

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ  
ELEKTRONIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Aktivní protikoroziční ochrana produktovodů elektrickým proudem**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš KRATOCHVÍL**  
Osobní číslo: **E13B0474P**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Aktivní protikorozní ochrana produktovodů elektrickým proudem**  
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište teorii funkce účinnosti a oblast využití systému elektrochemické protikorozní ochrany.
2. Popište princip ochrany usměrňovači a dalšími zdroji proudu.
3. Popište doplňková zařízení, příslušenství a měřicí techniku u katodické ochrany.
4. Popište význam a doporučení protikorozní ochrany.
5. Proveďte měření ve dvou různých lokalitách a porovnejte jejich hodnoty, zhodnoťte výsledky získané měřením.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Ing.Polák,J.: Rukověť katodické protikorozní ochrany, Praha 2002
2. Turena,M.: MIVET -Oznámení o výběru nejvhodnější nabídky, Plzeň 2005

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014

Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2015

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kús, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na elektrochemickou protikorozi ochranu, v rámci které byl proveden terénní průzkum prostřednictvím měření hodnot ve dvou vybraných oblastech.

Teoretická část práce je vymezena pro popis základních pojmů, ve které jsou vysvětleny jednotlivé pojmy týkající se elektrické protikorozi ochrany, koroze, její příčiny vzniku a ochrany, katodické a anodické ochrany, usměrňovače napětí a dalších zdrojů proudu.

Praktická část práce se zabývá posouzením funkčnosti protikorozi ochrany, měřením proudu, odporu a potenciálu ve dvou vybraných oblastech. Vyhodnocením naměřených hodnot a jejich porovnáním jsou uvedena doporučení k zefektivnění protikorozi ochrany.

## **Klíčová slova:**

elektrochemická protikorozi ochrana, koroze, usměrňovač, měřicí přístroj Symbol, proud a napětí

## **Abstract**

This bachelor thesis is focused on the electrochemical anticorrosion protection, in terms of which was accomplished a field research by measuring the values in two selected areas.

The theoretical part of the work is limited to a description of the basic concepts. There are explained the individual concepts for electric anticorrosion protection, corrosion itself, its causes and its protection, cathodic and anodic protections, the rectifier voltage and other voltage sources.

The practical part of this thesis concerns the rating of the functionality of the anticorrosive protection, measuring the electric current, electrical resistance and electric potential in two pre-selected areas. By evaluating the measured values and by observation these values there are adumbrated recommendations which lead to the streamline of the anticorrosive protection.

## **Keywords:**

electrochemical anticorrosion protection, corrosion, Rectifier, measuring unit Symbol, the electric current and the electric voltage

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci „Aktivní protikoroze ochrana produktovou elektrickým proudem“ vypracoval samostatně pod vedením bakalářské práce, Doc. Ing. Karlem Noháčem, Ph. D., a s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce. Jako autor předložené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem při jejím vytvoření neporušil autorská práva třetích osob.

V Plzni dne 8. 6. 2015

.....

Podpis

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval mému vedoucímu práce Doc. Ing. Karlovi Noháčovi, Ph. D. za jeho věnovaný čas konzultacím v rámci bakalářské práce, za jeho připomínky, rady a pomoc. Dále bych své poděkování rád věnoval společnosti RWE Distribuční služby, s. r. o., kde mi bylo umožněno nahlédnout a zabřednout do práce v terénu pod vedením jednoho ze zaměstnanců, Pavla Kozáka. Dále bych rád poděkoval za odborné rady a pomoc panu Josefu Harantovi a Jaroslavu Zbudilovi.

## Obsah

Úvod.....	10
1 Cíl práce a metodika .....	11
1.1 Cíl práce .....	11
1.2 Metodika práce.....	11
2 Elektrochemická protikoroziční ochrana .....	12
2.1 Historie a vývoj .....	12
2.2 Koroze .....	13
2.2.1 Druhy koroze.....	13
2.2.2 Příčiny vzniku elektrochemické koroze .....	14
2.2.3 Způsoby ochrany proti korozi .....	15
2.2.3.1 Katodická a anodická ochrana .....	16
2.2.3.2 Doplnková zařízení katodické ochrany .....	19
2.2.3.3 Usměrňovače a další zdroje proudu .....	21
2.2.3.4 Příslušenství a měřicí technika u katodické ochrany.....	21
3 Význam protikoroziční ochrany.....	23
4 Metoda měření .....	24
5 Průběh měření v lokalitách.....	26
5.1 Lokalita (Stará Voda) – prvky působící na vznik koroze.....	26
5.1.1 Technické vybavení (Stará Voda).....	26
5.2 Lokalita (Vonšov) – prvky působící na vznik koroze .....	27
5.2.1 Technické vybavení (Vonšov) .....	28
5.3 Měření hodnot ve zvolených lokalitách .....	29
5.3.1 Vyhodnocení a formulace naměřených hodnot.....	30
5.4 Doporučení protikoroziční ochrany .....	31
Závěr .....	32



Seznam literatury a informačních zdrojů .....	33
Seznam symbolů a zkratk.....	35
Seznam tabulek .....	36
Seznam obrázků .....	37
Seznam příloh .....	38

# Úvod

Předkládaná bakalářská práce se zabývá problematikou působení koroze na produktovod a hlavní řešenou otázkou je, zda katodická ochrana ve zvolených lokalitách je dostatečně účinná. Účinnost katodické ochrany je ověřována měřením hodnot ve zvolených lokalitách. Měření hodnot je prováděno prostřednictvím elektrických měřících přístrojů jako je Symbol se schopností ukládání dat, a dále pak multimetr. Tato bakalářská práce vznikla na základě prováděné odborné praxe v distribuční společnosti RWE, která se zabývá dodávkou zemního plynu ke spotřebitelům. Během praxe byla prováděna inspekční činnosti ve spolupráci s pracovníkem RWE na údržbu, kontrolu a seřízení chodu systému protikorozi ochrany. Praktická část práce čerpá dále z vědomostí pracovníků, kteří se dlouhodobě zabývají problematikou protikorozi ochrany.

Celá práce je rozdělena do dvou částí, přičemž první, teoretická, část je zaměřena na vznik koroze a způsoby, jak nejúčinněji produktovody chránit. Jsou zde podrobně vysvětleny pojmy koroze, druhy koroze, příčiny vzniku koroze, ochrana proti korozi, elektrická zařízení jako usměrňovače a jiná příslušenství protikorozi ochrany.

Praktická část práce je zaměřena na měření veličin ve dvou různých lokalitách, které mají rozdílné faktory působící na vznik koroze na produktovodu. Jedná se o lokalitu Vonšov a Stará Voda v Karlovarském kraji. Ve zvolených oblastech je na určených místech prováděno kontrolní měření potenciálu. Získané a vyhodnocené hodnoty jsou uvedeny ve druhé části bakalářské práce. Jsou zde také slovně formulovány a porovnány výsledky naměřených hodnot v obou lokalitách.

# **1 Cíl práce a metodika**

## **1.1 Cíl práce**

Hlavním cílem předkládané bakalářské práce je naměření hodnot potenciálu, odporu a proudu na propojovacích, kontrolních vývodech a stanici katodické ochrany ve dvou zvolených oblastech (Vonšov, Stará Voda), dále pak na chráničkách, izolačních spojích a na diodovém členu. Naměřené hodnoty jsou vyhodnocovány dle parametrů ČSN 03 8350 – Požadavky na protikorozní ochranu úložných zařízení a dále pak podle TPG G 920 26 – Katodická ochrana potrubí uložených v zemi. Získané hodnoty jsou následně vzájemně porovnány a na tomto základě provedena závěrečná doporučení.

## **1.2 Metodika práce**

Metodika bakalářské práce je založena na studiu dokumentů veřejně dostupných a interních dokumentů distribuční společnosti RWE, s. r. o. Literární rešerše je vypracována na základě podkladů, která jsou uvedena v seznamu použité literatury, jež tvoří součást závěru bakalářské práce. Pro porovnání a vyhodnocení naměřených hodnot je v praktické části práce použito měření především pomocí elektrického přístroje Symbol, který je specifický svým automatickým ukládáním dat a dokáže měřit hodnoty po delší dobu, které následně zprůměruje a vyhodnotí. Zpracované hodnoty jsou převedeny z přístroje prostřednictvím počítače do softwarového programu, z něhož lze hodnoty použít pro následné porovnání.

## 2 Elektrochemická protikorozní ochrana

Aktivní elektrochemické ochrany lze celkově nazvat jako postupy, jež vycházejí z takové reality, v níž dochází elektrochemickými reakcemi ke korozním pochodům. Tato ochrana je založena na působení stejnosměrného proudu procházejícím chráněným kovovým povrchem, který vede ke snížení korozní rychlosti. Změna elektrodového potenciálu kovu je zapříčiněna průchodem stejnosměrného proudu, kde dochází ke změně složení korozního prostředí, jež přiléhá k chráněnému povrchu. Již zmíněné procesy se odehrávají na povrchu kovu, a tudíž je dalšími elektrochemickými reakcemi můžeme ovlivňovat. Anodická a katodická ochrana se dělí dle polarizace elektrochemické ochrany. Rozlišujeme mezi nimi na základě toho, že při katodické ochraně je zařízení zapojeno jako katoda a u anodické ochrany jako anoda. Katodická ochrana se používá pro ochranu vnějších povrchů zařízení, které jsou uloženy v zemi. Pro vnitřní povrchy zařízení v některých chemických i jiných provozech se používá anodická ochrana, a to pro její aplikaci, kterou ji svým charakterem umožňují. Obětované anody se také používají pro chránění lodních trupů, ocelových konstrukcí v mořské vodě, bojlerů pro ohřev vody, nádrží a místy i pro úložná zařízení.

