

T A
Č R



EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ ZEMNÍCH SPOJENÍ V KOMPENZOVANÉ SOUSTAVĚ UBR/SLM

Shrnující zpráva z experimentálního měření

Číslo projektu: TK04020187

Název projektu: Vývoj systému pro lokalizaci poruch Vdip 2. generace

Brno

prosinec 2024

Obsah

1	Úvod	1
2	Popis experimentu.....	1
2.1	Měřené veličiny.....	3
2.2	Souhrnná tabulka experimentů	4
3	Zhodnocení systému Vdip2	6
3.1	Základní blokové komunikační schéma.....	7
3.2	Reálné umístění částí systému Vdip2 v rámci poloprovozu	10
3.3	Vyhodnocení funkce systému Vdip2	11
	ZÁVĚR.....	16

1 Úvod

Cílem realizovaného experimentálního měření provedeného dne 22. a 23.10.2024 bylo ověření poloprovozu systému Vdip2 a FRA instalovaného v lokalitě napájecích rozvodů Uherský Brod a Slavičín na vývodu VN75 a VN26.

2 Popis experimentu

Experimentální měření zemního spojení (ZS) bylo realizováno v distribuční soustavě 22 kV napájené z transformovny TR 110/22kV Uherský Brod a Slavičín (variantně). Pro měření ZS byl vyčleněn vývod VN75, na kterém bylo možné provádět během ZS rekonfiguraci jak při napájení ze Slavičina, tak i z Uherského Brodu.



Obr. 2-1 Místo zemního spojení v místě DTS Vlčí 400953

Vlastní porucha byla realizována propojením vybrané fáze L_3 se zemnicí soustavou přes pomocný dálkově ovládaný jednopólový odpínač (viz Obr. 2-1) a to buď přímo (kovové zemní spojení), nebo přes elektrolytický odpor (odporové ZS) či poškozený kabel

(obloukové ZS) v závislosti na typu simulované poruchy. Zemní odpor zemnicí soustavy s připojenou fází byl cca 30 Ω (měřeno při rezistivitě půdy 50 Ω m). Testy probíhaly po celou dobu bez přerušení dodávky elektrické energie za pomoci čtyř PPN.

Během testů byly realizovány dvě série měření lišící se napájecí rozvodnou UBR a SLM a zapojením postiženého vývodu, který byl vždy uvažován ve dvou modifikacích UBR1/SLM1 a UBR2/SLM2. Seznam všech testů a jejich parametrů je uveden níže.

Tab. 2-1: Konfigurace testované sítě během experimentálních měření napájených z UBR

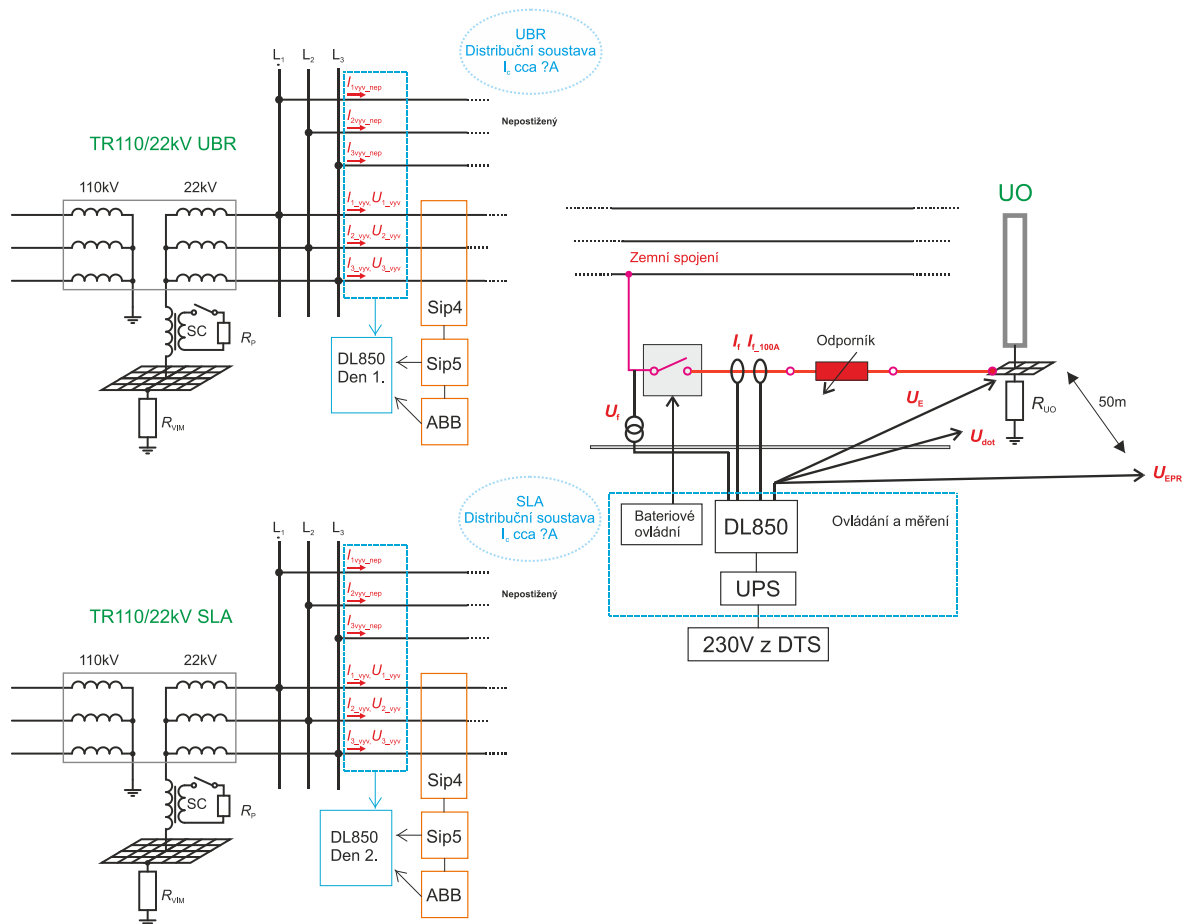
Test číslo	Čas 22.10.2024	Zapojení	Typ ZS	Naladění
1a	09:47:58.202	UBR 1	kovové	vyladěno
1b	10:04:44.747	UBR 1	kovové	vyladěno
1c	10:19:35.701	UBR 1	kovové	vyladěno
2	10:51:06.661	UBR 1	kovové	podladěno -7,2A
3	11:03:06.925	UBR 1	kovové	podladěno -10A
4	11:24:22.122	UBR 1	kovové	přeladěno +5A
5	11:33:44.237	UBR 1	kovové	přeladěno +12A
6	11:44:03.805	UBR 2	kovové	vyladěno
7	12:14:58.781	UBR 2	obloukové	vyladěno
8a	12:33:23.391	UBR 2	obloukové	podladěno -5A
8b	12:46:43.731	UBR 2	obloukové	podladěno -5A
9	12:56:03.765	UBR 1	obloukové	Vyladěno
10	13:28:38.765	UBR 1	odporové 1200 Ω	vyladěno
11	13:43:03.911	UBR 2	odporové 1200 Ω	vyladěno
12	14:15:01.854	UBR 2	odporové 400 Ω	vyladěno
13	14:27:38.621	UBR 1	odporové 400 Ω	vyladěno
14	14:47:45.972	UBR 1	odporové 200 Ω	vyladěno
15	14:56:21.395	UBR 2	odporové 200 Ω	vyladěno
16	15:13:09.621	UBR 2	odporové 100 Ω	vyladěno
17	15:23:02.321	UBR 1	odporové 100 Ω	vyladěno

