

Korrosion i behållare på insamlingsfordon för matavfall

Anders Hjörnhede, Frida Jones och Gunilla Henriksson

Korrosion i behållare på insamlingsfordon för matavfall

Corrosion in vehicles used for collection of food waste

Anders Hjörnhede, Frida Jones och Gunilla Henriksson

Projektnummer WR-50
År: 2013

WASTE REFINERY
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Box 857, 501 15 Borås
www.wasterefinery.se
wasterefinery@sp.se
ISSN 1654-4706

Sammanfattning

Behållare som används för att samla in matavfall i insamlingsfordon (sopbilar) kan utsättas för omfattande korrosion beroende på matavfallets beskaffenhet. Korrosionen i sig förorsakar att insamlingsaggregatet rostar betydligt snabbare än fordonet i övrigt och problemet är också relativt vanligt enligt vissa kommunala renhållningsbolag och entreprenörer. Både tillverkare av insamlingsaggregaten och användarna, som t.ex. kommuner och entreprenörer, har nytta av information om hur korrosion som uppstår i samband med matavfallsinsamling kan reduceras eller elimineras. Förutom ekonomiska besparingar kan också miljömässiga fördelar uppstå genom t.ex. att läckage och andra haverier kan förhindras, livslängden förbättras och stilleståndstiden för reparationer undviks.

Fyra olika material testades m.a.p. korrosionsresistans i pressvätska från matavfall från åtta olika företag som hanterar matavfall i insamlingsfordon. Korrosionstesterna genomfördes i SP:s laboratorium med specialbyggda korrosionssensorer för mätning av korrosion i realtid. De fyra materialen som testades var Domex 550, SiCromAl 8, SS 304 och Inconel 625. HSLA-stålet (High Strength Low Alloyed) Domex 550 är det klart vanligaste materialet som används till bottenplåtar i insamlingsfordons behållare. Det austenitiska rostfria stålet SS 304 används till bottenplåt när korrosionen förutspås vara omfattande. SiCromAl 8 är ett stål, som inte normalt lämpar sig för användning till bottenplåt men testades i denna studie p.g.a. att korrosionsresistansen ligger någonstans mellan Domex 550 och SS 304. Inconel 625 är en nickelbaserad superlegering som är känd för sina utmärkta korrosionsegenskaper i mycket korrosiva miljöer.

Korrosionstesterna simulerade typiska händelser som kan påverka korrosionen vid normalt användande av insamlingsfordon. Behållare fylls på med och töms på pressvätska, fordonen kan finnas i rörelse eller vara parkerade och behållarna kan rengöras med vatten och avfettningsmedel. Totalt genomfördes 36 korrosionstester jämfört med de nio planerade experimenten enligt ansökan.

Resultaten visar att stålen Domex 550 och SiCromAl 8 korroderar med hastigheter vilka i sig är acceptabla till nivåer på flera mm/år beroende på pressvätskornas egenskaper och påverkan de utsätts för. Det rostfria stålet SS 304 och superlegeringen Inconel 625 uppvisade inga tecken alls på korrosion. Resultaten visar också, helt emot förväntningarna, att rengöring med både vatten och avfettningsmedel ökar korrosionen på kort sikt. Korrosionen ökade markant vid påfyllning av pressvätska och vid omröring, d.v.s. simulering av när fordonet befinner sig i rörelse. Torrare matavfall ger upphov till mindre korrosion.

Förslagsvis kan rostfria stål, t.ex. SS 304, användas till bottenplåt i behållare för att undvika korrosion. Det rekommenderas inte att låta bli att rengöra behållarna p.g.a. hygienaspekter, trots att resultaten pekar mot det. Samma utlåtande kan ges om att låta fordonet stå med fyllda behållare, trots att korrosionen då inte är påtaglig. Överlag lönar det sig också att hålla fukt borta från bottenplåten.

Användandet av ny teknik i detta sammanhang, realtidsskorrosionssonder, gjorde det möjligt att i detalj studera korrosionen på ett sätt som inte tidigare gjorts. Resultaten är tydliga och lättolkade. Men eftersom resultaten också pekade mot att minskad rengöring skulle reducera korrosionen, vilket går tvärtemot antaganden i projektansökan, kan t.ex. inte råd om tvättintervaller och lämpliga rengöringsmedel ges.

Nyckelord: Korrosion, matavfall, pressvätska, insamlingsaggregat, rengöring, insamlingsfordon, sopbilar, realtidsskorrosionsmätning

Summary

Containers in vehicles used for food waste collection can be subjected to substantial corrosion owing to the nature of food waste. The corrosion itself causes the container to corrode much faster than the vehicle in general. The problem is also relatively common, according to some municipal companies and contractors. Both manufacturers of vehicles and end users, such as municipalities and contractors, will benefit from information about the corrosion occurring in connection with the collection of food waste. In addition to financial savings, also environmental benefits can arise e.g. from the prevention of leakage and other accidents, life expectancy can be improved and downtime for repairs can be avoided.

The corrosion resistances of four different materials were tested in press liquid from food waste coming from eight different companies that use food waste collection vehicles. Corrosion tests were carried out in SP's laboratory with specially built corrosion sensors for monitoring corrosion in real time. The four materials tested were Domex 550, SiCromAl 8, SS 304 and Inconel 625. The HSLA steel (High Strength Low Alloyed) Domex 550 is clearly the most common material used for the bottom plates in the collection vehicle container. The austenitic stainless steel, SS 304 is used for the bottom plate when corrosion is predicted to be extensive. SiCromAl 8 is a steel not normally suitable for use for the bottom plate but was tested in this study because the corrosion resistance is somewhere between Domex 550 and SS 304. Inconel 625 is a nickel based superalloy which is known for its excellent corrosion resistance in highly corrosive environments.

Corrosion tests were performed simulating the typical events that may affect corrosion in normal use of collection vehicles. Containers are filled with, and emptied of pressure fluid, the vehicles may be in motion or be parked, and the containers can be cleaned with water and detergent. Totally 36 corrosion tests were done, compared to the nine planned experiments in the application.

The results show that the steels Domex 550 and SiCromAl 8 corrode at rates which themselves are acceptable to levels several mm/year, depending on the characteristics of the press liquids and the impact they were subjected to. The stainless steel SS 304 and superalloy Inconel 625 showed no signs of corrosion at all. The results also show, against the expectations, that cleaning with both water and solvents increase corrosion in the short term. The corrosion is significantly increased by the filling of pressure fluid and the stirring, i.e. the simulation of when the vehicle is in motion. Drier food waste generates less corrosion.

As a suggestion, stainless steels, e.g. SS 304, can be used to the bottom plate of the tank to avoid corrosion. It is not recommended to not clean the containers due to hygiene aspects, although the results point towards it. The same statement can be said regarding to allow the vehicle to stand still with filled containers, although the corrosion is limited. Overall, it also pays to keep moisture away from the bottom plate.

The use of new technology in this context, real-time corrosion probes, made it possible to study in detail the corrosion in a way that has not previously been done. The results are clear and easy to interpret. But since the results also indicated that reduced cleaning would reduce the corrosion, which is contrary to assumptions in the project application, no advises on washing intervals and appropriate cleaning agents are given.

Keywords: Corrosion, food waste, pressure fluid, collection unit, cleaning, collection vehicles, garbage trucks, real-time corrosion measurement

Förord

Projektet har utförts tillsammans med flertalet företag som har koppling till sopsbilsaggregat. Rapporten är sammanställd av projektgruppen utifrån synpunkter som inhämtats från medverkande parter via telefonmöten, personliga intervjuer och mailkonversationer.

Projektgruppen har bestått av följande personer/organisationer:

Anders Hjörnhede/SP Energiteknik

Frida Jones/SP Energiteknik

Gunilla Henriksson/SP Energiteknik

Medverkande företag med koppling till sopsbilsaggregat, personer/organisationer:

Dan Ohlsson/Alingsås kommun

Bo Wallström/Borlänge Energi AB

Ralph Pettersson/Borås Energi och Miljö AB

Peter Ullenius/IL Recycling

Ulf Persson/Jönköping kommun

Pierre Bertilsson/Ragn-Sells AB

Jan Örn/Renova

Niklas Linnarsson/Lunds Renhållningsverk

Jon Nilsson-Djerf/Avfall Sverige

Per Håkansson & Lennart Karlsson/Norba

Martin Enholm/NTM

Projektet har finansierats av Waste Refinery samt de medverkande företagen.

Stort TACK till alla deltagande företag som bidragit med både tid och kunskap!

Borås november 2013

Anders Hjörnhede, Frida Jones och Gunilla Henriksson

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	PROBLEMBESKRIVNING	1
1.2	SYFTE OCH MÅL	2
1.3	AVGRÄNSNINGAR	3
2	BAKGRUND	4
2.1	MATAVFALLETS BETYDELSE FÖR KORROSIONEN	5
2.2	RENGÖRING AV FORDON	5
2.3	MATERIAL SOM ANVÄNDS TILL BEHÅLLARE FÖR MATAVFALLSINSAMLING	5
2.4	KORROSIONSANALYS I REALTID	6
3	MATERIAL OCH METODER	8
4	RESULTATREDOVISNING	10
4.1	FÖRSTUDIE	10
4.2	RENHÅLLNINGSBOLAGENS MEDVERKAN I STUDIEN	12
4.3	INSAMLING OCH ANALYS AV PRESSVÄTSKA	13
4.4	KORROSIONSTESTER I SP:S LAB	13
4.5	ERFARENHETER FRÅN RENHÅLLNINGSBOLAGEN	40
4.6	KARTLÄGGNING AV RENGÖRINGSMETODER, –MEDEL, –KOSTNADER ETC.	42
5	RESULTATANALYS	44
5.1	JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA MATERIAL M.A.P. KORROSIONSHASTIGHET	44
5.2	SKILLNADER I KORROSION MELLAN MED OCH UTAN OMRÖRNING (STILLASTÄENDE OCH KÖRANDE FORDON)	44
5.3	PÅVERKAN PÅ KORROSIONEN UNDER PÅFYLNING AV NYTT MATAVFALL	45
5.4	RENGÖRINGSMETODENS PÅVERKAN PÅ KORROSIONEN	45
5.5	RESULTAT AV ETT TORRARE MATAVFALL	46
5.6	JÄMFÖRELSE MELLAN KORROSIONSTUDIER I LAB OCH ENKÄTSVAR	46
5.7	PROJEKTETS MÅLUPPFYLLELSE	47
6	SLUTSATSER	49
7	REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING	50
8	LITTERATURREFERENSER	51

Bilagor

A	ENKÄTSVAR ERFARENHETSINSAMLING
B	BILAGA B KEMISK SAMMANSÄTTNING AV MATERIAL ANVÄNDA I DENNA STUDIE

1 Inledning

1.1 Problembeskrivning

Matavfall som omhändertas kan vara aggressivt mot omgivningen. De material som kommer i kontakt med matavfall måste vara motståndskraftiga mot korrosion. När det gäller insamlingsfordon med sobbilsaggregat avsedda för insamling av matavfall är val av material i insamlingsfordonets behållare av stor betydelse. Tillverkare av sobbilsaggregat har tidigare försökt hitta lösningar på problemet som samtidigt är ekonomiskt hållbara. En studie inom området har identifierats, Korrosion på bottenplåtar i sobbilar [1], denna lyfter upp tjockare bottenplåt som en lösning men förordade samtidigt att ytterligare studier bör genomföras. Att matavfall orsakar korrosion på sobbilasaggregat är också känt sedan tidigare genomförda projekt, *"Kartläggning av vittrings- och korrosionsskador på biologiska behandlingsanläggningar"* (WR-27) [2] och *"Kartläggning av utvecklingsarbete samt problem vid olika insamlingstekniker för matavfall"* (WR-31) [3]. I dessa båda projekt identifierades korrosionsproblem då de påvisade att sobbilsaggregaten rostar sönder i snabbare takt än övriga komponenter på insamlingsfordonen och förkortar därmed fordonens livslängd. I WR-27 analyserades lakvatten från matavfall och resultatet visade att lakvattnet är mycket korrosivt, surt och frätande [2]. Flera sobbilsägare har försökt att få fram egna lösningar, till exempel genom att montera extra plåtar i aggregaten för att förstärka dess golv. Dock blir sobbilarna med denna lösning tyngre och kräver mer bränsle. Ett annat problem som orsakas av korrosion är läckage. Renoveras inte fordonet i tid kommer lakvatten, d.v.s. pressvätska från matavfallet att läcka ut till omgivningen.

En åtgärd som kan minska korrosion i insamlingsfordon är rengöring. Vissa problem har tidigare identifierats inom området och andra problem identifierades när det här projektet utarbetades. Det finns åtminstone en tidigare rapport som tar upp tvättning av fordon [4]. En uppföljning av dess innehåll bör genomföras då dess nulägesbeskrivning är från 2004. Rapporten identifierar vissa följdfrågor som delvis adresseras i denna studie men rapporten behandlar endast biogödseltransporter och inte matavfall. Det finns flera rengöringsmedel på marknaden men dess effekter är inte påvisade och problem har uppstått med hur och var tvättvattnet ska omhändertas och behandlas. Om insamlingsfordonen tvättas kan korrosionen då minska eller rent av att försvinna? Hur ofta bör tvättning av fordon ske och till vilken kostnad skulle detta ske? På vilket sätt fordon som hanterar animaliska biprodukter ska rengöras/skötas regleras i animaliska biproduktslagstiftningen [5]. Det finns också krav i certifieringsregler för rengöring av insamlingsfordon [6]. Huruvida dessa krav harmoniserar med rengöring som är avsedd att minska korrosion har undersökts i detta projekt.

Ett önskescenario för varje sobbilsägare är att kunna koppla samman specifik avfallstyp med specifik materialtyp i ett sobbilsaggregat och även kunna mäta hur snabb korrosionen är för valt material och avfallstyp. Att i framtiden kunna välja material i aggregatet utifrån vilka avfallstyper som det är tänkt att användas till är klart ekonomiskt fördelaktigt.

I denna studie undersöktes matavfall från flera aktörer som samlar in matavfall för att få en överblick över korrosionsproblematiken. Det innebär att både matavfall som konstaterats att inte ge upphov till korrosion och matavfall som har medfört stora korrosionsproblem analyserats.

1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet är dels att få mer kunskap om vilken typ av material som lämpar sig bäst att tillverka sopbilsaggregat av och dels att identifiera lämpliga tvättmetoder och intervall. Baserat på dessa resultat kan antingen primära eller sekundära åtgärder vidtas. Åtgärder redan vid tillverkningen respektive åtgärder direkt efter leverans som t.ex. byte av plåtar på utsatta delar, applicerande av rotskyddande beläggningar alternativt modifiering av rengöringsproceduren.

Minskade korrosionsangrepp på fordonen leder till kostnadsbesparingar, minskad påfrestning på miljön och används optimalt materialval krävs inga eller åtminstone färre reparationer av konstruktionen. Detta leder till att insamlingsfordonens livslängd ökar och därmed reduceras materialåtgång för nyproduktion av fordon och i slutändan minskar kostnaderna för insamling av matavfall. I Waste Refinerys verksamhetsplan framgår det att forskning och utveckling som sänker livscykelkostnaden, LCC, är av stor vikt för att öka acceptansen för biologiska återvinningsmetoder. Genom att öka kunskapen kring korrosion och hur den kan förebyggas kan LCC för insamlingsfordon sänkas. Dock kan vi i dagsläget inte ange någon konkret siffra på denna sänkning. Det är ett av målen i projektet, att visa på den faktiska sänkta LCC:n som kan göras genom att anpassa material i sopbilsaggregaten utifrån vilket avfall som ska samlas in.

Resultatet från projektet ska kunna implementeras på företag som tillverkar insamlingsfordon och/eller hos kommuner och renhållningsbolag.. Projektet kommer att presentera en metod för att mäta avfallets korrosivitet på olika material och därmed kunna ge anvisningar om bästa materialval för specifikt avfall. Denna information kan t.ex. ligga till grund för kravspecifikationer vid upphandlingar av aggregat till sopbilar.

De konkreta målen att uppnå är att besvara följande:

- Vilka material eller korrosionsreducerande metoder bör användas till sopaggregaten och vilka kostnader/besparingar innebär detta?
- Hur ska sopbilsaggregaten rengöras, med vilket rengöringsmedel och hur ofta?
- Vilka kostnader/besparingar innebär ett ökat tvättintervall jämfört med dagens situation?

1.2.1 Möjliga resultat och målgrupp

Genomfört projektet ska leverera följande:

- Identifiera material eller andra korrosionsreducerande metoder som är tänkbara att användas till sopaggregaten
- Ta fram underlag som kan användas vid upphandlingar vad gäller korrosion på insamlingsfordonens sopbilsaggregat

- Identifiera lämpliga tvättmedel- och metoder som uppfyller krav som finns på marknaden, bland annat inom certifiering av kompost och biogödsel och animaliska biproduktslagstiftningen
- Identifiera lämpliga tvättintervall för att undvika/minska korrosion

Projektets målgrupp är fordonstillverkare, insamlingsorganisationer, entreprenörer, kommuner och kommunala bolag samt branschorganisationer.

1.3 Avgränsningar

Projektet avgränsas till att endast innefatta korrosionsskador som orsakas av insamlat organiskt avfall, andra faktorer på korrosionsskador som till exempel vägsalt ingår inte i projektet. Korrosionsangreppen som uppkommer och ska studeras är således i insamlingsaggregatets behållare och inte på chassit. Korrosion på chassi beror på väder och vind samt salt för halkbekämpning, och normalt inte på avfall, vilket är något alla fordon drabbas av.

Projektet behandlar materialförluster som uppstår p.g.a. korrosion. Annan påverkan som ger upphov till mekanisk förslitning som t.ex. nötning och erosion studeras inte. Anledningen är dels att plåten som används är en typisk slitplåt med en hårdhet över 500 HBW alltså ett material med mycket goda nötningsegenskaper som bör motstå slitage i sopaggregat, åtminstone på de ytor som inte explicit är utsatt för kraftig nötning. Uppgifter från flera entreprenörer och aggregattillverkare säger att korrosionen kan vara både omfattande och frekvent, vilket också återspeglas i rapporter [2]. Dessutom indikerar resultat från WR-27 och WR-31 synnerligen starkt att det är en korrosionsprocess som pågår.

2 Bakgrund

Operatörer av biogas- och kompostanläggningar har rapporterat problem med att lakvatten från matavfall fräter sönder material i sin omgivning. Detta gäller både material i de biologiska behandlingsanläggningarna och material i fordon som används vid insamling av matavfallet. Problemet har framhållits allt oftare i takt med att insamlingsvolymerna av matavfall ökar runt om i Sverige. Detta enligt flera deltagande företag och organisationer. Trots att korrosionsproblem har förekommit länge finns det få dokumenterade studier inom området. Förutom Dahls rapport *"Korrosion på bottenplåtar i sopbilar"* från 1993 [1], som är utförd på mindre korrosivt avfall än dagens matavfall, finns det av projektgruppen inga andra kända studier som behandlar frågan på djupet. Bekymren har även uppdagats vid besiktningsverksamhet enligt SPCR 120 Biogödsel och SPCR 152 Kompost, där flertalet anläggningar har efterfrågat råd/stöd/utredning för att komma till rätta med sina specifika problem.

I projekt WR-27 *"Kartläggning av vittrings- och korrosionsskador på biologiska behandlingsanläggningar"* [2] skickades en enkät ut för att undersöka hur vanligt förekommande det var med korrosion från matavfall. Enkäten skickades till biogas- och kompostanläggningar och svaren från denna visade att vittring och korrosion mest förekommer på anläggningen. Samtidigt hade de flesta av anläggningarna som fick besvara enkäten svarat att de inte kunde precisera hur stora skadorna var på sopbilarna då dessa oftast ägdes av en entreprenör. Korrosion på sopbilarna finns, men enkäten nådde ej ut till sopbilsägarna varför projektgruppen i WR-27 valde att fokusera på betongkonstruktioner vid biologiska behandlingsanläggningar.

