

Nenad Švarc
Institut za elektroprivredu i energetiku d.d., Zagreb
nenad.svarc@ie-zagreb.hr

Miroslav Krepela
EXOR d.o.o., Zagreb
mkrepela@exor.hr

POTREBA, TEHNIČKI UVJETI I ANALIZA OPRAVDANOSTI PRIMJENE TRANSFORMATORA 1x2000 kVA U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI ELEKTRE ZAGREB

SAŽETAK

U radu su obrazloženi potreba, svrhovitost primjene i tehnički preduvjeti za tipizaciju transformatorskih stanica 10(20)/0,4 kV snage 1x2000 kVA. Specificirana su osnovna tehnička rješenja za projektiranje odnosno izgradnju samostojećih transformatorskih stanica i transformatorskih stanica u objektu. Osim prijedloga građevinskog rješenja i specifikacije zahtjeva na električnu opremu uključujući i uljni ili suhi transformator, sadržane su i osnove utjecaja na okoliš (zaštita od buke i neionizirajućeg zračenja, indirektna emisija stakleničkih plinova). Usporedba pogonskih troškova (pokrića gubitaka u transformaciji i indirektnih troškova emisija stakleničkih plinova) tijekom životnog vijeka za varijante transformacije 2x1000 kVA i 1x2000 kVA potvrđuje opravdanost tipizacije i primjene predmetnih transformatorskih stanica u poslovno-trgovačkim centrima i urbanim gradskim središtima.

Ključne riječi: transformatorska stanica, tipizacija, idejni projekt, tehnički uvjeti, transformator, gubici, troškovi

THE NEED, TECHNICAL CONDITIONS AND RATIONALE FOR THE APPLICATION OF 1x2000 kVA TRANSFORMERS IN THE DISTRIBUTION NETWORK OF ELEKTRA ZAGREB

SUMMARY

The paper describes the need, rationale and technical conditions for the typing of substations 10(20)/0.4 kV, rated power 1x2000 kVA. The basic technical solutions are specified for the design and construction of conventional distribution substations as well as indoor substations is presented. In addition to the proposed design solution and specifications of requirements for electrical equipment and associated oil immersed or dry transformer, the basic of environmental impacts are comprised (noise and non-ionizing radiation protection, indirect greenhouse gases emissions). The comparison of operating costs (coverage of transformation losses and indirect greenhouse gas emission costs) over the life cycle for the variants 2x1000 kVA and 1x2000 kVA justifies the typing and application of these stations in business-urban shopping malls and city centers.

Key words: substation, typing, preliminary design, technical conditions, transformer, losses, costs

1. UVOD

Trajna potreba povećanja efikasnosti gospodarenja u procesu planiranja razvoja i izgradnje te pogona i održavanja distribucijskih sustava je temeljna odrednica planiranja poslovanja HEP-ODS d.o.o. na početku 21. stoljeća. U suglasju sa standardima Europske unije i usklađenom regulativom RH, HEP-

ODS d.o.o. nastoji povećati sigurnost opskrbe i razinu kvalitete napajanja distribucijskog konzuma te smanjiti gubitke u distribucijskim mrežama diljem Republike Hrvatske. Globalizacija gospodarstva, promjena udjela pojedine kategorije u strukturi kupaca i proces intenzivne urbanizacije velikih gradova su temeljne značajke koje potiču opravdanost višekriterijskih tehničko-ekonomskih analiza radi mogućnosti primjene novih rješenja u djelatnosti distribucije električne energije.

Premda prosječna opterećenost transformacije 10(20)/0,4 kV ukazuje na visoku rezervu u predmetnoj transformaciji, posljednjih godina je učestalija izgradnja velikih poslovno-trgovačkih i ostalih objekata javne namjene s transformatorima veće jedinične snage. Visoka opterećenja pojedinih transformatora snage 1000 kVA i problemi s osiguranjem prostora u urbanim područjima iniciraju analizu opravdanosti primjene transformatora 10(20)/0,4 kV veće jedinične snage (1600 ili 2000 kVA).

Opravdanost primjene transformatora veće snage za nove velike centre multinacionalnih kompanija ili udruženih investitora (poslovno-trgovačke zone) u RH opravdava se sljedećim činjenicama:

- a) Poteškoće u osiguranju lokacija za nove transformatorske stanice u urbanim područjima;
- b) Zahtjevi na ubrzanje pripreme izgradnje i cjelovito planiranje infrastrukture za nove poslovne centre i poduzetničke zone (pristupne ceste, vodoopskrba i odvodnja, plinovod, elektroenergetska i termoeenergetska postrojenja, TK-sustavi, parkirališta i/ili garaže);
- c) Zahtjevi na racionalizaciju troškova održavanja uz povećanje zahtjeva na kvalitetu opskrbe električnom energijom;
- d) Mogućnost uštede na veličini prostora za TS 10(20)/0,4 kV unutar poslovnih objekata, odnosno smanjenje troškova zauzeća poslovnog ili skladišnog prostora radi primjene manjeg broja transformatorskih jedinica veće snage;
- e) Mogućnost energetski efikasnijeg iskorištenja transformatora veće snage u odnosu na transformatore manje snage (ukupno manji gubici praznog hoda, primjena energetski efikasnijih rješenja i materijala u transformaciji električne energije, indirektna ušteda uslijed smanjenja troškova za dodatne kvote emisija stakleničkih plinova);
- f) Veće mogućnosti racionalnijeg održavanja predmetnih transformatorskih stanica radi primjene manjeg broja transformatora za jednaku ukupnu instaliranu snagu uz mogućnost osiguranja dovoljne rezerve u transformaciji i za izvanredne okolnosti (neraspoloživost korištenja prirodnog plina ili toplinske energije za potrebe grijanja);
- g) Promjenom dinamike života u urbanim područjima te proširenjem opsega poslovnih, trgovačkih i ostalih uslužnih djelatnosti u velikim centrima povećava se gustoća opterećenosti (posjećenosti) specifičnih višenamjenskih objekata uz potrebu osiguranja dodatnih usluga, dostatnih parkirališnih prostora ili podzemnih garaža te kvalitetne osvijetljenosti šireg područja predmetnih centara.

