

**Project Code: 2021-30**

**Report Number: 1119**

**Revision No: 2**

**Untersuchung zu der Effektivität des Elysator Trio-Geräts die  
Konzentration des gelösten Sauerstoff und damit die Korrosionsrate zu  
senken**

Translated by Dr. Petra Ernst – Midland Corrosion Services Ltd

**Prepared for:**

David Whitfield  
Elysator Ltd

**Haftungsausschluss**

Dieser Bericht (einschließlich die Anhänge) wurde ausschließlich für die Verwendung und den Nutzen des/der Adressat(en) und ausschließlich für diesen Zweck erstellt. Kein Teil dieses Berichts darf ohne vorherige schriftliche Zustimmung und Genehmigung von MCS reproduziert, verteilt oder an Dritte weitergegeben werden. MCS übernimmt keine Verantwortung oder Haftung für diesen Bericht gegenüber einer anderen Partei als der Person, von der er in Auftrag gegeben wurde.

Document Details					
Rev No	Date	Revision detail	Technician	Author	Reviewed by
0	11/11/2021	Draft Report		S. Munn Director of Hevasure	Dr. Z Liu Senior Manager of MCS
1	19/11/2021	Updated following review		S. Munn Director of Hevasure	Dr. Z Liu Senior Manager of MCS
2	24/11/2021	Further update following review		S. Munn Director of Hevasure	Dr. Z Liu Senior Manager of MCS

## 1. HINTERGRUND

Der Gehalt an gelöstem Sauerstoff ist ein kritischer Faktor bei Korrosionsprozessen. In geschlossenen Heizungs- oder Kühlwassersystemen muss der gelöste Sauerstoff Gehalt unbedingt niedrig gehalten werden, um Schäden an Rohrleitungen und Metallkomponenten zu vermeiden. Idealerweise sollte der Gehalt unter 0,1 mg/l liegen (vollständig gesättigtes Wasser bei 20 °C und 1 bar Druck enthält ungefähr 9 mg/l, der Sättigungsgrad von gelöstem Sauerstoff variiert mit Temperatur und Druck). Die Korrosionsraten steigen normalerweise mit der Konzentration in Sauerstoff und der Temperatur an, andere Parameter wie pH und elektrische Leitfähigkeit spielen aber auch eine Rolle.

Elysator vermarktet eine Reihe von Produkten, die den gelösten Sauerstoff durch die Verwendung von hochreinen Magnesium-Opferanoden entfernen. Darüber hinaus werden gasförmige Luftblasen, die in einem feinen Netz eingeschlossen sind, über eine automatische Entlüftung (AAV) ausgestoßen. Die Elysator-Geräte enthalten 4 Hauptfunktionen – Filtration, Mikrogasblasenabscheider, Anodenschutz und Magnetflussfilter. Alle 4 unterstützen die Reinigung des Wassers in geschlossenen Heiz- oder Kühlsystemen.

Hevasure, in Zusammenarbeit mit Midland Corrosion Services, wurde von Elysator UK beauftragt, eine Reihe von kontrollierten Versuchen durchzuführen, um die Effektivität des Elysator Trio-Geräts den Gehalt an gelöstem Sauerstoff und Korrosionsraten zu reduzieren. Andere, wichtige, Parameter wurden auch studiert. Eine spezielle Versuchsanlage wurde dafür entwickelt.

Hevasure Ltd ist führend in der Echtzeitüberwachung von gewerblichen Heiz- und Kühlsystemen. Midland Corrosion Services ist eines der bekanntesten Korrosionsberatungsunternehmen in der UK. Beide Unternehmen haben ihren Sitz in Darley Dale, Derbyshire, UK.

## 2. Methodology

Eine Versuchsanlage wurde von Hevasure Ltd entwickelt und gebaut, um den Einfluss des Elysator Trio-Geräts auf den gelösten Sauerstoff Gehalt unter kontrollierten Bedingungen zu studieren (Abbildung 1). Die Versuchsanlage umfasste ein zirkulierendes Wassersystem aus Kupferrohren, eine Pumpe mit variabler Drehzahl, einen Elektroboiler und einen Speichertank. Das Gesamtvolumen des Systems betrug 122 Liter. Gelöster Sauerstoff konnte in kontrollierten Mengen über mehrere sauerstoffdurchlässige Silikonschläuche in die Anlage eingeführt werden. Ein Hevasure G2.5-Überwachungs und Datenerfassungssystem mit einer umfangreichen Palette kalibrierter Sensoren wurde verwendet. Mehrere Parameter wurden in Echtzeit gemessen, darunter:

- Gelöster Sauerstoff
- Temperatur
- Elektrische Leitfähigkeit

- pH-Wert
- Korrosionsraten von Stahl unter Verwendung eines Corratators von Pepperl & Fuchs
- Vom Trio-Gerät erzeugte galvanische Ströme

Zur Überprüfung der Korrosionsraten wurden Stahl- und Aluminiumcoupons in die Anlage eingebaut. Die Korrosionsraten am Ende jedes Versuchs wurde durch Gewichtsverlustmessungen berechnet. Der gelöste Sauerstoff wurde mit einem hochwertigen optischen Sensor der Firma Hamilton Bonaduz AG (Visiform DO) mit einer Auflösung von 0,01 mg/L gemessen. Vor jedem Versuch wurde der Sensor in Luft und unter sauerstofffreien Bedingungen kalibriert. Elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und pH-Wert wurden ebenfalls mit vorkalibrierten Sensoren der Hamilton AG gemessen. Galvanische Ströme wurden gemessen, indem die Klemmen des Anoden-/Kathodenpaars im Elysator Trio mit dem mA-Eingang des Hevasure-Überwachungssystems verbunden wurden.

Fünf Versuche wurden wie folgt durchgeführt:

### **Versuch Nummer 1 (Kontrolle)**

Ziel: Festlegung einer Basislinie ohne das Elysator-Gerät.