I projektet WR-31 *"Kartläggning av utvecklingsarbete samt problem vid olika insamlingstekniker för matavfall"* [3] genomfördes också en enkätundersökning. Denna enkät skickades ut till ansvariga personer för insamling av matavfall i respektive kommun vilka hade mer kännedom om problem som identifierats på insamlingsfordon för matavfall. 133 kommuner i Sverige fick enkäten. Sammanställningen från enkätsvaren visar att korrosions- och frätskador på insamlingsfordon för matavfall och på mekanisk utrustning på behandlingsanläggningar är ett problem som är vanligt förekommande. Matavfallet är mycket korrosivt och de fack på bilarna som transporterar detta avfall rostar mycket fortare än på fordon som transporterar annat avfall. Svarande uppgav att golvet inte håller lika länge som hos andra fordon och några angav att de hade lagt extra plåtar för att förstärka golven. Korrosion som uppstår p.g.a. matavfall kan leda vidare till läckage från fordonen.

Efter samtal med både fordonstillverkare och insamlingsentreprenörer bekräftades bilden av att korrosion i aggregaten är ett stort problem som innebär höga kostnader¹. En entreprenör uppgav att korrosionshastigheten är över 1 mm/år vilket innebär att aggregaten börjar läcka p.g.a. genomrostning efter 2-3 år vilket blir mycket kostsamt. En annan tillverkare uppgav att de för tillfället har ett dussintal bilar som måste åtgärdas p.g.a. av korrosion. Den idag vanligaste lösningen på korrosionsproblemet är att använda ännu tjockare plåt, med konsekvensen att aggregatet blir tyngre och kan lasta mindre. Ett insamlingsfordon är kostsamt i inköp och ju längre livslängd ett fordon har desto billigare

¹ JOAB, NORBA, NTM, IL Recycling, SITA, Ragn-Sells

blir insamlingen av avfall. Hur stora kostnadsbesparingar det innebär är en viktig frågeställning för branschen.

Eftersom endast en offentlig studie har identifierats inom ämnet ”*Korrosion på bottenplåtar i sopbilar*” [1] är det intressant att fortsatt studera korrosion på samlingsfordon. Den tidigare studien genomfördes som ett samarbete mellan Norba och SSAB och är från tidigt 1990-tal. I studien studerades bland annat tjockleken på bottenplattor i aggregaten. Då studien genomfördes hade inte källsortering av matavfall slagit igenom och matavfallet var då mer uppblandat med annat avfall vilket betyder att den totala avfallsmängden inte var lika korrosiv som dagens avfall. Studien föreslog vidare utredning kring olika stål samt lösningar som lining och bestämning av ett lämpligt tvättintervall.

2.1 Matavfallets betydelse för korrosionen

Matavfall är ett heterogent avfall och vad som finns i en soppåse med matavfall varierar över året. Matavfallets nedbrytningsprocess påverkas av fukt, temperatur och tid. Det är vanligtvis matavfallets nedbrytningsprodukter som ger upphov till korrosion på samlingsfordon. I WR-27 analyserades lakvatten från matavfall som fanns vid biologiska behandlingsanläggningars mottagningsplatser [2]. Detta matavfall var uppskattningsvis två-till fyra veckor gammalt vid analystillfället. Lakvattnet innehöll ganska mycket fast material men det var endast de lösta ämnena som analyserades. Lakvattnet innehöll höga halter av organiska syror, främst ättiksyra, och det var även surt med ett pH mellan 4,0 - 4,5.

2.2 Rengöring av fordon

Tvättvatten som uppkommer efter invändig rengöring av fordonen kan ge upphov till smittspridning, beroende på vilket avfall som har transporterats. Om t.ex. animaliska biprodukter (ABP-material) transporteras finns det krav på att rengöring ska göras, det finns dock inte uttalat hur rengöringen ska genomföras för att nå ett tillfredställande resultat [5]. Hos vissa kommuner tillåts inte invändig tvätt av fordonen då de inte har möjlighet att ta hand om tvättvattnet. För att minimera korrosionsuppkomst kan tvättning av fordonen vara en avgörande faktor och ställer då krav på att det finns tvätthallar tillgängliga där tvättvatten kan omhändertas utan att riskera någon smittspridning.

2.3 Material som används till behållare för matavfallsinsamling

Till behållare i samlingsbilar används ofta rosttröga stål som t.ex. Domex 550, Cor-Ten (ASTM A 242) eller liknande. Anledningen till användandet av denna stålqualität är att de är av typen höghållfasta låglegerade (HSLA) stål, som har bättre mekaniska egenskaper eller större motståndskraft mot korrosion än kolstål. Användning av HSLA-stål ger vanligen lättare konstruktioner än ett kolstål-konstruktioner p.g.a. att de bättre hållfasthetsegenskaperna gör det möjligt att använda tunnare material.

De rosttröga stålen rostar till en början egentligen lika mycket som vanliga kolstål men bildar efter en tid ett skyddande oxidskikt s.k. patina, på stålytan. Detta skikt ska inte förväxlas med skyddande kromoxid-skikt som bildas på rostfria stål, vilket leder till en passivering av ytan. Skiktet som bildas på ytan på de rosttröga stålen hindrar egentligen

fukt från att tränga in till den oskyddade metallen. Rosttröga stål är legerade med bl.a. Cu, Cr, P och Si som bidrar till rosttrögheten. Under en längre period anses korrosions-hastigheten vara hälften så hög som för kolstål.

Hur snabbt det skyddande skiktet bildas och vilken kvalitet det får beror bl.a. på luftfuktighet och föroreningar. Bäst korrosionsskydd fås när ytan exponeras för varierande torra och våta miljöer. Det kan t.o.m. vara så att det skyddande skiktet blir bättre vid exponering i svavelhaltiga miljöer. I marina miljöer är korrosionsskyddet på dessa stål starkt begränsat p.g.a. närvaron av kloridjoner och fukt. Rosttröga stål som används i vatten korroderar alltså lika mycket som kolstål. Man måste alltså, precis som vid användning av andra korrosionskänsliga stål, undvika uppkomst av vattensamlingar och att kondens ansamlas. Vid användning i vissa korrosiva applikationer, speciellt vid omväxlande våt-torr miljö kan rosttröga stål målas. Det är överlag viktigt att undvika bindande av fukt.

Vid kontakt mellan stål som t.ex. rosttröga stål och andra metaller kan galvanisk korrosion uppstå. Det påstås paradoxalt nog, enligt vissa litteraturuppgifter, att vid kontakt mellan rosttröga stål och rostfria stål fås i praktiken ingen galvanisk korrosion i det låglegerade stålet, d.v.s. det rosttröga materialet. Detta innebär att det kan vara möjligt att svetsa in rostfria stål på de mest korrosionsutsatta delarna utan att ge upphov till galvanisk korrosion. Det har också visat sig att vid katodiskt skydd med användande av Zn som offeranod skyddas det rosttröga stålet katodiskt.

Informationen ovan ger ledtrådar till vad som kan vara tänkbara åtgärder för att minska korrosionen, och minst lika viktigt är att kunna utesluta åtgärder.

2.4 Korrosionsanalys i realtid

I detta projekt har en ny korrosionsanalysteknik, s.k. realtidskorrosionssensorer använts. Nyttan av att göra korrosionshastighetsmätningar i realtid är mycket stor. Korrosionsmätningen som sker, on-line, *in-situ* med denna typ av sensorer, ger en mer kvalificerad information om korrosionsprocessen. Man vet att det är sällan korrosionshastigheten är konstant. Exempelvis kan den verkliga korrosionsbelastningen tänkas fortgå under 10 % av tiden men utgör 90 % av materialförlusten. Ett resultat av on-line korrosionsmätning är att de mest ofördelaktiga korrosionsbetingelserna kan identifieras. En konsekvens av användandet av konventionell metallografi för korrosionsanalyser innebär att man förutsätter att korrosionshastigheten är konstant eftersom materialförlusten orsakad av korrosion divideras med exponeringstiden [7].

Korrosionsmätmetoderna kan användas för att ge information om olika avfalls korrosivitet, ligga till grund för användande av inhibitorer (blanda in något som reducerar korrosion), optimera livslängden på utsatta komponenter (man behöver egentligen bara byta de delar som korroderar) och i förlängningen utnyttja investeringen bättre genom att förlänga livslängden. Ett annat sätt än att bara studera orsakerna till korrosion är att jämföra korrosionshastigheterna för olika legeringar och därmed välja den mest lämpade [7].

Exempel på tekniker för mätning av korrosionshastighet on-line, *in-situ*, är [8, 9]:

- Elektrisk resistansmätning Electrical Resistance (ER)
- Mätning av nollresistansström, Zero Resistance Amperemetry (ZRA) eller galvanisk ström, "Galvanic Current (GC)
- Mätning av polarisationsresistans/impedans Linear Polarisation Resistance (LPR)/Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)
- Mätning av elektrokemiskt brus, Electrochemical Noise (EN)

En sammanfattning av egenskaperna hos teknikerna ovan ger att:

Endast EN kan detektera gropfrätning, se Kapitel 4.1, Förstudie. De övriga mäter endast allmätkorrosion. Gropfrätning orsakas bl.a. av kloriders närvaro.

Mätteknikerna som används i projektet är Electrochemical Noise (EN) och Linjär PolarisationsResistans (LPR).

Med den utrustning som användes så beräknades parametrarna korrosionshastighet och gropfrätningindex internt och korrosionspotentialer och korrosionsströmmar är inte tillgängliga för användare. Enligt tillverkarna är det heller ej möjligt som användare att få tillgång till potentialer och spänningar utan endast de beräknade värdena på ovanstående parametrar.

3 Material och metoder

En **Förstudie i form av litteraturstudie** har genomförts för att kartlägga rapporterade åtgärder för att reducera korrosionen. Tänkbara åtgärder, som ännu inte testats, har också medtagits.

Insamling av erfarenheter från renhållningsbolagen har skett genom projektmöte, telefonintervjuer samt då renhållningsbolagen som deltog i projektet besvarade utskickad enkät.

Insamling av pressvätska

Vid insamling av pressvätska (lakvatten från matavfall som är uppsamlat i insamlingsfordonen) från de deltagande renhållningsbolagen kontaktades dessa via e-post och telefonsamtal. Pressvätskan levererades till SP Energiteknik, alternativt hämtades hos renhållningsbolagen av personal från SP. Vid varje leverans av pressvätska fylldes en följsedel i och skickades med till analyslaboratoriet. Följsedeln gav information om provberedning, typ av insamlingsfordon, pressvätskans ursprung, etc.

Kartläggning av rengörings – metoder, –medel och –kostnader

Som en del i detta projekt utfördes ett examensarbete, där syftet bland annat var att kartlägga hur kommuner och anläggningar idag rengör insamlingsfordon och vilka rengöringsmetoder och rengöringsmedel som används. I examensarbetet skickades en enkät ut till 38 kommuner (varav 27 stycken svarade). Enkäten behandlade förutom frågor kring rengöringsmetoder och rengöringsmedel, även frågor om egen tvätthall, rengöringsintervall och kostnader kopplade till rengöring.

Ett par frågor om rengöringsmetoder, -medel och hur tvättvattnet tas om hand inkluderades även i den enkät som skickades ut till de deltagande kommuner och renhållningsbolagen i moment erfarenhetsinsamling. Svaren på dessa frågor jämfördes och diskuterades sedan mot resultat från korrosionstesterna.

Korrosionstester genomförda i SP:s laboratorium

Korrosionsmätningarna gjordes med realtidskorrosionssensorer vilka finns beskrivna i kapitel 2.4. De fyra testmaterialen som korrosionstesterna utfördes på var Domex 550, SiCromAl 8 (X10CrAlSi7EN 1.4713), SS 304 (A2, 18-10, SS2333, EN 1.4301) och Alloy 625 (Inconel 625, EN 2.4856). Domex 550 är den vanligaste stålqualiteten som används till bottenplåten i insamlingsaggregat. Stålet är av typen rosttröga HSLA-stål (High Strength Low Alloyed steels). Det betydligt dyrare rostfria stålet SS 304 kan ersätta Domex 550 när denna korroderar för snabbt. SiCromAl 8 är ett värmebeständigt stål med en korrosionsresistans som ligger mellan stålen Domex 550 och SS 304. Stålet valdes efter att resultatet började antyda att SS 304 inte korroderar i detta sammanhang. Alloy 625 är en nickelbaserad superlegering. Materialet har mycket goda korrosionsegenskaper och togs med utifall att korrosionsbetingelserna skulle vara extrema. Alloy 625 svetsas ofta på ett mindre korrosionsresistent material men det gjordes inte i denna studie. Den kemiska sammansättningen för ovanstående material återfinns i Bilaga B. Testelektroder tillverkades av de fyra provmaterialen.

Pressvätskan, vars volym var ca 2 dl, testades i glasbägare vid rumstemperatur med elektroderna nedsänkta i vätskan. Elektroderna var fastmonterade i de elektriska ledarna vilka i andra änden var festsatta i en fixerad arm. Omrörning skedde med magnetomrörare vid en relativt hög hastighet. Vid två tillfällen användes inte omrörning (företag F, prov 1 samt företag I, prov 1) för att kunna jämföra huruvida det faktum att insamlingsfordonet är i rörelse påverkar korrosionshastigheten. Ytterligare ett separat test gjordes där ett prov tilläts torka ut, d.v.s. avdunsta (företag D) för att studera korrosionen när det är torrt. Pressvätskan förvarades i kylskåp för att undvika föråldring vilket medförde att den var kallare än rumstemperatur vid bytet.

Alla prov startades nedsänkta i pressvätska och därefter gjordes olika typer av förändringar för att se hur de påverkade korrosionsförloppet:

B – Byte av pressvätska: För att simulera att insamlingsfordonet töms och sedan fylls på med nytt matavfall byttes pressvätskan ut mot ny utan annan åtgärd. När ett byte skedde flyttades elektroden över till en ny bägare med pressvätska.

VT – Vattentvätt: För att simulera avspolning med vatten doppades elektroderna upprepade gånger i vatten tills all synlig pressvätska var borttvättad, sedan sänktes elektroden ned i ny pressvätska. Vid ett tillfälle (anläggning C) skrubbadess också elektroderna med en putsduk för att se om det påverkade förloppet.

AT – Avfettningstvätt: För att simulera en tvättning med vatten och avfettningsmedel sköljdes först elektroderna av med vatten enligt ovan metod för vattentvätt och sedan sprejades ett avfettningsmedel, motsvarande det som enligt enkäten används till detta ändamål, på och fick verka. Efter detta tvättades elektroderna i vatten igen i två omgångar för att säkerställa att allt avfettningsmedel avlägsnats. Slutligen sänktes elektroderna ned i ny pressvätska.

Alla moment med alla testmaterial från alla leverantörer testades inte då flera hundra fall skulle uppstå, jämfört med de planerade nio fallen. För att få en någorlunda heltäckande bild testades ett 30-tal fall.

4 Resultatredovisning

4.1 Förstudie

I detta kapitel summeras de åtgärder som vidtagits för att minska korrosionsangreppen i insamlingsaggregatens behållare men också tänkbara, fast icke prövade metoder. Sammanfattningsvis kan det sägas att de åtgärder som är genomförda egentligen är av samma typ, men få av dem är utvärderade. Det finns däremot förslag på flera, men oprövade åtgärder.

Under det senaste decenniet har korrosionsangreppen på matavfallsinsamlingsfordons behållare ökat. Anledningen till denna ökning beror bl.a. på en mer omfattande källsortering och att matavfallet körs i fordon dedikerade till denna typ av avfall samt att mängden korrosiv pressvätska från avfallet ökat. En bidragande orsak till att mängden pressvätska ökat är att matavfallet komprimeras i större omfattning och därmed ökar mängden pressvätska. Syftet med komprimering är att minska matavfallsvolymen och därmed minska antalet transporter vilket leder till färre utsläpp och förbättrad ekonomi. Pressvattnet är mycket korrosivt och innehåller höga halter av klorider. pH-värdet är enligt föreliggande studie lågt, mellan 3,68 och 4,20.

Korrosionsangrepp på bottenplåt i insamlingsbehållare

De korrosionsmekanismer som förekommer på bottenplåten i behållaren är främst allmänkorrosion men också en viss typ av gropfrätning samt galvanisk korrosion mellan läglegerat stål och mer höglegerat material är vanligt.

Allmänkorrosion

Allmänkorrosion förekommer oftast i sura miljöer. Syror som t.ex. svavelsyra och fosforsyra och koksaltlösning är exempel på sådana miljöer. Syrorna bryter ner det passiva skiktet (oxiden) och korrosionen blir mer eller mindre jämn över hela ytan. I motsats till andra korrosionstyper så kännetecknas allmänkorrosion av att hela ytan korroderar.

Lokal korrosion och gropfrätning

När passivskiktet bryts ner på en mindre del av en yta benämns denna korrosionsmekanism lokal korrosion eller gropfrätning/punktkorrosion. Frätgroparna som bildas är oftast små men korrosionshastigheten hög och slutligen bildas hål genom materialet. Korrosionshastigheter på flera mm/år är inte ovanligt. Lokal korrosion är vanlig i sura miljöer i närvaro av kloridjoner och gropfrätning är vanligt förekommande just på bottenplåtar. Pressvätskan har ett lågt pH-värde och innehåller höga halter av klorider vilket är orsaken till denna typ av korrosion.

Galvanisk korrosion

Då metaller och legeringar med olika elektrodpotential (ädelhet) är i kontakt, och elektrolyt (pressvätska) är närvarande, bildas en galvanisk cell. Metallen med den högre elektrodpotentialen blir då katod medan den med lägre potential blir anod och börjar korrodera om potentialskillnaden är tillräckligt stor.

Tjockare bottenplåt

Den vanligaste metoden för att förhindra genomrostning är att ersätta en tunnare plåt med tjockare plåt. Nackdelen är att aggregatet blir tyngre eftersom tjockleken ofta fördubblas, t.ex. byts 3mm tjocka plåtar ut mot 6mm tjocka plåtar.

Utformning av insamlingsbehållare

Pressvattnet töms förvisso ut men beroende på konstruktionen av behållarna, vilka skiljer sig mellan tillverkarna, kan en del dock stanna kvar i t.ex. utbuktningar eller i andra vattenuppsamlade konstruktioner. Åtgärder har vidtagits som gör att pressvattnet rinner ut av sig självt och vissa behållare är konstruerade så att pressvattnet rinner ner i uppsamlingsbehållare.

Materialval till bottenplåt

De vanligaste typerna av material som används till bottenplåt, på vilken den värsta korrosionen sker, är rosttröga höghållfasta låglegerade stål som t.ex. Domex men också kolstål har förekommit. Hardox, som är ett annat stål av liknande typ används också i mer sällsynta fall som bottenplåt. När ett mer korrosionsresistent material används, faller oftast valet på det austenitiska rostfria stålet SS 304. I de fall bytet har utvärderats har resultaten visat en klart minskad korrosion. Andra material som föreslagits vid extrem korrosion är t.ex. den nickelbaserade superlegeringen Inconel 625. Om detta material i praktiken har använts har inte framgått. En svårighet med användning av rostfritt eller en superlegering enligt ovan är risken för uppkomst av galvanisk korrosion vid svetsfogen när materialen svetsas ihop med mer låglegerade stål, t.ex. Domex-stål. Den galvaniska korrosionen kan reduceras m.h.a. val av rätt tillsatsmaterial och efterföljande värmebehandling efter avslutad svetsning. Svetsfogen bör om möjlig placeras så att den hålls torr och inte nås av elektrolyt (pressvätska).

Ytbeläggning av stålytor

För att förebygga korrosion eller åtminstone minska korrosionshastigheten är den vanligaste metoden att belägga ytan med ett lager av annat material. Exempel på beläggningsmetoder är målning, termisk sprutning, påsvets, förzinkning, fosfatering etc.

Termisk sprutning

Vanligtvis sprutas en legering i smälta, eller metalliskt pulver som åtminstone delvis är smält, med hög hastighet mot ytan som ska beläggas. Beläggningsmaterialet kan utgöra material med egenskaper med mycket stor variation, t.ex. korrosionsbeständighet, nötningsbeständighet, temperaturbeständighet, etc. Beläggningen är typiskt 0,2mm – 1 mm tjock. Beläggningssytorna kan bli relativt släta men viss porositet kan förekomma beroende på beläggningsteknik. Porerna kan dock samla vätska som kan orsaka korrosion. Eftersom beläggning bara binds mekaniskt till ytsubstratet kan vidhäftningen ibland vara låg.