2. NORMATIVI I ZNAČAJKE OPTEREĆENOSTI OBJEKATA OPĆE NAMJENE

2.1. Normativi vršnih opterećenja i značajke opterećenosti kategoriziranih kupaca u Zagrebu

Revitalizacijom i rekonstrukcijom skupine starijih objekata u užoj gradskoj jezgri posljednjih godina nastoji se izvršiti prenamjena sadržaja danas manje atraktivnih i infrastrukturno neriješenih raspoloživih prostora za potrebe različitih poslovno-uslužnih djelatnosti (administrativne institucije, trgovina i usluge, objekti za potrebe kulturološko-obrazovnih aktivnosti, podzemne garaže). Potaknuti ograničenošću raspoloživog adaptiranog prostora i optimiziranjem namjene skupih poslovno-uslužnih prostora u gradskoj jezgri, nastoji se infrastrukturna postrojenja ugraditi u manje atraktivne (podzemne) prostore.

Također u središtima velikih gradova, planira se izgradnja zamjenskih građevina veće namjenske površine, odnosno zahtijeva se racionalnije korištenje raspoloživog poslovno-skladišnog prostora za potrebe infrastrukturnih postrojenja. Predmetni objekti su u pripremi izgradnje ili se grade praktički u središtima velikih gradova Republike Hrvatske. U centru Zagreba isti se realiziraju kao višetažni objekti s tridesetak katova iznad i do 5 katova ispod razine zemlje (približno 30.000 m²). Primjenom normativa iz tablice I. procijenjeno vršno opterećenje iznosi između 3 i 4 MW s primjenom ostalih infrastrukturnih sustava i postrojenja za kondicioniranje prostora (grijanje i hlađenje) te pripremu ogrjevnog topline i sanitarne vode (CTS, plinski sustav, kotlovnice).

Tablica I. Normativi opterećenja objekata opće namjene bez grijanja el. energijom [1]

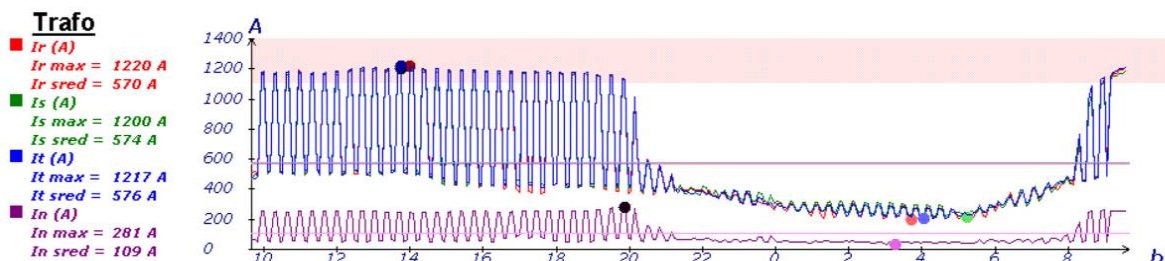
Namjena objekta	Vršno opterećenje
Trgovački centri	120 W/m ²
Poslovno uslužni objekti	120 W/m ²
Ugostiteljstvo	110 W/m ²
Vrtići, jaslice	60 W/m ²
Obrazovne ustanove	40 W/m ²
Bolnice	1200 W/soba
Hoteli - visoka kategorija	1500 W/soba
Hoteli - srednja kategorija	1200 W/soba
Kampovi	500 W/mjesto
Marine	500 W/vez

Veliki trgovački centri na periferiji Zagreba (30.000-40.000 m²) su slične površine kao i poslovni neboderi u centru grada, odnosno očekivano vršno opterećenje je između 3,5 i 4,5 MW uz faktor istodobnosti 1. U izvanrednim potrebama zagrijavanja predmetnih objekata električnom energijom (nestašica plina ili problem s toplinskim sustavom) moguće je povećanje vršnog opterećenja za približno 2 MW.

2.2. Značajke opterećenja u izgrađenim poslovno-trgovačkim objektima

Dosadašnje pogonsko iskustvo potvrđuje visoku opterećenost poslovno-trgovačkih ili ostalih objekata javne namjene tijekom ljetnog razdoblja sa značajnijim udjelom klimatizacije, rashladnih uređaja i ostalih električnih uređaja tijekom veće dnevne posjećenosti. U nastavku je analizirano visoko vršno opterećenje novih poslovno-trgovačkih centara za karakteristično dnevno ljetno razdoblje (slika 1.) te karakteristična sezonska opterećenja (slika 2.) [2].

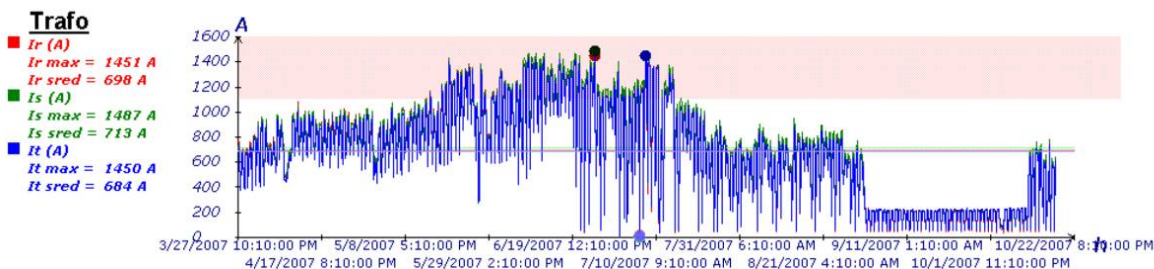
Trafostanica br: 1TS2113 Oznaka: SOLIDUM Adresa: Velimira Škorpika bb
 Transformator: 1 - Sn = 1000 kVA Un = 0.42 kV In = 1375 A
 Period mjerenja: 7/18/2006 9:40:00 AM -- 7/19/2006 9:40:00 AM (TOPAS)



Slika 1. Dnevni dijagram opterećenja za 1TS 2113 SOLIDUM, 18.07.2006.

Registrirana vršna opterećenja transformatora 10(20)/0,4 kV u poslovno-trgovačkim objektima potvrđuju da su moguća visoka opterećenja ili preopterećenja transformatora od 1000 kVA tijekom ljetnog razdoblja, te ista se pojavljuju u ranim poslijepodnevni satima. Pojava vršnog opterećenja u različitim danima tjedna potvrđuje značajan utjecaj temperaturnih okolnosti na vjerojatnost pojave visokog faktora istodobnosti, odnosno pojave vršnog opterećenja u trgovačko-poslovnim centrima (slika 2.).

