

PROBLEMATIKA UTJECAJA NA OKOLIŠ USLIJED PRIMJENE SUMPORNOG HEKSAFLUORIDA (SF₆) U ELEKTROPRIVREDI

Damjan Međimorec – Silvio Brkić – mr. sc. Zoran Stanić, Zagreb

UDK 621.311.31:577.4
STRUČNI ČLANAK

Plin sumporni heksfluorid (SF₆) nalazi svoju primjenu najvećim dijelom u elektroenergetskom sektoru i to uglavnom za gašenje električnog luka i/ili izolaciju u postrojenjima visokog i srednjeg napona. Zastupljenost SF₆ tehnologije stalno raste, zahvaljujući brojnim prednostima u odnosu na druge tehnologije za slične primjene, pa tako i u smislu raznih utjecaja na okoliš.

Razlikuju se utjecaji samog (čistog) SF₆ plina i produkata njegove razgradnje do koje dolazi pri određenim pojavama u pogonu. Ovisno o stupnju "onečišćenja" takvim produktima SF₆ može se očistiti na više načina, odnosno reciklirati i ponovno upotrijebiti, a u krajnjem slučaju posebnim postupkom na siguran način uništiti. Stoga se u skladu s važećom regulativom u svjetskoj, ali i domaćoj praksi razmatra i poduzima niz aktivnosti s ciljem odgovornog pogona i održavanja opreme sa SF₆ plinom.

Ključne riječi: sumporni heksafluorid (SF₆), recikliranje, bilanciranje, mjere i aktivnosti za ublažavanje utjecaja na okoliš.

1. UVOD

Električna energija je presudna za opći napredak i stoga se često naziva vektorom održivog razvoja. Istodobno, uporaba energije uzrokuje globalno, regionalno i lokalno onečišćenje, a cijene energije rijetko odražavaju ekološke troškove povezane s njezinim korištenjem. Zajednička karakteristika svakog elektroenergetskog sustava je osigurati svakom potrošaču pouzdanu opskrbu električnom energijom i njenu dostupnost u svakom trenutku neovisno o stanju sustava. U novije vrijeme sve su intenzivniji zahtjevi raznih društvenih čimbenika za njenom čistoćom, u smislu ekološke prihvatljivosti proizvodnog procesa i dobave električne energije. Aspekti okoliša, koji se prema međunarodnoj normi ISO 14001 definiraju kao poslovne aktivnosti koje mogu imati značajnog utjecaja na okoliš, vezani uz elektroenergetiku vrlo su raznoliki i složeni, a odnose se na sve sastavne dijelove okoliša – zrak, vodu i tlo.

Problematika utjecaja na okoliš radi primjene sumpornog heksafluorida (SF₆) u elektroprivredi relativno je noviji aspekt okoliša, a u zadnje vrijeme je postala aktualnija zbog intenzivnog razvoja regulative vezane za globalni efekt staklenika kao i zbog sve veće primjene elektroenergetske opreme koja sadrži SF₆.

2. OBLICI PRIMJENE SUMPORNOG HEKSAFLUORIDA (SF₆)

Sumporni heksafluorid SF₆ je sintetički plin oko pet puta gušći od zraka. U čistom stanju je bezbojan, bez okusa i mirisa, neotrovan, nekoroziivan, zanemarivog

požarnog opterećenja, gotovo neotopiv u vodi, te kemijski i termički stabilan pri normalnim temperaturama okoline i sve do 1000 °C.

Kako se SF₆ odlikuje osebujnim kemijskim i fizikalnim svojstvima, koristi se u raznim djelatnostima kao što su metalurgija, građevinarstvo, elektronička industrija, medicina, meteorologija i neka znanstvena istraživanja.

Međutim, u najvećoj mjeri primjenjuje se u elektroenergetici kao sredstvo za gašenje električnog luka i/ili izolaciju u postrojenjima visokog i srednjeg napona zbog odličnih izolacijskih svojstava (velika dielektrična čvrstoća) i sposobnosti rekombinacije njegovih molekula hlađenjem.

Područja primjene mogu se svrstati u nekoliko skupina prema namjeni i vrsti opreme, odnosno postrojenja za koje se SF₆ koristi. Značajne prednosti se pokazuju u većoj pouzdanosti primjene za više napone i veće ras-klopne moći, smanjenju klimatske ovisnosti, buke, potrebnog održavanja i prostora. Stoga nije čudno da udio SF₆ tehnologije u područjima njegove primjene u elektroenergetici bilježi stalan rast uz daljnje usavršavanje oblika primjene.

SF₆ u prekidačima srednjeg i visokog napona služi prvenstveno kao sredstvo za gašenje električnog luka i nalazi se u zatvorenom sustavu pod tlakom. Najčešće je nazivni pogonski tlak između 5 i 7 bara, a količine SF₆ dosežu i nekoliko desetaka kilograma po prekidaču. SF₆ prekidači su najpouzdaniji tipovi prekidača i predstavljaju jedinu grupu prekidača u svijetu čiji se udio u ukupnom broju prekidača u pogonu i dalje povećava. Kod srednjenaponskih (SN) prekidača SF₆ tehnologija nije dominantna. Primijenjena rješenja su ravno-

pravno zastupljena i variraju od primjene isključivo SF₆ tehnologije, njihove kombinacije s vakuumskim do isključive primjene vakuumske tehnologije.

Visokonaponska (VN) postrojenja izolirana SF₆ plinom (GIS – engl. "Gas Insulated Switchgear") danas predstavljaju najsloženiji oblik komercijalne upotrebe SF₆ u elektroprivredi i općenito elektroenergetskom sektoru, te su stoga razni aspekti ove primjene i najopsežnije istraživani, pa i najbolje poznati, a mnogi dobiveni rezultati i zaključci primjenjivi su i kod drugih oblika uporabe SF₆ u elektroprivredi.

Kod njih se plin SF₆ nalazi zatvoren u modularnom sustavu povezanih spremnika, gdje tlak plina varira od 3 - 7 bara uz ukupnu masu plina od nekoliko stotina kilograma (primijenjene vrijednosti ovise o konkretnoj namjeni pojedinog plinskog spremnika). Pored funkcije izoliranja svih dijelova rasklopnog postrojenja, služi i za gašenje luka u SF₆-prekidačima koji se nalaze unutar spremnika (3-polni ili 1-polni).

Srednjenaponski GIS su u osnovi preslikani VN GIS, a primjenjuje se kod posebno teških pogonskih uvjeta te u skućenom prostoru jer zauzimaju oko 60 % manje prostora od odgovarajućeg klasičnog SN postrojenja.

