

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh rekonstrukce elektrické distribuční sítě nn v obci
Přísečná**

**vedoucí práce: doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.
autor: Bc. Adam Vašmucius**

2014

Anotace

Předkládaná diplomová práce řeší rekonstrukci distribuční sítě a její důvody v obci Přísečná u Českého Krumlova. Práce obsahuje 4 hlavní části. První část popisuje současný stav distribuční sítě ve správě společnosti E.ON distribuce a.s. Druhá část popisuje návrh rekonstrukce této sítě venkovním vedením a kabelovým vedením. Třetí část porovnává náklady jednotlivých variant vedení a závěrečná čtvrtá část se zabývá kvalitou dodávky elektrické energie.

Klíčová slova

Distribuční soustava, rekonstrukce vedení, venkovní izolované vedení, kabelové vedení, kvalita elektrické energie, flickr.

Abstract

The presented thesis deals with a reconstruction of distribution network in the village of Přísečná near Český Krumlov, and the reasons for it. The thesis consists of four main parts. The first part describes the current status of the distribution network managed by E.ON Distribuce a.s. The second part describes a proposal for reconstruction of the network using outside insulated and cable lines. The third part compares costs of individual types of lines. The final, fourth part deals with quality of electric power supply.

Key words

Distribution system, reconstruction of leadership, outdoor insulated power lines, cable power lines, power quality, flicker.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 13.5.2014

Jméno a příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále panu Milanu Brejchovi za to, že mi umožnil vytvořit projektovou dokumentaci. Panu Lud'ku Křížovi a Ing. Václavu Lhotovi za předání svých zkušeností z projektově-inženýrské činnosti, panu Ing. Martinu Kašpírkovi, Ph.D. za poskytnutí podkladů měření kvality dodávek elektrické energie.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
1 SOUČASNÝ STAV DISTRIBUČNÍ SÍTĚ	9
1.1 POPIS LOKALITY	9
1.2 DŮVODY REKONSTRUKCE	10
1.3 NAPÁJENÍ SÍTĚ	11
2 NÁVRH REKONSTRUKCE DISTRIBUČNÍ SÍTĚ	14
2.1 VARIANTA 1 – POUŽITÍ VENKOVNÍHO IZOLOVANÉHO VEDENÍ	14
2.1.1 <i>Popis rekonstrukce izolovanými vodiči NFA2X</i>	14
2.1.2 <i>Měření a výpočet hodnoty zemního odporu</i>	19
2.1.3 <i>Výpočet uzemnění</i>	20
2.1.4 <i>Výpočet impedance poruchové smyčky</i>	22
2.1.5 <i>Návrh a kontrola jištění</i>	23
2.1.6 <i>Výpočet úbytku napětí</i>	26
2.2 VARIANTA 2 – POUŽITÍ KABELOVÉHO VEDENÍ	27
2.2.1 <i>Popis rekonstrukce kabelovým vedením</i>	27
2.2.2 <i>Výpočet impedance poruchové smyčky</i>	30
2.2.3 <i>Návrh a kontrola jištění</i>	31
2.2.4 <i>Výpočet úbytku napětí hlavního domovního vedení</i>	33
3 POROVNÁNÍ NÁKLADŮ JEDNOTLIVÝCH VARIANT	35
4 KVALITA DODÁVEK ELEKTRICKÉ ENERGIE	37
4.1 ODCHYLKY NAPĚTÍ	37
4.2 FLIKR	37
4.3 PROBLÉMY S KVALITOU NAPĚTÍ A JEJICH ŘEŠENÍ	39
5 ZÁVĚR	45
POUŽITÁ LITERATURA	46
SEZNAM PŘÍLOH	47

Úvod

Elektrizační soustava České republiky se skládá ze tří stupňů. První stupeň je přenosová soustava, která se skládá z vedení vvn 400 kV a 220 kV, dále z podřadné soustavy 110 kV, 35 kV a 22 kV. Posledním stupněm je distribuční soustava 0,4 kV. O této soustavě pojednává tato diplomové práce. Přesněji tématem této diplomové práce je návrh rekonstrukce distribuční sítě elektrické energie v obci Přísečná u Českého Krumlova.

Při prohlídce distribuční sítě bude zpracován soupis závad a nedostatků, které byly podnětem k rekonstrukci sítě v obci. Sít' bude analyzována jak z hlediska mechanického, tak z hlediska velikosti impedance poruchové smyčky a úbytků napětí na vedení.

Budou navrženy dvě varianty výměny či rekonstrukce distribuční sítě nn. První variantou je výměna holého venkovního vedení nn za izolované vedení. Druhou variantou bude nahrazení venkovního vedení zemním kabelovým vedením. Navržená řešení rekonstrukce distribuční sítě budou zpracována ve formě projektové dokumentace a zakreslena do digitálních mapových podkladů.

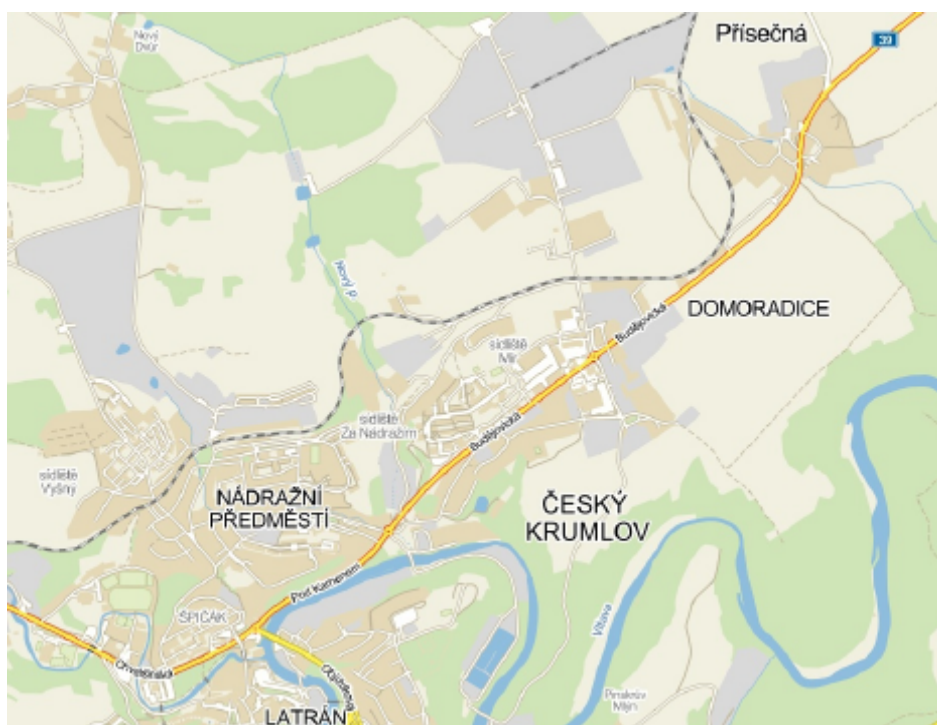
Tyto varianty budou posouzeny po technické a ekonomické stránce. Po posouzení obou variant návrhu distribuční sítě nn bude vybrána výhodnější varianta, která bude technicky lépe proveditelná a finančně výhodnější.

1 Současný stav distribuční sítě

V obci Přísečná se nachází 64 odběrných míst připojených na distribuční síť společnosti E.ON Česká republika s.r.o. Daná oblast náleží k regionální správě sítě vn, nn Český Krumlov. Dle námrazové mapy EGÚ Brno se Přísečná nachází v námrazové oblasti N2 s hmotností námrazků dosahující do 2 kg/m.

1.1 Popis lokality

Návrh rekonstrukce bude proveden v obci Přísečná. Obec se nachází v Chráněné krajinné oblasti Blanský les 20 km jižně od Českých Budějovic a je poslední obcí před vstupem do historicky cenného města Český Krumlov. Vzhledem k výhodné poloze se předpokládá nárůst spotřeby elektrické energie. Obec je typickou bývalou zemědělskou vesnicí, což je dokladováno řadou zemědělských usedlostí, jež dodnes lemují místní náves. V obci žije trvale 202 obyvatel. Touto obcí prochází silnice první třídy I/39, která vede z Českých Budějovic až na hranici s Německem a je zde velmi hustý provoz. V současné době je vypracován projekt na přeložku této komunikace a dále je zpracován projekt na obnovu kanalizace. Tyto skutečnosti musí být brány v potaz při návrhu trasy kabelového i venkovního vedení nn.



Obr. 1.1 Poloha obce Přísečná (převzato z [1])

1.2 Důvody rekonstrukce

Důvodů k rekonstrukci distribuční sítě je několik. Prvním důvodem je špatná kvalita elektrického napětí na konci sítě, kdy napětí i flickr dosahovaly hodnot mimo meze dané normou ČSN EN 50160 [2]. V listopadu 2012 byla provedena měření pracovníky společnosti E.ON, která prokázala oprávněné stížnosti odběratelů. Tito odběratelé se nacházejí v severní části obce v nejdelší vzdálenosti cca 480 metrů od trafostanice. Toto vedení je tvořeno převážně holými vodiči AlFe. V únoru 2013 byl na odbočce k těmto odběratelům osazen regulátor napětí Schmachtl KG (*obr. 4.1*) o jmenovitém výkonu 100 kVA, který situaci výrazně zlepšil. Po osazení tohoto regulátoru napětí již žádné problémy hlášeny nebyly. Více o regulátoru napětí bude uvedeno v poslední kapitole Kvalita dodávek elektrické energie.

Dalším důvodem k rekonstrukci bylo již zastaralé venkovní vedení nn, které je tvořeno převážně holými vodiči AlFe, Cu a závěsnými kabely typu AYKYz různých průřezů. Tyto vodiče jsou uloženy na střešnicích, zedních konzolách a na dřevěných respektive betonových podpěrných bodech. Tyto podpěrné body jsou již za hranicí životnosti. Jednotlivé části vedení byly vybudovány v různých obdobích minulého století. V březnu 2013 bylo vypracováno a vysoutěženo zadání projektové dokumentace, které řešilo kompletní rekonstrukci distribuční sítě v obci.

Současný stav vedení

V současné době je rozvod elektrické energie v obci zajištěn převážně venkovním vedením nn. Holé vodiče AlFe jsou uchyceny na dřevěných sloupech, na železných konzolách a střešnicích zazděných v obvodových zdech a štítech domů. V předchozích letech byly provedeny drobné opravy v místech havarijního stavu. Přípojky k jednotlivým objektům jsou ve většině případů provedeny holými vodiči AlFe nebo závěsnými kabely AYKYz ukončenými na zedních konzolách nebo střešnicích a následným kabelovým svodem do pojistkové skříně. V případě rekonstruovaných objektů je připojení provedeno kabelovým svodem AYKY 4x16 mm² z betonového podpěrného bodu ukončeným v kabelové skříně SP umístěné v pilíři na okraji pozemku, případně přímo zazděné ve zdi.

Dřevěné sloupy pocházejí z 50. let minulého století a jsou ve velmi špatném technickém stavu *obr. 1.2*. V části obce muselo být v roce 2002 z důvodu havárie několik sloupů nahrazeno betonovými. Dřevěné sloupy vykazují v místech upevnění k betonovým patkám kovovými šrouby a v místech uchycení ocelových háků, na kterých jsou připevněny izolátory, známky napadení hnilobou nebo jsou značně seschlé. Betonové patky jsou vlivem atmosférických pochodů popraskané a jsou obnaženy i železné výztuže. Kovové konzoly jsou značně zkorodované a vlivem hniloby a sesychání dřeva uvolněné. Nevhodné je také umístění

sloupů na soukromých pozemcích, které jsou často oplocené a nepřístupné. Tato situace značně stěžuje následné revize a opravy zařízení distribuční sítě.