Trafostanica br: 1TS2226 Oznaka: CITY CENTAR ZAGREB Adresa: Ljubljanska avenija, Jankomir
 Transformator: 1 - Sn = 1000 kVA Un = 0.42 kV In = 1375 A
 Period mjerenja: 3/27/2007 11:10:00 AM -- 10/22/2007 9:00:00 AM (DIOS)



Slika 2. Sezonski dijagram opterećenja 1TS 2125 CITY CENTAR, 27.03.–22.10.2007.

Prethodno prikazani (izmjereni) podaci potvrđuju opravdanost analize primjene transformatora veće snage 10(20)/0,4 kV za potrebe budućih poslovno-trgovačkih centara i poduzetničkih zona.

3. PRIMJENA TRANSFORMATORA 10(20)/0,4 kV VEĆE SNAGE U INOZEMSTVU I EU

Reference Končar D&ST [3] potvrđuju da su transformatori 10(20)/0,4 kV snage 2000 kVA instalirani u Švedskoj, Finskoj, Belgiji, Njemačkoj, Švicarskoj, Austriji, Sloveniji i Grčkoj te u zemljama izvan Europe: Egipat, Nigerija, Indija, Saudijska Arabija i UAE. Također reference EMO Ohrid [3] potvrđuju isporuku transformatora 1600 kVA, 2000 kVA i 2500 kVA u Dansku, Srbiju, Grčku, Tursku, Irak, Jordan, Nigeriju. Prema informacijama iz Austrije (Siemens AG), 140 distributera električne energije (20 velikih) koristi preko 1000 transformatora snage 2000 kVA. U Sloveniji se također koriste transformatori 2000 kVA, a najčešće ih koriste Mercator i Petrol. Prema podacima ESBI, Irska je također isporučila značajniji broj transformatora snage 2000 kVA u Dansku, Finsku i Jordan. Prema referencama "Schneider Electric Industrie SAS-france trafo" [3] također je zamjetna ugradnja distribucijskih transformatora veće snage u poslovno-trgovačkim centrima i administrativnim objektima (tablica II.).

Tablica II. Reference Schneider Electric u poslovno-trgovačkim centrima [4]

Država	Naziv objekta i namjena	Broj i jedinična snaga transformatora	Nazivni naponi transformatora
Francuska	PB12 tower, Poslovni centar	6; 1250 do 1500 kVA	SN: 20 kV NN: 0,41 kV
Mađarska	Westend Gare, Poslovno-trgovački centar	16; 1600 kVA	SN: 11 kV NN: 0,42 kV
Rusija	Kremlin, Upravno-administracijski neboder	9; 1600 kVA	SN: 13,2 kV NN: 0,42 kV
Turkmenistan	Gas & Oil Depatm., Upravno-administracijski neboder	9; 1250 do 1600 kVA	SN: 10 kV NN: 0,40 kV
Venecuela	Metropolis, Poslovni centar	8; 2500 kVA	SN: 13,8 kV NN: 0,48 kV

Prethodni podaci o primjeni transformatora 10(20)/0,4 kV veće snage (iznad 1000 kVA) potvrđuju opravdanost planiranja instalacije većih transformatora i tipizacije TS 10(20)/0,4 kV, 1×2000 kVA, u distribucijskoj mreži HEP-ODS d.o.o.

4. PRIJEDLOG RJEŠENJA ZA IZGRADNJU SAMOSTOJEĆE TS 10(20)/0,4 kV, 1x2000 kVA

Osnova za razmatranje koncepta novog idejnog rješenja je postojeće tipsko rješenje kompaktne betonske transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV, 1×1000 kVA, tip KTS 12(24)-1000-Z [4], [5], koje se primjenjuje na distribucijskom području Elektre Zagreb. U daljnjem tekstu će se kao radna oznaka nove tipske samostojeće transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV, 1×2000 kVA, koristiti tip KTS 12(24)-2000.

4.1. Idejno rješenje građevinskog dijela samostojeće stanice TS 10(20)/0,4 kV, 1x2000 kVA

Građevinski dio samostojeće transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV, 1x2000 kVA, tip KTS 12(24)-2000, sastoji se od dva osnovna dijela: armiranobetonskog kućišta i armiranobetonskog temelja izvedenog kao kompaktna, vodonepropusna kada [5]. Tlocrtne dimenzije objekta su 328×515 cm, što je dovoljan prostor za smještaj transformatora snage do 2000 kVA, te sklopnihi blokova srednjeg i niskog napona. Pristup pojedinim dijelovima opreme osiguran je posebnim ulazima u transformatorski dio, odnosno u dio za smještaj postrojenja srednjeg i niskog napona. Građevinski dio je koncipiran tako da je moguće sklapanje pojedinihi dijelova u kompaktnu cjelinu u tvornici, te prijevoz niskopodnim transporterom čitavog objekta na zadanu lokaciju (specijalni transport), ili montaža na licu mjesta. Međusobna veza armature kućišta i temelja ostvaruje se brtvenim uvodnicama HDE-A M12/50.

Objekt transformatorske stanice se postavlja na vodoravnu betonsku podlogu debljine do 10 cm, izvedenu betonom C12/15 u građevinskoj jami s isplaniranim dnom. Konstruktivna dubina temeljenja objekta izvodi se na koti - 0,80 m računajući od kote uređenog okolnog terena ($\pm 0,00$ m). Ova dubina temeljenja omogućuje visinsku razliku između okolnog terena i gotovog poda objekta od + 0,20 m. Izvođenjem betonske ploče minimalne debljine 10 cm podložnim betonom C12/15 osigurava se uredna montaža i ravnomjernost nalijeganja, te se objekt može temeljiti i na terenu minimalne nosivosti 50 kN/m². Krov, zidovi i podna ploča izvedeni su kao tvornički predgotovljeni armiranobetonski elementi, s armaturom B500B, izvedeni u čeličnoj oplati betonom C25/30. Debljina zidova je 8 cm, s glatkim unutarnjim plohamo obojenim bijelom disperzivnom bojom, te vanjskim plohamo obrađenim pranim kulirom. Vrata i ventilacijske žaluzine izrađeni su od eloksiranog aluminija. Zvučna izolacija potrebna radi smanjenja emisije buke transformatora na propisima definiranu vrijednost izvodi se u tvornici.