### 2.1 Historie a vývoj

Koroze představuje jeden z nejdůležitějších faktorů, jež negativně ovlivňují délku životnosti v zemi uložených kovových potrubí. Tímto jevem se zabývali již v 15. století Paracelsus, Lomonosov a Lavoisier, když samotné vysvětlení koroze železa bylo podáno teprve v první polovině našeho století. Ve 20. letech bylo prokázáno panem Evansem, že kyslík je hlavní příčinou koroze železa a to v neutrálních vodách. Ochranu potrubí proti korozi lze zajistit dvěma způsoby, buď pasivně, či aktivně. K tomu, aby nedocházelo k rezivění kovových trub, byly využívány různé ochranné nátěry a izolační bandáže, což představovalo tzv. pasivní ochranu potrubí. Aktivní způsob ochrany představil Humphry Davy v roce 1824 tím, že na několik lodí použil železnou nebo zinkovou hmotu, jež byla připojena k měděnému dnu lodi, a tak dokázal zachovat měď neporušenou. Takto tedy vznikla aktivní elektrolytická ochrana. Faraday spolupracující s Davym položil v 19. století základy elektrochemie za pomoci náhrady zinkových anod anodami litinovými, jež měly delší dobu trvanlivosti. V roce 1930 se ve Spojených státech amerických začala pomalu

uplatňovat aktivní protikorozi katodická ochrana a v roce 1942 byla přímo v Oklahomě aplikována protikorozi ochrana za pomoci galvanických anod. Dále se aktivní katodická ochrana šířila po 2. světové válce především v USA. V České republice se aktivní ochrana začala uplatňovat od roku 1950.

## **2.2 Koroze**

Koroze je děj, při kterém dochází k vzájemnému působení mezi prostředím a materiálem, jehož vlivem je materiál znehodnocován. Vlhkost je jednou ze základních podmínek právě pro její vznik a průběh. Koroze se objevuje v plynech, kapalinách, v zeminách nebo chemických látkách, které se dostanou do styku s materiálem. Při korozi může dojít ke změně vzhledu až po úplné rozpadnutí. Korozi způsobují elektrochemické procesy. Nejhlavnějším prvkem, který způsobuje rozklad, je atmosférický kyslík. Korozi podléhá téměř každý materiál, nejen kov, ale i jeho slitiny. Náklady na odstranění koroze můžeme dělit na přímé a nepřímé ztráty. Přímé ztráty jsou např. peníze vynaložené na ošetření napadené plochy zařízení. Poškození zařízení korozi má za následek mnohdy snížení nebo úplné zastavení výroby. Tyto ztráty nazýváme nepřímé. V mnohých případech jsou nepřímé ztráty daleko vyšší, než přímé. Proto je výhodné investovat do nákladů zabráňujících korozi. Agresivní prostředí např. železné rudy a uhelné doly, mají na korozi produktovodů velký vliv.

### **2.2.1 Druhy koroze**

Koroze je rozlišována a posuzována z několika hledisek. První druh koroze se rozlišuje a posuzuje dle vzniku mechanismu, který zahrnuje chemickou korozi, kde vzniká pouze chemická reakce mezi materiálem a prostředím. Děje se v prostředí elektricky nevodivém. A dále fyzikálně – chemickou, kde mimo chemického působení je doprovázen vznikem elektrických (galvanických) článků a jejich součástí je také materiál, který sledujeme. Děje se v prostředí elektricky vodivém a tudíž se také nazývá elektrochemickou korozi. Druhým druhem je koroze rozlišována dle prostředí. Koroze může být atmosférická, v kapalinách, v plynech nebo v půdě. Působení atmosférické koroze je závislé především na obsahu vlhkosti, na agresi plynů ve vzduchu a tuhých nečistot ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ). V kapalinách je největším případem koroze ve vodách, je to způsobeno znečištěním vody agresivními látkami. Ve vodě

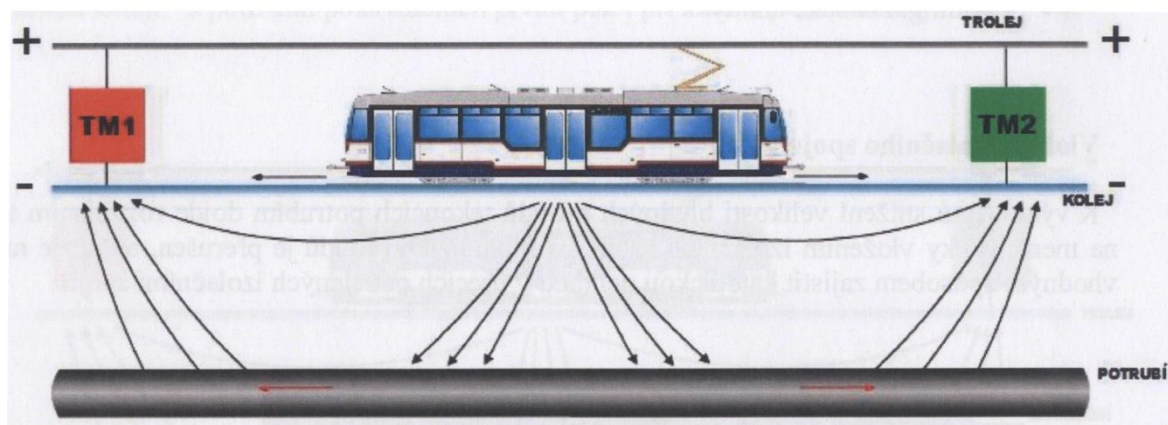
způsobuje rychlost koroze materiálu zejména obsah kyslíku. V plynech je koroze hodně závislá na obsahu kyslíku. Největší význam chemické koroze, která probíhá v plynech je u vyšších teplot, kdy plyny obsahují minimum vlhkosti. Koroze v půdě představuje složité chemické prostředí, ve kterém se objevují tuhé, kapalné a plynné agresivní látky.

### **2.2.2 Příčiny vzniku elektrochemické koroze**

Hlavní příčinu korozního děje lze spatřovat ve snaze přírody, navrátit kovy do jejich původního stavu v přírodě. Termodynamická nestabilita při styku s korozním prostředím (elektrolytem) má za následek vznik koroze na povrchu kovů. Můžeme je dělit na dva druhy počátečních průběhů. Prvním je vstup iontů do kapalné fáze (oxidační, anodický směr reakce). Druhým je interakce oxidační složky prostředí s elektrony zbylými v kovu (redukční, katodický směr reakce). Tyto reakce se nemohou odehrávat samostatně, jelikož jsou na sebe vázány, pokud tedy neprochází žádný vnější proud elektrodou tj. korodující kov. Touto reakcí se na anodě hromadí elektrony (v místě, kde se kov rozpouští), které nemohou samy vstoupit do elektrolytu a tím anodě dávají zápornější potenciál. Do katody se přesunují přebytečné elektrony, tím vzniká redukce oxidačního činidla (depolarizátoru), např. k redukci kyslíku.

Další problém přináší bludné proudy. Unikající elektrický proud procházející zemí z uzemněných elektroenergetických zařízení mění směr a velikost. Bludné proudy mohou vzniknout u elektrických systémů, u kterých má vodič nebo jiná část obvodu nežádoucí svod na více než jednom místě. Tyto systémy jsou stejnosměrné i střídavé proudy elektrizované železnice, městské dráhy, metro (které využívá zpětné vodiče pro trakční proud kolejnic), stejnosměrné rozvodny v továrnách a zařízení, které aktivně chrání proti korozi. Jedná se o zařízení využívající zdroj vnějšího stejnosměrného proudu katodické ochrany. Jde o pronikající proudy pro podzemní zařízení, která nejsou připojena na společnou ochranu. Bludné stejnosměrné elektrické proudy v blízkosti zdrojů stejnosměrného proudu, jako například elektrizované kolejové dopravy, mají za následek korozi kovových konstrukcí a potrubí uložených v zemi. U důlních systémů se používá elektrická drenáž zabraňující průniku elektrických proudů, které vznikají při průjezdu lokomotiv. Používají se také ochranné diody s výkonem až 300 [A] kvůli zpětnému proudu (u stejnosměrných systémů). Existují AC a DC systémy, oba se používají.

Kolejní dopravní systémy se hlavně provozují jako dvupólové. Na trolejový vodič je přiveden první pól trakčního napětí a druhý na kolej. Stejnoseměrný okruh se uzavírá přes trolej, sběrač a lokomotivu. Do trakční měničiny se proud vrací zpět pomocí kolejí. Při průtoku proudu kolejnicí je žádána nedokonalost izolace kolejnic od půdy, jelikož zamezuje vytvoření příliš vysokého spádu napětí mezi zemí a kolejnicí. Proto do země vniká část zpětného proudu. Kolejním bočником, jenž tvoří půda, teče proud do země.



Obr. 1: Unikající bludné proudy z elektrizované kolejové dopravy [5]

### 2.2.3 Způsoby ochrany proti korozi

Nejlepší ochranou produktovodů je použití kvalitní izolace potrubí v kombinaci s katodickou ochranou. Tímto dospějeme k nejdokonalejšímu oddělení potrubí od okolního prostředí a na místech, kde je poškozená izolace dochází k elektrochemické ochraně. Korozní situaci můžeme ovlivnit ještě před stavbou úložného zařízení a to vhodnou volbou materiálu, který nepodléhá korozi. Použití ocelových potrubí se používá pro větší tlaky. Změnou trasy vedení můžeme snížit vliv agresivního prostředí. Důležité je také zvolit vhodnou výbavu potrubí a provedení souvisejících objektů, které mají při nevhodném rozložení sklony snižovat životnost potrubí. V městských oblastech se pro náročnost ochrany potrubí nepoužívá aktivní ochrana, jelikož náklady na ochranu jsou velké a ekonomicky nevýhodné. Musí se tedy spoléhat na pasivní ochranu. Kvalitní aktivní ochranou se dokáže zvýšit životnost potrubí na dvojnásobek a z praxe je známo, že i na trojnásobek.

Oddělení kovového povrchu od agresivního prostředí nám zajišťuje protikorozní izolace. Protože obnovení izolace na potrubí je nákladné, izolace musí mít stejně dlouhou

životnost jako samotné potrubí. Asfaltová izolace se nanáší na čistou trubku o tloušťce nejméně 0,03 mm. Nanesená vrstva se poté ovine proimpregnovaným armovacím pásem ve šroubovicovém tvaru s překrytím. Jako ovinovací materiál se používá skleněná rohož tapaten nebo fólie z PVC. Dnes se asfaltová izolace nepoužívá, byla nahrazena polyetylenem. Dále se používají izolace z plastů, extrudovaná izolace, jež představuje nejkvalitnější izolaci s největší účinností, pomalým stárnutím a vysokou mechanickou odolností. Pásková izolace je tvořena adhezí vrstvou a nosnou fólií. Před použitím páskové izolace se musí řádně mechanicky očistit povrch potrubí, poté následuje aplikace nátěru, na který se ovíjí spodní vrstva.