Påsvetsning

En annan vanlig beläggningsmetod är påsvetsning av metalliskt material. Fördelen med påsvetsning är den goda vidhäftningen eftersom beläggningsmaterialet binds metallurgiskt till substratet. Beläggningens tjocklek kan variera från någon millimeter upp till flera millimeter. Nackdelarna kan vara att stora plåtytor tenderar att slå sig p.g.a. av den stora värmetillförseln under påsvetsningen och beläggningens och substratets olika värmeutvidgningskoefficienter. Ytan kan också bli förhållandevis ojämn. Den

nickelbaserade superlegeringen Inconel 625 används ofta som beläggningsmaterial vid påsvetsning.

Målning

Målning används också i korrosionsförebyggande syfte, t.ex. rostskyddsfärg på fordon. Dock är färgskiktens livslängd i regel ganska korta, speciellt då nötning sker. En annan begränsning i detta sammanhang är att rostskyddsfärg kan bestå av ämnen som inte får tillföras till hanteringen av matavfall. Ragn-Sells har dock påbörjat försök med målning av tvåkomponentsfärg på bottenplåt i insamlingsaggregat. Studien är ännu inte avslutad. Fosfatering och förzinkning är andra vanliga korrosionsskyddande metoder. Metoderna går dock inte att använda vid hantering av matavfall??

Rengöring av behållarna

Regelbunden tvätt av behållarna med eller utan avfettningsmedel anses vara befrämjande för att minska korrosionsangreppen. Resultaten från korrosionsmätningarna i denna studie visar dock på motsatsen. Likaså ökade inte korrosionshastigheten i korrosionsmätningarna när matavfallet tilläts ligga kvar under en längre tid, vilket också står i motsatsförhållande till vad som anses vara lämpligt. Däremot avtar korrosionshastigheten drastiskt i försöken när matavfallet är torrt, men ligger kvar i behållaren. Det kan därför vara viktigare att hålla utrymmet torrt än rent och fuktigt. Anledningen till detta är att korrosiva salter kan vara kvar i ojämnheter på bottenplattytan.

Avlägsnande av salter

Flera kommersiella medel finns tillgängliga på marknaden för avlägsnande av salter genom tvätt. Salter, vilka kan avlägsnas är bl.a. klorider, sulfater och nitrater. Tvättmedlen, som vanligtvis är flytande och nedbrytbara, späds med vatten och sprutas på ytan som ska rengöras. Även användande av högtryckstvätt är möjligt. Metoden skyddar inte mot frätande syror som finns i pressvattnet men rengör ytan från korrosiva salter, vilka speciellt bidrar till korrosion i fuktiga miljöer. Det innebär att korrosionen återkommer med tiden om inte ytorna regelbundet rengörs med tvättmedlen. Tvättmedlen används till rengöring av tankar, fartyg, broar, elektronik, oljeriggar, sågverk, rör m.m, på ytor av stål, betong och plast. Ingen information påträffades om att tvättmedlen använts till rengöring av insamlingsaggregat för matinsamling. Kostnaden för rengjord yta är ca 10kr/m²/per tvätt exklusive arbetskostnad. Exempel på tillverkare av denna typ av tvättmedel är t.ex. Chlor*Rid och HoldTight Solutions.

4.2 Renhållningsbolagens medverkan i studien

Totalt har nio renhållningsbolag medverkat i studien; Alingsås kommun, Borlänge Energi AB, Borås Energi & Miljö AB, IL Recycling, Jönköpings kommun, Lund Renhållningsverk, Ragn-Sells AB, Renova, och SITA. För att tillmötesgå företagets önskan om anonymitet har företagsnamnen ersatts med bokstäver utan korrelation till företagsnamnen. Specifikt hur företagen har medverkat i studien redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Översikt över respektive företags medverkan i studien.

Table 1. Summary over the participating companies contribution in the study.

Företag	Korrosionstester på lab.	Erfarenhetsinsamling
A	X	X
B	X	X
C	X	X
D	X	X
E	X	X
F	X	
G	X	X
I	X	

4.3 Insamling och analys av pressvätska

Samtliga företag som medverkat i studien har bidragit med pressvätska som använts till korrosionsförsöken på lab, (se Tabell 1).

Vätskan samlades upp av personal vid respektive företag baserat på från vilket fordon samt vilka dagar det passade. Proverna kommer från blandade förhållanden, från villaområden, lägenhetsområden och från områden som innefattar storkök. Proverna skickades direkt till SP:s lab efter provuttag. Korrosionsanalyserna påbörjades omedelbart när de anlände för att förhindra åldrande. Dock utreddes olika scenarion och vätskan förvarades i kylskåp under provtiden (för påfyllning, tvättrutiner etc).

pH-värdena för flera av proverna mättes. Att inte pH-värdena mättes på alla prov beror på att det tidvis saknades mätare som var tillförlitlig i denna typ av vätska med mycket fastmaterial. Kloridhalterna i ett fåtal prover mättes men förmodligen p.g.a. alltför mycket fast material blev mätningarna opålitliga. Även redoxpotentialen, oxidations/reduktionspotential (ORP) mättes på ett fåtal prov. Resultat från mätningarna redovisas ej i resultatredovisningen utan berörs endast som ytligast i resultatanalysdelen p.g.a. att de är alltför ofullständiga.

Samtliga pressvätskeprov testades med elektroder gjorda av Domex 550-stål, flertalet testades också med ett rostfritt stål SS 304. Endast ett fåtal prov testades med SiCromAl 8 och Inconel 625.

4.4 Korrosionstester i SP:s lab

Tabell 2 nedan visar en översikt över korrosionstesterna gjorda i SP:s lab.

Eftersom provningen skedde i lab simulerades flera moment som efterliknar den korrosionsprocess som en bottenplåt utsätts för vid insamling av matavfall:

- i) Omrörning av pressvätska: simulerar färd med fordonet.
- ii) Ej omrörning av pressvätska: fordonet står stilla.
- iii) Byte av pressvätska: pressvätskan töms ur insamlingsaggregatet och fylls på med nytt utan att tvätt sker däremellan.
- iv) Vattentvätt + byte av pressvätska: pressvätskan töms ur insamlingsaggregatet som tvättas med vatten och sedan fylls nytt på.
- v) Avfettningstvätt + byte av pressvätska: pressvattnet töms ur insamlingsaggregatet som tvättas med avfettningsmedel och sedan fylls nytt på.

Moment iii) – v) är baserade på de svar som de deltagande företagen har gett via erfarenhetenkäten.

De stål som användes var:

Domex 550 – i figurerna benämnd ”Domex”

SiCromAl 8 – i figurerna benämnd ”Sicromal”

Rostfritt SS 304 – i figurerna benämnd ”Rostfritt”

Inconel 625 – i figurerna benämnd ”Inconel”

Tabell 2. Översikt över de korrosionstester som genomfördes i SP:s lab.

<i>Anläggning</i>	<i>Byte av pressvätska</i>	<i>Vattentvätt (+ byte)</i>	<i>Avfettningstvätt (+ byte)</i>
A		D	D
B	D, R		
C utan omrörning	D	D	
C med omrörning	D, R, I		D, R
D		D, R	
E		D, R	
F utan omrörning	D	D	
F med omrörning		D	D
G	D, R	D, R	
I utan omrörning	D		
I med omrörning	D		D

D = Domex 550, R = Rostfritt SS 304, S = SiCromAl 8, I = Inconel 625

4.4.1 Korrosionsmätningar och analyser

Figur 1 till Figur 30 visar resultaten från korrosionsexperimenten gjorda i SP:s lab. I figurerna finns markeringar vid de tider då provet utsätts för byte av pressvätska (B), tvätt med vatten (VT) eller tvätt med avfettningsmedel (AT). I de flesta fall reagerade proven med en ökad korrosion vid dessa tillfällen, vilket indikeras med en topp på korrosionshastighetskurvan direkt efter B, VT eller AT. Hänvisningarna till figurnumren nedan är inte sekventiell utan följer metodbeskrivningen.

Med och utan omrörning av pressvätska

Figur 3 visar korrosionshastigheterna för tre identiska Domex 550-stål utan omrörning (Fig. 3) och med omrörning, Fig. 4. Försöket gjordes för att verifiera att korrosionsmätningarna är repeterbara. Från inledande höga korrosionshastigheter, ca 0,8

mm/år för de tre Domex-stålen faller korrosionshastigheterna omgående till 0,1 mm/år och efter ca två dygn till ca 0,05 mm/år. Den förhållandevis initialt höga men kortvariga korrosionshastigheten beror på att provmaterialet, dvs stålet, korroderar snabbt inledningsvis men bygger sedan upp ett skyddade skikt på de helt plåtrena ytorna. Trots att pressvätskan byts ut och att testelektroderna tvättas två gånger ligger korrosionshastigheterna kvar på ganska låga nivåer, < 0,1 mm/år.

Figur 4 visar att korrosionshastigheten stiger från ca 0,2 mm/år till 0,85 mm/år efter ca två dygn, för att därefter avta till ca 0,5 mm/år. Efter att pressvätskan bytts ut ökade korrosionen till 2,2 mm/år och föll under 0,5 mm/år efter ett dygn. Efter tvätt med avfettningsmedel ökade korrosionshastigheten till 2,8 mm/år och 2,5 mm/år för att i båda fallen sjunka tillbaka till ca 0,5 mm/år efter ett dygn.

Figur 9 visar korrosionshastigheten för Domex-stål från pressvätskeleverantör F, utan omrörning. Från en hög initial nivå avtar korrosionshastigheten omedelbart för att hamna väl under 0,1 mm/år efter några timmar oavsett pressvätskebyte eller tvätt med vatten. Korrosionshastigheten är 5-10 gånger högre vid omrörning då ingen aktivitet pågår. Byts pressvätska ut utan att tvättas är korrosionshastigheten över 40 gånger högre direkt efter bytet vid omrörning. Korrosionshastigheten avtar sedan snabbt. Detsamma gäller också efter tvätt även om tvätten gjordes med avfettningsmedel i omrörningsfallet.

Figur 10 visar korrosionshastighetsmätning i pressvätska från samma leverantör, fast nu med omrörning. Efter vattentvätt är korrosionshastigheten 0,75 mm/år för att sedan minska till 0,25 mm/år efter två dygn. Efter tvätt med avfettningsmedel ökar korrosionen till 1,6 mm/år respektive 1,2 mm/år. Korrosionshastigheten avklingar för att sjunka till under 0,2 mm/år efter ca fyra dygn. Också i denna jämförelse är korrosionshastigheten 5-10 ggr högre vid omrörning.

Figur 13 visar korrosionshastigheten på Domex-stål i pressvätska utan omrörning från företag I. Efter en initial hög korrosionshastighet 2,2 mm/år faller den till under 0,2 mm/år efter ca ett dygn. Trots ett byte av pressvätska ökar inte korrosionshastigheten utan hastigheten är ca 0,05 mm/år.

När samma pressvätska från företag I provades under omrörning, Figur 14, sjönk korrosionshastigheten från en hög nivå till ca 0,1 mm/år. Efter två rengöringar med avfettningsmedel sjönk åter hastigheten till ca 0,1 mm/år och ca 0,2 mm/år. Resultatet från tester med pressvätskan från företag I skiljer sig alltså från resultaten från företagen C och F.

Figur 6 visar korrosionshastigheten för Inconel 625 i pressvätska från företag C under omrörning. Ingen korrosionshastighet uppmätts efter den initiala spiken.

Byte av pressvätska: "B"

Momentet "byte av pressvätska" simulerar påfyllning av ny pressvätska i insamlingsaggregatets behållare. Påfyllning av ny pressvätska sker kontinuerligt men testmomentet omfattade bara test av ett påfyllningstillfälle, med ett undantag, Figur 11. När inte omrörning sker, d.v.s. fordonet står stilla, är påverkan av påfyllningen på korrosionen försumbar. Figurer 3, 8 och 11 som visar korrosionstester i pressvätska från företag C, F

och I visar ingen förändrad aktivitet vid de tillfällen byte av pressvätska görs, benämnd "B".

Om däremot omrörning sker, d.v.s. fordonet kör, ökar korrosionen vid byte (eller påfyllning) av pressvätska. Figur 4 visar att korrosionshastigheten ökar från 0,5 mm/år till 2,2 mm/år när pressvattnet från företag C byts ut (vid "B"). Figur 8 visar korrosionshastigheten i pressvätska från företag G. Korrosionshastigheten ökar från 0,05 mm/år till 0,2 mm/år när pressvattnet byts ut. Också i pressvätska från företag B, Fig. 2, ökar korrosionshastigheten från ca 0,17 mm/år till 0,25 – 0,35 mm/år.

Rengöring med vatten: "VT"

Enkätsvaren gav att två typer av rengöring utfördes. Det vanligaste sättet är att spola rent med vatten men även rengöring med avfettningsmedel förekommer. Vid positionen benämnd "VT" i diagrammen sköljdes provet rent i vatten. Figurer 3, 6 och 8 visar att rengöring med vatten inte har någon påverkan på korrosionen när ingen omrörning sker. När ingen omrörning sker finns heller inte någon påverkan på korrosionshastigheten vid vattentvätt.

Däremot är påverkan av tvätten betydlig vid omrörning. Figur 1 visar att korrosionshastigheten i pressvätska från företag A, minskar från 0,35 mm/år till 0,15 mm/år (bortse från spiken i grafen) för att sedan öka efter vattentvätten.

Korrosionshastigheten i pressvätska från företag E, Figur 8, visar att korrosionshastigheten ökar från 0,9 mm/år till 2,2 mm/år efter vattentvätt, men efter ett dygn har korrosionshastigheten fallit tillbaka till ursprungshastigheten.

Figur 10 visar mätningar i pressvätska från företag F. Vattentvätten sker omedelbart och korrosionshastigheten hamnar på ca 0,8 mm/år för att falla till ca 0,25 mm/år efter ett dygn.

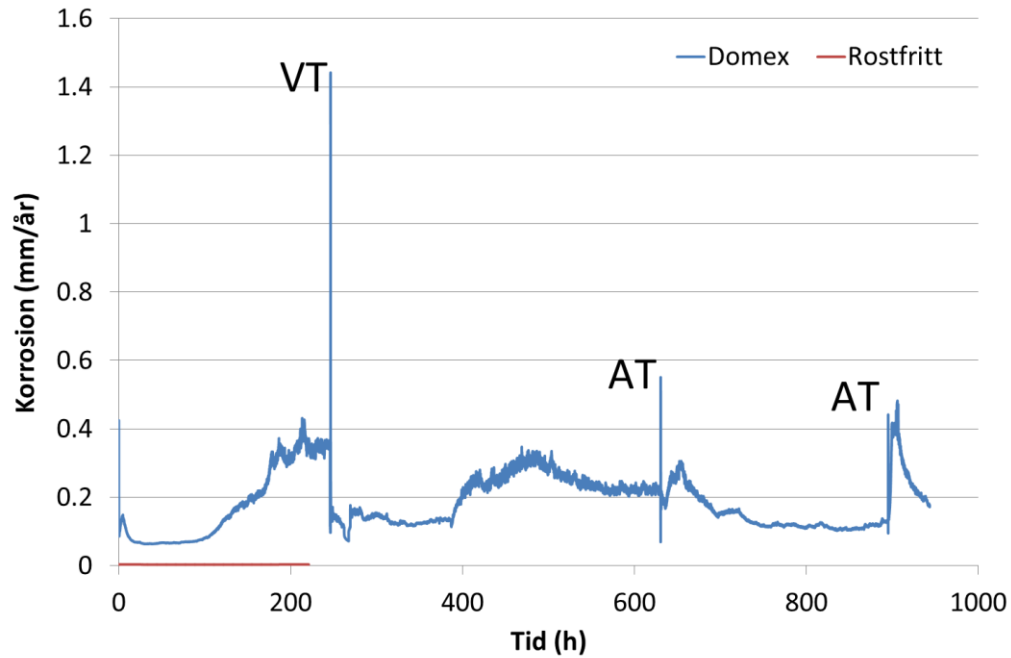
Figur 12 visar att korrosionshastigheten i pressvätska från företag G ökar från ca 0,05 mm/år till ca 0,45 mm/år efter vattentvätt, för att sedan falla tillbaka till ursprungsnivån efter några dygn.

Cirka 15h efter tvätten minskar korrosionshastigheten från 2,7 mm/år till 0,01 mm/år i pressvätska från företag I, Figur 11.

Rengöring med avfettningsmedel "AT"

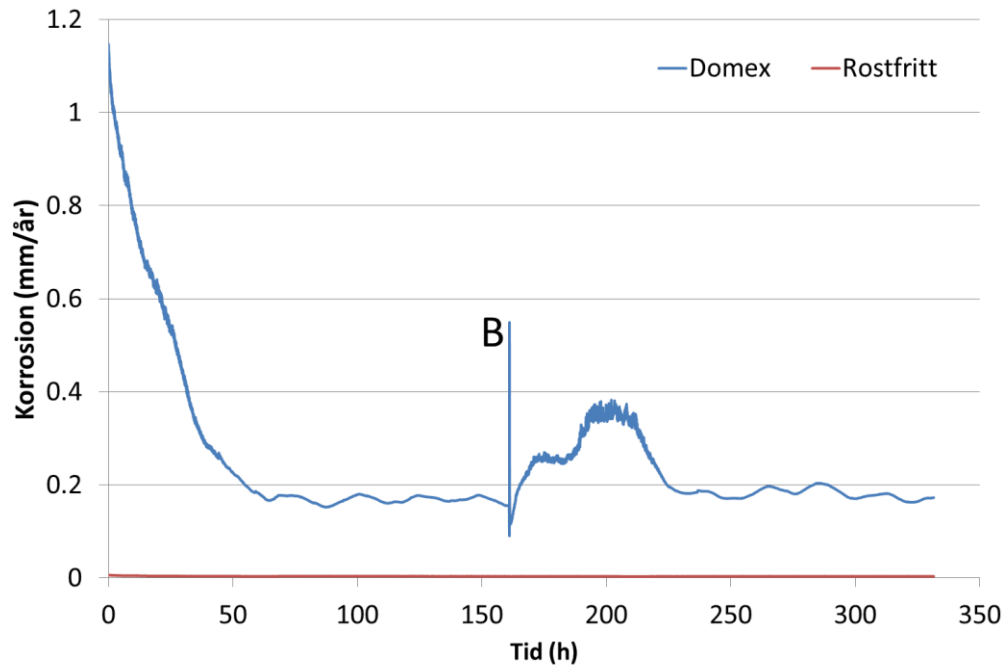
Till skillnad från fallen med vattentvätt "VT" testades inte några pressvätskaprover utan omrörning. Korrosionshastigheten förändrades efter tvätt med avfettningsmedel. Figur 1 visar ökningarna från 0,2 mm/år till 0,3 mm/år respektive 0,15 mm/år i pressvätska från företag A. Tester efter rengöring med avfettningsmedel i pressvätska från företag C ger ökningarna från 0,45 mm/år till 2,8 mm/år och 0,3 mm/år till 2,5 mm/år men korrosionshastigheterna närmar sig utgångshastigheterna inom något dygn, Figur 4. Figur 10 visar förändringarna i korrosionshastigheter i pressvätska från företag F. Korrosionshastigheterna efter tvätt med avfettningsmedel ökar från 0,25 mm/år till 1,6 mm/år och faller sedan tillbaka, samt 0,15 mm/år till 1 mm/år för att åter falla tillbaka. Även Figur 14, pressvätska från företag I, visar ökningarna av korrosionshastigheten efter

tvätt med avfettningsmedel. Ökningarna skedde från 0,05 mm/år till 0,6 mm/år och 0,05 mm/år till 1,4 mm/år för att inom något dygn kraftigt reduceras.