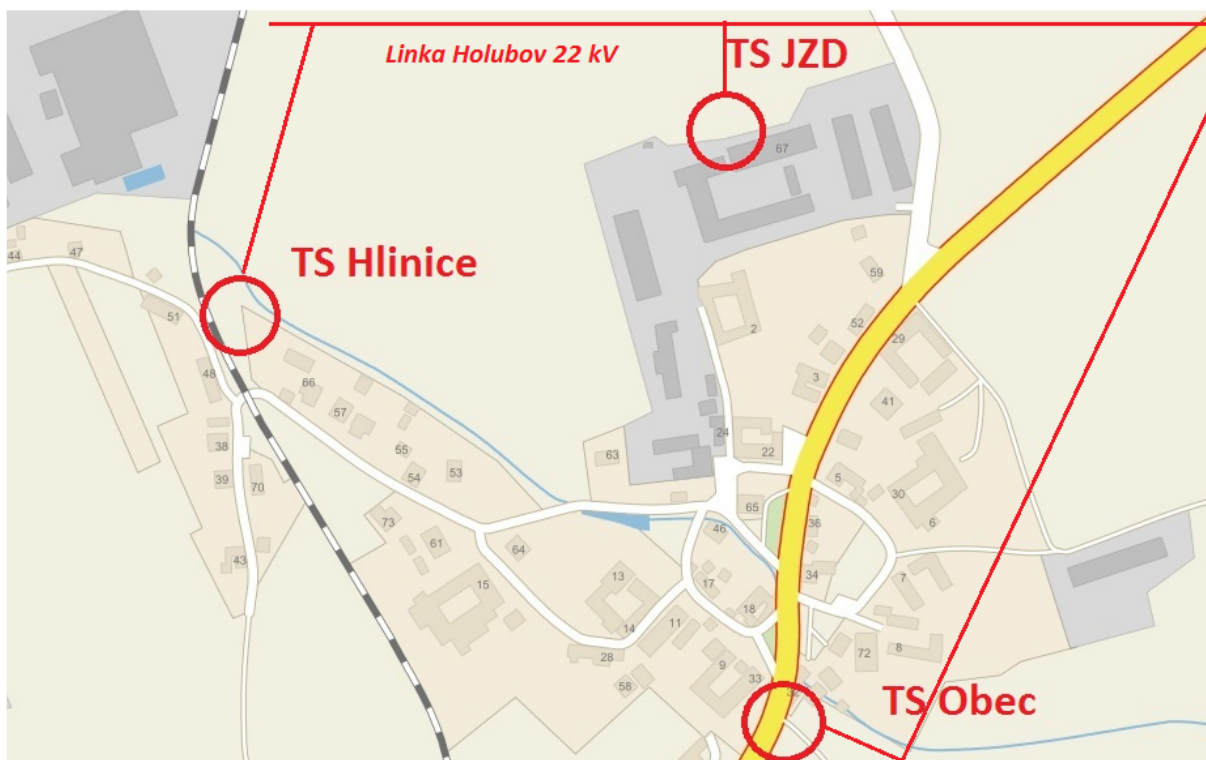
Obr. 1.2 Dřevěné sloupy s holým venkovním vedením

Z důvodů trvale mechanické zátěže a stárnutí objektů, na nichž jsou umístěny zední konzoly a střešníky, dochází k narušování zdiva a k následným oprávněným stížnostem majitelů objektů. Kovové části těchto podpěrných bodů jsou ve značné části také zkorodovány.

1.3 Napájení sítě

Obec Přísečná je napájena ze tří trafostanic umístěných v severní, jižní a západní části obce. Trafostanice jsou napájeny z linky Holubov. Trafostanice JZD v severní části o jmenovitém výkonu 160 kVA napájí areál bývalého JZD, kde nyní sídlí vícero podnikatelských subjektů a několik přilehlých rodinných domů. Celkem je z této trafostanice napájeno 18 odběrných míst. Distribuční síť z této trafostanice je již zrekonstruovaná. Část této distribuční sítě včetně transformátoru není majetkem E.ON. Trafostanice

Přísečná-Hlinice o jmenovitém výkonu 160 kVA v západní části obce napájí 21 rodinných domů. Distribuční síť z této trafostanice je také již zrekonstruována. Trafostanice Přísečná obec obr. 1.4 o jmenovitém výkonu 250 kVA v jižní části obce napájí převážnou část obce, 46 odběrných míst. Rekonstruovaná část elektrického vedení nn bude napájena pouze trafostanicí Přísečná obec. Na obr. 1.3 je znázorněno umístění trafostanic v obci Přísečná.



Obr. 1.3 Umístění trafostanic v obci Přísečná(převzato z[1])

Jedná se o příhradovou trafostanici vybudovanou v roce 1969 osazenou distribučním transformátorem. Stanice je osazena zkorodovanou plechovou skříní pro rozvaděč nn. V této skříní je již osazen nový rozvaděč RST 0663/4535 (osazen v roce 2002) s hlavním jističem BA511-37-50 a proudovou spouští $I_n=400$ A. Dále jsou zde osazeny dvoje pojistkové odpínače FD2 do 400 A a čtyři pojistkové odpínače FD00 do 160 A, ve všech pozicích jsou umístěny pojistky kromě jednoho odpínače FD00. Dále je ve skříní umístěn elektronický ampérmetr.

Výše je popsán současný stav trafostanice Přísečná obec, který je uspokojivý. V rámci rekonstrukce bude ocelová konstrukce stanice opatřena novým nátěrem, bude opraven betonový základ a vyměněny zkorodované kovové svodové trubky za plastové.



Obr. 1.4 Příhradová trafostanice Přísečná obec

2 Návrh rekonstrukce distribuční sítě

Při návrhu rekonstrukce bylo postupováno takto. Nejprve jsem byl seznámen se záměrem investora stavby. Po prostudování zadání jsem provedl prohlídku místa stavby včetně pořízení fotodokumentace.

Poté jsem navrhl trasy vedení pro obě varianty a nakreslil je v programu Microstation včetně schématu zapojení. Snímky katastrálních map včetně výpisu údajů z katastru nemovitostí byly zajištěny z katastrálního úřadu; další podklady byly zajištěny geodetickým předměřením staveniště (eventuálně z technických map).

Následně jsem navrhl průřezy vodičů a typy skříní. Při návrhu průřezu vodičů jsem respektoval přání investora a zavedené zvyklosti. Průřezy vodičů jsem zkontroloval výpočty na hodnoty impedance poruchových smyček a na úbytky napětí.

Nakonec jsem navrhl ochrany proti přepětí, pro které jsem změřil hodnoty měrného elektrického odporu půdy. Jednotlivé postupy návrhu obou variant jsou popsány níže.

Projektová dokumentace byla zpracována na základě požadavků E.ON Distribuce a.s. V průběhu zpracování projektové dokumentace bylo technické řešení konzultováno se zástupci E.ON Distribuce a.s. a bylo respektováno stanovisko všech účastníků stavby.

2.1 Varianta 1 – použití venkovního izolovaného vedení

Z důvodů uvedených v předchozí kapitole je zřejmé, že rekonstrukci elektrického vedení v obci je nutné provést téměř v celém rozsahu. Rekonstrukci venkovním vedením lze provést ve stávající trase, ale může být navrhována i nová trasa s ohledem na vlastníky pozemků a přístupu k těmto bodům a zařízením na nich umístěných.

Situace s návrhem rekonstrukce distribuční sítě venkovním izolovaným vedením je přiložena *příloha 1*.

2.1.1 Popis rekonstrukce izolovanými vodiči NFA2X

Trasa venkovního vedení zůstane z části stávající a z části bude upravená. Mezi pozicemi 02 – 11 bude trasa stávající, stejně tak mezi pozicemi 11 – 17 (Do této trasy je navržen silniční obchvat obce, tato skutečnost není brána v potaz. Přeložení vedení bude řešeno samostatně, až bude projekt obchvatu aktuální cca rok 2016). Dále od pozice 21 – 43 a 44 – 48 zůstane trasa stávající, podpěrné body jsou zde dobře přístupné pro případnou údržbu a manipulaci vedení. Mezi pozicemi 11 – 19 – 21 je navržena změna trasy. Tato

změna je navržena z důvodu špatného stavu zdiva na domě č.p. 30, ve kterém je nyní uchycena konzola se střešníkem, která je rovněž ve špatném technickém stavu. Proto bude střešník demontován a nové vodiče budou uchyceny na novém podpěrném bodě (poz. 18), který bude posunut ze soukromého pozemku č. 672/3 směrem k obecní cestě o cca 10 metrů. A dále mezi body 41 – 43 – 44, kde jsou umístěny podpěrné body zbytečně blízko u sebe, bude jeden bod úplně zrušen a délka pole bude prodloužena až na pozici 45.

Podpěrné body budou všechny nahrazeny, jelikož jejich stáří překračuje 20 let a většina z nich je i ve špatném stavu, jak je již popsáno výše. Sloupy na pozicích 43 a 44 byly již nahrazeny v roce 2002, ale jejich vrcholový tah nevyhoví změně trasy nového vedení, a proto budou muset být vyměněny.

Hodnota vrcholového tahu betonových sloupů je vektorovým součinem velikosti koncových tahů jednotlivých vodičů vycházejících z daného podpěrného bodu. Tahy vodičů jsou uvedeny v montážních tabulkách *příloha 2*. Například na pozici 11 budou ukončeny následující vodiče NFA2X 4x120 mm² o délce 26 m a tahu 8,62 kN při referenční teplotě 5 °C+námraza, NFA2X 4x120 mm² o délce 42 m, úhlu 134° a tahu 8,83 kN při referenční teplotě 5 °C+námraza a NFA2X 4x95 mm² o délce 30 m, úhlu 260° a tahu 8,01 kN při referenční teplotě 5 °C+námraza. Výsledný vrcholový tah je 1,88 kN proto volím sloup o velikosti 10,5/3 kN (první číslo značí délku sloupu). Délku sloupu volím 10,5 metru, jelikož průhyb vodiče je 1,02 m podle montážních tabulek a při uložení 2 metrů sloupu do země bude vodič 7,48 metrů nad komunikací, čímž je splněna norma PNE 33 3302 [3].

Střešníky budou vyměněny včetně kotev a vzpěr, které jsou upevněny na střeších jednotlivých objektů *obr. 2.1*. Střechy budou po dohodě s majiteli uvedeny do původního stavu včetně uchycení konzol střešníků v obvodovém zdivu. Střešníky budou mít průměr 75 mm a výšku 4 m nebo 5 m podle toho, jak vysoko jsou střešníky uchyceny nad zemí, aby vyhovovala vzdálenost vodičů nad zemí a nad střechami podle normy PNE 33 3302 [3].



Obr. 2.1 Střešník se vzpěrou a celokovová pojistková skříň

Rovněž budou vyměněny nevyhovující pojistkové skříně umístěné jak v obvodových zdech jednotlivých objektů, tak ve stávajících zděných pilířích. Důvodů k výměně pojistkových skříní je několik. Část pojistkových skříní je v celokovovém provedení, jak je vidět na *obr. 2.1*, část pojistkových skříní má kovová dvířka a vnitřek je z betonového prefabrikátu *obr. 2.2*. Kovová dvířka mají zkorodované panty a zámky, což znesnadňuje přístup a betonové vnitřky jsou zvětralé. U některých pojistkových skříní není dostatečná výška nad zemí. Minimální výška musí být 60 cm nad upraveným terénem. Dále budou muset být dozděny kabelové prostory pod pojistkovými skříněmi, které jsou nyní zakryty pouze plechy jako na *obr. 2.2*.



