

OBSAH

Předmluva	17
Úvod	19

1. KOROZE VE VODĚ A V PŮDĚ

1.1	Způsoby ochrany proti korozi	21
1.2	Základní děje při elektrochemické korozi	22
1.3	Koroze ve vodě	26
1.4	Koroze oceli v půdě	29
1.4.1	Půda jako korozní prostředí	29
1.4.2	Mechanismus elektrochemické koroze kovů v půdě	31
1.4.3	Činitele ovlivňující korozi v půdě	32
1.5	Koroze bludnými proudy	35
1.6	Poznatky z některých korozních šetření	40
1.7	Koroze střídavými proudy	43
1.7.1	Všeobecně	43
1.7.2	Lokalizace míst možného korozního ohrožení	45
1.7.3	Kontrolní měření ke zjištění korozních účinků střídavého proudu	45
1.7.4	Praktická doporučení	47

2. ZÁKLADY KATODICKÉ OCHRANY

2.1	Princip elektrochemické ochrany	49
2.1.1	Katodická ochrana	49
2.1.2	Anodická ochrana	49
2.2	Teoretické základy katodické ochrany	50
2.2.1	Způsoby katodické ochrany	50
2.2.2	Korozní články a katodická ochrana	50
2.2.3	Polarizační procesy při katodické ochraně	52
2.2.4	Elektrochemické procesy na rozhraní ocel–elektrolyt	54
2.2.5	Katodická polarizace oceli v půdách	58
2.2.6	Účinnost katodické ochrany	59
2.2.7	Částečná katodická ochrana	64
2.3	Kritéria katodické ochrany	65
2.3.1	Rozbor kritérií katodické ochrany	65
2.3.2	Způsoby posuzování efektu ochrany	66
2.3.3	Volba kritérií ochrany	69

2.4	Vliv stavu povrchu oceli na průběh katodické polarizace	71
2.5	Druhotné účinky katodické ochrany	72

3. OCHRANNÉ POVLAKY Z HLEDISKA KATODICKÉ OCHRANY

3.1	Základní technické požadavky na izolaci potrubí	75
3.1.1	Materiály pro izolování potrubí a prověřování jejich kvality	75
3.1.2	Vliv prostředí na izolace	81
3.1.3	Zkušebnictví izolačních materiálů	81
3.1.4	Metody kontroly a hodnocení izolace	84
3.2	Ztráta přilnavosti izolace	85
3.2.1	Vliv alkality na ochranné povlaky	86
3.2.2	Vliv elektroosmózy na asfaltové izolace	87
3.2.3	Vliv elektroforézy na asfaltové izolace	88
3.2.4	Závěr pro navrhování elektrochemické ochrany	88
3.3	Elektrické vlastnosti ochranného povlaku	88
3.3.1	Analýza jednoho defektu izolace	89
3.3.2	Stupeň pórovitosti izolace potrubí	90
3.4	Závislost středního měrného odporu izolace na měrném odporu půdy	92
3.5	Hustota ochranného proudu pro izolovaná potrubí	94
3.6	Stanovení velikosti defektu izolace potrubí uloženého v zemi	95

4. OCHRANA OBĚTOVANÝMI ANODAMI

4.1	Princip ochrany	105
4.2	Materiál obětovaných anod	106
4.2.1	Anody z hořčíkové slitiny	109
4.2.2	Zinkové anody	110
4.3	Vodivý obsyp – aktivizační směs obětovaných anod	110
4.4	Elektrický obvod ochrany zařízení obětovanými anodami	111
4.4.1	Výstupní proud z obětované anody	111
4.4.2	Posun potenciálu vlivem gradientu obětované anody	114
4.4.3	Dosah ochranného působení anod	114
4.5	Příklady vhodného použití obětovaných anod	115
4.5.1	Podzemní ocelová potrubí v zastavěných oblastech	115
4.5.2	Speciální aplikace zinkových anod	116
4.5.3	Příklad použití obětovaných anod jako doplňkové ochrany ve vysokohodnotných půdách u potrubí parovodu	117
4.6	Montáž obětovaných anod	119

