

Dinko Hrkec, dipl.ing.el.  
HEP- Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[dinko.hrkec@hep.hr](mailto:dinko.hrkec@hep.hr)

Igor Krha, mag.ing.sec, ing.el.  
HEP- Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[igor.krha@hep.hr](mailto:igor.krha@hep.hr)

Vanja Tomašek, dipl.ing.el.  
HEP- Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[vanja.tomasek@hep.hr](mailto:vanja.tomasek@hep.hr)

Andrea Lovrinčević, dipl.nov.  
HEP- Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[andrea.lovrincevic@hep.hr](mailto:andrea.lovrincevic@hep.hr)

## AKTUALNOSTI VEZANE UZ ELEKTRIČNE RASKLOPNE UREĐAJE KOJI SADRŽAVAJU SUMPOROV HEKSAFLUORID

### SAŽETAK

HEP- Operator distribucijskog sustava d.o.o. korisnik je većeg broja električnih rasklopnih uređaja punjenih fluoriranim stakleničkim plinom - sumporovim heksafluoridom kemijske oznake SF<sub>6</sub>. Zbog puno veće dielektrične otpornosti nego što je ona zraka ili dušika, u velikoj mjeri se koristi u elektroindustriji kao plinski dielektrični medij za visokonaponske prekidače, rasklopne uređaje i drugu električnu opremu. Primjena plina SF<sub>6</sub> omogućila je značajno smanjenje dimenzija električnih postrojenja i njihovu povećanu otpornost, ali s ekološkog gledišta plin SF<sub>6</sub> je nepovoljan i ne uklapa se u zelene politike Europske unije.

Ovaj rad daje pregled aktualnosti na temu električnih rasklopnih uređaja koji sadrže plin SF<sub>6</sub>, posebno nakon donošenja nove Uredbe (EU) 573/2024. o fluoriranim stakleničkim plinovima i stavljanju izvan snage Uredbe (EU) br. 517/2014.

**Ključne riječi:** staklenički plinovi, električni rasklopni uređaji, plin SF<sub>6</sub>, Uredba (EU) 573/2024

## NEWS RELATED TO ELECTRICAL SWITCHGEAR DEVICES CONTAINING SULFUR HEXAFLUORIDE

### SUMMARY

HEP- Operator distribucijskog sustava d.o.o. uses a large number of electrical switchgears filled with fluorinated greenhouse gas - sulfur hexafluoride chemical symbol SF<sub>6</sub>. Due to its much higher dielectric resistance comparing with air or nitrogen, it is widely used in the electrical industry as a gas dielectric medium for high-voltage switches, switchgear and other electrical equipment. The use of SF<sub>6</sub> gas has made it possible to significantly reduce the dimensions of electrical installations and increase their resistance, but from an environmental point of view, SF<sub>6</sub> gas is unfavorable and does not fit into the green policies of the European Union.

This paper provides an overview of current affairs on the subject of electrical switchgear containing SF<sub>6</sub> gas, especially after the adoption of the new Regulation (EU) 573/2024. on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EU) no. 517/2014.

**Key words:** greenhouse gases, electrical switchgear, SF<sub>6</sub> gas, Regulation (EU) 573/2024

## 1. UVOD

HEP- Operator distribucijskog sustava d.o.o. korisnik je većeg broja električnih rasklopnih uređaja punjenih fluoriranim stakleničkim plinom, konkretno sumporovim heksafluoridom kemijske oznake SF<sub>6</sub>. Sumporov heksafluorid je plin bez boje i mirisa, višestruko teži od zraka, nezapaljiv i netoksičan. Vrlo je kemijski inertan te praktično ne postoji nikakva kemijska reakcija u kojoj sudjeluje.

Zbog puno veće dielektrične otpornosti nego što je ona zraka ili dušika, u velikoj mjeri se koristi u elektroindustriji kao plinski dielektrični medij za visokonaponske prekidače, rasklopne uređaje i drugu električnu opremu. Primjena plina SF<sub>6</sub> omogućila je značajno smanjenje dimenzija električnih postrojenja, a plinom izolirana postrojenja su mnogo otpornija na utjecaje zagađenja i klimatske utjecaje. Iako je po pitanju dielektričnih svojstava plin SF<sub>6</sub> jako povoljan, s ekološkog aspekta je izuzetno nepovoljan. Međunarodni odbor za klimatske promjene je ocijenio plin SF<sub>6</sub> kao najpotentniji staklenički plin s potencijalom globalnog zatopljenja 22000 puta većim od potencijala CO<sub>2</sub>, gledano u periodu od 100 godina.

Zbog ekoloških politika Europske unije bilo je za očekivati da primjena plina SF<sub>6</sub> nema budućnost i da će se težiti primjeni zamjenskih medija te razvoju jednakovrijednih uređaja s tim medijima umjesto plinom SF<sub>6</sub>. U 2024. godini donošenjem Uredbe (EU) 573/2024 o fluoriranim stakleničkim plinovima i stavljanju izvan snage Uredbe (EU) br. 517/2014 su pred proizvođače, servisere i korisnike električnih rasklopnih uređaja stavljene određene obveze te rokovi za usklađenje s odredbama vezano uz ograničenje primjene i stavljanja na tržište plina SF<sub>6</sub> te uređaja punjenih plinom SF<sub>6</sub>. U radu će se posebno sagledati dijelovi Uredbe i ostalih primjenjivih propisa s izravnim reperkusijama na održavanje postojećih električnih rasklopnih uređaja koji sadrže plin SF<sub>6</sub>, njihovo isključenje iz uporabe te nabavu novih električnih rasklopnih uređaja.

