

Korrosion på kolstål, förzinkat stål och zink i jord – långtidsundersökning

Tor-Gunnar Vinka



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Rörsnät & Klimat
Avlopp & Miljö
Management

SVU styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Agneta Granberg (m), ordförande	Göteborg
Daniel Hellström, utvecklingsledare	Svenskt Vatten
Henrik Aspegren	VA SYD
Per Ericsson	Norrsvatten
Tove Göthner	Sveriges Kommuner och Landsting
Per Johansson (s)	Gävle kommun
Stefan Johansson	Skellefteå kommun
Annika Malm	Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad
Lisa Osterman	Örebro kommun
Kenneth M. Persson	Sydsvatten AB
Carl-Olof Zetterman	SYVAB

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 BROMMA
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Korrosion på kolstål, förzinkat stål och zink i jord – långtidsundersökning
Title of the report:	Corrosion on carbon steel, zinc coated steel and zinc in soil – long-time exposure
Författare:	Tor-Gunnar Vinka, Swerea KIMAB AB
Rapportnummer:	2014-18
Antal sidor:	40
Sammandrag:	Korrosionen av kolstål efter upp till 18 års exponering i olika jordarter presenteras och för varmförzinkat stål och zink upp till 7 års exponering. Korrosionshastigheter för både jämn och lokal korrosion redovisas för kolstål. Inverkan av jordens sammansättning, förlägningsdjup, inbäddning i homogen sandfyllning samt korrosionens tidsutveckling diskuteras.
Abstract:	Corrosion of carbon steel after 18 years exposure in different type of soils and of zinc coated steel and zinc after 7 years are presented. Corrosion rates for uniform and local corrosion are given for carbon steel. The influence of soil composition, depth below ground surface, embedment in homogenous sand fill and time development of corrosion is discussed.
Sökord:	Korrosion, korrosionshastigheter, jord, fältexponering, kolstål, förzinkat stål, zink
Keywords:	Corrosion, corrosion rate, soil, field exposure, carbon steel, zinc coated steel, zinc
Målgrupper:	Förvaltare av vattenledningsnät, VA-tekniker, VA-konsulter, geokonstruktörer, geotekniker
Omslagsbild:	Mätning av grundvattennivå på provningsplats Stockholm. Mätning sker i rör med filterspets. Foto: Jörgen Almqvist, Swerea KIMAB AB
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2014
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	SVU 10-110
Projektets namn:	Korrosion på kolstål, zink och förzinkat stål i jord
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, Svenska Kraftnät

Förord

Många ur samhällets synpunkt viktiga konstruktioner är förlagda i jord och utsätts för dess korroderande verkan. Som exempel kan nämnas våra vatten- och avloppsnät, naturgasledningar, cisterner för olja och bränslen, telekablar, kraftledningsstolparnas fundament, vägtrummor med mera. Korrosion av dessa kan få förödande konsekvenser.

Korrosion i jord bestäms främst av syretransporten och fuktförhållandena. Korrosionshastigheten kan också påverkas av andra faktorer som: grundvattenytans läge, jordresistivitet, pH-värde, förekomst av organisk jord och sulfider, bakterier främst sulfatreducerande bakterier samt förekomst av kol och koks i jorden. Jordsammansättningen varierar både vertikalt och horisontellt och påverkas vid omgrävningar men även vid årstidsväxlingar.

Jordparametrarna styr korrosionen i olika hög grad för olika metaller. Dessutom skiljer sig korrosionsförhållanden i svenska jordar från förhållanden i Centraleuropa. Svenska jordar karakteriseras av hög grundvattennivå och förekomst av sulfidhaltiga jordar, till exempel svartmockajordar längs Bottenviks- och Bottenhavskusten.

Korrosionshastigheten på zinkbeläggningar och zink är relativt höga i svenska jordar beroende på den mycket låga kalciumkarbonathalten i svenska jordar. Den låga karbonathalten ger upphov till låg alkalinitet och lågt pH-värde i jordvattnet. Den låga karbonathalten i svenska jordar beror på att berggrunden till mycket stor omfattning består av urberg. Det är endast i områden med sedimentär berggrund (kalksten, sandsten och lersten) som jorden innehåller kalciumkarbonat i någon större utsträckning. Större sådana områden finns i Skåne, på Öland och Gotland och området kring Storsjön i Jämtland. Den dominerande jordarten i dessa områden är lerig morän eller lermorän.

Kista i juni 2014

Tor-Gunnar Vinka

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	7
1 Bakgrund	8
2 Experimentellt	9
2.1 Exponering.....	9
2.2 Material.....	16
2.3 Korrosionsutvärdering.....	18
3 Resultat	19
3.1 Korrosionshastigheter.....	19
4 Diskussion	25
4.1 Inverkan av jordarten.....	25
4.2 Inverkan av förläggingsdjup och sandfyllning.....	28
4.3 Inverkan av klorid och sulfid i jorden.....	30
4.4 Inverkan av exponeringstid.....	30
4.5 Användning av kolstål och förzinkat stål i jord.....	32
5 Slutsatser	34
6 Referenser	35

Sammanfattning

Korrosionen på kolstål, varmförzinkat stål och zink i jord har undersökts. Provplåtar har legat nedgrävda ovan och under grundvattennivån i provgro-par på olika provningsplatser. Jordarterna är två typer av lera och gyttjig lera, sulfidrik lera, sand och torv. Provplåtarna har exponerats på två provnivåer; en övre och en nedre provnivå på cirka 0,7 meter respektive cirka 1,7 meter djup under markytan. På varje provnivå exponerades provplåtar dels i originaljord, dels i sandfyllning.

I rapporten redovisas resultat från upp till 18 års exponering av kolstål i olika jordarter och från upp till sju års exponering av varmförzinkat stål och zink. Här redovisas hastigheten för både jämn och lokal korrosion för kolstål. Vidare diskuteras inverkan av jordens sammansättning, förläggningsdjup, inbäddning i homogen sandfyllning samt korrosionens tidsutveckling. För kolstål var den jämna korrosionshastigheten högst i gyttjig lera följt av lera och torv med ungefär lika stor korrosionshastighet. Korrosionshastigheten är lägst i sand och sandig morän. Följande generella indelning kan göras mellan korrosionshastighet och jordart. Den jämna korrosionshastigheten ökade i följande jordartsordning:

sand $\approx$ sandig morän < torv $\approx$ lera < gyttjig lera

Korrosionshastigheten var måttlig för kolstål för både jämn och lokal korrosion. För kolstål kan man ofta räkna med den jämna enkelsidiga korrosionshastigheten 20 $\mu\text{m}/\text{år}$ (0,02 mm/år). Korrosionshastigheten avtar något med längre exponeringstid. Sandfyllning har en positiv inverkan på korrosionshårdigheten hos kolstål under förutsättning att sandfyllningen görs på ett riktigt sätt. En slarvigt utförd sandfyllning kan göra mer skada än ingen sandfyllning alls. Viktiga krav på sandfyllningen är: 1) tillräckligt tjock sandfyllning, 2) hela konstruktionen täcks med sandfyllning och 3) inga ler- eller andra jordklumpar i sandfyllningen som ligger an mot metallytan.

Korrosionshårdigheten hos zink och förzinkat stål i jord beror till stor del på möjligheten till bildning av karbonathaltiga beläggningar på zinkytan och då speciellt hydrozinkit som korrosionsprodukt. För svenska jordar med låg kalciumkarbonathalt kan korrosionsrisken för zinksiktet på förzinkat stål bedömas med ledning av jordarten. Uppdelat efter jordart ökar korrosiviteten för zinksiktet på förzinkat stål och zink i följande ordning:

sand $\approx$ sandig morän < lera < gyttjig lera < torv

Korrosionsriskbedömningen på grundval av jordart har visat sig vara bättre än bedömningar med utgångspunkt från jordens resistivitet och pH-värde. Bedömningar av korrosionsrisken för zinksiktet på förzinkat stål med ledning av jordarten kan förbättras med analys av jordens pH-värde och halten kalciumkarbonat för att avgöra om jorden eventuellt är kalkhaltig. Om grundvattenprov föreligger bör i första hand pH-värdet, alkaliniteten och kalciumhalten analyseras. Korrosionshastigheten avtar något med längre exponeringstid. Förläggning i sandfyllning har en klar gynnsam effekt på korrosionshårdigheten hos förzinkat stål i jord.

Summary

The corrosion of carbon steel, hot-dip galvanized steel and zinc in soils has been studied. Test panels have been buried, placed above and below the ground water level, in test pits in seven test locations. The soils were two types of clay and gyttja clay, clay with high sulphide content, sand and peat. The test panels were exposed at two levels: one upper and one lower test level, at depths of about 0.7 and 1.7 below the ground surface respectively. On each test level, the panels were exposed in the original soil and in sand filling.

The present report presents results from up to 18 years of exposure of carbon steel in various soils and from up to seven years of exposure of hot-dip galvanized steel and carbon steel. The rates of both uniform corrosion and localised corrosion for carbon steel are presented in the report. Further, the effects of soil composition, depth below ground surface, embedment in homogenous sand fill and the progress of corrosion over time are discussed. For carbon steel the uniform corrosion rate is highest in gyttja clay, followed by clay and peat with approximately the same corrosion rates. The corrosion rate is lowest in sand and in sandy till. The following general classification can be made regarding corrosion rate and soil type. The uniform corrosion increased in the following order in the soil types:

sand $\approx$ sandy till < peat $\approx$ clay < gyttja clay

The corrosion rate was moderate for carbon steel with regard to both uniform and localized corrosion. For carbon steel the uniform single-sided corrosion rate of 20 $\mu\text{m}/\text{year}$ (0,02 mm/year) can frequently be used. The corrosion rate decreases slightly with a longer exposure period. Sand filling has a positive effect on the corrosion resistance of carbon steel provided that the sand filling is made correctly. An improperly prepared sand fill may do more harm than no sand filling at all. Essential requirements for the sand filling are: 1) Sufficiently thick sand fill, 2) The entire structure is covered by the sand fill and 3) No clay or other soil lumps in the sand fill that is in touch with the metal surface.

Zinc coating is the most important and most common corrosion protection measure for steel in soil. The corrosion resistance of zinc and zinc-coated steel in soil depends largely on whether carbonate-containing layers are formed on the zinc surface and in particular hydrozincite as corrosion product. For soils with a low content of calcium carbonate the corrosion risk for the zinc coating on steel can be assessed on the basis of type of soil. Classed according to type of soil the corrosivity towards zinc coated steel and zinc increases in the following order:

sand $\approx$ sandy till < clay < gyttja clay < peat

Evaluation of corrosion risk based on type of soil has proved to be more reliable than evaluations based on the resistivity and pH of the soil. If ground-water samples are available primarily pH value, alkalinity and calcium content should be determined. The corrosion rate decreases to some extent with a longer exposure period. Placing in sand fill has a clear beneficial effect on the corrosion resistance of zinc coated steel in soil.

1 Bakgrund

Livslängden för konstruktioner är av stor vikt ur ett hållbarhetsperspektiv. Rätt dimensionering och val av material för ökad livslängd reducerar oftast den totala miljöbelastningen ur ett livscykelperspektiv.

Vid mitten av 1970-talet ansåg dåvarande Korrosionsinstitutets FoU-utskott *Korrosion i jord och katodiskt korrosionsskydd* att det fanns behov av ökad kompetens om korrosion i jord på olika metaller och konstruktionstyper i Sverige. Ett stort FoU-program, *Jordars korrosivitet* startades, som innebar långtidsexponering av olika metaller i form av provplåtar och bärande stålkonstruktioner i fält. Bakom programmet stod vid den tiden framför allt dåvarande Televerket, Statens Järnvägars geotekniska kontor, Vattenfall, ASEA, Vägverket, Svenska Metallverken, Boliden AB, Bergsöe Anti Corrosion AB, Kommunförbundet och Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen. Inom programmet grävdes respektive slogs ned ett stort antal prover på sju provningsplatser runt om i Sverige med olika naturliga jordarter. Utsättningen av provplåtar av kolstål, zink och förzinkat stål gjordes under 1983 och 1985. Resultat från tidigare undersökningar har rapporterats [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

Det övergripande syftet med projektet är att ta fram korrosionshastigheter för kolstål, zink och zinksiktat på förzinkat stål efter långtidsexponering i jord. Resultaten ska ligga till grund för riktlinjer för användning av kolstål och förzinkat stål i jord.