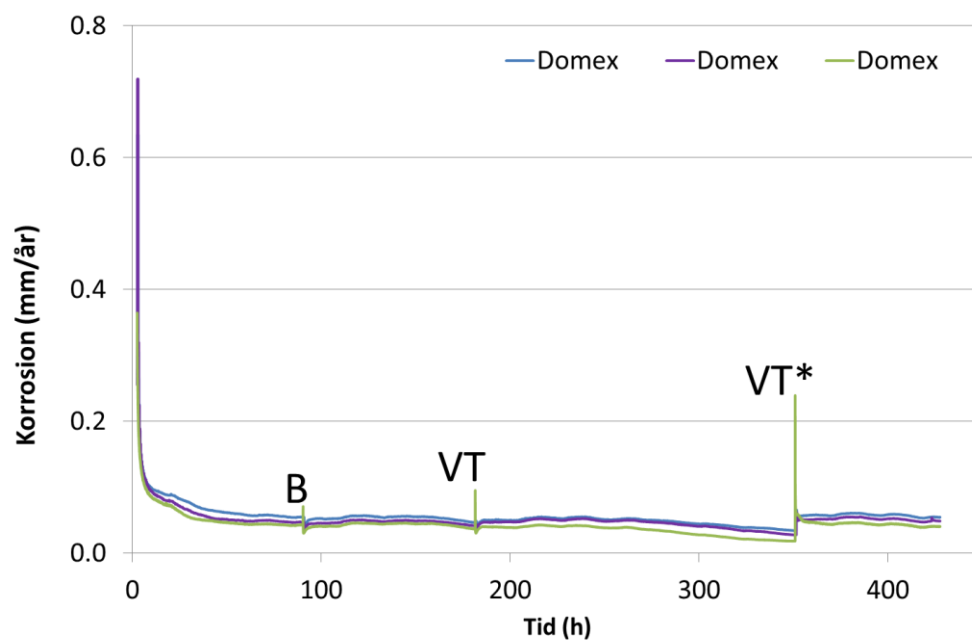
Figur 1. Korrosionstester på pressvätska från företag A.

Figure 1. Corrosion tests on press liquid from company A.



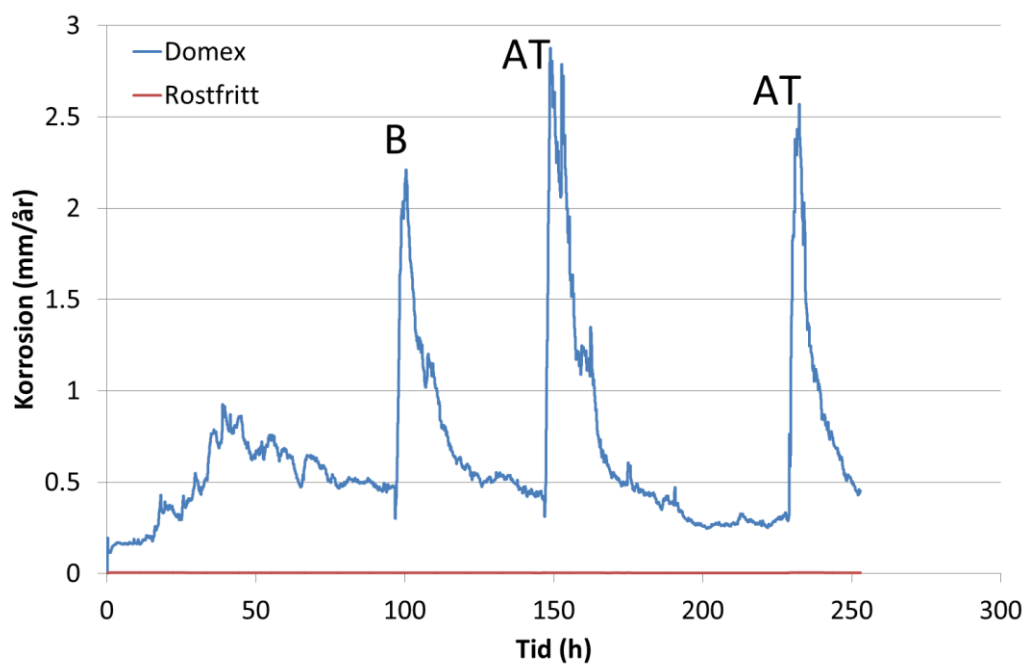
Figur 2. Korrosionstester på pressvätska från företag B.

Figure 2. Corrosion tests on press liquid from company B.



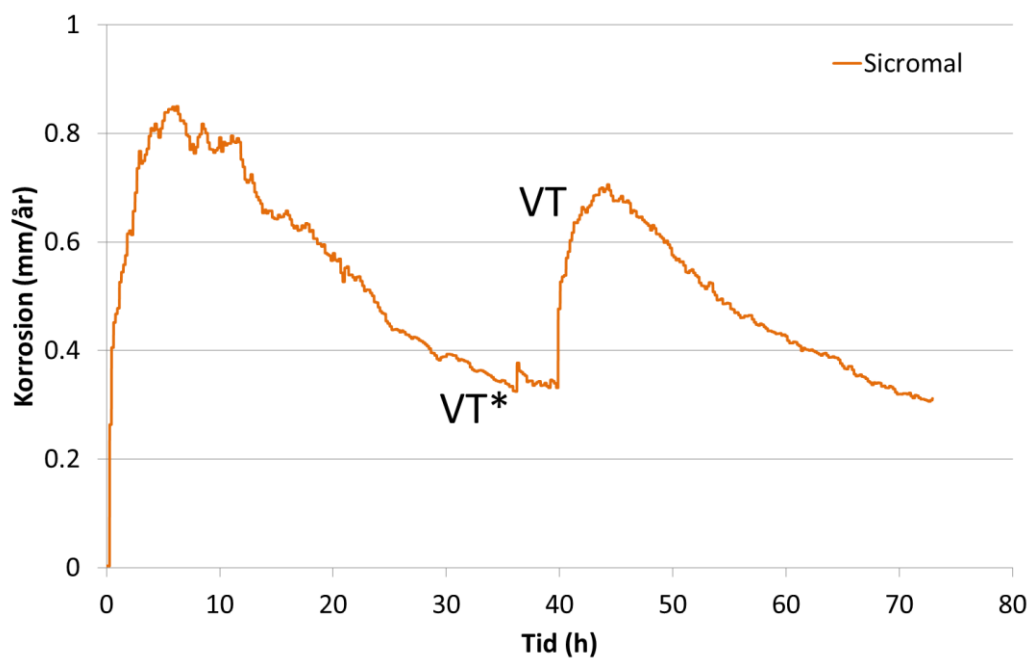
Figur 3. Korrosionstester på pressvätska från företag C, utan omrörning. *Elektrodena skrubades.

Figure 3. Corrosion tests on press liquid from company C, without stirring. *The electrodes were scrubbed.



Figur 4. Korrosionstester på pressvätska från företag C, med omrörning.

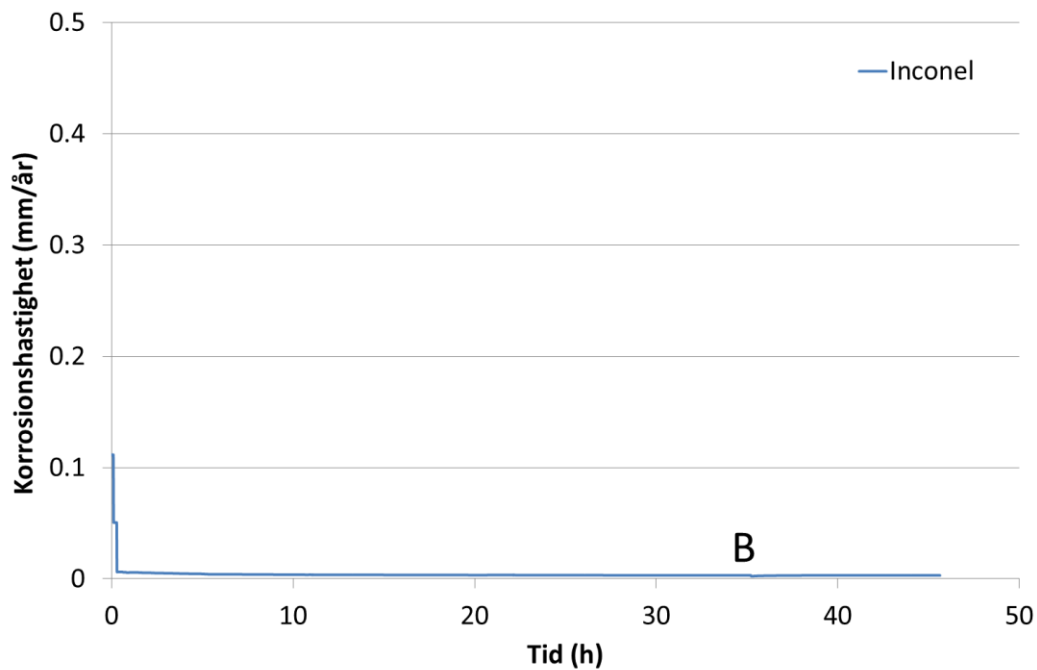
Figure 4. Corrosion tests on press liquid from company C, with stirring.



Figur 5. Korrosionstester på pressvätska från företag C, med SiCromAl 8. VT* innebär att elektroderna sköljdes i vatten och sedan placerades i samma pressvätska som innan.

Figure 5. Corrosion tests on press liquid from company C, with SiCromAl 8. VT* means that the electrodes were washed in water and then placed in the same press liquid as before.

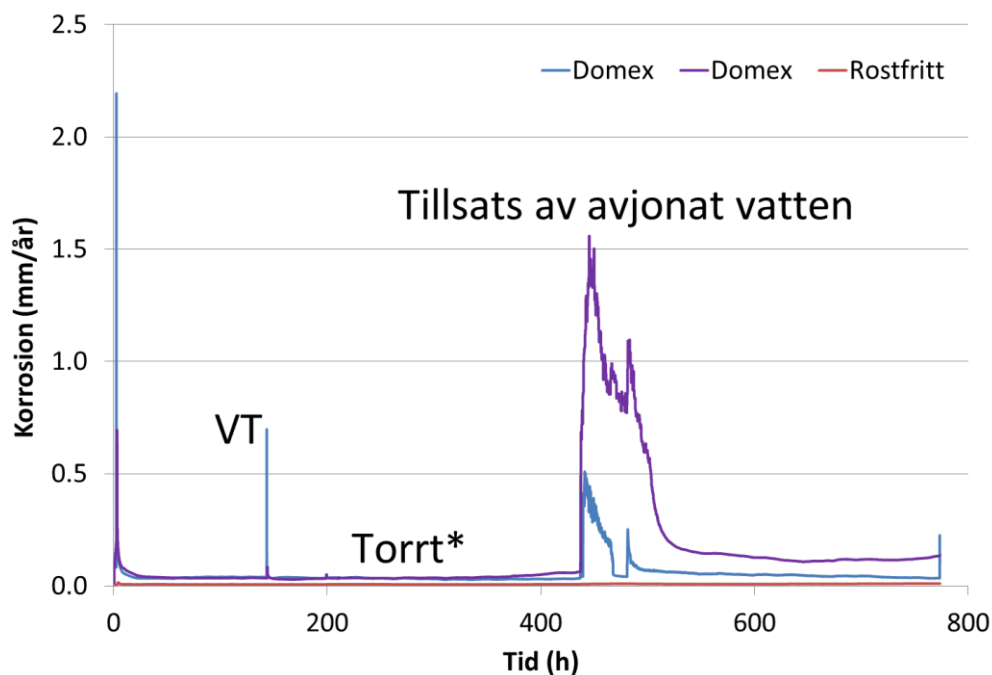
Figur 6 visar att korrosionshastigheten på Inconel 625 inte påverkas av bytet av pressvätska från företag C.



Figur 6. Korrosionstester på pressvätska från företag C på Inconel 625.

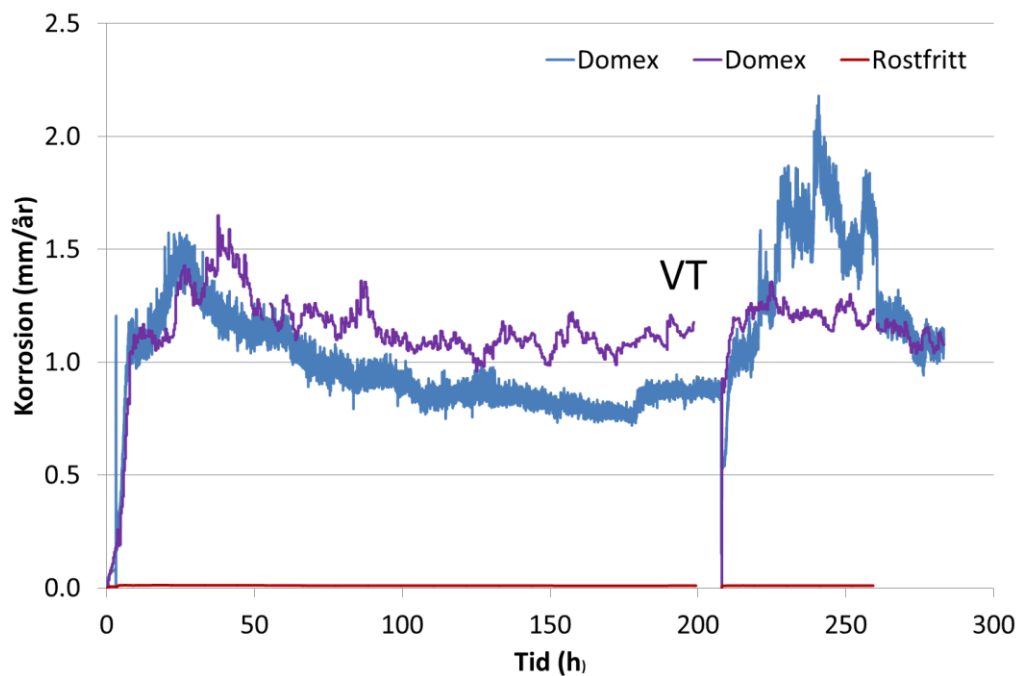
Figure 6. Corrosion tests on press liquid from company C on Inconel 625.

Efter vattentvätten för pressvätskan från företag D torkade pressvätskan ut. Korrosionshastigheten är då inte högre än ca 0,05 mm/år för Domex-stålet. Det rostfria stålet korroderar inte heller i detta fall, Figur 7.



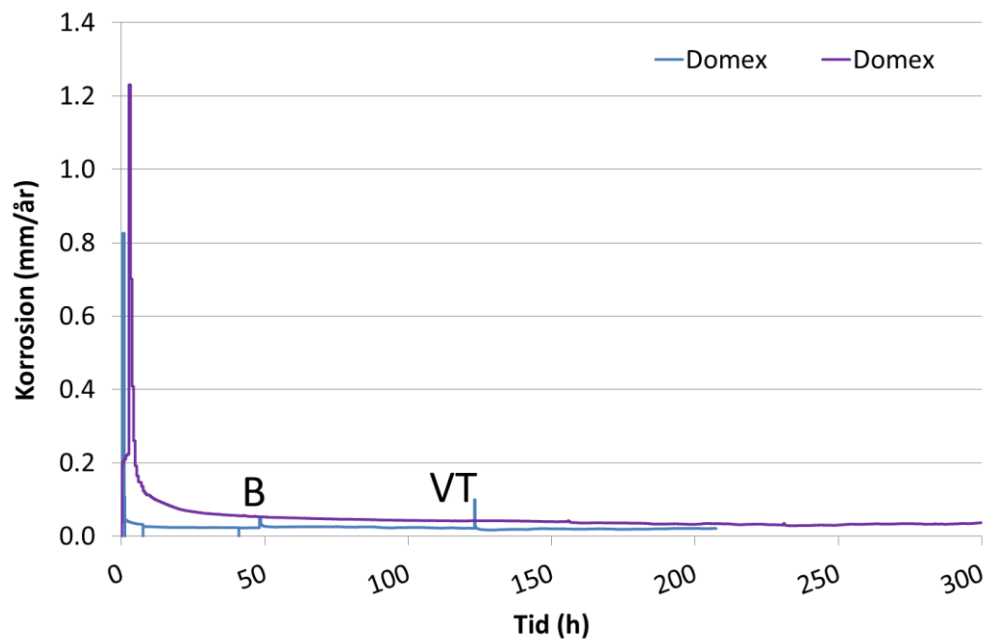
Figur 7. Korrosionstester på pressvätska från företag D. Detta prov tilläts gå torrt, d.v.s. det avdunstade efter första tvättningen. Därefter fylldes avjonat vatten på.

Figure 7. Corrosion tests on press liquid from company D. This sample was allowed to dry, i.e. it evaporated after the first wash. After this, deionized water was added to the sample.



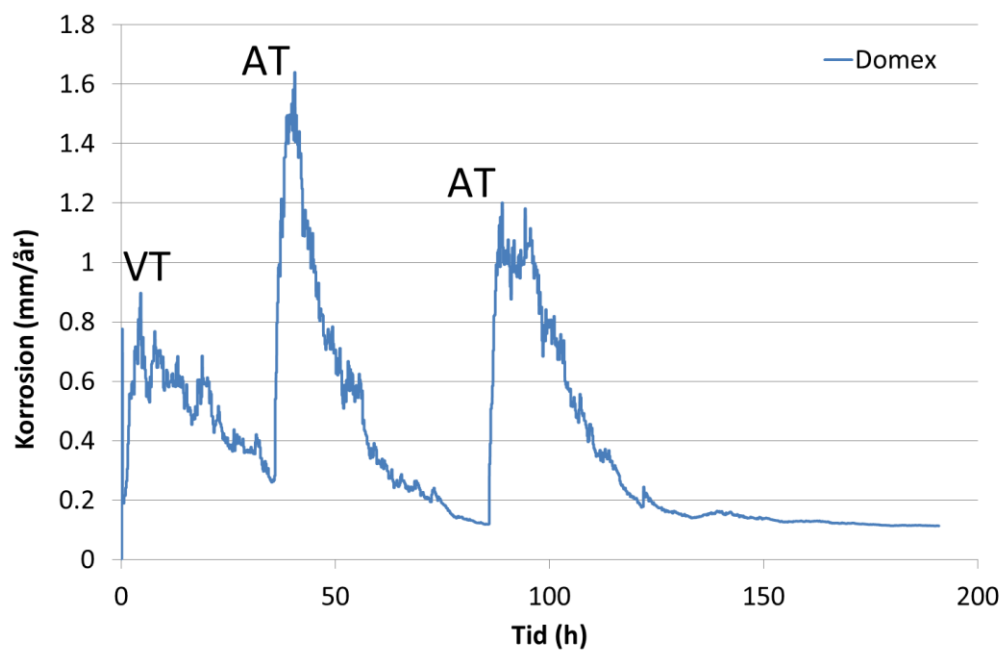
Figur 8. Korrosionstester på pressvätska från företag E (ett kortare stopp inträffade efter 200 h).

Figure 8. Corrosion tests on press liquid from company E (a shorter stop occurred after 200 h).



Figur 9. Korrosionstester på pressvätska från företag F, utan omrörning.

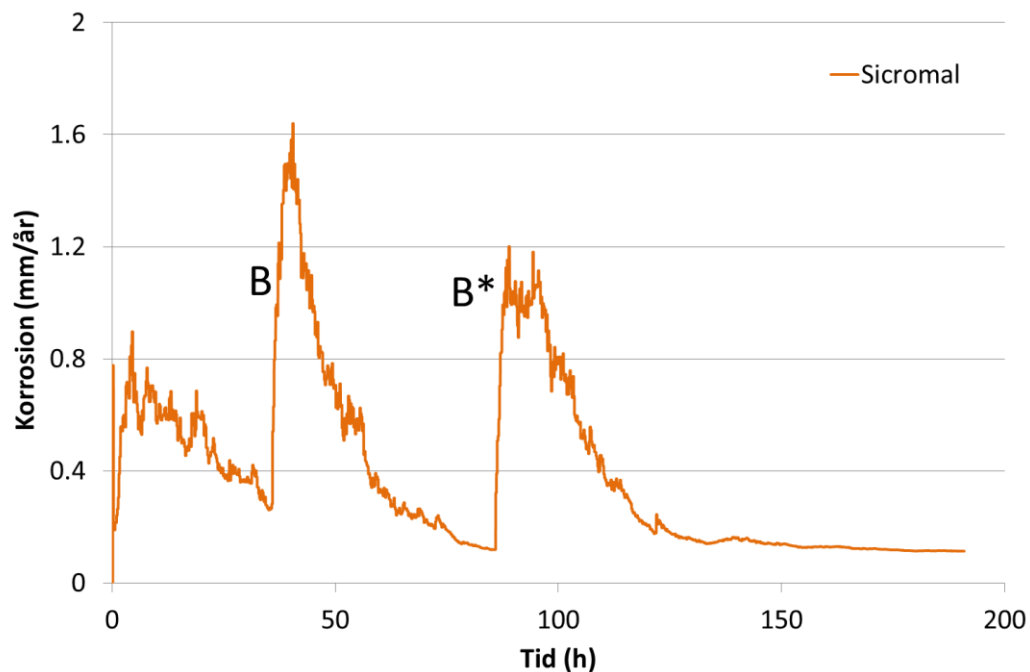
Figure 9. Corrosion tests on press liquid from company F, without stirring.