5. OCHRANA USMĚRŇOVAČI A DALŠÍMI ZDROJI PROUDU

5.1	Princip ochrany	121
5.2	Usměrňovače pro katodickou ochranu	122
5.2.1	Usměrňovače na jednofázový a třífázový střídavý proud	124
5.2.2	Příklad usměrňovače pro katodickou ochranu	124
5.3	Další zdroje ochranného proudu	127
5.4	Materiál pomocných anod	127
5.4.1	Nelegovaná ocel	129
5.4.2	Ferrosilicium	130
5.4.3	Magnetitové elektrody	132
5.4.4	Grafit	133
5.4.5	Elektrody z drahých kovů	133
5.4.6	Olovo legované stříbrem	134
5.4.7	Kovy ventilového typu s povlaky oxidů a kovů	134
5.4.8	Kabelové (flexibilní) anody z vodivých polymerů	135
5.5	Tvar a rozmístování pomocných anod	135
5.5.1	Vzdálená lokální uzemňovací anoda	136
5.5.2	Rozptýlená uzemňovací anoda	137
5.5.3	Hloubková uzemňovací anoda	137
5.6	Kabely	139
5.6.1	Připojení kabelů k elektrodám	139
5.6.2	Kabelové spoje	139

6. DOPLŇKOVÁ ZAŘÍZENÍ A PŘÍSLUŠENSTVÍ KATODICKÉ OCHRANY

6.1	Účel	141
6.2	Doplňková zařízení protikorozní ochrany	141
6.2.1	Isolační spoje	142
6.2.2	Chráničky	143
6.2.3	Kontrola kvality provedení izolačních spojů a chrániček	145
6.2.4	Elektroizolační uložení ocelových potrubí a prostupy zdívkou	148
6.2.5	Měřicí objekty na potrubí u izolačního spoje a chráničky	148
6.3	Příslušenství zařízení katodické ochrany	149
6.3.1	Skříně	149
6.3.2	Způsob připojení kabelu k chráněné a interferované konstrukci	150
6.3.3	Kabelové tlakové průchodky	150
6.3.4	Dielektrické držáky pomocných anod	150
6.3.5	Přenosné a permanentní měřicí elektrody	152
6.3.6	Měřicí sondy	155
6.3.7	Měřicí a propojovací objekty u podzemních konstrukcí	158

7. MĚŘICÍ TECHNIKA

7.1	Všeobecné zásady	161
7.2	Přehled průzkumných a měřicích metod u podzemních kovových konstrukcí	162
7.2.1	Metody určování korozní agresivity hornin	162
7.2.2	Kontrolní měření při stavbě a montáži podzemních ocelových potrubí	162
7.2.3	Zjišťování korozního stavu konstrukce	163
7.2.4	Kontrola stavu a účinnosti zařízení aktivní ochrany	163
7.2.5	Základní údaje o katodicky chráněném zařízení	164
7.3	Přehled průzkumných a měřicích metod u průmyslových zařízení	165
7.3.1	Vstupní údaje pro návrh zařízení	165
7.3.2	Kontrola provozu katodické ochrany	166
7.4	Měřicí technika v korozní praxi	166
7.4.1	Měření elektrické veličiny	166
7.4.2	Chyby při měření v terénu a způsoby jejich omezení	167
7.4.3	Chyby měřicích přístrojů	168
7.4.4	Měření elektrických veličin při katodické ochraně	169
7.4.5	Elektrochemická měření v laboratoři	170
7.5	Měřicí přístroje a příslušenství	172
7.5.1	Multimetry	172
7.5.2	Měřiče uzemnění	172
7.5.3	Registrační přístroje	173
7.5.4	Přístroje pro hodnocení kvality izolace	173
7.5.5	Elektrojiskrový defektoskop, měřič tloušťky izolace	174
7.5.6	Hledač potrubí	175
7.6	Standardní měřicí metody	176
7.6.1	Potenciálová měření	176
7.6.2	Měření proudu	186
7.6.3	Stanovení měrného odporu kapalin a zemin	190
7.6.4	Stanovení zdánlivého měrného odporu (rezistivity) půdy	191
7.6.5	Měření zemního odporu soustavy elektrod	194
7.6.6	Měření přechodového odporu	196
7.6.7	Stanovení průměrného odporu izolace potrubí	199
7.6.8	Určení trasy a místa poruchy izolace potrubí	205
7.7	Stanovení polarizačního potenciálu podzemních konstrukcí ..	210
7.7.1	Způsoby stanovení potenciálu s vyloučením ohmické složky napětí	211
7.7.2	Vypínač metody	212
7.7.3	Metoda pomocné ocelové elektrody	213