## 2. PLIN SF6

### 2.1. Osnovne karakteristike

Prema [1], plin SF<sub>6</sub> je bezbojan plin, bez mirisa, otprilike 5 puta veće gustoće od gustoće zraka pri 20 °C. Nezapaljiv je i u dodiru sa zrakom ne stvara eksplozivne smjese. Sumporov heksafluorid ne gori, a pri visokim temperaturama razgrađuje se na vrlo otrovan plin fluorovodik i okside sumpora (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>) koji jako nadražuju.

Smatra se da je sumporov heksafluorid u čistom stanju fiziološki praktički inertan, ali u velikoj koncentraciji može djelovati kao zagušljivac zbog istjerivanja kisika iz zraka. Međutim, taj plin obično sadrži i druge fluore sumpora koji se djelovanjem vode hidroliziraju u spojeve kao što su fluorovodik, trifluorid i sulfurilfluorid koji su škodljivi za zdravlje. Neposredan dodir sa strujom ekspandirajućeg plina može prouzročiti smrzavanje tkiva na mjestu dodira. Udisanje plina nadražuje sluznice nosa i grla te pluća uzrokujući kašalj i/ili kratak dah. Jače izlaganje može prouzročiti plućni edem.

### 2.2. Uobičajena primjena

Prema [2], plin SF<sub>6</sub> se dugi niz godina koristi u elektroindustriji kao plinski dielektrični medij za visokonaponske (1 kV i više) prekidače, sklopnu opremu i drugu električnu opremu. Komprimirani SF<sub>6</sub> se koristi kao izolator u plinom izoliranoj sklopnoj opremi (*gas insulated switchgear* - GIS) zbog puno veće dielektrične otpornosti nego što je ona zraka ili dušika. Ovo omogućava znatna smanjenja u fizičkoj veličini električnih postrojenja. Radi svoje visoke dielektrične otpornosti, SF<sub>6</sub> omogućava smještanje sklopne opreme u zatvorene prostore, za razliku od zrakom izoliranih postrojenja koja zauzimaju mnogo više prostora. Plinom izolirana sklopna postrojenja su mnogo otpornija na utjecaje zagađenja i klime. Samim time što je postrojenje u kontroliranim radnim uvjetima, ima duži radni vijek od običnih postrojenja. SF<sub>6</sub> također ima poželjno svojstvo "samozacjeljivanja." Iako se većina produkata raspada brzo reformira u SF<sub>6</sub>, električni luk unutar SF<sub>6</sub> može proizvesti disumporov dekafluorid, S<sub>2</sub>F<sub>10</sub>, visoko toksičan plin, sličan po svojstvima fosgenu.

Plazma SF<sub>6</sub> se također koristi u poluvodičkoj industriji i u industriji magnezija. Uspješno se koristi kao marker u oceanografiji u proučavanju miješanja plinova u vodi. Također, SF<sub>6</sub> je nusproizvod u proizvodnji aluminija.

Ima i medicinsku primjenu, koristi se kao dugotrajni tampon retinalne šupljine pri operacijama koje zahtijevaju odstranjivanje rožnice te ima funkciju kontrastnog agenta za ultrazvučne snimke. Mikro mjehurići sumporovog heksafluorida u otopini se ubrizgavaju u periferalnu venu. Ovi mikro mjehurići poboljšavaju vidljivost krvnih zrnaca na ultrazvuku. Ova metoda se, između ostalog, koristi za proučavanje vaskularnih tumora.

Plinoviti SF<sub>6</sub> se često koristi za kratkotrajne eksperimente učinkovitosti ventilacije velikih zgrada, njihove izoliranosti i mjere vanjskih utjecaja. SF<sub>6</sub> se koristi za te svrhe iz više razloga: koncentracije SF<sub>6</sub> je vrlo lako izmjeriti, čak i pri vrlo niskim koncentracijama. Također, Zemljina atmosfera sadrži zanemarive količine SF<sub>6</sub>. Zbog njegove vrlo velike gustoće (5 puta teži od zraka), potrebno je primijeniti posebne metode miješanja.

## 2.3. Ekološki aspekt

CO<sub>2</sub> je najvažniji staklenički plin, prirodno prisutan u atmosferi, ali pojačan ljudskom uporabom fosilnih goriva, glavni je uzročnik klimatske krize. No, CO<sub>2</sub> nije jedini plin koji prijeti klimi Zemlje; međunarodni sporazumi obuhvaćaju niz drugih plinova, uključujući umjetnu grupu fluoriranih (F) plinova.