Obr. 2.2 Pojistková skříň z betonového prefabrikátu se zakrytým kabelovým prostorem plechem

Na nové podpěrné body budou osazeny nosné a kotevní soupravy, ve kterých budou uchyceny samonosné izolované vodiče NFA2X pomocí nosných a kotevních svorek. Hlavní vedení je navrženo NFA2X 4x120 mm², odbočka z pozice 11 bude provedena vodiči NFA2X 4x95 mm², z pozice 22 bude odbočka na jih provedena vodiči NFA2X 4x50 mm², na sever NFA2X 4x95 mm². Připojky k jednotlivým objektům budou provedeny buďto venkovním vedením závěsným kabelem AYKYz 4x16 mm² a 4x25 mm², který bude protažen střešníky a ukončen ve vyměněných pojistkových skříních. Nebo kabelovým vedením NAYY 4x16 mm² svodem ze sloupu, který bude spojen polopropichovacími svorkami k hlavnímu izolovanému vodiči NFA2X a ukončen v pojistkových skříních.

V roce 2008 došlo ve společnosti E.ON Distribuce a.s. ke změně dodavatele slaněných izolovaných vodičů a dle nových podmínek jsou používány vodiče označené NFA2X, jež jsou svými parametry obdobné dřívějšímu typu AES, který se nadále používá např. u společnosti ČEZ.

Při návrhu přepětových ochran vycházíme z platných norem ČSN 33 0000-7, v nichž jsou přesně stanovené podmínky pro připojení a umístění těchto ochran. Při návrhu se těmito podmínkami musíme řídit. Omezovače přepětí se připojují a umísťují [4]:

- na transformovnu (ve vývodech nn nebo v rozvaděči nn) nebo na prvním podpěrném bodě vedení
- ve venkovních vedeních po 500 m za podmínky, že žádný podpěrný bod sítě nesmí být vzdálen od omezovačů přepětí více než 250 m
- na přechodech z venkovních vedení do zemního kabelového vedení (netýká se přípojek kratších než 250 m)

Ochrana proti přepětí bude řešena omezovači přepětí nn LVA-440B *obr. 2.3*, bezjiskřišťovými ZnO omezovači přepětí pro trvalé provozní napětí 440 V se zabudovaným odpojovačem a izolovaným vodičem CY 16 mm² délky 1 m. Tento izolovaný vodič je spojen svorkou s uzemňovací páskou FeZn. Porucha je indikována oddělením spodního hliníkového krytu.



Obr. 2.3 Omezovači přepětí nn LVA-440B [5]

ZnO varistor zabudovaný v omezovači přepětí omezuje atmosférická přepětí a spínací přechodná napětí a tím chrání izolaci izolovaného vedení nebo kabelů. Varistor má velmi nízkou dobu odezvy (<100 ns) a je dimenzován na impulzy vysokého proudu do 100 kA, 4/10 μs. Jmenovitý vybíjecí proud omezovače přepětí je 10 kA. [5]

Uzemnění bude tvořeno páskou FeZn, která je vedena podél sloupu až do země, kde bude proveden paprsek o délce 20 m u průběžného uzemnění a 50 m u koncového uzemnění. Uzemnění nám slouží pro svedení daného přepětí do země. Obvykle se provádí páskem FeZn o rozměrech 30x4 mm. Pásek se ukládá do rýhy 60 až 80 cm hluboké. Pokud se klade do kabelové rýhy, musí být uložen na dno výkopu nejméně 10 cm pod kabel nebo vedle něho. Pásek se vedle výkopu rozvine, vyrovná a postupně ukládá. Zapojení omezovačů přepětí včetně uzemnění bude provedeno na pozicích číslo 02, 11, 16, 22, 31, 41, 46.

2.1.2 Měření a výpočet hodnoty zemního odporu

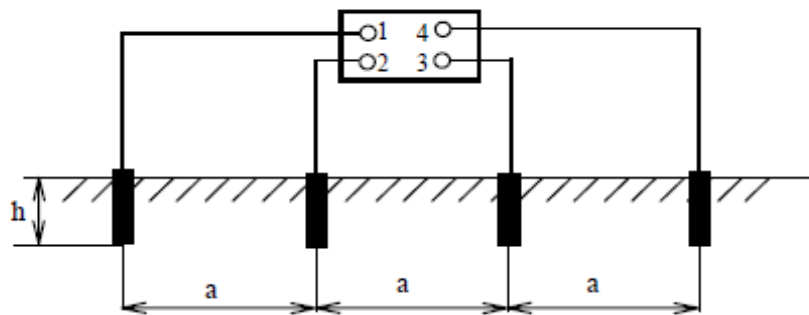
Abychom mohli vypočítat hodnotu zemního odporu a navrhli uzemnění, musíme nejprve změřit hodnotu měrného odporu půdy ρ .

Měrný odpor půdy vyjadřuje vodivost půdy a tím i její agresivitu vůči betonovým a železobetonovým konstrukcím. Její měření je důležité pro návrh rozměrů a umístění zemničů např. u ochrany před bleskem nebo při stanovení druhu izolace základů při zakládání staveb. Spoléhat se na výpočet podle tabulek udávající rezistivitu půdy se nedoporučuje, protože skutečné výsledky měření se mohou velice lišit od výsledků dle tabulek. [6]

Rezistivita půdy se zjišťuje čtyřelektrodovou metodou. Nejznámější a nejpoužívanější metoda je Wennerova metoda. Princip uspořádání sond a zapojení měřícího přístroje je na *obr. 2.4*. Vnější sondy 1 a 4 jsou proudové, vnitřní sondy 2 a 3 jsou napětěvé. Jako sondy se používají ocelové tyče zaražené v jedné přímce do hloubky $h=0,2$ m v rozestupu „ a “. Měření se provede na několika místech. Měrný odpor se vypočte ze vztahu [6]:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad (2.1)$$

kde ρ je rezistivita půdy [$\Omega \cdot m$]
 a je vzdálenost elektrod [m]
 R je naměřený odpor [Ω]



Obr. 2.4 Připojení sond k měřicímu přístroji [6]

Měrný odpor půdy v místech návrhu uzemnění byl změřen přístrojem Metrel Mi2124. Hodnota odporu byla 190 Ω .m. Měření měrného odporu je zachyceno na obr. 2.5.



Obr. 2.5 Měření měrného odporu půdy pomocí přístroje Metrel Mi2124

2.1.3 Výpočet uzemnění

Níže provedu příklady výpočtu odporu uzemňovací pásky FeZn 30x40 mm na pozicích 02 a 16. [7]

Pro průběžné uzemnění na pozici 02
Naměřená rezistivita půdy: $\rho = 190 \Omega \cdot m$
Navržená délka pásky $L = 20 \text{ m}$

$$R = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \ln \frac{2 \cdot L}{d} = \frac{190}{62,83} \cdot \frac{40}{0,015} = 23,85 \Omega \quad (2.2)$$

kde d je polovina šířky zemnicí pásky [m]

Pro koncové je požadováno 20 m pásky FeZn 30x4 mm nebo hodnota zemního odporu menší než 15Ω (při měrném odporu půdy větším než $200 \Omega \cdot m$). Navržené uzemnění **vyhovuje**.

Pro koncové uzemnění na pozici 16
Naměřená rezistivita půdy: $\rho = 184 \Omega \cdot m$
Navržená délka pásky $L = 50 \text{ m}$

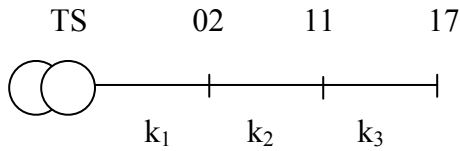
$$R = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \ln \frac{2 \cdot L}{d} = \frac{184}{157,08} \cdot \frac{100}{0,015} = 10,31 \Omega \quad (2.3)$$

kde d je polovina šířky zemnicí pásky [m]

Pro koncové je požadováno 50 m pásky FeZn 30x4 mm nebo hodnota zemního odporu menší než 5Ω (při měrném odporu půdy větším než $200 \Omega \cdot m$). Navržené uzemnění **vyhovuje**.

2.1.4 Výpočet impedance poruchové smyčky

Zkratová impedance nadřazené sítě je velmi malá, proto ji do tohoto vzorového výpočtu nebude zahrnovat [8]. Na obr. 2.6 je zjednodušené schéma kabelového vedení z trafostanice do pozice 17.



obr. 2.6

Rezistence a reaktance kabelů při 20 °C jsou následující:

$$K_1 = \text{NAYY } 4 \times 150 \text{ mm}^2 \quad R_{k1} = 0,206 \text{ } \Omega/\text{km}, \quad x_{k1} = 0,078 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$K_2 = \text{NFA2X } 4 \times 120 \text{ mm}^2 \quad R_{k2} = R_{1\text{PEN}} = 0,253 \text{ } \Omega/\text{km}, \quad X_{k2} = X_{1\text{PEN}} = 0,080 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$K_3 = \text{NFA2X } 4 \times 95 \text{ mm}^2 \quad R_{k3} = R_{2\text{PEN}} = 0,320 \text{ } \Omega/\text{km}, \quad X_{k3} = X_{2\text{PEN}} = 0,082 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Délky úseků vedení jsou: $l_1 = 0,080 \text{ km}$; $l_2 = 0,115 \text{ km}$; $l_3 = 0,140 \text{ km}$

Výpočet impedance poruchové smyčky:

$$Z_T = \frac{U_{kr}}{100\%} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}^2} = \frac{4}{100\%} \cdot \frac{400^2}{250^2} = 0,0256 \Omega \quad (2.4)$$

kde U_{kr} je jmenovité napětí nakrátko [%]

U_{rT} je jmenovité napětí [kV]

S_{rT} je jmenovitý výkon [MVA]

$$R_T = \frac{\Delta P_k}{S_n} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{3250}{250000} \cdot \frac{400^2}{250000} = 0,008 \Omega \quad (2.5)$$

kde U_{kr} je jmenovité napětí nakrátko [%]

U_{rT} je jmenovité napětí [kV]

S_{rT} je jmenovitý výkon [MVA]

$$X_T = \sqrt{Z_T - R_T} = 0,0256 - 0,008 = 0,024\Omega \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} Z_S &= Z_T + 2,4 \cdot Z_{K1} + 2,4 \cdot Z_{K2} + 2,4 \cdot Z_{K3} = \\ &= \sqrt{(R_T + 2,4 \cdot R_{K1} \cdot l_1 + 2,4 \cdot R_{K2} \cdot l_2 + 2,4 \cdot R_{K3} \cdot l_3)^2 +} \\ &= \sqrt{+(X_T + 2,4 \cdot X_{K1} \cdot l_1 + 2,4 \cdot X_{K2} \cdot l_2 + 2,4 \cdot X_{K3} \cdot l_3)^2} = \\ &= \sqrt{(0,008 + 2,4 \cdot 0,206 \cdot 0,08 + 2,4 \cdot 0,253 \cdot 0,115 + 2,4 \cdot 0,320 \cdot 0,135)^2 +} \\ &= \sqrt{+(0,024 + 2,4 \cdot 0,078 \cdot 0,08 + 2,4 \cdot 0,080 \cdot 0,115 + 2,4 \cdot 0,082 \cdot 0,135)^2} = \\ &= \sqrt{0,0565} = 0,238\Omega \end{aligned} \quad (2.7)$$

kde: 2,4 je koeficient pro dva vodiče, které jsou otepleny na maximální provozní teplotu