Versuchsdauer:	7 Tage
Wasser:	Derbyshire Leitungswasser (weich) – Leitfähigkeit ungefähr 300 micro-Siemens bei 60°C
Versuchskonfiguration:	1 sauerstoffdurchlässiger Silikonschlauch im Kreislauf
Temperatur:	60°C
Anfangskonzentration gelöster Sauerstoff:	1 mg/L
Trio (Elysator) Gerät:	Nicht eingesetzt

### **Versuch Nummer 2**

Ziel: Unter den gleichen Bedingungen wie der Kontrollversuch (Versuch 1). Bestimmung der Effektivität des Elysator Trio-Geräts den gelösten Sauerstoff Gehalt und Korrosionsraten zu reduzieren.

Versuchsdauer:	7 Tage
Wasser:	Derbyshire Leitungswasser (weich) – Leitfähigkeit ungefähr 300 micro-Siemens bei 60°C
Versuchskonfiguration:	1 sauerstoffdurchlässiger Silikonschlauch im Kreislauf
Temperatur:	60°C
Anfangskonzentration gelöster Sauerstoff:	1 mg/L
Trio (Elysator) Gerät:	<b>Eingesetzt</b>

### Versuch Nummer 3

Ziel: Wie Versuch 2 aber ohne sauerstoffdurchlässigen Silikonschlauch. Bestimmung der Effektivität des Elysator Trio-Geräts den gelösten Sauerstoff Gehalt zu reduzieren.

Versuchsdauer: 7 Tage  
 Wasser: Derbyshire Leitungswasser (weich) – Leitfähigkeit ungefähr 300 micro-Siemens bei 60°C  
 Versuchskonfiguration: **Kein** sauerstoffdurchlässiger Silikonschlauch im Kreislauf  
 Temperatur: 60°C  
 Anfangskonzentration gelösten Sauerstoff: 1 mg/L  
 Trio (Elysator) Gerät: **Eingesetzt**

### Versuch Nummer 4

Ziel: Verwendung von vorkonditioniertem, demineralisiertem Wasser (niedrige Leitfähigkeit) aus einem Purotap-Gerät (von Elysator), ohne dass Sauerstoff in die Versuchsanlage eindringen kann. Bestimmung der Effektivität des Elysator Trio-Geräts den gelösten Sauerstoff Gehalt zu reduzieren.

Versuchsdauer: 14 Tage  
 Wasser: Elysator Purotap-Gerät vorbehandelt. Anfangsleitfähigkeit etwa 66 micro-Siemens  
 Versuchskonfiguration: **Kein** sauerstoffdurchlässiger Silikonschlauch im Kreislauf  
 Temperatur: 60°C  
 Anfangskonzentration gelöster Sauerstoff: 1 mg/L  
 Trio (Elysator) Gerät: **Eingesetzt**

### Versuch Nummer 5

Ziel: Verwendung von Flaschen Mineralwasser ohne dass Sauerstoff in die Versuchsanlage eindringen kann. Bestimmung der Effektivität des Elysator Trio-Geräts den gelösten Sauerstoff Gehalt zu reduzieren. Die Effektivität auf andere Parameter wurden auch studiert.

Versuchsdauer: 25 Tage  
 Wasser: Flaschen Mineralwasser (Yorkshire Vale von Morrison). Anfangsleitfähigkeit etwa 1.200 micro-Siemens  
 Versuchskonfiguration: **Kein** sauerstoffdurchlässiger Silikonschlauch im Kreislauf  
 Temperatur: 60°C  
 Anfangskonzentration gelöster Sauerstoff: 5 mg/L  
 Trio (Elysator) Gerät: **Eingesetzt**