Efekt staklenika objašnjen u [3] - od tim pojmom podrazumijeva se razlog upotrebe staklenika u poljoprivredi koji nam omogućuju proizvodnju ratarskih kultura u razdoblju kad to u otvorenom uzgoju za vrijeme hladnijih mjeseci (jesen/zima/rano proljeće) ne bi bilo moguće zbog smrzavanja biljaka ili njihovog presporog rasta. Staklenik koji predstavlja objekt natkriven staklom ili prozirnim najlonom ima funkciju zadržavanja topline i održavanja unutarnje temperature i sprječavanje prekomjernog hlađenja staklenika grijanog unutarnjim izvorom topline i/ili sunčevim zračenjem izvana. Govoreći o Zemlji i njenom omotaču, atmosferi koja je sačinjena od različitih plinova uočljiv je vrlo sličan efekt opisanom efektu staklenika koji ovdje nije rezultat fizičke barijere već upravo postojanja tih plinova u atmosferi koji se stoga nazivaju staklenički plinovi.

Da nema prirodnog efekta staklenika ne bi ni bilo života na zemlji. Plinovi koji se nalaze u sastavu zemljine atmosfere propuštaju toplinski dio spektra dozračene Sunčeve energije. Ta toplinska energija dijelom se apsorbira u tlo, vodu (more) i atmosferu, a dijelom se odbija od tla i vode i reflektira se prema svemiru gdje zbog efekta staklenika dio biva propušten prema van (svemiru), a dio se zadržava u atmosferi. Glavni sastojci atmosfere su kisik (približno 21% volumenski) i dušik (približno 79% volumenski) uz ostale plinove u vrlo malim koncentracijama (što sve zajedno mora u zbroju dati 100%). Među njima se nalaze i staklenički plinovi isto tako, važno je naglasiti, u malim koncentracijama. Među najvažnijim plinovima koji se prirodno nalaze u atmosferi, i koji apsorbiraju dugovalno zračenje Zemlje te ih stoga nazivamo plinovima staklenika, su vodena para i ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), a zatim metan (CH<sub>4</sub>), didušikov oksid (N<sub>2</sub>O) i ozon (O<sub>3</sub>).

Prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) kao staklenički plinovi navode se: ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), didušični oksid (N<sub>2</sub>O), hidrofluorogljici – grupa spojeva (HFC), perfluorogljik (PFC), sumporni heksafluorid (SF<sub>6</sub>) i indirektni plinovi kao SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO i NMVOC (ne-metanske hlapive organske tvari). Uočava se skupina od posljednja četiri spoja koji nisu prirodni sastojci atmosfere kako je prethodno navedeno, nego su umjetni spojevi, a među njima nema prethodno spomenutog ozona iako je on uz vodenu paru (H<sub>2</sub>O) također staklenički plin. Ta dva plina nisu obuhvaćena međunarodnim sporazumima o ograničenju emisija. Ozon kojeg čini nestabilna O<sub>3</sub> molekula kisika nalazi se prirodno u visokim slojevima atmosfere tzv. stratosferi i ima ulogu zadržavanja UV zraka.

U zadnjih dvadesetak i više godina omiljena tema medija, znanstvenika, političara i svih dionika javnog prostora su klimatske promjene uzrokovane utjecajem čovjeka (antropogenim utjecajem) na okoliš ovdje konkretno na pojačani efekt staklenika. Postavljena je teško dokaziva teza koja govori da je moderna civilizacija svojim nekontroliranim postupcima dovela do povećanja koncentracije stakleničkih plinova u zemljinoj atmosferi što dovodi do dodatnog zadržavanja topline u atmosferi zbog nemogućnosti atmosfere da tu toplinu propusti u svemir kako je to prethodno opisano. Tvrdi se nadalje da to dovodi do konstantnog porasta srednjih temperatura zraka na Zemlji što opet uzrokuje ekstremne meteorološke pojave poput dugih suša, iznadprosječno toplih zima i dosad nezabilježenih ljetnih temperaturnih

ekstrema, velikih količina padalina koje uzrokuju poplave i bujice, otapaju se ledenjaci na Arktiku, raste razina mora itd.

Kod stakleničkih plinova važan je podatak o relativnom stakleničkom potencijalu (engl. Global Warming Potential – GWP). Ova vrijednost ovisi tome koliko molekula određenog spoja može apsorbirati topline u odnosu na referentni plin (ugljični dioksid) i o godinama života pojedinog spoja u atmosferi. Molekula metana ima 21 puta veći staklenički potencijal od molekule ugljičnog dioksida (relativnog stakleničkog potencijala 1 jer je on referentni plin) ili drugim riječima 1 tona metana u atmosferi ima učinak ekvivalentan 21 toni ugljičnog dioksida. Najveću vrijednost ima sumporov heksafluorid od čak 23900. Iz pojma relativnog stakleničkog potencijala proizlazi i pojam „ekvivalentnog CO<sub>2</sub>“ (oznaka CO<sub>2</sub>ekv) koji govori o emisiji više stakleničkih plinova svedenih uz pomoć relativnog stakleničkog potencijala na ekvivalentnu emisiju CO<sub>2</sub>.