Figur 10. Korrosionstester på pressvätska från företag F, med omrörning.

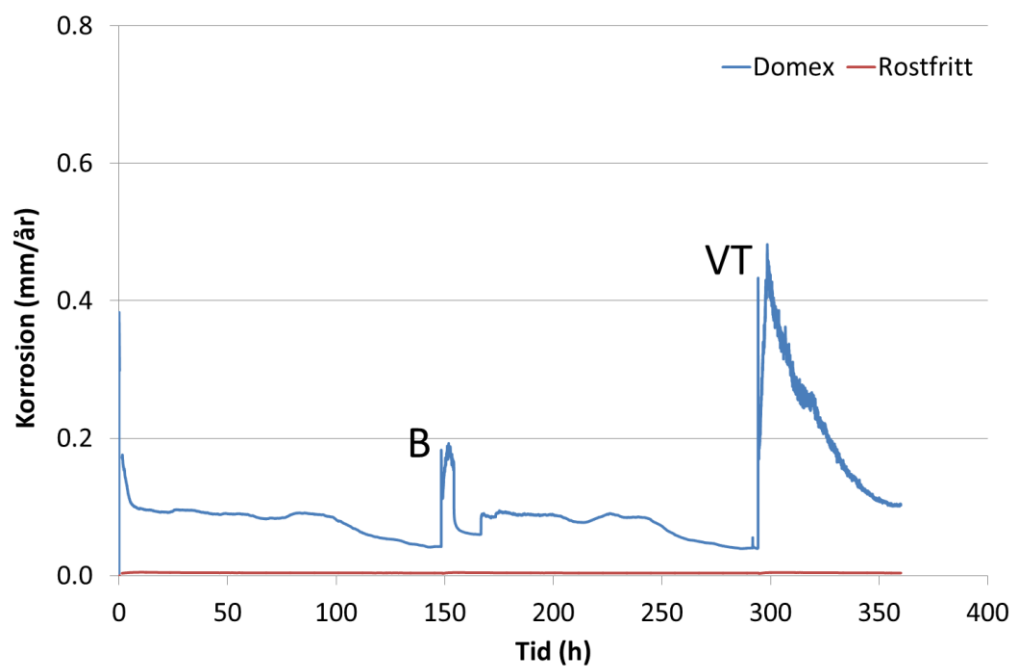
Figure 10. Corrosion tests on press liquid from company F, with stirring.

För att studera effekten av regelbunden påfyllning av ny pressvätska, för att simulera normal matinsamling, byttes hälften av pressvätskan ut var 20:e minut under 2 h, betecknat "B*" i Figur 11. Figuren visar att den höga korrosionshastigheten upprätthålls under tiden påfyllningssekvensen pågår, för att sedan avta och återgå till en lägre korrosionshastighet.



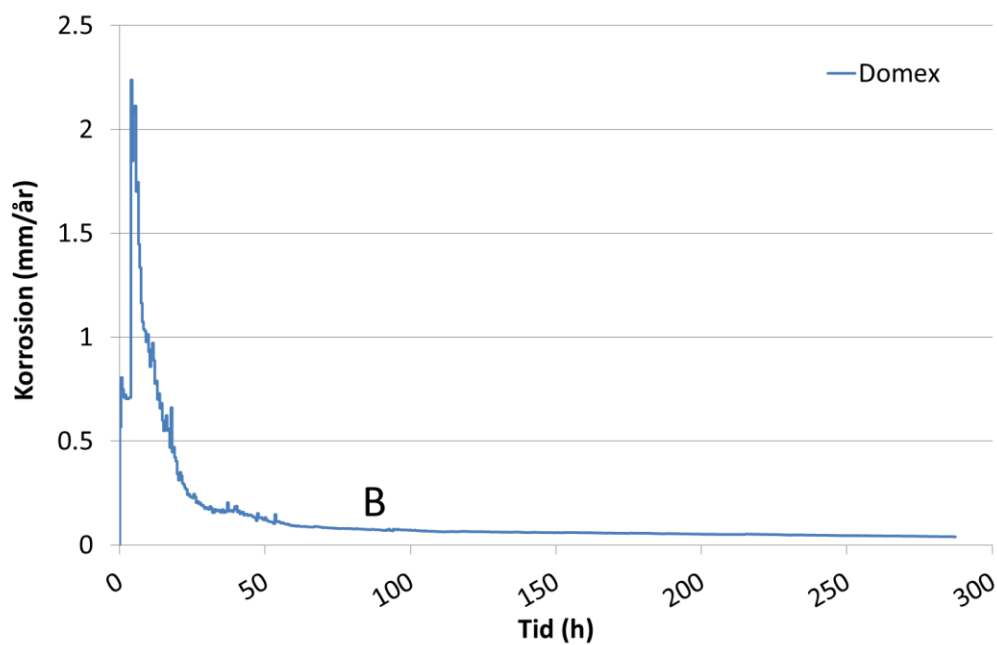
Figur 11. Korrosionstester på pressvätska från företag F, med SiCromAl 8. B* innebär att provet under 2 timmar fick hälften av pressvätskan utbytt med 20 minuters mellanrum.

Figure 11. Corrosion tests on press liquid from company F, with SiCromAl 8. B* means that the sample during 2 hours got half of the press liquid exchanged every 20 minutes.



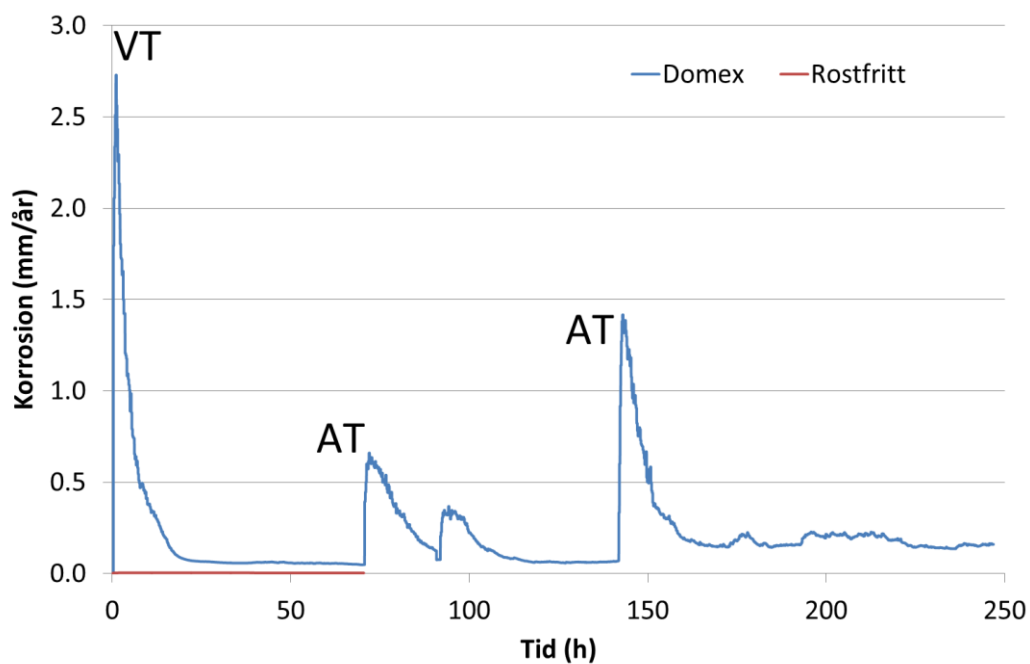
Figur 12. Korrosionstester på pressvätska från företag G.

Figure 12. Corrosion tests on press liquid from company G.



Figur 13. Korrosionstester på pressvätska från företag I, utan omrörning.

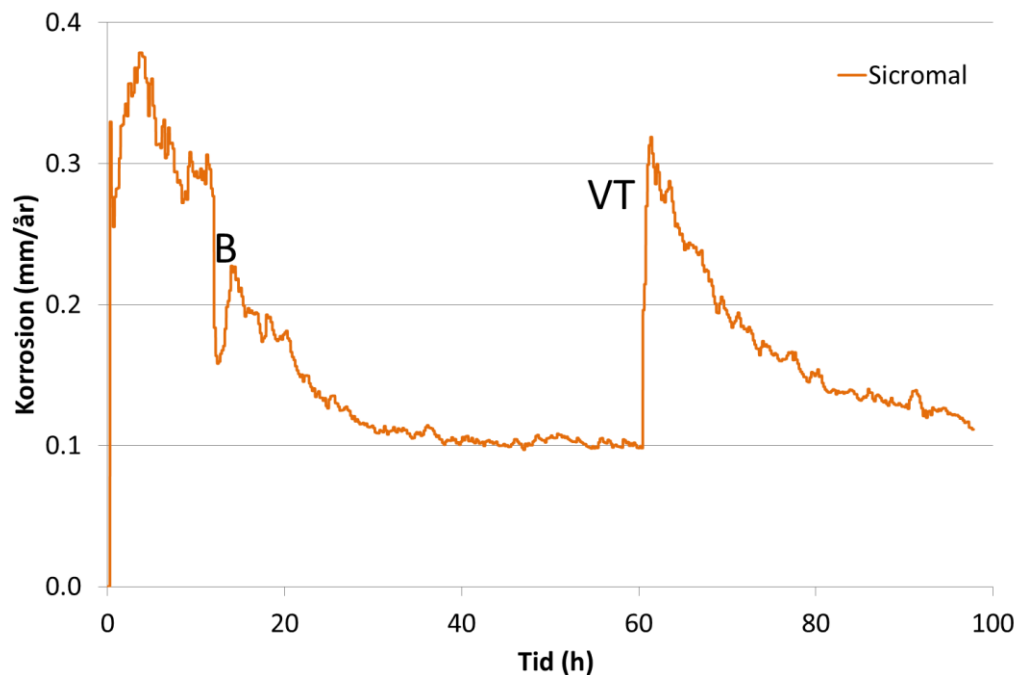
Figure 13. Corrosion tests on press liquid from company I, without stirring.



Figur 14. Korrosionstester på pressvätska från företag I, med omrörning.

Figure 14. Corrosion tests on press liquid from company I, with stirring.

Pressvätska från företag I testades även med ett mer korrosionsresistent material än Domex 550, nämligen SiCromAl 8. Resultatet, se Figur 15, visar att även detta material korroderar men inte lika mycket som Domex 550. Vid tvätt och byte av pressvätska stiger korrosionshastigheten från ca 0,1 mm/år till över 0,3 mm/år.



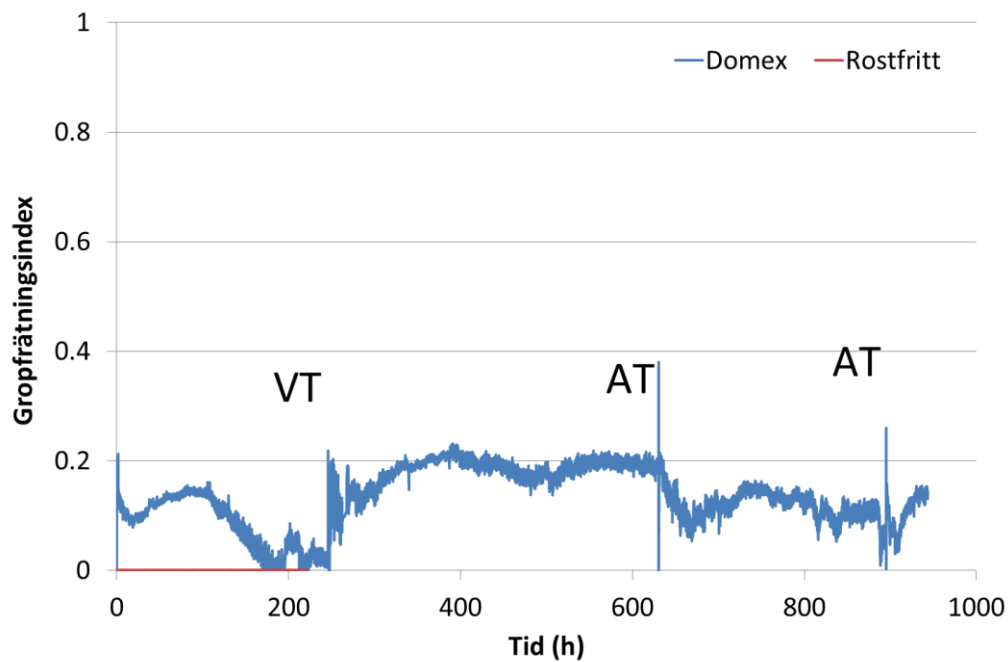
Figur 15. Korrosionstester på pressvätska från företag I, med SiCromAl 8.

Figure 15. Corrosion tests on press liquid from company I, with SiCromAl 8.

4.4.2 Gropfrättningsaktivitet

Figur 16 – 25 visar gropfrättningsaktiviteten i form av ett index. Indexet ger endast en fingervisning om gropfrättningsaktiviteten och är kopplad till allmätkorrosionen. Låg eller obefintlig allmätkorrosion ger alltid en låg gropfrättningsaktivitet oavsett värde på gropfrättningsindex. Pågår däremot allmätkorrosion och gropfrättningsindex är mellan 0,01 och 0,1 gäller att gropfrätning pågår. Är index större än 0,1 äger en initiering av gropfrätning rum.

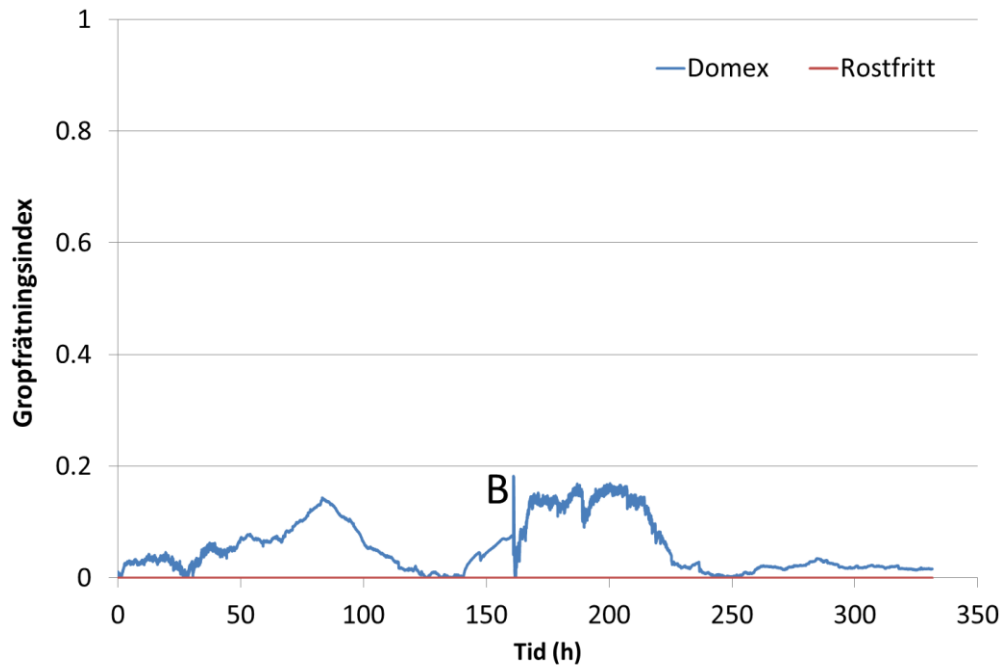
Figur 16 visar att gropfrätning pågår och initieras, i pressvätska från företag A, under i stort sett hela försöksperioden för Domex-stålet. Det rostfria stålet 304 visar inga tecken på gropfrätning.



Figur 16. Gropfrättningsindex av pressvätska från företag A.

Figure 16. Pitting corrosion index of the press liquid from company A.

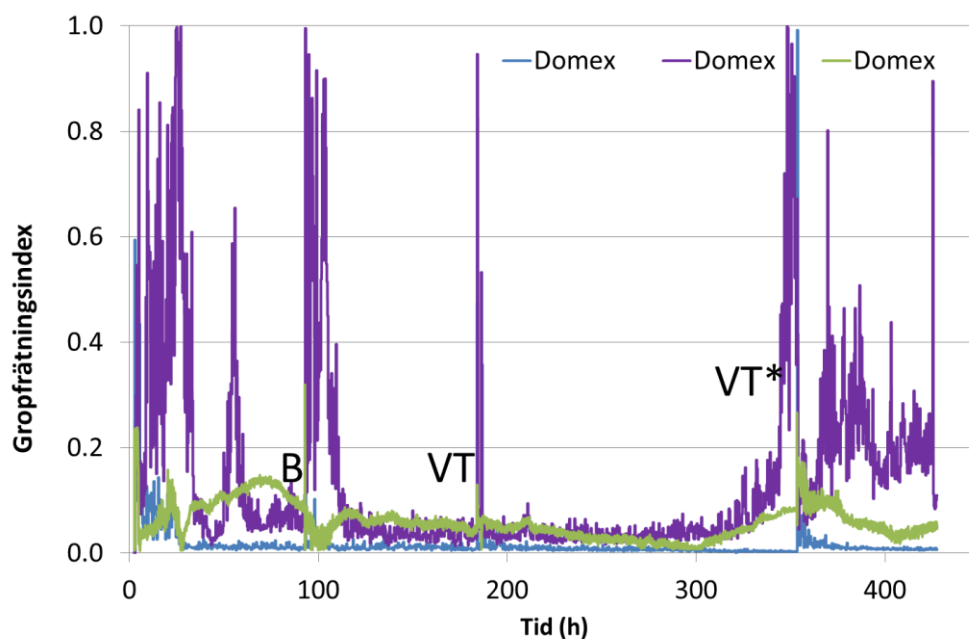
Figur 17 visar att gropfrätning pågår och initieras, i pressvätska från företag B, under i stort sett hela försökperioden för Domex-stålet. Det rostfria stålet 304 visar inga tecken på gropfrätning.



Figur 17. Groppfrättningsindex av pressvätska från företag B

Figure 17. Pitting corrosion index of the press liquid from company B

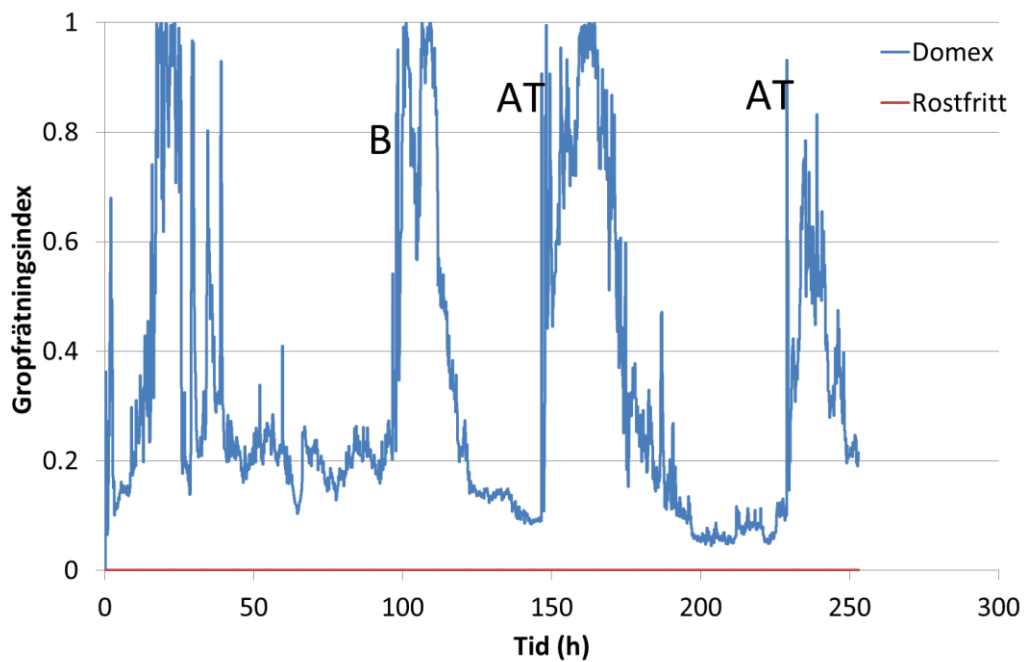
Figur 18 och 19 visar att groppfrätning pågår och initieras, i pressvätska från företag C, under i princip hela försöksperioden på Domex-stålen med och utan omrörning. Det jämförelsevis höga värdet på det andra Domex-provet (lila färg i figuren) beror på att signalen inte är kalibrerad.