2 Experimentellt

2.1 Exponering

2.1.1 Provningsplatser

Materialen har exponerats i jord på sju olika provningsplatser i Sverige. Jorden, på varje ställe, består av en relativt renodlad jordart representativ för svensk geologi. Jordarterna är lera (två typer), siltig lera (sulfidrik), gyttjig lera (två typer), mossetorv och sand. Jorden är naturligt lagrad och har aldrig tidigare varit omgrävd. Platserna valdes så att grundvattennivån står relativt högt, ungefär 1 meter under markytan på hösten, och har relativt små årstidsberoende variationer. Metallprover kan därför placeras både ovan och under grundvattennivån i syfte att undersöka dess inverkan på korrosionen. Provningsplatsernas beteckning och deras specifika jordarter på olika nivåer framgår av tabell 2-1.

Tabell 2-1 Lokalisering av och jordart på provningsplatserna.

Provningsplats	Lokalisering	Jordart	
		Övre provnivån 0,7 m	Nedre provnivån 1,7 m
Enköping	Ryda Kungsgård (14 km N Enköpings centrum), Enköpings kommun, Uppland	Styv lera ¹⁾	Mycket styv lera ¹⁾
Sollentuna	Rotsunda vid Norrviken (6 km N Sollentuna centrum, 18 km N Stockholms centrum), Sollentuna kommun, Uppland	Styv lera ²⁾	Styv lera ²⁾
Kramfors	Gudmundrå vid Kyrkviken (2 km S Kramfors centrum), Kramfors kommun, Ångermanland	Siltig lera ²⁾	Siltig lera ²⁾
Göteborg	Kannebäck på Näset vid Välen (9 km SV Göteborgs centrum), Göteborgs stad, Västergötland	Styv gyttjig lera ²⁾	Styv gyttjig lera ²⁾
Stockholm	Skå på Färingsö (7 km NV Ekerö centrum, 20 km NV Stockholms centrum), Ekerö kommun, Uppland	Styv gyttjig lera ²⁾	Gyttjig lera ²⁾
Laxå	Sandhagsmossen (4 km SO Hasselfors, 10 km NV Laxå centrum), Laxå kommun, Närke	Lågförmultnad mossetorv ³⁾	Medelförmultnad mossetorv ⁴⁾
Linköping 1, sand	Kolbyttemon (10 km S Linköpings centrum), Linköpings kommun, Östergötland	Sand ^{5) 7)}	–
Linköping 2, vattenmättad grusig sand	Kolbyttemon (10 km S Linköpings centrum), Linköpings kommun, Östergötland	Grusig sand ^{6) 7)}	–

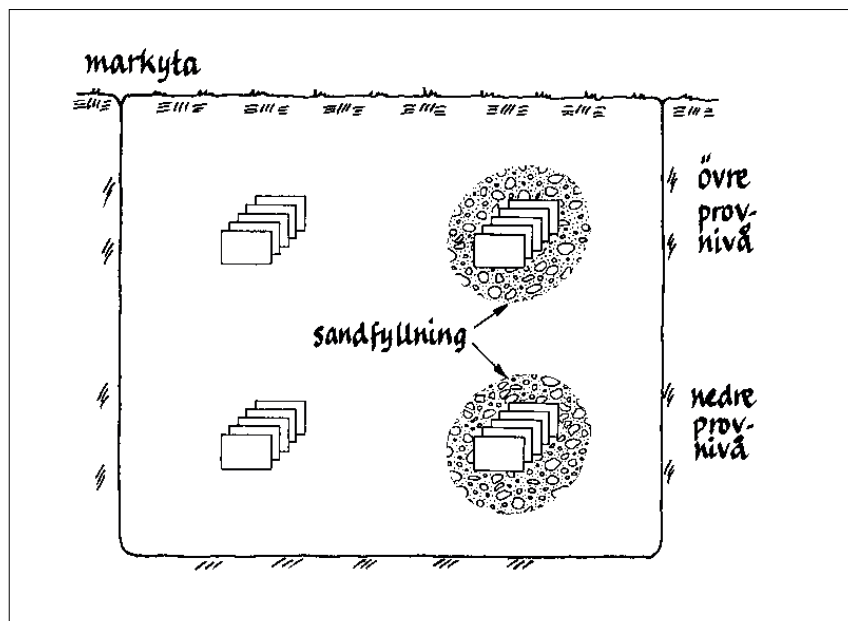
1) Glacial lera, 2) Postglacial lera, 3) Vitmossetorv, 4) Starrvitmossetorv, 5) Ensgraderad (sorterad) finsandig mellansand, 6) Mellangraderad (ofullständig sorterad) grusig sand, 7) Isälvsavlagring.

2.1.2 Placering

Provplåtarna har varit nedgrävda i provgropar som ligger med ungefär en meters avstånd från varandra. På varje provningsplats gjordes fem provgropar, en för varje planerad provtagning. I varje provgrop finns en övre och en nedre provnivå på cirka 0,7 meter respektive cirka 1,7 meter djup under markytan med undantag för provningsplatsen Kramfors där provnivåerna var 1,2 meter respektive 2,2 meter under markytan, figur 2-1. Grundvattennivån pendlar mellan de två nivåerna i takt med årstidsväxlingarna.

Vid provningsplatsen i Linköping 1 och 2 (sand respektive vattenmättad grusig sand) har metallprover grävts ned på djupet 0,7 meter på två när-

liggande platser. Avståndet mellan provningsplatserna är cirka 100 meter. Exponeringen i vattenmättad jord med jordarten grusig sand sker på botten av en nedlagd grustäkt (Linköping 2). Vid provningsplatsen i Linköping måste man av praktiska skäl gräva ner proverna som skulle ligga över grundvattenytan (Linköping 1) på en plats cirka 100 meter från platsen där man grävde ner proverna under grundvattenytan (Linköping 2). Vid den senare står grundvattnet vid markytan. Detta resulterade i att både provnivån ovan och den under grundvattenytan kom att ligga cirka 0,7 meter under markytan. På den övre provnivån är det cirka 10 meter ned till grundvattenytan. pH-värde och karbonathalt skiljer något mellan de två platserna men i övrigt är jorden likartad.



Figur 2-1 Provplåtarnas placering i provgroparna.

Provplåtarna placerades stående i rad i originaljorden med en rad över och en rad under grundvattenytan. Intill dessa och på samma nivå bäddades dessutom två ytterligare plåtrader helt och hållet in i en homogen sandfyllning. Provplåtarna står alltså i fyra olika positioner i varje provgrop. Avsikten med detta är att undersöka vilken inverkan grundvattenytan respektive inbäddning i homogen sandfyllning har på korrosionen. Vid återfyllningen av groparna, efter upptagen, försökte man så långt möjligt lägga tillbaka jorden enligt den ursprungliga jordlagerföljden.

2.1.3 Exponeringstider

Exponering av provplåtar på provningsplatserna påbörjades 1983 med undantag för provningsplatsen i Kramfors där fältexponeringen påbörjades 1985. Provplåtar av kolstål har tagits in efter cirka 1, 3, 7 och 18 års exponering. För provningsplatsen i Kramfors var den längsta exponeringstiden cirka 5 år och i Sollentuna cirka 24 år. För provplåtar av förzinkat stål (varmförzinkat stål) och zink anges korrosionshastigheter efter 1, 3 och 7 års exponering. För provningsplatsen i Linköping finns också resultat efter 18 års exponeringstid.

2.1.4 Jordanalyser

Jordarna på de olika provningsplatserna har analyserats med avseende på kornstorleksfördelning, resistivitet, organisk halt, pH, kloridhalt, sulfathalt, kolhalt, kalcium, magnesium, kalium och fosfor samt i förekommande fall totalaciditet respektive totalalkalitet.

Kornstorleksfördelning

Fördelningen mellan ler, silt och sand för jord från provningsplatserna med lerjord: Enköping, Sollentuna, Kramfors, Göteborg och Stockholm, visas i tabell 2-2. Motsvarande kornstorleksfördelning med olika jordfraktioner för sanden i Linköping provningsplats visas i tabell 2-3.

Tabell 2-2 Kornstorleksfördelning med olika jordfraktioner vid provningsplatserna med lerjord.

Jordfraktion	Halt mass-%									
	Enköping		Sollentuna		Kramfors		Göteborg		Stockholm	
	Övre nivå	Nedre nivå	Övre nivå	Nedre nivå	Övre nivå	Nedre nivå	Övre nivå	Nedre nivå	Övre nivå	Nedre nivå
Ler	59	61	56	56	28	38	41	44	44	32
Finsilt	14	16	21	23	30	41	15	18	14	15
Mellansilt	12	14	12	15	27	21	16	16	12	14
Grovsilt	9	9	9	6	12	0	15	13	10	14
Silt, totalt	35	39	42	44	69	62	46	47	36	43
Sand, totalt	6	0	2	0	3	0	13	9	20	25

Tabell 2-3 Kornstorleksfördelning med olika jordfraktioner för sanden i omättad zon (djup 0,7 m) och i vattenmättad zon (djup 0,7 m) vid provningsplats Linköping.

Jordfraktion	Halt mass-%	
	Omättad zon	Vattenmättad zon
Ler + silt	4	4
Finsand	39	15
Mellansand	51	26
Grovsand	6	25
Sand, totalt	96	66
Fingrus	0	16
Mellangrus	0	14
Grus, totalt	0	30
Jordart	Sand (finsandig mellansand)	Grusig sand

Jordanalyser

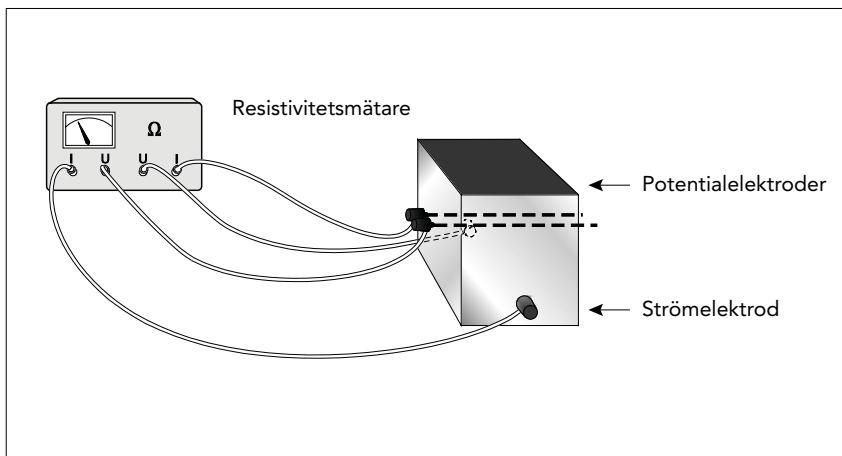
Ett stort antal kemiska och fysikaliska analyser har utförts på jordprover från omrörd jord tagna från provningsplatserna under hösten 1986. Totalaciditet och totalalkalitet bestämdes på jordprover tagna hösten 1981.

Jordresistivitet

Jordresistiviteten mättes för naturfuktigt jord med den så kallade boxmetoden soil box [1]. Med en jords resistivitet, ρ , menas dess specifika resistans

som enligt SI-systemet anges i Ω meter. Den uttrycker den resistans som uppmäts mellan två motstående sidor, i en volymenhet av jorden bestående av en kub med kantlängden 1 meter [1]. Jorden kan även karakteriseras av dess specifika elektriska ledningsförmåga, konduktiviteten, κ , vilket är det inverterade värdet av resistiviteten.