Po količinama u atmosferi, ugljični dioksid je najzastupljeniji staklenički plin i čini preko 76% ukupnih emisija. Glavni izvor tih emisija su procesi izgaranja tj. korištenje fosilnih goriva i njihovih proizvoda u energetici i transportu, a potom uništavanje tj. spaljivanje velikih šumskih površina. Sljedeći je metan koji nastaje kao posljedica aktivnosti u poljoprivredi, proizvodnje energije (eksploatacija prirodnog plina) i iz otpada odloženog na divljim nekontroliranim odlagalištima. Didušik oksid ima izvor u poljoprivredi odnosno posljedica je korištenja umjetnih gnojiva. Ostatak od 1,1% pripada umjetnim spojevima koji u pravilu imaju iznimno veliki relativni staklenički potencijal i dug životni vijek u atmosferi.

### **3. ZAKONSKI PROPISI**

#### **3.1. Zakon o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja**

Krovni akt kojim je regulirana zaštita ozonskog sloja u Republici Hrvatskoj je Zakon o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja (NN 127/19) [4]. Ovim se Zakonom određuju nadležnost i odgovornost za ublažavanje klimatskih promjena, za prilagodbu klimatskim promjenama i zaštitu ozonskog sloja, dokumenti o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja, praćenje i izvješćivanje o emisijama stakleničkih plinova, sustav trgovanja emisijama stakleničkih plinova, zrakoplovna djelatnost, sektori izvan sustava trgovanja emisijama stakleničkih plinova, Registar Unije, tvari koje oštećuju ozonski sloj i fluorirani staklenički plinovi, financiranje ublažavanja klimatskih promjena, prilagodbe klimatskim promjenama i zaštite ozonskog sloja, informacijski sustav za klimatske promjene i zaštitu ozonskog sloja, upravni i inspekcijski nadzor.

Prilagodba klimatskim promjenama podrazumijeva procjenu štetnih utjecaja klimatskih promjena i poduzimanje primjerenih mjera radi jačanja otpornosti na klimatske promjene i sprječavanja ili smanjenja potencijalne štete koje one mogu uzrokovati, kao i iskorištavanje mogućih pozitivnih učinaka klimatskih promjena u sektorima koji su ranjivi na utjecaje klimatskih promjena. Mjere prilagodbe provode tijela državne uprave i druge pravne osobe koje imaju javne vlasti nadležne za poslove meteorologije, zaštite okoliša, poljoprivrede, ribarstva, šumarstva, vodnoga gospodarstva, energetike, industrije, prometa, infrastrukture, prostornog uređenja, zaštite prirode, mora, turizma i zaštitu ljudskog zdravlja.

Postupno smanjivanje i ukidanje potrošnje tvari koje oštećuju ozonski sloj (kontrolirane i nove tvari) u Republici Hrvatskoj provodi se nadzorom potrošnje tih tvari, zabranom korištenja proizvoda i opreme koji te tvari sadrže ili o njima ovise, smanjivanjem propuštanja iz proizvoda, prikupljanjem i uništavanjem tih tvari te drugim mjerama koje na troškovno učinkovit način pridonose zaštiti ozonskog sloja, u skladu s odredbama Uredbe (EZ) br. 1005/2009, ovoga Zakona i provedbenih propisa donesenih na temelju ovoga Zakona. Fluorirani staklenički plinovi koriste se kao zamjena za tvari koje oštećuju ozonski sloj, a zbog njihova potencijala globalnog zatopljenja provode se mjere kako bi se smanjile emisije tih plinova i na taj način ublažile klimatske promjene, u skladu s odredbama Uredbe (EU) br. 517/2014, ovoga Zakona i provedbenih propisa donesenih na temelju ovoga Zakona.

#### **3.2. Uredba o tvarima koje oštećuju ozonski sloj i fluoriranim stakleničkim plinovima**

Uredbom o tvarima koje oštećuju ozonski sloj i fluoriranim stakleničkim plinovima (NN 83/21) [5] propisuje se postupanje s kontroliranim i novim tvarima te fluoriranim stakleničkim plinovima, postupanje s uređajima i opremom koji sadrže te tvari ili o njima ovise, postupanje s tim tvarima nakon prestanka uporabe uređaja i opreme koji ih sadrže, provjeru propuštanja tih tvari, način prikupljanja, obnavljanja, uporabe i uništavanja tih tvari, visinu naknade za pokriće troškova prikupljanja, obnavljanja, uporabe i uništavanja tih tvari i način obračuna troškova prikupljanja, obnavljanja, uporabe i uništavanja tih tvari, obveze centrima za prikupljanje, obnavljanje i uporabu kontroliranih tvari i fluoriranih stakleničkih plinova, obveze Fondu za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, način označavanja uređaja i opreme koji sadrže te tvari ili o njima ovise, način izvješćivanja o tim tvarima, vođenje mrežnih aplikacija za očevidnike o tvarima koje oštećuju ozonski sloj i fluoriranim stakleničkim plinovima te podacima o nepokretnoj opremi i sustavima te druga pitanja s tim u vezi.

Zabranjuje se ispuštanje u zrak kontroliranih tvari i fluoriranih stakleničkih plinova za vrijeme obavljanja aktivnosti prikupljanja, provjere propuštanja, održavanja ili servisiranja uređaja i opreme.

Operater uređaja ili opreme poduzima sve potrebne tehnički izvedive mjere kako bi se spriječilo propuštanje, što prije otklonilo svako otkriveno propuštanje i smanjile emisije kontroliranih tvari i fluoriranih stakleničkih plinova u atmosferu. Provjera propuštanja obavezna je, između ostalog, za električne rasklopne uređaje, a obavlja ju ovlašteni serviser.