R_{K1} – rezistance kabelu k_1 Z_T – impedance transformátoru

X_{K1} – reaktance kabelu k_1 Z_{K1} – impedance kabelu k_1

R_{K2} – rezistance kabelu k_2 Z_{K2} – impedance kabelu k_2

X_{K2} – reaktance kabelu k_2 R_{K3} – rezistance kabelu k_3

X_{K3} – reaktance kabelu k_3 X_T – reaktance transformátoru

2.1.5 Návrh a kontrola jištění

Je nezbytné, aby nn síť splňovala podmínky pro ochranu před úrazem elektrickým proudem dle ustanovení normy PNE 33 0000-1[6], zejména požadavkům na ochranu automatickým odpojením od zdroje. Charakteristiky nadproudových ochranných přístrojů a impedance obvodů musí být takové, aby v případě poruchy o zanedbatelné impedanci, která může vzniknout kdekoliv v distribuční síti TN mezi fázovým vodičem a vodičem PEN nebo vodičem PE nebo neživou částí zařízení, došlo k automatickému odpojení příslušné části sítě od zdroje napětí v předepsaném čase do 30 s. Přitom musí být splněná následující podmínka:

$$Z_s \cdot I_{(a)} \leq c \cdot U_0 \quad (2.8)$$

kde: Z_s je impedance celé poruchové smyčky (zdroj, fázový vodič k místu poruchy, vodiče PEN nebo PE, případně další paralelní cesty v distribuční síti mezi zdrojem a poruchou)

$I_{(a)}$ je proud zajišťující automatické působení nadproudového ochranného přístroje v případě poruchy v předepsaném čase do 30 s

c je koeficient dle ČSN EN 60909-0 (33 3022) pro síť 230/400 V a minimální zkratové proudy ($c = 0,95$)

U_0 je jmenovité napětí proti zemi v síti TN (obvykle 230 V)

Kabel NFA2X 4x95 mm² je na vzduchu proudově zatížitelný 250 A, zvolíme hodnotu nadproudového jisticího prvku 224 A. Odbočka je jištěna na pozici číslo 11 proti přetížení a zkratu na konci pojistkami 63 A (maximální hodnota pro výpočet s ohledem na průřez vodiče). Použijeme-li zjednodušující podmínku, můžeme proud $I_{(a)}$ vyjádřit viz níže.

$$I_{(a)} = 3,5 \cdot I_n \quad (2.09)$$

$$I_{(a)} = 3,5 \cdot 224 = 784 A \quad (2.10)$$

kde: I_n je jmenovitý proud nadproudového jisticího prvku

Pozn: Konstanta 3,5 byla zvolena s ohledem na ČSN, v praxi se volí tato hodnota 2,9-3,5

Z výpočtu je patrné, že uvedená podmínka je splněna a tudíž jištění a délky vodičů vzorového obvodu jsou v tomto případě navržena správně. V případě zkratu na konci vedení je z výsledků patrné, že přípojka je správně chráněna proti zkratu. Pravá strana podmínky je tzv. $Z_{s \max}$, tedy nejvyšší dovolená impedance poruchové smyčky. Tato hodnota nesmí být na konci jištěného obvodu ani v žádném jiném místě překročena

Poté můžeme $I_{(a)}$ dosadit do vzorce 2.8.

$$0,238 \leq \frac{0,95 \cdot 230}{784} \quad (2.11)$$

$$0,238 \leq 0,279 \quad (2.12)$$

Vypočtený výsledek impedance poruchové smyčky ze vzorce 2.7 porovnám s výpočtem, který jsem provedl v programu Úbytek. Program Úbytek byl vytvořen ve společnosti Elektroinvest s.r.o. Program počítá impedanci velmi zjednodušeným způsobem. Konstanta K použitá v programu odpovídá vzorci:

$$K = \frac{1}{\gamma \cdot A \cdot U} \quad (2.13)$$

kde: γ je měrná vodivost vodiče [$\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$]

A je průřez vodiče [mm^2]

U napětí [V]

Výpočet impedance ochranné smyčky:

$$Z_{02} = Z_{ts} + K \cdot L_{02} = 0,027 + 0,514 \cdot 0,080 = 0,068 \text{ Ohmu}$$

$$I_n = 957,983A$$

$$Z_{04} = Z_{02} + K \cdot L_{04} = 0,068 + 0,636 \cdot 0,060 = 0,106 \text{ Ohmu}$$

$$I_n = 614,555A$$

$$Z_{09} = Z_{04} + K \cdot L_{09} = 0,106 + 0,636 \cdot 0,030 = 0,125 \text{ Ohmu}$$

$$I_n = 521,143A$$

$$Z_{11} = Z_{09} + K \cdot L_{11} = 0,125 + 0,636 \cdot 0,025 = 0,141 \text{ Ohmu}$$

$$I_n = 462,006A$$

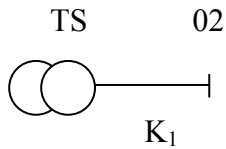
$$Z_{17} = Z_{11} + K \cdot L_{17} = 0,141 + 0,794 \cdot 0,140 = \mathbf{0,252 \text{ Ohmu}}$$

$$I_n = 258,503A$$

Hodnota impedance ochranné smyčky vypočtená je 0,238 Ω viz. 2.7 a hodnota vypočtená programem Úbytek je 0,252 Ω tudíž rozdíl je 0,014 Ω . Tato odchylka je způsobena různými hodnotami rezistivity a reaktance kabelů. Různí výrobci kabelů mají různé hodnoty. V tomto výpočtu jsem použil hodnoty z katalogu výrobce kabelu nkt cables [9]. Avšak i hodnota vypočtená programem Úbytek vyhovuje podmínce: $0,252 \leq 0,279$ zbývající výpočty jsou přiloženy v příloha 3.

2.1.6 Výpočet úbytku napětí

Úbytek napětí na vedení vzniká na odporu vedení při průchodu elektrickým proudem [10]. Na obr. 2.7 je zjednodušené schéma kabelového vedení z trafostanice do pozice 02.



Obr. 2.7 schéma vedení

Rezistence a reaktance kabelu při 20 °C jsou následující:

$$K_1 = \text{NAYY } 4 \times 150 \text{ mm}^2 \quad R_{k1} = 0,206 \text{ } \Omega/\text{km}, \quad X_{k1} = 0,078 \text{ } \Omega/\text{km}, \quad l = 0,080 \text{ km}$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{65000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 104,24 \text{ A} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{02} &= \sqrt{3} \cdot I \cdot (R_k \cdot l \cdot \cos \varphi + X_k \cdot l \cdot \sin \varphi) = \\ &= \sqrt{3} \cdot 104,24 \cdot (0,206 \cdot 0,08 \cdot 0,9 + 0,078 \cdot 0,08 \cdot 0,44) = 3,17 \text{ V} \rightarrow 0,79 \% \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$\Delta U_d = 400 \cdot 0,10 = 40 \text{ V} \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (2.16)$$

kde: I je proud procházející vodičem [A]

P je zatížení vedení [W]

U je napětí sítě [V]

$\cos \varphi$ je účinník [-]

R_k je rezistence [Ω/km]

L je délka vedení [m]

X_k je reaktance [Ω/km]

ΔU_d je úbytek napětí [V]

Výpočet úbytku napětí pomocí programu Úbytek.

Výpočet úbytku napětí:

$$\Delta u_{02} = K \cdot L_{02} \cdot P = 0,169 \cdot 0,080 \cdot 65 = 0,879 \% \quad (2.17)$$

Hodnota úbytku napětí vypočtená je 0,79 % a hodnota vypočtená programem Úbytek je 0,879 %, rozdíl je 0,089 %. Tato odchylka je způsobena různými hodnotami rezistivity a reaktance kabelů. Různí výrobci kabelů mají různé hodnoty. Další odchylka mohla vzniknout při rozdílné metodě výpočtu. V tomto výpočtu jsem použil hodnoty z katalogu výrobce kabelu nkt cables [9]. Dovolенý úbytek napětí v síti nn je 10 %, ale vedení se dimenzuje na hodnotu 5 %. I této podmínce obě hodnoty vyhovují. Schéma impedance poruchové smyčky a zbývající výpočty jsou přiloženy v *příloha 3*.

2.2 Varianta 2 – použití kabelového vedení

Trasa nového kabelového vedení nn je navržena do volného prostoru podél místních komunikací a do prostoru chodníků podél státní silnice.

Na jednotlivé objekty v současné době připojené na distribuční síť 0,4 kV budou osazeny nové kabelové skříně nebo bude provedena výměna původních již nevyhovujících kabelových skříní. Do těchto kabelových skříní budou zaústěny nové zemní kabelové rozvody nn a budou z nich nově přepojeny elektroměrové rozvaděče jednotlivých objektů.

Kabel bude uložen ve volném terénu v pískovém loži krytém fólií z PVC, ve více namáhaných místech (vjezdy, přechody komunikace) v kabelových chráničkách. Minimální krytí kabelů bude ve volném terénu 0,7 m, v přechodu místních komunikací 1,0 m, v přechodu státní silnice 1,4 m. [11] Přechod státní komunikace bude řešen formou řízeného mikrotunelování, přechod místních komunikací překopem nebo protlakem. Ve staveništi se nacházejí stávající inženýrské sítě, které je nutné před zahájením zemních prací vytýčit. Jedná se o venkovní vedení vn, kabelové a venkovní vedení nn, sdělovací kabely SEK, STL plynovod, vodovodní a kanalizační řad, případné místní vodovodní a kanalizační přípojky.

Situace s návrhem rekonstrukce distribuční sítě kabelovým vedením je přiložena v *příloha 4*.

2.2.1 Popis rekonstrukce kabelovým vedením

Na jednotlivé objekty, v současné době připojené na distribuční síť 0,4 kV, budou osazeny nové kabelové skříně nebo bude provedena výměna původních již nevyhovujících kabelových skříní, které mají zkorodovaná plechová dvířka a železobetonový vnitřek. Na některých domech jsou skříně celokovové a značně zkorodované. V období let 1991-1995 dochází u hlavních odběratelů, zejména energetických distribučních společností jednotlivých krajů, k požadavku změny materiálu u rozvaděčů nn z betonu na plasty. Do těchto

kabelových skříní budou zaústěny nové zemní kabelové rozvody nn a budou z nich přepojeny elektroměrové rozvaděče jednotlivých objektů tzv. HDV – hlavní domovní vedení. Toto hlavní domovní vedení bude provedeno kabely CYKY 4x10 mm² nebo CYKY 4x16 mm². Na domě č.p. 1, který je památkově chráněn, je podle ústavu památkové péče osazení plastové kabelové skříně nepřípustné, proto se bude muset objednat atypická skříň, a sice s plastovým rámem, ale s měděnými dvířky. Tato skříň je cca třikrát dražší.