Tab. 2-2: Konfigurace testované sítě během experimentálních měření napájených ze SLM

Test číslo	Čas 23.10.2024	Zapojení	Typ ZS	Naladění
1	10:23:39.203	SLM 1	kovové	vyladěno
2	10:36:10.674	SLM 1	kovové	podladěno -5A
3a	10:42	SLM 1	kovové	podladěno -12A
3b	11:05:25.472	SLM 1	kovové	podladěno -12A
4	11:13:39.310	SLM 1	kovové	přeladěno +5A
5	11:24:21.790	SLM 1	kovové	přeladěno +12A
6	11:33:15.033	SLM 2	kovové	vyladěno
7	12:13:07.662	SLM 2	obloukové	vyladěno
8	12:20:45.904	SLM 2	obloukové	podladěno -10A
9	12:28:48.580	SLM 1	obloukové	Vyladěno
10a	12:58	SLM 1	odporové 1400 Ω	vyladěno
10b		SLM 1	odporové 1400 Ω	podladěno -10A
10c	13:14	SLM 1	odporové 1400 Ω	podladěno -10A
11	13:24	SLM 2	odporové 1400 Ω	podladěno -5A
12	13:44:36.492	SLM 2	odporové 400 Ω	vyladěno
13	13:51:43.533	SLM 1	odporové 400 Ω	vyladěno
14	14:07:46.010	SLM 1	odporové 200 Ω	vyladěno
15	14:14:52.213	SLM 2	odporové 200 Ω	vyladěno
16	14:26:23.084	SLM 2	odporové 100 Ω	vyladěno
17	14:32:34.933	SLM 1	odporové 100 Ω	vyladěno

2.1 Měřené veličiny

Zjednodušené schéma experimentálního měření a zaznamenávaných veličin je znázorněno na Obr. 2-2.



Obr. 2-2 Zjednodušené schéma konfigurace soustavy a měřených veličin během experimentálního měření zemního spojení

Pro účel záznamu všech uvedených veličin byly využity celkem dva poruchové zapisovače umístěné v napájecí rozvodně VN a v místě poruchy.

První ze zapisovačů Yokogawa DL850 instalovaný v napájecí rozvodně monitoroval napětové a proudové poměry na postiženém vývodu VN75 a na nepostiženém vývodu. Druhý záznamník Yokogawa DL850 byl instalovaný v místě poruchy, kde monitoroval poruchový proud (dva rozsahy poruchového proudu), úbytek napětí na odporu poruchy, napětí postižené fáze, dotyková napětí (zatížená desková elektroda a nezatížená tyč) a napětí navýšení potenciálu postižené zemnicí soustavy.

2.2 Souhrnná tabulka experimentů

Pro srovnání jednotlivých úrovní monitorovaných signálů napříč všemi testy jsou v tabulkách níže uvedeny souhrnně všechny monitorované parametry a to pro stav zemního spojení bez připnutého pomocného odporníku a po připnutí pomocného odporníku.

Pozn.: Testy 1a, 8a, 10b a 14 nebyly během testů zaznamenány nebo nejsou kompletní. VE většině případů došlo k opakování těchto testů.

Tab. 2-3 Souhrnná tabulka charakteristických hodnot všech experimentů

Zapojení	Test	Stav Typ (rozladění)	ZS			ZS + R			R_{ZS} [Ω]
			I_f	$3xI_{0,po}$	U_0	I_f	$3xI_{0,po}$	U_0	
			[A]	[A]	[kV]	[A]	[A]	[kV]	
UBR 1	1a	kovové	n/a	35,5	12,2	n/a	41,7	11,8	
UBR 1	1b	kovové	2,9	35,7	12,3	11,3	41,9	11,9	
UBR 1	1c	kovové	2,8	35,6	12,3	19,0	41,8	11,9	n/a
UBR 1	2	kovové (-7,2A)	8,5	27,9	11,9	23,9	35,7	11,7	n/a
UBR 1	3	kovové (-10A)	8,9	27,5	12,0	24,0	35,5	11,8	n/a
UBR 1	4	kovové (+5A)	4,2	38,3	11,7	23,0	43,7	11,5	n/a
UBR 1	5	kovové (+12A)	7,9	42,5	11,6	23,9	47,1	11,5	n/a
UBR 2	6	kovové	3,0	34,4	11,7	22,5	40,4	11,5	n/a
UBR 2	7	obloukové	4,7	32,4	10,9	22,5	40,3	11,3	n/a
UBR 2	8a	obloukové (-5A)	n/a	30,8	11,7	n/a	37,0	11,4	n/a
UBR 2	8b	obloukové (-5A)	8,0	29,6	11,7	22,3	35,5	11,2	n/a
UBR 1	9	obloukové	4,0	33,8	11,5	22,3	39,8	11,3	n/a
UBR 1	10	odporové 1200 Ω	2,3	27,8	9,5	7,1	13,3	3,6	1185,5
UBR 2	11	odporové 1200 Ω	2,1	28,1	9,5	7,2	13,6	3,6	1124,1
UBR 2	12	odporové 400 Ω	2,4	31,4	10,7	11,5	21,0	5,7	505,6
UBR 1	13	odporové 400 Ω	2,5	31,6	10,8	11,9	21,5	5,9	481,8
UBR 1	14	odporové 200 Ω	2,6	33,4	11,4	16,2	29,2	8,3	208,4
UBR 2	15	odporové 200 Ω	3,1	32,2	11,4	16,2	28,6	8,4	201,8
UBR 2	16	odporové 100 Ω	2,7	34,3	11,6	19,0	34,3	9,7	97,1
UBR 1	17	odporové 100 Ω	2,9	33,9	11,8	19,1	34,1	9,9	94,8
SLM 1	1	kovové	6,9	42,2	12,0	44,4	58,8	10,3	60,6
SLM 1	2	kovové (-5A)	5,1	38,2	12,0	43,2	55,9	10,4	48,3
SLM 1	3a	kovové (-12A)	7,4	32,5	12,2	42,7	52,6	10,6	79,7
SLM 1	3b	kovové (-12A)	7,6	32,6	12,3	43,6	53,3	10,6	45,1
SLM 1	4	kovové (+5A)	11,1	47,3	12,0	43,5	60,5	10,4	44,1
SLM 1	5	kovové (+12A)	15,1	51,4	11,9	44,4	63,2	10,4	42,6
SLM 2	6	kovové	8,5	44,3	12,3	44,1	59,6	10,7	41,2
SLM 2	7	obloukové	6,4	42,3	12,0	44,7	59,3	10,5	39,2
SLM 2	8	obloukové (-10A)	6,4	33,5	12,3	43,4	53,5	10,6	39,9
SLM 1	9	obloukové	7,1	42,8	11,9	42,3	57,5	10,3	39,7
SLM 1	10a	odporové 1400 Ω	1,9	28,1	9,0	6,7	8,3	1,5	1551,3
SLM 1	10b	odporové 1400 Ω (-10A)	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
SLM 1	10c	odporové 1400 Ω (-10A)	5,9	18,5	7,8	8,3	9,7	1,9	1189,9
SLM 2	11	odporové 1400 Ω (-5A)	3,6	27,0	9,7	9,6	11,6	2,2	1001,0
SLM 2	12	odporové 400 Ω	3,6	37,7	11,3	19,2	24,4	4,4	363,3
SLM 1	13	odporové 400 Ω	4,4	38,2	11,1	20,0	25,9	4,6	326,1
SLM 1	14	odporové 200 Ω	n/a	40,4	11,7	n/a	38,4	6,9	n/a
SLM 2	15	odporové 200 Ω	6,0	42,4	11,9	30,6	39,9	7,2	122,5
SLM 2	16	odporové 100 Ω	6,1	42,9	12,1	36,1	47,3	8,6	101,4
SLM 1	17	odporové 100 Ω	6,3	42,7	12,0	35,1	46,8	8,5	99,6