Daljnju primjenu predstavljaju srednjenaponski sklopni blokovi s širokom paletom raznih rješenja. Najčešća je njihova uporaba u sekundarnoj distribuciji, odnosno na SN strani kablskih trafostanica, gdje se za takve sklopne blokove koristi naziv RMU (engl. "Ring Main Unit"). Kod većine tipova SF₆ se u malim količinama (do nekoliko kilograma) i pod malim pretlakom (ovisno o tipu 0,5-1,5 bara) nalazi u potpuno hermetički zatvorenim (zavarenim) kućištima koja se za životnog vijeka i normalnog pogona ne otvaraju.

Plin SF₆ koristi se i kod plinom izoliranih vodova GIL (engl. "Gas Insulated Line"). Njihove tehničke osobine omogućuju prijenos vrlo velikih snaga pri vrlo visokim naponima (tj. iznad 375 kV) uz visok stupanj integracije u okoliš (podzemno polaganje). Relativno visoki troškovi koje iziskuje, za sada, omogućuju primjenu tek u velikim gradovima za povezivanje GIS postrojenja.

Od ostalih primjena, SF₆ se u manjem opsegu zamjenski koristi umjesto uljne izolacije transformatora, kao i u razne eksperimentalne svrhe.

3. OSNOVNI UTJECAJI PRIMJENE SF₆ U ELEKTROENERGETICI NA OKOLIŠ

Sa stajališta elektroenergetike smatralo se mnogo godina da se primjenom plina SF₆ osim brojnih tehničkih prednosti postižu i pozitivni učinci po okoliš, budući da takva postrojenja zauzimaju znatno manje prostora, imaju dulji životni vijek, stvaraju manju buku, daju novu dimenziju prostoru itd.

Međutim, neka znanstvena istraživanja ukazala su i na moguću štetnost SF₆ za okoliš i opasnost za ljude. Neu-

temeljene kritičke ocjene otišle su ponekad u drugu krajnost jer se površno uspoređivalo SF₆ sa PCB-om, azbestom i drugim materijalima koji su zbog dokazane opasnosti ili štetnosti povučeni ili se povlače iz uporabe.

Stoga se pristupilo kritičkim preispitivanjima posljedica utjecaja SF₆, koja pokazuju da se korištenjem SF₆ pri normalnim ili izvanrednim pogonskim okolnostima, u skladu s propisima, preporukama i uputama, ne izaziva nimalo veći rizik od neželjenih i nepredviđenih posljedica nego kod ostalih materijala upotrijebljenih u bilo kojoj drugoj vrsti ili tipu elektroenergetske opreme, te da ne postoje bitni neriješeni problemi u svezi s njegovom primjenom.

3.1. Utjecaj SF₆ na biološke sustave

Čisti SF₆ je u normalnim uvjetima potpuno bezopasan budući da njegova dozvoljena koncentracija – TLV/MAK, kojoj čovjek bez ikakvih dodatnih mjera zaštite može biti izložen na radnom mjestu (tj. 8 sati dnevno i 40 sati tjedno), iznosi 1000 ml/m³ ili 6000 mg/m³ (odnosno 0,1 % volumno /1000 ppm/), a i ta vrijednost ne predstavlja granicu otrovnosti, nego tek graničnu vrijednost utvrđenu za sve neotrovne plinove koji su stalno prisutni u atmosferi. Čak i u vrlo malim koncentracijama SF₆ se lako otkriva pomoću odgovarajućih detektora. Akumuliranje SF₆ u hranidbenim lancima nije ustanovljeno. Međutim kako SF₆ istiskuje kisik iz zraka na taj način može izazvati nesvjesticu i gušenje, makar je to realno moguće samo u malim prostorima (prvenstveno niskim i zatvorenim). Teoretski je moguće bez posljedica po zdravlje udisati smjesu zraka od 80% SF₆ i 20% kisika. Potencijalno malu opasnost predstavljaju udjeli SF₆ veći od 30 % u zraku, koju otklanja ventilacija (prirodna ili prisilna).

3.2. Utjecaj SF₆ na tehničke sustave

Specifični tehnički problemi koji su otkriveni u pogonu opreme sa SF₆ - posebno GIS-a (putujući luk po oklopu, visoki sklopni prenaponi i sl.) temeljito su proučavani, te su pronađena rješenja za većinu njih.

Međutim primarno pitanje je zadržavanje pogonskih svojstava SF₆ u željenim granicama. Ovisno o vrsti primjene proizvođači propisuju granične vrijednosti karakterističnih veličina unutar kojih je normalni pogon moguć.

3.3. Utjecaj SF₆ na atmosferu

Najveći doprinos razgradnji ozona imaju klor-flourougljikovodici (CFC), odnosno klor koji nastaje njihovom razgradnjom. Za SF₆ je dokazano da gotovo uopće ne doprinosi razgradnji ozonskog omotača jer u stratosferi praktički ne dolazi do njegove razgradnje, a koncentracija mu je 1000 puta manje od one CFC-a, te iako fluor može doprinijeti razgradnji

ozona slično kloru ustanovljeno je da se to događa u 10000 puta manjem opsegu.

Plin SF₆ uvršten je i formalno u takozvane antropogene stakleničke plinove na Trećoj konferenciji *Stranaka Konvencije* o klimatskim promjenama (COP – 3) održanoj krajem 1997. u Kyotu. Protokolom iz Kyota *Stranke Konvencije* su se između ostalog obvezale na redovito bilanciranje i poduzimanje mjera za smanjenje emisija šest stakleničkih plinova, pa tako i SF₆ koji ima jedan od najvećih ustanovljenih stakleničkih potencijala od antropogenih plinova (23900 puta veći od stakleničkog potencijala CO₂).

Međutim, kako za razliku od drugih stakleničkih plinova "prirodna" emisija SF₆ ne postoji, proračun emisije SF₆ iz elektroenergetskih postrojenja pretpostavlja da je nadopunjena količina SF₆ jednaka onoj ispuštenoj. Uzimajući prosječne podatke o količini plina u opremi od proizvođača i uz maksimalno ispuštanje plina od 1% (garancija proizvođača opreme), procijenjeni udio svjetske emisije SF₆ u ukupnoj svjetskoj emisiji antropogenih stakleničkih plinova kreće se oko 0,01%.

4. SF₆ IZ EES-a I PROBLEMATIKA OTPADA

4.1. Onečišćeni (korišteni) SF₆ i (otpadni) produkti njegove razgradnje

Novi ("čisti") SF₆ samim punjenjem u elektroenergetsku opremu postaje korišteni plin. Tijekom pogona opreme dolazi do povećanja onečišćenja i promjene sastava SF₆ (kao i njegove djelomične razgradnje). Stupanj promjena sastava plina SF₆ ovisan je o brojnim parametrima među koje spadaju električni luk (posljedica sklopne operacije ili kvara), parcijalna izbijanja, vrlo vruća mjesta ("hot spots") unutar opreme, metalna prašina, sekundarne reakcije produkata razgradnje, manipulacija sa SF₆, ispuštanje ("curenja") SF₆ u okolinu i dr.