### **3.3. Uredba (EU) br. 2024/573 o fluoriranim stakleničkim plinovima**

Uredba (EU) br. 2024/573 o fluoriranim stakleničkim plinovima, izmjeni Direktive (EU) 2019/1937 i stavljanju izvan snage Uredbe (EU) br. 517/2014 Europskog parlamenta i Vijeća Europske unije [6] donesena je na temelju niza sporazuma i relevantnih činjenica s ciljem smanjenja emisija stakleničkih plinova.

Ovom se Uredbom:

- utvrđuju pravila o ograničavanju, uporabi, prikupljanju, obnavljanju, uporabi i uništavanju fluoriranih stakleničkih plinova te o odgovarajućim popratnim mjerama, kao što su certifikacija i osposobljavanje, što uključuje, među ostalim, sigurno postupanje s fluoriranim stakleničkim plinovima i zamjenskim tvarima koje nisu fluorirane;
- određuju uvjeti za proizvodnju, uvoz, izvoz, stavljanje na tržište, naknadnu isporuku i uporabu fluoriranih stakleničkih plinova i određenih proizvoda i opreme koji sadržavaju fluorirane stakleničke plinove ili čije funkcioniranje ovisi o tim plinovima;
- određuju uvjeti za određene uporabe fluoriranih stakleničkih plinova;
- uspostavljaju količinski pragovi za stavljanje fluorouglikovodika na tržište;
- utvrđuju pravila o izvješćivanju.

Uredba se primjenjuje na fluorirane stakleničke plinove, pojedinačne ili kao mješavine i proizvode i opremu te njihove dijelove koji sadržavaju fluorirane stakleničke plinove ili čije funkcioniranje ovisi o tim plinovima.

Neke od definicija iz Uredbe od važnosti za djelatnost distribucije električne energije su:

- „operater” znači poduzeće koje ima stvaran nadzor nad tehničkim funkcioniranjem proizvoda, opreme ili postrojenja obuhvaćenih ovom Uredbom ili vlasnik kojeg je država članica odredila da u određenim slučajevima odgovara za obveze operatera;
- „stavljanje na tržište” znači carinska izjava o puštanju u slobodan promet u Uniji ili prva isporuka ili prvo stavljanje na raspolaganje drugoj osobi u Uniji, uz naknadu ili besplatno, ili uporaba tvari, proizvoda ili opreme proizvedenih za vlastitu uporabu;
- „hermetički zatvorena oprema” znači oprema u kojoj su svi dijelovi koji sadržavaju fluorirane stakleničke plinove tijekom procesa proizvodnje u prostoru proizvođača spojeni lemljenjem, zavarivanjem ili sličnim trajnim spajanjem, a koja može imati ventile s poklopcem ili servisne otvore s poklopcem koji omogućuju odgovarajući popravak ili zbrinjavanje i za koju ispitana razina propusnosti spojeva u zatvorenom sustavu iznosi manje od 3 grama godišnje pod tlakom od najmanje jedne četvrtine najvećeg dopuštenog tlaka;

- „stavljanje izvan pogona” znači trajno uklanjanje iz pogona ili uporabe proizvoda ili opreme koji sadržavaju fluorirane stakleničke plinove, uključujući konačno zatvaranje postrojenja;
- „održavanje ili servisiranje” znači sve aktivnosti osim prikupljanja u skladu s člankom 8. i provjerâ propuštanja u skladu s člankom 4. i člankom 10. stavkom 1. prvim podstavkom točkom (b) koje podrazumijevaju otvaranje cjevovoda ili drugih poddjelova koji sadržavaju fluorirane stakleničke plinove ili su osmišljeni za sadržavanje takvih plinova, isporuku fluoriranih stakleničkih plinova sustavu, uklanjanje jednog ili više dijelova cjevovoda ili opreme, ponovno sastavljanje dvaju ili više dijelova cjevovoda ili opreme, kao i popravljivanje propuštanja ili dodavanje fluoriranih stakleničkih plinova;
- „električni rasklopni uređaji” znači rasklopni uređaji i kombinacije takvih uređaja s pripadajućom opremom za kontrolu, mjerenje, zaštitu i reguliranje te sklopovi takvih uređaja i opreme s pripadajućim vezama, priborom, kućištima i pratećim strukturama, namijenjeni za uporabu povezanu s proizvodnjom, prijenosom, distribucijom i pretvorbom električne energije;
- „uporaba” znači, u pogledu fluoriranih stakleničkih plinova, njihovo korištenje u proizvodnji, održavanju ili servisiranju, uključujući ponovno punjenje, proizvoda i opreme, ili u drugim aktivnostima i procesima iz ove Uredbe.