Tab. 2-4 Souhrnná tabulka dotykových napětí a navýšení potenciálů zemnicích soustav

Stav			ZS				ZS+R			
Zapojení	Test	Typ (rozladění)	U_{E_UO}	U_{E_DTS}	U_{d_load}	U_{d_rod}	U_{E_UO}	U_{E_DTS}	U_{d_load}	U_{d_rod}
			[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]
UBR 1	1a	kovové	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
UBR 1	1b	kovové	90,7	1,1	72,1	81,9	480,4	3,7	243,2	246,6
UBR 1	1c	kovové	89,2	1,6	71,3	80,9	480,8	2,7	379,7	431,7
UBR 1	2	kovové (-7,2A)	265,8	0,7	211,4	240,0	489,4	3,0	385,8	438,5
UBR 1	3	kovové (-10A)	278,7	0,9	221,4	251,5	490,3	3,0	386,2	439,1
UBR 1	4	kovové (+5A)	133,1	0,9	105,8	120,1	477,9	3,2	376,9	428,3
UBR 1	5	kovové (+12A)	250,3	1,0	198,8	225,7	481,1	3,4	378,9	430,7
UBR 2	6	kovové	94,5	0,9	75,1	85,2	480,5	3,0	378,9	430,6
UBR 2	7	obloukové	125,8	1,2	99,8	113,4	468,9	2,9	370,3	420,8
UBR 2	8a	obloukové (-5A)	209,6	1,3	166,3	188,9	466,7	3,3	368,3	418,5
UBR 2	8b	obloukové (-5A)	n/a	1,0	200,8	228,6	n/a	1,4	516,5	587,0
UBR 1	9	obloukové	n/a	0,7	102,3	116,2	n/a	1,9	437,4	537,7
UBR 1	10	odporové 1200 Ω	73,9	1,7	n/a	67,2	223,8	1,8	n/a	202,5
UBR 2	11	odporové 1200 Ω	66,8	n/a	53,4	60,5	227,4	n/a	181,2	205,5
UBR 2	12	odporové 400 Ω	75,7	n/a	60,7	69,0	353,3	n/a	282,1	321,1
UBR 1	13	odporové 400 Ω	78,4	n/a	63,0	71,6	363,1	n/a	290,1	330,2
UBR 1	14	odporové 200 Ω	82,8	n/a	66,6	75,7	444,4	n/a	354,3	403,4
UBR 2	15	odporové 200 Ω	100,4	n/a	80,4	91,4	446,2	n/a	355,4	404,6
UBR 2	16	odporové 100 Ω	87,7	n/a	70,5	79,9	474,3	n/a	378,4	430,1
UBR 1	17	odporové 100 Ω	93,0	n/a	74,8	84,9	475,6	n/a	475,6	431,0

3 Zhodnocení systému Vdip2

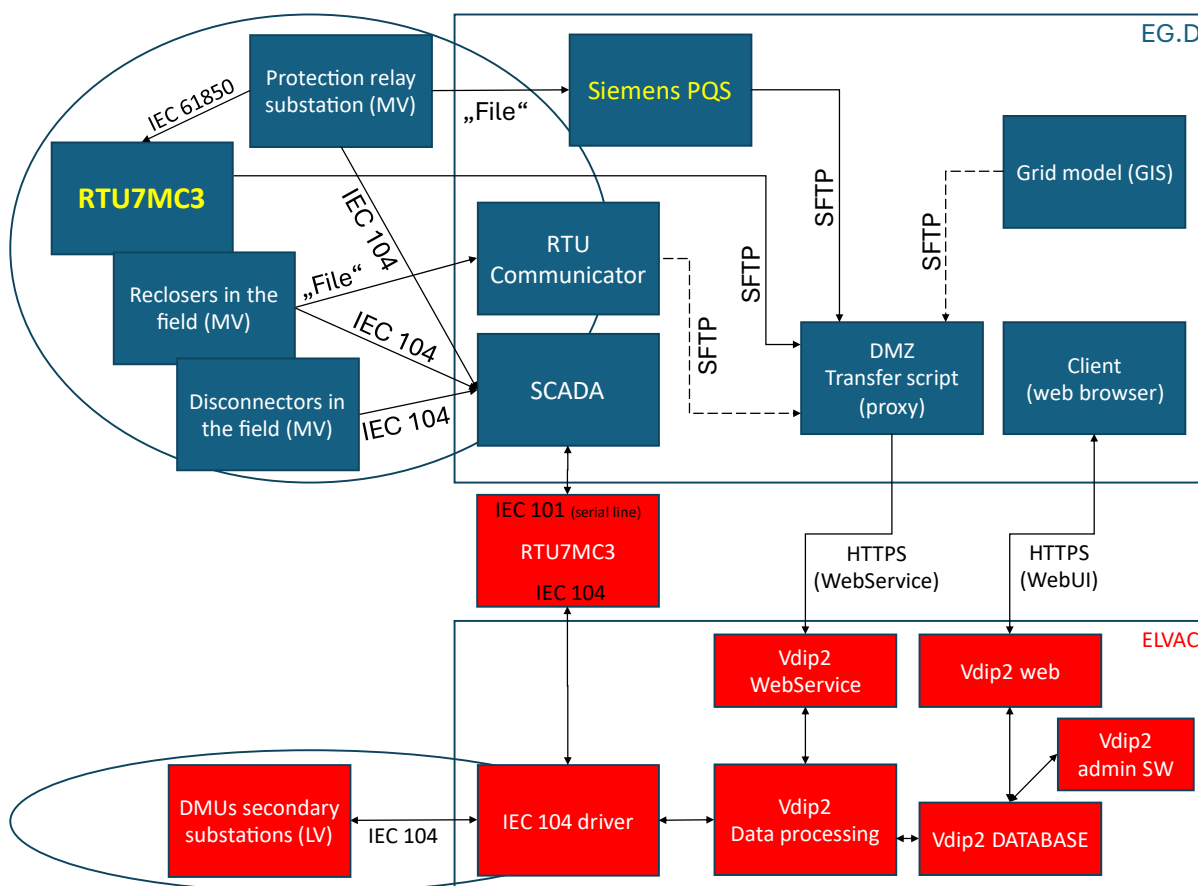
Ke spuštění algoritmů pro lokalizaci poruchy metodou Vdip2 je nutno zajistit potřebnou množinu vstupních dat v relativně krátkém čase po vzniku poruchové události. Vstupní data jsou několika typů:

- Poruchové události (signály s časovou značkou)
- Poruchové záznamy z vývodových ochran (COMTRADE)
- Topologie dotčené oblasti sítě v okamžiku vzniku poruchy (kombinace statických dat z GIS a aktuálních stavů rozpínacích prvků)
- Záznamy z DMU instalovaných na DTS v dotčené oblasti distribuční sítě (COMTRADE, pořízení a přenos na základě povelu z centra)

Úkolem navržené infrastruktury je zajištění všech potřebných dat v reálném čase. Pro potřeby poloproduzu v rámci výzkumného projektu bylo nutno zohlednit dostupnost existujících zařízení a komunikačních kanálů v síti provozovatele distribuční soustavy (EG.D) a zajistit jejich prostřednictvím přenos potřebných dat na vývojový server umístěný v datové síti společnosti ELVAC, kde se také slučují data z jednotek DMU vybavených datovými SIM kartami napojenými do stejné sítě. Nezbytným aspektem návrhu řešení bylo dodržení zásad kybernetické bezpečnosti a provoz systému Vdip2 bez negativního ovlivnění chodu provozovatele distribuční sítě.

3.1 Základní blokové komunikační schéma

Schéma je barevně rozčleněno na dvě skupiny zařízení, systémů či funkčních bloků podle jejich vlastníka – modře vyznačené prvky jsou začleněny do datové sítě provozovatele distribuční soustavy (EG.D), prvky vyznačené červeně pak přísluší k datové síti společnosti ELVAC.



Obr. 3-1: Komunikační schéma systému Vdip2

Popis jednotlivých bloků ve schématu a jejich vazeb:

Bloky v síti EG.D (modré)

1. Protection relay substation (MV) ... digitální ochrana VN vývodu na rozvodně – zdroj informací o poruše a poruchových záznamů
2. Reclosers in the field (MV) ... reclosery rozmístěné v síti VN – zdroj informací o stavu spínacího prvku s možností využití doplňkového poruchového záznamu
3. Disconnectors in the field (MV) ... úsekové odpínače v síti VN – zdroj informací o stavu spínacího prvku

4. RTU7MC3 ... komunikační jednotka pro stahování záznamů z ochran protokolem IEC 61850 a jejich předávání k dalšímu zpracování protokolem SFTP (nebo IEC 60870-5-104)
5. Siemens PQS ... nástroj výrobce ochran zajišťující stažení poruchových záznamů a jejich uložení na disk
6. RTU Communicator ... komunikační koncentrátor zajišťující stažení poruchových záznamů z řídicích jednotek recloserů
7. SCADA ... dispečerský řídicí systém provozovatele distribuční soustavy, pro účely Vdip2 koncentruje a předává poruchové signály a stavové informace z rozpínacích prvků v síti VN
8. Grid Model (GIS) ... data popisující fyzické parametry sítě VN (délky jednotlivých úseků vedení, průřezy a typy vodičů, parametry transformátorů apod.)
9. DMZ Transfer Script (proxy) ... na serveru umístěném v „demilitarizované zóně“ v rámci infrastruktury EG.D jsou v pravidelných intervalech spouštěny skripty zajišťující zabezpečený přenos dat ze zdrojů uvnitř EG.D směrem na server Vdip2 provozovaný v infrastruktuře společnosti ELVAC, použití internetového připojení
10. Client (web browser) ... výsledky lokalizace poruch včetně doplňkových a statistických informací jsou uživatelům v EG.D dostupné přes běžný webový prohlížeč (zabezpečení přístupu jménem a heslem), použití internetového připojení

Bloky v síti ELVAC (červené):

1. RTU7MC3 (IEC 101 serial line) ... komunikační jednotka pro přenos signálů ze SCADA systému EG.D, připojena do datové sítě ELVACu (přes mobilní datové připojení), spojení se SCADA přes sériovou linku (oddělení síťové komunikace z důvodu kybernetické bezpečnosti)
2. DMUs secondary substations (LV) ... DMU Vdip2 rozmístěné v DTS na vybraných vývodech, tyto stanice na povel z centrály vytvoří COMTRADE záznam s průběhy napětí na NN straně transformátoru v čase vzniku poruchy, dále pak poskytují online měření a záznamy údajů z kvalitoměru třídy S (využití pro VQI) a také v návaznosti na sekundový signál z GPS hodnoty fázorů pro funkcionalitu PMU, přenos dat přes mobilní datové připojení
3. IEC 104 driver ... komunikační ovladač integrovaný do SW balíku Vdip2
4. Vdip2 WebService ... webová služba určená pro příjem dat poskytovaných přes „Transfer skript“, zejména tedy poruchových záznamů z ochran na vývodech z rozvodny VN

5. Vdip2 Data Processing ... algoritmy pro zpracování poruchových záznamů a lokalizaci poruch metodou Vdip2
6. Vdip2 Database ... datové úložiště obsahující jak veškerá konfigurační, topologická a poruchová data vstupující do výpočtů, tak výsledky zpracování těchto dat včetně výsledků lokalizace
7. Vdip2 Web ... webové rozhraní sloužící pro vizualizaci a třídění výsledků lokalizace včetně statistických a analytických dat
8. Vdip2 Admin SW ... konfigurační a diagnostický nástroj pro nastavení systému, import podkladových dat, kontrolu interních záznamů a údržbu datových struktur

Hlavní datové toky

Stavy odpínačů v síti, recloserů i vypínačů na vývodech jsou přenášeny standardním způsobem do SCADA systému, odtud přes sériovou linku protokolem IEC101 do RTU7MC3 a dále přes mobilní datové připojení (SIM ELVAC) protokolem IEC104 na Vdip2 server. Stejnou datovou cestu v opačném směru lze využít pro přenos výsledků lokalizace či dalších měření a výstupů dostupných na straně serveru.

COMTRADE záznamy z ochran na vývodech v rozvodně VN jsou stahovány přes RTU7MC3 umístěné na rozvodně a dále přenášeny přes „DMZ Transfer script“ (komunikace přes internet) na Vdip2 server. Skripty na stanici v DMZ ve spojení s webovou službou na straně Vdip2 serveru lze využít také k přenosu záznamů stažených přes „Siemens PQS“ případně „RTU Communicator“. Stejný způsob přenosu je k dispozici také pro přenos dat ze systému GIS, tato možnost však není v průběhu poloprovozu využívána.