4.2. Opis tehničkog rješenja električnog dijela samostojeće stanice TS 10(20)/0,4 kV, 1x2000 kVA

Transformatorska stanica KTS 12(24)-2000 namijenjena je za napajanje velikih potrošača na niskonaponskoj razini. Objekt transformatorske stanice je izveden jednovolumno. Predviđen je za ugradnju uljnog energetskog transformatora snage do 2000 kVA, srednjenaponskog sklopnog bloka (engl. kratica RMU – Ring Main Unit) s jednim transformatorskim i dva ili tri vodna polja (1T+2V; 1T+3V) i niskonaponskog postrojenja s jednim transformatorskim dovodom i 20 odvoda uz mogućnost proširenja do 30 odvoda. Transformatorski prostor odvojen je od ostalog dijela sklopnim blokovima postrojenja 0,4 kV. Ugradnja srednjenaponskog sklopnog bloka predviđena je nasuprot niskonaponskom postrojenju. Prostor uz srednjenaponsko postrojenje je predviđen za ugradnju dodatnog niskonaponskog sklopnog bloka s pet odvoda i ormara daljinskog upravljanja.

Između postrojenja niskog i srednjeg napona je poslužni hodnik čija širina treba biti ≥ 1200 mm (Pravilnik o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V). Dispozicija transformatorske stanice prikazana je na slici 3. Uzemljenje transformatorske stanice predviđeno je kao združeno, tj. radno i zaštitno uzemljenje spojeno je na zajednički uzemljivač.

Ventilacija transformatorske stanice, poglavito transformatorskog prostora i hlađenje transformatora, predviđena je prirodnom cirkulacijom zraka kroz otvore sa žaluzinama na obim vratima i bočnom zidu transformatorskog prostora, te otvoru ispod krovne ploče. Svi otvori trebaju biti zaštićeni mrežicom s otvorima dimenzija 3×3 mm. U ekstremnim slučajevima opterećenja treba koristiti prisilnu ventilaciju.

Po pitanju zaštite od buke sredine u kojoj žive i borave ljudi, objekt transformatorske stanice i ugrađeni transformator trebaju biti izvedeni tako da nakon smještaja u prostoru i mjerenja razine buke u pogonu, nisu prekoračene vrijednosti zadane Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (NN 20/03). Ciljana najviša dopuštena razina buke mjerena izvan transformatorske stanice na udaljenosti 3,5 m treba biti ≤ 35 dB(A) (Granska norma N.012.01: Tehnički uvjeti za TS 10(20)/0,4 kV 630 kVA – kabelska izvedba, Bilten HEP-a br. 16/92).

Transformatorska stanica treba biti tako izvedena da u pogledu razine elektromagnetskih polja ne predstavlja opasnost za okolinu u kojoj borave i rade ljudi, sukladno Pravilniku o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 204/03).

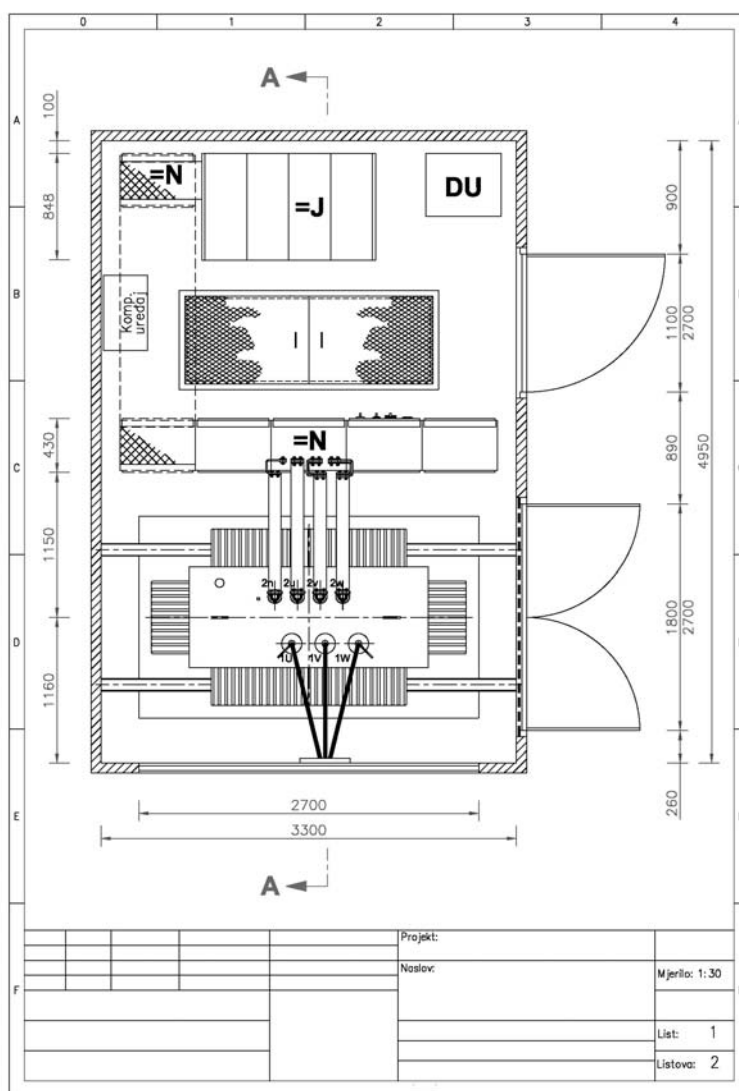
Srednjenaponsko postrojenje čini kompaktni, samostojeći, plinom SF₆ izolirani sklopni blok odnosno distribucijska sklopna aparatura (engl. Ring Main Unit ili skraćeno RMU) za unutrašnju montažu, sukladno normama IEC 62271-200 i IEC 60694. Spojni vod između transformatora i srednjenaponskog razvoda predviđen je tipiziranim jednožilnim 20 kV kabelima s aluminijskim vodičima, tip XHE49-A 3×(1×70/16 mm²), priključenim na sklopni blok natičnim konektorima, a na transformator kabelskim završecima s vijčanim priključkom kabelske stopice na provodne izolatore.