8.	PŘEHLED VÝPOČTOVÝCH VZORCŮ PŘI NAVRHOVÁNÍ KATODICKÉ OCHRANY	
8.1	Odpor na přechodu elektroda–země	217
8.2	Odpor na přechodu elektroda–elektrolyt–kovová deska	217
8.3	Posouzení vlivu nerovnoměrného výstupu proudu z protáhlé elektrody do elektrolytu	221
8.4	Činitel stínění u soustavy elektrod	222
8.4.1	Úvod	222
8.4.2	Činitel stínění soustavy elektrod pro různý počet a uspořádání elektrod v zemi	224
8.4.3	Činitel stínění pro různý počet a uspořádání elektrod v elektrolytu u kovové desky	226
8.5	Proudové pole kolem holého a izolovaného potrubí v půdě	229
8.6	Proudové pole u kruhové deskové elektrody	231
8.7	Rozdělení stejnosměrného proudu podél liniové konstrukce	232
8.7.1	Výpočtové vztahy pro liniové konstrukce	232
8.7.2	Vliv proudu vytékajícího z uzemňovací anody na změnu potenciálu potrubí	239
8.8	Výpočet úniku proudu z kolejí stejnosměrně elektrizované železnice	240
8.8.1	Soustava koleje–potrubí	241
8.8.2	Rozdělení napětí ve směru kolmém na kolejnice	243
8.8.3	Vodiče uložené v zemi v homogenním proudovém poli	246
9.	OCHRANA PROTI BLUDNÝM A INTERFERENCEM PROUDŮ	
9.1	Příčiny koroze bludnými a interferenceními proudy	255
9.1.1	Koroze stejnosměrnými bludnými proudy	255
9.1.2	Vliv vysokonapěťových stejnosměrných rozvodných systémů (HVDC) na podzemní kovové konstrukce	256
9.1.3	Vliv telurických proudů na dálková potrubí	257
9.1.4	Vliv spontánní polarizace rudných těles na podzemní konstrukce	257
9.1.5	Interference při katodické ochraně	258
9.2	Ochranné metody k omezení vlivů bludných proudů	258
9.2.1	Přehled ochranných metod	258

9.2.2	Prostředky elektrické ochrany	259
9.2.3	Zjišťování účinnosti ochrany elektrickými drenážemi	263
9.2.4	Řízené stanice katodické ochrany	267
9.2.5	Průměrný zpětný proud do měrnírný	269
9.2.6	Průměrný výstupní proud a napětí z automaticky řízeného usměrňovače	269
9.3	Omezení interference při katodické ochraně	270
9.3.1	Interference u liniových zařízení a způsoby omezení interferenčních proudů	270
9.3.2	Analýza ohmického obvodu a proudových složek v interferenční propojce	272
9.3.3	Příklad praktických opatření proti působení bludných a interferenčních proudů	275
9.3.4	Kritéria omezení interference	280
9.4	Zásady pro projektování a stavbu liniového zařízení z hlediska interference	284
9.5	Kontrolní měření ke zjištění korozních účinků interferenčních a bludných proudů	285
9.6	Příklad efektivní ochrany ručně řízenou stanicí katodické ochrany	287
9.6.1	Základní údaje	287
9.6.2	Provedená měření	287
9.6.3	Analýza provedených měření	288
9.6.4	Návrh opatření	295

10. OCHRANA OSOB A ZAŘÍZENÍ PROTI PŘEPĚTÍ

10.1	Všeobecné zásady	297
10.2	Zdroje přepětí	297
10.2.1	Bleskové proudy – přímý úder	298
10.2.2	Atmosférická přepětí	298
10.2.3	Koordinace všech přepětových ochrany a hlavní zásady jejich montáže	303
10.3	Spínací přepětí	303
10.4	Přepětí vzniklá vlivem střídavých rozvodných systémů (linky vvn a zvn) a elektrizovaných drah	304
10.4.1	Kapacitní vliv	304
10.4.2	Induktivní vliv	305
10.4.3	Galvanický vliv	308
10.4.4	Vlivy elektrizované železnice	309
10.4.5	Meze nebezpečných vlivů při poruchových stavech	310
10.4.6	Ochranná opatření k omezení nežádoucích napětí na potrubí	310
10.5	Uzemňování nadzemních částí potrubí	313