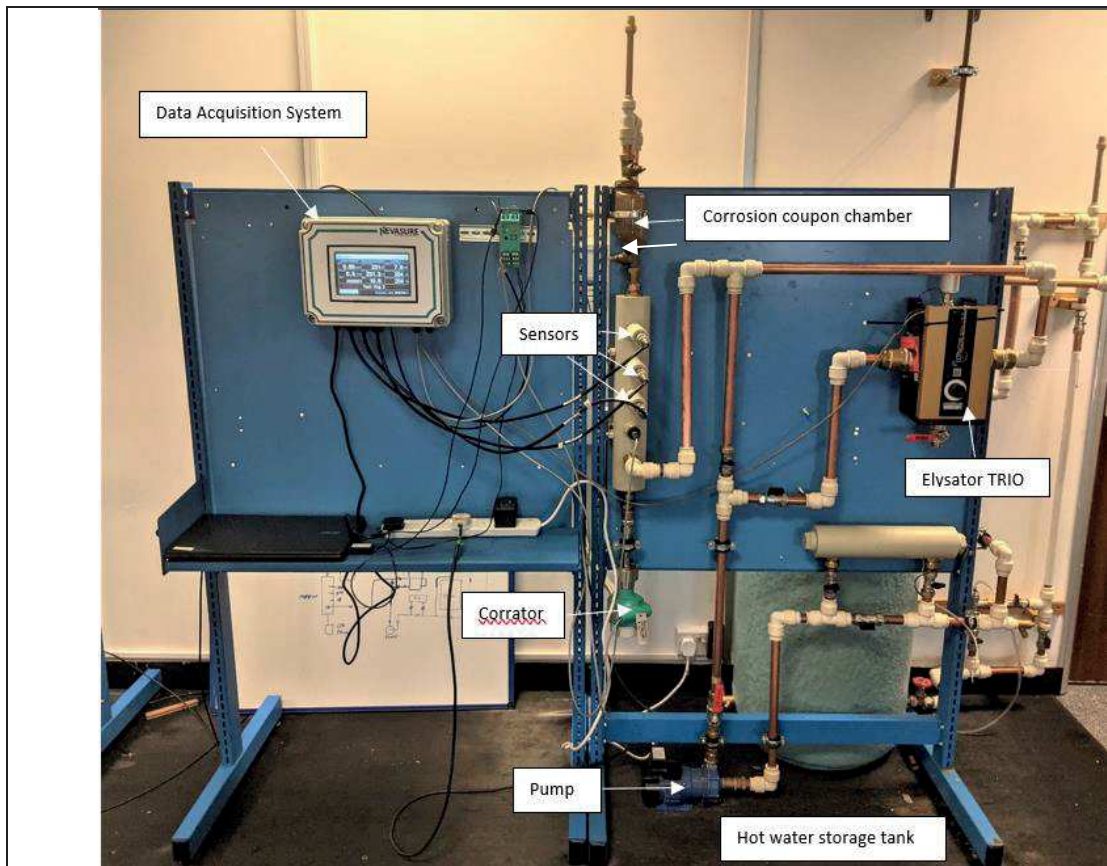


Abbildung 1: Versuchsanlage

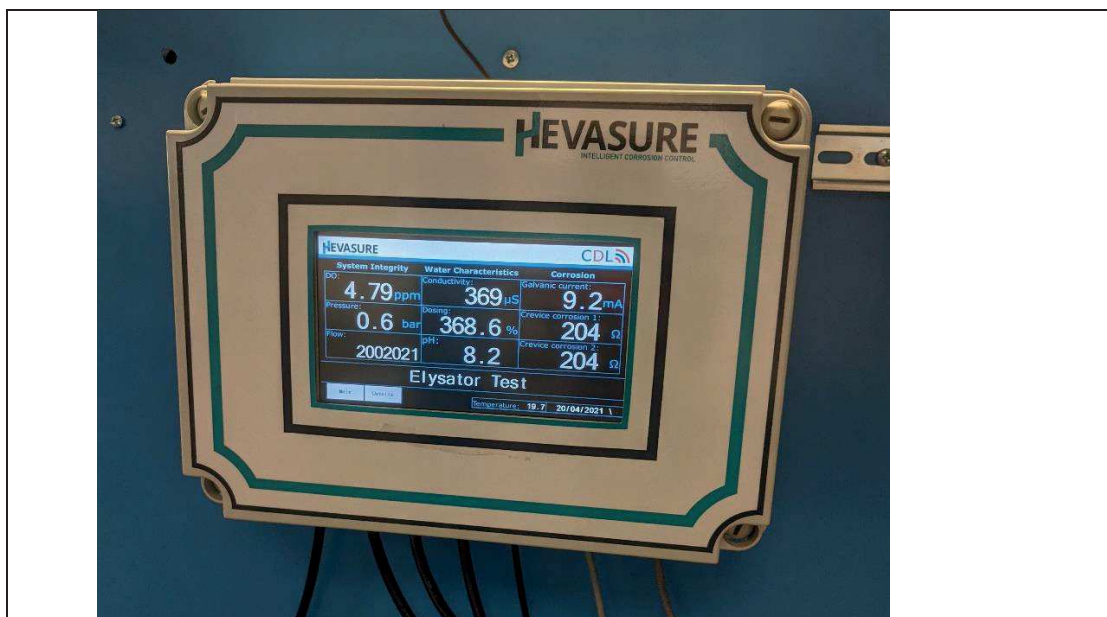
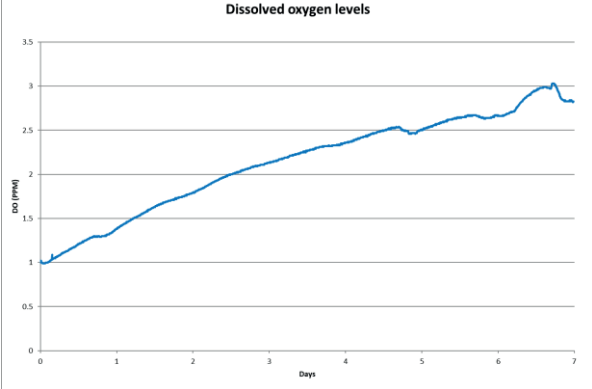

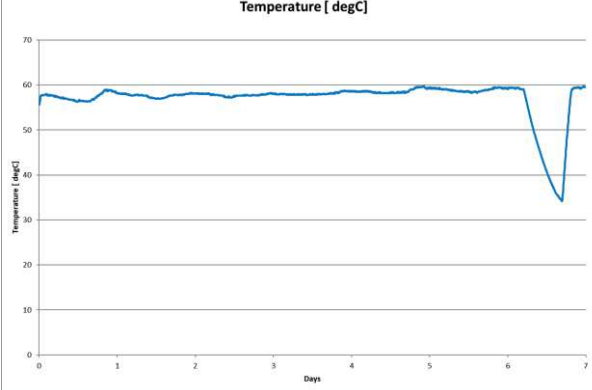
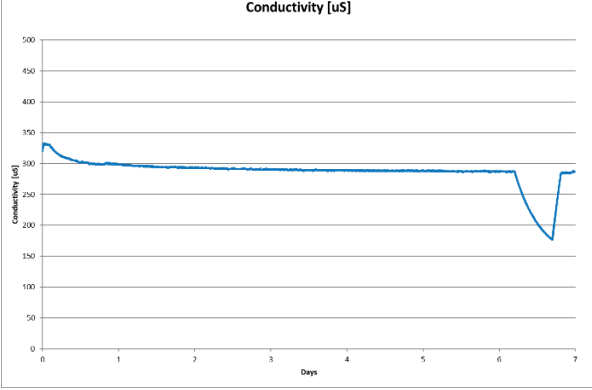
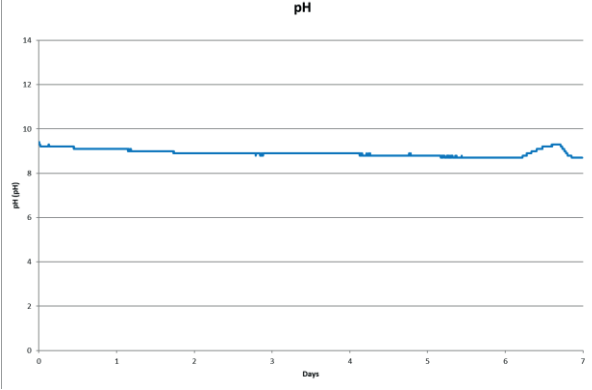