Niskonaponsko postrojenje izvedeno je kao tipizirani, tvornički dogotovljeni i ispitani sklopni blok. Sklopni blok je slobodnostojeći, za pričvršćivanje na betonski pod. U osnovnoj varijanti je sastavljen od četiri polja s ukupno 20 odvoda, a moguće ga je proširiti s dva dodatna polja po 5 odvoda.

Priključak transformatora na niskonaponsko postrojenje predviđen je strujnim mostom za nazivnu struju 3200 A i nazivnu kratkospojnu struju 50 kA.

Transformator je trofazni, uljni, s hermetički zatvorenim kotlom, bez konzervatora, hlađen prirodnom cirkulacijom zraka kroz otvore sa žaluzinama na vratima i zidu komore i ispod krovne ploče, zaštićene mrežicom s otvorima dimenzija 3×3 mm.

Kompensaciju jalove snage praznog hoda transformatora treba izvesti ugradnjom odgovarajućeg kondenzatora. S obzirom na mrežno tonfrekventno upravljanje (MTU) signalom frekvencije $f_{MTU} = 283,3$ Hz, koje se koristi u mreži Elektro Zagreb, kondenzatori mogu uzrokovati prigušenje razine signala na iznos manji od vrijednosti odziva MTU prijamnika. Preporučene snage kondenzatora za kompensaciju jalove snage transformatora [6] kreću se u rasponu od 3 do 10% njihove nazivne snage. Snaga kompenzacijskih uređaja koji su predviđeni za ugradnju u KTS 12(24)-2000 iznosi 98 kvar.



Slika 3. Dispozicija transformatorske stanice KTS 12(24)-2000

Transformator je od preopterećenja i kratkog spoja zaštićen primarnim i sekundarnim zaštitnim uređajima. Najveće dopušteno povećanje temperatura ulja u najvišem sloju je 60 K, a namota 65 K. Primarna zaštita transformatora od preopterećenja predviđena je kontaktnim termometrom s dva stupnja prorade (85°C i 95°C) s izbornom preklopkom. Sekundarna zaštita transformatora od kratkog spoja i preopterećenja na SN strani predviđena je specijalnim mikroprocesorskim nadstrujnim zaštitnim relejom

priključenim na strujne transformatore u SN sklopnom bloku. Sve zaštite djeluju na isključivanje vakuumske prekidača u transformatorskom polju srednjenaponskog sklopnog bloka.

Osim ručnog, moguće je i daljinsko upravljanje svakim od aparata, čime je omogućena automatizacija upravljanja srednjenaponskim postrojenjem transformatorske stanice. Za tu svrhu sklopnim aparatima prigraduju se elektromotorni pogoni za napinjanje sklopne opruge, elektromagnetski okidači za daljinsko sklapanje prekidača i rastavnih sklopki, te signalne sklopke na svim aparatima. Zavisno o namjeni i mjestu ugradnje transformatorske stanice u mreži, daljinsko upravljanje nije uvijek nužno.

Granična vrijednost magnetskog polja (32 A/m), zadana za područje povećane osjetljivosti, bit će prisutna na udaljenosti cca 1,33 m od sabirnica, odnosno u području zida transformatorske stanice. Dodatne mjere zaštite u takvom slučaju nisu potrebne, što treba potvrditi mjerenjem nakon završetka montaže. Isto tako nisu potrebne dodatne mjere za zaštitu od električnog polja, s obzirom da je njegova jakost u području zida transformatorske stanice manja od dozvoljene za područje povećane osjetljivosti.

5. PRIJEDLOG RJEŠENJA ZA IZGRADNJU TS 10(20)/0,4 kV, 1x2000 kVA, SMJEŠTENE U OBJEKTU

5.1. Idejno rješenje građevinskog dijela TS 10(20)/0,4 kV, 1x2000 kVA, smještene u objektu

Radi smanjenja požarnog rizika na minimum, treba koristiti suhi umjesto uljnog transformatora. S obzirom na instaliranu snagu i potrebe hlađenja transformatora, poželjno je prostor transformatorske stanice pozicionirati na sjeveroistočni ugao objekta u koji je ugrađena.

Konfiguracija transformatorske stanice u objektu ostaje ista kao za tipsku samostojeću KTS 12(24)-2000, uz razliku da treba biti dimenzionirana za ugradnju suhog transformatora snage do 2000 kVA.

Transformator je opremljen kotačima s protuvibracijskom podmetačima (vibroizolatorima) i smješten je u transformatorski prostor na dva nosača (tračnice) UNP 10 koji trebaju biti dimenzionirani za opterećenje masom od min. 3000 kg (masa transformatora iznosi oko 5100 kg : 2 = 2550 kg). Poslužni hodnik oko transformatora treba dimenzionirati za opterećenje masom od min. 5 kN/m².

Na prostoru transformatorske stanice su predviđena dvokrilna vrata za ulaz u prostor transformatora, te jednokrilna vrata za ulaz u prostor postrojenja srednjeg i niskog napona. S unutrašnje strane ulaza u prostor transformatora, s ciljem zaštite od slučajnog dodira dijelova pod naponom, treba postaviti propisno označenu zaštitnu letvu s pločom upozorenja.

Visina do stropa prostorije zavisi o veličini transformatora, te treba iznositi barem 500 mm iznad gornjeg ruba najvišeg priključka. Za transformator 2000 kVA, visina od gornjeg ruba tračnice (ili podloge za prigušenje vibracija) do stropa treba biti barem 3000 mm. Projektom je predviđena visina prostorije od 3200 mm, uključivo visinu tračnice. S obzirom na smještaj u poslovnim objektima, izvedba prostora transformatorske stanice treba spriječiti proširenje požara i širenje plinova, koji se posljedično razvijaju, na ostali dio građevine.

5.2. Opis tehničkog rješenja električnog dijela TS 10(20)/0,4 kV, 1x2000 kVA, smještene u objektu

Oprema srednjeg i niskog napona, sekundarni sustav zaštite, upravljanja i signalizacije te kompenzacije u potpunosti su identični opremi za samostojeću KTS 12(24)-2000, opisanu u prethodnom poglavlju.