Figur 18. Gropfrättningsindex av pressvätska från företag C, utan omrörning. VT* innebär att elektroderna skrubades.

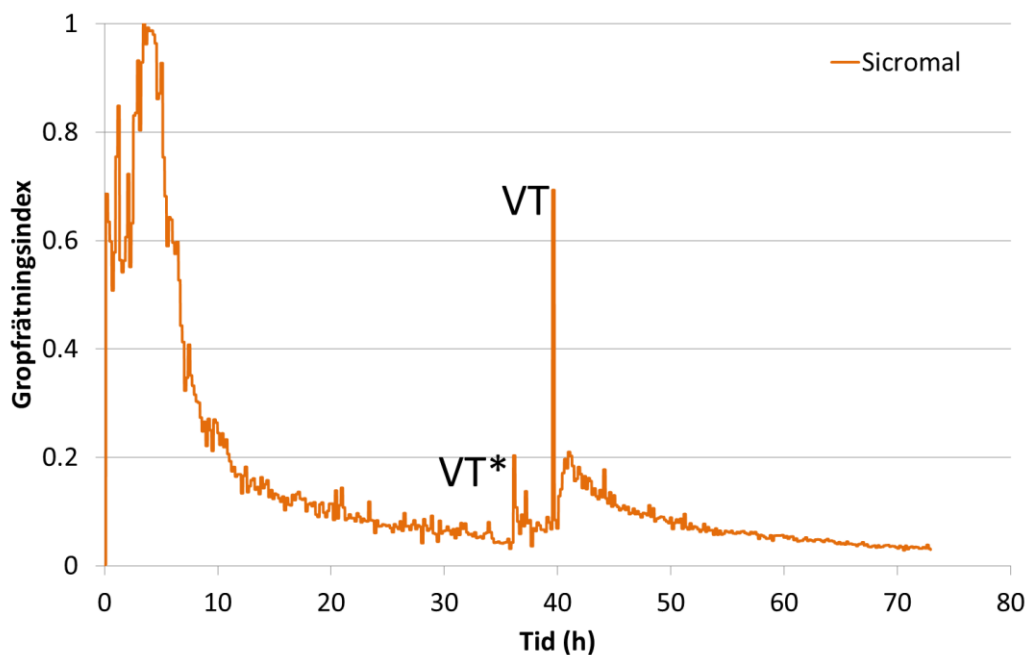
Figure 18. Pitting corrosion index of the press liquid from company C, without stirring. VT* implies that the electrodes were scrubbed.

Figur 19 visar också att gropfrätning pågår och initieras, i pressvätska från företag C, under i stort sett hela försökperioden för Domex-stålet. Det rostfria stålet 304 visar inga tecken på gropfrätning.



Figur 19. Gropfrättningsindex av pressvätska från företag C, med omrörning.

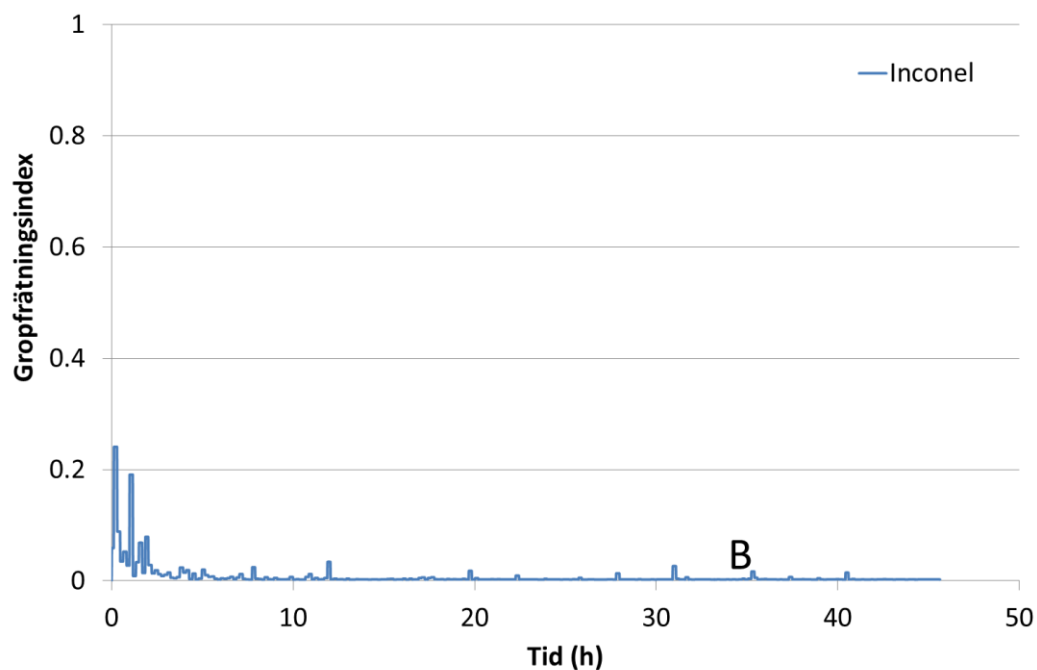
Figure 19. Pitting corrosion index of the press liquid from company C, with stirring.



Figur 20. Gropfrättningsindex av pressvätska från företag C, med SiCromAl 8. VT* innebär att elektroderna sköljdes i vatten och sedan placerades i samma pressvätska som innan.

Figure 20. Pitting corrosion index of the press liquid from company C, with SiCromAl 8. VT* means that the electrodes were washed in water and then placed in the same press liquid as before.

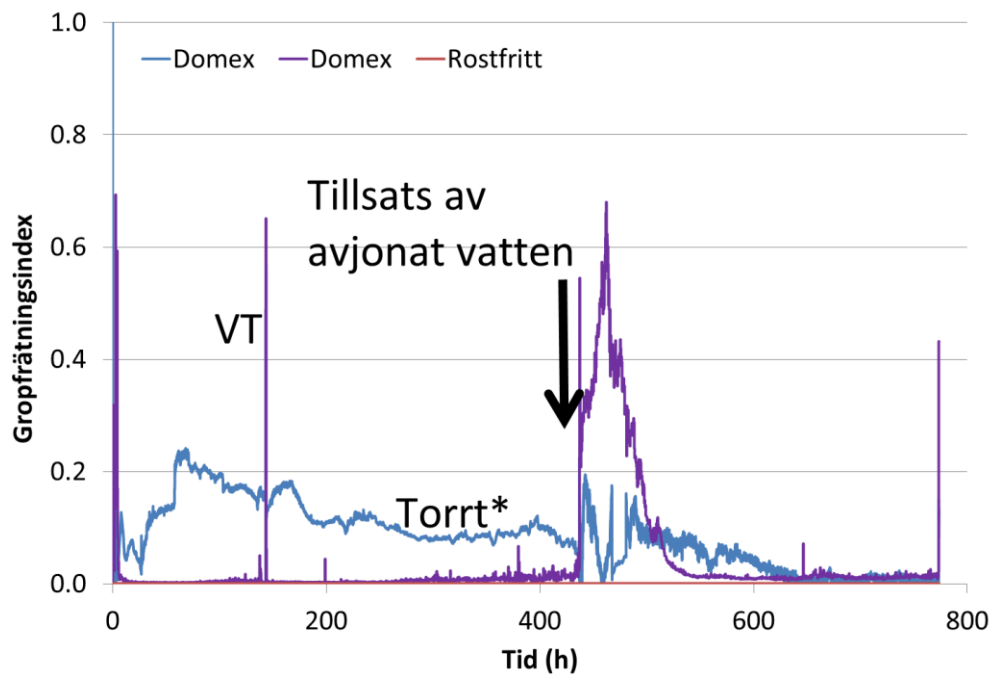
Inconel 625-materialet visade inga tecken på gropfrätning i pressvätska från företag C under omrörning. Den gropfrättningsaktivitet som visas i Figur 21 är skenbar eftersom ingen korrosionshastighet, se Fig. 5, uppmättes samtidigt.



Figur 21. Gropfrättningsindex av pressvätska från företag C på Inconel 625.

Figure 21. Pitting corrosion index of the press liquid from company C on Inconel 625.

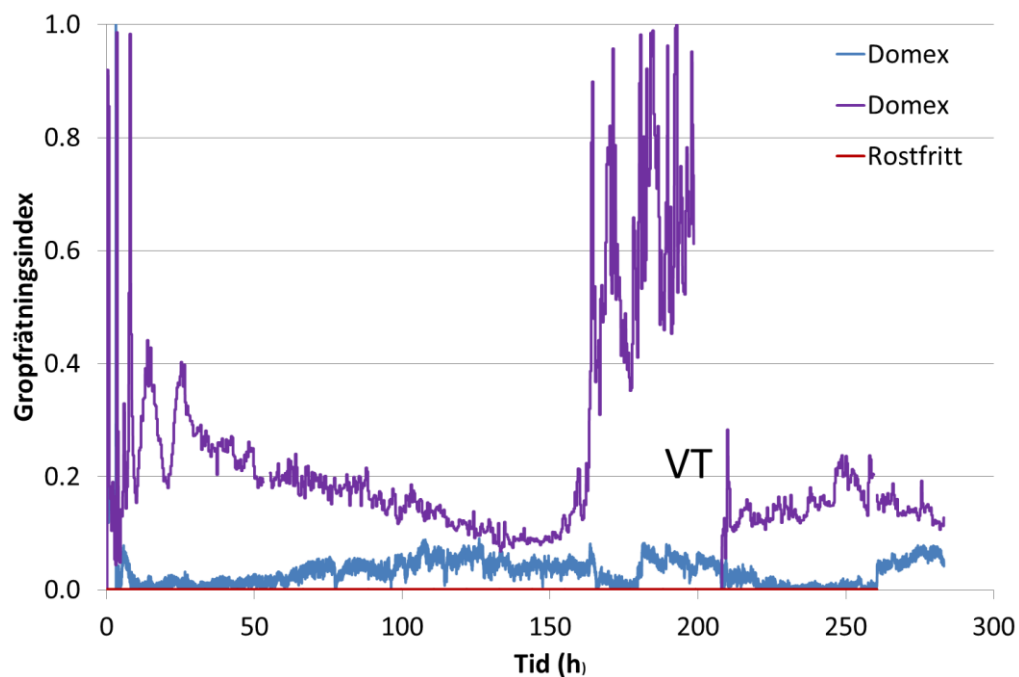
Figur 22 illustrerar den uppmätta gropfrättningsaktiviteten i pressvätska från företag D. Gropfrättningsaktiviteten ökade när avjonat vatten fylldes på det torra provet för Domex-stålen. Det rostfria stålet 304 visar åter inga tecken på gropfrätning.



Figur 22. Gropfrättningsindex av pressvätska från företag D. Vätskan avdunstade efter första tvättningen. Därefter fylldes avjonat vatten på.

Figure 22. Pitting corrosion profile of the press liquid from company D. The sample evaporated after the first wash. After this, deionized water was added to the sample.

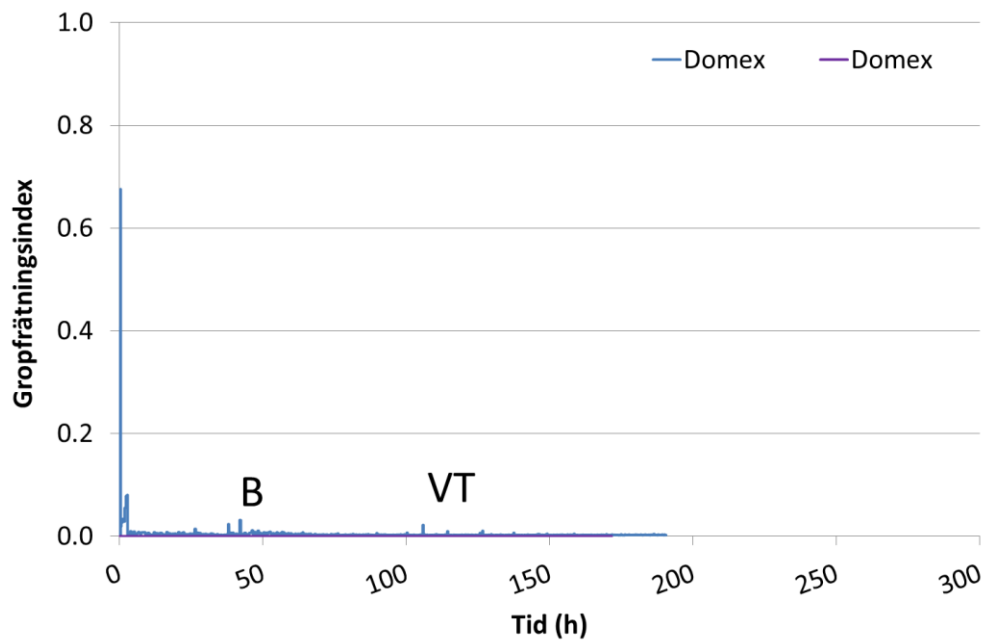
Figur 23 visar också att gropfrätning pågår och initieras, i pressvätska från företag E, under i stort sett hela försökperioden för Domex-stålet. Det rostfria stålet 304 visar inga tecken på gropfrätning.



Figur 23. Gropfrättningsindex av pressvätska från företag E.

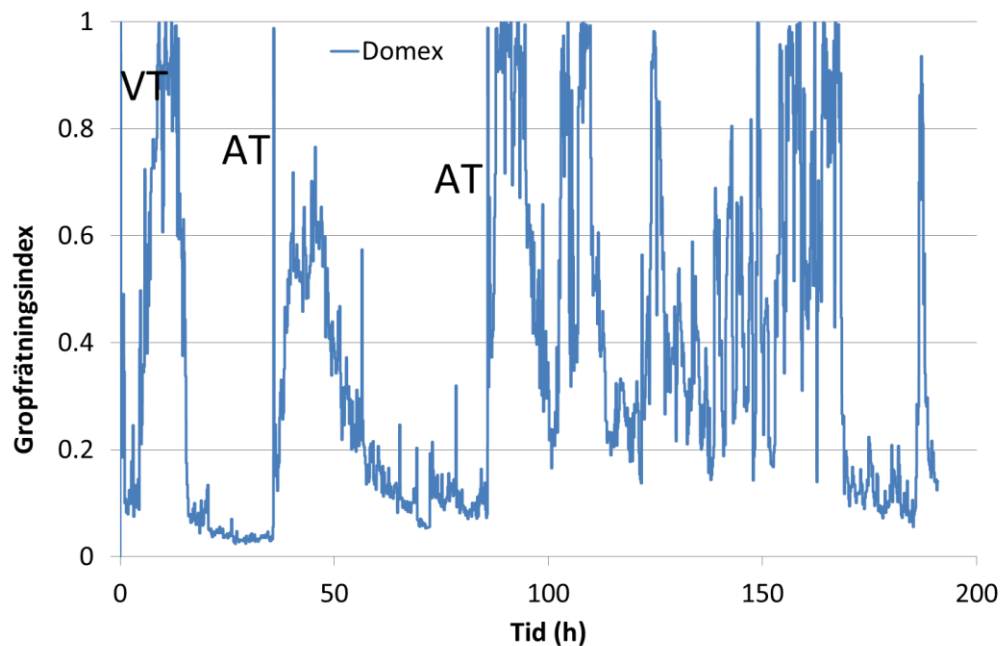
Figure 23. Pitting corrosion index of the press liquid from company E.

Figur 24 visar att gropfrätning inte pågår när pressvätska från företag F inte rörs om. Däremot pågår gropfrätning vid omrörning för Domex-stålet, se Figur 25.



Figur 24. Gropfrättningsindex av pressvätska från företag F, utan omrörning.

Figure 24. Pitting corrosion index of the press liquid from company F, without stirring.

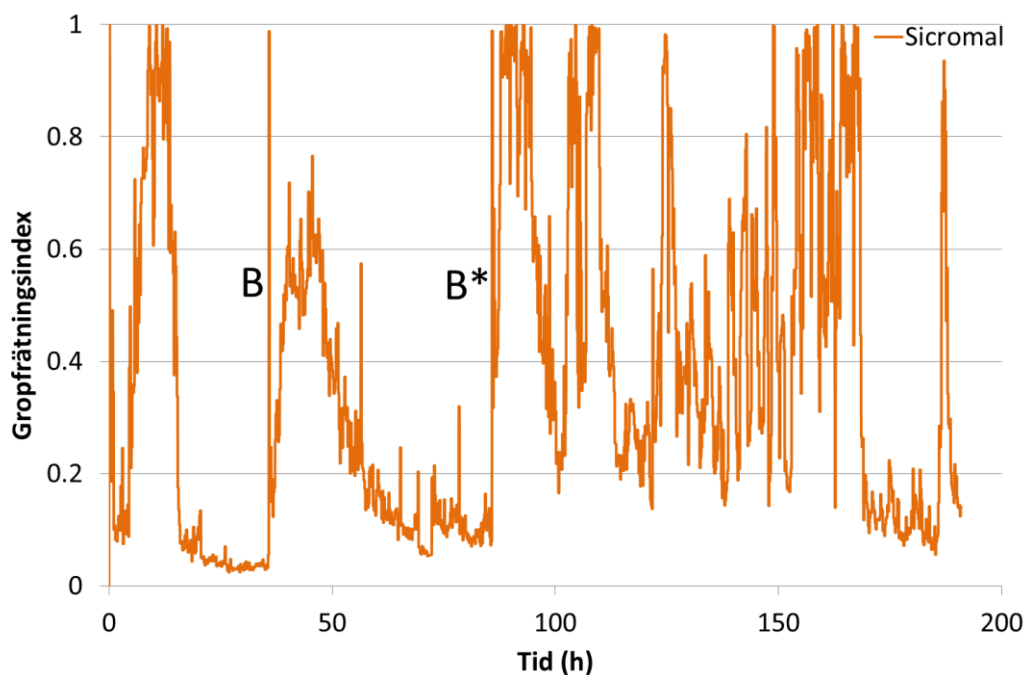


Figur 25. Gropfrättningsindex av pressvätska från företag F, med omrörning.

Figure 25. Pitting corrosion index of the press liquid from company F, with stirring.

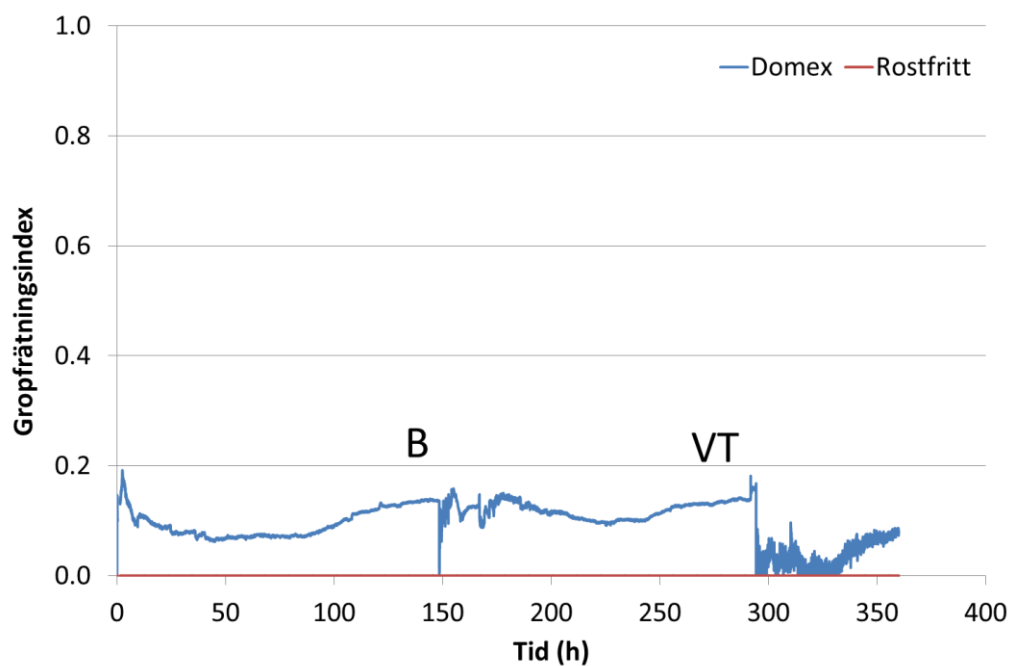
Effekten av regelbunden påfyllning av ny pressvätska på gropfrättningsaktiviteten är initialt påfallande. Vid position "B*" i Figur 26 byttes hälften av pressvätskan ut var 20:e minut under 2 h och gropfrättningsaktiviteten ökade omedelbart. Den därefter uppmätta aktiviteten korrelerar inte med påfyllningssekvensen utan pågår med olika intensitet efteråt.