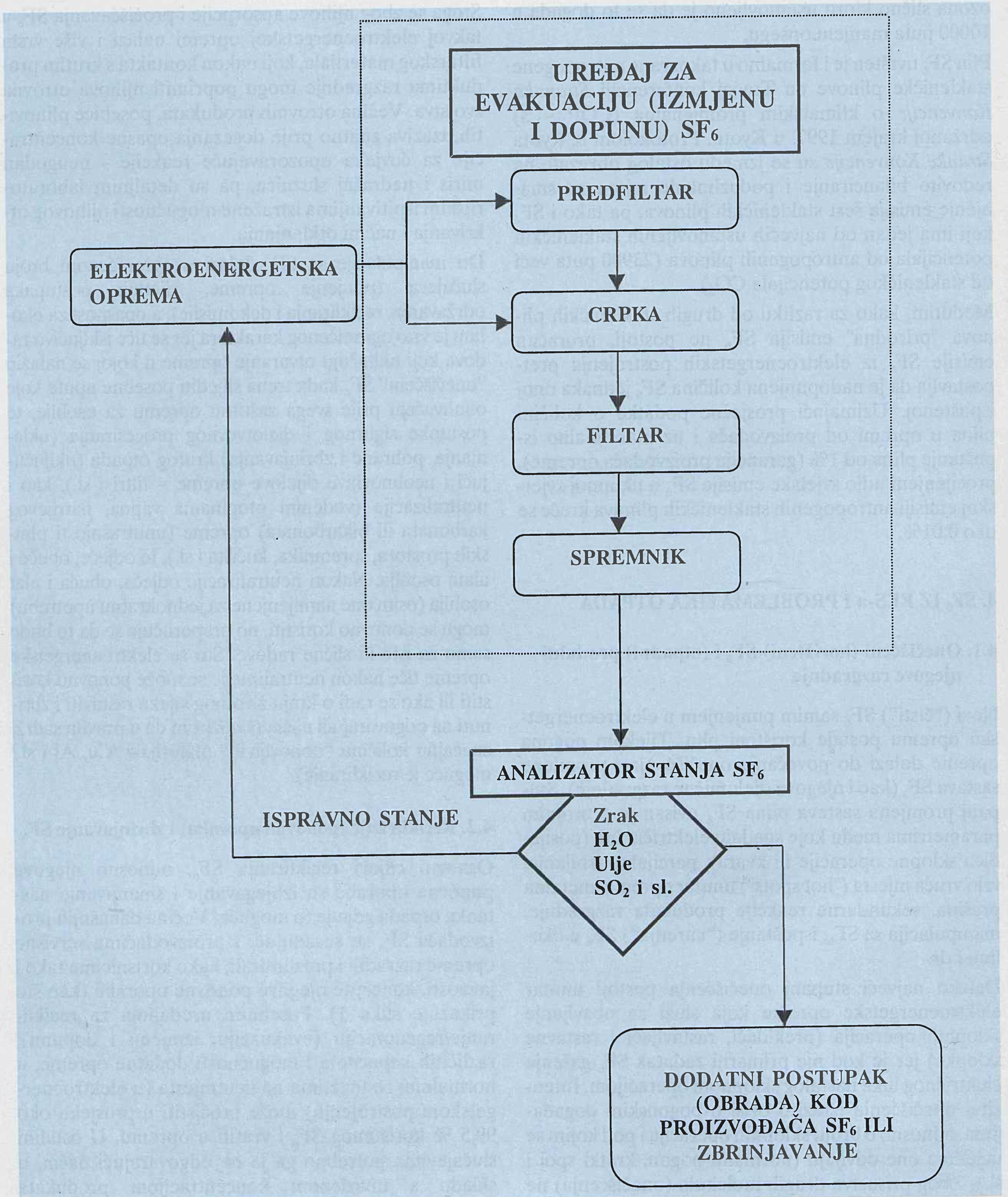
Daleko najveći stupanj onečišćenja postoji unutar elektroenergetske opreme koja služi za obavljanje sklopnih operacija (prekidači, rastavljači i rastavne sklopke) jer je kod nje primarni zadatak SF₆ gašenje električnog luka nastalog sklopnom operacijom. Intenzitet onečišćenja izrazito ovisi o pogonskim događajima, odnosno o broju sklopnih operacija i pod kojim se uvjetima one odvijaju (normalni pogon, kratki spoj i sl.). Zbog prisustva drugih molekula (onečišćenja) ne dolazi do potpune (nego tek oko 95%-ne) rekombinacije dijela (vrlo mali dio ukupne količine) plina koji je sudjelovao u reakciji gašenja električnog luka. Molekule razgrađenog plina reagiraju s metalima i drugima česticama (posebice vlagom) te stvaraju plinovite i krute produkte razgradnje (kao što su SOF₂, SO₂, HF, SiF₄, WO₃, WOF₄, AlF₃, CuF₂, CF₄ i sl.). Neki produkti razgradnje su otrovni i mogu (korozijom, vodljivošću i sl.) negativno djelovati na pogonska svojstva opreme.

Stoga se zbog njihove apsorpcije i pročišćavanja SF₆ u takvoj elektroenergetskoj opremi nalazi i više vrsta filtarskog materijala, koji nakon kontakta s krutim produktima razgradnje mogu poprimiti njihova otrovna svojstva. Većina otrovnih produkata, posebice plinovitih, izaziva znatno prije dosezanja opasne koncentracije za čovjeka upozoravajuće reakcije - neugodan miris i nadražaj sluznica, pa su detaljnim laboratorijskim ispitivanjima istražene mogućnosti njihovog otkrivanja i načini otklanjanja.

Do manipulacije sa SF₆ dolazi u ograničenom broju slučajeva (punjenje opreme, rijetkih postupaka održavanja, recikliranja i dekomisije), a opasnost za okolinu je vrlo ograničenog karaktera jer se tiče isključivo radova koji uključuju otvaranje opreme u kojoj se nalazio "onečišćeni" SF₆ kada treba slijediti posebne upute koje obuhvaćaju prije svega zaštitnu opremu za osoblje, te postupke sigurnog i djelotvornog procesiranja (uklanjanja, pohrane i zbrinjavanja) krutog otpada (uključujući i neobnovljive dijelove opreme – filtri i sl.), kao i neutralizacije (vodenim otopinama vapna, natrijevog karbonata ili bikarbonata) opreme (unutrašnjosti plinskih prostora, spremnika, kućišta i sl.), te odjeće, obuće i alata osoblja. Nakon neutralizacije odjeća, obuća i alat osoblja (osim one namijenjene za jednokratnu upotrebu) mogu se ponovno koristiti, no preporučuje se da to bude samo za iste ili slične radove. Što se elektroenergetske opreme tiče nakon neutralizacije se može ponovno koristiti ili ako se radi o kraju životnog vijeka rastaviti i zbrinuti na odgovarajući način (s obzirom da u pravilu sadrži značajnu količinu "obnovljivih" materijala /Cu, Al i sl./ moguće je recikliranje).