Abbildung 2: Hevasure-Überwachungssystem

### 3. Ergebnis

#### 3.1. Versuch 1 (Kontrolle – ohne dem Elysator-Gerät aber mit sauerstoffdurchlässiger Silikonschlauch im Kreislauf)

	<p style="text-align: center;">Galvanische Ströme</p> <p style="text-align: center;">Nicht gemessen – TRIO NICHT EINGESETZT</p>
<p><b>Kommentar:</b> Der gelöste Sauerstoff nahm während des Versuchs aufgrund des sauerstoffdurchlässiger Silikonschlauch stetig zu.</p>	
	
<p><b>Kommentar:</b> Die Korrosionsrate vom Stahl stieg proportional zu dem gelösten Sauerstoff an und erreichten einen Spitzenwert von 0,2 mm/Jahr (Der Rückgang am letzten Tag ist auf einen Temperaturabfall zurückzuführen).</p>	<p><b>Kommentar:</b> Die Temperatur des Systemwassers wurde zwischen 58 und 59 °C gehalten. (Ein Stromausfall am letzten Tag verursachte eine Abkühlung des Systemwassers)</p>
	
<p><b>Kommentar:</b> Die elektrische Leitfähigkeit des Systemwassers lag während des gesamten Versuchs bei etwa 300 <math>\mu\text{S}</math>, nur nicht am letzten Tag, da die Temperatur fiel.</p>	<p><b>Kommentar:</b> Der pH-Wert des Systemwassers lag je nach Temperatur zwischen 8,7 und 9,3</p>

### 3.2. Versuch 2 (Trio Gerät und ein sauerstoffdurchlässiger Silikonschlauch im Kreislauf)

<p><b>Kommentar:</b> Die Wirkung des TRIO-Geräts auf die Entfernung von gelöstem Sauerstoff aus dem Systemwasser ist deutlich zu erkennen. Gelöster Sauerstoff nahm um fast 30 % ab, trotz absichtlich fortgesetzter Diffusion von Sauerstoff durch den sauerstoffdurchlässiger Silikonschlauch.</p>	<p><b>Kommentar:</b> Die Opferanode und die Kathode erzeugten während des Versuchs aufgrund der Reduktion von gelöstem Sauerstoff einen galvanischen Strom zwischen 7 und 8,4 mA.</p>
<p><b>Kommentar:</b> Die Korrosionsrate von Stahl sank nach Tag 4 von einem Ausgangswert von 0,08 mm/Jahr auf 0,06 mm/Jahr über den 7-tägigen Versuchszeitraum, was eine 25%ige Verringerung darstellt.</p>	<p><b>Kommentar:</b> Die Temperatur wurde während des gesamten Zeitraums zwischen 58°C und 60°C gehalten</p>
<p><b>Kommentar:</b> Die elektrische Leitfähigkeit des Systemwassers nahm von etwa 400 <math>\mu\text{S}</math> auf 350 <math>\mu\text{S}</math> leicht ab</p>	<p><b>Kommentar:</b> Der pH-Wert des Systemwassers lag zwischen 9.4 und 9,2</p>

### 3.3. Versuch 3 (Trio Gerät aber kein sauerstoffdurchlässiger Silikonschlauch im Kreislauf)

<p><b>Kommentar:</b> Der Gehalt an gelöstem Sauerstoff nahm im Laufe des Versuchszeitraums aufgrund der Wirkung der Magnesium-Opferanode im Elysator Trio-Gerät deutlich von 1 mg/L auf 0,1 mg/L ab. Dies zeigt eine signifikante Verringerung des gelösten Sauerstoffs um 90 %.</p>	<p><b>Kommentar:</b> Die Opferanode erzeugte einen galvanischen Strom der während des Versuchs von 6 auf 5 mA abnahm, da der Sauerstoff verbraucht wurde und die Anodenaktivität abnahm.</p>
<p>LPR Korrosionsrate – nicht gemessen</p>	
	<p><b>Kommentar:</b> Die Temperatur wurde während des gesamten Zeitraums zwischen 59,5°C und 60,5°C gehalten</p>
<p><b>Kommentar:</b> Die Leitfähigkeit des Systemwassers war zwischen 354 und 362 µS</p>	<p><b>Kommentar:</b> Während der ersten 6 Tage lag der pH-Wert des Systemwassers zwischen 7.8 and 8 und stieg zu 9,2 am 7ten Tag an</p>



### 3.4. Versuch 4 (Niedrige Leitfähigkeit, Vorbehandeltes Wasser - Trio Gerät aber kein sauerstoffdurchlässiger Silikonschlauch im Kreislauf)

<p><b>Kommentar:</b> Der Gehalt an gelöstem Sauerstoff nahm in den ersten 4 Tagen schnell von 1 mg/l auf 0,1 mg/l ab, stieg dann aber langsam auf knapp unter 0,2 mg/l an</p>	<p><b>Kommentar:</b> Die Opferanode erzeugte einen galvanischen Strom der während des Versuchs von maximal 1,6 auf 0,85 mA (Minimum) abnahm. Die geringe Leitfähigkeit des Systemwassers führte zu einem geringeren galvanischen Strom</p>
<p>LPR Korrosionsrate – nicht gemessen</p>	
	<p><b>Kommentar:</b> Die Temperatur wurde während des gesamten Zeitraums zwischen 60°C und 61°C gehalten.</p>
<p><b>Kommentar:</b> Der Vorbehandlungsprozess mit dem Elysator Purotap-Gerät führte zu einer deutlich geringeren Leitfähigkeit, die bei 60°C auf ein Minimum von 52 µS absank</p>	<p><b>Kommentar:</b> Der pH-Wert des Systemwassers lag bei 9.</p>