Mätningen sker i en jordresistanscell (soil box) som utgörs av en låda av plexiglas med två motstående sidor av metall (strömelektroder), i lådan finns två inre elektroder (potentialelektroder), figur 2-2. Soil boxen packas med jord, varefter de fyra polskruvarna ansluts till en 4-polig resistansmätare. Mätströmmen sänds ut genom de två strömelektroder och potentialfallet mäts mellan de två inre elektroder. Resistiviteten, ρ , beräknas från den uppmätta resistansen, R .



Figur 2-2 Skiss av cell för mätning av jordresistans.

Vatteninnehåll

Vid undersökningen användes naturfuktiga jordprover för bestämning av vattenmängden. De naturfuktiga jordproven vägdes och sedan torkades jordproven under 1 dygn vid 105 °C. Därefter vägdes proven igen och vattenmängden bestämdes.

Jordens vatteninnehåll kan uttryckas på två sätt:

- *Vattenhalt* (mass-%): vattenhalten är förhållandet mellan porvattnets massa och massan fuktig jord.
- *Vattenkvot* (mass-%): vattenkvoten är förhållandet mellan porvattnets massa och massan torr jord.

I geotekniska sammanhang används vanligen vattenkvoten som mått på vatteninnehållet i jorden.

Organisk halt

Den organiska halten bestämdes genom snabb våtförbränning av jorden med dikromatlösning och svavelsyra med efterföljande kolorimetermätning vid våglängden 620 nm [2]. Metoden har senare standardiserats som svensk standard SS 02 71 07 [3].

pH-värde

Jordens pH-värde bestämdes som $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ för naturfuktig jord efter extraktion med avjoniserat vatten med massförhållandet jord:vatten 1:2,5 [4, 5]. pH-värdet mättes i vattenextraktet med pH-elektrod.

Kalciumkarbonat

Kalciumkarbonathalten, CaCO_3 -halten, bestämdes efter våtförbränning av jorden med saltsyra i ett slutet system som evakuerats till vakuum (Moums apparat). Mängden bildad koldioxid mättes sedan indirekt med manometer. Metoden finns beskriven i [2].

Kloridhalt

Vid bestämning av jordens kloridhalt extraherades lufttorkad jord med avjoniserat vatten i en Soxhletsapparat och kloridhalten i vattnet bestämdes sedan med kloridtitrator. I kloridtitratorn utnyttjas fyra elektroder. Mellan två silverelektroder skickas en konstant likström. Strömpassagen medför att lösningen tillförs silverjoner som förenar sig med kloridjoner till silverklorid, AgCl . Hastigheten med vilka silverjoner tillförs lösning är konstant. När alla kloridjoner har förbrukats och fria silverjoner uppträder i lösningen stiger strömmen mellan de båda andra silverelektroderna och analysen avbryts.

Svavelföreningar

Vid bestämning av jordens sulfathalt extraherades lufttorkad jord med avjoniserat vatten i en Soxhletsapparat och sulfathalten i vattnet bestämdes sedan med nefelometrisk metod. Grumligheten hos vattnet bestämdes efter tillsats av bariumklorid i en nefelometer. Sulfidhalten i jorden bestämdes som syralöslig sulfid efter våtoxidering och titrering. Som extraktionsmedel användes 6 M (mol/l) saltsyra med tillsats av tennklorid. Den bildade divätesulfiden (svavelväte), H_2S , förs över till ett absorptionskäril med kadmiumhaltig acetatbuffert. Därefter tillsattes en känd mängd jod till absorptionskärlet och vätskan titrerades med natriumtiosulfatlösning [2]. Sulfiden är bunden i jorden som olika järnsulfider såsom amorf FeS med varierande sammansättning, mackinawit, $\text{Fe}_1 + x\text{S}$ ($x \approx 0,06$) och pyrit, FeS_2 . Vid bestämning av syralöslig sulfid inkluderas i analysen amorf FeS , mackinawit och greigit, Fe_3S_4 , men inte pyrit. Den totala svavelhalten i jorden bestämdes efter torrbränning i syrgas vid 900°C i en Leco kol- och svavelanalysator.

Kolhalt

Den totala kolhalten i jorden bestämdes efter torrbränning i syrgas vid 900°C i en Leco kol- och svavelanalysator. Metoden har senare standardiserats som svensk standard SS-ISO 10 694 [6]. Halten oorganiskt kol har beräknats från kalciumkarbonathalten och den organiska kolhalten fås som skillnaden mellan den totala kolhalten och halten oorganiskt kol. Den organiska halten i tabell 2-5 har beräknats från halten organiskt kol med antagandet att 58 mass-% av det organiska materialet utgörs av organiskt kol [2].

Kalcium, magnesium, kalium och fosfor

Analyserna av kalcium, magnesium, kalium respektive fosfor har utförts efter extraktion i dels 0,1 M ammoniumlaktat + 0,4 M ättiksyra (AL-extrakt), dels 2 M saltsyra (HCl-extrakt) [7]. Metoden har senare standardiserats som svensk standard SS 02 83 10 [8]. Med AL-extrakt erhålls den lösliga kvantiteten som är växttillgänglig och HCl-extraktet ger den svår-lösliga kvantiteten, den så kallade förrådsquantiteten.

Aciditet och alkalitet

För sur jord (pH-värde < 7,0) bestämdes totalaciditeten (syrakapaciteten) vid pH = 4,8 respektive pH = 7,0. Till en jordsuspension bestående av 20 g fuktig jord och 40 ml avjoniserat vatten tillsattes successivt ökande mängder 0,1 M NaOH för att erhålla önskat pH-värde i jorden [9]. För alkalisk jord (pH-värde > 7,0) bestämdes totalalkaliteten (baskapaciteten) vid pH = 7,0 respektive pH = 4,8. Till en jordsuspension bestående av 20 g fuktig jord och 40 ml avjoniserat vatten tillsattes successivt ökande mängder 0,1 M HCl för att erhålla önskat pH-värde i jorden [9].

Jordarnas analyser redovisas i tabell 2-4, 2-5, 2-6 och 2-7.

Tabell 2-4 Analys av omrörd jord på provningsplatserna. Provtagning från omrörd jord på hösten 1986.

Provningsplats	Djup m	Resistivitet Ω m	Vatten- innehåll		Organisk halt mass-% torr jord	pH	CaCO ₃ mass-% torr jord	Klorid mg/kg torr jord	Svavelföreningar mg S/kg torr jord		
			mass-% fuktig jord	mass-% torr jord					S ²⁻ -S	SO ₄ ²⁻ -S	Total S
Enköping	0,7	32,9	31	46	1,6	6,6	0,18	20	7	21	190
	1,7	34,5	32	47	0,7	6,9	0,16	20	7	29	150
Sollentuna	0,7	37,7	41	69	2,9	4,3	0,32	34	8	202	2090
	1,7	11,6	48	92	2,2	6,3	0,32	22	288	526	10300
Kramfors	1,2	25,7	33	48	0,9	6,0	0,19	50	238	49	2030
	2,2	14,3	30	42	1,9	6,5	0,19	60	347	47	1240
Göteborg	0,7	17,1	41	68	3,7	4,4	0,16	170	8	412	1480
	1,7	3,45	54	118	4,6	7,4	0,22	2200	82	322	14600
Stockholm	0,7	52,2	43	76	2,8	4,2	0,18	30	8	188	1840
	1,7	10,4	51	104	4,5	5,4	0,15	140	19	758	6390
Laxå	0,7	71,6	92	1200	75	4,3	<0,10	180	<61	36	120
	1,7	131	85	559	61	4,2	<0,10	220	<31	41	550
Linköping, sand	0,7	2620	7	8	0,4	5,7	0,12	20	<5	6	90
Linköping, vattenmättad grusig sand	0,7	179	12	14	0,2	8,0	3,0	20	<5	8	140

Tabell 2-5 Kaliumkarbonathalt, kolhalt, organisk halt och glödningsförlust i jorden på provningsplatserna. Provtagning från omrörd jord på hösten 1986.

Provningsplats	Djup m	Kalciumkarbonat mass-% CaCO ₃ av torr jord	Kolhalt mass-% C av torr jord			Organisk halt mass-% av torr jord	Glödningsförlust mass-% av torr jord	
			Totalkol	Oorganiskt kol	Organiskt kol		450 °C	900 °C
Enköping	0,7	0,18	0,80	0,02	0,78	1,3	2,1	3,1
	1,7	0,16	0,56	0,02	0,54	0,9	2,0	2,9
Sollentuna	0,7	0,32	1,29	0,04	1,25	2,2	2,6	3,7
	1,7	0,32	1,21	0,04	1,17	2,0	1,7	3,0
Kramfors	1,2	0,19	0,83	0,02	0,81	1,4	1,3	2,3
	2,2	0,19	0,81	0,02	0,79	1,4	1,2	2,3
Göteborg	0,7	0,16	1,86	0,02	1,84	3,2	3,0	3,8
	1,7	0,22	2,34	0,03	2,31	4,0	2,5	3,6
Stockholm	0,7	0,18	2,51	0,02	2,49	4,3	4,0	4,8
	1,7	0,15	2,35	0,02	2,33	4,0	4,2	5,2
Laxå	0,7	<0,10	42	<0,01	42	73	7,5	7,5
	1,7	<0,10	38	<0,01	38	66	13	13
Linköping, sand	0,7	0,12	0,26	0,01	0,25	0,4	0,8	1,1
Linköping, vattenmättad grusig sand	0,7	3,0	0,63	0,36	0,27	0,5	0,4	4,9

Tabell 2-6 Kalcium-, magnesium-, kalium- och fosforhalter i jorden vid provningsplatserna. Provtagning från omrörd jord på hösten 1986.

Provningsplats	Djup m	Kalcium mg Ca/kg torr jord		Magnesium mg Mg/kg torr jord		Kalium mg K/kg torr jord		Fosfor mg P/kg torr jord	
		Ca-AL	Ca-HCl	Mg-AL	Mg-HCl	K-AL	K-HCl	P-AL	P-HCl
Enköping	0,7	2580	4700	300	8400	130	3750	39	460
	1,7	3000	5300	370	9200	133	4600	40	480
Sollentuna	0,7	580	2300	190	8300	184	6500	16	480
	1,7	1920	4400	760	9900	446	6750	76	570
Kramfors	1,2	800	3300	300	7600	200	3600	113	910
	2,2	740	3600	340	7700	222	4000	104	840
Göteborg	0,7	460	1900	330	4500	259	4200	22	480
	1,7	1700	3800	1350	7600	658	6500	147	590
Stockholm	0,7	680	3200	165	8200	147	5450	13	500
	1,7	1400	4400	700	9700	365	6250	56	640
Laxå	0,7	660	1800	208	2320	129	1650	19	330
	1,7	780	1500	156	1700	96	1200	29	240
Linköping, sand	0,7	160	900	50	1380	25	1300	29	410
Linköping, vattenmättad grusig sand	0,7	17000	17000	100	1590	33	1100	29	580

Tabell 2-7 Totalaciditet vid pH=4,8 [$K_b(4,8)$] respektive pH=7,0 [$K_b(7,0)$] och totalalkalitet vid pH=7,0 [$K_s(7,0)$] respektive pH=4,8 [$K_s(4,8)$] samt kväveföreningar i jorden vid provningsplatserna. Provtagning från omrörd jord hösten 1981 för totalaciditet och totalalkalitet och hösten 1986 för kväveföreningar.