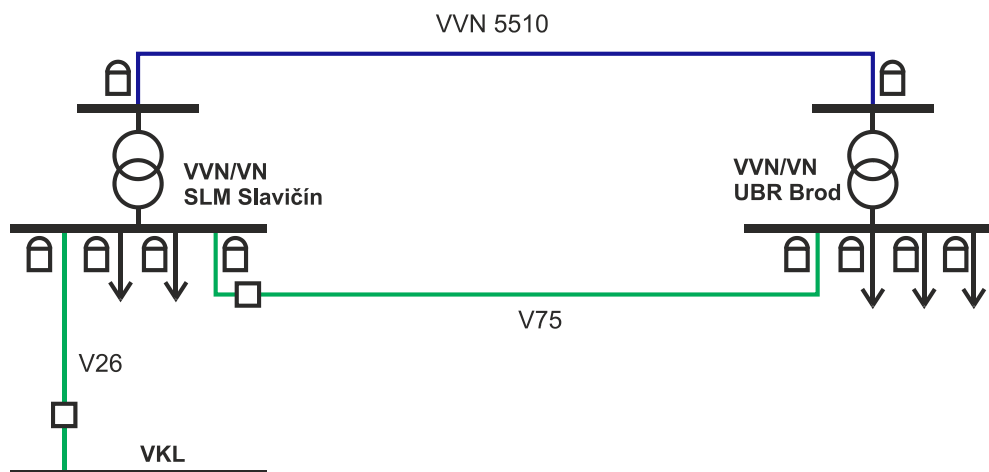
Data z jednotek DMU (měření, záznamy) jsou v rámci poloprovozu přenášeny přes mobilní datové připojení (SIM ELVAC) do komunikační komponenty „IEC 104 driver“ na Vdip2 serveru. Stejnou cestou v opačném směru procházejí povely s časovou značkou sloužící k vytvoření záznamu ve formátu COMTRADE s využitím dat v kruhovém bufferu na straně DMU, který je následně stažen na server.

K zobrazení výsledků lokalizace pomocí webového prohlížeče na straně provozovatele distribuční soustavy slouží „Vdip2 web“ na serveru Vdip2 odkud probíhá přenos protokolem HTTPS s využitím internetového připojení.

Poznámka: Pro přenos záznamů ve formátu COMTRADE a dalších datových souborů se využívá komprese (ZIP) za účelem snížení objemu přenášených dat (zejména přes mobilní datové připojení).

3.2 Reálné umístění částí systému Vdip2 v rámci poloprovozu

Pro účely poloprovozu byla vybrána dvě VN vedení (VN26 a VN75) napájená z rozvodu Slavičín (SLM) a Uherský Brod (UBR). Vedení VN26 je standardně napájeno z rozvodny Slavičín, vedení VN75 je standardně napájeno z rozvodny Uherský Brod, je možno jej však napájet také z rozvodny Uherský Brod, což dovoluje změnu topologie pro účely testování a při osazení dvou VN vedení sestavami DMU testovat systém na celkem třech vývodech VN.



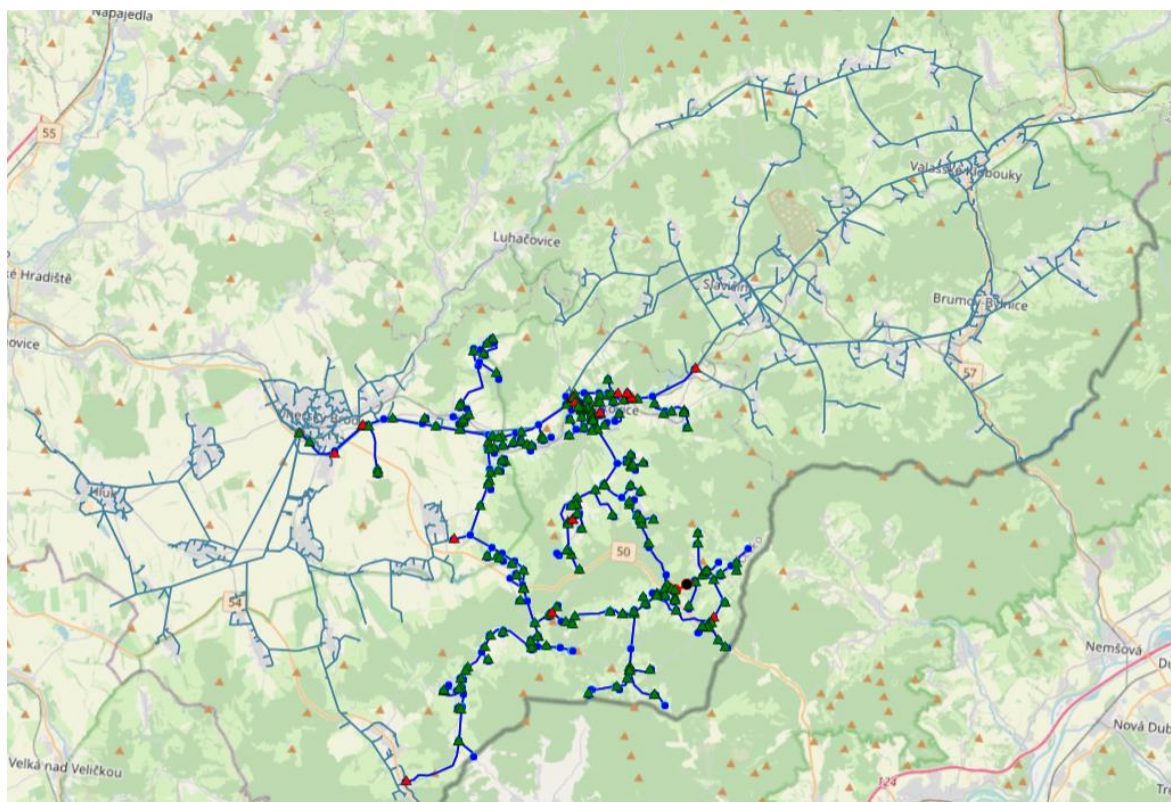
Obr. 3-2: Zjednodušené schéma VN soustavy – poloprovoz Vdip2

Sestavy DMU jsou instalovány celkem na 16-ti DTS, 8 ks na VN26 a 10 ks na VN75 - seznam není veřejný.

RTU7MC3 pro spojení se SCADA systémem je instalováno na centrále EG.D v Brně.

Server systému Vdip2 je umístěn v centrále společnosti ELVAC v Ostravě.

S ohledem na možnosti rozvoje systému Vdip2 v rámci oblasti Uherský Brod + Slavičín, byla do systému Vdip2 importována rozsáhlejší oblast síťového modelu, tato oblast je patrná z obrázku níže, kde sytě podbarvená část zobrazuje vývod VN75 napájený z UBR, světle podbarvená oblast je dostupný síťový model.