### 3.5. Versuch 5 (Mineralwasser mit hoher Leitfähigkeit - Trio Gerät aber kein sauerstoffdurchlässiger Silikonschlauch im Kreislauf)

<p><b>Kommentar:</b> Der Gehalt an gelöstem Sauerstoff nahm während der ersten 5 Tage schnell von 1 mg/l auf 0,12 mg/l ab, und stabilisierte sich dann während der verbleibenden 20 Tage auf etwa 0,12 mg/L</p>	<p><b>Kommentar:</b> Die Opferanode erzeugte einen galvanischen Strom der während des Versuchs von maximal 18 mA auf 9,1 mA (Minimum) abnahm. Im Vergleich zu früheren Versuchen führte die hohe Leitfähigkeit des Systemwassers zu einem deutlich höheren galvanischen Strom. Im Vergleich zu dem Versuch unter Verwendung von gereinigtem Systemwasser aus der Purotap-Vorrichtung, weist dies darauf hin, dass die Anode mehr verbraucht wurde.</p>
<p>LPR Korrosionsrate – nicht gemessen</p>	
	<p><b>Kommentar:</b> Die Temperatur wurde während des 25-tägigen Versuchs bei etwa 60°C gehalten</p>
<p><b>Kommentar:</b> Die elektrische Leitfähigkeit des im Versuch verwendeten Mineralwassers nahm im Laufe des Versuchs von etwa 1250 <math>\mu\text{S}</math> auf 1100 <math>\mu\text{S}</math> bei 60°C ab</p>	<p><b>Kommentar:</b> Der pH-Wert des Systemwassers stieg während der ersten 10 Tage des Versuchs von 7,8 auf 9 an und stabilisierte sich schließlich auf 9,1</p>

#### 4. DISKUSSION

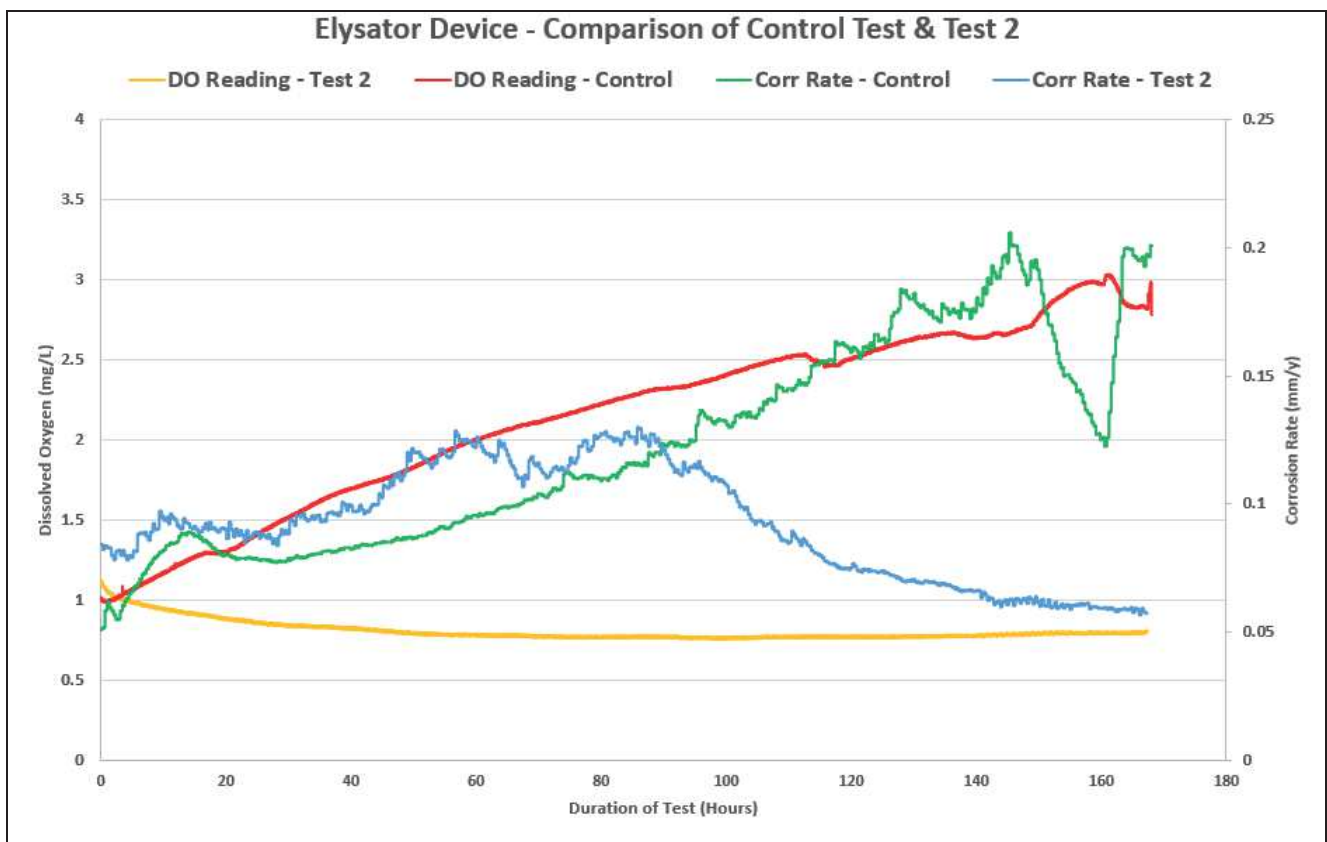
Das Vorhandensein von gelöstem Sauerstoff in wasserbasierten Systemen führt zur elektrochemischen Oxidation von Metallen (Korrosion). Unlegierte Stähle sind besonders anfällig und bilden je nach Gehalt des gelösten Sauerstoffs, entweder Magnetit oder Hämatit (Eisenoxidprodukte), wobei die Korrosionsgeschwindigkeit von der Verfügbarkeit von Sauerstoff (gelöstesten) und der Temperatur abhängt. Chemische Inhibitoren können den Korrosionsprozess verhindern oder verlangsamen, aber es ist keine gute Praxis, sich auf diesen Ansatz zu verlassen, um sauerstoffinduzierte Korrosion zu verringern. Idealerweise sollte gelöster Sauerstoff in geschlossenen Systemen unter 0,1 mg/l gehalten werden. Auch andere Metalle können durch die Anwesenheit von Sauerstoff korrodieren, und Lochfraß auf Kupfer- und Messingkomponenten ist ein häufiges Problem.