Gropfrätning pågår och initieras, i pressvätska från företag G, under i stort sett hela försökperioden för Domex-stålet, se Figur 27. Det rostfria stålet 304 visar inga tecken på gropfrätning.



Figur 26. Gropfrättningsindex av pressvätska från företag F, med SiCromAl 8. B* innebär att provet under 2 timmar fick hälften av pressvätskan utbytt med 20 minuters mellanrum.

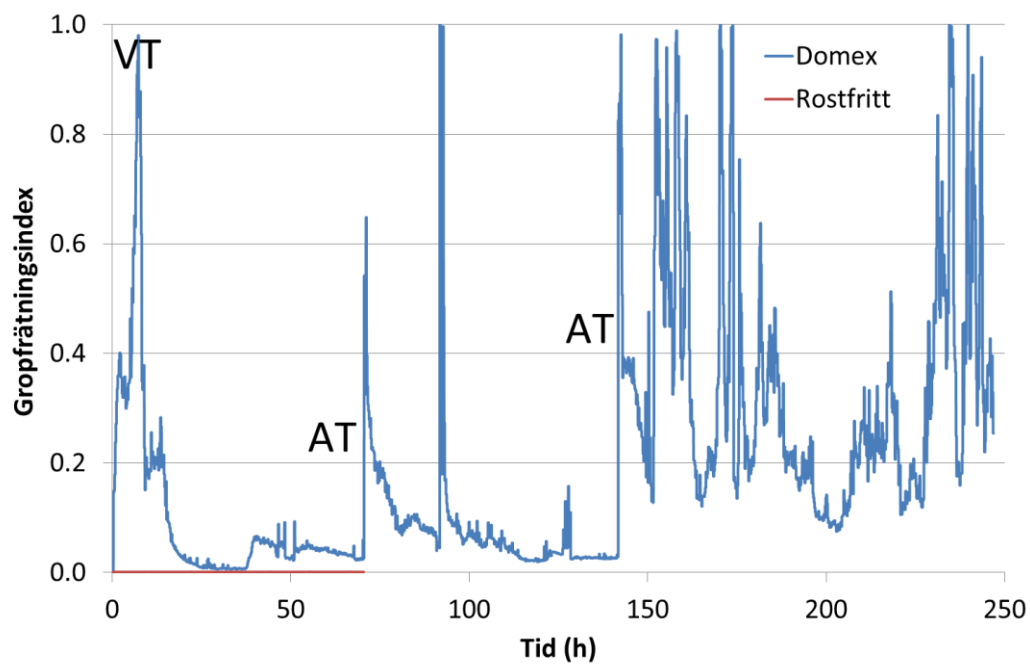
Figure 26. Pitting corrosion index of the press liquid from company F, with SiCromAl 8. B* means that the sample during 2 hours got half of the press liquid exchanged every 20 minutes.



Figur 27. Gropfrättningsindex av pressvätska från företag G.

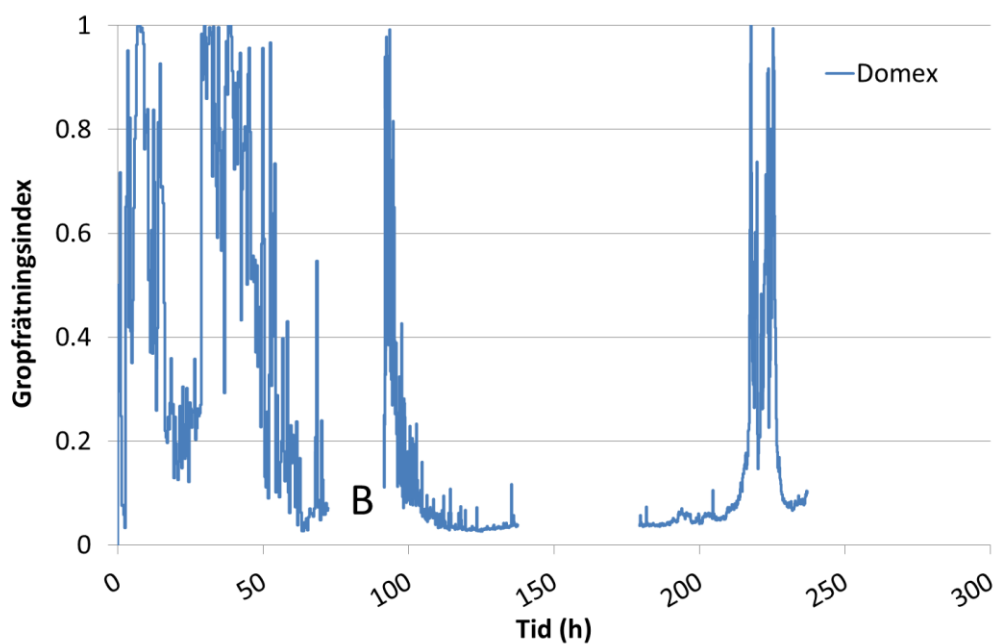
Figure 27. Pitting corrosion index of the press liquid from company G.

Figur 28 och 29 visar att gropfrätning pågår på Domex-stålen från företag I och att gropfrätningen sker oavsett omrörning eller inte. Det rostfria stålet är inte heller i detta fall utsatt för gropfrätning.



Figur 28. Gropfrättningsprofil av pressvätska från företag I, utan omrörning.

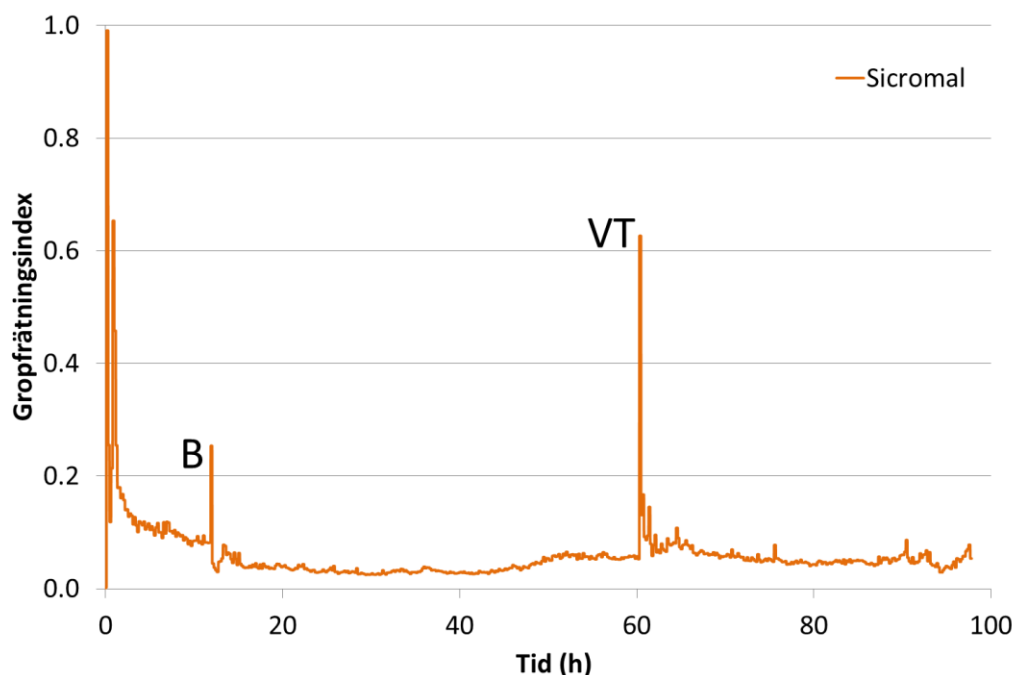
Figure 28. Pitting corrosion index of the press liquid from company I, without stirring.



Figur 29. Gropfrättningsindex av pressvätskan från företag I, med omrörning.

Figure 29. Pitting corrosion index of the press liquid from company I, with stirring.

Figur 30 visar gropfrättningsaktiviteten för SiCromAl 8 exponerad i pressvätska från företag I. Gropfrättningsindex är i regel lägre än 0,1, vilket visserligen indikerar att gropfrättningsaktivitet pågår men inte att nya gropfrättningspunkter initieras.



Figur 30. Gropfrättningsindex av pressvätska från företag I, med SiCromAl 8.

Figure 30. Pitting corrosion index of the press liquid from company I, with SiCromAl 8.

4.4.3 Visuellt synliga korrosionsangrepp på de testade materialen

Figur 31 visar de tre olika stålen innan testerna, den undre raden, och efter testerna, den övre raden. De icke-rostfria stålen, Domex 550 och SiCromAl 8 har tydligt angripits av korrosion under testerna, vilket inte det rostfria stålet SS 304 har.

Den nickelbaserade superlegeringen Inconel 625 uppvisar inte heller några korrosionsangrepp efter exponering, se Figur 32.

Eftersom elektroderna återanvändes efter flera försök var det inte möjligt att göra metallografiska undersökningar.



Figur 31. Foto som visar påverkan på stålet med pressvätska från Företag C. Raden ovan visar efter genomförda tester medan den undre raden visar icke exponerat material. (Kamerans blixter ger en reflektion i Sicromalstålet, de råa materialen har dock samma blanka yta).

Figure 31. Photo showing how the press liquid affects the steels (press liquid from company C). The upper row shows the "after exposure", while the lower row shows the unexposed materials. (The camera flash gives a reflection in the Sicromal steel, however, the raw materials all have the same shiny surface).



Figur 32. Inconel efter experiment med pressvätska från företag C. Till synes ingen påverkan på materialet alls (ingen rengöring har gjorts efter testet).

Figure 32. Inconel after experiment with press liquid from company C. The material seems not to be affected at all (no cleaning have been done after the tests).

4.5 Erfarenheter från renhållningsbolagen

Det är sex företag som har svarat på enkäten ”Erfarenhetsinsamling”(Tabell 1, kap 4.2), svaren presenteras nedan samt finns sammanställt i Bilaga A.

Företag A samlar in matavfall i papperspåse, de tömmer bilarna varje dag och när de rengör fordonen utförs detta på spolplatta utomhus utan tillsats av rengöringsmedel. Företaget har inte tillgång till någon tvätthall och under vintertid sker därför rengöringen mer sällan. Tvättvattnet tas omhand genom att det leds till de lakvattendammar som finns vid företagets behandlingsanläggning. Från lakvattendammarna går vattnet sedan vidare till ett reningsverk.

Tre olika fordonsmodeller används;

- tvåfacks sidolastare, fabrikat NTM årsmodeller 2009-2011
- tvåfacks baklastare, fabrikat NTM 2008-2009
- enfacks JOAB årsmodell 2011-2013

Några modifieringar har inte gjorts på fordonen. I enfacksbilen komprimeras matavfallet och inmatningen sker med pressplatta. Företaget anser att komprimeringen kan orsaka att avfall skrapar mot golv/ytor.

Företag A har observerat korrosionsangrepp på insamlingsfordonen. De uppger också att korrosionsskadorna minskade betydligt efter att de införde insamling med papperspåse för matavfallet. Och efter införande av papperspåse och ventilerade kärl minskade vikten på det insamlade matavfallet och fukthalten minskade med minst 30 %. Företaget anser att det är kombinationen av avfall och lakvatten som ger upphov till korrosion.

Numer byter företaget ut fordonen med kortare intervaller. Därmed är behovet av att vidta åtgärder som bottenförstärkningar och liknande inte lika stort. Enligt företagets tidigare erfarenheter är botten i ilastningsficka och skåpet de mest korrosionsutsatta delarna i fordonen. För att motverka korrosion har företaget infört kortare bytesintervaller av fordonen.

Företag B använder svarta plastpåsar, 0,38 mm tjocka, för insamling av matavfall. Antingen töms insamlingsfordonen samma dag eller blir stående över natten. Fordonen rengörs minst en gång/vecka och företaget har tillgång till en tvätthall där tvättvattnet går via en oljeavskiljare.

Företaget använder sig av baklastande enfacksbilar som är förstärkta med en tjockare bottenplåt (6 mm).

Matavfallet komprimeras och företaget anser att komprimeringen kan orsaka att avfall skrapar mot golv/ytor.

De upplever inte att de får korrosion i sobilsaggregaten men anger ändå att det är kombinationen av avfall och lakvatten som ger upphov till korrosion.

Företag C hanterar matavfall insamlat i papperspåsar. Fordonen töms samma dag och högtryckstvättas med avfettningsmedel en gång per vecka. Tvätten utförs i en tvätthall där biologisk rening av tvättvattnet sker innan vattnet går ut i det kommunala avloppet.

Företaget samlar in matavfall i tvåfacksbilar från flerbostadshus och i fyrfacksbilar från villor. Fordonen är av varierande årsmodeller. Fyrfacksbilarna är byggda av NTM, i vilka matavfallet lastas i näst största facket vilket är ett av de nedre facken. På de nyare tvåfacksbilarna finns både NTM- och JOAB-skåp representerade i fordonsflottan. Företaget har inte gjort några modifieringar av sopbilsaggregaten förutom att pressplattorna körs längst fram i sopbilsaggregatet och matavfallet fylls på bakom, och därför sker inte någon sedvanlig komprimering. Företaget anger att denna hantering inte orsakar att avfall skrapar mot golv/ytor. Ändå upplever företaget att det uppkommer korrosion i fordonen.

Företaget anger att korrosionsskador orsakade av matavfallet upptäckts efter några år men att det varierar och variationen kan bero på tvätt och skötsel. Men efter 7-8 år har det blivit hål och golven måste bytas helt. Det är golven som är mest utsatta för korrosion. Golvets material är inte känt mer än att de inte består av rostfritt stål. Företaget anger att det är lakvattnet som genererar korrosionen.

De åtgärder mot korrosion som företaget vidtagit är att informera kunder om att hantera avfallet så bra som möjligt genom att låta detta rinna av innan det läggs i kärl.

De önskar att fordonspåbyggarna bygger tätare utrymmen för matavfall. Det ska vara heltäckande lister av bra och tätt material i golv och väggar som förhindrar läckage och stänk vid inlastning.

Företag D hanterar matavfall insamlat i bioplastpåse och de tömmer fordonen varje dag. Det är mycket sällan fordonen rengörs p.g.a. avsaknad av tvätthall. Företaget upplever att det är svårt att uppfylla de kommunala kraven med tvätt/spola ur aggregaten 1 gång per vecka när det saknas godkända tvättanläggningar i kommunerna.

Företaget använder sig av sidolastad enfacksbil, NTM OM-2K (2013) vilken inte är modifierade på något sätt. Matavfallet komprimeras i sopbilsaggregatet och kompressionen kan orsaka korrosion på golv/ytor anser företaget. De uppger att de får korrosion i fordonen efter ca fyra år. Efter fem års tid har korrosionen blivit så pass omfattande att de måste vidta åtgärder. Det är hela bottenplåten, gjord av Domex-stål, som fått korrosionsskador (6 mm stora hål). Företaget anser att det är lakvattnet från matavallet som gett upphov till korrosionsskadorna. Som åtgärd testade företaget för några år sedan 2-komponentsfärg.

Företag E hanterar PET- och aluminiumburkar (pantflaskor) och de tömmer fordonen dagligen. De har inte tillgång till någon tvätthall och fordonen tvättas (spolas ur med vatten) ca en gång per år.

Företaget har fem stycken standardutformade 2-facksbilar som är baklastade. De har maskinell komprimering som också denna är standardutformad för fordonen. De anser att komprimeringen av flaskor/burkar kan ge upphov till korrosion på golv/ytor men de har inte upplevt att de fått korrosion på fordonen.

Företag G samlar in matavfall i papperspåsar och fordonen töms samma dag. De har i dagsläget inte möjlighet att tvätta fordonen men kommer att bygga en spolplatta inom kort. De planerar att rengöra med endast varmvatten och högtryckspump, alltså ingen användning av tvättmedel eller liknande. Tvättvattnet kommer att passera genom en oljeavskiljare innan det går ut på spillvattensystemet.

Företaget samlar in matavfallet i tvåfacksbilar. De anger att det är lakvatten som ger upphov till korrosionen på fordonen som uppkommer på bottenplattor redan efter 1,5 till 2 år och att åtgärder mot korrosion behöver sättas in redan efter fordonets andra år. Vilka åtgärder de vidtagit har dock inte angetts inte heller vilket material som bottenplattorna i sopbilsaggregaten är gjorda av.

De upplever att problemen med korrosion är mindre på vintern än på sommaren. En teori som de har är att lakvattnet då fryser och följer med soporna när de töms. På sommaren blir lakvattnet kvar i bilen under längre perioder.

4.6 Kartläggning av rengöringsmetoder, –medel, –kostnader etc.

Rengöringsmetoder

Tvättning av insamlingsfordon kan ske antingen manuellt eller automatiserat. Vid manuell tvätt spolas fordonet invändigt med slang och i vissa fall används högtryckstvätt och/eller någon form av tvättmedel. Spolvattnet rinner av och samlas upp via oljeavskiljare. Fordonet tvättas ur till dess att inget avfall finns kvar, renheten kontrolleras bara visuellt så att inget fysiskt avfall finns kvar. Det är upp till chaufförerna att avgöra vad som är tillräckligt rent.

Vid en automatisk tvätt är dysor monterade invändigt i insamlingsaggregatet och ofta finns flera för att kunna komma åt så bra som möjligt. Dysorna kräver högt tryck och kan riktas så att de antingen sprutar med en koncentrerad stråle eller med spridande stråle.

Rengöringsmedel

De flesta kommuner använder sig inte av något specifikt rengöringsmedel vid invändig tvätt, utan oftast är det bara vatten som används och vid behov någon form av avfettningsmedel. Lämpligt tvättmedel kan vara alkaliska lösningar, då dessa rengör effektivt rester från avfall [10]. Från erfarenhetsinsamlingen i denna studie bekräftar de medverkande renhållningsbolagen att oftast används endast vatten och eventuellt någon form av alkalisk avfettning, se Bilaga A. Enligt EG 648/2004 skall ytaktiva ämnen vara fullständigt biologiskt nedbrytbara i aerob miljö [11].

Tvättvatten

Tvättvatten måste hanteras på ett tillförlitligt sätt och de allra flesta kommuner tar hand om tvättvattnet genom att leda det via oljeavskiljare eller slamavskiljare. I denna studie har det dock framkommit att det i vissa kommuner är det svårt att få tillgång till tvätthall där tvättvatten från sopbilar kan tas om hand.

Enligt avfallsförordningen, skall farligt avfall (t.ex. avfettningsmedel, spillolja etc.) hanteras så att det inte kan förorena mark och vatten.

Intervall för rengöring

Ifrån genomfört examensarbete kan man dra en grov slutsats att problem med korrosion verkar vara som störst vid "lagom" tvättintervall, d.v.s. vid ett par gånger i veckan [10]. Från detta projekts enkätsvar kan inte något direkt sammanhang ses.

Krav på rengöring utifrån certifieringsregler av kompost och biogödsel och animaliska biproduktslagstiftningen

I certifieringsregler för kompost och biogödsel [6] (där matavfall utgör en ingående komponent i produktionen) finns det krav på att åtgärder ska vidtas för att undvika återinfektion av smittämnen vid transport. Dessa regler är framtagna med hänsyn till bland annat Animaliska biproduktslagstiftningen [5]. Under allmänna hygienkrav i lagstiftningstexten framgår det att driftansvariga på en biogas- eller kompostanläggning ska erbjuda lämpliga möjligheter till rengöring och desinficeras av behållare och fordon för att risken för kontaminering ska kunna undvikas. Det finns dock inga fastställda krav på vilket rengöringsmedel som ska användas eller hur ofta ett fordon ska tvättas då matavfall transporteras.