Provningsplats	Djup m	Totalaciditet mmol/kg torr jord		Totalalkalitet mmol/kg torr jord		Kväveföreningar mg N/kg torr jord			
		$K_b(4,8)$	$K_b(7,0)$	$K_s(7,0)$	$K_s(4,8)$	Nitrit NO_2^- -N	Nitrat NO_3^- -N	Ammonium NH_4^+ -N	Total N
Enköping	0,7	0	0	0,3	21	0,13	0,09	3,6	1000
	1,7	0	0	1,4	22	0,12	58	2,7	700
Sollentuna	0,7	0,8	48	0	0	0,09	0,6	1,4	1600
	1,7	0	48	0	0	0,28	0,2	22	1600
Kramfors	1,2	–	–	–	–	0,50	0,2	7,5	1000
	2,2	–	–	–	–	0,40	0,1	13	1000
Göteborg	0,7	0	35	–	0	0,08	0,5	1,4	2000
	1,7	24	89	0	0	0,19	0,09	85	2600
Stockholm	0,7	10	70	0	0	0,10	4,1	1,4	2600
	1,7	0	71	0	0	0,20	0,4	43	3700
Laxå	0,7	141	632	0	0	2,3	0,9	11	6900
	1,7	23	402	0	0	1,1	0,6	40	10300
Linköping, sand	0,7	0	4,6	0	–	0,04	0,07	0,8	100
Linköping, vattenmättad grusig sand	0,7	0	0	7,2	123	0,9	0,4	3,9	100

2.2 Material

I undersökningarna exponerade provplåtar av kolstål, förzinkat stål (varmförzinkat stål) och zink. Trippelprov av noggrant vägda provplåtar användes genomgående i undersökningarna. Provplåtarna avfettades i trikloretylenånga före exponeringarna.

2.2.1 Kolstål

I undersökningen exponerades provplåtar med dimensionen 150×100×3 mm av varmvalsat kolstål, stål SS 1312-00 enligt den nu indragna svenska standarden SS 14 13 12, som nu motsvaras av stål med stålbeteckning S235JRG2 och stålnummer 1.0038 enligt svensk standard SS-EN 10 025 + A1 [10]. De varmvalsade kolstålsplåtarna exponerades med glödska på metallytan. Sammansättningen hos kolstålet framgår av tabell 2-8.

Tabell 2-8 Sammansättning av det varmvalsade kolstålet.

Sammansättning mass-%									
C	Mn	Cu	Si	Ni	Cr	S	P	N	Fe
0,05	0,30	0,21	0,20	0,12	0,10	0,03	0,009	0,008	rest.

2.2.2 Förzinkat stål

I undersökningen exponerades provplåtar med dimensionen 150×100×2 mm av varmförzinkat kolstål. Varmvalsat kolstål, stål SS 1312-00 enligt den nu indragna svenska standarden SS 14 13 12 som nu motsvaras av stål med stålbeteckning S235JRG2 och stålnummer 1.0038 enligt svensk standard SS-EN 10 025 + A1 [10], doppades i zinksmälta vid cirka 460 °C. Sammansättningen hos kolstålet framgår av tabell 2-9.

Tabell 2-9 Sammansättning hos det varmvalsade kolstålet.

Sammansättning mass-%												
C	Mn	Si	P	Si + P	Si ekv ¹	Al	Ni	Cr	Cu	S	N	Fe
0,08	0,35	0,10	0,02	0,12	0,15	0,08	0,04	0,03	0,02	0,02	0,004	rest.

¹ Si ekvivalent = [Si] + 2,5×[P]. Si ekvivalenten får enheten mass-% då [Si] och [P] anges i mass-%.

Zinkskiktets tjocklek mättes på varje plåt på båda sidorna i sammanlagt tio punkter. I tabell 2-10 visas en sammanställning med statistiska parametrar för uppmätta skikt tjocklekar. Medianvärdet hos beläggningens tjocklek 165 µm motsvarar beläggningens massa 1 190 g/m² per enkel sida. Halten av Si + P var 0,12 mass-% i stålet, vilket gav upphov till ojämn zinkbeläggning genom den så kallade Sandelin-effekten.

Tabell 2-10 Statistiska parametrar för lokal skikt tjocklek på varmförzinkade provplåtar.

Parameter	Mätvärde
Antal provplåtar	366
Antal mätpunkter (mätareor) per stång	10
Antal mätvärden (antal lokala skikt tjocklekar)	3 655
Minsta värde (minsta lokala skikt tjocklek), µm	50
Nedre kvartil, µm	145
Medianvärde, µm	165
Övre kvartil, µm	185
Största värde (största lokala skikt tjocklek), µm	290
Medelvärde (medelskikt tjocklek), µm	165
Standardavvikelse, µm	33

Zinkskiktets uppbyggnad undersöktes med ljusoptiskt mikroskop och med svepelektronmikroskop med energidispersiv röntgenanalys efter etsning i lösning innehållande pikrinsyra, etanol och avjoniserat vatten. Zinkbeläggningen bestod helt av järn-zinklegering (grått zinkskikt). En typisk beläggning med total tjocklek 180 µm var uppbyggd av två skikt: ett delta-(δ)-skikt med tjockleken 8–12 µm med järnhalten cirka 12 mass-% längst in mot stålet och ett yttre tjockt zeta-(ζ)-skikt med järnhalten cirka 6 mass-%.

Zinkbeläggningens innehåll av andra metaller än zink och järn analyserades med ICP-TOFMS (induktivt kopplad plasma-löptidsmasspektrometri) efter upplösning av zinkskiktet i saltsyra med inhibitor för att undvika upplösning av det underliggande stålet. Av analysresultat i tabell 2-11 framgår att zinkskiktet innehöll 0,3 mass-% bly.

Tabell 2-11 Sammansättning hos zinkskiktet på det varmvalsade kolstålet. Medelvärde av dubbelprov anges.

Halt		
Bly mass-% Pb	Kadmium µg Cd/g beläggning	Tallium µg Tl/g beläggning
0,32	1,2	1,2

2.2.3 Zink

I undersökningen exponerades provplåtar med dimensionen 150×100×1 mm av zink med halten 99,99 mass-%. Sammansättningen hos zinken framgår av tabell 2-12.

Tabell 2-12 Sammansättning hos provplåtarna av zink.

Sammansättning mass-%								
Fe	Pb	Cu	Al	Ti	Mg	Cd	Sn	Zn
0,0071	0,0032	0,0009	> 0,001	> 0,001	> 0,0005	> 0,0005	> 0,0005	Rest.

2.3 Korrosionsutvärdering

Korrosionshastigheten anges dels som hastigheten för jämn (allmän) korrosion, dels som hastigheten för maximal lokal korrosion. Den jämna korrosionen har beräknats från provernas massförlust. Provplåtarna vägdes före exponeringen och efter att plåtarna tvättats rena från löst sittande jord efter exponeringen betades provplåtarna av kolstål vid rumstemperatur i Clarkes lösning (koncentrerad HCl med 20 g Sb_2O_3 /l och 60 g $\text{SnCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ /l) och vägdes. Provplåtarna av förzinkat stål och zink betades i kromsyralösning vid 80 °C.

Betning innebär att man tar bort smuts och korrosionsprodukter från ett metallprov genom att doppa det en viss tid i ett betmedel, som väljs med hänsyn till metallen, till exempel ett syrabad med tillsats av korrosionsinhibitor.

Betningen sker i flera omgångar med vägning mellan varje. Efter den första betningsomgången skall metallen vara fri från korrosionsprodukter och efter påföljande omgångar får man genom vägningen reda på hur mycket metall som fräts bort vid varje omgång. Genom linjär regression anpassar man en rät linje till massförlusten vid varje betomgång som funktion av bettiden. Genom att extrapolera den rätta linjen till bettiden noll får man fram massförlusten utan tillskott av metallupplösning vid betningen. Vid omräkning av massförlust till jämn korrosion användes densiteten 7 860 kg/m³ för kolstål och 7 130 kg/m³ för zinkskiktet på förzinkat stål och zink.

Maximalt frätdjup på kolstålsplåtarna bestämdes i mikroskop genom fokusering dels i det djupast frätta stället, dels på oangripen yta intill det frätta stället.

3 Resultat

3.1 Korrosionshastigheter

3.1.1 Kolstål

Korrosionshastigheterna efter cirka 1, 3, 7 och 18 års exponering visas i tabell 3-1. Korrosionshastigheten är angiven dels som jämn korrosion, omräknad från massförlusten, dels som lokal korrosion, uppmätt i mikroskop.

De två högsta korrosionshastigheterna uppmättes bägge på den övre nivån i naturlig jord på provningsplatserna Göteborg och Enköping. Lägst korrosionshastighet uppmättes i sand i omättad zon ovan grundvattenytan i Linköping.

Kolstål uppvisade högre korrosionshastighet på den övre provnivån i originaljord än på den nedre nivån. Här avviker sandjorden i Linköping, som uppvisar något högre korrosionshastighet i vattenmättad grusig sand under grundvattenytan än i sanden ovan grundvattenytan. De högsta lokala korrosionshastigheterna uppmättes på den övre nivån i naturlig jord på provningsplatserna Göteborg och Enköping. Den lokala korrosionen var i allmänhet högre på den övre nivån än på nedre nivån. I Linköping var den lokala korrosionshastigheten ungefär lika stor både över och under grundvattennivån.

I sandfyllning var korrosionshastigheten i allmänhet högre på den övre provnivån än på den nedre nivån. Vid provningsplatserna Kramfors och Stockholm var korrosionshastigheterna ungefär lika.

Sandfyllningens inverkan är oklar. På de mest korrosiva platserna, Göteborg och Enköping, var korrosionshastigheten lägre i sandfyllning på den övre nivån. På provningsplatsen Laxå var också korrosionshastigheten på den övre nivå lägre i sandfyllning än i torven. På provningsplats Kramfors var däremot korrosionshastigheten högre i sandfyllning än i original jorden, medan korrosionshastigheten i Stockholm var ungefär lika stor i sandfyllning som i originaljorden.

På den nedre provnivån var bilden splittrad. På tre provningsplatser, Sollentuna, Göteborg och Laxå, var korrosionshastigheten lägre i sandfyllning än i originaljord, medan den var högre i sandfyllning än i originaljord på provningsplatserna Enköping och Stockholm. I Kramfors var slutligen korrosionshastigheten ungefär lika i sandfyllning och i originaljorden siltig lera.

Den lokala korrosionshastigheten var i allmänhet lägre i sandfyllning än i originaljord på den övre nivån med undantag för provningsplats Kramfors där den lokala korrosionshastigheten var högre i sandfyllning än i den siltiga leran. På den nedre provnivån var den lokala korrosionshastigheten däremot högre i sandfyllning än i originaljord (Kramfors, Göteborg och Laxå) eller ungefär lika stor (Enköping, Sollentuna och Stockholm).

De mest korrosiva jordarna var gyttjig lera och lera, provningsplatserna Göteborg och Enköping. Om korrosionen också betraktas på de andra provningsplatserna med gyttjig lera och lera kan finnas att korrosiviteten är något högre i gyttjig lera än i lera. Den minst korrosiva jorden var sanden i Linköping.

Tabell 3-1 Korrosionshastigheter för jämn respektive maximal lokal korrosion på kolstål efter cirka 1, 3, 7 och 18 års exponering på olika provningsplatser. Korrosionshastigheterna anges som medelvärde för trippelprov.

