

DOI: [10.46793/CIGRE37.A2.09](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.A2.09)**A2.09****САВРЕМЕНИ ТРЕНДОВИ ДИЈАГНОСТИКЕ РЕГУЛАТОРА НАПОНА
ИСПИТИВАЊЕМ УЉА****MODERN TRENDS IN OLTC DIAGNOSTICS THROUGH OIL ANALYSIS****Бранка Ђурић, Весна Радин, Драган Теслић*, Александра Димитријевић**, Ненад
Стевановић*****

Кратак садржај: Развој технологије израде елемената трансформатора усмерен је ка производњи делова који доводе до повећања дуготрајности и поузданости опреме. Самим тим, унапређени елементи имају и другачије перформансе, као и механизме функционисања, али и деградације, што посредно утиче и на дијагностичке приступе и методе. Теретни регулатори напона су услед специфичне функције изложени повишеном стресу па су и најподложнији кваровима, због чега последњих година доживљавају континуирана побољшања и промене у конструкцији. Тако је у употреби све већи број вакуумских регулатора напона уместо уљних, што захтева ажурирање дијагностичких критеријума и метода за испитивање исправности. У раду је дато поређење рада вакуумских и уљних регулатора напона, са освртом на могуће утицаје на резултате испитивања. Посебан акценат је стављен на испитивања садржаја гасова у уљу гасном хроматографијом (ГХ), као осетљиве методе у раном откривању кварова, посебно термичке природе. Представљени су примери из праксе који илуструју разлике у тумачењу ГХ анализе у зависности од типа регулатора напона, уз комплементарна електрична испитивања.

Кључне речи: *Изолационо уље, Енергетски трансформатор, Регулатор напона, Гасна хроматографија*

Abstract: The development of transformer component manufacturing technology is focused on producing parts that enhance the longevity and reliability of equipment. Consequently, improved components exhibit different performance characteristics, operating mechanisms, and degradation processes, which in turn influence diagnostic approaches and methods. Due to their specific function, on-load tap-changers (OLTCs) are subjected to increased stress, making them more prone to failures. As a result, they have undergone continuous improvements and structural modifications in recent years.

*Бранка Ђурић, Електротехнички институт Никола Тесла АД Београд, branka.djuric@iecent.org

Весна Радин, Електротехнички институт Никола Тесла АД Београд, vesna.radin@iecent.orgДраган Теслић, Електротехнички институт Никола Тесла АД Београд, dragan.teslic@iecent.org**Александра Димитријевић, АД ЕПС Београд, Огранак ТЕНТ, aleksandra.dimitrijevic@eps.rs***Ненад Стевановић, АД ЕПС Београд, Огранак ТЕ-КО Костолац, stevanovic.nenad@eps.rs

One notable trend is the growing use of vacuum-type OLTCs instead of conventional ones, necessitating updates to diagnostic criteria and testing methods for assessing their condition. This paper presents a comparison of vacuum and oil-filled OLTCs, with a focus on their potential impact on test results. Special emphasis is placed on dissolved gas analysis (DGA) using gas chromatography (GC), a sensitive method for the early detection of failures, particularly those of thermal origin. Case studies from practical applications illustrate the differences in interpreting GC analysis results depending on the OLTCs type, complemented by electrical testing methods.

Key words: Condition monitoring, Dissolved Gas Analysis (DGA), Insulating oil, OLTC, Power transformer, Vacuum-type tap-changer

1 УВОД - ПРИМЕНА ГАСНЕ ХРОМАТОГРАФИЈЕ КОД РЕГУЛАТОРА НАПОНА

Теретни регулатори напона су услед специфичне функције и покретне конструкције изложени повишеном стресу па велики проценат кварова трансформатора настаје као последица квара на теретном регулатору напона (*eng. OLTC – on-load tap-changer*). Њихово откривање у раној фази настанка од кључног је значаја за даљи погон трансформатора.

Дијагностика погонског стања регулатора напона гаснохроматографском (у даљем тексту: ГХ) анализом се издаваја као метода која се изводи на уљу, без искључења трансформатора и представља један од кључних алата у одржавању трансформатора са регулатором напона. Редовним испитивањем садржаја гасова квара у уљу, према препорученој динамици, може се зауставити развој квара у зачетку, односно обезбедити поузданост рада. Чак и у случају неочекиваних погонских догађаја, гасна хроматографија обезбеђује брзу реакцију и минимално време потребно за откривање врсте квара и интервенцију на регулатору. Наравно, откривање квара анализом садржаја гасова, готово увек је праћено доступним испитивањима електричним методама, ради потврде присуства и природе квара, а додатно и тачним лоцирањем места прегревања или дисфункције.

У прошлости се ГХ анализа уља регулатора напона сматрала тешко применљивом због продукције велике количине гасова у уљу регулатора и немогућности њихове интерпретације. У међувремену, успешно је развијено неколико метода тумачења резултата добијених путем ГХ анализе уља, које су ефикасне у откривању и дефинисању врсте квара. Како би се путем ГХ методе могли открити кварови у регулатору, неопходно је најпре прецизно дефинисати њихове нормалне, односно референтне радне услове. Друго, различите компоненте генеришу различите типичне обрасце настанка гасова у зависности од дизајна регулатора напона па је неопходно идентификовати тип регулатора напона који је у употреби, према одговарајућој класификацији.