Kostnader för rengöring

I den enkät som användes vid examensarbetet har endast 7 kommuner besvarat frågan rörande kostnader av en rengöring. Spridningen är stor bland de kommuner som svarat, fem av sju kommuner har angivet en kostnad i intervallet 50 – 300 kr/tillfälle och med ett medelvärde på 180 kr/tillfälle [10]. Av svaren framgår det inte exakt vilka poster som ingår i kostnaden vilket sannolikt är orsaken till den stora spridningen. Det finns många olika poster att ta hänsyn till vid beräkning av kostnaden för rengöring. Primära kostnader som förbrukningsvaror och arbetstid är poster som enkelt kan uppskattas medan kostnader för tvätthall, utrustning och underhåll är svårare att uppskatta.

5 Resultatanalys

5.1 Jämförelse mellan olika material m.a.p. korrosionshastighet

Domex 550- och SiCromAl 8- stålerna korroderar i alla sammanhang med olika korrosionshastigheter. Det rostfria stålet SS 304 korroderar ej och inte heller den nickelbas-superlegeringen Alloy 625. De rostfria och nickelbaserade legeringarna visar heller inga tecken på gropfrätning. Domex- och SiCromAl-stålen uppvisar klara tecken på gropfrätning. Enda undantaget är när pressvätskan från företag I inte rörs om. Det står relativt klart att rostfria material gör skäl för sin beteckning och korroderar inte i denna miljö.

Att uppskatta kostnaderna för de olika materialen är inte helt enkelt. Priset beror i hög grad på efterfrågan och ofta påverkar priset för legeringstilläggen Ni och Cr kraftigt. Det vill säga ju högre halter av dessa ämnen desto dyrare. Det rostfria stålet SS 304 är alltså flera gånger dyrare än Domex 550, men eftersom denna kostnadsökning ändå är relativt liten jämfört med den totala kostnaden för insamlingsfordonet bör snarare behovet styra materialval. Den relativa prisskillnaden mellan SS 304 och Inconel 625 är i sin tur större än skillnaden mellan Domex 550 och SS 304.

5.2 Skillnader i korrosion mellan med och utan omrörning (stillastående och körande fordon)

Tabellerna nedan visar korrosionshastigheterna för pressvätska från de olika leverantörerna under omrörning respektive utan omrörning. Endast Domex-stålen jämförs eftersom de har exponerats i alla typer av tester. Det är uppenbart att korrosiviteten varierar för de olika pressvätskeproverna under omrörning, från 0,05 till 1,2 mm/år. Variationen är inte lika slående för mätningarna gjorda utan omrörning, från <0,05 - >0,15 mm/år.

Under omrörning

Företag	Korrosionshastighet	pH	ORP (mV)
E	1,1 – 1,2 mm/år	-	
C	ca 0,5 mm/år	3,68	204
B	ca 0,2 mm/år -		
F	ca 0,15 mm/år	3,80	
A	0,05 – 0,15 mm/år	3,83	212
G	0,05 – 0,1 mm/år	3,82	204
I		4,20	

Utan omrörning

Företag	Korrosionshastighet	pH
C	ca 0,05 mm/år	-
F	<0,05 mm/år	-

Anledningen till den markant högre korrosionen vid omrörning kan vara att de korrosiva ämnena kontinuerligt förnyas på ytan vid omrörning medan de utarmas när ingen omrörning sker. Alltså en form av koncentrationskorrosion. En konsekvens av detta är att om fordonet är parkerat med matavfall i lasten så är inte korrosionen något större problem. Men så fort fordonet förflyttas eller om matavfallet komprimeras i aggregatet ökar dock korrosionen dramatiskt.

pH-värdena ligger inom ett snävt intervall, 3,68 - 4,20.

Redoxpotentialen (ORP) ligger inom intervallet, 195-225 mV vid både med omrörning och utan omrörning. Inga märkbara förändringar av potentialen sker under exponeringstiden vid omrörning eller utan omrörning. Efter en längre tid (>500 h) minskar dock redoxpotentialen med 35 – 45 % utan omrörning (visas ej i tabell).

5.3 Påverkan på korrosionen under påfyllning av nytt matavfall

Korrosionshastigheten ökar från en fördubbling till en faktor 4-5 då pressvätska byts ut, eller fylls på vid omrörning, d.v.s. när fordonet rör på sig. Gemensamt är att korrosionshastigheten faller tillbaka till den ursprungliga hastigheten efter ca 10h upp till 1 dygn efter bytet. Men denna situation anses nog inte vara representativ vid insamling av matavfall då man kan anta att den höga korrosionshastigheten upprätthålls vid kontinuerlig tillförsel av matavfall i bingen. Däremot påverkas inte korrosionen av bytet av pressvattnen om ingen omrörning sker, alltså om fordonet står stilla. Även i detta fall kan den ökade korrosionshastigheten bero på att korrosiva ämnen finns tillgängliga på ytan i högre grad.

5.4 Rengöringsmetodens påverkan på korrosionen

Korrosionshastigheten påverkades inte heller vid tvätt när ingen omrörning skedde. Däremot uppmättes stora skillnader i korrosionshastigheten under omrörning:

Företag	Korrosionshastighetsförändring
I	2,7 mm/år
E	1,3 mm/år
F	0,55 mm/år
G	0,4 mm/år
A	- 0,25 mm/år

Även stora förändringar av korrosionshastigheten uppmättes vid rengöring med avfettningsmedel under omrörning:

Företag	Korrosionshastighetsförändring
C	2,35 mm/år
C	2,2 mm/år
F	1,35 mm/år
I	1,35 mm/år
F	0,85 mm/år
I	0,55 mm/år
A	0,25 mm/år
A	0,1 mm/år

En förklaring till de paradoxalt förhöjda korrosionshastigheterna efter tvätt kan vara att den beläggning som sitter på ytan är utarmad på de mest korrosiva ämnena och därefter verkar som ett skydd mot den mer korrosiva pressvätskan. Avlägsnas den skyddande beläggningen, t.ex. genom rengöring, kan pressvätskan angripa den oskyddade metallytan och en hög korrosionshastighet fås. Denna höga korrosionshastighet fortgår tills en beläggning åter byggs upp på ytan för att sedan utarmas på de korrosiva ämnena och verkar därmed som ett korrosionsskydd. I kartläggningen av rengöringsmetoder (Kap 4.6) och erfarenhetsinsamlingen (Kap 4.5) framgår det att rengöring med alkaliska lösningsmedel (avfettningsmedel) sällan används. Den vanligaste tvättmetoden är att endast spola ur sopbilsaggregatet med vatten. Fordonen behöver dock rengöras på något sätt då hänsyn till arbetsmiljöaspekter bör beaktas.

5.5 Resultat av ett torrare matavfall

Om pressvätskeprovet är torrt minskar korrosionen. Resultatet stämmer också överens med enkätsvaren från erfarenhetsinsamlingen (Kap 4.5) som ger att korrosionsangreppen minskar under vintern då vattnet i pressvätskan fryser.

5.6 Jämförelse mellan korrosionsstudier i lab och enkätsvar

De uppmätta korrosionshastigheterna är olika för de olika företagens pressvätskor. Grovt angivet så varierar korrosionshastigheten från 3 mm/år till 0,05 mm/år beroende på vilket moment som simulerades. Att rangordna de olika pressvätskornas korrosivitet är näst intill en omöjlighet. Alla moment genomfördes inte med alla pressvätskor. Men ett försök till en rangordning kan se ut på detta sätt:

$E > F, C, I > A, B, G$

Att jämföras med rangordning enligt enkätsvaren:

F, D, C > A > B, E

Åtminstone pressvätska från leverantör E får ett helt felaktigt resultat i labtesterna jämfört med enkätsvaren.

Tilläggs kan att de ofullständiga kloridhaltsmätningarna gav att pressvätska från företag E innehöll 3900 ppm NaCl och 4100 ppm KCl. Mätningar i pressvätska från företag G var halten NaCl 850 ppm och halten KCl var 880 ppm. För pressvätska från företag A (och andra pressvätskor) är osäkerheten i mätningen signifikant. NaCl-halten var 2800 ± 1000 ppm och KCl-halten var 2900 ± 1200 ppm. På grund av få kloridhaltsmätningar och den stora osäkerheten i vissa mätningar har inga slutsatser dragits av de gjorda kloridmätningarna.

Inga goda korrelationer mellan rengöring och korrosionsangrepp kan göras. Företag A och B tvättar med vatten, C med avfettningsmedel och D, E och F tvättar nästan aldrig. Även om användande av papperspåse vid insamlingen har minskat korrosionen hos något företag finns det företag som fortsatt har hög korrosion vid användande av papperspåse och det finns företag som har låg korrosion vid användning av plastpåse.

En förklaring kan vara att de moment som ökar korrosionen mest, inte utförs eller utförs mer sällan hos vissa företag trots att pressvätskan i sig är lika korrosiv som hos andra företag. En annan förklaring kan vara att företag E använder rostfritt stål och lider därmed inte av korrosion.

5.7 Projektets måluppfyllelse

De konkreta målen som skulle uppnås var att besvara följande:

1. Vilka material eller korrosionsreducerande metoder bör användas till sopaggregaten och vilka kostnader/besparingar innebär detta?

Utifrån resultaten vore rostfritt stål bäst att använda, dock är rostfritt stål dyrare i inköp än de traditionella stålen som används. Vid upphandling bör materialval noga beaktas. Att utifrån denna studie sätta en generell siffra på hur lång tid ett stål klarar av att vara funktionsdugligt är svårt att göra eftersom det rostfria stålet inte korroderade i denna studie. Författarna antar att om rostfria material krävs för att hålla korrosionshastigheten på acceptabel nivå så innebär det trots allt en besparing.

2. Hur ska sopbilsaggregaten rengöras, med vilket rengöringsmedel och hur ofta?

Resultaten från labtesterna visar att rengöring påskyndar korrosionshastigheten. Dock bör rengöring utifrån hygienaspekter genomföras och resultaten visar att vanligt vatten är skonsammare att rengöra med än avfettningsmedel. Tas fordonet i bruk omedelbart efter tvätt stiger korrosionshastigheten kraftigt så fort behållaren börjar fyllas med matavfall.

3. Vilka kostnader/besparingar innebär ett ökat tvättintervall jämfört med dagens situation?

Då det tidigt i studien visade på att tvättning hade en negativ påverkan på korrosionshastigheten uteslöts denna utredning och mer tid/pengar lades på att få mer tillfredsställande resultat från labtesterna. I studien skulle nio tester genomföras enligt plan, dock har 36 olika tester genomförts.

6 Slutsatser

- Stålet Domex 550 korroderar med en hastighet från 0,05 mm/år upp till 3 mm/år och uppvisar generellt tecken på gropfrättningskorrosion.
- SiCromAl 8 uppvisar både allmätkorrosion och gropfrättningskorrosion.
- Det rostfria stålet och den nickelbaserade superlegeringen korroderade inte under några av de testade förhållandena.
- Korrosionshastigheten ökar omedelbart när ny pressvätska fylls på för att sedan avta efter ca 1 dygn om inte ny påfyllning sker.
- Vid kontinuerligt byte av delar av pressvätskan upprätthålls den förhöjda korrosionshastigheten.
- Ingen omrörning (stillastående fordon) ger ingen eller liten korrosion.
- Om matavfallet är torrt minskar korrosionen.
- Vid byte av pressvätska ökar korrosionen under några timmar.
- Vid vattentvätt ökar korrosionen mer än vid enbart byte av pressvätska under en tidsperiod.
- Vid tvätt med avfettningsmedel ökar korrosionen mer än vid enbart byte av pressvätska under en tidsperiod.
- Ingen tydlig korrelation finns mellan pressvätskornas pH-värden och korrosionshastigheterna.

7 Rekommendationer och användning

Det vanligen använda stålet, Domex -550, korroderar ganska frekvent i denna typ av tillämpningar, enligt denna studie. Även stål med en högre Cr-halt korroderar. För att undslippa korrosion helt och hållet kan rostfria stål användas, t.ex. SS 304. Mer korrosionsbeständigt material som t.ex. den nickelbaserade superlegeringen Inconel 625 korroderar givetvis inte heller. Men p.g.a. det relativt högre priset är det inte att rekommendera. Används Inconel 625 som beläggningsmaterial vid påsvets är kostnaden lägre men då finns risk för andra problem, t.ex. att plåtar kan slå efter påsvetsningsprocessen.

Den praktiska delen av denna studie har också gett flera resultat som inte var förväntade, dock kan det finnas en risk i att föreslå rekommendationer baserade på dessa. Men enligt studien så kan man tvätta behållarna i fordonet med vatten, för att klara hygienkrav vid t.ex. misstänkt smitta ska fordon/behållare också desinficeras, men låt fordonet stå still tills det torkat. Att föreslå att låta bli att tvätta behållarna för att minska korrosionen kan inte göras p.g.a. hygienkraven.

8 Litteraturreferenser

- [1] Lennart Dahl, *Korrosion på bottenplåtar i sopbilar*, SSAB, 1993
- [2] Boubitsas D., Hellström H., Henriksson G., Åkesson U., ”*Kartläggning av vittrings- och korrosionsskador på biologiska behandlingsanläggningar (WR27)*”, Waste Refinery 2010
- [3] Henriksson G., ”*Kartläggning av utvecklingsarbete samt problem vid olika insamlingstekniker för matavfall (WR31)*” Waste Refinery 2010
- [4] Ekvall A., 2005, *Effektivitet av fordonsdesinfektion för transport av biogödsel*, RVF Utveckling, 2005:04
- [5] **EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EG) nr 1069/2009** Animaliska biproduktsförordningen
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:300:0001:0033:SV:PDF>
- [6] Certifierad Återvinning, SPCR 120 Biogödsel, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2013
<http://www.sp.se/sv/units/certification/product/Documents/SPCR/SPCR120.pdf>
- [7] InterCorr International, Inc., ”*Review of Electrochemical Techniques*”, 14503 Bammel N Houston, Suite 300, Houston, Texas USA 77014
- [8] Thierry, D., Thorén, A. and Leygraf, C., ”*Corrosion Monitoring Techniques Applied to Cooling Water and District Heating Systems*”, Paper 463, Corrosion 87, NACE, Houston, 1987
- [9] Jaske, C. E., Beaves J. A. and Thompson N. G., ”*Improving Plant Reliability*”
- [10] Halmstrand, A., Ghazal Rahnamoon, S., 2012, *Korrosion i insamlingsfordon*, KTH Industriell teknik och management, Stockholm.
- [11] **EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EG) nr 648/2004** om tvätt och rengöringsmedel
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2004R0648:20090627:sv:PDF>

A Enkät svar erfarenhetsinsamling

Tabell A1. Enkät svar från erfarenhetsinsamling

Table A1. Survey answers from the collection of experience

Företag	A	B	C	D	E	G
Hur samlas matavfallet in?	Papperspåse	Plastpåsar (0,38 mm)	Papperspåsar	Bioplastpåse	Pet- och aluminiumburkar (pantburkar)	Papperspåsar
Fabrikat och årsmodell(er) på sopbilsaggregat	Tvåfack sidolastande, Tvåfacks baklastare, Enfacksbil	Enfacksbil, baklastad	Tvåfacksbilar Fyrfacksbilar	Enfacksbil, sidolastande	Tvåfacksbil, baklastande	Tvåfacksbilar
Har ni gjort någon modifiering?	Nej	Ja, tjockare bottenplåt (6 mm)	Nej	Nej	Nej	Nej
Hur länge befinner sig avfallet i sopbilsaggregatet?	Töms samma dag	Töms samma dag men kan också stå över natten.	Töms samma dag	Töms samma dag.	Töms samma dag.	Töms samma dag.
Om ni har enfacksbil, komprimeras avfallet?	Ja	Ja	-	Ja	Ja	-
Om ja, Hur är komprimeringen utformad?	Inmatning med pressplatta	-	Pressplattorna körs längst fram så någon komprimering sker i vanliga fall inte	-	Maskinell komprimering enligt standard på baklastare	-
Kan komprimeringen orsaka att avfall skrapar mot golv/ytor?	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja	-
Upplever ni att ni får korrosion i era sopbilsaggregat?	Ja	Nej	Ja	Ja	Nej	Ja

Om ni upplever att ni får korrosion, efter hur lång drifttid noterar ni normalt sett korrosionsskador?	Korrosionskadorna minskade betydligt efter införande av papperspåse för matavfallet. Likaså vikterna. I och med papperspåse + ventilerade kärl minskade fukthalten med minst 30%	-	Korrosionsskador orsakade av matavfallet har upptäckts efter några år men detta varierar, kanske beroende på tvätt och skötsel.	Efter ca 4 år.	-	Korrosion kommer snabbt, efter 1,5 till 2 år.
Efter hur lång drifttid upplever ni att korrosionen är så omfattande att ni måste vidta åtgärder?	Numer byter vi ut fordonen med kortare intervaller. Därmed är behovet av att vidta åtgärder som bottenförstärkningar och liknande inte lika stort	-	Efter 7-8 år har det blivit hål och golven måste bytas helt.	Efter ca 5 år.	-	Efter ca 2 år
Vilka delar är det som är korrosionsutsatta?	Enligt tidigare erfarenheter är botten i ilastningsficka och skåpet mest utsatta	-	Golvet framförallt.	Hela bottenplåten ca 6 mm hål.	-	Bottenplatta i aggregatet
Vilket material (stål) används i de korrosionsangripna delarna?	-	-	Vet ej, med det är inte rostfritt stål.	Domex.	-	Vet ej
Vilket anser ni vara huvudorsak till korrosionen?	Kombinationen avfall+ lakvatten	Kombinationen avfall+ lakvatten	Lakvattnet	Lakvattnet	-	Lakvattnet
Vilka åtgärder mot korrosion har vidtagits?	Kortare bytesintervaller av fordonen (se svaret på fråga 8)	-	Inget mer än att informera kunder om att hantera avfallet så bra som möjligt och låta detta rinna av innan det läggs i kärlet.	Vi testade 2 komponentstfärg för några år sedan.	-	-

Hur ofta rengörs fordonet invändigt och används något speciellt rengöringsmedel?	Sker inte ofta under vintertid. Rengöring utförs på spolplatta utomhus utan tillsats av rengöringsmedel	Minst en gång/vecka	En gång i veckan. Avfettning och högtryck.	Mycket sällan.	Ca 1 ggr per år och nej	Vi har för tillfället ingen tvättmöjlighet av aggregatet. Spolplatta skall byggas i vinter. Vi ska inte använda något rengöringsmedel, varmvatten och högtryckspump skall användas.
Har ni tillgång till tvätthall/utrymme där tvätt kan ske?	Nej	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
Hur behandlas tvättvattnet?	Tas omhand i Komposteringsanläggningens lakvattendammar före släpp till reningsverk	Går via oljeavskiljare	Vi har en ny tvätthall med biologisk rening innan avloppsvattnet går ut i det kommunala avloppet.	-	-	I den planerade tvättplattan ska spolvatten gå genom igenom en oljeavskiljare ut i spillvattensystemet.
Har ni några övriga funderingar eller kommentarer som kan vara av intresse för frågeställningen som inte täcks in av tidigare frågor?	-	-	Ja, att fordonspåbyggarna bygger tätare utrymmen för matavfall, heltäckande lister samt, bra och tätt material i golv och väggar, samt förhindrar läckage och stänk vid inlastning.	Hur skall man kunna uppfylla de kommunala kraven med tvätt/spola ur aggregatet 1 gång i veckan när det saknas godkända tvättanläggningar i kommunerna?	-	På vintern är problemet mindre då lakvattnet fryser och följer med soporna ut. På sommaren blir lakvattnet kvar i bilen längre.

B Kemisk sammansättning av material använda i denna studie

Tabell B1. Tabellen visar den kemiska sammansättningen av de material som ingått i studien

Table B1. The table shows the chemical composition of the materials used in this study

	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	Al	Nb	V	Ti
Domex 550	Bal	-	-	-	1,8	<0,1	<0,12	<0,015	<0,1	<0,2	<0,15
SiCromAl 8	Bal	6				<1,0	0,12	0,5			
SS 304	Bal	10	18	-	<2,0	-	<0,07	-	-	-	-
Inconel 625		21	Bal	9,0	0,5		<0,1		4		



WASTE REFINERY

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Box 857, 501 15 Borås
wasterefinery@sp.se
www.wasterefinery.se