4.2. Recikliranje (ponovna uporaba) i zbrinjavanje SF₆

Osnovni ciljevi recikliranja SF₆, odnosno njegove ponovne uporabe su izbjegavanje i smanjivanje nastanka otpada gdje je to moguće. Većina današnjih proizvođača SF₆ su surađujući s proizvođačima servisne opreme razradili i prezentirali, kako korisnicima tako i javnosti, koncepte njegove ponovne uporabe (kao što prikazuje slika 1). Posebnim uređajima za recikliranje/regeneraciju (evakuaciju, izmjenu i dopunu), različitih kapaciteta i mogućnosti dodatne opreme, u normalnim se uvjetima na licu mjesta (u elektroenergetskom postrojenju) može pročititi u prosjeku oko 99,5 % korištenog SF₆ i vratiti u opremu. U ostalim slučajevima potrebno ga je na odgovarajući način, u skladu s utvrđenom koncentracijom produkata razgradnje (tri kategorije), pohraniti (posebni spremnici s prstenovima narančaste boje, koji upozoravaju na moguće otrovne sastojke) i deklarirati za transport proizvođaču SF₆, koji u pravilu raspolaže s uređajima za još uspješnije recikliranje SF₆. Budući da su propisi (kao npr. IEC 60480) za sastav recikliranog SF₆ stroži od onih za novi SF₆, proizvođači (odnosno korisnici) moraju dokazati njihovo zadovoljavanje odgovarajućim dokumentom.

Slika 1. Pojednostavljeni prikaz koncepta ponovne uporabe SF₆

Iznimno ako recikliranje nije moguće SF₆ se mora konačno zbrinuti, odnosno uništiti. Postupak se obavlja kod specijaliziranih izvođača zbrinjavanja industrijskog otpada, i to termičkom razgradnjom pri temperaturi od 1200 °C (s efikasnošću od 99%), dok od produkata reakcije (SO i HF) njihovim prolaskom kroz

otopinu kalcij-hidroksida nastaju CaSO₄ (gips) i CaF₂ koji se mogu koristiti kao sirovine u građevinarstvu, industriji ili dr. Na tržištu se (npr. u Švedskoj) takva usluga nudi i po cijeni koja je slična nabavnoj cijeni novog SF₆. Na tragu tih rješenja neki proizvođači elektroenergetske opreme, pri isporuci opreme ili naknadno,

nude i mogućnost zaključivanja ugovora kojim preuzimaju obvezu za uklanjanje SF₆ nakon završetka pogona opreme.

Također je nezavisno od takvih ugovora moguće potrebne uređaje za manipulaciju sa SF₆ i iznajmiti uključujući po potrebi i obavljanje čitavog postupka što je posebice isplativo za korisnike koji ne raspolažu s većim količinama SF₆ u svojim postrojenjima.

Primjena navedenih koncepata još nije šire zaživjela budući da se tek sada približava kraj životnoga vijeka opreme u pogonu. Međutim, i pri dosadašnjim radovima na održavanju postrojenja, korisnici su se vodili uglavnom istim principima. Tome u prilog govori podatak da oko 74% korisnika ponovno koristi čak oko 90% SF₆. Uz to pri odabiru opreme za održavanje i njihovih priključaka vodi se računa da je manipulacija sa samim SF₆ minimalna, a time također i mogućnost onečišćenja ili emisije SF₆.

5. UBLAŽAVANJE I OGRANIČAVANJE OSTALIH UTJECAJA PRIMJENE SF₆ U EES-u

Radi uspješnog ograničenja utjecaja SF₆ na tehnički i ekonomski prihvatljivu razinu nužna je suradnja svih subjekata uključenih u korištenje SF₆ u EES-u: korisnika (tj. pretežito elektroprivrede), dobavljača-proizvođača (samog SF₆, elektroenergetske opreme i postrojenja, te opreme za mjerenje i manipulaciju sa SF₆), izvođača radova na održavanju i sl., te nadležnih državnih institucija.

Dodatni argument u korist takvog (aktivnog) pristupa je financijske naravi vezan uz moguće smanjenje troškova nabave skupog SF₆, što je posebno važno u svjetlu aktualnih procesa liberalizacije i deregulacije tržišta električnom energijom. Također zbog aktualnosti čitave "ekološke" problematike nije zanemariva ni percepcija javnosti u pogledu doprinosa EES-a utjecaju na okoliš. Stoga danas vodeće svjetske elektroprivrede pristupaju sustavnom upravljanju s opremom koja sadrži SF₆ što uključuje i stalno praćenje i bilanciranje količina, te komunikaciju i suradnju s nadležnim institucijama i javnosti.

5.1. Procjene angažiranih količina SF₆ u elektroenergetskom sektoru

Kvantificiranje količina SF₆ u elektroenergetici uglavnom nije bilo uobičajeno i tome se nije pridavala velika važnost ni kod proizvođača ni korisnika. Postupno se mijenja takva praksa, posebice kod GIS postrojenja, jer će se pomoću točnih podataka o potrošnji SF₆ (bilanciranju) moći procijeniti količine, emisija i ostali utjecaji SF₆.

Međutim, još uvijek je teško točnije odrediti količine SF₆ koje se u elektroenergetici u svijetu koriste (npr. u Njemačkoj se procjenjuju na 1000 t, u V. Britaniji na oko 500 t). Većina se procjena, uz dosta veliku nesigur-

nost, bazira na udjelu primjena u EES-u, koji se kreće između 50 i 80%, u ukupnoj godišnjoj proizvodnji (odnosno prodaji) SF₆ od oko 7500 tona (od toga npr. 6000 t u SAD, a u Europi otprilike 900 t - s njemačkim udjelom od jedne trećine).