Před trafostanicí bude osazen nový plastový pilíř SR422 (poz. 01), ve kterém bude ukončen stávající kabel AYKY 3x185+95 mm², který vede z rozvaděče nn z trafostanice Přísečná. Z tohoto pilíře bude vyveden nový kabel NAYY 4x150 mm², který bude zasmyčkován ve stávajícím zděném pilíři se skříní SS200 (poz.02). V novém zděném pilíři se skříní SS100 (poz. 03) zde bude provedeno průběžné uzemnění. V novém plastovém pilíři se skříní SS200 (poz. 04) a kabel bude ukončen v nové rozpojovací skříní SR542 umístěné na domě č.p. 7 (poz. 08). Z této rozpojovací skříně budou vyvedeny kabely NAYY 4x50 mm² k domu č.p. 30 (poz. 10), dále NAYY 4x95 mm² směrem k pozici 09. Zde bude provedeno koncové uzemnění a kmenové vedení NAYY 4x150 mm². Toto vedení bude zasmyčkováno v pilířích SS100 (poz. 11, 17, 18), SS200 (poz. 12) a ukončeno ve stávající skříní SR422 na domě č.p. 29 (poz.19). Zde bude provedeno průběžné uzemnění a síť bude rozdělena na dva paprsky. Z pilíře SS200 (poz. 12) bude vyveden kabel NAYY 4x50 mm², který bude zasmyčkován ve zděných pilířích se skříněmi SS100 (poz. 13, 14, 15) a ukončen ve zděném pilíři se skříní SS100 (poz. 16), zde bude provedeno koncové uzemnění. Kmenové vedení NAYY 4x150 mm² bude pokračovat z rozpojovací skříně SR422 (poz. 19) smyčkováním v pilířích se skříněmi SS100 (poz. 20 - 26) a bude ukončeno ve stávající rozpojovací skříní SR502 (poz.28). V této skříní je ukončeno stávající kmenové vedení AYKY 3x240+120 mm², které je vyvedeno přímo z rozvaděče nn z trafostanice Přísečná a bude tvořit spolu s novým vedením tzv. kruh.

Stávající kabel AYKY 3x240+120 mm² bude v pozici 31 odkopán, přerušen a naspojován novými kabely NAYY 4x240 mm², které budou zasmyčkovány v nové smyčkovací skříní SS300 na domě č.p. 12 (poz. 32). Z této smyčkovací skříně bude vyveden stávající kabel NAYY 4x50 mm² a kabel NAYY 4x25 mm², který bude zasmyčkován ve skříních SP100 (poz. 33) a SP200 (poz. 34) a ukončen naspojkováním na stávající kabel AYKY 4x25 mm² na pozici 35.

Problematika elektrické přípojky

Problematiku přípojek řeší ČSN 33 3320 – Elektrické přípojky a podmínky pro provedení přípojky stanovuje dle zákona č. 458/2000 Sb. – Energetický zákon, příslušný provozovatel distribuční sítě. Podmínky pro připojení a dodávku elektřiny stanoví vyhláška Energetického regulačního úřadu č. 51/2006 Sb. – O podmínkách připojení k elektrizační soustavě.

Elektrická přípojka musí být provozována a zřízena v souladu se smlouvou a s pravidly o provozování přenosové soustavy. Náklady na elektrickou přípojku by měl hradit ten, kdo o ni žádá, ale v případě, že je přípojka kratší než 50 metrů, je hrazena provozovatelem příslušné distribuční soustavy. Délkou elektrické přípojky se rozumí délka nejkratší stavebně a technicky proveditelné trasy přípojky promítnuté do půdorysu mezi místem odbočení z distribuční soustavy a hlavní domovní pojistkovou nebo hlavní domovní kabelovou skříní.

Žadatel o elektrickou přípojku zaplatí pouze za jmenovitou hodnotu svého hlavního jističe. U společnosti E.ON je to 500 Kč za 1 A, pokud je hodnota hlavního jističe 16 A = 8000 Kč. Vlastníkem přípojky je, ten kdo uhradil náklady na její zřízení a je povinen zajistit provoz, údržbu a opravy.

Elektrická přípojka nízkého napětí končí u venkovního vedení hlavní domovní pojistkovou skříní, u kabelového vedení hlavní domovní kabelovou skříní. Tyto skříně jsou součástí přípojky. Hlavní domovní pojistková skříně, popřípadě hlavní domovní kabelová skříně se umísťuje na odběratelově objektu nebo na hranici či v blízkosti hranice jeho nemovitosti. Umísťování pojistkových skříní je velmi problematické, společnost E.ON upouští od stavby zděných pilířů, místo nich umísťuje kompaktní plastové pilíře. Plastové pilíře zaberou sice méně místa, ale dle mého názoru jsou nevhodné a například jejich umísťování do podezdívky oplocení vyříznutím „okénka“ je obzvlášť nevhodné, navíc mohou vznikat následně problémy se statikou oplocení.

Při rekonstrukcích ve velkých obcích, kde je hustá zástavba, jsou pojistkové skříně umísťovány do obvodových zdí domů. V těchto místech je ve většině případů vedeno kmenové kabelové vedení velkého průřezu (např. NAYY 4x150 mm², 4x240 mm²), které je v těchto pojistkových skříních zasmyčkováno a je třeba velké smyčkové skříně např. typ SS100 s rozměry 400x600x220 mm. Aby byl zásah do obvodového zdiva menší, používá se připojení pomocí T-spojek to znamená, že z kmenového vedení se kolmo odbočí kabelem o malém průřezu NAYY 4x25 mm² a tento kabel se ukončí v přípojkové skříně SP100, která má rozměry pouze 315x280x120 mm.

Porovnání nákladů na vybudování přípojky pomocí smyčky a T-spojky při délce 10 metrů je uvedeno v *tab. 2.1*.

Tab. 2.1. Srovnání investičních nákladů přípojky

Připojení	Cena materiálu	Cena za práci a mechanizaci	Náklady celkem
Smyčkováním	2690,72	2698,30	5389,02
T-spojku	1773,7	1974,17	3747,87

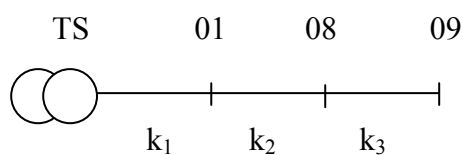
Jak je v *tab. 2.1* vidět, nejenže je zásah do obvodového zdiva v případě T-spojky menší, ale i náklady na vybudování přípojky jsou nižší.

Smyčkovací skříně se používají v případě připojení objektů s více odběrnými místy nebo s vyšším rezervovaným příkonem. Pokud je pět T-spojek za sebou, musí následovat smyčkovací skříň (typ SS) z důvodu možnosti připojení uzemnění či v případě poruchy vedení, aby mohlo dojít k vypnutí poškozeného úseku a k minimalizaci dopadu na odběratele.

V případě přípojky vzdušným vedením je přípojka řešena závěsným kabelem AYKYz, který je ukončen v pojistkové skříně SP100 ve zdi objektu nebo je řešena kabelovým svodem z podpěrného bodu. Tento kabel je ukončen v pilíři na okraji pozemku připojovaného.

2.2.2 Výpočet impedance poruchové smyčky

Zkratová impedance nadřazené sítě je velmi malá, proto ji do tohoto vzorového výpočtu nebudu zahrnovat. [8] Níže bude vypočítána impedance poruchové smyčky. Na *obr. 2.8* je zjednodušené schéma kabelového vedení z trafostanice do pozice 09.



Obr. 2.8 Schéma vedení

Rezistence a reaktance kabelů při 20 °C jsou následující:

$$k_1 = \text{AYKY } 3 \times 185 + 95 \text{ mm}^2 \quad R_{k1} = 0,167 \text{ } \Omega/\text{km}, \quad X_{k1} = 0,081 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$R_{1PEN} = 0,326 \text{ } \Omega/\text{km}, \quad X_{1PEN} = 0,082 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$k_2 = \text{NAYY } 4 \times 150 \text{ mm}^2 \quad R_{k2} = r_{1PEN} = 0,206 \text{ } \Omega/\text{km}, \quad X_{k2} = x_{1PEN} = 0,078 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$k_3 = \text{NAYY } 4 \times 95 \text{ mm}^2 \quad R_{k3} = R_{3PEN} = 0,320 \text{ } \Omega/\text{km}, \quad X_{k3} = x_{2PEN} = 0,082 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Délky vedení jsou: $l_1=0,020$ km; $l_2=0,185$ km; $l_3=0,135$ km

Výpočet impedance poruchové smyčky:

Výše vypočtené hodnoty

$$R_T = 0,008\Omega \quad (2.5)$$

$$X_T = 0,024\Omega \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} Z_S &= Z_T + 1,2 \cdot Z_{K1} + 1,2 \cdot Z_{1pen} + 2,4 \cdot Z_{K2} + 2,4 \cdot Z_{K3} = \\ &= \sqrt{\left(R_T \cdot 1,2 \cdot R_{K1} \cdot l_1 + 1,2 \cdot R_{1pen} \cdot l_1 + 2,4 \cdot R_{K2} \cdot l_2 + 2,4 \cdot R_{K3} \cdot l_3 \right)^2 +} \\ &= \sqrt{\left(X_T \cdot 1,2 \cdot X_{K1} \cdot l_1 + 1,2 \cdot X_{1pen} \cdot l_1 + 2,4 \cdot X_{K2} \cdot l_2 + 2,4 \cdot X_{K3} \cdot l_3 \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(0,008 \cdot 1,2 \cdot 0,167 \cdot 0,02 + 1,2 \cdot 0,326 \cdot 0,02 + 2,4 \cdot 0,206 \cdot 0,185 + 2,4 \cdot 0,320 \cdot 0,135 \right)^2 +} \\ &= \sqrt{\left(0,024 \cdot 1,2 \cdot 0,081 \cdot 0,02 + 1,2 \cdot 0,082 \cdot 0,02 + 2,4 \cdot 0,078 \cdot 0,185 + 2,4 \cdot 0,082 \cdot 0,135 \right)^2} = \\ &= \sqrt{0,0453} = 0,213\Omega \end{aligned} \quad (2.18)$$

kde: 1,2 je koeficient oteplení vodiče

R_{K1} – rezistance kabelu k_1 Z_T – impedance transformátoru

X_{K1} – reaktance kabelu k_1 Z_{K1} – impedance kabelu k_1

R_{K2} – rezistance kabelu k_2 Z_{K2} – impedance kabelu k_2

X_{K2} – reaktance kabelu k_2 R_{K3} – rezistance kabelu k_3

X_{K3} – reaktance kabelu k_3 X_T – reaktance transformátoru

2.2.3 Návrh a kontrola jištění

Je nezbytné, aby nn síť splňovala podmínky pro ochranu před úrazem elektrickým proudem dle ustanovení normy PNE 33 0000-1 [6], zejména požadavkům na ochranu automatickým odpojením od zdroje. Charakteristiky nadproudových ochranných přístrojů a impedance obvodů musí být takové, aby v případě poruchy o zanedbatelné impedanci, která může vzniknout kdekoli v distribuční síti TN mezi fázovým vodičem a vodičem PEN nebo vodičem PE nebo neživou částí zařízení, došlo k automatickému odpojení příslušné části sítě

od zdroje napětí v předepsaném čase do 30 s. Přitom musí být splněná následující podmínka 2.19:

$$Z_s \cdot I_{(a)} \leq c \cdot U_0 \quad (2.19)$$

kde Z_s je impedance celé poruchové smyčky

$I_{(a)}$ je proud zajišťující automatické působení nadproudového ochranného přístroje v případě poruchy v předepsaném čase do 30 s

c je koeficient dle ČSN EN 60909-0 (33 3022) pro síť 230/400 V a minimální zkratové proudy ($c = 0,95$)

U_0 je jmenovité napětí proti zemi v síti TN (obvykle 230 V)

Kabel NAYY 4x95 mm² je v zemi proudově zatížitelný 215 A, zvolíme hodnotu nadproudového jistícího prvku 200 A. Odbočka je jištěna v pozici 08 proti přetížení a zkratu na konci pojistkami 63 A (maximální hodnota pro výpočet s ohledem na průřez vodiče). Použijeme-li zjednodušující podmínku, můžeme proud $I_{(a)}$ vyjádřit viz níže.

$$I_{(a)} = 3,5 \cdot I_n \quad (2.20)$$

$$I_{(a)} = 3,5 \cdot 200 = 700 \text{ A} \quad (2.21)$$

kde I_n – jmenovitý proud nadproudového jistícího prvku

Konstanta 3,5 byla zvolena s ohledem na ČSN, v praxi se volí tato hodnota 2,9-3,5

Z výpočtu je patrné, že uvedená podmínka je splněna a tudíž jištění a délky vodičů vzorového obvodu jsou v tomto případě navrženy správně. Pravá strana podmínky je tzv. Z_{smax} , tedy nejvyšší dovolená impedance poruchové smyčky. Tato hodnota nesmí být na konci jištěného obvodu ani v žádném jiném místě překročena.