Provningsplats	Korrosionshastighet µm/år							
	Övre nivå		Övre nivå i sandfyllning		Nedre nivå		Nedre nivå i sandfyllning	
Exponeringstid, år	Jämn korrosion	Lokal korrosion	Jämn korrosion	Lokal korrosion	Jämn korrosion	Lokal korrosion	Jämn korrosion	Lokal korrosion
Enköping								
1,00 år	24		46		14		14	
2,82 år	13		23		8,2		9,0	
6,95 år	22	150	17	95	11	58	15	51
17,79 år	17	92	15	71	7,6	34	8,8	26
Sollentuna								
1,33 år	25		25		7,0		8,6	
3,01 år	14		18		5,9		13	
7,14 år	–	–	17	78	11	32	8,3	25
24,71 år	12	36	13	52	5,0	17	6,1	14
Kramfors								
1,05 år	11		35		14		16	
2,87 år	7,3	59	25	65	9,4	48	10	51
4,94 år	12	51	20	106	6,1	21	6,3	40
Göteborg								
1,01 år	23		37		19		15	
2,83 år	28		34		13		23	
7,01 år	29	189	19	106	18	62	15	76
18,01 år	23	135	17	86	14	44	11	42
Stockholm								
1,09 år	37		42		7,7		11	
3,04 år	38		21		16		27	
8,20 år	17	94	18	105	9,9	54	19	65
18,08 år	13	70	12	77	8,0	46	12	50
Laxå								
1,21 år	29		8,9		18		9,1	
3,12 år	17		6,8		20		5,0	
7,28 år	15	79	5,1	41	14	35	3,8	52
18,24 år	11	30	4,4	30	12	14	2,9	50
Linköping 1								
1,02 år	12							
2,84 år	7,6							
7,02 år	6,4	60						
18,00 år	4,3	35						
Linköping 2								
1,02 år	19							
3,03 år	13							
7,02 år	11	16						
18,00 år	6,6	14						

3.1.2 Förzinkat stål

Korrosionshastigheterna efter cirka 1, 3 och 7 års exponering visas i tabell 3-2. Korrosionshastigheten har beräknats från plåtarnas massförlust och anges som hastigheten för jämn korrosion. Efter 18 års exponering var stora delar av zinksiktet bortkorroderat på provplåtarna med undantag för plåtarna exponerade i sanden i Linköping. Det var därför inte möjligt att utvärdera korrosionshastigheten efter 18 års exponering i lera, gyttjig lera och torv.

Korrosionshastigheten var i allmänhet något högre på den övre provnivån än på den nedre provnivån, både i originaljord och i sandfyllning. Vidare var korrosionshastigheten på de båda provnivåerna också i allmänhet lägre i sandfyllning än i originaljord. Sandfyllning har således en positiv inverkan på korrosionshastigheten hos zinksiktet hos förzinkat stål. Uppdelat efter jordart ökade korrosiviteten i följande ordning:

sand < lera < gyttjig lera < torv

Från tidigare undersökningar vid Korrosionsinstitutet [19] framkom att den jämna korrosionshastigheten i sandig morän var ungefär lika stor som i sand.

Korrosionshastigheterna minskade i allmänhet något med längre exponeringstid.

3.1.3 Zink

Korrosionshastigheterna efter cirka 1, 3 och 7 års exponering visas i tabell 3-3. Korrosionshastigheten har beräknats från plåtarnas massförlust och anges som hastigheten för jämn korrosion. Efter 18 års exponering var stora delar av zinkplåtarna mekaniskt skadade med undantag för plåtarna exponerade i sanden i Linköping. Detta torde bero på för tunn godstjocklek hos provplåtarna. Det var därför inte möjligt att utvärdera korrosionshastigheten efter 18 års exponering i lera, gyttjig lera och torv.

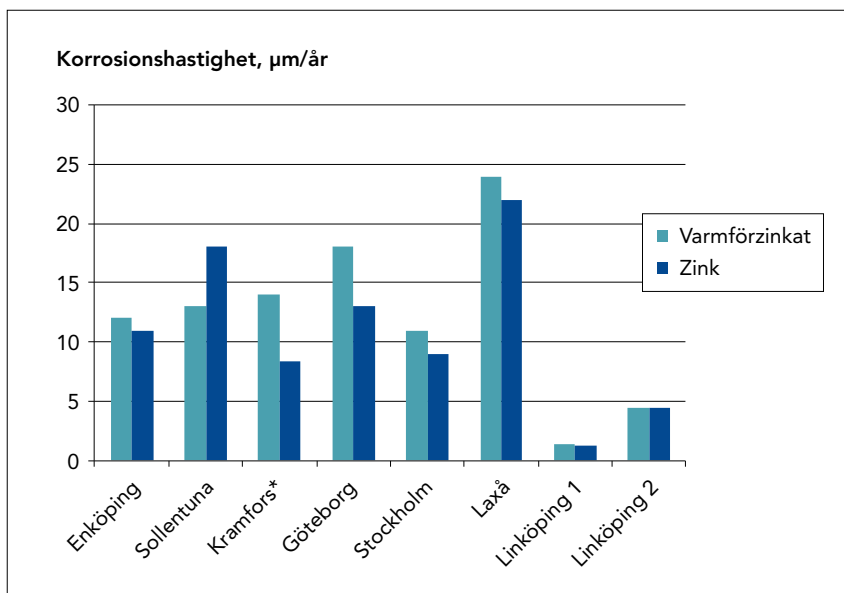
Zink uppträdde på liknande sätt som zinksiktet på förzinkat stål. Av figur 3-1 framgår att korrosionshastigheten i allmänhet var något lägre för zink än förzinkat stål på den övre provnivån efter 7 års exponering förutom vid provningsplats Sollentuna. Detta kan bero på att zinksiktet på det varmförzinkade stålet inte bestod av ren zink utan av järn-zinklegering med järnhalten cirka 6 mass-%. Ren zink korroderade alltså mindre än järn-zinklegering, det vill säga är mera korrosionshärdig.

Tabell 3-2 Korrosionshastigheter för jämn korrosion på zinksiktet hos förzinkat stål efter cirka 1, 3, och 7 års exponering på olika provningsplatser. Korrosionshastigheterna anges som medelvärde för trippelprov.

Provnings- plats	Korrosionshastighet µm/år			
	Övre nivå	Övre nivå i sandfyllning	Nedre nivå	Nedre nivå i sandfyllning
Exponerings- tid, år	Jämn enkelsidig korrosion	Jämn enkelsidig korrosion	Jämn enkelsidig korrosion	Jämn enkelsidig korrosion
Enköping				
1,00 år	13	9,4	12	8,0
2,82 år	16	21	13	11
6,95 år	12	9,7	9,3	6,3
Sollentuna				
1,33 år	29	8,0	10	6,1
3,01 år	27	9,1	16	13
6,95 år	13	9,3	6,7	8,4
Kramfors				
1,05 år	23	13	24	11
2,87 år	13	9,4	11	6,8
4,94 år	14	10	11	6,2
Göteborg				
1,01 år	30	6,2	23	4,4
2,83 år	27	11	30	22
7,01 år	18	12	17	13
Stockholm				
1,09 år	12	3,8	5,1	17
3,05 år	16	3,5	16	17
8,20 år	11	3,3	10	11
Laxå				
1,21 år	23	10	20	14
3,12 år	28	20	29	11
7,28 år	24	14	20	7,5
Linköping 1				
1,02 år	3,2			
2,84 år	1,8			
7,02 år	1,4			
18,00 år	1,1			
Linköping 2				
1,02 år	8,5			
3,03 år	4,4			
7,02 år	4,4			
18,00 år	2,6			

Tabell 3-3 Korrosionshastigheter för jämn korrosion på zink efter cirka 1, 3, och 7 års exponering på olika provningsplatser. Korrosionshastigheterna anges som medelvärde för trippelprov.

Provnings-plats	Korrosionshastighet µm/år			
	Övre nivå	Övre nivå i sandfyllning	Nedre nivå	Nedre nivå i sandfyllning
Exponerings- tid, år	Jämn enkelsidig korrosion	Jämn enkelsidig korrosion	Jämn enkelsidig korrosion	Jämn enkelsidig korrosion
Enköping				
1,00 år	14	8,1	14	8,3
2,82 år	15	16	14	11
6,95 år	11	7,0	6,5	4,6
Sollentuna				
1,33 år	25	6,3	10	3,8
3,01 år	17	7,0	10	9,3
6,95 år	18	9,2	7,3	6,5
Kramfors				
1,05 år	19	10	15	8,5
2,87 år	12	9,5	8,7	6,8
4,94 år	8,4	11	8,3	6,4
Göteborg				
1,01 år	34	15	18	5,0
2,83 år	26	4,7	34	12
7,01 år	13	7,3	9,6	5,0
Stockholm				
1,09 år	15	5,8	6,2	10
3,05 år	12	3,2	11	15
8,20 år	9,0	3,1	9,9	15
Laxå				
1,21 år	23	7,3	31	6,8
3,12 år	18	9,5	20	7,3
7,28 år	22	8,5	20	3,5
Linköping 1				
1,02 år	2,6			
2,84 år	1,6			
7,02 år	1,2			
18,00 år	0,9			
Linköping 2				
1,02 år	6,6			
3,03 år	3,6			
7,02 år	4,5			
18,00 år	2,9			



Figur 3-1 Korrosionshastighet, $\mu\text{m}/\text{år}$ för varmförzinkat stål och zink exponerade på övre nivån under 7 år. * Kramfors; exponering 5 år.

4 Diskussion

4.1 Inverkan av jordarten

4.1.1 Kolstål

För kolstål var både den jämna och lokala korrosionen högst i gyttjig lera (Göteborg och Stockholm).

Initialt, efter ett år, var den jämna korrosionshastigheten ungefär lika för de olika provtagningsplatserna. Ju längre tid provplåtarna exponeras, ju större blir skillnaderna i jämn korrosionshastighet. Av detta framgår att det är viktigt att korrosionsundersökningen pågår under en längre tid, absolut mer än ett år, för att det skall vara möjligt att klargöra de lokala förhållandena.

Efter längre exponeringstid var den jämna korrosionshastigheten på den övre provnivån högst i Göteborg och Enköping och på den nedre nivån var den högst i Göteborg och Laxå. Den högre korrosionshastigheten vid provningsplatserna Göteborg och Stockholm kan till viss del sättas i samband med förhöjda halter av klorid i jorden.

Såväl den jämna som lokala korrosionshastigheten var lägst i sanden i omättad zon och i den vattenmättade grusiga sanden i Linköping. I den vattenmättade grusiga sanden var också markvattnets alkalinitet förhöjd. Den låga korrosionshastigheten i grusig sand torde bero på att jorden är vattenmättad vilket bidrar till en reducerad syretillgång. Dessutom kan den förhöjda alkaliniteten ha bidragit till att det utbildats ett skyddande lager av karbonathaltiga korrosionsprodukter och andra beläggningar som haft en reducerande inverkan på korrosionshastigheten.

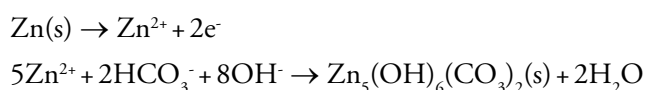
Från tidigare undersökningar vid Korrosionsinstitutet [19] framkom att den jämna korrosionshastigheten i sandig morän var ungefär lika stor som i sand.

4.1.2 Förzinkat stål och zink

Korrosionshårdigheten hos zink och förzinkat stål i jord beror till stor del på möjligheten till bildning av karbonathaltiga beläggningar på zinkytan och då speciellt zinkhydroxidkarbonatet hydrozinkit, $\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$, som korrosionsprodukt.

Vid passivering av zink i jord samverkar flera parametrar: syretillförseln genom jorden, vattenhalten, pH-värdet och halten passiverande ämnen, till exempel vätekarbonatjon HCO_3^- , i jordvattnet (mark- och grundvatten). Resultaten från den amerikanska undersökningen vid National Bureau of Standards [20] visade att korrosionshastigheten var väsentligt lägre i väl-luftade jordar än i dåligt luftade jordar. Korrosionshastigheten avtog också med tiden i väl-luftade jordar vilket inte alltid var fallet i dåligt luftade jordar.

Vid korrosion av zink (Zn) bildas zink(II)joner (Zn^{2+} -joner) varpå hydrozinkit kan fällas ut:



Passivering av zinkytan genom bildningen av hydrozinkit bestäms således av:

- Zn^{2+} -halten på zinkytan.
- pH-värdet på zinkytan.
- Vätekarbonathalten på zinkytan.