### **2.2.3.1 Katodická a anodická ochrana**

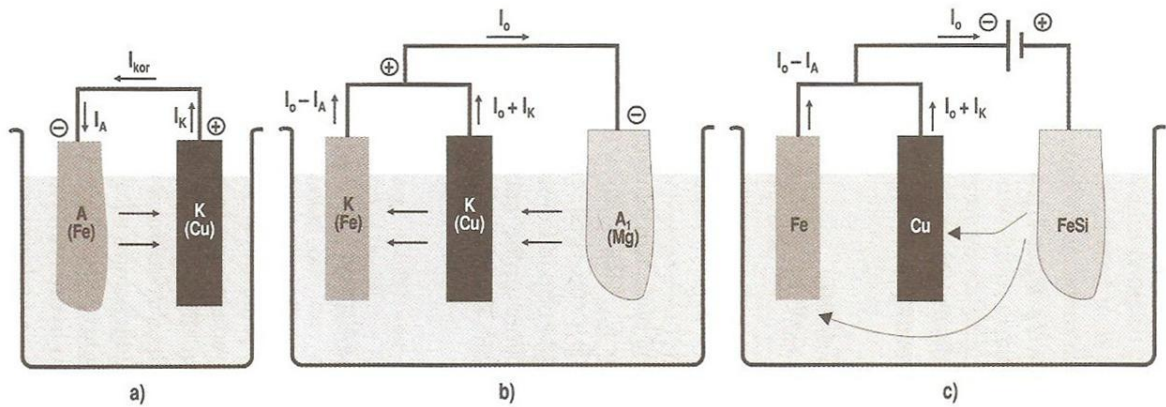
Na zpomalení anodické reakce při posunu potenciálu v záporném směru je založena katodická ochrana. Kov se dostává do korozně odolnějšího stavu v důsledku dosažení potenciálu, který se termodynamicky shoduje s potenciálem rovnováhy mezi kovem a ionty roztoku. V korozním prostředí, v němž je chráněný předmět katodou, je zásadním principem katodické ochrany úmyslné vytvoření elektrického obvodu. Tímto dojde k vodivému kontaktu chráněného předmětu s kovem, který má zápornější potenciál v daném prostředí, než kov chráněný. Tím vznikne umělý galvanický člunek, v němž je chráněný předmět katodou. Korozní prostředí tvoří elektrolyt a připojený kov se zápornějším potenciálem je anodou, již nazýváme obětovaná anoda (galvanická anoda, protektor), neboť s jejím rozpouštěním je spojen vznik proudu nutného k ochraně. Tento způsob se nazývá katodická ochrana obětovanými anodami (obr. 2a a 2b).

Tato ochrana působí na povrchu kovu v místech kontaktu s půdou, kde je poškozená izolace. Ochranný proud odstraňuje kyslík z půdy, který obklopuje, omezuje rozdílné potenciály na povrchu potrubí a tím zamezuje korozi. Na kovovém povrchu potrubí také zvyšuje alkalitu katodický proud a také vytvoření minerálního povlaku.

Dalším způsobem, při kterém je chráněný kov připojen k zápornému pólu zdroje stejnosměrného proudu a stává se tedy katodou, nazýváme katodická ochrana vnějším zdrojem proudu. S pomocnou anodou umístěnou v korozním prostředí je spojen kladný pól zdroje. Pro docílení ochrany má vliv elektrický proud, a je jedno jak vznikl, proto není tak velký rozdíl mezi těmito ochranami (obr. 2c).



Použití katodické ochrany vnějším zdrojem proudu ocelových dálkových potrubí závisí na rezistivitě půdy, kde se má ochrana aplikovat. Pokud je rezistivita půdy nižší než 200 [ $\Omega \cdot m$ ], potom se použije ochrana vnějším zdrojem proudu.



Obr. 2: Schéma katodické ochrany galvanickou anodou a vnějším zdrojem proudu [3]

a) konstrukce bez katodické ochrany

b) konstrukce s katodickou ochranou

c) katodická ochrana vnějším zdrojem proudu

A (FE) – korozní anoda (železo)

$I_0$  – ochranný proud (A)

K (CU) – korozní katoda (měď)

$I_A$  – proud vystupující z anody (A)

$A_1$  (Mg) – galvanická anoda (hořčíková slitina)

$I_K$  – proud vstupující na katodu (A)

FeSi – fersilitová elektroda [3]

Nejjednodušším způsobem, jak aplikovat katodickou ochranu na kovovou podzemní konstrukci, jsou obětované anody nebo také galvanické anody. Na rozdíl jednotlivých potenciálů kovů je založen jejich princip. Prostředí, do kterého se ukládá anoda, se uměle upravuje, aby se zlepšil přechodový odpor země a to bentonitem nebo koksem. Pro potřeby kontroly uzemnění se provádí minimálně 4 vývody, které jsou vyvedeny do měřicí skříňky. Anoda se ukládá do vzdálenosti minimálně 300 m, jinak by to mohlo ovlivňovat produktovod. Ušlechtilé kovy jsou korozně odolnější, než

neušlechtilé kovy, jež podléhají korozi rychleji. Protože se vyskytují neušlechtilé kovy s dobrou odolností proti korozi, tak existují i výjimky (např. titan, hliník).

Použití katodické ochrany galvanickými anodami závisí také na rezistivitě půdy. Tato ochrana se aplikuje při malé potřebě ochranného proudu u kratších potrubí, a to zejména u chrániček uložených v půdách o rezistivitě do 40 [ $\Omega$ .m], kde se používají anody na bázi zinku. U anod na bázi hořčíkové slitiny do 80 [ $\Omega$ .m].

Kov	elektrod. potenciál E <sup>0</sup> /V	Ušlechtilost kovu	Kov	elektrod. potenciál E <sup>0</sup> /V	Ušlechtilost kovu	Kov	elektrod. potenciál E <sup>0</sup> /V	Ušlechtilost kovu
lithium	-3.0401	Neušlechtilý	hliník	-1.66	Neušlechtilý	cín	-0.13	Neušlechtilý
cesium	-3.026		titan	-1.63		olovo	-0.13	
rubidium	-2.98		mangan	-1.185		vodík	0	
draslík	-2.931		zinek	-0.7618		měď	+0.159	Ušlechtilý
barium	-2.912		chróm	-0.74		bismut	+0.2	
stroncium	-2.899		železo	-0.44		ruthenium	+0.300	
vápník	-2.868		kadmium	-0.40		stříbro	+0.7996	
sodík	-2.71		thallium	-0.34		rtuť	+0.80	
hořčík	-2.372		kobalt	-0.28		platina	+1.188	
beryllium	-1.85		nikl	-0.25		zlato	+1.52	

Obr. 3: Ušlechtilosti kovů [5]

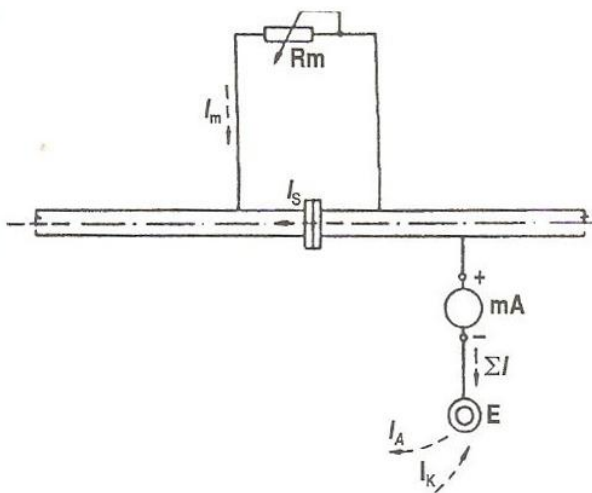
Kombinací dvou rozdílných kovů (elektrod) lze sestavit článek o určitém elektromotorickém napětí. Jeden kov se přetvoří v anodu a z druhého se stane katoda. Na anodě dochází k oxidaci (korozi) a na katodě k redukci. Anodu představuje méně ušlechtilý kov (např. hořčík) a katodou je kovová podzemní konstrukce. Elektrické spojení anody s kovem termodynamicky ušlechtilejším má za následek elektrochemický proces probíhající v elektrolytu. Galvanický proud v článku, kde anodou je méně ušlechtilý kov, vzniká spojením.

Pasivní stav na povrchu kovu vzniká z důvodu anodické polarizace kovu a na anodické pasivaci kovů je založena anodická ochrana, kdy se v této situaci kov v určitém elektrolytu rozpouští pomaleji, než v případě samovolné koroze. Anodická ochrana se především využívá ke skladování některých nebezpečných kapalin především v chemickém průmyslu, např. pro nádrže, které uchovávají kyselinu dusičnou v nerezavějící oceli. Jejich životnost je 10-20 let.

### 2.2.3.2 Doplnková zařízení katodické ochrany

Doplňková zařízení katodické ochrany reprezentují hlavně izolační spoje kovových potrubí, elektroizolační uložení potrubí v kanálech a chráničky potrubí. K zajištění nepřetržitého provozu se musí současně s výstavbou katodické ochrany (pomocné anody, usměrňovače) také postavit potřebné příslušenství aktivní ochrany. Jsou to různé druhy skříní, které slouží k umístění usměrňovačů, elektrických drenáží a to pro kontrolu provozu i spojení jednotlivých částí systému. Dále různé kabelové vývody z katodicky chráněných konstrukcí sloužící pro kontrolní měření nebo v nepřístupných místech permanentní měřicí elektrody. Všechny tyto součástky dohromady zajišťují dlouhodobý, bezpečný provoz a optimální regulaci parametrů katodické ochrany.

Izolační spoje slouží ke snížení elektrické vodivosti kovové konstrukce izolačním materiálem. Izolační spoje se používají k oddělení úseků potrubí, pro omezení bludných proudů rozdělením potrubí na menší úseky, pro izolování dvou různých kovových materiálů (starých potrubí od nových), pro zmenšení elektrické vodivosti potrubí, a tím zmenšení proudu v anodickém úseku. Dříve se používaly přírubové izolační spoje a dnes se používají lepené, jehož přechodový odpor je lepší a musí být větší než 100 [MΩ].