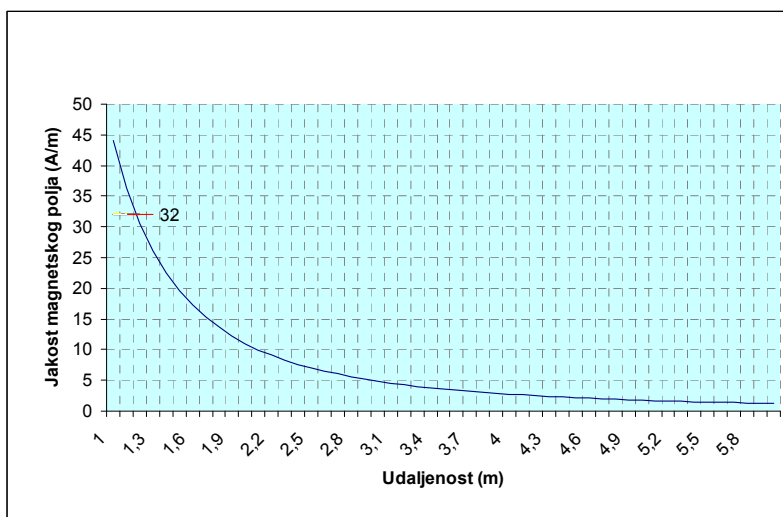
Transformator je trofazni, suhi, hlađen prirodnom cirkulacijom zraka. Primarna zaštita transformatora od preopterećenja predviđena je kontaktnim termometrom s pokazivačem maksimuma u srednjoj fazi, te termičkom zaštitom s bimetalima B11 (145°C i 155°C) u svim fazama.

Ventilacija transformatorske stanice, poglavito transformatorskog prostora, predviđena je prirodnom cirkulacijom zraka kroz otvore sa žaluzinama na obim vratima i bočnom zidu transformatorskog prostora, za koji je poželjno da bude smješten na sjevernoj strani objekta. Svi otvori trebaju biti zaštićeni mrežicom s otvorima dimenzija 3×3 mm. U slučaju da se prirodnom ventilacijom ne mogu zadovoljiti uvjeti hlađenja transformatora, treba koristiti dodatnu prisilnu ventilaciju.

Po pitanju zaštite od buke sredine u kojoj žive i borave ljudi, prostor transformatorske stanice i ugrađeni transformator trebaju zadovoljiti iste uvjete kao za samostojeću KTS 12(24)-2000, opisane u poglavlju 4.2. Eventualnu potrebu za dodatnom zvučnom izolacijom (izvedenom oblaganjem zidova i vrata mikrostaklenim vlaknima, odnosno mineralnom vunom ili nekim drugim odgovarajućim materijalom), treba definirati u fazi izrade građevinskog projekta.

Transformatorske stanice mogu, sukladno klasifikaciji Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskog polja (NN 204/03), predstavljati izvor niskofrekventnog elektromagnetskog polja, ako im statičko magnetsko polje prelazi razinu iz navedenog Pravilnika, odnosno: $H \geq 80 \text{ A/m}$; $B \geq 100 \mu\text{T}$. Uz nazivno opterećenje transformatora jedinične snage 2000 kVA ($I_{0,4}=2752 \text{ A}$), jakost magnetskog polja i gustoća magnetskog toka na udaljenosti 1 m iznose: $H = 44 \text{ A/m}$; $B = 55,3 \mu\text{T}$ [8].

Izračunate vrijednosti manje su od dozvoljenih za područje profesionalne izloženosti, ali veće od dozvoljenih u području povećane osjetljivosti. Budući da se može očekivati da i izmjerene vrijednosti budu istog reda veličine, što je više od 10% iznosa granične vrijednosti za pojedino područje, prema ranije navedenoj definiciji, transformatorska stanica snage 2000 kVA predstavlja značajan izvor elektromagnetskog polja. Jakost magnetskog polja naglo slabi s udaljenosti od njegovog izvora (slika 4.).



Slika 4. Jakost magnetskog polja u ovisnosti o udaljenosti od njegovog izvora

Iz dijagrama je vidljivo da će jakost magnetskog polja poprimiti iznos manji od 10% granične vrijednosti na udaljenosti 2,4 m od izvora za područje profesionalne izloženosti, odnosno približno 3,8 m za područje profesionalne osjetljivosti. S ciljem smanjenja jakosti magnetskog polja u području povećane osjetljivosti do udaljenosti 1,4 m od izvora, trebat će primijeniti mjere za njegovo otklanjanje. Jedna od mogućih mjera je oklapanje niskonaponskih sabirnica ili kablenskog priključka metalom velike magnetske vodljivosti kao što je npr. legura CO-NETIC AA. Prigušeno magnetsko polje na udaljenosti 500 mm od strujnog mosta imat će vrijednost $H \approx 2,8 \text{ A/m} \ll 32 \text{ A/m}$ i $< 3,2 \text{ A/m}$ [7]. Problematiku potrebe oklapanja niskonaponskog priključka treba razmotriti za svaki pojedini slučaj i temeljem mjerenja jakosti magnetskog polja u kritičnim točkama donijeti odluku o načinu izvedbe.

Proračun električnih polja industrijske frekvencije provodi se računalnim postupkom, metodom konačnih elemenata. Istraživanja radne grupe međunarodne organizacije CIGRÉ potvrdila su da je jakost električnog polja oko transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV znatno ispod propisanih graničnih vrijednosti [8].

6. USPOREDBA UKUPNIH TROŠKOVA U ŽIVOTNOM VIJEKU ZA TRANSFORMACIJE 2x1000 kVA I 1x2000 kVA

6.1. Usporedba troškova pokrića gubitaka za varijante s uljnim i suhim transformatorima

Analiza gubitaka u varijantama 2x1000 kVA (A–varijanta) i 1x2000 kVA (B-varijanta) i njihovih posljedičnih troškova temelji se na deklariranim podacima o nazivnim gubicima u transformatorima iz kataloga Končar D&ST [4]. Za proračun gubitaka pretpostavljeno je pet (5) varijanti dnevnog dijagrama opterećenja s pretpostavljenim trajanjem 12-satnog višeg i 12-satnog nižeg opterećenja. Prosječna opterećenost transformatora je između 26,6% (V5) i 50,0% (V1). Troškovi pokrića gubitaka u transformaciji temelje se na proračunu gubitaka i cijeni električne energije za velike kupce na SN razini u RH. Rezultati proračuna gubitaka [7] sadržani su u tablici III. za uljne i tablici IV. za suhe transformatore.