Zn^{2+} -halten bestäms i sin tur av:

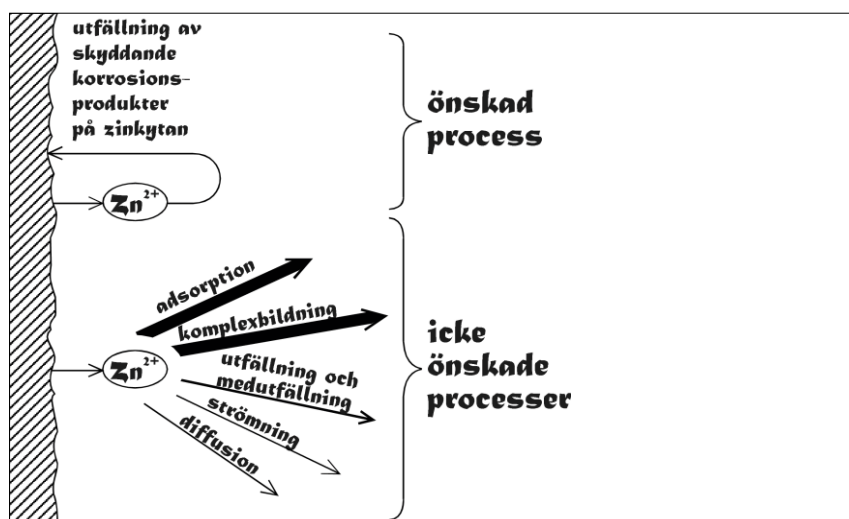
- Produktionshastigheten av zinkjoner genom korrosion.
- Hastigheten hos borttransporten av zinkjoner från metallytan.

Initialt bestäms korrosionen i stor utsträckning av syrgasens transporthastighet fram till metallytan. Vid snabb syretransport, det vill säga god luftning, korroderar zinken snabbare och en högre Zn^{2+} -halt erhålls på zinkytan. Utfällningen av hydrozinkit gynnas av en hög Zn^{2+} -halt. Transporthastigheten för syrgas är i sin tur ytterst beroende av jordens vattenhalt.

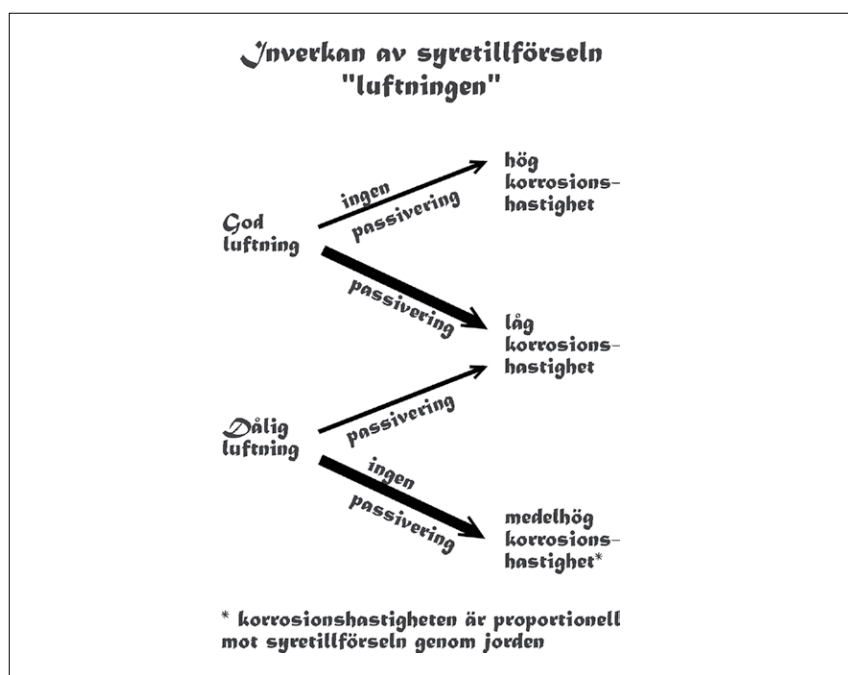
En snabb initial korrosionshastighet ger inte bara upphov till en högre Zn^{2+} -halt på zinkytan utan ger också upphov till en pH-höjning på metallytan genom korrosionsprocessens katodreaktion som innebär syrgasreduktion och bildning av hydroxidjoner, OH^- . pH-höjningen på metallytan är nödvändig för att åstadkomma utfällning av hydrozinkit.

För att någon skyddande beläggning skall bildas på zinkytan krävs att Zn^{2+} -jonerna inte transporteras bort från zinkytan, utan att de utfälls som ett svårslösligt salt på metallytan, se figur 4-1. Zn^{2+} -jonerna kan transporteras bort genom olika processer såsom adsorption, komplexbildning samt utfällning och medutfällning. Zn^{2+} -joner kan också borttransporteras via vattenströmning och diffusion i vattenfasen. De rena transportprocesserna vattenströmning och diffusion torde i allmänhet vara för långsamma för att vara utslagsgivande.

Processerna som är av störst intresse är adsorption och komplexbildning. Med komplex avses lösliga Zn-komplex i vattenfasen. Bildning av fasta ytkomplex på mineralytor hänförs till adsorption, varvid en molekyl eller en jon i jordvattnet binds till en fast mineralyta.



Figur 4-1 Inverkan av syretillförseln på passiveringsförloppet och korrosionshastigheten hos zink i jord.



Figur 4-2 Önskad process och icke önskade processer vid bildandet av skyddande korrosionsprodukter på zinkytan i jord.

Adsorptionen sker via funktionella grupper på mineralytan där OH-gruppen är den viktigaste funktionella gruppen. Katjoner (till exempel Ca^{2+}) som bundits genom adsorption kan utbytas mot en annan jon (till exempel Zn^{2+}) genom en utbytesreaktion. Zinkjoner kan adsorberas på oxider, hydroxider och oxidhydroxider av järn, mangan och aluminium, lermineral, silikatmineral, kalcit och organiskt material.

Komplexbildning av Zn^{2+} -joner i jordvattnet sker företrädesvis med organiska substanser. Jordvattnets huvudsakliga organiska komponenter är fulvosyror, humussyror och så kallade hydrofila syror.

En snabb syretransport (god luftning) gynnar passiveringsförloppet, se figur 4-2. Om inte zinkytan täcks av skyddande korrosionsprodukter borde en snabb syrgastransport medföra en högre korrosionshastighet. Det finns en inbyggd dualism i inverkan av jordens luftning på korrosionsprocessen: en god luftning av jorden främjar bildandet av skyddande korrosionsprodukter, men om det av någon anledning inte bildas skyddande korrosionsprodukter verkar den goda luftningen korrosionsstimulerande. I vattenmättad jord försvåras bildningen av skyddande korrosionsprodukter, men å andra sidan ger den lägre syrgastransporthastigheten upphov till lägre korrosionshastighet även om det inte bildas några skyddande korrosionsprodukter.

Att korrosionshastigheten följer ordningsföljden sand $\approx$ sandig morän < lera < gyttjig lera < torv torde i hög grad bero på jordarternas förmåga att adsorbera och komplexbinda zinkjoner, som försvårar bildningen av skyddande skikt av korrosionsprodukter på zinkytan. Att torv har den högsta korrosiviteten mot zink torde bero på lågt pH-värde i jordlösningen, hög vattenhalt i jorden och mycket stor förmåga att adsorbera och komplexbinda joner. Alla dessa faktorer försvårar bildandet av skyddande korrosionsprodukter.

Vid jämförelse av resultaten från provningsplatsen Linköping framgår att korrosionshastigheten var lägre i sanden i omättad zon än i den vattenmättade grusiga sanden, trots att den grusiga sanden är den enda jorden med en viss kalciumkarbonathalt, CaCO_3 -halt, (3 mass-%) och därför har det högsta pH-värdet både i jorden och i grundvattnet bland de undersökta jordarna. Det verkar som om effekten av den goda luftningen av sanden i den omättade zonen överväger effekten av CaCO_3 -innehållet i den vattenmättade grusiga sanden. Därför blir korrosionshastigheten lägre i den omättade zonen än i den mättade zonen.

Sammanfattningsvis beror den generellt relativt höga korrosionshastigheten hos zinkbeläggningen primärt på den höga vattenmättnadsgraden och den mycket låga CaCO_3 -halten i jordarna. Den höga vattenmättnadsgraden ger upphov till långsam syretillförsel genom jorden och den låga karbonathalten ger i sin tur upphov till låg alkalinitet och lågt pH-värde i jordvattnet. Det är tydligt att det krävs en hög alkalinitet och ett högt pH-värde i jordvattnet för att överskugga den för passiveringen negativa inverkan av jordens och jordvattnets adsorptions- och komplexbildningsförmåga i torv- och lerjordar med hög vattenhalt.

Jordartsserien för korrosivitet mot förzinkat stål är tillämplig för jordar med låg karbonathalt. En högre karbonathalt i jorden ger upphov till en högre alkalinitet och ett högre pH-värde i jordvattnet. Båda dessa faktorer gynnar bildandet av karbonathaltiga korrosionsprodukter på zinkytan. För jordar med kalciumkarbonatförekomst, kalkhaltiga jordar, torde korrosionshastigheten bli något lägre än i jämförbara jordar med ingen eller ringa CaCO_3 -halt. Korrosionen i kalkhaltiga jordar i Sverige är dåligt undersökta, men det finns indikationer på att korrosionshastigheten hos zinksiktet på förzinkat stål är lägre i skånska kalkhaltiga leror än i icke kalkhaltiga leror.

Svenska jordar har i allmänhet mycket låg karbonathalt. Den låga karbonathalten i jorden beror på att berggrunden till mycket stor omfattning (75 %) består av urberg, det vill säga prekambrisk kristallin berggrund äldre än 570 miljoner år. Det är endast i områden med sedimentär berggrund (kalksten, sandsten och lersten) som jorden innehåller CaCO_3 i någon större utsträckning. Större sådana områden finns i Skåne, på Öland och Gotland och området kring Storsjön i Jämtland. Den dominerande jordarten i dessa områden är lerig morän eller lermorän.

4.2 Inverkan av förläggningsdjup och sandfyllning

4.2.1 Kolstål

Både den jämna och den lokala korrosionshastigheten var i de flesta fall högre på den övre provnivån än på den nedre provnivån. Detta gäller för både originaljord och sandfyllning. Förklaringen till detta torde vara den bättre luftningen på den övre nivån, vilket har en stimulerande effekt på katodreaktionen. Orsaken är troligen att syrediffusionen till metallytan är snabbare till den övre provnivån över grundvattennivån än till den nedre provnivån. Det är vanligt att korrosionsprocessen i jord är katodiskt reglerad, det vill säga syretillgången styr korrosionshastigheten. Detta medför att ökad tillgång på syrgas bidrar till ett kraftigare korrosionsangrepp.

Transporten av syrgas genom jorden fram till metallytan styrs i hög grad av jordens vattenhalt. Transporten blir snabbare i jord med låg vattenhalt än i jord med hög vattenhalt eller i vattenmättad jord. Vid tidigare laboratorieundersökningar har det framkommit att vattenhalten har en mycket stor betydelse för korrosionen av kolstål [21]. Vid en viss, för korrosionen optimal, vattenhalt erhålls maximal jämn och maximal lokal korrosionshastighet. Denna optimala vattenhalt låg på 6 mass-% av fuktig jord eller 10 vol-% och vattenmättnadsgraden 27 vol-% för kolstål i kvartssand [21]. Vid lägre och högre vattenhalt än den för korrosionen optimala vattenhalten minskade både den jämna och lokala korrosionshastigheten.