1.1 Подела регулатора напона

Технолошки напредак у производњи компоненти трансформатора усмерен је на израду делова који повећавају дуготрајност и поузданост опреме. Унапређене компоненте имају другачије перформансе, као и нове механизме рада и деградације, што утиче на дијагностичке приступе и методе.

Регулатори напона, као део опреме под великим стресом услед своје специфичне функције, највише су подложни кваровима, те су стога у последњим годинама подвргнути континуираним побољшањима и променама у конструкцији. У том контексту, све већи број вакуумских регулатора напона замењује уљне, традиционалне, што захтева ревизију дијагностичких критеријума и метода за проверу исправности.

С обзиром на све већи број различитих варијанти модерних регулатора напона, уведена је основна класификација приказана у табели 1, како би се разликовале конструкције регулатора напона. Највеће електрично оптерећење трпи прекидачки део због чега је фокус иновација и побољшања најчешће управо у том елементу. Тако су последњих година у ширу употребу ушли вакуумски регулатори напона који имају потпуно другачију шему настанка гасова у односу на регулаторе у којима се гашење лука одвија у уљу.

Табела 1: Класификација теретних регулатора напона

Ознака	Опис
A	Гашење електричног лука у уљу при укључивању/искључивању оптерећења
V	Вакуумски прекидачи за укључивање/искључивање оптерећења
R	Пренос струје преко отпорника (отпорнички тип)
X	Пренос струје преко реактанси (реакторски тип)
S	Преклопни прекидач и бирач у одвојеним уљним коморама (одвојени)
C	Преклопни прекидач и бирач у истој уљној комори (комбиновани)

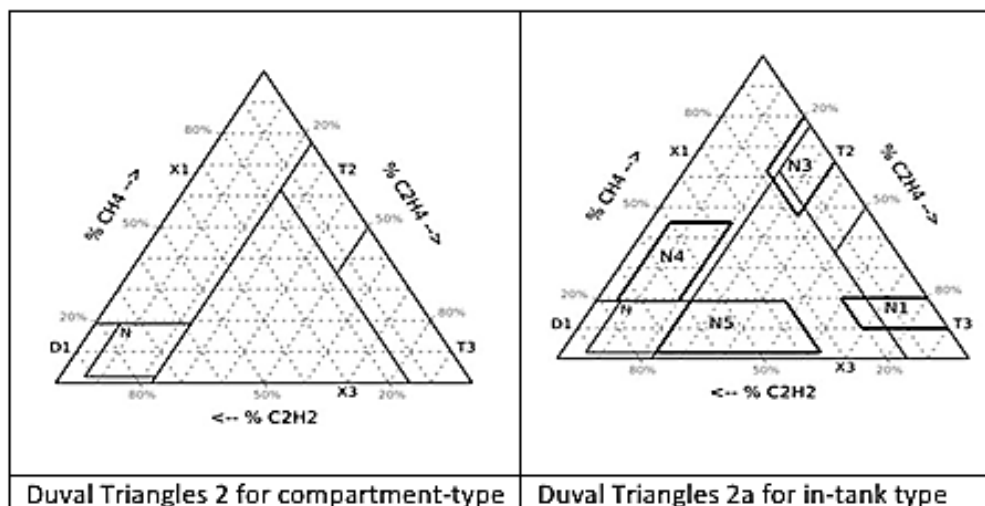
1.2 Утицај конструкције регулатора напона на ГХ анализу

Граничне вредности концентрација гасова могу значајно варирати у зависности од оптерећења, броја операција, степена карбонизације уља и самог типа регулатора. За сваку конструкцију (AXC, AXS, VXC, VXS, ARC, ARS, VRC, VRS) може се дефинисати типичан образац садржаја гасова за нормалан рад, без квара (табела 2). Компоненте регулатора типа А у нормалном раду производе гасове лука у уљу (шифра квара Д1 или Д2). Овај тип регулатора напона је добро познат и развијене су адекватне методе интерпретације резултата ГХ анализе као што су односи термичких гасова према гасовима лука, Стенестамов однос, Дувалов троугао 2. Отпорници, из типа R, могу довести до формирања термичких гасова (шифра квара Т3, Т2 или Т1). Вакуумски прекидачи и реактансе (компоненте V и X) не би требало да производе гасове квара. За разлику од уљних регулатора напона (тип A), где је повећана производња гасова очекивана појава у нормалним условима рада, код вакуумских регулатора то није случај. Зато је разноврсност образаца настанка гасова довела до дефинисања додатних „нормалних зона” рада, N1, N3, N4, N5, као што је приказано у Дуваловом троуглу 2a (слика 1, десно).

Табела 2: Концентрације гасова по операцији, према типу регулатора [1]

Тип регулатора	~ ppm/1000 операција
AXC, ARC	500
ARS	6000
VXC	0-10
VRC	10-30

С обзиром да су нивои гасова настали при нормалном раду вакуумског регулатора напона врло ниски, свако значајно формирање гаса у околном изолационом уљу указује на неко абнормално понашање регулатора (електрично или термичко) [2]. Повишене апсолутне концентрације ацетилена указују на дуже трајање лука, мада је значајнији показатељ абнормалног рада пораст брзине стварања ацетилена у периоду праћења, узимајући у обзир и број операција. То би указивало на неувобичајено повећање стварања ацетилена по операцији у односу на нормалан рад и континуирани пораст вредности. У случају да апсолутна концентрација ацетилена пређе 50 ppm препорука је да се изврши инспекција регулатора [3].