Poté můžeme $I_{(a)}$ dosadit do vzorce 2.20:

$$0,213 \leq \frac{0,95 \cdot 230}{700} \quad (2.22)$$

$$0,213 \leq 0,31 \quad (2.23)$$

Vypočtený výsledek impedance ze vzorce 2.18 porovnáám s výpočtem, který jsem provedl v programu Úbytek.

Výpočet impedance ochranné smyčky

$$Z_{01} = Z_{ts} + K \cdot L_{01} = 0,027 + 0,59 \cdot 0,020 = 0,039 \text{ Ohmu}$$

$$I_n = 1670,33 \text{ A}$$

$$Z_{02} = Z_{01} + K \cdot L_{02} = 0,039 + 0,514 \cdot 0,065 = 0,072 \text{ Ohmu}$$

$$I_n = 904,762 \text{ A}$$

$$Z_{04} = Z_{02} + K \cdot L_{04} = 0,072 + 0,514 \cdot 0,045 = 0,095 \text{ Ohmu}$$

$$I_n = 685,714 \text{ A}$$

$$Z_{08} = Z_{04} + K \cdot L_{08} = 0,095 + 0,514 \cdot 0,075 = 0,134 \text{ Ohmu}$$

$$I_n = 486,141 \text{ A}$$

$$Z_{09} = Z_{08} + K \cdot L_{09} = 0,134 + 0,794 \cdot 0,135 = \mathbf{0,241 \text{ Ohmu}}$$

$$I_n = 270,302 \text{ A}$$

Hodnota impedance ochranné smyčky vypočtená dle 2.18 je 0,213 Ω a hodnota vypočtená programem Úbytek je 0,241 Ω , tudíž rozdíl je 0,028 Ω . Tato odchylka je způsobena různými hodnotami rezistivity a reaktance kabelů. Různí výrobci kabelů mají různé hodnoty. Avšak i hodnota vypočtená programem Úbytek vyhovuje podmínce: $0,241 \leq 0,31$ Schéma impedance poruchové smyčky a zbývající výpočty jsou přiloženy v příloha 5.

2.2.4 Výpočet úbytku napětí hlavního domovního vedení

Úbytek napětí na vedení vzniká na odporu vedení při průchodu elektrickým proudem. Níže bude vypočten úbytek na novém hlavním domovním vedení. Jako příklad výpočtu jsem vybral HDV z plastového piliře SS100 (poz. 18) do elektroměrové desky v bytovém domě

č.p. 41. Délka tohoto HDV bude 50 metrů a bude provedeno kabelem CYKY 4x16 mm². V domě se nacházejí čtyři bytové jednotky. Výkon přenášeným tímto vedením bude 10,4 kW.

$$P = 4 \cdot 2,6 = 10,4 \text{ kW} \quad (2.24)$$

Rezistence a reaktance kabelu při 20 °C jsou následující:

CYKY 4x16 mm² $R_{k1} = 1,150 \text{ } \Omega/\text{km}$, $X_{k1} = 0,088 \text{ } \Omega/\text{km}$, $l = 0,050 \text{ km}$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{10400}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 16,68 \text{ A} \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{HDV18} &= \sqrt{3} \cdot I \cdot (R_k \cdot l \cdot \cos \varphi + X_k \cdot l \cdot \sin \varphi) = \\ &= \sqrt{3} \cdot 16,68 \cdot (1,15 \cdot 0,05 \cdot 0,9 + 0,088 \cdot 0,05 \cdot 0,44) = \\ &= 1,55 \text{ V} \rightarrow \underline{0,39\%} \end{aligned} \quad (2.26)$$

$$\Delta U_d = 400 \cdot 0,01 = 4 \text{ V} \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (2.27)$$

kde: I je proud procházející vodičem [A]

P je zatížení vedení [W]

U je napětí sítě [V]

$\cos \varphi$ je účinník [-]

R_k je rezistence [Ω/km]

L je délka vedení [m]

X_k je reaktance [Ω/km]

ΔU_d je úbytek napětí [V]

Výpočet úbytku napětí pomocí programu Úbytek

Výpočet úbytku napětí:

$$\Delta u_{02} = K \cdot L \cdot P = 0,882 \cdot 0,05 \cdot 10,4 = 0,46 \% \quad (2.28)$$

Hodnota úbytku napětí vypočtená je 0,39 %, program Úbytek vypočetl úbytek napětí 0,46 %. Dovolенý úbytek napětí na HDV je 1 %, tudíž obě hodnoty vyhovují.

3 Porovnání nákladů jednotlivých variant

Poté, co jsem vypracoval technické řešení pro obě varianty jak kabelovým vedením, tak venkovním izolovaným vedením, jsem vypracoval v rozpočtovém programu TOMS-DES od společnosti E.ON rozpočty obou variant *příloha 6, 7* a v následující tabulce *tab. 3.1* porovnal jejich investiční náklady.

Tab. 3.1 Porovnání nákladů obou variant

Porovnání nákladů						
Stavební objekty	Varianta 2 kabelovým vedením			Varianta 1 venkovním vedením		
	práce a mech.	materiál	subdodávky	práce a mechanizace	materiál	subdodávky
Vedení nn kabelové	373 254,36	417 375,50	157 600,00	211 739,46	56 189,06	69 820,00
Vedení nn venkovní	0,00	0,00	0,00	128 810,80	482 626,73	0,00
Hl.domovní vedení	211 280,62	59 037,75	93 567,50	36 719,74	9 068,57	19 373,60
Základby	166 531,96	41 916,71	304 046,10	0,00	0,00	0,00
Demolice	122 593,06	0,00	32 400,00	122 593,06	0,00	32 400,00
Mezisoučet	873 660,00	518 329,96	587 613,60	499 863,06	547 884,36	121 593,60
Celkem	1 979 603,56			1 169 341,02		

Z pohledu nákladů na jednotlivé varianty vychází varianta kabelem o více než 800 000 Kč dráž než varianta venkovním vedením. Největší rozdíl je u stavebních objektů HDV a u základeb.

Stavební objekt HDV je u varianty kabelovým vedením značně vyšší proto, že se musí vybudovat nově veškerá připojení mezi novými pilíři či pojistkovými skříněmi osazenými na jiná místa ve zdech jednotlivých objektů a elektroměrovými deskami, která jsou ve většině případů umístěná na objektech a ne na okraji pozemků.

Ve stavebním objektu základby jsou obsažené veškeré práce a materiál spojený se zásahem do asfaltů a chodníků v obci. Bohužel v navržené trase kabelového vedení bylo zasaženo mnoho živých povrchů.

Demolice u obou variant budou stejné, musí se zdemontovat veškeré původní vedení včetně podpěrných bodů a pojistkových skříní.

Pokud porovnáme stavební objekty kabelové a venkovní vedení nn, velký rozdíl není. Je zajímavé, že práce a mechanizace u varianty kabelovým vedením je nižší než u druhé varianty. V případě materiálu je tomu naopak. Tato skutečnost je způsobena větším množstvím materiálu v případě varianty venkovním vedením a náklady na práci a mechanizaci jsou vyšší u varianty kabelem z důvodu výkopových prací a pokládky kabelů.

Problematické spotřebiče jsou ty, které mají dynamickou měnící se spotřebu. Tyto rychlé změny zatížení způsobují kolísání napětí vlivem měnícího se úbytku na impedanci sítě.

4 Kvalita dodávek elektrické energie

Energetický zákon č.458/2000 Sb., v platném znění udává provozovateli distribuční soustavy dodržovat povinnost parametry kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb.

Požadovaná kvalita dodávek a služeb je stanovena ERÚ, a to vyhláškou č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, která stanovuje:

- požadovanou kvalitu dodávek elektřiny a služeb souvisejících s regulovanými činnostmi v elektroenergetice
- výši náhrad za nedodržení předepsaných standardů
- lhůty pro uplatnění nároku na náhrady
- postupy pro vykazování dodržování kvality dodávek a služeb

V domácnostech se vyskytuje čím dál větší množství přístrojů, jež mají nelineární charakteristiku odběru, která způsobuje neharmonické odebírání proudu a zkreslování základního harmonického napětí vyššími harmonickými.

Rozdíl mezi odchylkami napájecího napětí a kolísání napětí způsobujícího flickr je v rychlosti změn napětí.[10]

4.1 Odchytky napětí

Za normálních provozních podmínek nemá odchylka napájecího napětí překročit rozmezí $\pm 10\%$ jmenovitého napětí U_n , které je pro čtyřvodičové trojfázové soustavy mezi fází a uzlem 230 V. A to během každého týdne 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v intervalech 10 minut a 100 % všech průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v rozsahu $+10\%$ / -15% jmenovitého napětí U_n .

Pokud není napájení sítě připojeno k přenosové soustavě nebo je dálkové ovládané, nemají odchylky přesáhnout $+10\%$ / -15% jmenovitého napětí U_n .

Rychlé změny napětí mohou být způsobeny změnou zátěže odběrných míst, spínáním v síti nebo poruchami. [2]

4.2 Flickr

Flickr (blikání) je pocit nestálého zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase. Kolísání napětí vyvolává změny hustoty osvětlení žárovek, které mohou vyvolávat opticky vnímané, jako flickr označené jevy. Flickr

působí nad určitou mezní hodnotou rušivě. Rušivý účinek roste velmi rychle s amplitudou kolísání. Při určitých hodnotách opakování mohou být rušivé už malé amplitudy.