5.2. Aktualni trendovi razvoja primjena SF₆ u elektroenergetici

Od posrednih aktivnosti koje bi ubuduće mogle imati više utjecaja na ograničenje utjecaja SF₆ iz EES-a aktualna su razmatranja produženja životnog vijeka (pa i realizacija prvih zahvata na tom planu) postojeće elektroenergetske opreme sa SF₆ u pogonu, s prvotno deklariranih 25-30 godina za daljnjih 15-30 godina (u sklopu nastojanja za smanjenjem troškova tijekom životnog vijeka). Kod nove opreme se već polazi od očekivanog životnog vijeka u rasponu 30-50 godina (ovisno o vrsti primjene i tipu). Sve su aktualnije novije koncepcije (prvenstveno u smislu povećanja pouzdanosti i kompaktnosti) AIS i GIS postrojenja, među kojima sve više dolazi i do hibridnih rješenja. U tom kontekstu uočljiv je i trend smanjenja potrebnih količina SF₆ kod novije opreme i postrojenja i za 25 do 40%, što je vrlo značajna činjenica za problematiku smanjenja utjecaja SF₆.

Primjenom sustava nadzora (monitoringa) i dijagnostike pojedinih aparata (npr. tzv. inteligentnih prekidača) ili cijelih polja uvođenjem mikroprocesorske tehnologije neposredno uz primarnu opremu stvaraju se uvjeti za određivanje stvarnog stanja opreme, čime se očekuju značajne uštede i povećanje sigurnosti pogona. Primjer najčešćih smetnji (malih kvarova) u pogonu je istjecanje SF₆, pa u osnovne dijelove takvih sustava spadaju senzori za tlak ili gustoću SF₆ i temperaturu.

Također, nastavljaju se i istraživanja još nedovoljno poznatih tema vezanih uz SF₆ kao što su određivanje stvarnih količina produkata razgradnje SF₆, provjera njihovih graničnih koncentracija i utjecaja na atmosferu u slučaju njihove emisije, te usavršavanje prijenosnih i montažnih uređaja za otkrivanje i mjerenje SF₆, kao i produkata njegove razgradnje.

5.3. Neki primjeri iz prakse elektroenergetskog sektora u svijetu

U Njemačkoj su udruge korisnika i proizvođača elektroenergetske opreme (VDEW/ZVEI) u suradnji s proizvođačima SF₆ i nadležnim državnim institucijama dogovorile svoje obveze u nizu aktivnosti. Obuhvaćene su mjere u proizvodnji, transportu, skladištenju, recikliranju i uništavanju SF₆, proizvodnji i pogonu elektroenergetske opreme, te izgradnji i puštanju u rad elektroenergetskih postrojenja. Glavni cilj je omogućavanje vjerodostojnog SF₆-monitoringa, odnosno prikupljanje podataka o angažiranim količinama SF₆ i stvarnim emisijama SF₆.

U Velikoj Britaniji je NGC (vlasnik i operator prijenosne mreže u Engleskoj i Walesu) izradio vlastiti program radi smanjenja utjecaja SF₆ na okoliš. Program je podijeljen prema nekoliko konkretnih ciljeva (nabava mobilnih uređaja za sigurno rukovanje sa SF₆ pri održavanju postrojenja, identifikacija i nadzor svih značajnih ispuštanja SF₆ iz postrojenja te uklanjanje prioritarnim održavanjem, eksperimentalna uporaba opreme za otkrivanje malih ispuštanja, usavršavanje bilanciranja SF₆ i njegovih emisija po vrstama opreme i pojedinim postrojenjima), čija se realizacija prati na godišnjoj razini.

U SAD je već neko vrijeme na snazi program za korisnike SF₆ u EES-u, koji je pokrenula utjecajna Agencija za zaštitu okoliša (EPA). Osnovni cilj je uspostaviti sustav za prikupljanje točnih podataka o količinama i emisijama SF₆, te općenito promicati uspješne strategije za korištenje opreme sa SF₆ (uvođenje recikliranja SF₆, obuka za održavanje SF₆ postrojenja, zamjena kritičnih dijelova opreme i dr.).

6. SF₆ U HRVATSKOJ I HEP-U

6.1. Područja primjene SF₆ u HEP-u

Plin SF₆ se u HEP-u koristi u sve tri temeljne direkcije širom Hrvatske kao sredstvo za izolaciju i gašenje električnog luka u VN postrojenjima izoliranim SF₆ plinom (GIS), SF₆-prekidačima i SN sklopnim blokovima.

VN SF₆-prekidači predstavljaju tipsko rješenje u HEP-u uvedeno "Tipskom trafostanicom (TS) 110/x" iz 1987.g. iako su prvi takvi prekidači u pogonu u postrojenjima HEP-a još od 1981. godine, dok su VN

GIS-postrojenja realizirana počevši od 1982. g. u pojedinačnim slučajevima kad nije bilo moguće primijeniti tipsko rješenje (tj. AIS).

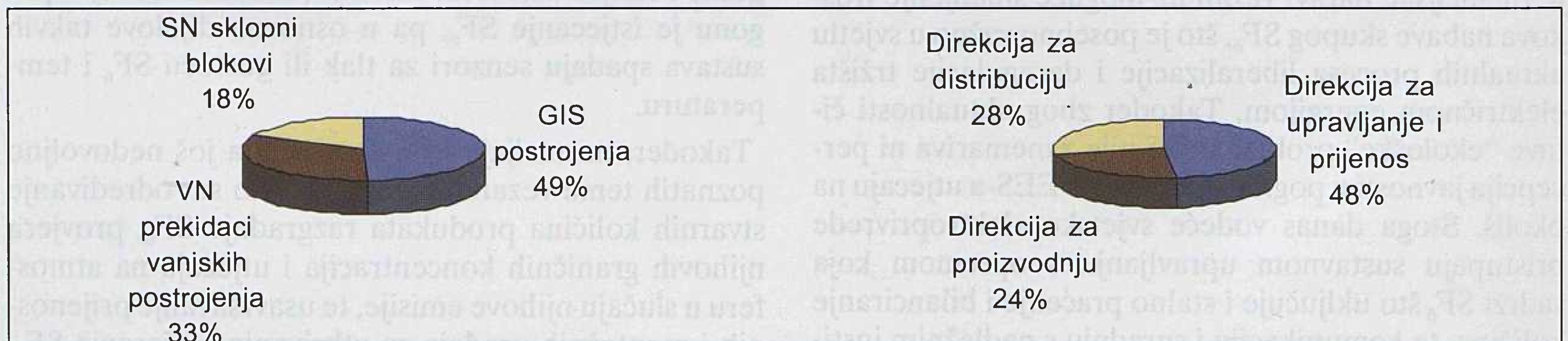
Primjena SN sklopnih blokova sa SF₆ počinje krajem 80-ih godina XX. stoljeća, a regulirana je "Tehničkim uvjetima za TS 10(20)/0,4 kV kabelaške izvedbe" iz 1992. i 1995. godine.