##### ***Gelöster Sauerstoff***

Eine Reihe von Versuchen wurden durchgeführt, um die Hypothese zu testen, dass das Elysator-Gerät den Gehalt an gelöstem Sauerstoff in geschlossenen Systemen reduziert und folglich die Korrosionsraten (insbesondere von Stahl) verringert. Die Versuchsanlage wurde zunächst so eingestellt, dass kontinuierlich eine kontrollierte Luftmenge in das Systemwasser eingespeist wurde. Damit konnte die Basislinie für die Versuchsanlage festgestellt werden. Der zweite Versuch wiederholte diese Bedingungen mit der Ausnahme, dass das TRIO-Gerät an den Wasserkreislauf angeschlossen war. Da im Kontrolltest der Gehalt an gelöstem Sauerstoff von 1,02 mg/L auf 2,98 mg/L (192% Anstieg) anstieg, aber im zweiten Versuch jedoch von 1,14 mg/L auf 0,79 mg/L (31% Abnahme) absank, kann mit Sicherheit abgeleitet werden, dass die Hypothese, dass das ***TRIO-Geräte gelösten Sauerstoff in erwärmtem Wasser reduzieren kann***, bewiesen ist. Es ist daher zu erwarten, dass unter fortgesetzte Verwendung des Elysator-Geräts die Werte für gelösten Sauerstoff noch weiter senken würde.

##### ***Korrosionsrate von Stahl***

Von den Versuchsdaten und den folgenden Grafiken kann erkannt werden, dass sich die Reduzierung von gelöstem Sauerstoff positiv auf die Korrosionsraten von Stahl auswirkt. Daraus folgt, dass auch die Hypothese bewiesen ist, dass das ***TRIO-Geräte die Korrosionsraten von Stahl als Folge der Reduktion von gelöstem Sauerstoff in erwärmtem Wasser reduziert***.

**Kommentar:**

Im Laufe des 7-tägigen Kontrollversuchs erhöhte sich die Korrosionsrate von Stahl von 0,05 mm/Jahr auf 0,20 mm/y (grüne Linie) als Reaktion auf die Zunahme des gelösten Sauerstoffs (Trio nicht im Kreislauf) (rote Linie).

Mit dem Elysator Trio-Gerät Kreislauf (Versuch 2) sank die Korrosionsrate von Stahl von 0,08 mm/Jahr auf 0,06 mm/Jahr (blaue Linie) als Reaktion auf die bedeutsame Abnahme des gelösten Sauerstoffs über den gleichen Zeitraum (gelbe Linie).

***Korrosionsraten von Aluminium***

Versuchscoupons wurden verwendet, um die Korrosionsrate von Aluminium in einigen der Versuche zu bewerten. Die im Kontrollversuch (ohne Elysator Trio) ermittelte durchschnittliche Korrosionsrate betrug 0,85 mm/Jahr. Die entsprechende Messung im zweiten Versuch (mit dem Elysator Trio) betrug 0,13 mm/y, was die Wirksamkeit des Elysator-Geräts bei der Reduzierung der Aluminiumkorrosionsraten belegt.

***Galvanische Ströme***

Um zu verstehen, wie aktiv das TRIO-Geräts am Sauerstoffreduktionsprozess beteiligt war, wurde der galvanische Strom zwischen der Opfer-Magnesium-Anode und der Kathode untersucht. Wie unten gezeigt, findet ein Oxidations- /

Reduktionsprozess statt, der einen galvanischen Strom erzeugt, der gemessen werden kann.

Oxidations-Halbzellenreaktion:  $\text{Mg (s)} \rightarrow \text{Mg}^{2+} \text{ (aq)} + 2\text{e}^{-}$

Reduktion der Halbzellenreaktion:  $\text{O}_2 \text{ (g)} + 2\text{H}_2\text{O (l)} + 4\text{e}^{-} \rightarrow 4\text{OH}^{-} \text{ (aq)}$

**Ein höherer galvanischer Strom bedeutet, dass die Magnesiumanode schneller zu Magnesiumhydroxid  $\text{Mg(OH)}_2$  oxidiert und dabei den gelösten Sauerstoff stärker aus dem Systemwasser entfernt.** Im Vergleich der Ergebnisse von Versuch 2 mit Versuch 3 (ähnlich weiches Leitungswasser), zeigt sich, dass die galvanischen Ströme höher waren, wenn der gelöste Sauerstoff (DO) erwartungsgemäß höher war. Die galvanischen Ströme betragen durchschnittlich 7,3 mA für einen durchschnittlichen gelöster Sauerstoffgehalt (DO) von 0,8 mg/L in Versuch 2, verglichen mit 5,2 mA bzw. 0,2 mg/L für Versuch 3. Es ist auch klar, dass die Leitfähigkeit des Wassers die Oxidationsrate der Magnesiumanode und damit den galvanischen Strom beeinflusst. In Versuch 4 (demineralisiertes Wasser aus Purotap mit geringer Leitfähigkeit) betragen die galvanischen Ströme nur durchschnittlich 0,94 mA bei einen durchschnittlichen gelöster Sauerstoffgehalt (DO) von 0,22 mg/L. In Versuch 5 mit einer viel höheren Leitfähigkeit lagen die mittleren galvanischen Ströme bei bis zu 10,2 mA, obwohl der gelöste Sauerstoff im Durchschnitt nur geringfügig höher war.

