potrošača.



Slika 5. Samostojeća transformatorska stanica 1x2000 kVA – Tloct



Slika 6. Samostojeća transformatorska stanica 1x2000 kVA – Presjek

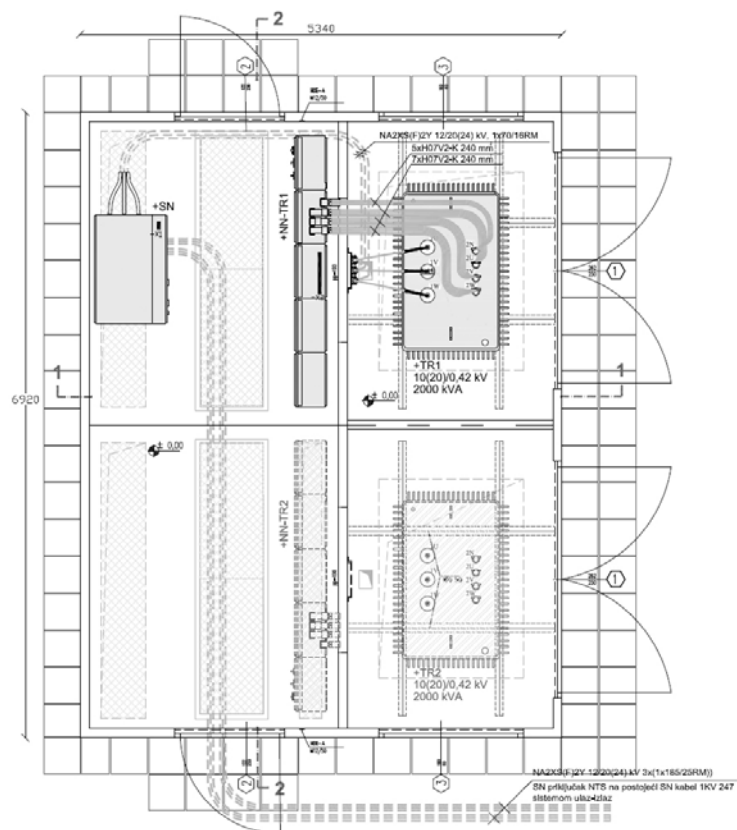
3.2. Samostojeća transformatorska stanica 10(20)/0,4 kV instalirane snage transformatora 1x2000 kVA

Na području Elektre Zagreb 2019. godine izgrađena je transformatorska stanica za smještaj dva transformatora snage 2000 kVA, Slika 7. Transformatorska stanica izvedena je na isti način kao i transformatorska stanica za smještaj jednog transformatora snage 2000 kVA.

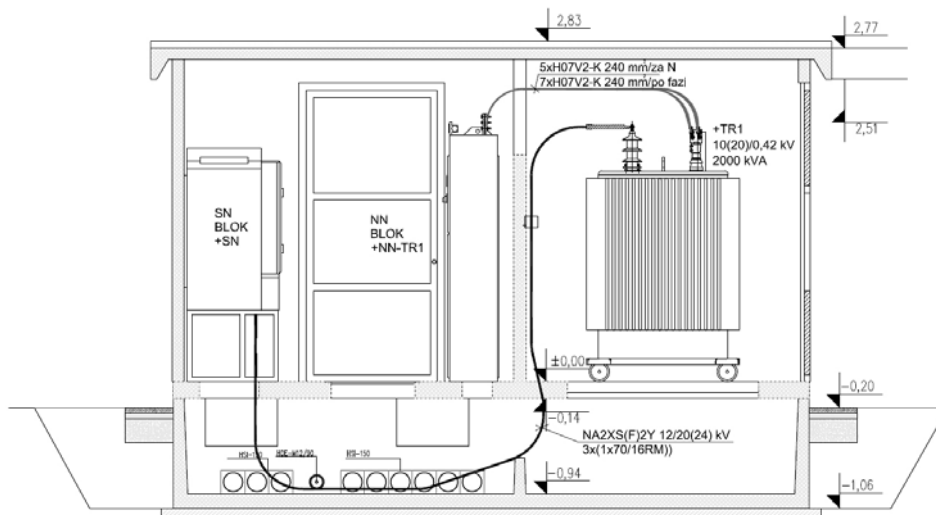
Dimenzije transformatorske stanice su 692x534 cm, visine 277-285 cm od kote poda objekta. Prijevoz na lokaciju obavljen je iz više dijelova te je montaža uslijedila na samoj lokaciji.