Od posebne važnosti za ODS mogu se istaknuti sljedeće odredbe Uredbe:

- Na električnim rasklopnim uređajima ne provode se provjere propuštanja ako ispunjavaju jedan od sljedećih uvjeta:
  - (a) njihova ispitana razina propusnosti iznosi manje od 0,1 % godišnje, kako je utvrđeno u tehničkoj specifikaciji proizvođača, i na odgovarajući su način označeni;
  - (b) opremljeni su uređajem za praćenje tlaka ili gustoće s automatskim sustavom za upozoravanje tijekom rada;
  - (c) sadržavaju manje od 6 kg fluoriranih stakleničkih plinova navedenih u Prilogu I. (članak 5., stavak 1)
- Od 1. siječnja 2035. zabranjuje se uporaba SF<sub>6</sub> za održavanje ili servisiranje električne rasklopne opreme, izuzev ako se oporabi ili obnovi, osim ako se dokaže da se oporabljeni ili obnovljeni SF<sub>6</sub>:
  - (a) ne može koristiti iz tehničkih razloga; ili
  - (b) nije dostupan u slučaju izvanrednog popravka (članak 13., stavak 7).
- Fizičke osobe moraju biti certificirane za obavljanje sljedećih aktivnosti povezanih s fluoriranim stakleničkim plinovima u smislu članka 4. stavka 7., članka 5. stavka 1. i članka 8. stavka 2., koje obuhvaćaju fluorirane stakleničke plinove navedene u tim odredbama, ili povezanih s relevantnim zamjenskim rješenjima za fluorirane stakleničke plinove, uključujući prirodna rashladna sredstva, prema potrebi:
  - (a) ugradnju, održavanje ili servisiranje, popravak ili stavljanje izvan pogona opreme navedene u članku 5. stavku 2. točkama od (a) do (f) i u članku 5. stavku 3. točkama (a) i (b);
  - (b) provjere propuštanja na opremi iz članka 5. stavka 2. točaka od (a) do (e) i iz članka 5. stavka 3. točaka (a) i (b);
  - (c) prikupljanje iz opreme navedene u članku 8. stavku 2. i u članku 8. stavku 3. točki (a) (članak 10., stavak 1)
- Stavljanje u pogon sljedećih električnih rasklopnih uređaja koji upotrebljavaju fluorirane stakleničke plinove u izolacijskim ili prekidnim sredstvima ili čije funkcioniranje ovisi o tim plinovima zabranjuje se kako slijedi:
  - a) od 1. siječnja 2026. srednjenaponski električni rasklopni uređaji za primarnu i sekundarnu distribuciju do uključivo 24 kV;
  - b) od 1. siječnja 2030. srednjenaponski električni rasklopni uređaji za primarnu i sekundarnu distribuciju od više od 24 kV do uključivo 52 kV;
  - c) od 1. siječnja 2028. visokonaponski električni rasklopni uređaji od 52 kV do uključivo 145 kV te do i uključivo 50 kA struje kratkog spoja, s potencijalom globalnog zagrijavanja od jedan ili većim;
  - d) od 1. siječnja 2032. visokonaponski električni rasklopni uređaji snage veće od 145 kV ili veće od 50 kA struje kratkog spoja, s potencijalom globalnog zagrijavanja od jedan ili većim (članak 13., stavak 9).



Uredba [6] je stupila na snagu u ožujku 2024. godine, a sve njezine odredbe se primjenjuju od 3. ožujka 2025. godine.

#### 4. NOVOSTI KOJE DONOSI NOVA UREDBA

##### 4.1. Količine postrojenja na koje se odnosi Uredba

HEP ODS raspolaže značajnim brojem rasklopnih uređaja koji sadrže sumporov heksafluorid, zbog čega je potrebno s posebnom pažnjom pratiti novosti koje donosi Uredba 2024/573 [6], s ciljem ispunjenja zahtjeva.

Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije svake godine prikuplja podatke o djelatnostima za potrebe izrade Izvješća o inventaru emisija stakleničkih plinova, koji su nužni za ispunjenje obveza RH prema Zakonu o potvrđivanju Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime (NN-MU br. 2/96), Zakonu o potvrđivanju Kyotskog protokola uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime (NN-MU br. 5/07) i Zakonu o potvrđivanju Pariškog sporazuma (NN-MU br. 3/17).

Sukladno članku 25. Zakona o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja [4], HEP ODS dostavlja Ministarstvu zaštite okoliša i zelene tranzicije podatke o količini rasklopnih električnih uređaja koji sadrže sumporov heksafluorid, prikazane u tablici 1.

Tablica 1. Podaci i rasklopnim električnim uređajima koji sadrže SF6

| CRF 2.F. Potrošnja halogeniranih ugljikovodika (HFC, PFC) i SF6 |                                                                           | 2010. | 2011. | 2012.  | 2013.  | 2014.  | 2015. | 2016.  | 2017.  | 2018.  | 2019.  | 2020.  | 2021.  | 2022.  | 2023.  |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Rasklopna oprema - visokonaponski aparati i sklopovi            | Količina sklopne aparature (kom)                                          | 9.371 | 9.910 | 10.173 | 10.502 | 11.972 | 9.700 | 10.413 | 10.997 | 11.689 | 12.332 | 13.143 | 13.814 | 14.466 | 15.236 |
|                                                                 | Punjenje sklopne aparature plinom SF6 (t)                                 | 22,39 | 24,30 | 28,48  | 27,20  | 30,04  | 26,69 | 28,42  | 29,61  | 31,33  | 32,59  | 34,60  | 35,86  | 37,65  | 39,31  |
|                                                                 | Istjecanje SF6 iz opreme u pogonu (kg)                                    | *     | *     | *      | 28,48  | 43,11  | 53,24 | 53,29  | 32,44  | 60,50  | 38,56  | 60,12  | 38,53  | 80,24  | 34,59  |
|                                                                 | Rukovanje s upotrebljenim SF6                                             | **    | **    | **     | **     | **     | **    | **     | **     | **     | **     | **     | **     | **     | **     |
|                                                                 | Rukovanje s plinom SF6 i sklopnom opremom nakon isteka radnog vijeka (kg) | 17,0  | 6,9   | 18,2   | 25,7   | 64,1   | 57,2  | 102,9  | 83,8   | 56,1   | 64,8   | 55,4   | 69,5   | 55,5   | 99,8   |