Sandfyllningens inverkan är mera oklar. På de mest korrosiva platserna, Göteborg och Enköping, var korrosionshastigheten lägre i sandfyllning på den övre nivån. För övrigt finns ingen tydlig effekt av sandfyllningen. Den lokala korrosionshastigheten var dock i allmänhet lägre i sandfyllning än i originaljord på den övre nivån med undantag för provningsplats Kramfors.

På den nedre nivån råder det ett splittrat samband mellan korrosionshastigheten i sandfyllningen respektive originaljorden. Detta kan delvis förklaras med att det inte är någon direkt skillnad på syrets diffusionshastighet i sandfyllningen och originaljorden på denna provnivå beroende på att jorden är vattenmättad.

Efter tre års exponering var också både den jämna och lokala korrosionshastigheten generellt sett högre i sandfyllningen än i originaljorden på den övre provnivån. Den högre korrosionshastigheten i sandfyllningen relaterades till dess större permeabilitet. Detta leder till att syretransporten underlättas, vilket stimulerar katodreaktionen och ökar korrosionen främst genom bildning av mikro- och miniluftningsceller. Efter 7 och 18 års exponering är bilden inte lika entydig. Det förefaller som den negativa effekten av sandfyllningen efter tre års exponering mildrats efter längre exponeringstid. Nu verkar det som de positiva effekterna av sandfyllningen överväger med åtminstone lägre lokal korrosionshastighet i sandfyllning än i originaljorden.

4.2.2 Förzinkat stål och zink

Den i de flesta fall högre korrosionshastigheten på den övre provnivån beror på att transporthastigheten för syrgas, O_2 , är högre på den övre provnivån än på den nedre nivån. Detta beror på kortare diffusionsväg för O_2 och att vattenmättnadsgraden är lägre längs diffusionsvägen fram till provplåtarna på den övre nivån.

Korrosionshastigheten var i allmänhet lägre i sandfyllningen än i originaljorden. Sandfyllningen har lägre katjonutbyteskapacitet och organisk halt och i allmänhet också högre pH-värde än originaljorden. Adsorptionsförmågan för zinkjoner är alltså betydligt lägre i sandfyllningen än i omkringliggande lera eller torv. Sandfyllningen är också mer genomsläpplig för jordluft och vatten än originaljorden. Sandfyllningen fungerar bra för förzinkat stål och zink och ökar zinkens korrosionshårdighet.

Det är viktigt att sandfyllningen är tillräckligt tjock och täcker hela konstruktionen. Det är vidare betydelsefullt att inga ler- eller andra jordklumpar i sandfyllningen ligger an mot konstruktionen: Under jordklumpar i sandfyllningen kan det uppstå korrosionsangrepp orsakade av luftningsceller.

4.3 Inverkan av klorid och sulfid i jorden

Korrosionshastigheten var högst för både kolstål, förzinkat stål och zink vid provningsplatsen Göteborg bland provningsplatserna med jordarten lera eller gyttjig lera. Det är svårt att bedöma vilken inverkan den högre kloridhalten i Göteborg har på korrosionen. Korrosionshastigheten var större för kolstål på den övre provnivån och ungefär lika stor för både förzinkat stål och zink på de bägge provnivåerna trots att kloridhalten var 12 gånger högre på den nedre nivån än på den övre nivån. Jordens kloridhalt förefaller därför inte ha någon avgörande inverkan på kolståls och zinkens korrosionshastighet, utan effekten av kloriderna torde överskuggas av andra faktorer.

Korrosionshastigheten vid provningsplatsen Kramfors med sulfidrik svart siltig lera skiljde sig inte från de andra provningsplatserna med jordarten lera för förzinkat stål och zink. För kolstål var korrosionshastigheten lägre. Av detta framgår att en hög sulfidhalt i jorden i vattenmättad jord inte inverkar på korrosionshastigheten. Det kan alltså konstateras att en svart sulfidinhållande jord som sådan inte medför förhöjd korrosionshastighet.

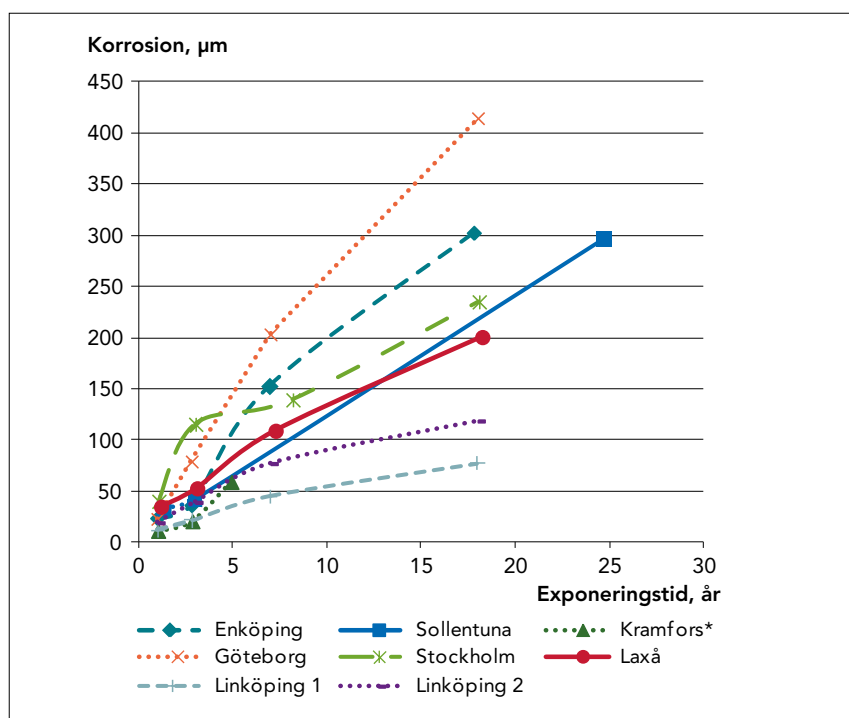
Provplåtarna i Kramfors exponerades på djupen 1,2 respektive 2,2 meter. Vid provningsplatsen finns grundvattennivån på djupet 0,7 meter eller ännu närmare markytan under drygt halva året. Jorden på nedre provnivån är alltid vattenmättad. På den övre provnivån är jorden på provningsplatsen också vattenmättad under en stor del av året på grund av att grundvattennivån står så nära markytan och genom vattentransport genom kapillär stigning. Detta innebär att skillnaden i vattenmättnadsgrad är tämligen liten under året mellan den övre och nedre provnivån.

Sulfiden är bunden i jorden som amorf FeS , mackinawit Fe_{1-x}S och pyrit FeS_2 i sulfidhaltiga leror i norra Sverige och därför är sulfidhalten mycket låg i jordvattnet i vattenmättad jord. Av det experimentella underlaget går det inte att uttala sig om vilken inverkan en oxidation av järnsulfiderna i jorden, som medför höjd sulfathalt och sänkt pH-värde, har på korrosionshastigheten.

4.4 Inverkan av exponeringstid

4.4.1 Kolstål

Av figur 4-3 med korrosionens tidsutveckling framgår att korrosionshastigheten på provplåtar av kolstål minskade något med längre exponeringstid. Detta gäller främst för provplåtar från Stockholm (gyttjig lera) Sollentuna (lera), Laxå (torv) och Linköping (sand). För provplåtar i Göteborg (gyttjig lera) och Enköping (lera) med den högsta korrosionshastigheten var minskningen med tiden inte lika påtaglig. Här skiljer sig tidsutvecklingen från de som erhållits vid exponering av nedslagna stålplåtar. En tidigare undersökning vid Swerea KIMAB visade att korrosionshastigheten var konstant med tiden för stålplåtar.

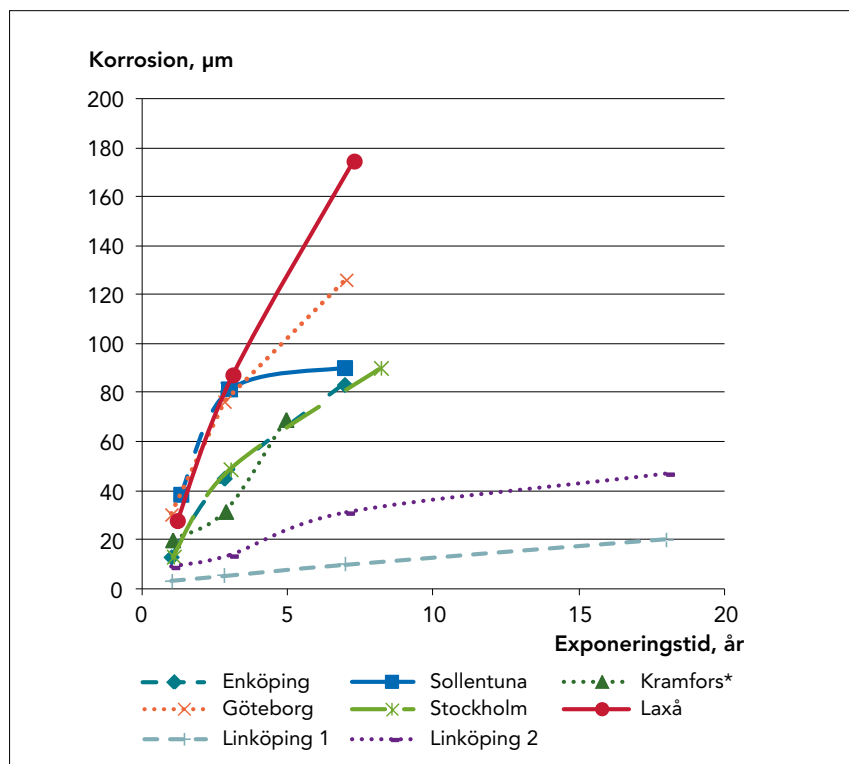


Figur 4-3

Korrosion i μm , av kolstålprov exponerade på övre nivån, som funktion av tiden på de olika provningsplatserna.

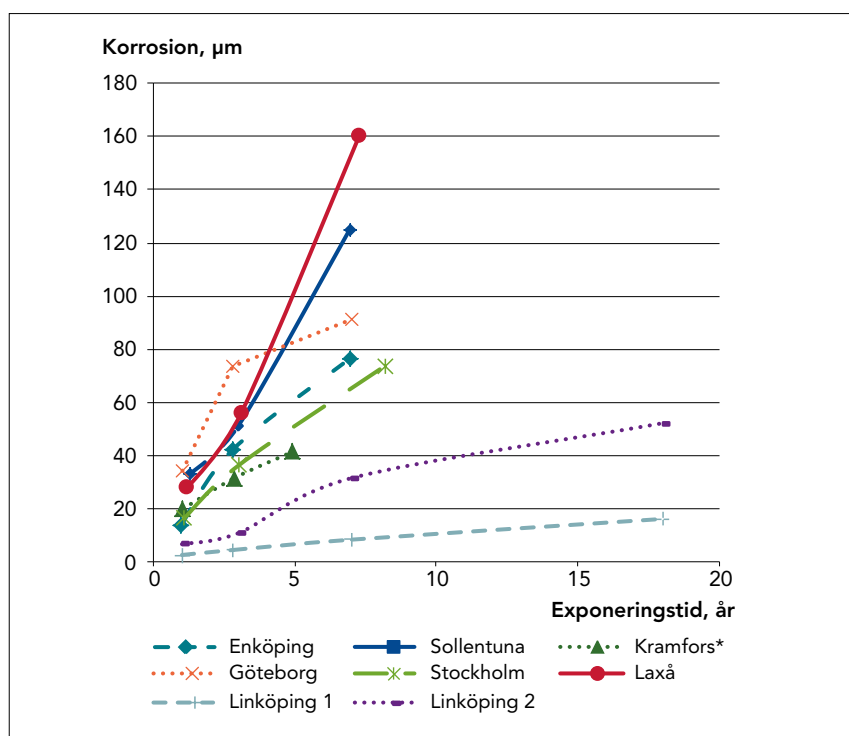
4.4.2 Förzinkat stål och zink

Av figur 4-4 och 4-5 med korrosionens tidsutveckling för förzinkat respektive zink, framgår att korrosionshastigheten på provplåtar av förzinkat stål och zink minskade något med längre exponeringstid. För provplåtar i Göteborg (gyttjig lera) och Sollentuna (lera) med den högsta korrosionshastigheten och Linköping 1 (sand) med lägsta korrosionshastigheten) var minskningen med tiden inte lika påtaglig.