Слика 1: Дувалови троуглови 2 и 2а за интерпретацију гасова расворених у уљу регулатора напона [4]

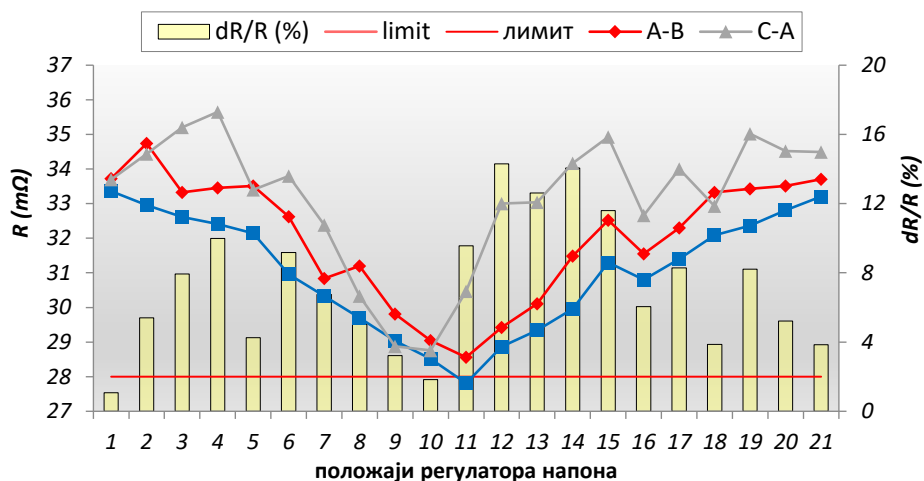
2 УЉНИ РЕГУЛАТОР НАПОНА – ПРИМЕР 1 ИЗ ПРАКСЕ

Енергетски трансформатор, напонског нивоа 22/6 kV и снаге 50 MVA, који ради у функцији трансформатора сопствене потрошње у термоелектрани, у погону је од 1985. године, односно 40 година. Опремљен је са два паралелно везана теретна регулатора напона (леви и десни) уљног типа, са засебним гасним релејима.

Приликом мерења омских отпора ВН намотаја на коме су регулатори напона, током 2016. године, утврђено је сумњиво стање због измерених међуфазних одступања у појединим положајима која су прелазила препоручени критеријум, уз максималну вредност у положају 12 од скоро 6 %. Тада је уочено одступање од линеарне промене карактеристичне за дати тип регулатора и препоручено је наредно ванредно испитивање. Почетком 2017. године је и реализована ванредна контрола, када је поново констатовано сумњиво стање регулатора напона и дата препорука за хитну ревизију, у складу са погонским плановима.

Приликом наредног испитивања у септембру 2017. године, утврђена су значајна међуфазна одступања која су преко препоручених граничних критеријума у скоро сваком положају регулатора, а у појединим положајима и преко 14 %, што је незадовољавајуће стање (слика 2).

Карактеристика промене отпора намотаја са променом положаја регулатора значајно одступа од линеарности, што значи да на контактима, односно механизму регулатора постоје знаци значајних оштећења као последица напрезања током протеклог периода погона. Посебно велика одступања су у мерном споју намотаја "C-A".



Слика 2: Дијаграм промене отпора и максималне разлике отпора између фаза за све положаје теретног регулатора напона - 09/2017. године

На упоредном приказу дате су промене отпора намотаја за све положаје регулатора напона снимљене прилоком испитивања у 2015, 2016. и два испитивања у 2017. години, и јасно се уочава тренд значајног погоршања стања регулатора напона (табеле 3 и 4).

Табела 3: Максимална одступања отпора између фаза

Испитивање	2015	2016	02/2017	09/2017
Позиција рег. нап.	$\Delta R/R$ (%)	$\Delta R/R$ (%)	$\Delta R/R$ (%)	$\Delta R/R$ (%)
1	0,93	0,56	2,15	1,08
2	0,79	0,94	1,47	5,40
3	0,92	1,65	0,48	7,94
4	0,89	1,22	1,90	10,00
5	1,28	0,54	2,55	4,26
6	0,81	1,66	0,79	9,17
7	0,94	2,26	2,16	6,76
8	0,84	3,14	1,38	5,05
9	1,00	0,32	3,04	3,22
10	1,06	0,67	3,09	1,82
11b	0,21	0,84	4,64	9,56
12	0,81	5,95	2,47	14,31
13	0,47	1,81	3,78	12,61
14	0,83	3,13	5,46	14,05
15	1,16	3,02	1,64	11,6
16	0,81	0,40	1,31	6,04
17	0,69	1,02	1,74	8,28
18	0,86	1,71	1,57	3,86
19	0,68	2,11	3,05	8,22
20	0,85	1,55	0,25	5,21
21	0,78	0,43	0,71	3,85

последњег испитивања 2017. године.

На основу приказаних мерења, донет је закључак да постоји несинхрони рад уз ослабљено стање контаката на регулаторима напона који су спрегнути на исту осовину и да се може очекивати даље погоршање стања које може битно утицати на сигурност погона самог трансформатора. Препоручена је што хитнија интервенција - отварање и преглед прекидачког и бирачког дела регулатора напона са евентуалном санацијом или заменом контаката, опруга и дотрајалих делова механизма.