K vyhodnocování flikru se používají dvě veličiny vzájemně svázané matematickým vztahem. Jedná se o míru vjemu flikru P a činitel flikru A . Jejich vzájemné propojení je definováno vztahem $P = A^3$. V praxi se používá zejména míra vjemu flikru. Obě tyto veličiny jsou bezrozměrná čísla. Velikost $P = 1$ vyjadřuje skutečnost, že 50 % osob bude vnímat tento stav za rušivý. [2]

- krátkodobá míra vjemu flikru P_{st}
 - vyhodnocována v intervalu 10 min
 - analyticky pro periodicky se opakující změnu napětí lze vypočítat podle vztahu

$$P_{st} = \frac{d}{d_{lim}} [-] \quad (4.1)$$

kde

$$d - \text{poměrná změna napětí } d = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 [\%]$$

$d_{lim} [\%]$ – limitní změna napětí z obr. 1.1 ($P = 1$) pro danou frekvenci změn

- dlouhodobá míra vjemu flikru P_{lt}
 - je vypočítávána z dvanácti po sobě následujících hodnot P_{st} podle vztahu

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st}^3}{12}} [-] \quad (4.2)$$

- dlouhodobá míra vjemu musí být v 95 % času ≤ 1 za normálních provozních podmínek

- činitel flikru A
 - rozeznáváme opět krátkodobý (10 min) a dlouhodobý (120 min) činitel flikru

Potlačení flikru možnosti

Flikr je způsoben kolísáním napětí vzniklým spínáním zátěže u odběratelů. Velikost kolísání napětí je dána impedancí sítě Z_s a velikostí odebíraného proudu I_z , který na impedanci sítě způsobuje úbytek napětí $\Delta U = Z \cdot I$. Omezení flikru lze tedy dosáhnout:

- zmenšením impedance sítě Z_s (zvýšení zkratového výkonu S_k)

- zrovnomením „vyhlazením“ odebíraného proudu
- zvýšením setrvačných pohonů katrů
- použitím pružných spojek mezi pohonem a technologií
- vzájemným blokováním spínání vybraných spotřebičů v průmyslových podnicích
- zmenšením velikosti odebíraného proudu I_z
- omezením rozběhového proudu (přepínač $Y \rightarrow D$, softstarter, spouštěcí transformátor, předřadný odpor)
- kompenzací jalové složky proudu

4.3 Problémy s kvalitou napětí a jejich řešení

Prvním důvodem rekonstrukce je špatná kvalita elektrického napětí na konci sítě, kdy napětí i flickr dosahovaly hodnot mimo meze dané normou ČSN EN 50160 [2]. Druhým důvodem je špatný technický stav distribuční sítě, který je popsán v předchozích kapitolách.

V listopadu 2012 byla provedena měření pracovníky společnosti E.ON (protokoly DAM č. 67821, 67822, 67823, 67824 jsou přiloženy v příloha 8), které prokázaly oprávněné stížnosti odběratelů. Tito odběratelé se nacházejí v severní části obce v nejdelší vzdálenosti cca 480 metrů od trafostanice. Toto vedení je tvořeno převážně holými vodiči AlFe. V únoru 2013 byl na odbočce k těmto odběratelům osazen regulátor napětí Schmachtl (*obr. 4.5*) o jmenovitém výkonu 100 kVA, který situaci výrazně zlepšil, jak dokazují protokoly DAM č. 71441, č. 71442, č. 71461, č. 76363 přiloženy v příloha 8. Po osazení tohoto regulátoru napětí již žádné problémy hlášeny nebyly. Osazení regulátoru napětí je pouze dočasné řešení.

Regulátor napětí

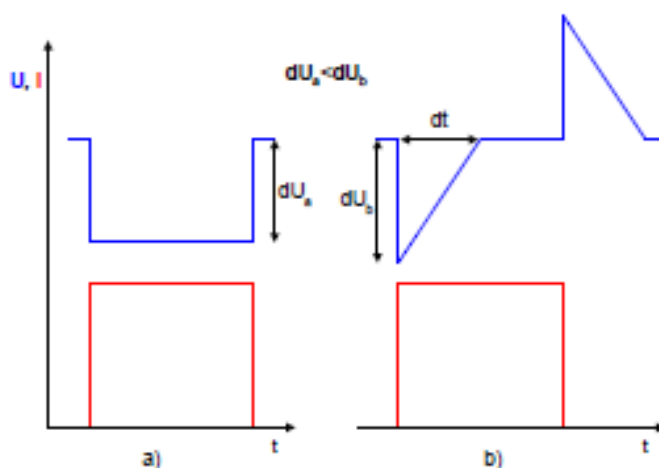
Regulátor napětí *obr. 4.1*, osazený na jednoduchém betonovém sloupu na odbočce k severní části obce, je samoregulační distribuční transformátor nn/nn.



Obr. 4.1 Regulátor nn/nn Schmachtl 100 kVA

Tyto regulátory používají distribuční společnosti již od 80. let minulého století. Na trhu se tak objevují samoregulační transformátory nn/nn, které se umísťují v trase (nebo na konci) dlouhých stávajících nn vedení za účelem stabilizace napětí v požadovaném místě sítě. Regulační transformátory Schmachtl a STR 50 od EGÚ Brno se používaly (a stále používají) zejména pro řešení problémů s podpětím. Nic ale nebrání jejich nasazení v sítích nn pro řešení problémů s přepětím vzniklým v důsledku provozu rozptýlené výroby.

Předpokládá se, že distribuční transformátory 22 kV/nn budou eliminovat zejména kolísání napětí s původem ve vn síti, které může dosáhnout až cca 8 % U_n . Pokud nebudou doplněny měřením napětí a jeho přenosem z konců nn vývodů včetně pokročilejšího algoritmu regulace (zohledňujícího hodnoty napětí ve více místech nn sítě – v DTS a na konci významných nn vývodů), nemohou obecně zajistit eliminaci kolísání napětí s původem v nn síti, které může dosáhnout velikosti až 13 % U_n . [12]



Obr. 4.2 Teoretický průběh napětí a proudu při změně zatížení, a) bez, b) s regulátorem nn/nn [12]

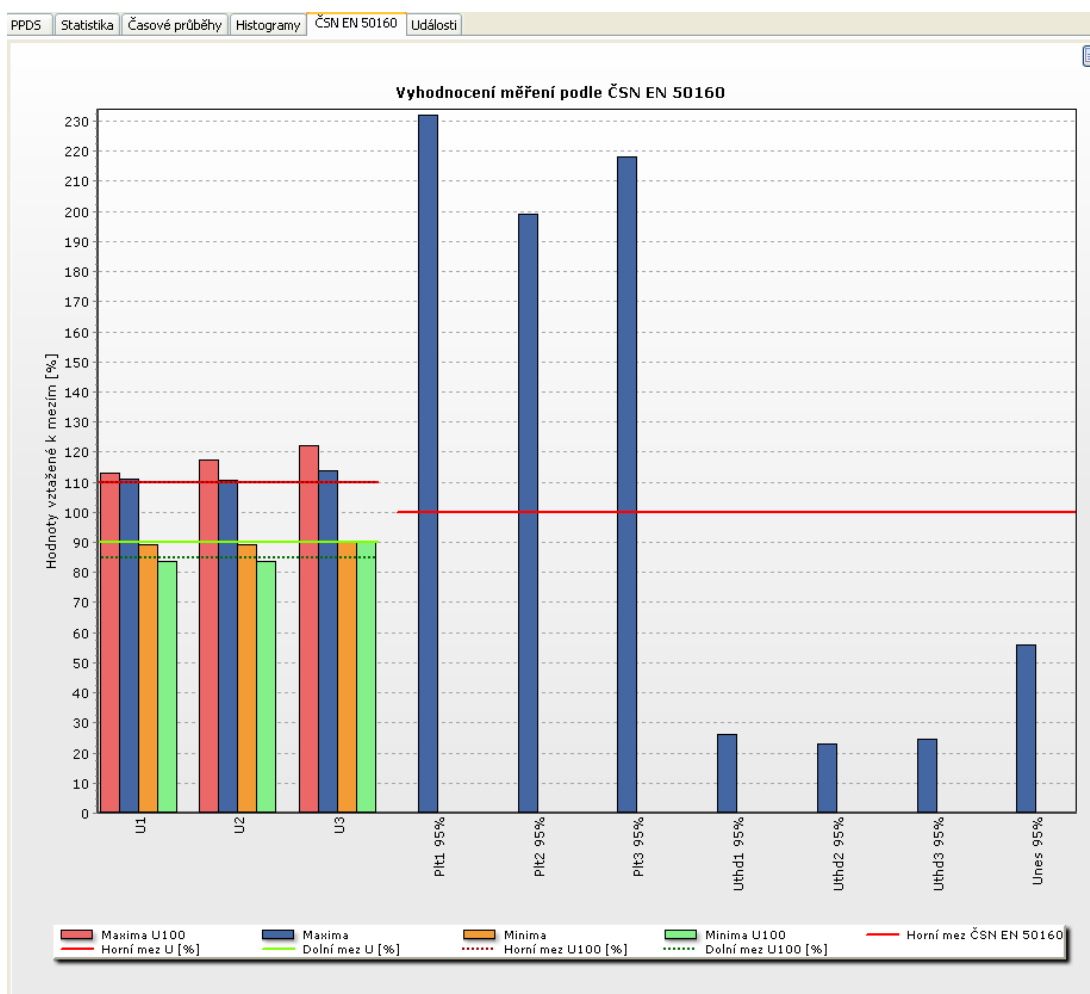
Dle obr. 4.2 b) při ukončení odběru proudu dojde ke změně napětí ve smyslu zvýšení napětí, kterou regulátor začne regulovat. Oproti stavu dle obr. 4.2 a) bez regulátoru pak analýza měření kvality s nasazeným regulátorem vykazuje vyšší hodnoty parametru flickr, a to z důvodu větší rozkolísanosti napětí znázorněné schematicky na obr. 4.2 b), kde čas dt značí dobu vyregulování odchylky regulátorem, která je řádově sekundy. Také změny napětí dU jsou při stejném odebíraném proudu vlivem přídavné impedance regulačního transformátoru větší než ve stavu bez jeho nasazení. Z tohoto důvodu je vždy vhodné kvalitu napětí po nasazení regulátoru napětí ověřit kontrolním měřením kvality napětí, kdy je velice pravděpodobně, že přes zajištění požadovaných odchylek napětí ve smyslu eliminace podpětí nebo přepětí může dojít k překročení parametru flickr. Kvalita napětí pak v místě, kde chceme zajistit požadovanou kvalitu napětí, sice vyhoví požadavku vyhláškou 540/2005 Sb., ale z důvodu překročení parametru flickr nevyhoví požadavkům normy ČSN EN 50160 [2]. Na tuto skutečnost je třeba při nasazování regulátoru napětí nn/nn vždy pamatovat.[12]

Tab. 4.1 Porovnání vybraných parametrů kvality napětí (měřeny a vyhodnoceny minimální a maximální 10min hodnoty dle ČSN EN 50160) při současném týdenním měření na vstupu a výstupu reg. TR nn/nn Schmachtl v červenci 2012 převzato z [12].

Místo měření/ veličina	U100%max [%Un]	U100%min [%Un]
Vstup	106,8	90,2
Výstup	106,2	104,3

Z tab. 4.1 je patrný významný přínos na stabilizaci napětí nn na výstupu regulačního transformátoru.

Níže popíši protokoly DAM č. 67821 před osazením a DAM č.76363 po osazení regulátoru napětí. Tyto protokoly byly vyhotoveny z měření, která byla prováděna v nejdále umístěné pojistkové skříní na domě č.p. 59. V obr.4.3 je patrné, že dochází ke značnému kolísání hladiny napětí, a to v rozmezí 192 V až 280 V. Tyto hodnoty byly naměřeny v 18 % času, po který bylo měření provozováno (12 dní) a hodnota flikru je až 2,3. Tato hodnota zde byla naměřena v 99 % času měření Obr. 4.4. Impedance poruchové smyčky zde byla naměřena 1,41 Ω .