### **Elektrische Leitfähigkeit**

Es besteht die Tendenz, dass das Elysator Trio-Gerät die Leitfähigkeit im Laufe der Zeit langsam verringert. In dem mit dem Purotap-Gerät vorbehandelten Wasser sank die Leitfähigkeit von 74  $\mu\text{S/cm}$  am Anfang des Versuchs auf 56  $\mu\text{S/cm}$  nach 7 Tagen ab. In hartem Mineralwasser sank die Leitfähigkeit nach 25 Tagen von 1222 auf 1158  $\mu\text{S/cm}$  ab. Eine verringerte Leitfähigkeit ist ein gutes Zeichen dafür, dass die galvanischen Ströme, die zur Unterstützung des Korrosionsprozesses benötigt werden, verringert sind. Nach einiger Zeit wird die Korrosionsrate von metallischen Komponenten im Wassersystem reduziert.

### **pH**

Das Elysator-Geräte (einschließlich des Trios) soll das Systemwasser konditionieren und den pH-Wert im Bereich zwischen 8,2 und 10 halten. Das einzige Wasser, welches außerhalb dieses Bereichs in einem Versuch verwendet wurde war das in Versuch 5 verwendete Mineralwasser in Flaschen. Während des 25-tägigen Versuchszeitraums stieg der pH-Wert allmählich von 7,8 auf 9,2 und lag damit im vorgesehenen Bereich. Bei allen anderen Versuchen mit weichem oder demineralisiertem Wasser blieb der pH-Wert durchgehend im vorgesehenen Bereich.

Schließlich ist zu berücksichtigen, wie sich diese Ergebnisse auf die deutsche VDI 2035-Norm zur Aufrechterhaltung der Qualität in geschlossenen Heiz- und Kaltwassersystemen beziehen. Im Gegensatz zum BISRA-Leitfaden BG50:2021 ist der Schwerpunkt auf gute Ingenieurpraxis, die Verwendung von demineralisiertem Wasser und die Notwendigkeit, den Gehalt an gelöstem Sauerstoff und die elektrische Leitfähigkeit niedrig zu halten. Da chemische Inhibitoren nicht als notwendig erachtet werden, ist jede physikalische Vorrichtung, die dies erreichen kann, zu fördern. Zweifellos verbraucht das Elysator-Gerät Sauerstoff, während die elektrische Leitfähigkeit auf einem niedrigen Niveau gehalten wird und daher die Korrosion reduziert. Damit unterstützt das Gerät die Ziele der VDI 2035.

## 5. SCHLUSSFOLGERUNG

Es hat sich gezeigt, dass das Elysator Trio-Gerät wichtige Parameter - **gelösten Sauerstoff und Leitfähigkeit** in einem zirkulierenden LTHW-System - bedeutsam reduziert und gleichzeitig das Wasser konditioniert.

*Das TRIO-Gerät konditioniert Systemwasser durch die Opferoxidation einer Magnesiumanode. Es hat sich gezeigt, dass sich das Aktivitätsniveau dieser Anode (gemessen an der galvanischen Stromabgabe) im Laufe der Zeit und mit den Bedingungen ändert. Neben dem Verbrauch von gelöstem Sauerstoff reduziert die Anodenaktivität die Leitfähigkeit des Systemwassers und erhöht gleichzeitig den pH-Wert.*

*Es hat sich gezeigt, dass die kombinierte Wirkung der sich ändernden Bedingungen einen deutlichen Effekt (Verringerung) auf die Korrosion von Stahl und Aluminium hat.*

*Die fortgesetzte Verwendung des Elysator-Geräts über einen längeren Zeitraum würde den Trend zur Verringerung des gelösten Sauerstoff und die Leitfähigkeit als Folge der galvanischen Aktivität der Magnesiumanode fortsetzen. Eine fortgesetzte Auflösung der Anode in Magnesiumhydroxid würde den pH-Wert im alkalischen Bereich halten, was die Passivierung von Stahl unterstützt und einen weiteren Korrosionsschutz bietet.*

**Project Code: 2021-30**

**Report Number: 1119**

**Revision No: 2**

**Testing the Effectiveness of the Elysator Trio Device on Reducing  
Dissolved Oxygen and Corrosion Rate**

**Prepared for:**

David Whitfield  
Elysator Ltd

**Disclaimer**

This report (including any attachments) has been prepared for the exclusive use and benefit of the addressee(s) and solely for the purpose for which it is provided. No part of this report should be reproduced, distributed or communicated to any third party without prior written consent and approval of MCS. MCS accepts no responsibility or liability for this report to any other party than the person by whom it was commissioned.

<b>Document Details</b>					
<b>Rev No</b>	<b>Date</b>	<b>Revision detail</b>	<b>Technician</b>	<b>Author</b>	<b>Reviewed by</b>
0	11/11/2021	Draft Report		S. Munn Director of Hevasure	Dr. Z Liu Senior Manager of MCS
1	19/11/2021	Updated following review		S. Munn Director of Hevasure	Dr. Z Liu Senior Manager of MCS
2	25/11/2021	Further update following review		S. Munn Director of Hevasure	Dr. Z Liu Senior Manager of MCS

## 1. BACKGROUND

Parameters such as Dissolved Oxygen, pH, conductivity and temperature contribute significantly to the corrosion impacts of a closed heating/chilled water system. The level of dissolved oxygen is the most critical factor in corrosion processes and it is imperative to keep it low within the closed water systems to prevent corrosion damage to pipework and metallic components.