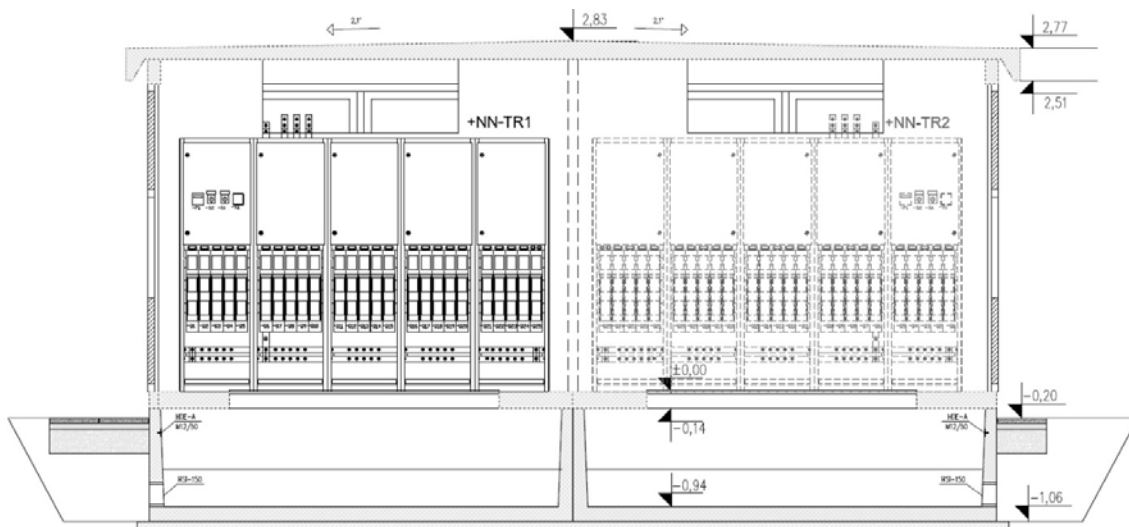
Slika 7. Samostojeća transformatorska stanica 2x2000 kVA



Slika 8. Samostojeća transformatorska stanica 2x2000 kVA – Tlocrt



Slika 9. Samostojeća transformatorska stanica 2x2000 kVA – Presjek



Slika 10. Samostojeća transformatorska stanica 2x2000 kVA – Presjek

Nakon obavljenih građevinskih radova i montiranja bravarije, odmah se pristupilo elektromontažnim radovima unutar transformatorske stanice nakon čega su položeni sredjenaponski i niskonaponski kabeli te izvršeno puštanje pod napon.

Na slikama 8., 9. i 10. prikazani su nacrti iz projekta izgrađene samostojeće transformatorske stanice instalirane snage transformatora 2x2000 kVA, iz čega se mogu vidjeti dimenzije i raspored opreme unutar stanice.

3.3. Oprema korištena u transformatorskim stanicama 10(20)/0,4 kV instalirane snage transformatora 1(2)x2000 kVA

Vežano za opremu s kojom su opremljene dvije samostojeće transformatorske stanice obrađene u referatu, navesti ćemo samo primarnu energetska opremu. Sva oprema korištena u navedenim transformatorskim stanicama je klasična tipska oprema koja se koristi u HEP-ODS, s tom razlikom da mora zadovoljiti nazivne struje transformatora od 2000 kVA.

Srednjenaponski sklopni blok tipa 2V2T, 12(24) kV, nazivne struje 630 A, izoliran plinom SF6, sa elektroničkim zaštitnim relejom i strujnim obuhvatnim transformatorima i ostalom tipskom opremom koja se nalazi u srednjenaponskim sklopnim blokovima.

Niskonaponski sklopni blok tipa NBO-25-KS-3200, nazivne struje 3200 A, s 25 izvoda s trolnim osigurač rastavnim sklopkama 660V, nazivne struje 400 A i ostalom tipskom opremom koja se nalazi u niskonaponskih sklopnim blokovima.

Trofazni energetski uljni transformator za unutrašnju montažu, nazivne snage 2000 kVA, s ugrađenim termoprotektorom, regulacijom -2x2,5, +4x2,5% u beznaponskom stanju, grupe spoja Dy5.