6.2. Procjena količina i emisija SF₆ iz hrvatskog EES-a

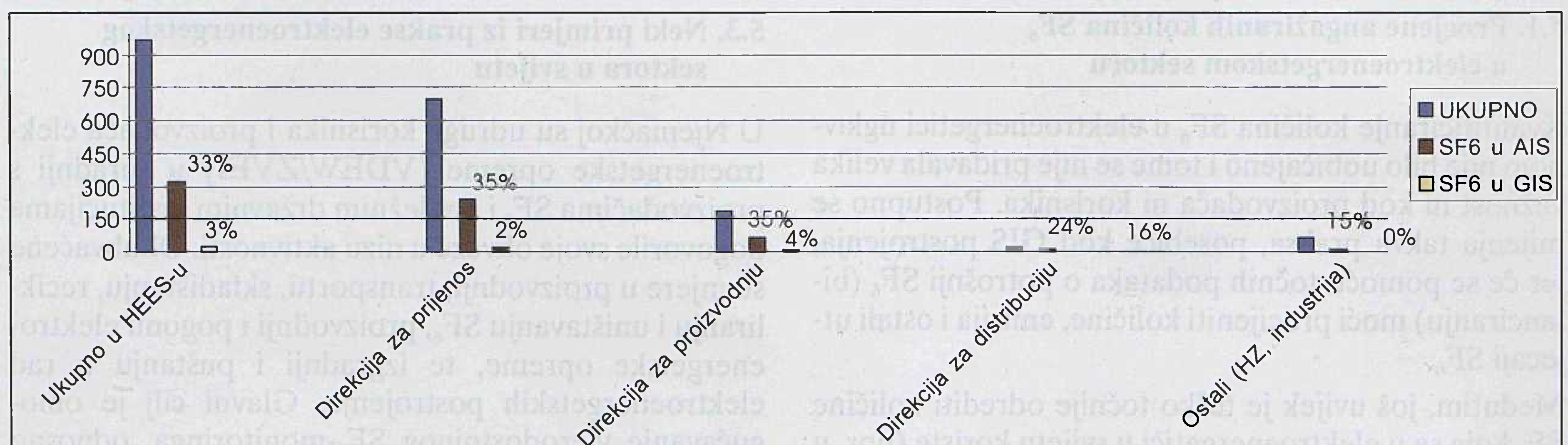
U Hrvatskoj ne postoji sustavno uvedena obveza bilanciranja SF₆, no za očekivati je da će se takve obaveze po njihovu uvođenju, kako ne postoji proizvodnja SF₆ u Hrvatskoj, pretežno odnositi na korisnike SF₆ među kojima na elektroenergetski sektor otpada najveći dio (koji danas čine praktički gotovo isključivo HEP i domaći proizvođači elektroenergetske opreme sa SF₆).

Iz tog razloga pristupilo se samoinicijativno procjeni ukupne količine u HEES-u (hrvatskom elektroenergetskom sustavu) primjenom metodologije slične onoj u 3.3. Temeljem raspoloživih podataka o postrojenjima i opremi sa SF₆ za 2000. godinu ukupna količina SF₆ u HEES-u iznosi oko 18,2 tona. Od toga se čak oko 99% nalazi u HEP-u, što se dalje raspodjeljuje po organizacijskim jedinicama i tehnološkim područjima primjene (od kojih prevladava primjena u VN postrojenjima - 110, 220 i 400 kV).

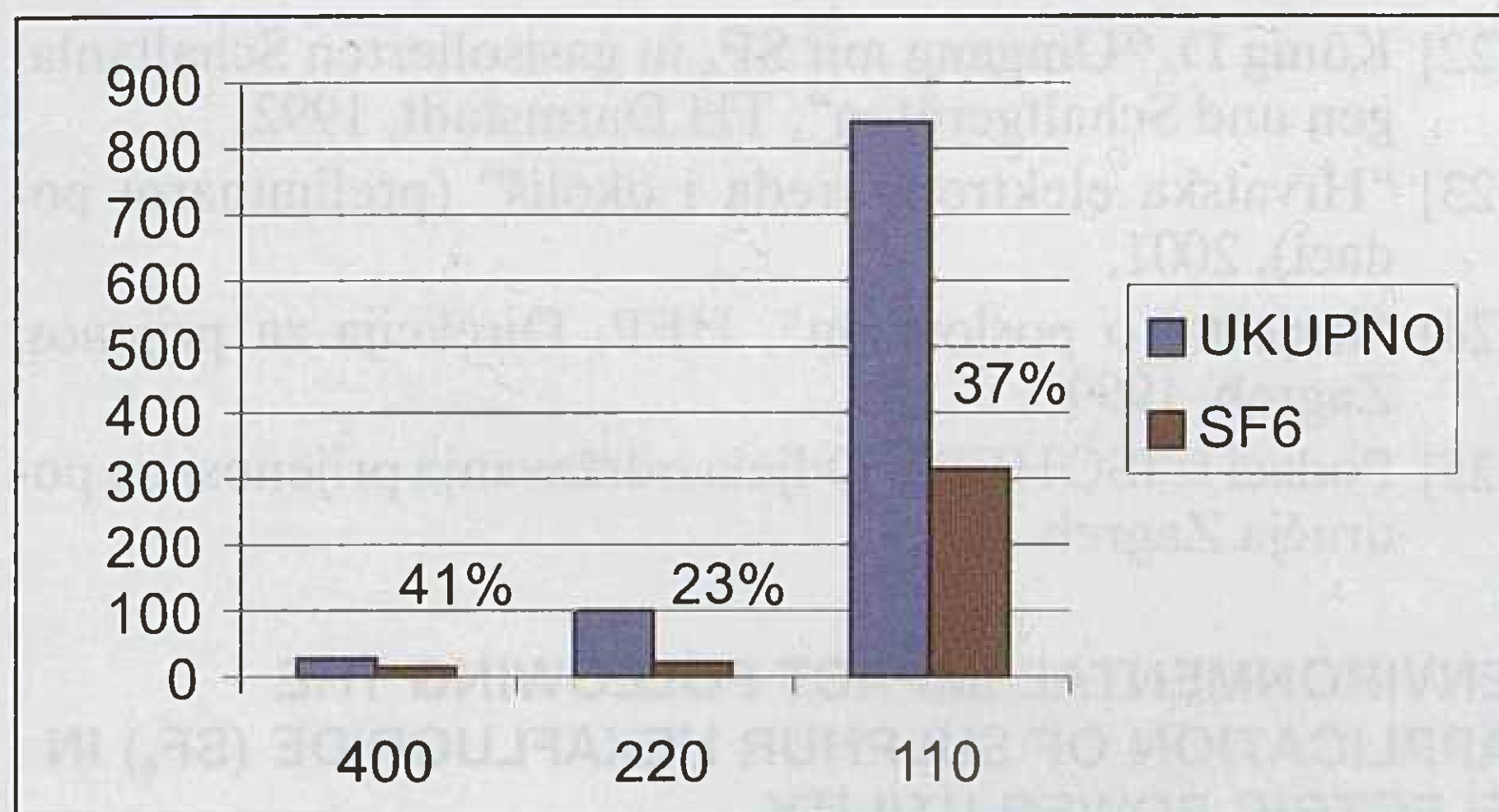
Ako se pretpostavi standardna vrijednost godišnje emisije SF₆ od 1 %, dolazi se do brojke od 182 kg SF₆ godišnje odnosno, 4350 tona ekvivalentnog CO₂, što čini oko 0,1 % ukupne emisije ekvivalentnog CO₂ HEP-a koja je procijenjena na 3544 ktona.