Приказана су максимална одступања $\Delta R/R$ три мерна споја за све положаје регулатора напона од испитивања из 2015. године, које се може узети као референтно за нормалан рад, до

Запажа се пораст средњих (просечних) вредности одступања отпора појединих мерних спојева, као и пораст максималних и минималних одступања за цео опсег регулације, као и све веће расипање одступања, чије мерило је пораст стандардне девијације, а које потиче од неједнаког хабања појединих контаката регулатора. Све то указује да је стање контаката незадовољавајуће и да не гарантује даљи поуздан погон трансформатора.

Табела 4: Статистичка обрада максималних одступања отпора три мерна споја $\Delta R/R$ за све положаје регулатора

Испитивање	2015	2016	02/2017	09/2017
$\Delta R/R$ sr (%)	0,84	1,66	2,17	7,25
$\Delta R/R$ max (%)	1,28	5,95	5,46	14,31
$\Delta R/R$ min (%)	0,21	0,32	0,25	1,08
σ (%)	0,22	1,33	1,33	3,83

Месец дана након последњих електричних испитивања анализирана су и уља из оба регулатора напона, гаснохроматографском методом. С обзиром да се ради о типу регулатора напона где се прекидање дешава у уљу, очекиване су високе апсолутне концентрације типичних гасова квара (Табела 5). У овом случају имало је смисла применити Стенестамов однос и Дувалов троугао за регулаторе напона.

Табела 5: Резултати испитивања ГХ анализе уља регулатора напона

Датум узорковања	Ниво	Појединачне концентрације гасова, ppm					Оцена
		Водоник (H ₂)	Метан (CH ₄)	Ацетилен (C ₂ H ₂)	Етилен (C ₂ H ₄)	Етан (C ₂ H ₆)	
05/10/2017	РН-Л	1351	976	291	1456	476	Ц (Т3)
05/10/2017	РН-Д	3244	799	1165	1473	162	Ц (Х3)

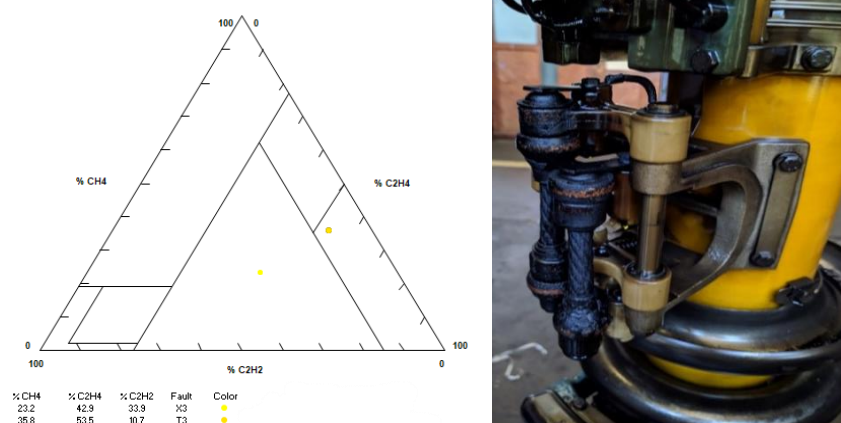
ГХ анализа је потврдила да је у оба регулатора напона присутан термички квар. У узорку уља регулатора напона - лева страна (РН - Л) детектоване су повишене концентрације термичких гасова квара, у првом реду етилена, као водећег гаса, затим водоника, метана и етана, док је концентрација ацетилена најнижа. Однос термичких гасова према гасовима електричног лука, Станестам однос (R_4 , табела 6), указује на присуство интензивног термичког квара у РН - Л. Интерпретација садржаја гасова на основу Дуваловог троугла за РН, даје шифру квара Т3, која такође указује на присуство термичког квара у суду РН - Л, са температурама од преко 700 °C (Слика 3, лево).

Табела 6: Односи концентрација гасова у уљу регулатора напона трансформатора

Ниво	Односи гасова			
	$R_1 = \frac{C_2H_4}{C_2H_2 + H_2}$	$R_2 = \frac{C_2H_4}{C_2H_2}$	$R_3 = \frac{C_2H_4 + CH_4 + C_2H_6}{C_2H_2 + H_2}$	$R_4 = \frac{C_2H_4 + CH_4 + C_2H_6}{C_2H_2}$
РН-Л	0,89	5,00	1,77	9,99
РН-Д	0,33	1,26	0,55	2,09

Када се анализирају резултати ГХ уља из регулатора напона – десна страна (РН - Д), уочавају се веће концентрације у поређењу са РН - Л.

Иако су апсолутне концентрације гасова више, па и концентрација ацетилена, стање РН - Д може се сматрати нешто бољим, што потврђује и нижи Станестамов однос, у односу на РН - Л. То потврђује и интерпретација резултата преко Дуваловог троугла за РН јер се добија шифра квара ХЗ која указује на присуство термичког квара у развоју или на варничење већег интензитета у суду РН.