Vidljiv je trend povećanja broja rasklopnih električnih uređaja i količine SF6 u njima kroz godine, tako da je krajem 2023. godine u HEP ODS-u bilo u pogonu više od 15 tisuća rasklopnih uređaja, s ukupnom masom plina SF6 od 39,3 t. Prosječna masa plina po rasklopnom uređaju manja je od 3 kg. Istjecanje plina, odnosno nadopunjavanje je na razini 0,1% do 0,2% od ukupne mase plina u svim rasklopnim uređajima.

##### 4.2. Nadzor i provjera propuštanja

Električni rasklopni uređaji koje koristi HEP ODS deklarirani su u pravilu kao hermetički zatvoreni, pri čemu je količina plina po jednom uređaju najčešće od 2 kg do 5 kg. Izuzetak su plinom izolirana rasklopna postrojenja (GIS), kod kojih je ta količina znatno veća.

Električni rasklopni uređaji koji sadrže plin SF6 opremljeni su pokazivačem stanja plina u uređaju, koji su tehnički ispravnom stanju mora biti u „zelenom“ području. Nadzor ovog pokazatelja provodi se tijekom pregleda elektroenergetskih postrojenja, prema Pravilima o održavanju elektrodistribucijske mreže [7]. Tlak plina na manometru („zeleno“ ili „crveno“ područje) provjerava se najmanje jednom godišnje za električne rasklopne aparate u transformatorskim stanicama naponske razine 10(20)/0,4 kV te najmanje jednom u 6 mjeseci za električne rasklopne aparate u transformatorskim stanicama 35(30)/10(20) kV i 110/X kV. Ovaj nadzor ne smatra se provjerom propuštanja, nju provodi ovlašteni serviser ukoliko tlak plina na manometru bude u „crvenom“ području, uzrok čega može biti neispravnost samog manometra ili propuštanje plina SF6.

Obzirom da prema novoj Uredbi 2024/573 provjeru propuštanja električnih rasklopnih uređaja ne treba provoditi za uređaje za koje je u tehničkoj specifikaciji proizvođača deklarirana razina propusnosti

manja od 0,1% godišnje, kao ni za uređaje koji sadrže manje od 6 kg plina SF<sub>6</sub>, u dijelu provjere propuštanja nema nikakvih bitnih novosti koje bi zahtijevale promjenu dosadašnje prakse.

#### **4.3. Održavanje i servisiranje, ugradnja i stavljanje izvan pogona**

HEP ODS će kao operater opreme će morati voditi računa o tome da od 1. siječnja 2035. godine ovlašteni serviseri koji će održavati i servisirati električnu rasklopnu opremu pri tome koriste oporabljenu ili obnovljen plin SF<sub>6</sub>. Ovaj će se uvjet morati ugraditi u tehničku specifikaciju usluge održavanja ili servisiranja, a ovlašteni serviser će morati predložiti dokaz o tome da je plin koji koristi oporabljenu ili obnovljen. Ovakva obveza do sada nije postojala, ali obzirom na veću količinu rasklopnih postrojenja koje koristi HEP ODS i koji do kraja svog životnog vijeka imaju i 30-ak godina, izgledno je da će ova obveza zaživjeti u velikoj mjeri u HEP ODS-u.

Obzirom na uvedeni sustav upravljanja okolišem prema normi ISO 14001, možda bi se u HEP ODS-u moglo razmisliti o tome da se ova obveza i ranije implementira u poslovnu praksu. Svakako se prije toga preporuča kod ovlaštenih serviseru provjeriti dostupnost oporabljene ili obnovljene plina SF<sub>6</sub> za ovu svrhu.

Bitna novost od značaja za HEP ODS da fizičke osobe koje obavljaju ugradnju, održavanje ili servisiranje, popravak ili stavljanje izvan pogona električnih rasklopnih uređaja koji sadrže plin SF<sub>6</sub> moraju biti certificirane za to. Obzirom da radnici HEP ODS-a u određenoj mjeri obavljaju ugradnju i stavljanje izvan pogona električnih rasklopnih uređaja, očekuje se da će se jedan dio radnika morati certificirati za obavljanje ovih aktivnosti.

#### **4.4. Nabava novih uređaja i stavljanje u pogon**

Kod nabave novih električnih rasklopnih uređaja nije regulirano stavljanje na tržište, već stavljanje u pogon, što je pomalo neobičan način reguliranja koji dodatno skraćuje ionako kratke rokove.