Srednjenaponska trafo veza izvedena je kabelima tipa NA2XS(F)2Y 12/20(24) kV, 3x(1x70/16RM) mm², s jednim kabelom po fazi, a niskonaponska trafo veza izvedena je vodičima tipa H07V2-K 240 mm² 1 kV, sa 7 žila po fazi i 5 žila za neutralni vodič.

Srednjenaponski kabeli za napajanje i puštanje transformatorske stanice u energetski prsten su tipski kabeli tipa NA2XS(F)2Y 12/20(24) kV, 3x(1x185/25RM) mm² 20 kV, a niskonaponski kabeli kojima se napajaju krajnji potrošači su tipa NA2XY-O 4x150SM + 1,5RE mm² 0,6/1 (1,2) kV.

4. PROIZVODNJA I EKSPLOATACIJA TRANSFORMATORA SA STAJALIŠTA UŠTEDE ENERGIJE, POVEĆANJA SIGURNOSTI OPSKRBE I DEKARBONIZACIJE

U navedenom podnaslovu naglasak je stavljan na transformator, a ne na transformatorsku stanicu kao cjelinu. Ta činjenica govori o tome da je upravo transformator glavna promjena s obzirom na distribucijske transformatorske stanice koje danas koristimo i najveći fokus je stavljen upravo na transformator, kada su ostali dijelovi pogotovo srednjenaponski blok isti kao i kod upotrebe transformatora manje snage.

4.1. Gabaritne dimenzije dvaju transformatora snage 1000 kVA i 2000 kVA

Analiza dvaju transformatora biti će prikazana na način da će se međusobno uspoređivati transformatori kao jedinice neovisno o različitim nazivnim snagama, a u nekim slučajevima uspoređivati će se upravo nazivne snage, pa tako će se uspoređivati jedan transformator od 2000 kVA i dva transformatora od 1000 kVA kako bi podaci bili usporedivi.

Analizom tvorničkih podataka sa ispitnih listova korištenih transformatora, dolazimo do zaključka kako su dimenzije transformatora 2000 kVA značajno veće, a pogotovo njegova težina koja je više nego dvostruko veća od težine transformatora snage 1000 kVA.

Slični podaci su i za težinu ulja koja je više nego dvostruko veća za transformatora snage 2000 kVA, što je logično pošto se radi o dvostrukoj većoj snazi transformatora i dimenzijama kotla kojeg treba ispuniti uljem. Da bi proveli analizu potrebne količine ulja moramo za usporedbu uzeti promatranu transformatorsku stanicu, na način da uzmemo dva transformatora snage 2000 kVA naprema četiri transformatora snage 1000 kVA. Usporedbom potrebne količine ulja za četiri transformatora snage 1000 kVA, naprema dva transformatora snage 2000 kVA, dobivamo da je za četiri transformatora manje snage potrebno 8,3% manje količina ulja u kilogramima nego za dva transformatora veće snage od 2000 kVA.

4.2. Gubitci transformatora snage 1000 kVA i 2000 kVA

Analizirajući ukupne gubitke transformatora dolazimo do činjenice da su ukupni gubitci dvaju transformatora novo izgrađene transformatorske stanice s instaliranom snagom dva transformatora snage 2000 kVA, manji za 15% naprema transformatorskoj stanici iste instalirane snage ali s izvedbom od četiri transformatora snage 1000 kVA. Dobiveni podaci nisu zanemarivi sa stajališta uštede odnosno rasipanja energije i povećanja učinkovitosti.

Promatrajući situaciju u budućnosti gdje neće doći do smanjenja potrošnje električne energije već naprotiv, taj oblik energije će višestruko nadmašiti potrošnju naspram drugim oblicima energije kao što su nafta, plin, ugljen i drugi oblici energije, a pogotovo zbog činjenice što će doći do povećanjem broja električnih vozila, a samim time i rasta broja električnih punionica, takve uštede nisu zanemarive. U takvome scenariju ovakav tip transformatorskih stanica biti će nužno potreban u urbanim sredinama gdje je prostor veliki luksuz, a tražena količina električne energije jako velika.