3.3 Vyhodnocení funkce systému Vdip2

Během provedených testů zemních spojení bylo prokázáno, že vytvořená infrastruktura systému Vdip2 popsaná v kapitole 3.1 byla plně funkční. Během uměle vytvářených poruch došlo pouze k jedné chybě, kdy nedošlo k přenosu signalizace působení vývodové ochrany, tato chyba však nastala z příčiny restartování zdroje dat na úrovni PDS. Jelikož zbylé komponenty systému Vdip byly již průběžně testovány vyhodnocení bude dále zaměřeno na posouzení přesnosti lokalizace vytvářených zemních spojení.

Odchyłka výsledku lokalizace systému Vdip2 od skutečného místa poruchy je uvedena v tabulce Tab. 3-1 pro první den testů napájených z rozvodny UBR a Tab. 3-2 pro druhý den testů napájených z rozvodny SLM. Tyto tabulky obsahují základní informace o jednotlivých testech, vyhodnocení odchyłky lokalizace od skutečného místa poruchy:

- a) ΔLoc (km) – Testy: Jsou původní odchyłky obdržené během prováděných testů ZS
- b) ΔLoc (km) – Oprava: Jsou odchyłky obdržené po provedení opravy chyby identifikované během testů zemních spojení (odpovídá výslednému chování systému Vdip2 po skončení vývoje)
- c) ΔLoc (km) – Set 2: Jsou odchyłky obdržené při úpravě nastavení lokalizačních metod s ohledem na zjištěné rušení (flickr) – snahou bylo potlačení vlivu flickru na lokalizaci systémem Vdip.

Dále pak informaci o validaci výsledného místa poruchy Loc ERR *ano* (GPS koordináty v GUI byly zobrazeny červeně – výsledek lokalizace je nedůvěryhodný) *ne* (GPS koordináty v GUI byly zobrazeny zeleně – výsledek lokalizace je důvěryhodný).

V tabulce jsou rovněž uvedeny informace o velikosti reaktance do místa poruchy X_{fault} a Vzdálenosti do poruchy *Vzdálenost* (km).

Tab. 3-1 Vyhodnocení lokalizace zemních spojení systémem Vdip2 pro testy napájené z UBR

Test číslo	Čas 22.10.2024	Zapojení	Typ ZS	Naladění	ΔLoc (km) Testy	ΔLoc (km) Oprava	ΔLoc (km) Set 2	Loc ERR	Vzdálenost (km)	X_{fault} (Ω)	Přilrušení
1a	09:47:58.202	UBR 1	kovové	vyladěno	0,84	0,84	0,84	ne	26,45	11,84	ne
1b	10:04:44.747	UBR 1	kovové	vyladěno		0,84		ne	26,45	11,84	ne
1c	10:19:35.701	UBR 1	kovové	vyladěno	1,24	1,24	1,24	ne	26,05	11,44	ano
2	10:51:06.661	UBR 1	kovové	podladěno -7,2A	3,17	3,17	3,17	ano	24,12	9,84	ano
3	11:03:06.925	UBR 1	kovové	podladěno -10A	1,24	1,24	1,24	ne	26,05	11,44	ne
4	11:24:22.122	UBR 1	kovové	přeladěno +5A	0,84	0,84	0,84	ne	26,45	11,84	ne
5	11:33:44.237	UBR 1	kovové	přeladěno +12A	1,63	1,63	1,63	ne	25,66	11,05	ne
6	11:44:03.805	UBR 2	kovové	vyladěno	0,83	0,83	0,83	ne	28,01	13,59	ne
7	12:14:58.781	UBR 2	obloukové	vyladěno	0,83	0,83	0,83	ne	28,01	13,59	ne
8a	12:33:23.391	UBR 2	obloukové	podladěno -5A	10,50	10,50	2,45	ne	29,50	10,37	ano
8b	12:46:43.731	UBR 2	obloukové	podladěno -5A	6,89	6,89	6,89	ne	25,90	9,91	ano
9	12:56:03.765	UBR 1	obloukové	Vyladěno	0,84	0,84	0,84	ne	26,45	11,84	ne
10	13:28:38.765	UBR 1	odporové 1200 Ω	vyladěno		4,28	4,28	ano	23,01	4,28	ne
11	13:43:03.911	UBR 2	odporové 1200 Ω	vyladěno	8,70	8,70	4,10	ne	27,70	11,10	ano
12	14:15:01.854	UBR 2	odporové 400 Ω	vyladěno	10,78	10,78	10,78	ne	29,79	10,26	ne
13	14:27:38.621	UBR 1	odporové 400 Ω	vyladěno	0,83	0,83	0,83	ne	28,01	12,73	ne
14	14:47:45.972	UBR 1	odporové 200 Ω	vyladěno	1,43	1,43	1,43	ne	25,85	11,25	ne
15	14:56:21.395	UBR 2	odporové 200 Ω	vyladěno	0,84	0,84	0,65	ne	26,45	12,69	ne
16	15:13:09.621	UBR 2	odporové 100 Ω	vyladěno	0,64	0,64	0,64	ne	27,82	13,56	ne
17	15:23:02.321	UBR 1	odporové 100 Ω	vyladěno	0,84	0,84	0,84	ne	26,45	11,84	ne

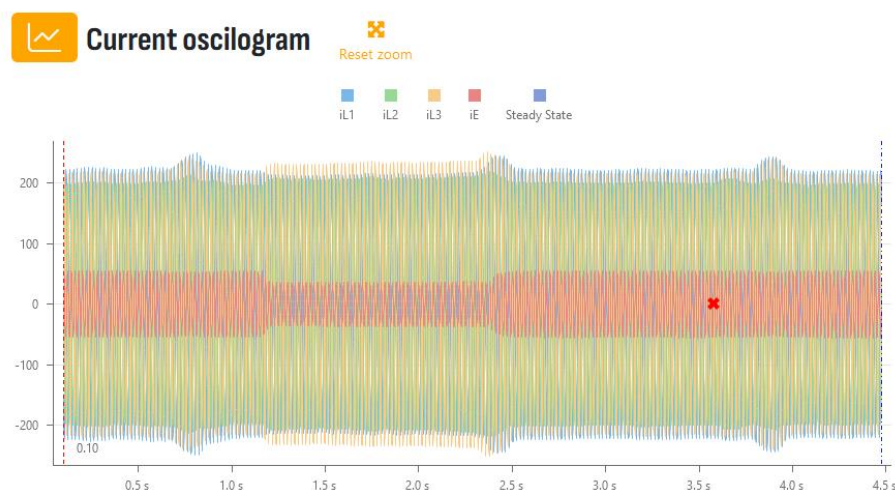
Tab. 3-2 Vyhodnocení lokalizace zemních spojení systémem Vdip2 pro testy napájené z SLM