HEP ODS-u, kao operateru opreme, zabranjeno je stavljanje u pogon sljedećih električnih rasklopnih uređaja koji upotrebljavaju fluorirane stakleničke plinove u izolacijskim ili prekidnim sredstvima:

- a) od 1. siječnja 2026. za srednjenaponske uređaje do uključivo 24 kV;
- b) od 1. siječnja 2030. za srednjenaponske uređaje od više od 24 kV do uključivo 52 kV.

Za uređaje naponske razine do 24 kV rok je vrlo kratak, stoga je potrebno voditi računa da se u ovoj godini provedu započete nabave rasklopnih uređaja koji sadrže plin SF<sub>6</sub> i da se oni stave u pogon do kraja godine. Za sve nabave rasklopnih uređaja koje se pokreću iza polovice ove godine trebalo bi u tehničke specifikacije implementirati obvezu da ne sadrže plin SF<sub>6</sub>, ali je vrlo važno da uređaji, posebno sklopni blokovi zadrže iste dimenzije kako bi se mogli ugrađivati u postojeće transformatorske stanice.

Unatoč dugogodišnjoj primjeni plina SF<sub>6</sub> u sklopnim blokovima i njegovim izvrsnim svojstvima te kompaktnim dimenzijama blokova koje su postignute njegovom primjenom, ali zbog naznaka moguće zabrane njegove uporabe, tražila se alternativa za plin SF<sub>6</sub>. Neki od renomiranih svjetskih proizvođača već su razvili električne rasklopne uređaje koji ne sadrže plin SF<sub>6</sub>, u kojima je izolacijski medij pročišćeni zrak i koristi se tehnologija prekidača temeljenih na vakuumu. Prema tvrdnjama tih proizvođača, u novim sklopnim blokovima bez plina SF<sub>6</sub> ostaju zadovoljeni svi zahtjevi za sigurnošću, pouzdanošću i malim dimenzijama, odnosno neki su i poboljšani. Doduše, prve izvedbe rasklopnih uređaja izoliranih pročišćenim zrakom su bile znatno većih dimenzija od uređaja izoliranih plinom SF<sub>6</sub>, ali usavršavanjem ove tehnologije bi se dimenzije mogle smanjiti. To je vrlo važno za vlasnike velikog broja postojećih uređaja smještenih u transformatorskim stanicama SN/NN, koji će u budućnosti morati obaviti zamjenu postojećih uređaja novima i pritom koristiti postojeća kućišta transformatorskih stanica.

### **5. ZAKLJUČAK**

Situacija sa zabranom korištenja plina SF<sub>6</sub> u električnoj rasklopnoj opremi podsjeća na slučaj zabrane korištenja opreme punjene polikloriranim bifenilima (PCB), s čime je HEP ODS imao iskustva prije nekoliko desetaka godina, do konačnog stavljanja sve opreme punjene PCB-om izvan uporabe. To je bio dugotrajan proces i uspješno je proveden, tako da se sličan scenarij očekuje i u slučaju električnih rasklopnih uređaja koji sadrže plin SF<sub>6</sub>.



Za električne rasklopne uređaje napona do 24 kV vrlo je kratak rok nakon kojeg vrijedi zabrana stavljanja u pogon, tako da HEP ODS mora vrlo brzo implementirati zahtjeve za „SF6 free“ opremom u tehničke specifikacije u postupcima nabave nove opreme. To se u teoriji čini relativno jednostavnim postupkom jer se svi sudionici na tržištu moraju prilagoditi novoj regulativi, ali je zbog kratkog roka „najstroža“ odredba propisa i obzirom na trenutno stanje tržišta moglo bi biti značajnih izazova u njezinom zadovoljavanju.

Iako se očekivalo da će biti teško naći alternativu plinu SF6, superiornom po svojstvima za primjenu u električnim rasklopnim uređajima, neki od vodećih svjetskih proizvođača su rješenje pronašli u pročišćenom zraku – ovo rješenje ne može biti „zelenije“ i jednostavnije, stoga se nameće pitanje zašto nije ušlo u primjenu i puno ranije, uz uvjet da se njime mogu osigurati svi pogonski zahtjevi relevantni za ugradnju i eksploataciju električnih rasklopnih uređaja.

## 5. LITERATURA

- [1] Branko Uhlik, „Požarno opasne, toksične i reaktivne tvari“, Kemija u industriji 53 (11) A849—A852 2004.
- [2] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Sumporov\\_heksafluorid](https://hr.wikipedia.org/wiki/Sumporov_heksafluorid)
- [3] <https://www.scribd.com/document/774827714/7A-predavanje-Energetika-staklenicki-plinovi>
- [4] Zakon o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja (Narodne novine 127/19), 2019.
- [5] Uredba o tvarima koje oštećuju ozonski sloj i fluoriranim stakleničkim plinovima (Narodne novine 83/21), 2021.
- [6] Uredba (EU) br. 2024/573 o fluoriranim stakleničkim plinovima, izmjeni Direktive (EU) 2019/1937 i stavljanju izvan snage Uredbe (EU) br. 517/2014, Europski parlament i Vijeće Europske unije, 2024.
- [7] Pravila o održavanju elektrodistribucijske mreže, Bilten HEP-a br. 504, 2022.