Слика 3: Дувалов троугао 2 за регулаторе напона РН - Л и РН – Д (лево); фотографија десно - након дефектаже у фабрици

Дата је препорука да се изврши хитна ревизија и ремонт регулатора напона, у што краћем року, јер резултати ГХ анализе указују на висок погонски ризик оба регулатора напона, а самим тим и трансформатора. До истог закључка дошло се и након електричних испитивања регулатора напона.

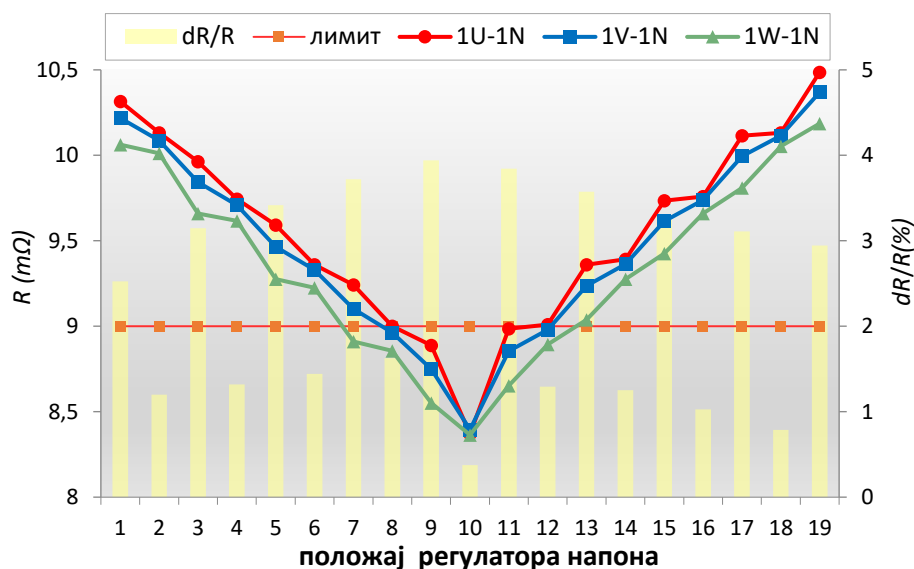
На основу датих препорука, усклађених са интезивним електричним и хемијским испитивањима регулатора напона, извршена је дефектажа у фабрици, при чему су оба регулатора напона замењена новим, истог типа. Том приликом је потврђено присуство значајних депозита на контактима услед коксовања уља (Слика 3, десно) што је допринело лошим резултатима ГХ анализе и електричних испитивања.

3 ВАКУУМСКИ РЕГУЛАТОР НАПОНА - ПРИМЕР 2 ИЗ ПРАКСЕ

Енергетски трансформатор, напонског нивоа 15/6,3/6,3 kV и снаге 36/21/21 MVA, који је на функцији трансформатора сопствене потрошње у термоелектрани, од пуштања у погон 2008. године је редовно испитиван на годишњем нивоу електричним и хемијским методама. Трансформатор је опремљен са два регулатора напона (А и Б), са реверзибилном регулацијом вакуумског типа. У току 2022. и 2023. године регулатори напона су испитивани у поштреном режиму јер је постојала основана сумња у неправилан рад (слика 4).

Приликом мерења омских отпора намотаја ВН и 2022. години добијена је карактеристика промене отпора са променом положаја теретног регулатора напона која одступа од идеалне карактеристике за дати тип, уз међуфазне разлике отпора које се у непарним положајима крећу у опсегу од 3 % до 4 % и према томе прелазе препоручена гранична одступања.

На дијаграму промене отпора и максималне разлике отпора између фаза за све положаје регулатора јасно се види да је присутно одступање промене отпора од очекиване линеарне промене, и то за непарне положаје, што указује на лошије стање предбирача и/или бирача радних контаката регулатора за непарне положаје, најизраженије у фази „1U” и дуж читавог опсега регулације. Препоручена је пооштрена динамика испитивања. Испитивања регулатора током 2023. године су показала сличне резултате.



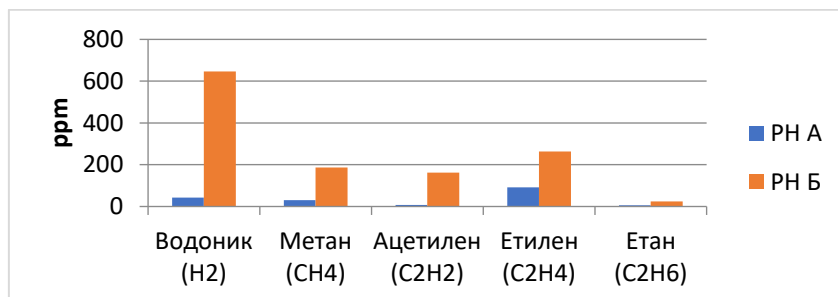
Слика 4: Дијаграм промене отпора и максималне разлике отпора између фаза за све положаје теретног регулатора напона 2022. године

Прва анализа садржаја гасова из регулатора напона извршена је 2023. године. Пошто је узорковање уља извршено из оба регулатора и анализирано гасном хроматографијом, било је могуће утврдити индивидуално стање сваког од регулатора, што се не може постићи електричним мерењима. Том приликом су уља оба регулатора напона оцењена оценом Б (табела 7), због повишене концентрације етилена, док ацетилен у том тренутку није био детектован. Иако су у општем случају апсолутне концентрације гасова биле ниске, оне су указивале на постојање грејања у регулаторима. С обзиром да се приликом нормалног рада вакуумског регулатора напона не развијају значајне концентрације гасова (свега неколико ppm), чак и мало повишене концентрације гасова могу указивати на присуство квара, што је утврђено и претходним електричним испитивањима.