11. DÁLKOVÁ OCELOVÁ POTRUBÍ

11.1	Zásady pro navrhování katodické ochrany	315
11.1.1	Předpoklady pro katodickou ochranu potrubí	315
11.1.2	Hlavní etapy aplikace katodické ochrany	315
11.1.3	Zjišťování parametrů ochrany metodou prozatímní stanice	317
11.1.4	Stanovení parametrů stanice KAO z výpočtových vzorců	318
11.1.5	Volba počtu elektrod uzemňovací anody a jejich uspořádání	320
11.1.6	Porovnání funkce povrchových a hloubkových uzemňovacích anod	321
11.1.7	Korozní praskání u vysokotlakých plynovodů	322
11.2	Rozdělení korozního a ochranného proudu podél trasy potrubí	324
11.3	Distribuce ochranného proudu u několika potrubí v souběhu	328
11.3.1	Dvě rovnoběžná potrubí	328
11.3.2	Tři rovnoběžná potrubí	330
11.4	Příklad výpočtu parametrů katodické ochrany potrubí ukončeného izolačním spojem před areálem závodu	332
11.4.1	Zadání úkolu	332
11.4.2	Výsledky korozního průzkumu	333
11.4.3	Výchozí údaje	333
11.4.4	Rozdělení ochranného proudu v úsecích B–A–M	337
11.4.5	Výsledky šetření	341
11.5	Rozdělení potenciálu u paralelních potrubí	343

12. PODZEMNÍ OCELOVÉ NÁDRŽE A PAŽNICE VRTŮ

12.1	Obecné požadavky	345
12.2	Základní návrhové činitele katodické ochrany skladovacích nádrží	345
12.2.1	Konstrukce a způsob uložení nádrže	345
12.2.2	Předpoklady pro použití katodické ochrany	346
12.2.3	Normovaná řešení a doporučení podle EN	347
12.2.4	Některé provozní zkušenosti s katodickou ochranou nádrží	350
12.3	Příklady vhodného použití katodické ochrany nádrží	350
12.3.1	Ochrana den nádrží vnějším zdrojem proudu	350
12.3.2	Katodická ochrana nádrží s izolačními spoji	353
12.3.3	Úložná zařízení čerpacích stanic pohonných hmot	356
12.3.4	Použití obětovaných anod při katodické ochraně podzemní nádrže	362
12.4	Ocelové pažnice vrtů	366



12.4.1	Předpoklady pro použití	366
12.4.2	Ochrana vertikálních dlouhých potrubí vnějším zdrojem proudu	367

13. OCHRANA KOVOVÝCH ZAŘÍZENÍ OBSAHUJÍCÍCH VODNÝ ELEKTROLYT

13.1	Počátky praktické aplikace	375
13.2	Závazná řešení a doporučení podle EN	376
13.3	Postup při projektování katodické ochrany průmyslových zařízení	379
13.3.1	Podmínky pro použití katodické ochrany	379
13.3.2	Projekt katodické ochrany	380
13.4	Zkušební provoz a periodická kontrola provozu zařízení katodické ochrany	381
13.4.1	Přejímací řízení	381
13.4.2	Zkušební a trvalý provoz	382
13.4.3	Provozní dokumentace	382
13.5	Doporučení pro projektování ochrany průmyslových zařízení	384
13.5.1	Některé chemické a fyzikální vlastnosti vodného elektrolytu	384
13.5.2	Navrhování pomocných anod	385
13.6	Ochrana trubkovnic kondenzátorů turbín	387
13.6.1	Základní předpoklady	387
13.6.2	Stručný popis chráněného zařízení	387
13.6.3	Koroze v chladicí vodě elektráren	388
13.6.4	Varianty antikorozní ochrany trubkovnice	390
13.6.5	Postup návrhu katodické ochrany	391
13.6.6	Uvedení zařízení do provozu	401
13.6.7	Trvalý provoz zařízení katodické ochrany	401
13.6.8	Další možnosti aplikace	405

14. OCHRANA KOVOVÝCH ÚLOŽNÝCH ZAŘÍZENÍ V ZASTAVĚNÝCH OBLASTECH

14.1	Problematika protikorozní ochrany v zastavěných oblastech ..	407
14.2	Katodická ochrana úložných zařízení	408
14.2.1	Předpoklady pro použití katodické ochrany	408
14.2.2	Metody katodické ochrany vnějším zdrojem proudu	409
14.2.3	Bezpečnostní aspekty návrhu	410
14.2.4	Měřicí objekty a měřicí místa	410
14.2.5	Některá doporučení podle evropské normy	410