Test číslo	Čas 22.10.2024	Zapojení	Typ ZS	Naladění	ΔLoc (km) Testy	ΔLoc (km) Oprava	ΔLoc (km) Set 2	Loc ERR	Vzdálenost (km)	X_{fault} (Ω)	Přilrušení	Jen R_n		
1	10:23:39.203	SLM 1	kovové	vyladěno	0,25	0,25	0,25	ne	27,00	14,64	ne	ano		
2	10:36:10.674	SLM 1	kovové	podladěno -5A	1,04	1,04	0,63	ne/ano	26,21	13,85	ano	ano		
3a	10:42	SLM 1	kovové	podladěno -12A	Nepřišel signál ZS - výpadek zdroje RIS									
3b	11:05:25.472	SLM 1	kovové	podladěno -12A	0,25	0,25	0,25	ne	27,00	14,64	ne	ano		
4	11:13:39.310	SLM 1	kovové	přeladěno +5A	1,04	1,04	1,04	ne	26,21	13,85	ne	ano		
5	11:24:21.790	SLM 1	kovové	přeladěno +12A	18,96	0,01	0,01	x	7,16	2,59	ne	ano		
6	11:33:15.033	SLM 2	kovové	vyladěno	0,25	0,25	0,25	ne	27,00	12,11	ne	ano		
7	12:13:07.662	SLM 2	obloukové	vyladěno	0,83	0,83	0,83	ne	27,98	12,42	ano	ano		
8	12:20:45.904	SLM 2	obloukové	podladěno -10A	0,44	0,44	0,44	ne	26,80	11,92	ano	ano		
9	12:28:48.580	SLM 1	obloukové	Vyladěno	0,63	0,63	0,63	ne	27,78	14,92	ne	ano		
10a		SLM 1	odporové 1400 Ω	vyladěno	nesignalizováno vývodovou ochranou									
10b		SLM 1	odporové 1400 Ω	podladěno -10A	nesignalizováno vývodovou ochranou									
11		SLM 2	odporové 1400 Ω	podladěno -5A	nesignalizováno vývodovou ochranou									
12	13:44:36.492	SLM 2	odporové 400 Ω	vyladěno	2,61	2,61	2,61	ne	24,64	9,75	ano	ano		
13	13:51:43.533	SLM 1	odporové 400 Ω	vyladěno	8,52	8,52	8,03	x	24,66	13,66	ano	ano		
14	14:07:46.010	SLM 1	odporové 200 Ω	vyladěno	0,44	0,44	0,44	ne/ano	26,80	14,45	ano	ano		
15	14:14:52.213	SLM 2	odporové 200 Ω	vyladěno	0,25	0,25	0,25	ne	27,00	12,11	ano	ano		
16	14:26:23.084	SLM 2	odporové 100 Ω	vyladěno	0,64	0,64	0,64	ne	26,61	11,72	ne	ano		
17	14:32:34.933	SLM 1	odporové 100 Ω	vyladěno	0,64	0,64	0,64	ne	26,61	14,25	ne	ano		

Zhodnocení přesnosti lokalizace zemních spojení

Odchyšky lokalizace ZS byly dle očekávání do cca 1,5km ve většině případů, přičemž v několika případech (žlutě podbarveno v Tab. 3-1 a Tab. 3-2) došlo k odskočení výsledku lokalizace do jiné části DS. Po detailnější analýze bylo zjištěno, že se na daném vývodu VN75 nachází významný zdroj flikru, jehož hodnota trojnásobně překračuje povolenou úroveň. Zdroj tohoto rušení se nachází v oblasti Starý Hrozenkov (DTS Pila). Jelikož uvedené rušení způsobuje daleko výraznější napěťové události nežli vlastní zemní spojení a systém Vdip2 je navržen pro lokalizaci zdroje nesymetrie, dochází k tomu, že výsledkem lokalizace je daný zdroj rušení v případech, že k vlastnímu rušení dochází v čase vzniku poruchy. Informaci zda k rušení došlo během testů je uvedena v Tab. 3-1 a Tab. 3-2 ve sloupci *Pila rušení*.

Příklad vlivu rušení je uveden na obrázku níže – odběrové proudy na postiženém vývodu.



Obr. 3-3: Příklad vlivu rušení 13:51:43.533 – odporové 400 Ω SLM1

Vliv uvedeného zdroje rušení na kvalitu napětí lze prokázat a identifikovat s využitím karty VQI systému Vdip2.

Přesnost lokalizace

- průměrná chyba lokalizace přes všechny poruchy byla 2,16 km (po úpravě nastavení 1,8 km)
- lokalizace byla ovlivněna vysokou úrovní flikru (4 násobně překračující limit) – posouvání místa poruchy do místa zdroje rušení (systém lokalizuje zdroj rušení) – takto vysoká úroveň je v systému VN/NN nežádoucí

- **při vyloučení extrémů (5x přeskok do oblasti Starý Hrozenkov vlivem rušení) je průměrná chyba lokalizace 1km**

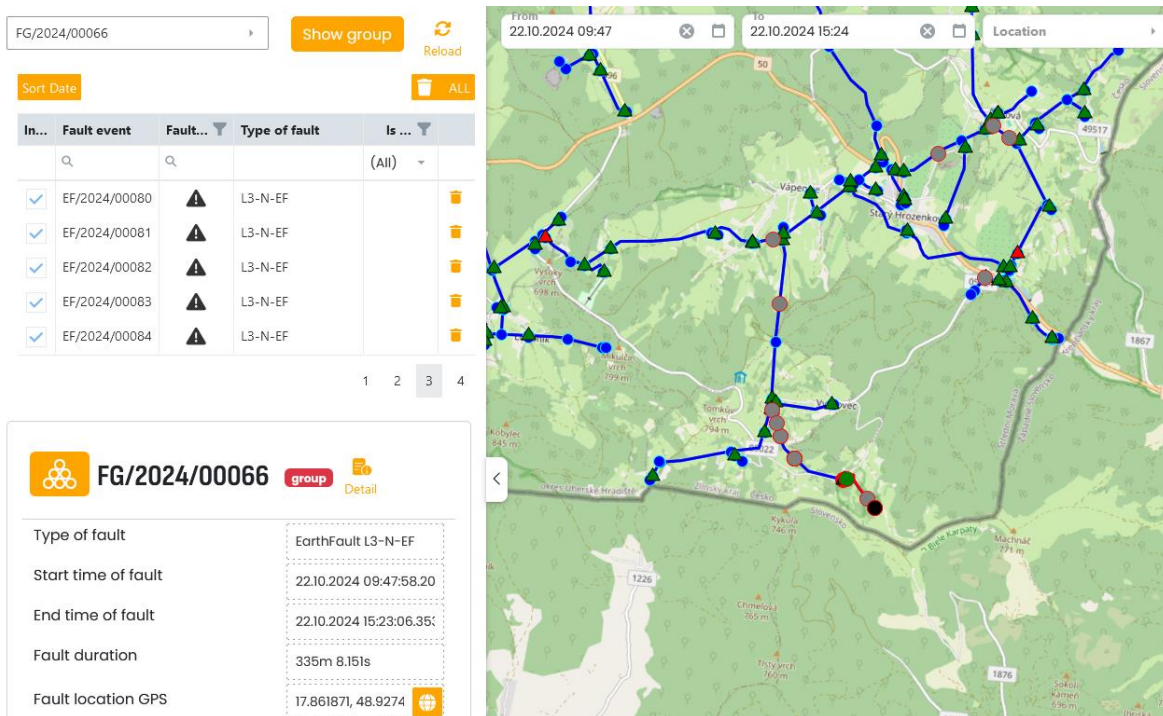
Detailnější informace o jednotlivých poruchových událostech jsou uvedeny v uživatelském rozhraní systému Vdip2, níže na Obr. 3-4 a Obr. 3-5 jsou uvedeny souhrnné výsledky lokalizace pro stav napájení z UBR a SLM (zelené kolečko označuje skutečné místo poruchy).