Obr. 4: Eliminace interference u izolačního spoje regulačním odporem s využitím pomocné ocelové elektrody uložené v zemi [3]

E – pomocná ocelová elektroda  $S = 10 \text{ cm}^2$

$R_m$  – regulační odpor

V měřícím objektu je výhodné propojit oba úseky galvanicky přes regulační odpor, tak aby na katodicky nechráněném úseku bylo dosaženo alespoň prvotního stacionárního potenciálu  $U = -0,70$  [V].

Izolační spoje se zkouší a hodnotí podle technických norem podmínek a na stavbu musí být dodány smontované a odzkoušené s atesty. Spoje musí vydržet při zkoušce napětí do 3 [kV] bez průrazu a proud nesmí přesáhnout hodnotu 5 [mA].

Chráničky se používají tam, kde hrozí větší riziko mechanického poškození jako u podchodů železnic, silnic, čerpacích stanic, bytových prostorů a prostupy zdívem šachet. Chránička musí být od produktovodu izolovaná. Chráničky se dělí na ty, které propouštějí proud a na ty, jež nepropouštějí proud. Ocelové trubky bez izolace nebo betonové trubky bez izolace patří k chráničkám, které propouštějí ochranný proud. Katodická ochrana uvnitř chráničky, která chrání trubku, může být účinná. Chráničky z plastu, z betonu s izolací nebo oceli s izolací nepropouštějí ochranný proud.

Ve stanici katodické ochrany jsou citlivá elektrická zařízení, která potřebují chránit před přepětím. Ve stanici se nachází zdroj, usměrňovač, SKADA systém pro dálkový přenos dat, jež umožňuje kontrolu z povzdálí a poškození těchto součástí by znamenalo nejen přímé ztráty, ale také ztráty způsobené přerušením provozu. Přepětí je vyšší nežádána hodnota napětí, která je větší než hodnota provozního napětí. Může k němu dojít atmosférickým přepětím v podobě blesku, a to i přestože trvá jen několik milisekund, má destruktivní účinky. Produktovody se oddělují od technologického zařízení, které je na povrchu a může být ohroženo atmosférickými vlivy. V nadzemní části technologického zařízení se oddělují bleskojistkami nebo jiskřištěm. Jiskřiště a bleskojistka musí být řádně uzemněny. Stanice musí být také chráněna proti spínacímu přepětí, jež vzniká, při zapínání a vypínání kapacitních, induktivních nebo také odporových zátěží. Pro ochranu přepětím se používá systém SPD. Přepětí je nebezpečné nejen pro přístroje, ale také pro obsluhu těchto přístrojů, proto se dnes instalují přepět'ové ochrany jako integrovaná přepět'ová ochrana DM-xx SECURE. Tento přístroj je namontován na lištu a obsahuje výkonnou přepět'ovou ochranu  $I_n = 20 \times 10$  [kA] (8/20) s odezvou 1 [ns]. Tento přístroj je schopen opakovaně ochránit od indukovaných přepětí z blesku. Po zapůsobení DM-xx SECURE se přístroj vrátí zpět k měření a odesílání dat.

Mezi další doplňkové zařízení patří dvojitá izolace a diodový oddělovací člen. Tento člen má předem nastavené hodnoty prahového napětí, kterým při překročení prochází proud. Diodový člen svádí vyskytující se induktivní proudy vzniklé z elektrických vedení do uzemňovacího systému. Diodový oddělovací člen se používá v místech, kde se křížuje produktovod s VVN.

### **2.2.3.3 *Usměrňovače a další zdroje proudu***

Usměrňovače jsou instalovány do skříní ve stanici katodické ochrany. Je to zařízení měnící střídavý proud na stejnosměrný. Dříve se používaly usměrňovače ručně řízené odbočkami na transformátoru, dnes se již vyrábí automaticky řízené regulátorem, který na základě zjištěného potenciálu mezi potrubím a referenční elektrodou reguluje proud. Staré usměrňovače měly tu nevýhodu, že jejich účinnost byla 40 až 60 %, kdežto dnešní pulzní měniče mají účinnost nad 90%. Nejčastěji se používají tyristorové usměrňovače s výkonem 500 až 3000 W. Dalším často vyskytujícím usměrňovačem je pulzní s regulací, fungující na frekvenci 10 [kHz], jejich výhodou je malá hmotnost a vyhlazený proud. Jednofázové usměrňovače se používají do stejnosměrného výkonu 2 [kW]. Pro větší výkony se používají třífázové. Napětí na usměrňovači nepřesahuje hodnotu 50 [V]. Základní přepět'ová ochrana chrání usměrňovač před napět'ovou vlnou úrovně 4 až 6 [kV].

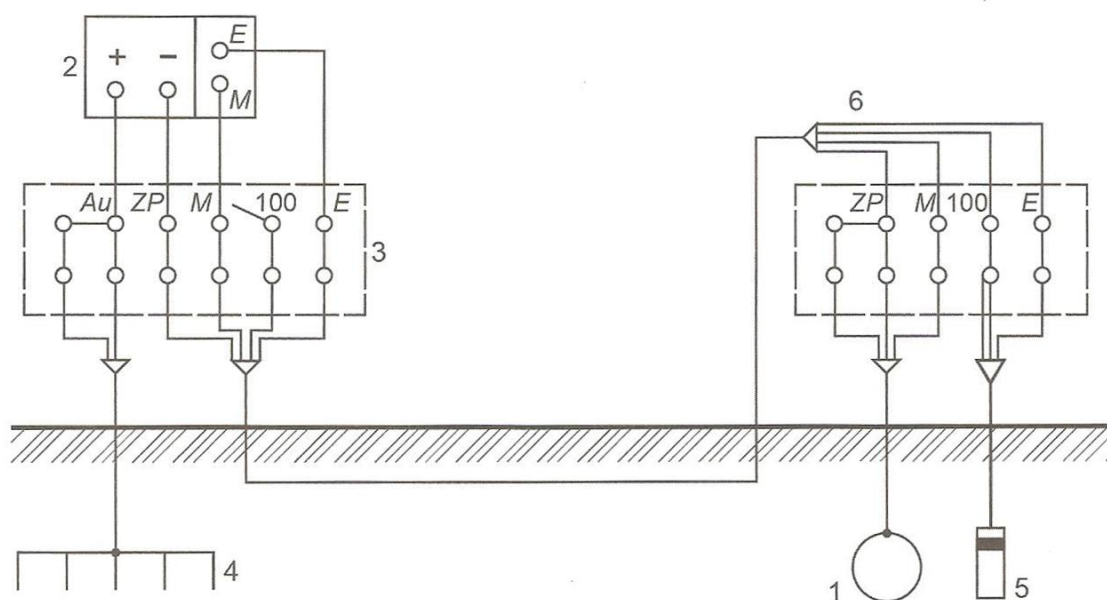
Další zdroje ochranného proudu, které se mohou využít, jsou větrné generátory, a solární články. V České republice se ale nevyužívají z důvodu kolísající výkonnosti a nízké časové využitelnosti a dále značné závislosti na aktuálních klimatických podmínkách. Termoelektrické generátory se uplatňují na odlehlých místech, kam nesahá elektrická soustava (Sibiř, Aljaška).

### **2.2.3.4 *Příslušenství a měřící technika u katodické ochrany***

K měření potenciálu a automatické regulace ochranného potenciálu se používají permanentní referenční elektrody, které se osazují v místech napojení katodické ochrany na potrubí. Dále se umisťují na kritická místa, kde je ochranný potenciál nejmenší, a také na konec potrubí. Osazení elektrody se provádí na boční stěně potrubí, ve vzdálenosti 20 až 25 cm. Vývody této elektrody (Cu/CuSO<sub>4</sub>) jsou vedeny do stanice katodické ochrany nebo do propojovacího objektu. Měděná elektroda Cu/CuSO<sub>4</sub> se používá u konstrukcí, kde agresivně účinkuje sladká voda, jako trupy plovoucích čerpacích stanic, ocelové

konstrukce ježů apod. Kalomelová elektroda se používá při laboratorních zkouškách. Sondy se dělí na elektrody trvale uložené do korozního prostředí a na měřicí sondy přenosné. Nejčastěji používaná sonda je MS – 110, která se skládá z pláště (PVC trubka), uzávěru pláště s měděnou elektrodou, diafragma (keramická nádobka), náplň (měď a skalice modrá).

Pro krátkodobá měření se používá multimetr, jenž je schopen měřit stejnosměrné veličiny a proud cca do 10 [A]. Při přidání bočníků lze měřit i proud nad 10 [A]. Proud se měří také klešťovým ampérmetrem, jelikož jeho nespornou výhodou je snadné a rychlé měření.



1 – chráněné potrubí; 2 – řízený usměrňovač; 3 – propojovací objekt; 4 – uzemňovací anoda; 5 – měřicí sonda MS – 100; 6 – měřicí objekt

Obr. 5: Zapojení měřicí sondy MS Cu/FE – 100 jako snímací elektrody automaticky řízeného usměrňovače [8]

### **3 Význam protikorozi ochrany**

Nepříznivý jev koroze přináší mnoho technických problémů, které působí národním ekonomikám spoustu škod. Koroze způsobuje ekonomické ztráty, např. náklady na protikorozi ochranu, přímé a nepřímé ztráty. Z hlediska ekologie se jedná o životní prostředí v důsledku havárie nebo pracovního znečištění. Protikorozi ochrana prodlužuje životnost potrubí, a tím se omezují škody na zdraví. Než se začala aplikovat protikorozi ochrana na potrubí nebo konstrukce, tak se mnohdy stalo, že došlo k poškození, zřícení konstrukce či výbuchům u potrubí a byly ohroženy životy lidí. Účel protikorozi ochrany je snížit vznikající ztráty a zaměřuje se na prevenci koroze. Největší problém přináší ekonomické hledisko a to havárie nebo výměna potrubí. Náklady na výměnu produktovou jsou velké, výkopové práce, zastavení provozu při poškození potrubí i samotný materiál, proto je protikorozi ochrana důležitá. Na produktovodech jsou sondy, jež snímají i tloušťku potrubí, a tím se včas dokáže zamezit výbuchu, znečištění prostředí nebo úniku produktu. Pozastavení dopravy produktu je také nežádoucí, proto se aplikuje protikorozi ochrana, která prodlužuje životnost potrubí na 30 let.