14.2.6	Alternativní (pragmatická) kritéria katodické ochrany	411
14.3	Příklad postupu navrhování katodické ochrany u existujících zařízení v areálech závodů bez vlivu bludných proudů	412
14.3.1	Přehled použitelných metod protikorozní ochrany	412
14.3.2	Metody korozního průzkumu pro stávající zařízení v areálu	413
14.3.3	Některé údaje o pásku FeZn 30/4 mm a dalších zařízeních z hlediska koroze	414
14.3.4	Určení priorit katodické ochrany jednotlivých úložných zařízení	421
14.3.5	Pravidla pro prostorové uspořádání pomocných anod vůči chráněnému zařízení	422
14.3.6	Některé zásady pro kontrolu instalace katodické ochrany	422
14.4	Příklad návrhu protikorozní ochrany nového objektu v oblasti s bludnými proudy	424
14.4.1	Výsledky korozního průzkumu	424
14.4.2	Zdroj bludných proudů	426
14.4.3	Zdůvodnění navržených nápravných opatření proti působení bludných proudů	429
14.4.4	Betonové a železobetonové konstrukce	436
14.4.5	Připojky	437
14.5	Společná ochrana proti bludným proudům v potrubních koridorech	437
14.5.1	Problematika protikorozní ochrany potrubí v koridorech	437
14.5.2	Měření a organizace provozu katodické ochrany	441
14.5.3	Závěry a doporučení	442
14.6	Příklad použití katodické ochrany v předávací stanici zemního plynu	442
14.6.1	Vstupní údaje	443
14.6.2	Projektové řešení	443
14.6.3	Uvedení do provozu	443

15. PROVOZ A ÚDRŽBA ZAŘÍZENÍ KATODICKÉ OCHRANY

15.1	Všeobecné zásady	445
15.2	Kontrola zařízení katodické ochrany po dokončení montáže ..	446
15.2.1	Vizuální prohlídka	446
15.2.2	Individuální zkoušky před zapojením proudu	446
15.2.3	Individuální zkoušky po počátečním zapojení proudu	448
15.2.4	Komplexní zkoušky	449
15.3	Záznamy a dokumentace o systému katodické ochrany	449
15.3.1	Záznamy o jakosti a zkouškách	449
15.3.2	Protokol o instalaci a uvedení do provozu	449
15.3.3	Příručka pro provoz a údržbu (provozní předpisy)	450

15.4	Trvalý provoz	459
15.5	Kontrola a údržba	451
15.5.1	Všeobecně	451
15.5.2	Faktory ovlivňující četnost kontrol	452
15.5.3	Kontrola provozu	453
15.5.4	Údržba	456
15.6	Některé zkušenosti z provozu a údržby zařízení katodické ochrany v ČR	456
15.6.1	Kontrola provozu	456
15.6.2	Údržba zařízení katodické ochrany	458
15.6.3	Dokumentace provozu a údržby	459

16. EKONOMIKA KATODICKÉ OCHRANY

16.1	Význam protikorozi ochrany	461
16.2	Korozi ztráty	462
16.2.1	Přímé korozi ztráty	462
16.2.2	Nepřímé korozi ztráty	462
16.3	Protikorozi ochrana z technicko-ekonomického pohledu ...	462
16.4	Vliv času na efektivnost investic	463
16.5	Zvláštnosti hospodárnosti protikorozi ochrany	468
16.6	Ekonomická analýza protikorozi ochrany potrubí	469
16.6.1	Podklady pro určování nákladů	469
16.6.2	Hospodárnost a náklady katodické ochrany	472
16.7	Příklad ekonomické analýzy u průmyslového zařízení	472
16.7.1	Základní údaje	472
16.7.2	Pořizovací náklady	473
16.7.3	Provozní náklady	474
16.7.4	Ekonomická analýza	475
16.7.5	Závěr	476

17. ŠÍŘENÍ BLUDNÝCH PROUDŮ ZEMNICÍMI LANY LINEK VVN

17.1	Výsledky výzkumu	477
17.2	Příčiny toku bludných proudů zemnicími lany	477
17.3	Interference mezi vedením vvn a potrubím	477
17.4	Výpočet životnosti stožárů vvn	478