Ukoliko uzmemo da u Hrvatskoj postoji više od 250 punionica za električna vozila, a 900 benzinskih postaja, a uzmemo da na tim benzinskim postajama imamo instaliranih 5 punjača za električna vozila, s tim da jedan DC punjač ima snagu 100 kW, dolazimo do brojke da je ukupna instalirana snage svih punjača oko 500 MW, a vršno opterećenje Hrvatske iznosi 3.200 MW. Znači dolazimo do povećanja vršnog opterećenja za 15% u slučaju kada broj električnih vozila bude velik i kada nastupi nekontrolirano punjenje u bilo kojem trenutku. Polazeći od te činjenice, broj punionica električnih vozila će s vremenom sve više rasti i one će biti sve većih snaga nego što trenutno jesu. Ako krenemo od pretpostavke da će sva potrebna energija za razvoj društva i za ostvarenje ovih ciljeva biti dostupna, doći će do povećanja maksimalnog (vršnog) opterećenja Hrvatskog EES koje se kreće od 3.200 MW (zabilježeno 2012. godine). Pretpostaviti ćemo da smo riješili problem vršnog opterećenja i osigurali potrebnu količinu električne energije, međutim pojavljuje se pitanje kako tu količinu energije dovesti na određene lokacije pogotovo u urbanim sredinama.

4.3. Strategija HEP-a i prelazak na naponsku razinu 20 kV

Za realizaciju postavljenih ciljeva nužan je brzi zaokret u pogledu distribucijske mreže na kojoj će biti najveći pritisak kako vrijeme bude prolazilo. Tu se treba okrenuti prijelazu mreže s naponske razine 10 kV na naponsku razinu 20 kV, što je ujedno i strateški projekt HEP-a, koji omogućuje dvostruko povećanje propusnosti mreže te četverostruko smanjenje gubitaka i pada napona u mreži. Od 1976. godine kada je postavljena strategija razvoja distributivne mreže kojom se ukida 10 i 30(35) kV napon i prelazi sa postojećeg četveronaponskog distribucijskog sustava 110/35/10/0.4 kV na tronaponski 110/20/0.4 kV, 20 kV napon u razdjelnoj mreži dobio je svoj puni značaj. Na temelju prelaska na naponsku razinu 20 kV, sredinom 80-ih godina HEP donosi stratešku odluku o ugradnji srednjenaponskih postrojenja najvišeg napona opreme 24 kV i izgradnji vodova (nadzemnih i kabela) za nazivni napon 20 kV, bez obzira na neposredni pogonski napon od 10 kV. U tom smislu grade se nove pojne točke srednjenaponske mreže s takozvanom izravnom transformacijom 110/10(20) kV s pogonskim naponom na strani niže naponske razine ovisnim o pripremljenosti i pogonu mreže.

Dobiveni rezultati studija ukazivali su na brojne pogodnosti od kojih su najvažnije:

- Smanjenje broja transformacija,
- Smanjenje gubitaka električne energije i snage,
- Povećanje prijenosne moći postojećih vodova,
- Manja zauzetost prostora (manje lokacija za postrojenja i trasa za vodove),
- Olakšano održavanje postrojenja i vodova.

Ukoliko se nadovežemo na strategiju HEP-a o prelasku na naponsku razinu 20 kV i ukidanja jedne transformacije 30(35) kV, dolazimo do smanjena gubitaka uslijed transformacije te do mogućnosti isporuke velike količine energije na uskom urbanom području i to sve praktički napajanjem sa jednog vodnog polja pojne transformatorske stanice 110/20 kV. Uštede su vidljive na svakom koraku ovakve implementacije počevši od troškova opreme, izgradnje transformatorskih stanica gdje nema više potrebe za gradnjom dvije duple transformatorske stanice sa četiri transformatora snage 1000 kVA, zatim do smanjenja troškova održavanja i tehničkih gubitaka u mreži. Smanjuje se i broj potrebnih lokacija i otkupa zemljišta za izgradnju transformatorskih stanica što u urbanim sredinama nije zanemariv trošak pogotovo kada se gleda sa stajališta da na određenim lokacijama nije uopće moguće pronaći lokaciju koja će zadovoljiti sve potrebe, a neovisno o tome koliko je investitor spreman platiti to zemljište.