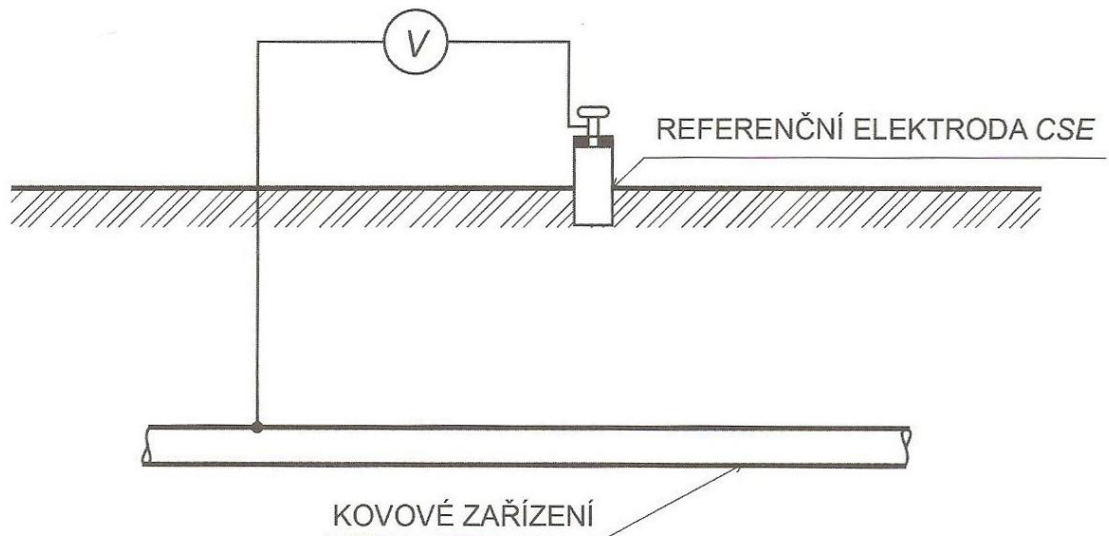
## 4 Metoda měření

Zjišťování stavu účinnosti katodické ochrany se provádí elektrickým měřením. Měřením dostatečného potenciálu, proudu (u pomocné elektrody) nebo depolarizací a to jen ve výjimečných případech. Nejdůležitějším je měření potenciálu, protože rychlost koroze v půdě i ve vodě je zapříčiněna potenciálem samovolné koroze materiálu. Pro úplnou katodickou ochranu byly vypočteny ochranné potenciály a vyšly nejčastěji používané kovové materiály v korozním prostředí.

Proudové kritérium pro ocelovou elektrodu o ploše  $S = 100 \text{ cm}^2$  podle Faradyova zákona bylo odvozeno takto: „Přípustné kladné změny hodnot potenciálu  $\Delta U$  pro kovové konstrukce uložené v půdě nebo ve vodě, které nemají katodickou ochranu. Kritérium úplné ochrany (korozní rychlost  $< 0,01 \text{ mm za rok}$ ). Katodická proudová hustota pro holou ocelovou elektrodu uloženou v půdě,  $J_K \geq 30 \text{ [mA.m}^{-2}\text{]}$ . Kritérium samovolné koroze v půdě při korozní rychlosti v rozsahu  $0,01$  až  $0,02 \text{ mm}$  při proudové hustotě  $\pm J_{AK} = 10$  až  $20 \text{ [mA.m}^{-2}\text{]}$ . Kritérium přípustné korozní rychlosti v oblastech s bludnými proudy (korozní rychlost  $\leq 0,05 \text{ mm za rok}$ ) při změřené anodické proudové hustotě  $J_A \leq 50 \text{ [mA.m}^{-2}\text{]}$ .“ [8]

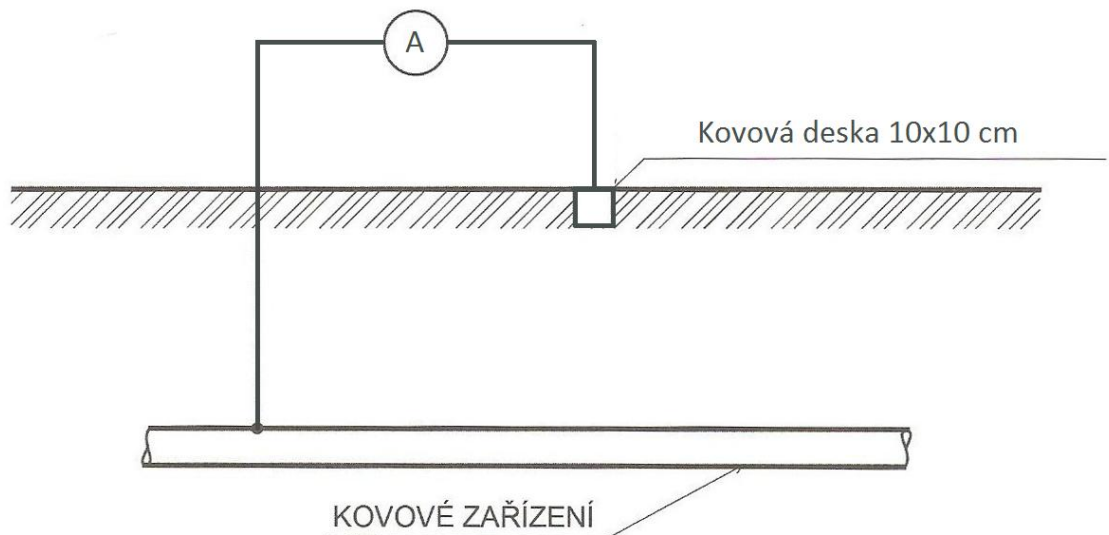
Měření na kontrolních měřících objektech, na kontrolních vývodech, odkud jsou propojeny kabely od kovového zařízení, se provádí podle obr. 6. Vazba referenční elektrody na naměřenou hodnotu potenciálu kovového zařízení-půda je odlišná, protože referenčních elektrod je více druhů, proto je nutné uvést, že měření probíhalo s CSE elektrodou. Naměřená hodnota potenciálu kovového zařízení-půda se skládá z několika složek jako měření potenciálu v oblasti s bludnými proudy, měření katodicky chráněných zařízení, poté lze naměřenou hodnotu pojmenovat jako zapínací potenciál  $E_{on}$ .  $E_{on} = E_{off} + \Delta U_{IR}$ , kde  $E_{off}$  je vypínací potenciál.  $\Delta U_{IR} =$  spád napětí v naměřené hodnotě potenciálu mezi kovovou elektrodou a kovovým zařízením.  $E_{off} = E_n + \Delta E_{pol}$ , kde  $E_n =$  potenciál samovolné koroze materiálu kovového zařízení v půdě při průběhu korozního procesu bez vnější polarizace.  $E_{pol} =$  změna potenciálu samovolné koroze vyvolaná polarizací vnějším proudem (s vyloučením ohmické složky). Snížení vlivu úbytku napětí  $\Delta U_{IR}$  je někdy výhodnější. Změření probíhá v okamžiku vypnutí katodické ochrany.





Obr. 6: Schéma zapojení pro měření potenciálů kovové zařízení – půda [8]

Měření proudu tekoucího konstrukcí spočívá v zapojení ampérmetru do obvodu v místě přerušení kovového zařízení. Ampérmetr se většinou zapojuje u izolačního spoje. Při měření nesmí mít obvod větší odpor jak  $0,01 \text{ } [\Omega]$  a měříme obvykle s bočníkem. Směr procházení proudu obvodem je dán zapojením ampérmetru, od kladné svorky k záporné. Schéma zapojení ampérmetru je znázorněno na obr. 7.



Obr. 7: Zapojení ampérmetru při přímé metodě měření proudu tekoucího konstrukcí [8]

## 5 Průběh měření v lokalitách

Pro měření jednotlivých hodnot jsou zvoleny dvě rozdílné lokality odlišné svým složením půdy, korozním prostředím a výskytem bludných proudů.

Jednotlivá měření se provádí dle TPG 90501 a podle technicko-organizačních norem, jež si vydává organizace sama. U společnosti RWE, kde jsem také prováděl měření, se tato norma nazývá TON = technicko-organizační normy. Jsou též určeny minimální časové intervaly pro kontrolní měření. Měření se provádí při pravidelné pochůzce na jednotlivých kontrolních vývodech, v propojovacích objektech včetně stanic katodové ochrany. Dnes se měření provádí měřicím přístrojem Symbol, který je vybaven automatickým ukládáním dat. Symbolem se měří alespoň po dobu 2-3 min. a zaznamenávají se jednotlivé potenciály, které se pak zprůměrují na hodnotu ochranného potenciálu potrubí. Pokud je ochranný potenciál zápornější než  $-0,70$  [V], tak potrubí je chráněné. Měříme také ochranný proud tekoucí z usměrňovače a to ampérmetrem, jenž dokáže měřit stejnosměrný proud. Na usměrňovači nadále měříme napětí, které usměrňovač poskytuje včetně vypínacího napětí. Dalším z kroků je zapsat stav elektroměru, ze kterého lze poznat odběr. Na něm také poznáme, jak vysoce je ochrana aktivní.

### 5.1 Lokalita (Stará Voda) – prvky působící na vznik koroze

System katodické ochrany chrání vysokotlaký plynovod DN 150 mm v celkové délce cca 6 km, který zásobuje okolní obce zemním plynem včetně závodu EUTIT Stará Voda pro výrobu produktu z čediče. Oblast, ve které je plynovod uložen, se vyskytují v těsné blízkosti agresivní zeminy včetně bludných proudů z elektrické trakce kolejové dopravy vedoucí z Plzně do Chebu. Pasivní ochrana plynovodu je provedena asfalt-jutovou izolací.