Figur 4-4

Korrosion i μm , av förzinkat stål exponerade på övre nivån, som funktion av tiden på de olika provningsplatserna.



Figur 4-5 Korrosion i µm, av zink exponerade på övre nivån, som funktion av tiden på de olika provningsplatserna.

4.5 Användning av kolstål och förzinkat stål i jord

4.5.1 Kolstål

För kolstål är den jämna korrosionshastigheten högst i gyttjig lera följd av lera och torv med ungefär lika stor korrosionshastighet. Korrosionshastigheten är lägst i sand och sandig morän. Sandig morän (sandig-moig morän) är den vanligaste jordarten i Sverige.

Följande generella indelning kan göras mellan korrosionshastighet och jordart. Den jämna korrosionshastigheten ökade i följande jordartsordning:

sand ≈ sandig morän < torv ≈ lera < gyttjig lera

Från undersökningarna med lång exponeringstid framgår att korrosionshastigheten var måttlig för kolstål avseende både jämn och lokal korrosion. För kolstål kan man ofta räkna med den jämna enkelsidiga korrosionshastigheten 20 µm/år (0,02 mm/år). För 100 år blir den enkelsidiga avfrätningen 2 mm (2 mm/100 år).

Sandfyllning kan anses ha en positiv inverkan på korrosionshastigheten hos kolstål under förutsättning att sandfyllningen görs på ett riktigt sätt. Viktiga krav på sandfyllningen är:

- Tillräckligt tjock sandfyllning.
- Hela konstruktionen täcks med sandfyllning.
- Inga ler- eller andra jordklumpar i sandfyllningen som ligger an mot metallytan.

En slarvigt utförd sandfyllning kan göra mer skada än ingen sandfyllning alls.

4.5.2 Förzinkat stål

Förzinkning är det viktigaste och vanligaste korrosionsskyddet på stål i jord. Korrosionshårdigheten hos zink och förzinkat stål i jord beror till stor del på möjligheten till bildning av karbonathaltiga beläggningar på zinkytan och då speciellt zinkhydroxidkarbonatet hydrozinkit, $\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$, som korrosionsprodukt.

För svenska jordar med låg kalciumkarbonathalt (CaCO_3 -halt) kan korrosionsrisken för zinksiktet på förzinkat stål bedömas med ledning av jordarten. Uppdelat efter jordart ökar korrosiviteten för zinksiktet på förzinkat stål och zink i följande ordning:

sand $\approx$ sandig morän < lera < gyttjig lera < torv

Korrosionsriskbedömningen på grundval av jordart har visat sig vara bättre än bedömningar med utgångspunkt från jordens resistivitet och pH-värde.

Bedömningar av korrosionsrisken för zinksiktet på förzinkat stål med ledning av jordarten kan förbättras med analys av jordens pH-värde och halten CaCO_3 för att avgöra om jorden eventuellt är kalkhaltig samt med uppgifter om grundvattennivån kombinerat med bedömning av dräneringsförmågan för att skatta luftningen genom jorden. Om grundvattenprov föreligger bör i första hand pH-värdet, alkaliniteten och kalciumhalten (totalhårdheten) analyseras.

Förläggning i sandfyllning har en klar gynnsam effekt på korrosionshårdigheten hos förzinkat stål i jord. Det är viktigt att sandfyllningen utförs noggrant. Sandfyllningen måste vara tillräckligt tjock och får inte innehålla ler- eller jordklumpar som kan ligga an mot konstruktionen. Vidare måste hela konstruktionen – också undersidan – täckas av sand. En dåligt utförd sandfyllning ger mer problem än ingen sandfyllning alls.

5 Slutsatser

Av resultaten från långtidsexponeringarna kan följande slutsatser dras:

För kolstål är den jämna korrosionshastigheten högst i gyttjig lera följd av lera och torv med ungefär lika stor korrosionshastighet. Korrosionshastigheten är lägst i sand och sandig morän. Sandig morän (sandig-moig morän) är den vanligaste jordarten i Sverige.

Följande generella indelning kan göras mellan korrosionshastighet och jordart för kolstål. Den jämna korrosionshastigheten ökade i följande jordartsordning:

sand $\approx$ sandig morän < torv $\approx$ lera < gyttjig lera

Korrosionshastigheten var måttlig för kolstål för både jämn och lokal korrosion. För kolstål kan man ofta räkna med den jämna enkelsidiga korrosionshastigheten 20 $\mu\text{m}/\text{år}$ (0,02 mm/år). För 100 år blir den enkelsidiga avfrätningen 2 mm (2 mm/100 år).

Korrosionshastigheten avtar något med längre exponeringstid. Sandfyllning har en positiv inverkan på korrosionshårdigheten hos kolstål under förutsättning att sandfyllningen görs på ett riktigt sätt. En slarvigt utförd sandfyllning kan göra mer skada än ingen sandfyllning alls. Viktiga krav på sandfyllningen är:

- Tillräckligt tjock sandfyllning.
- Hela konstruktionen täcks med sandfyllning.
- Inga ler- eller andra jordklumpar i sandfyllningen som ligger an mot metallytan.

Förzinkning är det viktigaste och vanligaste korrosionsskyddet på stål i jord. Korrosionshårdigheten hos zink och förzinkat stål i jord beror till stor del på möjligheten till bildning av karbonathaltiga beläggningar på zinkytan och då speciellt zinkhydroxidkarbonatet hydrozinkit, $\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$, som korrosionsprodukt. För svenska jordar med låg kalciumkarbonathalt (CaCO_3 -halt) kan korrosionsrisken för zinksiktet på förzinkat stål bedömas med ledning av jordarten. Uppdelat efter jordart ökar korrosiviteten för zinksiktet på förzinkat stål och zink i följande ordning:

sand $\approx$ sandig morän < lera < gyttjig lera < torv

Korrosionsriskbedömningen på grundval av jordart har visat sig vara bättre än bedömningar med utgångspunkt från jordens resistivitet och pH-värde.

Bedömningar av korrosionsrisken för zinksiktet på förzinkat stål med ledning av jordarten kan förbättras med analys av jordens pH-värde och halten CaCO_3 för att avgöra om jorden eventuellt är kalkhaltig samt med uppgifter om grundvattennivån kombinerat med bedömning av dräneringsförmågan för att skatta luftningen genom jorden. Om grundvattenprov föreligger bör i första hand pH-värdet, alkaliniteten och kalciumhalten (totalhårdheten) analyseras.

Förläggning i sandfyllning har en klar gynnsam effekt på korrosionshårdigheten hos förzinkat stål i jord. Det är viktigt att sandfyllningen utförs noggrant.

6 Referenser

- 1 Camitz, G.: Korrosionsundersökningar i jord. Bestämning av jordars resistivitet. Bulletin nr 88. Korrosionsinstitutet, Stockholm 1980.
- 2 Larsson, R. & Nilson, G. & Rogbeck, J.: Bestämning av organisk halt, karbonathalt och sulfidhalt i jord. Rapport nr 27. Statens geotekniska institut, Linköping 1985.
- 3 Svensk standard SS 02 71 07. Utgåva 3, 1990. Geotekniska provningsmetoder – Organisk halt i jord – Kolorimetermätning. SIS, Stockholm 1990.
- 4 Laborationskompendium i marklära för agr. och hort. stud. (Eriksson, J, red.). Avdelningen för marklära, Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala 1982.
- 5 Talme, O. & Almén, K-E.: Jordartsanalys. Laboratorieanvisningar. Del 1. Kvartärgeologiska institutionen, Stockholms universitet, Stockholm 1975.
- 6 Svensk standard SS-ISO 10 694. Utgåva 1, 1996. Markundersökningar – Bestämning av organiskt kol efter torrförbränning (elementaranalys). SIS, Stockholm 1996.
- 7 Kungl. Lantbruksstyrelsens kungörelse Nr 1, 1965. Kungl. Lantbruksstyrelsen, Solna 1965.
- 8 Svensk standard SS 02 83 10. Utgåva 1, 1993. Markundersökningar – Extraktion och bestämning av fosfor, kalium, kalcium, magnesium och natrium ur jord med ammoniumlaktat/ättiksyralösning (AL-metoden). SIS, Stockholm 1993.
- 9 Steinrath, H.: Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Aggressivität von Böden. DVGW Fassauschuß "Korrosion Rohrnetz". Deutscher Verein von Gas- und Wassfachmännern e.V. (DVGW), Frankfurt am Main 1966.
- 10 Camitz, G. & Vinka, T-G., 1986: Corrosion of steel and metal-coated steel in Swedish soils – Results of field exposures. Proc. 10th Scandinavian Corrosion Congress, Stockholm 1986. Bulletin nr 101, s. 305–312. Korrosionsinstitutet, Stockholm 1986.
- 11 Camitz, G. & Vinka, T-G.: Corrosion of steel and metal-coated steel in Swedish soils. I: ASTM STP 1013 (Chaker, V & Palmer, J D, eds.), s. 37–53. American Society of Testing and Materials. Philadelphia 1988.
- 12 Camitz, G. & Vinka, T-G.: Influence of some soil parameters on the corrosion of steel in Swedish soils. Proc. CEOCOR 2nd International Conference on Corrosion, Napoli 1989, s. 77–90. CEOCOR, c/o Cibe, Rue aux Laines 70, B-1000 Bryssel 1989.

- 13 Vinka, T-G. & Årebäck, M.: Korrosionsförhållande hos kolstål och zink i en urban jordlagerföljd. KI Rapport 1996:9. Korrosionsinstitutet, Stockholm 1996.
- 14 Vinka, T-G. & Camitz, G.: Corrosion of zinc coated steel in Swedish soils. Proceedings 13th International Corrosion Congress, Melbourne 1996. Volume IV, paper 439. Australasian Corrosion Association Inc, Clayton, Vic 1996.
- 15 Vinka, T-G.: Bedömning av korrosionsrisk: Korrosion på förzinkat stål i jord. Bygg & teknik, årgång 92, nr 1, 2000, s. 55–58.
- 16 Vinka, T-G.: Microbial corrosion on carbon steel in Swedish soils. EUROCORR 2001. 30 september–4 oktober 2001, Riva del Garda, Italien. Föredrag nr 248. Congress proceedings på cd-rom utgiven av Associazione Italiana di Metallurgia, Milano, Italien 2001.
- 17 Norin, M. & Vinka, T-G.: Korrosion på kolstål och zink i fyllnadsjord i stadsmiljö. KI Rapport 2003:5. Korrosionsinstitutet, Stockholm 2003.
- 18 Norin, M. & Vinka, T-G.: Corrosion of carbon steel in filling material in an urban environment. Materials and Corrosion 54 (2003) s. 641–651.
- 19 Vinka, T-G.: Korrosion på metaller i svenska jordar – Sammanställning av resultat från fältexponeringar och praktiska erfarenheter. VA-Forsk Rapport 2003:34. Svenskt Vatten, Stockholm 2003.
- 20 Romanoff, M.: Underground Corrosion. National Bureau of Standards Circular 579. US Government Printing Office, Washington 1957.
- 21 Sederholm, B., Svensson, T. & Vinka, T-G: Korrosion på metaller i jordar med olika surhetsgrad och vattenhalt. Rapport R7:1992. Byggforskningsrådet, Stockholm 1992.



Box 14057, 167 14 Bromma

Tel 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se