Табела 7. Резултати испитивања ГХ анализе уља регулатора напона

Датум узорковања	Ниво	Појединачне концентрације гасова, ppm					Оцена
		Водоник (H ₂)	Метан (CH ₄)	Ацетилен (C ₂ H ₂)	Етилен (C ₂ H ₄)	Етан (C ₂ H ₆)	
07/11/2023	РН А	17	17	0	81	3	Б
07/11/2023	РН Б	28	25	0	125	3	Б
24/02/2025	РН А	42	30	7	92	6	Ц
24/02/2025	РН Б	647	186	162	263	25	Ц
25/02/2025	суд	2	2	0	50	1	Ван погона

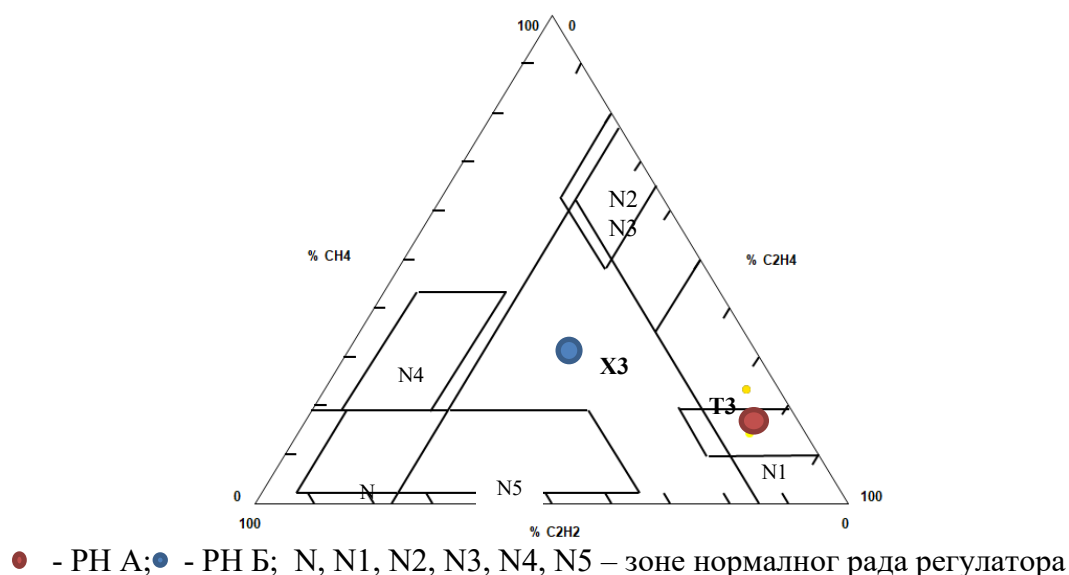
Наредно испитивање садржаја гасова у узорцима уља из регулатора напона А и Б, извршено је након погонског догађаја, када је дошло до активирања заштитног релеја регулатора напона Б. Том приликом су измерене високе концентрације свих гасова кvara (Табела 7, Слика 5), а уочен је и значајан пораст (тренд) гасова кvara између две анализе, посебно код регулатора напона Б.



Слика 5. Садржај типичних гасова кvara регулатора напона А и Б

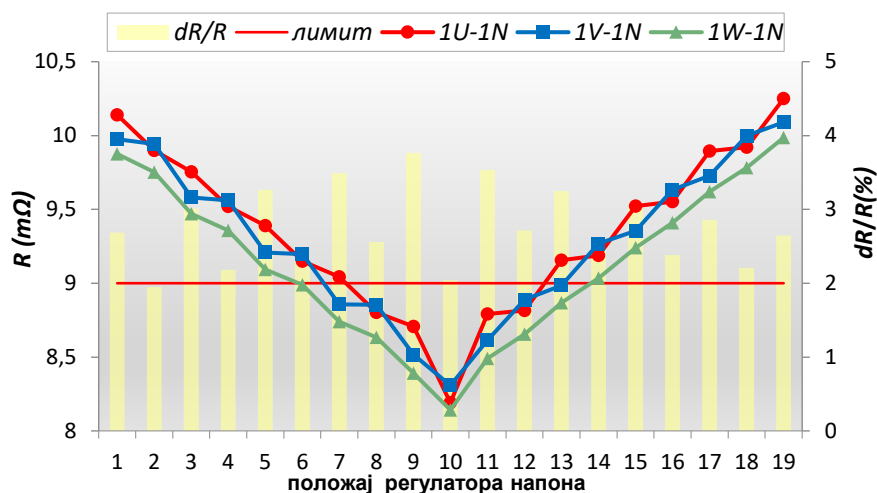
Вредности концентрација гасова у уљу из регулатора Б су неколико пута веће у односу на регулатор А, а интерпретација резултата применом унапређеног Дуваловог троугла 2а указује на абнормално и драстично варничење и/или термички квар (шифра X3, слика 6). Управо чињеница да је дошло до активирања заштитног релеја регулатора напона говори о великој брзини стварања гасова, односно бурном догађају, јер настали гасови нису стигли да се растворе у уљу, већ су се издвојили као слободни.