#### 5.1.1 Technické vybavení (Stará Voda)

Kiosk stanice SKAO je vyroben ze sklolaminátu s povrchovou úpravou a je vybaven třífázovým jističem se zásuvkami, svítidlem a jisticími prvky. Elektroměrová deska je přístupná z venku dvířky, které jsou opatřeny průhledníkem na odečet spotřeby elektrické energie. V kiosku je umístěn usměrňovač pro katodickou ochranu Regular 3,

který je zdrojem stejnosměrného napětí a zajišťuje automatickou regulaci výkonu a udržuje zvolenou hodnotu, potenciál na potrubí v místě připojení usměrňovače na potrubí v oblastech s bludnými proudy. Řídící elektrodou usměrňovače je měřicí sonda MS 110. Měřicí sonda je provedena z nepolarizované permanentní referenční elektrody Cu/Fe-110 a vzorků oceli, ze kterých je potrubí vyrobeno, bez izolace tak, aby simulovalo poruchový stav izolace. Měřicí sonda se používá jako zdroj signálu pro usměrňovač, dále jako čidlo zajištění polarizačního potenciálu, čidlo na zjišťování korozního stavu konstrukce v oblasti s bludnými proudy a čidlo při nastavení interferenční propojky na odstranění interference s cizí kovovou konstrukcí. Uzemňovací anoda TU 200 je trubková vodorovná typu TU, která je vyrobena z výmětové trubky o průměru 219/6 mm. Ocelová trubka, tvořící vlastní zemnič, uložená v hloubce 2 m pod úrovní terénu je opatřena obsypem upravenou zeminou s obsahem 4 tun aktivního bentonitu a 50 m zemniče. Zemní odpor anody nepřesáhne hodnotu 0,80 ohm. Dále jsou po celé trase zřízeny propojovací objekty POB a SO, které umožňují vzájemné propojení více uložených zařízení za účelem kontroly a omezení interference nebo napojení rozvodu stejnosměrného napětí na potrubí. Přes tyto objekty se provádí měření za účelem kontroly správné funkce protikorozní ochrany. POB je ocelová nebo plastová skříň upevněná na železobetonový sloupek, součástí je též ocelová trubka, uvnitř jíž vedou kabely a slouží jako ochrana před mechanickým poškozením. Skříň je vybavena svorkovnicí a dle funkce rezistorem, bleskojistkou. Kabelové rozvody stejnosměrného napětí jsou typu AYKY 4x16 mm<sup>2</sup>. Řídící a kontrolní vývody jsou z kabelů CYKY 3x2,5 mm<sup>2</sup> a CYKY 2x4 mm<sup>2</sup>. Kabely jsou uloženy v rýze hloubky cca 1 m do pískového lože a zakryty výstražnou folií. Napojení na plynovod je provedeno alumetrickým navařováním, pasivní ochrana je provedena izolačním nátěrem, včetně izolací typu anticor, denzolen, bitagit atd. Celý systém protikorozní ochrany byl zrealizován v r. 1991 a dodnes je plně funkční.

## **5.2 Lokalita (Vonšov) – prvky působící na vznik koroze**

Vysokotlaký plynovod DN 150 o celkové délce 8,6 km prochází mírně kopcovitou oblastí s malou pravděpodobností výskytu bludných proudů a je uložen ve vysoce korozním prostředí s přítomností kyslíčnicku uhličitého.

### 5.2.1 Technické vybavení (Vonšov)

Kiosek stanice SKAO je železobetonový skelet s povrchovou úpravou vybavený třífázovým jističem se zásuvkami, svítidlem a jisticími prvky. Elektroměrová deska je přístupná z venku dvířky, které jsou opatřeny průhledníkem na odečet spotřeby elektrické energie. V kiosku je umístěn usměrňovač pro katodickou ochranu CR 2720-0, výrobce Sensorika Praha, jenž je zdrojem stejnosměrného napětí a zajišťuje automatickou regulaci výkonu a udržuje zvolenou hodnotu, potenciál na potrubí v místě připojení usměrňovače na potrubí. Řídící elektrodou usměrňovače je měřicí sonda MS 110. Měřicí sonda je provedena z nepolarizované permanentní referenční elektrody Cu/Fe-110 a vzorků oceli, ze kterých je potrubí vyrobeno, bez izolace tak, aby simulovalo poruchový stav izolace. Měřicí sonda se používá, jako zdroj signálu pro usměrňovač, dále jako čidlo zajištění polarizačního potenciálu, čidlo na zjišťování korozního stavu konstrukce v oblasti s bludnými proudy, čidlo při nastavení interferenční propojky na odstranění interference s cizí kovovou konstrukcí. Uzemňovací anoda TU 150-2-178/8 je vyrobená z výmětové trubky o průměru 178/8 mm. Ocelová trubka tvořící vlastní zemnič je uložena v hloubce 2 m pod úroveň terénu a je opatřena obsypem upravenou zeminou s obsahem 4 tun aktivního bentonitu a 50 m zemniče. Délka anody je 150m (2x75m). Zemní odpor anody nepřesáhne hodnotu 0,80 [Ω]. Dále jsou po celé trase zřízeny propojovací objekty POB a SO, které umožňují vzájemné propojení více uložených zařízení za účelem kontroly a omezení interference nebo napojení rozvodu stejnosměrného napětí na potrubí. Přes tyto objekty se provádí níže uvedená měření za účelem kontroly správné funkce protikorozní ochrany. POB a SO je plastová skříň umístěná v betonové skruži s ocelovým víkem, uzamykatelná, z důvodu zajištění ochrany před mechanickým poškozením a proti neoprávněné manipulaci. Skříň je vybavena svorkovnicí a dle funkce rezistorem, bleskojistkou. Kabelové rozvody stejnosměrného napětí jsou typu AYKY 4Dx16 mm<sup>2</sup> a CYKY 4Dx2,2 mm<sup>2</sup> v délce 95 m k SO2. Kabely použité k připojení k plynovodu jsou typu CYKY 4Dx6 mm<sup>2</sup> a CYKY 2Dx4 mm<sup>2</sup> v celkové délce 5 m. Snímací elektroda je napojena kabelem 3Dx2,5 mm<sup>2</sup> v délce 5 m. Propojení anodové uzemnění s SO1 je provedeno kabely CYKY 4Dx4 mm<sup>2</sup> v délce 200 m. Kabely jsou uloženy v rýze hloubky cca 1 m do pískového lože a zakryty výstražnou folií. Napojení na plynovod je provedeno aluometrickým navařováním, pasivní ochrana je provedena izolačním nátěrem,

včetně izolací typu anticor, denzolen, bitagit atd. Celý systém protikorozi ochrany byl zrekonstruován v r. 2001.

## 5.3 Měření hodnot ve zvolených lokalitách

Tab. 1: Měření hodnot v lokalitě Stará Voda

Staničení	Typ zařízení	Název	Eon [V]	Eonzis [V]	I <sub>lis</sub> [A]	R <sub>is</sub> [Ohm]	Eonpis [V]	Ech [V]	Rch [Ohm]	Eonc*1 [V]	I <sub>p</sub> *1 [mA]
67	Izolační spoj	POIS, VTL, Nejistěno	-1,42	-1,39	0,003284	751	-1,42				
540	PKO - KVO	KVO, VTL	-1,48								
896	PKO - KVO	KVO, VTL	-1,5								
1284	PKO - KVO	KVO, VTL	-1,42								
1978	PKO - KVO	KVO, VTL	-1,55								
2918	PKO - KVO	KVO, VTL	-1,57								
3182	PKO - Propojovací objekt	POCH, VTL	-1,57					-0,35	901		
3430	Číhačka	POCH-B, VTL	-1,38					-0,51	761	-1,39	0
3480	PKO - Propojovací objekt	POB, VTL	-1,4							-1,04	0,196
3513	Číhačka	POCH, VTL	-1,52					-0,49	840		
3660	PKO - Propojovací objekt	POCH, VTL	-1,51					-0,56	821		
3735	Číhačka	POCH-B, VTL	-1,3					-0,48	900	-0,86	0,098
4541	PKO - KVO	KVO, VTL	-1,51								
5492	PKO - Anodové uzemění	SKAO STARÁ VODA, SO-A-S, SO-AU	-1,9								
5935	PKO - Propojovací objekt	POCH, VTL	-1,88					-0,4	840		
6107	PKO - KVO	KVO, VTL	-1,85								
6303	PKO - Propojovací objekt	POCH, VTL	-1,62					-0,4	745		
6685	PKO - Propojovací objekt	POCH, VTL	-1,89					-0,37	786		
6818	PKO - Propojovací objekt	POB, VTL	-1,9							-1,63	0,001
6861	Číhačka	POCH, VTL	-2,01					-0,53	635		
7048	PKO - KVO	KVO, VTL	-1,69								
7060	Izolační spoj	POIS, VTL, Nejistěno	-1,76	-0,43	0,248869	690	-1,71				

Tab. 2: Měření hodnot v lokalitě Vonšov

Staničení	Typ zařízení	Název	Eon [V]	Rdoč [Ohm]	Ruz [Ohm]	Eonzis [V]	Iis [A]	Ris [Ohm]	Eonpis [V]
129	PKO - Propojovací objekt	PODOČ, VTL	-1,69	1820	5,2				
1933	PKO - Propojovací objekt	PODOČ, VTL	-1,81	1560	12,6				
2364	PKO - Anodové uzemění	SKAO VONŠOV, SO-A-S, SO-AU	-2						
2375	PKO - KVO	KVO, VTL	-2,06						
3331	PKO - KVO	KVO, VTL	-1,91						
3742	PKO - KVO	KVO, VTL	-1,32						
3864	PKO - Propojovací objekt	PODOČ, VTL	-1,75	930	13,8				
4129	Izolační spoj	POIS, VTL, Nezištěno	-1,81			-0,43	0,2506	2,9	-1,81

Naměřené hodnoty (tabulek č. 1 a 2) odpovídají měření a podmínkám sledovaných lokalit Vonšov a Stará Voda. Pouze hodnota ochranného potenciálu (Eonzis) za izolačním spojem nedosahuje limitu uvedeného v příslušné normě odpovídající dané lokalitě. Podrobný komentář hodnot je součástí následující kapitoly včetně závěru této bakalářské práce.

### 5.3.1 Vyhodnocení a formulace naměřených hodnot

Hodnota potenciálu v souvislosti k referenční elektrodě, která je umístěna poblíž povrchu chráněné konstrukce, je základní kritérium. Pro zcela úplnou katodickou ochranu v chráněném místě musí být dosaženo  $-0,70$  [V] nebo zápornějšího potenciálu. Krajní hodnota  $-0,70$  [V], která je hranicí chráněného nebo nechráněného potrubí se v praxi nenastavuje na usměrňovači, a to aby v měřeném místě byla kolem  $-1$  [V].