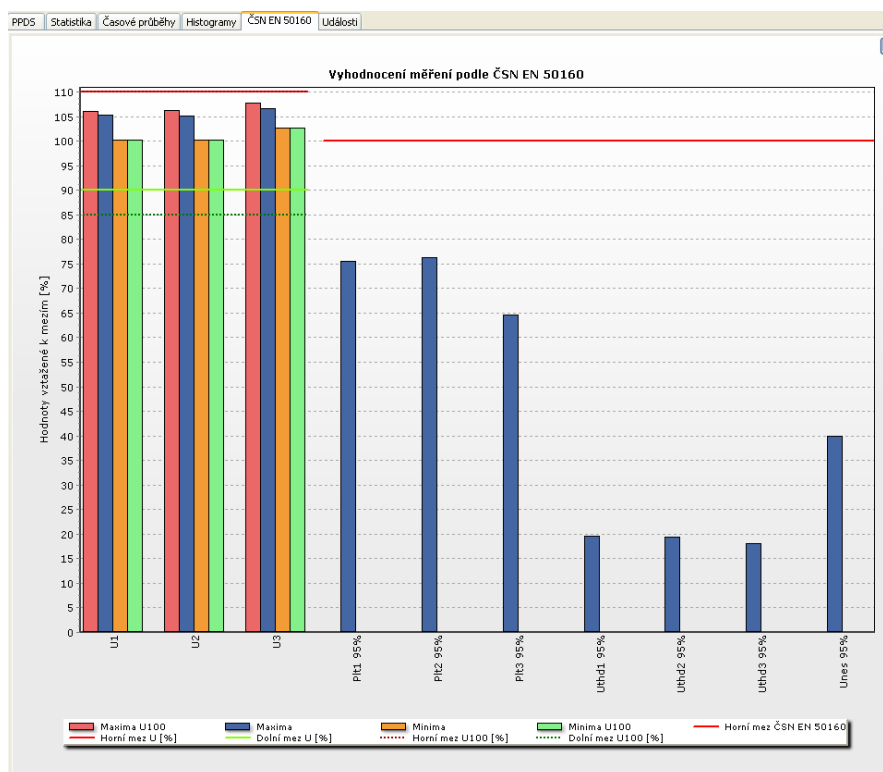
Obr. 4.3 Graf z protokolu DAM č. 67821

Veličina	Mez	Hodnota	Hod. %	OK
U1 [V] MAX 100%	10	260,360	113,20	✗
U1 [V] MAX 95%	10	255,590	111,13	✗
U1 [V] min 95%	-10	204,840	89,06	✗
U1 [V] min 100%	-15	192,120	83,53	✗
U2 [V] MAX 100%	10	269,580	117,21	✗
U2 [V] MAX 95%	10	254,500	110,65	✗
U2 [V] min 95%	-10	205,540	89,37	✗
U2 [V] min 100%	-15	192,730	83,80	✗
U3 [V] MAX 100%	10	281,020	122,18	✗
U3 [V] MAX 95%	10	262,230	114,01	✗
U3 [V] min 95%	-10	207,120	90,05	✓
U3 [V] min 100%	-15	207,120	90,05	✓
Plt1 [-] MAX	1	2,320	232,00	✗
Plt2 [-] MAX	1	1,989	198,90	✗
Plt3 [-] MAX	1	2,183	218,30	✗
Uthd1 [%] MAX	8	2,080	26,00	✓
Uthd2 [%] MAX	8	1,850	23,13	✓
Uthd3 [%] MAX	8	1,970	24,63	✓
Unes [%] MAX	2	1,120	56,00	✓

	Mimo mez [%]
U1 100%	5,7
U1 95%	8,1
U2 100%	4,7
U2 95%	7,4
U3 100%	18,1
U3 95%	18,2
Plt1	96,3
Plt2	99,3
Plt3	80,1
Uthd1	0
Uthd2	0
Uthd3	0
Unes	0

Obr. 4.3 Graficky znázorněné nedodržení mezí DAM č. 67821

Obr. 4.4 a obr. 4.5 jsou vyhodnocená měření ve stejné pojistkové skříně na domě č.p. 59, ale už po osazení regulačního transformátoru. Je zde vidět, že všechny hodnoty vyhovují normě ČSN EN 50160 [2], pouze hodnota flikru v 0,6 % času měření překročí mez 1. Impedance poruchové smyčky zde byla naměřena po osazení regulátoru 0,83 Ω ., což je stále vysoká hodnota.



Obr. 4.4 Graf z protokolu DAM č. 76363

Meze PPDS

Vypočítat dobu mimo meze

Veličina	Mez	Hodnota	Hod. %	OK
U1 [V] MAX 100%	10	244,017	106,09	✓
U1 [V] MAX 95%	10	242,007	105,22	✓
U1 [V] min 95%	-10	230,577	100,25	✓
U1 [V] min 100%	-15	230,577	100,25	✓
U2 [V] MAX 100%	10	244,537	106,32	✓
U2 [V] MAX 95%	10	241,687	105,08	✓
U2 [V] min 95%	-10	230,337	100,15	✓
U2 [V] min 100%	-15	230,337	100,15	✓
U3 [V] MAX 100%	10	247,887	107,78	✓
U3 [V] MAX 95%	10	245,387	106,69	✓
U3 [V] min 95%	-10	235,957	102,59	✓
U3 [V] min 100%	-15	235,957	102,59	✓
Plt1 [-] MAX	1	0,755	75,50	✓
Plt2 [-] MAX	1	0,763	76,30	✓
Plt3 [-] MAX	1	0,646	64,60	✓
Uthd1 [%] MAX	8	1,570	19,63	✓
Uthd2 [%] MAX	8	1,550	19,38	✓
Uthd3 [%] MAX	8	1,450	18,13	✓
Unes [%] MAX	2	0,800	40,00	✓

	Mimo mez [%]
U1 100%	0
U1 95%	0
U2 100%	0
U2 95%	0
U3 100%	0
U3 95%	0
Plt1	0,6
Plt2	0,5
Plt3	0
Uthd1	0
Uthd2	0
Uthd3	0
Unes	0

Obr. 4.5 Graficky znázorněné dodržení mezí DAM č.76363

Osazení regulátoru je pouze dočasné řešení. Dlouhodobé řešení je rekonstrukce stávající distribuční sítě nn, kterou jsem popsal v předchozích kapitolách. Impedance poruchové smyčky bude snížena oběma variantami rekonstrukce na hodnotu cca 0,4 Ω .

5 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout rekonstrukci sítě nízkého napětí v obci Přísečná u Českého Krumlova pomocí dvou variant a porovnat jejich investiční náklady. Řešení je navrženo na základě skutečných podmínek distribuční sítě v obci. Pro rekonstrukci vedení byly navrženy tyto varianty:

- varianta 1 provedení rekonstrukce izolovaným venkovním vedením
- varianta 2 provedení rekonstrukce kabelovým vedením

Při posouzení technicko – ekonomického hlediska obou variant se přikláním ke druhé variantě i za skutečnosti, že investiční náklady na tuto variantu jsou o více než 800 tis. Kč vyšší než v případě první varianty.

Důvodů k tomuto rozhodnutí je několik. Obec Přísečná se nachází na velmi frekventované komunikaci první třídy I/39, kterou by v případě prací na venkovním vedení omezovalo a to by vedlo ke zvýšeným nákladům na údržbu tohoto vedení. Náklady na údržbu venkovního vedení jsou dvakrát vyšší než u kabelového vedení. Dalším důvodem je i estetika, z domů budou demontovány střešníky a zední konzole, které vlivem klimatických podmínek obarvují fasády domů. Určitě důležitým faktorem je i vyšší poruchovost venkovního vedení, která je podle statistik třikrát častější.

Z hlediska parametrů sítě je varianta kabelovým vedením lepší, pokud srovnáme velikosti úbytků napětí, které jsou v některých místech horší až o 1 % z důvodu, že venkovní vedení je vedeno převážně vodiči o průřezu $4 \times 120 \text{ mm}^2$ oproti průřezu kabelu $4 \times 150 \text{ mm}^2$. V případě impedance sítě, která je důležitá z hlediska kvality dodávky, se hodnoty liší i více jak o $0,1 \ \Omega$. Při rekonstrukci kabelem bude cela vesnice zkrhována, kdežto při pouhé rekonstrukci venkovního vedení tomu tak nebude. Odbočka z pozice 22 podél hlavní silnice směrem na České Budějovice budou všechny odběry pouze na paprsku a při poruše hrozí odstávka velkého počtu odběratelů.

Při rekonstrukci kabelovým vedením bude vyměněna většina hlavního domovního vedení (HDV), tedy z pojistkové skříně na hranici pozemku do elektroměrového rozvaděče. V některých případech je toto vedení staré jako síť sama, téměř 40 let.

Použitá literatura

- [1] *Mapy.cz* [online]. 2011 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>
- [2] ČSN EN 50160. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [3] PNE 33 3302. *Elektrická venkovní vedení s napětím do 1 kV AC*. Praha: ÚJV Řež, a. s., 2013.
- [4] PNE 33 0000-7. *Navrhování a umístování svodičů přepětí v distribučních sítích do 1 kV*. Praha: ÚJV Řež, a. s., 2007.
- [5] TYCO ELECTRONICS CZECH S.R.O. *Svorky a příslušenství pro izolovaná venkovní vedení nízkého napětí*. 2010. Dostupné z: http://www.tycoelectronics.cz/catalogue/pdf/..%5C..%5CEnergy%5CCatalogues%5CEPP_0874_CZ_03_10.pdf
- [6] PNE 33 0000-1. *Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě*. Praha: ÚJV Řež, a. s., 2011.
- [7] PNE 33 0000-4. *Příklady výpočtů uzemňovacích soustav v DS a PS dodavatele elektřiny*. Praha: ÚJV Řež, a. s., 2011.
- [8] MIKULÁŠ, Ladislav. E.ON ČESKÁ REPUBLIKA, s.r.o. *Prováděcí pokyn ECZR-SDS-062 společnosti E.ON Česká republika, s.r.o.: Koncepce sítí nízkého napětí*. 2012.
- [9] NKT CABLES S.R.O. *Low-voltage-cables/power-cables-1kv*. 2013. Dostupné z: <http://www.nktcables.com/cz/products/low-voltage-cables/power-cables-1kv/>
- [10] TESAŘOVÁ, Miloslava a Milada ŠTROBLOVÁ. *Průmyslová elektroenergetika*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 154 s. ISBN 80-708-2703-3.
- [11] PNE 34 1050. *Kladení kabelů nn, vn a 110 kV v distribučních sítích energetiky*. Praha: ÚJV Řež, a. s., 2011.
- [12] KAŠPÍREK, Martin a David ŠIMÁČEK. E.ON ČESKÁ REPUBLIKA, s.r.o., *Správa distribučních sítí. Stabilizace napětí v distribučních nn sítích nasazením transformátorů vn/nn a nn/nn s možností regulace napětí pod zatížením*. ELECTRIC POWER ENGINEERING 2013. 2013.

Seznam Příloh

Příloha 1 – Situace s venkovním vedením

Tato příloha je vložena na CD v souboru venkovní.pdf a v deskách této DP

Příloha 2 – Montážní tabulky

Tato příloha je vložena na CD v tabulky.pdf

Příloha 3 – Schéma impedance a výpočet úbytku napětí varianta1

Tato příloha je vložena na CD v souboru schéma1.pdf a v deskách této DP

Příloha 4 – Situace s kabelovým vedením

Tato příloha je vložena na CD v souboru kabelové.pdf a v deskách této DP

Příloha 5 – Schéma impedance a výpočet úbytku napětí varianta2

Tato příloha je vložena na CD v soubor schéma2.pdf a v deskách této DP

Příloha 6 – Rozpočet varianta1

Tato příloha je vložena na CD v rozpočet1.pdf a v deskách této DP

Příloha 7 – Rozpočet varianta2

Tato příloha je vložena na CD v rozpočet2.pdf a v deskách této DP

Příloha 8 – Protokoly

Tato příloha je vložena na CD v souboru měření.zip

Příloha 9 – Situace demontáží

Tato příloha je vložena na CD v soubor demontáže.pdf a v deskách této DP