Ниво концентрација гасова у регулатору А, иако је нижи, указује на прегревање уз коксовање околног уља (шифра Т3, слика 1).



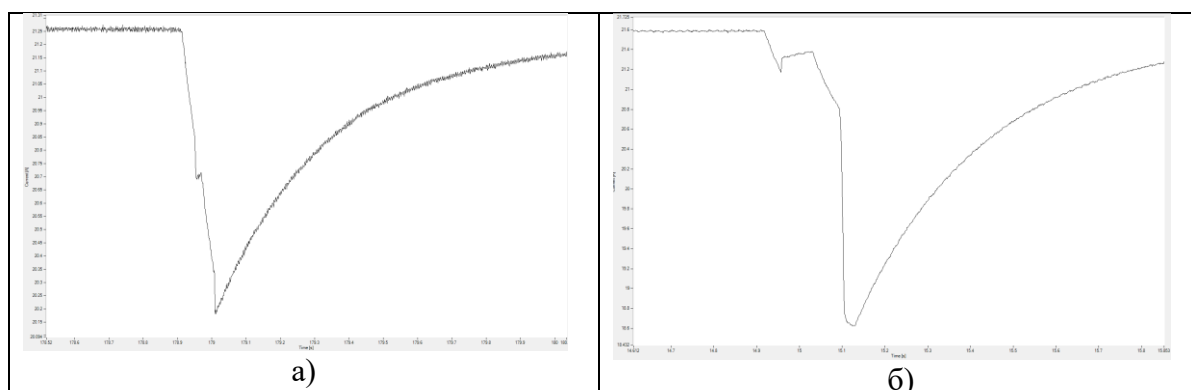
Слика 6: Дувалов троугао 2 за регулаторе напона (LTC-MR), за уљне и вакуумске регулаторе произвођача MR-Reinhausen

И овај пут су препоручена хитна електрична мерења, као и преглед регулатора напона Б и утврђивање места кvara, а трансформатор је стављен ван погона. Следи још једна ванредна контрола регулатора електричним испитивањима, мерењем статичких и динамичких отпора.



Слика 7: Дијаграм промене отпора и максималне разлике отпора између фаза за све положаје теретног регулатора напона 2025. године

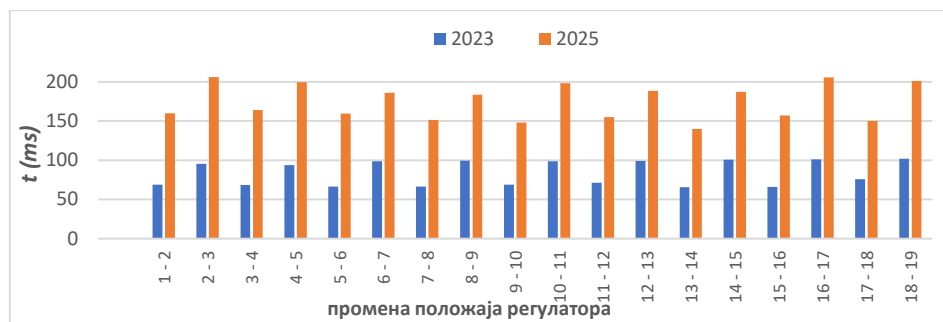
Вредности статичких отпора за поједине положаје РН (Слика 7) су слични претходним испитивањима, без погоршања у односу на испитивања из 2023. године, што није случај са динамичким отпорима (*DRM*) где су примећене разлике у изгледу крива транзиције за фазу 1V (слика 8) док су криве за остале две фазе остале непромењене.



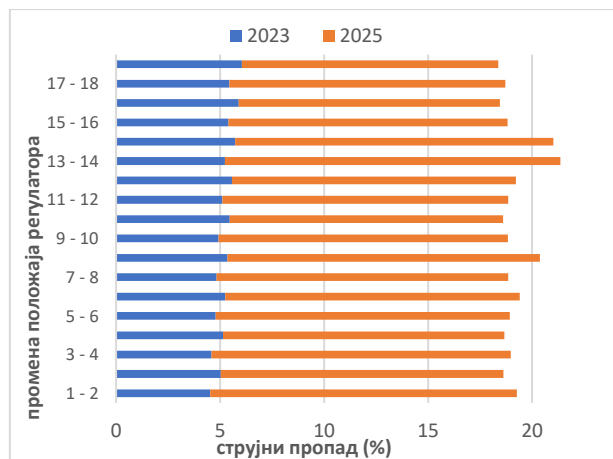
Слика 8. Изглед крива транзиције за фазу 1V при пребацивању из положаја 2 у 3 а) 2023. године и б) 2025. године

Утврђено је да су пропади струје приликом транзиције више него двоструко већи уз већу дужину трајања транзиције (слике 9 и 10). Овакво стање може бити последица ослабљених акумулационих опруга које врше пребацивање, што је последично довело до дужег времена транзиције и увећаног термичког напрезања контаката и отпорника за ограничавање струје који учествују у транзицији. Велика је вероватноћа да је то могући узрок прегревања отпорника и разлог за генерисање гасова и последичног реаговања заштитног релеја регулатора напона и испада трансформатора.