Při měření zapínacího potenciálu  $E_{on}$  jsem naměřil nejmenší potenciál na propojovacím objektu v lokalitě Stará Voda  $-0,94$  [V]. U izolačních spojů se měří potenciál před a za izolačním spojem, není-li hodnota zápornější jak  $-0,70$  [V], tak potrubí u izolačního spoje není dostatečně chráněné. U chráničky jsem naměřil nejmenší odpor  $745$  [ $\Omega$ ], dle TPG 92026 musí být odpor chráničky  $R_{ch} \geq 1,5$  [ $\Omega$ ]. Pro odpor izolačního spoje to je  $Ris \geq 2$  [ $\Omega$ ], jelikož nejmenší naměřená hodnota byla  $2,9$  [ $\Omega$ ], tak izolační spoj vyhovuje podmínce. Potenciál na chráničce  $E_{ch}$  nesmí být shodný s potenciálem Eon,

jinak je izolace mezi potrubím a chráničkou poškozena. U všech naměřených hodnot chráničky Ech pozorují vyhovující výsledky.

## **5.4 Doporučení protikorozi ochrany**

Na stanici protikorozi ochrany Stará Voda je nutné provést výměnu starého usměrňovače REGULAR 3 za novější typ. Dále nainstalovat na stanici katodové ochrany Stará Voda dálkový přenos dat včetně telemetrie pro neustálou kontrolu z jednoho místa. Vlivem zemědělské činnosti, vandalismu došlo ke zničení, ztrátě kontrolních vývodů a propojovacích objektů. Též doporučuji dohledat místa napojení na plynovod, provést obnovení kontrolních vývodů a propojovacích objektů. Vyskytuje se zde nedostatečný počet vývodů k provedení měření. Na protikorozi ochraně Stará Voda je z praktických důvodů žádoucí nainstalovat propojovací objekty, kontrolní vývody do betonových skruží s ocelovým uzamykatelným poklopem proti úmyslnému, neúmyslnému poškození a neoprávněné manipulaci.

## Závěr

Měření hodnot potenciálu probíhalo ve dvou lokalitách – Vonšov a Stará Voda, kde jsem proměřoval celkem 30 objektů.

Ve Staré Vodě jsem naměřil celkem 8 kontrolních vývodů, 11 propojovacích vývodů, 2 izolační spoje a 1 stanice katodové ochrany Stará Voda. Z naměřených hodnot vyplývá, že ochranný potenciál na všech těchto objektech je dostatečný a potrubí je řádně chráněno. Celkem na 9 propojovacích objektech z celkových 11, kde je instalována chránička, naměřil jsem rozdílný potenciál od potenciálu potrubí, a tudíž lze konstatovat, že plynovod je dobře a dostatečně izolován vůči chráničce, se kterou není spojen. Při měření jednoho ze dvou izolačních spojů na trase VTL Stará Voda, kde se dělí dva úseky, jsem při měření zjistil, že úsek Závišín – Mariánské Lázně má na konci nedostatečný ochranný potenciál ( $E_{onzi} = 0,42$  [V]). Na stanici katodické ochrany Závišín je nutné zvýšit napětí z usměrňovače, aby se na konci plynovodu zvýšil ochranný potenciál a plynovod byl dostatečně chráněn.

V porovnání s lokalitou Stará Voda se měření ve Vonšově liší třemi kontrolními vývody, třemi propojovacími objekty, jedním izolačním spojem a jednou stanicí katodické ochrany Vonšov. Na všech těchto objektech jsem naměřil vyhovující hodnoty, s výjimkou izolačního spoje, u kterého se objevil stejný problém jako u izolačního spoje Stará Voda. V tomto případě je potřeba navýšit ochranný potenciál na stanici katodové ochrany Plesná. V jednom místě se plynovod křížuje s VVN a v tomto místě je nainstalován v propojovacím objektu diodový člen, na kterém jsem změřil odpor tohoto členu vůči plynovodu je vyhovující.

Největším přínosem protikorozi ochrany ocelových konstrukcí vidím v prodloužení životnosti zařízení až na trojnásobek. Jen náklady na opravu v České republice činí 3 až 4,1 % HDP, což představuje 15 miliard Kč. Z toho na úložných zařízeních je to cca 1 miliarda Kč. Škody a ztráty se dělí na přímé a nepřímé. Za přímé považujeme opravu nebo výměnu ocelových konstrukcí. Za nepřímé považujeme ztráty při přepravě surovin, energií včetně ekologických škod, které jsou těžko vyčíslitelné. V důsledku vzniku mimořádných událostí a havárií při poškození ocelových konstrukcí je ohrožena bezpečnost osob včetně majetku.



## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] BUCHTA, Jiří. *Plynárenská příručka*. 1. vyd. Praha: GAS s.r.o., 1997. 1192 s. ISBN 80-902339-6-1.
- [2] ČÍHAL, Vladimír. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. 1. vyd. Praha: Academia, 1999. 437 s. ISBN 80-200-0671-0.
- [3] POLÁK, Josef; VELETA, Pavel. *Rukověť katodické protikorozi ochrany*. 1. vyd. Praha: 2002. ISBN 3-527-29586-0.
- [4] ALIGEROVÁ, Eva a spol. *Technický slovník naučný*. 1. Vyd. Praha: Encyklopedický dům, 2003. 420 s. ISBN 80-86044-16-5.
- [5] ČÍP, Jan; DĚDINA, Tomáš; MÍČKO, František. *Katodická ochrana v teorii a praxi. První kroky v katodické ochraně*. 1. vyd. Ostrava: Ateko, s.r.o., 2014. 129 s. ISBN 978-80-905836-0-3.
- [6] ČÍP, Jan; DĚDINA, Tomáš; MÍČKO, František. *Katodická ochrana v teorii a praxi. Kovové konstrukce uložené v půdě nebo ve vodě*. 1. vyd. Ostrava: Ateko, s.r.o., 2014. 125s. ISBN 978-80-905836-2-7.
- [7] ČÍP, Jan; POLÁK, Josef. *Katodická ochrana v teorii a praxi. Katodická ochrana železobetonových konstrukcí*. 1. vyd. Ostrava: Ateko, s.r.o., 2014. 117s. ISBN 978-80-905836-4-1.
- [8] ČESKÝ PLYNÁRENSKÝ SVAZ. *Katodická ochrana potrubí uložených v zemi*. Praha: Copyright, 2013. 62 s. ISBN 978-80-7328-259-2.
- [9] Elektro časopis pro elektrotechniku [online].[cit. 2015-06-04]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/kombinovana-ochrana-mar-proti-impulsnimu-prepeti-a-nadproudum-zavlecnemu-nadpeti-14991>
- [10] Ministerstvo pro místní rozvoj ČR [online].[cit. 2015-06-04]. Dostupné z: [http://www.mmr.cz/getmedia/dd6aa54e-5df6-4b10-8638-55d6538569ed/Methodika\\_plynarenstvi\\_final-11-2014-s-prilohou.pdf](http://www.mmr.cz/getmedia/dd6aa54e-5df6-4b10-8638-55d6538569ed/Methodika_plynarenstvi_final-11-2014-s-prilohou.pdf)

[11] Protikorozní ochrana [online].[cit. 2015-06-04]. Dostupné z: <http://people.tuke.sk/augustin.varga/Texty/Protikorozna%20ochrana.pdf>

## Seznam symbolů a zkratek

Eon	Zapínací potenciál
Eonzis	Potenciál za izolačním spojem
Eonpis	Potenciál před izolačním spojem
Eonc*2	Potenciál zapínací cizího zařízení 2
Eonc*3	Potenciál zapínací cizího zařízení 3
Ech	Potenciál chráničky
Lis	Proud při přemostění izolačního spoje
Ip*2	Proud z potrubí do cizího zařízení 2
Ip*3	Proud z potrubí do cizího zařízení 3
Ris	Odpor izolační spojky
Rdoč	Odpor diodového členu vůči plynovodu
Ruz	Odpor uzemnění diodového členu
Rch	Odpor chráničky
VVN	Velmi vysoké napětí

## **Seznam tabulek**

Tab. 1: Měření hodnot v lokalitě Stará Voda.....	29
Tab. 2: Měření hodnot v lokalitě Vonšov .....	30

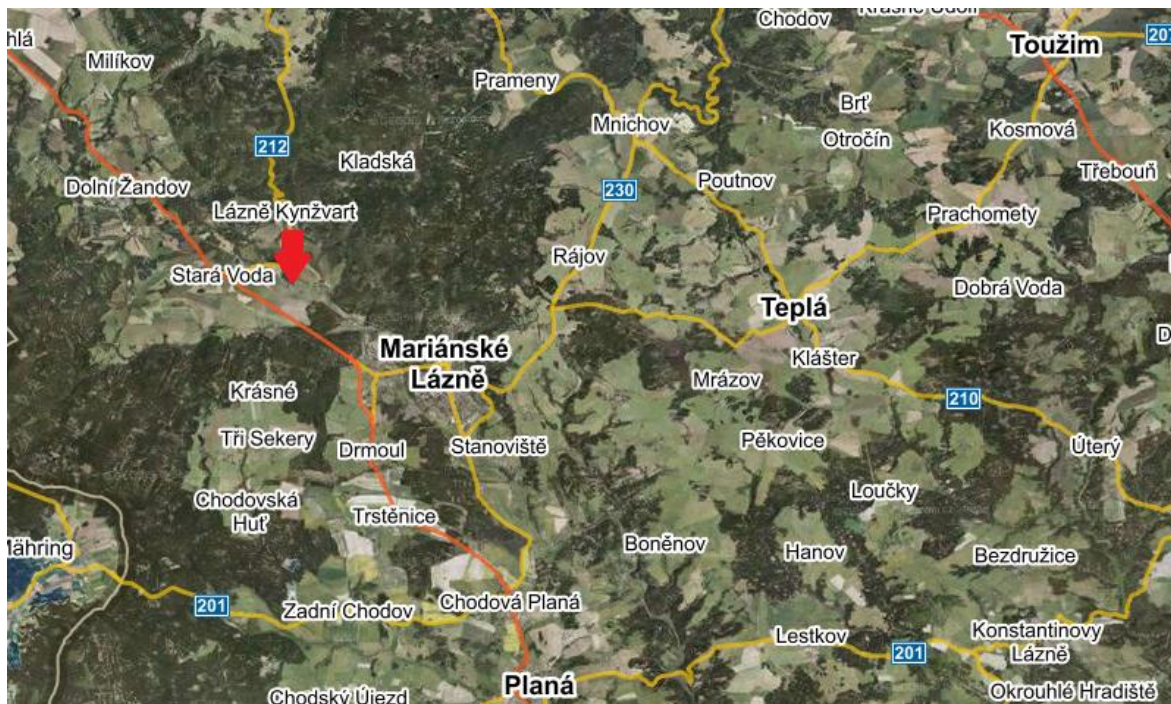
## Seznam obrázků

Obr. 1: Unikající bludné proudy z elektrizované kolejové dopravy.....	15
Obr. 2: Schéma katodické ochrany galvanickou anodou a vnějším zdrojem proudu.....	17
Obr. 3: Ušlechtilosti kovů.....	18
Obr. 4: Eliminace interference u izolačního spoje regulačním odporem s využitím pomocné ocelové elektrody uložené v zemi.....	19
Obr. 5: Zapojení měřicí sondy MS Cu/FE – 100 jako snímací elektrody automaticky řízeného usměrňovače.....	22
Obr. 6: Schéma zapojení pro měření potenciálů kovové zařízení – půda.....	25
Obr. 7: Zapojení ampérmetru při přímé metodě měření proudu tekoucího konstrukcí.....	25