S ohledem na velice dobré výsledky lokalizace je dále nutné zohlednit i extrémně nízkou penetraci DMU, která snižuje přesnost a citlivost lokalizace:

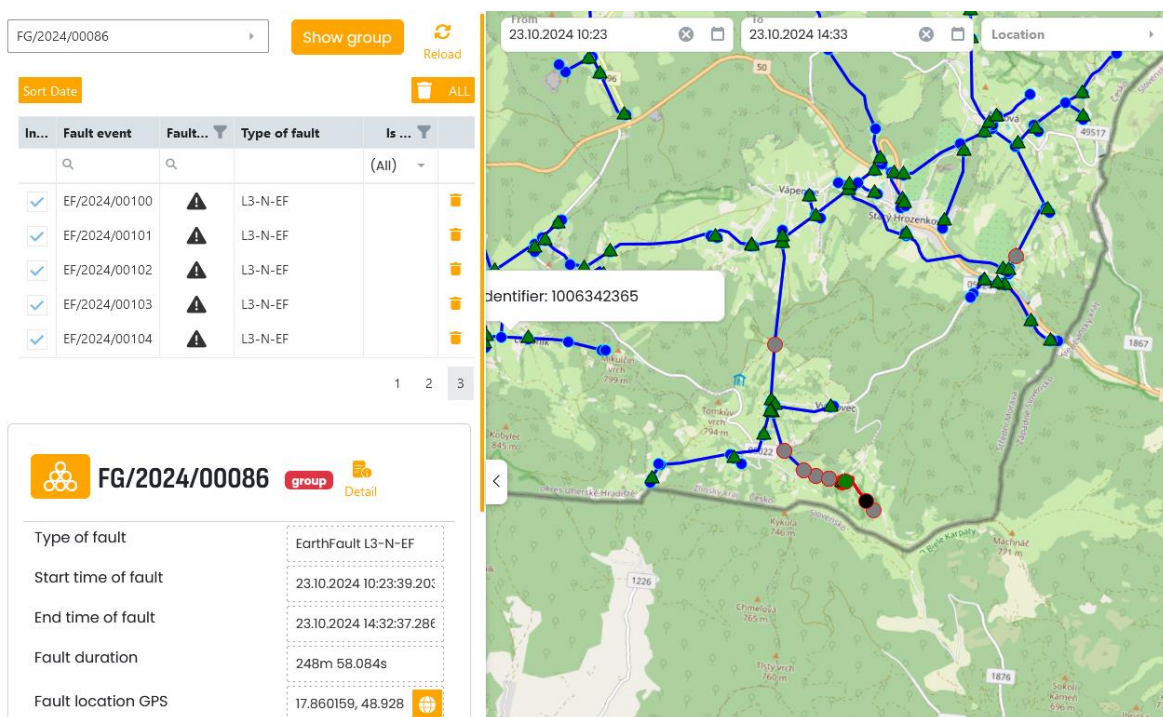
- Počet úseků vedení: 973 (424 VN 26 + 549 VN 75)
- Celková délka úseků vedení: 233 km
(84 km VN26 + 149 km VN 75)
- Počet uzlů (cca) 968 z toho 279 DTS
- 393 rozpadových míst
- topologicky složité vývody VN75 a VN26 využívají pouze 18ks DMU – cca 6,5 % penetrace DMU Vdip ready - 8ks DMU pokrývá 233 km vedení

V cílovém nasazení systému Vdip lze očekávat penetraci jednotkami DMU Vdip ready cca 60%, což je 10x více než v rámci testů. Takto významné navýšení jednotek DMU významně zvýší citlivost a přesnost lokalizace poruchy, **lze tedy očekávat daleko menší odchylky při lokalizaci poruchy.**

S ohledem na tyto fakta je doporučeno provedení komplexnějších testů při cílové penetraci jednotek DMU začleněných do systému Vdip, tyto testy by bylo vhodné doplnit i o lokalizaci nesoumírných poruch a zkratových poruch (při zkratech očekávána výrazně vyšší přesnost – stovky metrů)



Obr. 3-4: Výsledky lokalizace poruch během prvního dne testů – napájení z rozvodny UBR



Obr. 3-5: Výsledky lokalizace poruch během prvního dne testů – napájení z rozvodny SLM

ZÁVĚR

Zhodnocení systému Vdip2

- **testy ZS prokázaly plnou funkčnost nasazeného systému Vdip2** (centralizace poruchových záznamů, komunikační infrastruktury, HW komponent, modelu VN vývodů, jednotlivých SW modulů a implementované metody Vdip)
- během testu bylo odhaleno jen několik málo závažných chyb, které byly v příslušných modulech z větší části již opraveny
- numerické modely vývodů mimo VN75 a VN26 (nasazen systém Vdip) nebyly validovány a mohou vykazovat chyby (ovlivnění lokalizace FRA na VN vývodech) – lokalizace na těchto vývodech nebyla prioritou poloprovozu

Přesnost lokalizace systémem Vdip2

- **průměrná chyba lokalizace přes všechny poruchy byla 2,16 km (po úpravě nastavení 1,8 km)**
- **lokalizace byla ovlivněna vysokou úrovní flikru** (4 násobně překračující limit) – posouvání místa poruchy do místa zdroje rušení (systém lokalizuje zdroj rušení) – takto vysoká úroveň je v systému VN/NN nežádoucí
- **při vyloučení extrémů** (5x přeskok do oblasti Starý Hrozenkov vlivem rušení) **je průměrná chyba lokalizace 1km**

S ohledem na velice dobré výsledky lokalizace je dále nutné zohlednit i extrémně nízkou penetraci DMU, která snižuje přesnost a citlivost lokalizace:

- Počet úseků vedení: 973 (424 VN 26 + 549 VN 75)
- Celková délka úseků vedení: 233 km (84 km VN26 + 149 km VN 75)
- Počet uzlů (cca) 968 z toho 279 DTS
- 393 rozpadových míst
- topologicky složité vývody VN75 a VN26 využívají pouze 18ks DMU – cca 6,5 % penetrace DMU Vdip ready - 8ks DMU pokrývá 233 km vedení

V cílovém nasazení systému Vdip lze očekávat penetraci jednotkami DMU Vdip ready cca 60%, což je 10x více než v rámci testů. Takto významné navýšení jednotek DMU významně

zvýší citlivost a přesnost lokalizace poruchy, **lze tedy očekávat daleko menší odchylky při lokalizaci poruchy.**

S ohledem na tyto fakta je doporučeno provedení komplexnějších testů při cílové penetraci jednotek DMU začleněných do systému Vdip, tyto testy by bylo vhodné doplnit i o lokalizaci nesoumírných poruch a zkratových poruch (při zkratech očekávána výrazně vyšší přesnost – stovky metrů)