Tablica III. Usporedba troškova gubitaka u transformaciji, uljni transformatori

Varijante	Više/nije opterećenje (kW)	Razlika $VX_A - VX_B$ (kn/40 god.)	Prijedlog transformacije (kVA)
$V1_A - V1_B$	1600/400	178.000	1×2000
$V2_A - V2_B$	1400/400	140.000	1×2000
$V3_A - V3_B$	1200/300	107.000	1×2000
$V4_A - V4_B$	1000/200	78.000	1×2000
$V5_A - V5_B$	900/200	66.000	1×2000

Tablica IV. Usporedba troškova gubitaka u transformaciji, suhi transformatori

Varijante	Više/nije opterećenje (kW)	Razlika $VX_A - VX_B$ (kn/40 god.)	Prijedlog transformacije (kVA)
$V1_A - V1_B$	1600/400	170.000	1×2000
$V2_A - V2_B$	1400/400	154.000	1×2000
$V3_A - V3_B$	1200/300	152.000	1×2000
$V4_A - V4_B$	1000/200	119.000	1×2000
$V5_A - V5_B$	900/200	116.000	1×2000

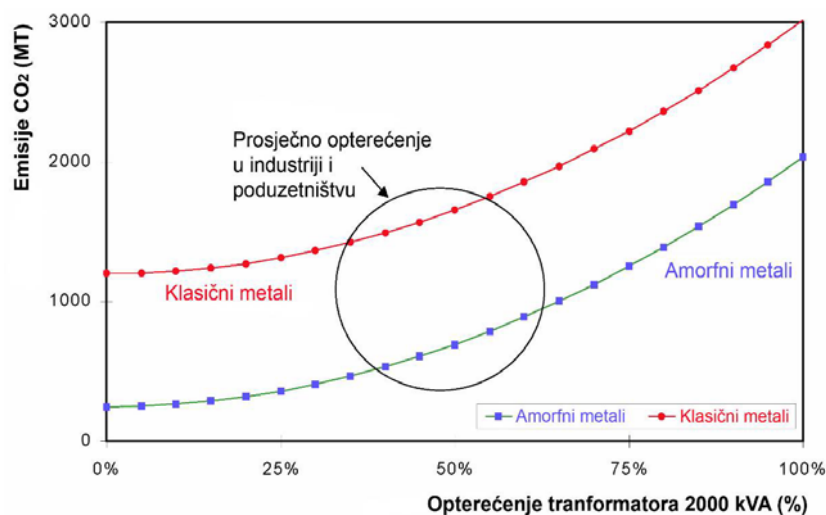
U svim varijantama za analizirana opterećenja povoljnija je primjena transformacije 1×2000 kVA. Kod uljnih transformatora pri višim opterećenjima ušteda za 40-godišnje razdoblje je veća od nabavne cijene jednog uljnog transformatora snage 1000 kVA, dok se kod suhih transformatora predmetna ušteda približava nabavnoj cijeni jednog suhog transformatora snage 1000 kVA.

6.2. Usporedba indirektnih troškova emisija za varijante s uljnim i suhim transformatorima

Izbor transformatora za predmetne TS 10(20)/0,4 kV direktno utječe na visinu troškova za pokriće gubitaka u transformaciji, a visina predmetnih gubitaka indirektno utječe na troškove odnosno naknade radi emisije stakleničkih plinova. Emisija stakleničkih plinova izražava se u ekvivalentnoj toni CO₂. Uvažavajući strukturu postojećih elektrana u EU, za proizvodnju 1 kWh električne energije očekuje se produkt emisije ekvivalentnog CO₂ u iznosu 0,4 kg [8]. Uz današnju prosječnu cijenu emisije od 17€/toni CO₂ te poznate iznose gubitaka u transformaciji za varijante uljnih i suhih transformatora, za pretpostavljeni četrdesetogodišnji životni vijek transformatora, moguće je odrediti doprinos izbora transformacije u TS 10(20)/0,4 kV na indirektno troškove radi emisija stakleničkih plinova. Na slici 5. prikazana je ovisnost emisija stakleničkih (antropogenih) plinova u ovisnosti o opterećenju transformatora nazivne snage 2000 kVA [9] za dvije varijante metala za izgradnju jezgri transformatora.

Slika 5. pokazuje da prosječno opterećenje predmetnih transformatora u industriji i poduzetništvu iznosi između 35% i 60% nazivne snage, slično ovdje pretpostavljenom opterećenju za proračun gubitaka u predmetnoj transformaciji.

U strukturu ukupnih pogonskih troškova (gubici + emisije), direktni troškovi za pokriće gubitaka su 89% ukupnih pogonskih troškova, dok preostalih 11% čine indirektni troškovi emisija stakleničkih plinova [8].



Slika 5. Prosječno opterećenje transformatora 10(20)/0,4 kVA snage 2000 kVA [10]

6.3. Usporedba ukupnih pogonskih troškova za varijante s uljnim i suhim transformatorima

Temeljem izračuna troškova za pokriće ukupnih gubitaka za obje varijante transformacije (2x1000 kVA i 1x2000 kVA) i obje izvedbe transformatora (uljni i suhi), te posljedičnih indirektnih troškova radi emisija stakleničkih plinova uzrokovanih gubicima u transformaciji, u tablici V. sadržani su ukupni pogonski troškovi (gubici + emisije) za predmetne TS 10(20)/0,4 kV.

Pri višim opterećenjima (V1, V2) izražena je razlika ukupnih pogonskih troškova u korist uljnih transformatora, odnosno ukupni pogonski troškovi u slučaju primjene suhih transformatora su približno 100.000 kn viši od varijante s uljnim transformatorima (tablica V.).

U varijantama nižih opterećenjima (V4, V5) izraženija je razlika ukupnih pogonskih troškova u korist uljnih transformatora, odnosno ukupni pogonski troškovi u slučaju primjene suhih transformatora su od 200.000 kn do 240.00 kn viši od varijante s uljnim transformatorima (tablica V.).