Najveće uštede u startu postižu se prelaskom na naponski nivo 20 kV te izgradnjom transformatorskih stanica 110/20 kV umjesto 110/35/(10) kV, gdje u sljedećem koraku izbacujemo naponski nivo i transformatorske stanice 35 kV koje su većinom u ruralnim sredinama iste snage kao transformatorska stanica obrađena referatom, a razlika u vremenu i troškovima izgradnje je veća i do nekoliko puta naprema transformatorskoj stanici 2x2000 kV.

Navedena snaga od 2x2000 kVA u predstavljenoj distribucijskoj transformatorskoj stanici je zapravo ukupna snaga kojom radi transformatorska stanica, u kojoj nije potrebno zadovoljavanje kriterija sigurnosti n-1 koji se ne primjenjuje na niskonaponsku mrežu, te su oba transformatora u pogonu i maksimalno iskorištena.

4.3. Ugljični otisak (engl. carbon footprint - CFP)

Proizvođač upotrijebljenih transformatora izradio je studiju ugljičnog otiska (engl. carbon footprint – CFP) za transformatore koji su im bili zanimljivi sa stajališta unapređenja proizvodnje i s činjenicom kako bi bili u korak s globalnim trendom smanjenja emisije stakleničkih plinova što je u skladu s direktivama i uredbama Europske unije. Ugljični otisak proizvoda obično se izračunava kao zbroj ukupnih emisija stakleničkih plinova (engl. greenhouse gas – GHG) emitiranih u svakoj fazi životnog ciklusa proizvoda izračunavanjem njegovih emisija, a zatim pretvaranje te brojke u ekvivalentnu količinu emisije CO₂ (CO_{2e}). Studija služi kao vlastita referenca za sve buduće promjene u procesu proizvodnje izabranih transformatora u cilju smanjenju emisije stakleničkih plinova. Na ovaj način izradom ugljičnog otiska, tvrtka postiže čistije proizvode i procese, konkurentsku prednost na tržištu i poboljšanu platformu koja će udovoljiti potrebama promjenjive poslovne klime.

Procjena životnog ciklusa (engl. Life Cycle Assessment – LCA), kao i ugljični otisak (engl. carbon footprint – CFP) zajedno s utjecajem proizvoda na okoliš, u skladu je sa normom ISO 14067: 2018. Procjena životnog ciklusa (LCA) je metoda za kvantificiranje utjecaja pojedinih proizvoda na okoliš, a uzet je u obzir cijeli životni ciklus, počevši od proizvodnje sirovina, do konačnog odlaganja proizvoda ili recikliranja materijala u skladu s tim. Kao mjera za postizanje ovih ciljeva pojavila se ideja o razvoju mehanizma za izračun emisije ugljika koji bi vizualizirao emisiju CO₂. Životni ciklus proizvoda ovisi o mnogim čimbenicima kao što su vađenje sirovina, prerada materijala, proizvodnja dijelova, montaža, transport, upotreba i održavanje proizvoda te kraj vijeka trajanja (odlaganje i recikliranje), Slika 11.



Slika 11. Životni ciklus proizvoda

Ugljični otisak naziv je za ukupnu količinu stakleničkih plinova koji se emitiraju u svim aktivnostima vezanim uz životni vijek proizvoda, od ekstrakcije sirovine, transporta sirovina, proizvodnje proizvoda i njegove eksploatacije pa do konačnog zbrinjavanja. Pri izračunu ugljikovog otiska definira se takozvani ekvivalent ugljika CO_{2e}, koji uključuje doprinos povećanju svih stakleničkih plinova svedenih na kilograma CO₂, obično za razdoblje od godine dana. Kako imamo više tipova studija koji računaju ugljični otisak odnosno više metodologija izrade, možemo imati različite rezultate koji nisu za međusobno uspoređivanje jer se radi o različitim metodologijama izrade. Studija ugljičnog otiska može se provesti prema nekoliko vrsta metodologije procjene životnog ciklusa.

- Od koljevke do vrata, engl. Cradle-to-gate,
- Od koljevke do groba, engl. Cradle-to-grave,
- Od koljevke do koljevke, engl. Cradle-to-cradle.