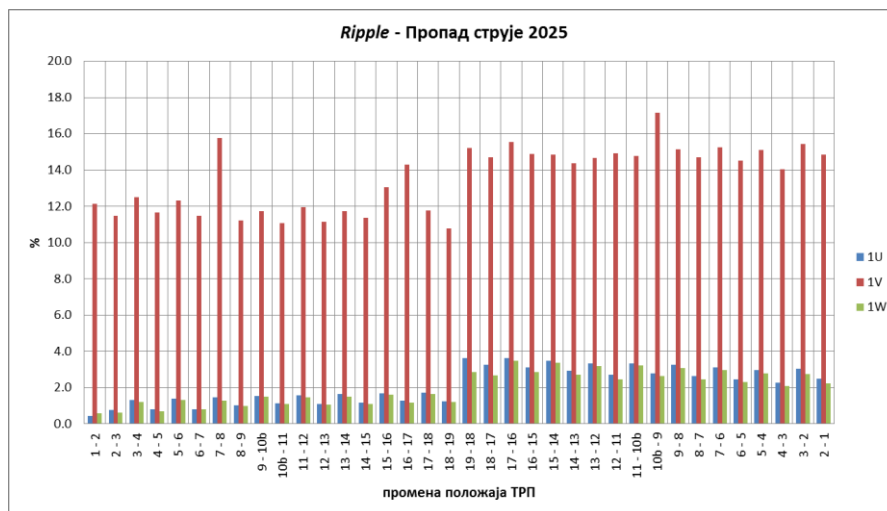
Дијаграм на слици 11. приказује промену пропада струје (*Ripple*) у односу на различите позиције регулатора напона у 2025. години, за све три фазе. Пропади струје приликом транзиције за фазу 1V су више него двоструко већи, него што је то случај код фаза 1U и 1W.



Слика 9: Дијаграм времена транзиције за фазу IV у 2023. и 2025. години



Слика 10: Промена пропада струје транзиције за фазу IV у 2023. и 2025. години



Слика 11: Промена пропада струје транзиције за оба смера промене приликом испитивања у 2025. години

Закључено је да постоје јасни показатељи дотрајалости и оштећења појединих контаката у бирачком делу регулатора, као и дефект у прекидачком делу – оштећење или прекид отпорника за ограничење струје транзиције у прекидачком делу РН Б, што је могло да узрокује брзо генерисање гасова квара и реаговање гасног релеја. Предложена је дефектажа и санација или замена дотрајалих делова регулатора. Трансформатор је стављен ван погона и чека се на његову поправку.

4 ЗАКЉУЧАК

Теретни регулатори напона, као елементи који су највише изложени стресовима, последњих деценија доживљавају и значајна побољшања у виду унапређених конструкција и примене издржљивијих материјала. То доводи до измена у електричним и операционим карактеристикама, као и начину деградације, па се приликом испитивања и праћења стања мора имати у виду тип теретног регулатора, као и појединачних делова, посебно да ли се прекидање струје одвија у уљу или у вакууму.

У раду су приказани примери дијагностике теретног регулатора напона у зависности од вакуумског или уљног прекидачког дела, где се јасно уочавају различити критеријуми садржаја гасова квара приликом дијагностике гаснохроматографском анализом. Код вакуумских прекидача очекиване апсолутне концентрације гасова су ниске, па се и мале промене садржаја гасова могу сматрати индикацијом појаве квара. Предложени дијагностички односи гасова квара и за уљне и за вакуумске прекидаче су се показали као индикативни и ефикасни у откривању топлих места, што је потврђено електричним мерењима. Такође, испитивање гасова из теретних регулатора посебно је корисно у случају паралелно везаних регулатора јер омогућава засебну дијагностику, за разлику од електричних испитивања која добијају кумулативне резултате.

Посебно треба истаћи да развој квара прекидачког дела теретног регулатора напона може да има велику брзину, што је показано примером из праксе, када је у периоду мањем од годину дана дошло до значајног оштећења. Такође, метода мерења динамичких отпора (ДРМ) се показала као веома ефикасна за реално праћење погоршања стања контаката, и у случајевима када статичка метода није била довољно осетљива.

Претходна разматрања и примери указују на потребу редовног праћења стања теретног регулатора напона комбинацијом мерења садржаја гасова (ГХ анализа) и електричних метода (мерење статичких и динамичких отпора), уз примену адекватних критеријума у односу на контрукцију, јер у синергетском приступу могу на веома ефикасан начин открити дефекте у раду и превентивно деловати ради избегавања значајнијих кварова и испада трансформатора.

5 ЛИТЕРАТУРА

- [1] CIGRE Technical Brochure 443 (2010) DGA in Non-Mineral Oils and Load Tap-Changers and Improved DGA Diagnosis Criteria, CIGRE WG D1/A2-47, www.e-cigre.org
- [2] IEC Publication 60599, Mineral Oil-Impregnated Electrical Equipment in Service – Guide to the Interpretation of Dissolved and Free Gases Analysis
- [3] R.Frotscher, Dr. D.Shen, T.Farell, Dissolved Gas Analysis – Condition Monitoring of Vacuum Type Tap Changers for Power Transformers, CEPsi, Bangkok, 2016.
- [4] IEEE Transformer Committee (2015), IEEE Guide for Dissolved Gas Analysis in Transformer Load Tap-Changers, IEEE C57.139