Slika 2. Procjena raspodjele količina SF₆ po temeljnim direkcijama i područjima primjene



Slika 3. Udio polja sa SF₆ prekidačima prema ukupnom broju u VN postrojenjima po korisnicima



Slika 4. Udio polja sa SF₆ prekidačima prema ukupnom broju po naponskoj razini (kV)

6.3. Organizacijske i normativno-regulativne aktivnosti

Republika Hrvatska potpisala je Kyoto protokol (još uvijek nije ratificiran) kojim se između ostalog regulira uporaba i nadzor stakleničkog plina SF₆. Prema zahtjevima protokola svaka zemlja potpisnica obvezna je redovito bilancirati sve stakleničke plinove i o tome godišnje izvještavati Sekretarijat Konvencije UN-a za klimatske promjene u Bonnu. Ove godine na državnoj su razini načinjene preliminarnе procjene dok se uvođenje sustavnog bilanciranja očekuje od početka iduće godine.

S obzirom na to kao i na prethodno navedena svjetska iskustva, ali i započeti proces restrukturiranja HEP-a, ubuduće će se aktivnostima na tom planu posvetiti više pažnje. Praćenje SF₆ bit će organizirano u okviru makroprojekta praćenja utjecaja na okoliš od rada postrojenja HEP-a u sklopu provedbe Poslovne politike HEP-a u zaštiti okoliša. Poslovni cilj HEP-a, izražen kroz 10 temeljnih načela Poslovne politike HEP-a u zaštiti okoliša, jest kontinuirano unaprjeđenje odnosa prema okolišu u skladu sa zakonskim propisima i međunarodnim normama (ISO 14000 i EMAS).

Tako predstoji organiziranje sveobuhvatnog i kontinuiranog bilanciranja SF₆ kako bi se dobila jasnija slika u pogledu troškova i mogućih ušteda vezanih uz SF₆. Stoga je potrebno u pravilnicima održavanja na godišnjoj razini predvidjeti evidenciju količine SF₆ kojima se oprema dopunjava za svu SF₆ opremu. U njima je bitno i implementirati koncept ponovne uporabe SF₆, što pretpostavlja i uhodavanje kontakata s ostalim subjektima u sustavu gospodarenja otpadom na razini države.

Potrebno je i na hrvatskom jeziku, po uzoru na odgovarajuće dokumente stranih elektroprivreda izraditi priručnik koji bi objedinio kako općenite tako i specifične aspekte vezane uz primjenu SF₆ u HEP-u. Također bi trebalo intenzivirati i organizaciju redovitog osposobljavanja i informiranja i šireg kruga zaposlenika koji rade sa SF₆ s tom problematikom, što je nužno za kvalitetno održavanje sve složenije opreme.

U tom smjeru postoje već i domaći prijedlozi prvenstveno za dio koji se tiče zaštite na radu u užem smislu. Nadalje u tehničkim odborima *Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo* treba potaknuti izdavanje hrvatskih normi

relevantnih za ovo područje uz preuzimanje ili prevodenje odgovarajućih stranih preporuka i normi (kao što su IEC 60376, IEC 60480, IEC 61634 i dr.).

6.4. Primjena odgovarajuće opreme za održavanje i recikliranje SF₆

Realizacija već spomenutog koncepta ponovne uporabe SF₆ (ali i održavanje opreme koja sadrži SF₆) pretpostavlja i određena ulaganja u specifičnu opremu koja se tek dugoročno mogu dijelom isplatiti manjim troškom za nabavu SF₆ i sl. Pozitivan primjer u HEP-u je GIS postrojenje u TS Ksaver (HEP, DP "Elektra" Zagreb), gdje je ustanovljeno da je SF₆ nakon 12 godina pogona u odličnom stanju, pa je vraćen u postrojenje nakon izvršenih ostalih radova predviđenih u planu održavanja za reviziju, odnosno remont postrojenja.

HEP raspolaže s dva uređaja za izmjenu i dopunu SF₆ starije generacije većeg kapaciteta, no javlja se potreba za nabavom sličnih manjih uređaja u nekoj od mobilnih varijanti (npr. kamionska prikolica). Za propisane periodične analize stanja SF₆ (odnosno provjere karakterističnih veličina) u postrojenjima, koje su ključne za mogućnost i način ponovne uporabe SF₆ nabavljeni su po jedan prijenosni uređaj za određivanje čistoće SF₆ i uređaj za određivanje sadržaja vlage u SF₆ (mjerenjem temperature rosišta) u PrP Zagreb, a u planu je i povećanje broja takvih uređaja.

Radi pravodobnog otkrivanja i lokaliziranja, te otklanjanja mogućeg ispuštanja SF₆ iz opreme pod tlakom potreban je kontinuirani nadzor ključne veličine za stanje SF₆ – njegove gustoće (posredno određena tlakom i temperaturom koji se češće mjere). Pri prekoračenju određenih graničnih vrijednosti dolazi do alarma, odnosno blokade rada primarne opreme. Ovisno o proizvođaču i tipu opreme danas se još uvijek radi o standardnim fiksnim pogonskim instrumentima montiranim na primarnoj opremi (temperaturno kompenzirani ili nekompenzirani manometri, indikatori pogonske spremnosti i sl.). Do šire primjene sofisticiranih sustava za monitoring i dijagnostiku (s mogućnošću daljinskog nadzora i komunikacije), u tu svrhu služe i detektori prisutnosti SF₆. U HEP-u se koristi veći broj malih prijenosnih detektora (tzv. "pipalica"), a u planu je nabava većih i osjetljivijih – tzv. "pištolja" za GIS.

7. ZAKLJUČAK

Danas je teško zamisliti koja bi tehnologija mogla adekvatno zamijeniti postojeću SF₆ tehnologiju u navedenim područjima primjene u elektroprivredi, pa se čine vrlo vjerojatnim predviđanja o nastavku dominacije SF₆ tehnologije tijekom većeg dijela ovog stoljeća, budući da je evidentan porast ukupno angažiranih količina plina SF₆ i širenje njegove primjene u elektroenergetskim postrojenjima širom svijeta.