## **Seznam příloh**

Příloha A	Lokalita měření (Stará Voda)
Příloha B	Znázornění elektrické trakce kolejové dopravy v místě měření (Stará Voda)
Příloha C	Mapové podklady v programu Gnosis (Stará Voda)
Příloha D	Lokalita měření (Vonšov)
Příloha E	Znázornění VVN v místě měření (Vonšov)
Příloha F	Mapové podklady v programu Gnosis (Vonšov)

## Příloha A – Lokalita měření (Stará Voda)

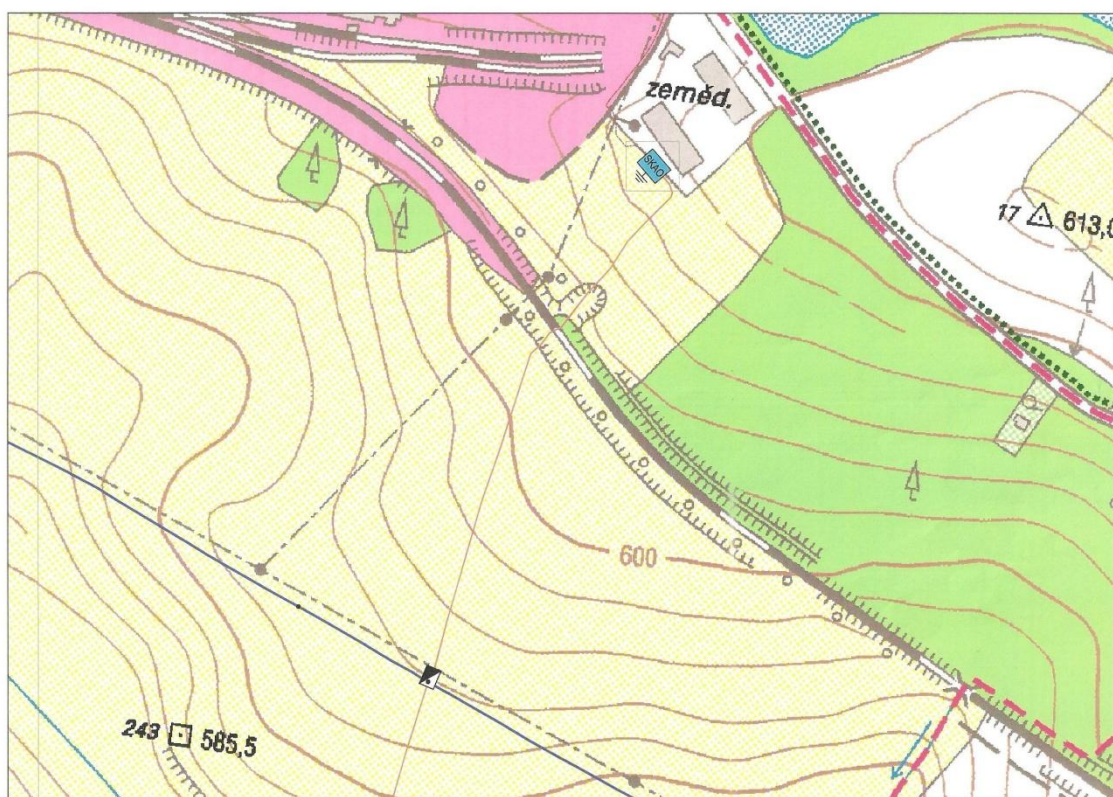


## Příloha B – Znázornění elektrické traktce kolejové dopravy v místě měření (Stará Voda)

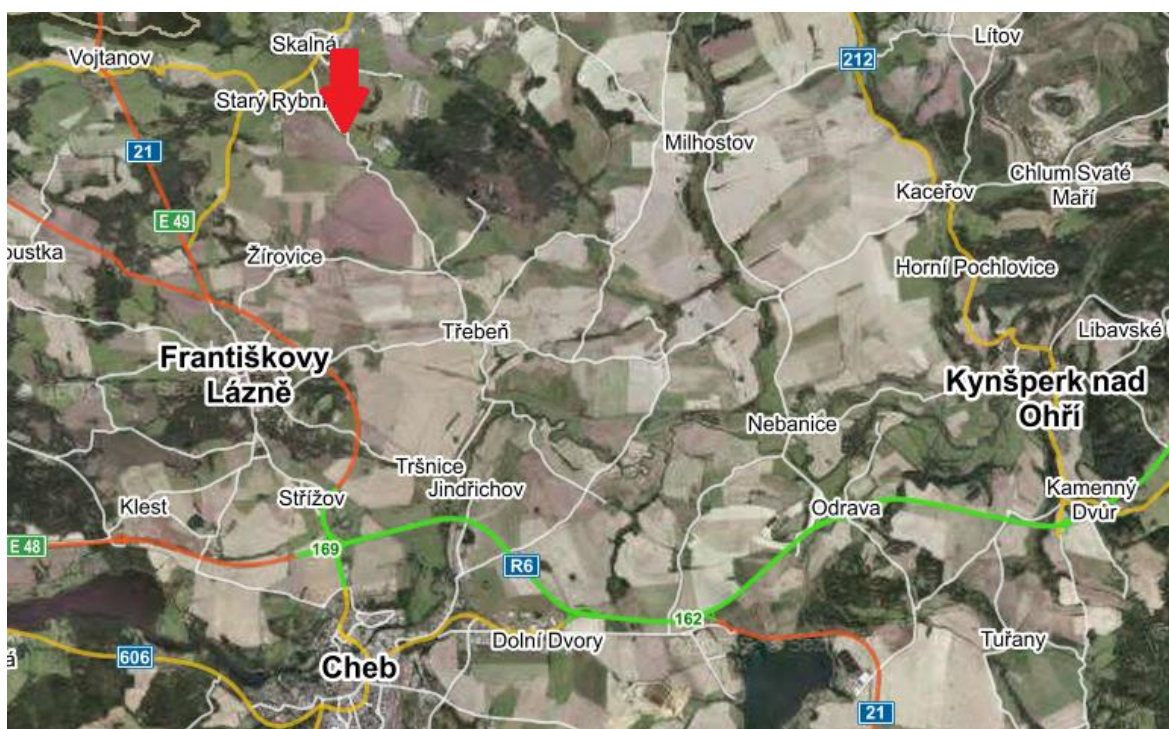




Příloha C – Mapové podklady v programu Gnosis (Stará Voda)

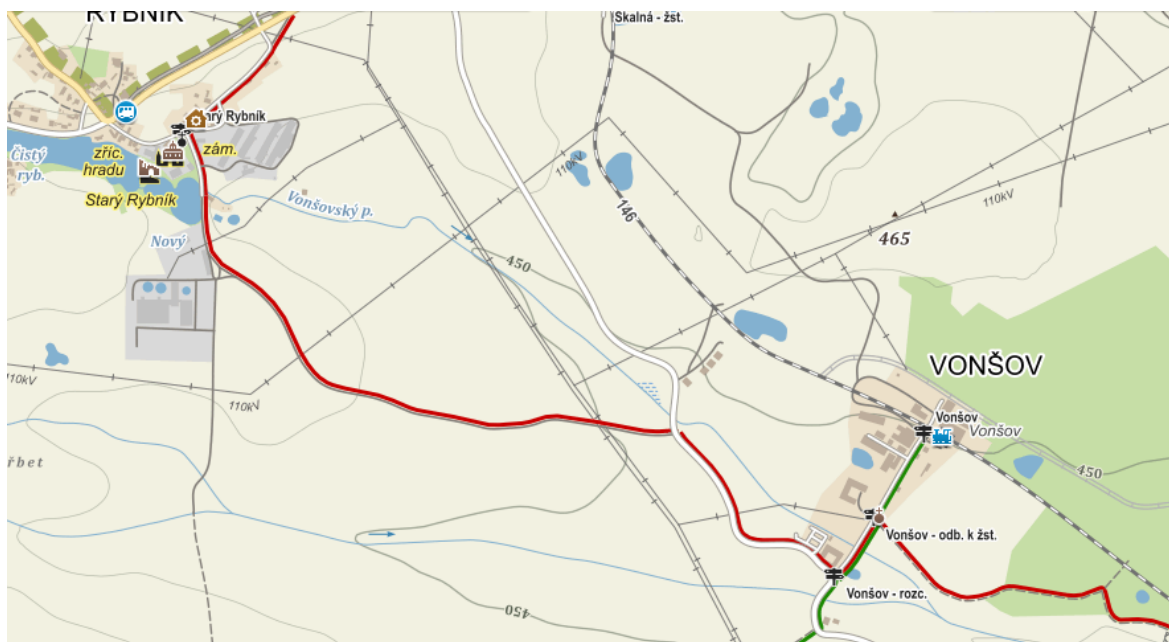


Příloha D – Lokalita měření (Vonšov)





## Příloha E – Znázornění VVN v místě měření (Vonšov)



## Příloha F – Mapové podklady v programu Gnosis (Vonšov)