Tablica V. Ukupni troškovi (gubici + emisije) za uljne i suhe transformatore snage 2000 kVA

Varijanta	Troškovi gubitaka za uljne transfor. 40 g. (10 ⁶ kn)	Troškovi emisija za uljne transfor. 40 g. (10 ⁶ kn)	Ukupni troškovi za uljne transfor. 40 g. (10 ⁶ kn)	Troškovi gubitaka za suhe transfor. 40 g. (10 ⁶ kn)	Troškovi emisija za suhe transfor. 40 g. (10 ⁶ kn)	Ukupni troškovi za suhe transfor. 40 g. (10 ⁶ kn)
V1 _A	1,463	0,175	1,638	1,548	0,186	1,734
V1 _B	1,285	0,154	1,438	1,378	0,166	1,544
V2 _A	1,199	0,146	1,344	1,291	0,157	1,448
V2 _B	1,059	0,128	1,187	1,137	0,138	1,275
V3 _A	0,962	0,116	1,077	1,236	0,149	1,385
V3 _B	0,855	0,103	0,957	1,084	0,130	1,214
V4 _A	0,767	0,091	0,857	0,992	0,118	1,110
V4 _B	0,689	0,082	0,770	0,873	0,103	0,976
V5 _A	0,681	0,081	0,762	0,918	0,110	1,028
V5 _B	0,615	0,073	0,688	0,802	0,096	0,898

U tablici VI. uspoređene su razlike ukupnih troškova (troškovi gubitaka i naknade za emisije) između varijanti veličine transformatora za zadana opterećenja te rezultati upućuju na opravdanost izbora transformacije 1x2000 kVA, izrazito pri višim prosječnim opterećenjima.

Tablica VI. Usporedba ukupnih troškova pogona za varijante uljnih i suhih transformatora

Varijante	Razlika ukupnih troškova za uljne transfor. (kn/40 god.)	Razlika ukupnih troškova za suhe transfor. (kn/40 god.)	Prijedlog transformacije (kVA)
V _{1A} – V _{1B}	200.000	190.000	1×2000
V _{2A} – V _{2B}	157.000	173.000	1×2000
V _{3A} – V _{3B}	120.000	171.000	1×2000
V _{4A} – V _{4B}	87.000	134.000	1×2000
V _{5A} – V _{5B}	74.000	130.000	1×2000

7. ZAKLJUČAK

Predložena idejna rješenja za izgradnju/rekonstrukciju TS 10(20)/0,4 kV snage 2000 kV su u suglasju s važećim propisima i pravilnicima iz područja projektiranja, izgradnje i pogona, uvažavajući i zahtjeve zaštite okoliša. Specificirani su tehnički zahtjevi i analizirana je energetska-ekonomska opravdanost povećanja jedinične snage transformatora u TS 10(20)/0,4 kV.

Za predložene varijante izgradnje, osim zahtjeva na primarnu opremu, specificirani su zahtjevi na pomoćnu i sekundarnu opremu: kompenzacija, mjerenje, zaštita i upravljanje (opcija).

Osnovna konfiguracija transformatorske stanice TS 10(20)/0,4 kV, 1x2000 kVA, koja se instalira u višenamjenskom objektu je identična konfiguraciji samostojeće stanice, ali umjesto uljnog transformatora preporučena je primjena suhog transformatora.

Posebno su valorizirani posljedični troškovi gubitaka energije u transformaciji za dva koncepta izgradnje (2x1000 kVA i 1x2000 kVA) uvažavajući 5 varijanti opterećenja predmetnih transformatora te životni vijek transformatora. Izračunati su i uspoređeni ukupni gubici u transformaciji za varijante 2x1000 kVA i 1x2000 kVA te su u troškove pogona uključeni i indirektni troškovi gubitaka uslijed naknada za emisije stakleničkih plinova. Razlika troškova za pokriće gubitaka daje značajnu prednost primjeni varijante 1x2000 kVA za uljne i za suhe transformatore jednake nazivne snage. Indirektni troškovi emisija su posljedica gubitaka u transformaciji, a procjenjuju se na dodatnih 11% troškova za pokriće gubitaka. Ukupni troškovi pogona (gubici i emisije) za uljne transformatore su niži od troškova za suhe transformatore, a na nižim opterećenjima razlika se povećava i do 25% u korist uljnih transformatora.

Temeljem usporedbe ukupnih troškova za varijante transformacije 1x2000 kVA i 2x1000 kVA, predlaže se primjena transformacije 1x2000 kVA.

LITERATURA

- [1] R. Schenner: Neki problemi planiranja niskonaponske mreže, Energija broj 2, 1995.
- [2] Elektra Zagreb: Baza podataka o opterećenju TS 10(20)/0,4 kV“, Zagreb, 2006/2007.
- [3] Reference: Končar D&ST, 2007., EMO Ohrid, Schneider Electric Industrie SAS-france trafo
- [4] Končar – Sklopna postrojenja: Glavni projekt tipske kompaktne betonske transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV, 1×1000 kVA, tip KTS12(24)-1000-z, kabelska izvedba, Elektromontažni dio, Br. projekta: 6827365, Zagreb, listopad, 2006,
- [5] Zagorje – Tehnobeton d.d.: Glavni projekt tipske kompaktne betonske transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV, 1×630 (1000) kVA, tip KTS12(24)-630(1000) kVA, kabelska izvedba, Građevinsko - arhitektonski dio, Br. projekta: 03-01/00
- [6] ERG d.o.o.: Niskonaponski uređaji za kompenzaciju jalove snage, Varaždin, 2003/2004
- [7] M. Krepela, N. Švarc, T. Cerovečki: Izrada idejnog projekta za izgradnju/rekonstrukciju TS 10(20)/0,4 kV snage 1 x 2000 kVA, Zagreb, 2009.
- [8] CIGRÉ WG 36.01: Electric Power Transmission and Environment: Field, Noise and Interference
- [9] H. De Keulenaer: Energy Saving Opportunities for transformers, Workshop, May 7, 2002.
- [10] R. Hasegawa: Energy Efficiency of Amorphous Metal Based Transformers, Tokyo, 2007.