Odgovorani pristup njegovom korištenju, kao i posljedica korištenja, je samim time nužno potreban i opravdan, a dugoročno i financijski isplativ. Tako treba

shvatiti i segment SF₆ problematike vezan uz činjenicu da korišteni SF₆, za kojeg se temeljem iskustva i provedenih ispitivanja očekuje da je u nekoj mjeri (iako posotno neznatnoj) onečišćen produktima svoje razgradnje, spada u tehnološki otpad.

U HEP-u je ovaj problem prepoznat, s obzirom na konkretne prilike, u ranoj fazi u odnosu na elektroprivrede koje su SF₆ tehnologiju počele primjenjivati znatno ranije. Tako ostaje još dovoljno vremena za razradu i pripremu konkretnih mjera gospodarenja takvom specifičnom vrstom tehnološkog otpada.

LITERATURA

- [1] D. MEĐIMOREC, Z. STANIĆ: "Primjene sumpornog heksafluorida (SF₆) u elektroprivredi i mogući utjecaji na okoliš", VI. Međunarodni simpozij "Gospodarenje otpadom Zagreb 2000"
- [2] D. MEĐIMOREC, Z. STANIĆ: "Aspekti okoliša vezani uz korištenje plina sumpornog heksafluorida (SF₆) u elektroprivredi", HK CIGRE Cavtat, 1999.
- [3] Network of Experts for Standardisation "Guide to the safe use of SF₆ in gas insulated electrical equipment"; UNIPED/EURELECTRIC, Bruxelles, 1998.
- [4] "Concept for reuse of the used SF₆", "Solvay", Hannover, 1996.
- [5] Grupa autora - WG 23.10.1 "SF₆ recycling guide"; CIGRE Paris, 1997.
- [6] Grupa autora - WG 23.10 "Report on the second international survey on high voltage gas insulated substations (GIS) service experience"; CIGRE Paris, 1998.
- [7] Grupa autora - WG 23.10 "SF₆ and the global atmosphere"; "Electra" No.164, 1996.
- [8] Grupa autora - WG 23.11 "Environmental aspects in substations"; CIGRE Paris, 1998.
- [9] Grupa autora - WG 23.13 "Simplified concepts for future substations"; CIGRE Paris, 1998.
- [10] Grupa autora - WG 23.03 "Handling of SF₆ and its decomposition products in gas insulated switchgear (GIS)"; "Electra" No.136, 1991.
- [11] K. MEŠTROVIĆ: "Upotreba plina sumpornog heksafluorida (SF₆) u visokonaponskim sklopnim aparaturama"; 3. savjetovanje HK CIGRE, Cavtat, 1997.
- [12] "Erklärung zu SF₆ in elektrischen Schaltgeräten und -anlagen"; VDEW/ZVEI, Frankfurt, 1996.
- [13] "Merkblatt: SF₆-Anlagen"; Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln, 1993.
- [14] "Environmental Performance Report 1997/98", National Grid Company, Coventry, 1998.
- [15] E. J. DOLIN: "EPA's new opportunity for industry: SF₆ emissions reduction"; "Electrical world", 1998.
- [16] Giboulet A. i grupa autora "Policy for GIS refurbishment for extended service life" CIGRE Paris, 1998
- [17] B. M. PRYOR i grupa autora: "Life cycle management philosophies for transmission substations" CIGRE Paris, 1998.
- [18] A. LUDWIG i grupa autora: "New interrupting and drive techniques to increase high voltage circuit breaker performance and reliability" CIGRE Paris, 1998.
- [19] Luxa G.F. "Anwendung von SF₆ als Isoliermittel von Hochspannungsanlagen"; TU Berlin, 1980.
- [20] Kärner H.C., Knobloch H. "Schwefelhexafluorid in der heutigen Energieversorgung"; etz 7/1996
- [21] Hillers T., Koch H. "Gasisolierte Hochspannungseleitungen"; etz 11/1997

- [22] König D. "Umgang mit SF₆ in gasisolierten Schaltanlagen und Schaltgeräten"; TH Darmstadt, 1992.
- [23] "Hrvatska elektroprivreda i okoliš" (preliminarni podaci), 2001.
- [24] "Izvještaj o poslovanju", HEP, Direkcija za prijenos, Zagreb, 1999.
- [25] Podaci iz ISOHEP-a Odjela održavanja prijenosnog područja Zagreb

ENVIRONMENTAL IMPACT FOLLOWING THE APPLICATION OF SULPHUR HEXAFLUORIDE (SF₆) IN ELECTRIC POWER UTILITY

Gas called sulphur hexafluoride (SF₆) is applied mainly in the electric power sector to extinguish the electric arc and/or insulate high- and mid-voltage substations. The involvement of SF₆ technology is constantly growing thanks to numerous advantages compared to other technologies for similar applications as well as in the sense of different environmental impacts.

The impacts of "pure" SF₆ gas and its separation products coming from different operation situations differ. Depending on the "pollution" level these SF₆ products can be cleansed in various ways, recycled and used again, and in the worst case destroyed in a special, completely secure, procedure. Therefore, in accordance with foreign and domestic regulations, actions are considered and undertaken to reach responsible operation and maintenance of SF₆ apparatus.

FRAGEN DER UMWELTBEEINFLUSSUNG DURCH ANWENDUNG DES SCHWEFELHEXAFLUORIDES (SF₆) IN DER ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT

Das Gas Schwefelhexafluorid (SF₆) wird überwiegend in der Elektroenergetik, insbesondere für die Strombogenlöschung und/oder als Isolation in den Mittel- und Hochspannungsanlagen angewandt. Dank vielen Vorteilen im Bezug auf andere Verfahren für ähnliche Zwecke, u.a. im Bezug auf die Umweltbeeinflussung jeglicher Art, wächst der Anteil von SF₆ andauernd.

Unterschieden werden die Einflüsse von reinem SF₆ und von den Produkten seines Zerfalls bei gewissen Erscheinungen im Betrieb. In Abhängigkeit vom Ausmaß der "Verunreinigung" mit solchen Produkten von SF₆ kan die Reinigung auf mehrere Arten erfolgen, bzw. es kann rezykliert und wiederverwendet, und letzten Endes durch besondere Verfahren auf sichere Weise vernichtet werden. Deshalb unternimmt man, im Einklang mit den geltenden Vorschriften in der Welt-, aber in der einheimischen Erkenntnis, beurteilt man und unternimmt eine Reihe von Massnahmen wegen dem verantwortlichen Betrieb und Wartung der SF₆ Ausrüstung.

Naslov pisaca:

Damjan Medimorec, dipl. ing.
Silvio Brkić, dipl. ing.
mr. sc. Zoran Stanić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda d.d.
Sektor za razvoj
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
 2002-05-10.