Veći ugljični otisak pojedinog transformatora može se objasniti njegovom većom masom što znači više upotrijebljenih materijala. Međutim ta činjenica nije uglavnom ispravna jer na rezultate studije utječu i drugi faktori koji uzimaju u obzir transport i potrošnju energije pri proizvodnji transformatora i drugi faktori, stoga je logičan zaključak da se manje emisije stakleničkih plinova ispusti u atmosferu pri proizvodnji,

transportu i eksploataciji jednog transformatora makar i dvostruke snage nego dva transformatora manjih snaga. Pri izračunavanju emisija CO_{2e} po kilogramu materijala upotrijebljenog za transformatore, dobiveni su rezultati od približno 3.7 do 4.0 kg CO_{2e} po kilogramu upotrijebljenog materijala, ovisno o tipu i snazi transformatora.

Transformatori se proizvode sa okruglim, ovalnim i pravokutnim namotajima. Oblik namotaja definiran je konstrukcijom koja može izdržati sile koje nastaju prilikom kratkog spoja, a koje transformator treba izdržati. Pravokutni namotaji koriste se kod transformatora manjih snaga gdje su manje sile jer su manje struje i naprezanja koja nastaju pri kratkom spoju. Ovalni namotaji se u pravilu koriste kod transformatora nazivnih snaga do 1000 kVA gdje se to može konstrukcijski riješiti da sile koje nastaju pri kratkom spoju ne dovedu do uništenja transformatora. Današnje konstrukcijsko rješenje je u skladu s dostupnim tehnologijama i materijalima, a da cijenom bude konkurentno na tržištu. Transformatori s okruglim namotajima su za najveće snage gdje pri kratkom spoju nastaju najveće sile naprezanja namotaja. Sami oblik namotaja u obliku kružnice odnosno valjka, ima prirodne predispozicije za ravnomjernu raspodjelu sila po namotaju te na taj način čuvajući namotaj od oštećenja.

Studijom ugljičnog otiska dobiveni su rezultati da je 8% manje emisije CO_{2e} za jedan transformatora snage 2000 kVA s ovalnim namotajima naprema dva transformatora snage 1000 kVA isto s ovalni namotajima. Da ne bi bilo zabune, uzeta su dva transformatora snage 1000 kVA kako bi nazivna snaga uspoređivanih transformatora bila ista. Ako proširimo dobivene rezultate na transformatorsku stanicu instalirane snage transformatora 2x2000 kVA i usporedimo je sa transformatorskom stanicom u kojima se nalaze četiri instalirana transformatora snage 1000 kVA, dolazimo da smanjenje emisije CO_{2e} od 16%.

Studijom je pokazano da je ukupni doprinos procesa na proizvodnom mjestu 2% na ukupno dobiven rezultat emisije CO_{2e}. Mjere za smanjenje ugljičnog otiska proizvoda obuhvaćenih istraživanjem mogu se provesti na nekoliko načina. Jedan od načina je utjecaj na proizvodni proces (dizajn ili razvoj proizvoda, alternativni materijali). Cilj proizvođača je smanjenje utjecaja proizvodnje na rezultat studije ugljičnog otiska. Drugi način smanjenja je kroz nabavu materijala, jer ostalih 98% ukupnog ugljičnog otiska je doprinos dobavljača materijala. Ove mjere poboljšanja mogu se provesti na način da se komunicira s dobavljačima s visokim doprinosom CO₂ koji proizvode u svom proizvodnom proces, na primjer energija proizvedena na konvencionalan način mogla bi se zamijeniti nekim oblikom obnovljive energije. Jedan od načina je zahtijevati od dobavljača da koriste novija vozila prilikom transporta robe do proizvođača (norme EURO 5, EURO 6). Ponuditi dobavljačima spremnika da kupuju sirovine proizvedene u lučnim pećima (koje koriste veliki sadržaj sirovina iz sekundarnih izvora - reciklirane), a ne u peći za konverziju (veliki sadržaj sirovina iz primarnih izvora), i stoga usvoje plan nabave koji koristi dobavljaču koji nabavlja veliki sadržaj sirovina iz sekundarnih izvora. U konačnici da se materijali kupuju od dobavljača sa što manjim ukupnim ugljičnim otiskom. Uz sve navedene opcije ne smije se zanemariti ni opcija sadnja stabala jer drveće i zelene biljke uzimaju ugljični dioksid za fotosintezu i na taj način smanjuju emisiju CO₂. Zasađena stabla ne samo da smanjuju stakleničke plinove već imaju i drugu široku korist za društvenu zajednicu. Nove analize pokazuju da u postojećim svjetskim parkovima, šumama i napuštenom zemljištu ima dovoljno prostora da se zasađi 1,2 bilijuna dodatnih stabala koja bi imala kapacitet skladištenja CO₂ da bi se ukinulo desetljeće emisije ugljičnog dioksida.

5. ZAKLJUČAK

Elektra Zagreb kao najveće distribucijsko područje HEP-ODS-a, prva je započela izgradnju samostojećih transformatorskih stanica instalirane snage do 2000 kVA. Izgradnjom ovakvog tipa transformatorskih stanica s ugrađenim transformatorima snage 2000 kVA, dolazi do ušteda s obzirom na cijenu izvedbe i povezivanja opreme, a i samog održavanja jer u konačnici imamo sve za jedan broj manje u odnosu na duplu transformatorsku stanicu s instaliranom snagom 2x1000 kVA.

Valja napomenuti da izvođenjem ovakva dva projekta podižemo ljestvicu s obzirom na distribucijske transformatorske stanice te se nameće pitanje što bržeg prelaska na naponski novi 20 kV. Prelaskom na naponski nivo 20 kV automatski eliminiramo naponski nivo 30(35) kV s čime postižemo skroz drugačiju konfiguraciju mreže i ostvarujemo značajna uštede. Ako zanemarimo uštede dolazimo od činjenice da sa stajališta projektiranja, ishoda dozvola, izvođenja i puštanja u pogon, zatim zaštite okoliša te sutra održavanja i upravljanja, možemo izraditi tehno-ekonomsku analizu isplativosti cijelog projekta, te na temelju dobivene analize i donesenog desetogodišnjeg plana može se odabrati neki pravac usmjerenja i energetske strategije tvrtke, a tako i države.

Kako živimo u doba sve veće potrošnje energije na globalnoj razini, uvode se mjere za povećanjem učinkovitosti, uštede energije, zaštite okoliša, dekarbonizacije i smanjenju emisije CO₂, te što većoj upotrebi obnovljivih izvora energije. Europska Unija je usmjerena u cilju zaštite okoliša i dekarbonizacije te uvođenjem što većeg broja električnih automobila koji zahtijevaju stanice za punjenje električnom energijom.

Izgradnjom transformatorske stanice instalirane snage 2x2000 kVA naprema transformatorskoj stanici iste instalirane snage ali upotrebom četiri transformatora snage 1000 kVA, postizemo značajnu uštedu u gubicima električne energije od 15%. Dodamo li tome smanjenje emisije CO₂ upravo zbog upotrebe manjeg broja transformatora većih snaga, dolazimo do zaključka da je primijenjeno rješenje u korak s politikom Europske Unije, te da u budućnosti treba sve više raditi na novim rješenjima koja dovode do povećanja efikasnosti, učinkovitosti te dekarbonizacije.

6. LITERATURA

- [1] I. Jurić: Uputa s osnovnim gabaritima i skicom rasporeda opreme za samostojeće transformatorske stanice, Prijedlog tipizacije TS 10(20)/0,4 kV snage 1x2000 kVA, 2x2000 kVA, 3x2000 kVA, Zagreb, veljača 2011.
- [2] I. Jurić: Uputa s osnovnim gabaritima i skicom rasporeda opreme za transformatorske stanice u objektu, Prijedlog tipizacije TS 10(20)/0,4 kV snage 1x2000 kVA, 2x2000 kVA, 3x2000 kVA, Zagreb, veljača 2011.
- [3] M. Šulc: Idejni projekt transformatorske stanice TS 10(20)/0,4 kV, 1x2000 kVA za ishođenje lokacijske dozvole, Zagreb, ožujak 2013.
- [4] M. Šulc: Elektrotehnički projekt transformatorske stanice TS 10(20)/0,4 kV, 2x2000 kVA, oznake NTS 1212 PB Hoteli, Zagreb, listopad 2018.
- [5] V. Šerkinić, M. Majić Renjo, V. Ucović, CO₂ footprint for distribution oil immersed transformers according to ISO 14067:2018, 5th International Colloquium Transformer Research and Asset Management, Opatija, listopad 2019.
- [6] I. Jurić: Punionice električnih vozila i utjecaj na distribucijsku mrežu, Ekonomika naprednih energetske sustava i mreža, Zagreb, veljača 2020.