It is known that water at 20 °C and atmospheric pressure (1.01 bar) will contain approximately 9 mg/L when fully saturated; hence the saturation level of DO varies with temperature and pressure. The water from water supply systems normally contains approximately 8 – 11 mg/L of dissolved oxygen. The quantities of DO are generally removed by initial corrosion process within a very short period of time but without corrosion damage occurring in the closed water system. The process would allow the DO to be stabilised in a short term. However, if the DO has not been properly controlled and stabilised, corrosion rates of metallic components in the closed system will normally increase with DO levels and temperature, although other parameters also come into effect such as pH and conductivity.

According to German Standard – VDI 2035, the dissolved oxygen level is recommended to be controlled < 0.1 mg/L in low-saline (< 100 µS/cm conductivity) while < 0.02 mg/L in Saline (100 – 1500 µS/cm conductivity) closed system water. The British Standard – BSRIA BG 50/2021 advises that dissolved oxygen in a stable closed water system would not normally rise above 0.2 mg/L. With the comparison of the two standards above, the stricter control of DO in VDI 2035 supercedes the criteria as per BG 50.

Elysator market a range of products that scavenge dissolved oxygen by making use of sacrificial high-purity magnesium anodes. In addition, bubbles of gaseous air are expelled via an automatic air vent (AAV). Magnetic particles are captured in a fine mesh which are able to filter out the system. The Elysator devices contains 4 main features – filtration, micro gas bubble separator, anode protection and magnetic flow filter that would assist with cleaning water in closed heating or cooling systems.

Hevasure, working in conjunction with Midland Corrosion Services, were commissioned by Elysator in the UK to perform a number of controlled tests using a specially designed test rig in order to determine the effect of the Elysator Trio device on dissolved oxygen levels, corrosion rates and other important parameters.

Hevasure Ltd is a leader in real-time monitoring of commercial heating and cooling systems. Midland Corrosion Services is one of the UK's best known companies for failure investigation consultancy and laboratory testing. Both companies are based in Darley Dale, Derbyshire.



## 2. METHODOLOGY

A test rig was designed and built by Hevasure Ltd to enable the effect of the Elysator Trio device to be evaluated under controlled conditions (Figure 1). It incorporated a circulating water system using copper pipes with a variable speed pump, an electric boiler and copper storage tank. The total volume of the system was 122 litres.

Dissolved oxygen was introduced into the rig to controlled levels via several oxygen permeable silicone tubes.

A Hevasure G2.5 monitoring system incorporating an extensive range of calibrated sensors connected to a sophisticated data acquisition system (Figure 2) was used to measure, in real-time, several parameters including:

- Dissolved Oxygen
- Temperature
- Conductivity
- Ph
- Corrosion rates of steel, using a Pepperl & Fuchs corrotor
- Galvanic Currents generated by the Trio device

As a check on the corrosion rates, steel and aluminium coupons were incorporated into the rig and weight loss measurements / calculations used to determine the overall corrosion rates over the course of each test.

Dissolved oxygen was measured using a high-quality optical sensor from Hamilton Bonaduz AG (Visiform DO) with a resolution of 0.01 mg/L. Prior to each test, the sensor was calibrated in air and zero oxygen conditions. Conductivity, temperature and Ph were also measured using pre-calibrated sensors from Hamilton AG. Finally, galvanic currents were measured by connecting the terminals from the anode / cathode couple in the Elysator Trio into the Ma input of the Hevasure monitoring system.

Five tests were undertaken as follows:

### Test 1 (Control)

Purpose: To set a baseline of results so that the characteristics of the test rig could be determined **without** the Elysator device.

Test duration: 7 days

Water: Derbyshire mains water (soft) – starting conductivity around 300 micro-Siemens @ 60°C

Rig configuration: 1 oxygen permeable silicone tube in circuit

Temperature: 60°C

Starting level of DO: 1 mg/L

Trio device: NOT IN CIRCUIT

## Test 2

Purpose: Under the same conditions as the control, to determine the effectiveness of the Elysator Trio device at reducing dissolved oxygen levels and corrosion rates.

Test duration: 7 days

Water: Derbyshire mains water (soft) – starting conductivity around 300 micro-Siemens @ 60°C

Rig configuration: 1 oxygen permeable silicone tube in circuit

Temperature: 60°C

Starting level of DO: 1 mg/L

Trio device: IN CIRCUIT

## Test 3

Purpose: Without any oxygen ingress into the rig, to determine the effectiveness of the Elysator Trio device at reducing dissolved oxygen levels.

Test duration: 7 days

Water: Derbyshire mains water (soft) – starting conductivity around 380 micro-Siemens @ 60°C

Rig configuration: No oxygen permeable silicone tubes in circuit

Temperature: 60°C

Starting level of DO: 1 mg/L

Trio device: IN CIRCUIT

## Test 4

Purpose: Using pre-conditioned, demineralised water (low conductivity) from a Purotap device (supplied by Elysator), without any oxygen ingress into the rig, to determine the effectiveness of the Elysator Trio device at reducing dissolved oxygen levels.

Test duration: 14 days

Water: Pre-conditioned using an Elysator Purotap device to give low conductivity. Starting conductivity around 66 micro-Siemens

Rig configuration: No oxygen permeable silicone tubes in circuit

Temperature: 60°C

Starting level of DO: 1 mg/L

Trio device: IN CIRCUIT

### **Test 5**

Purpose: Using bottled mineral water, without any oxygen ingress into the rig, to determine the effectiveness of the Elysator Trio device at reducing dissolved oxygen levels as well as affecting other parameters.

Test duration: 25 days

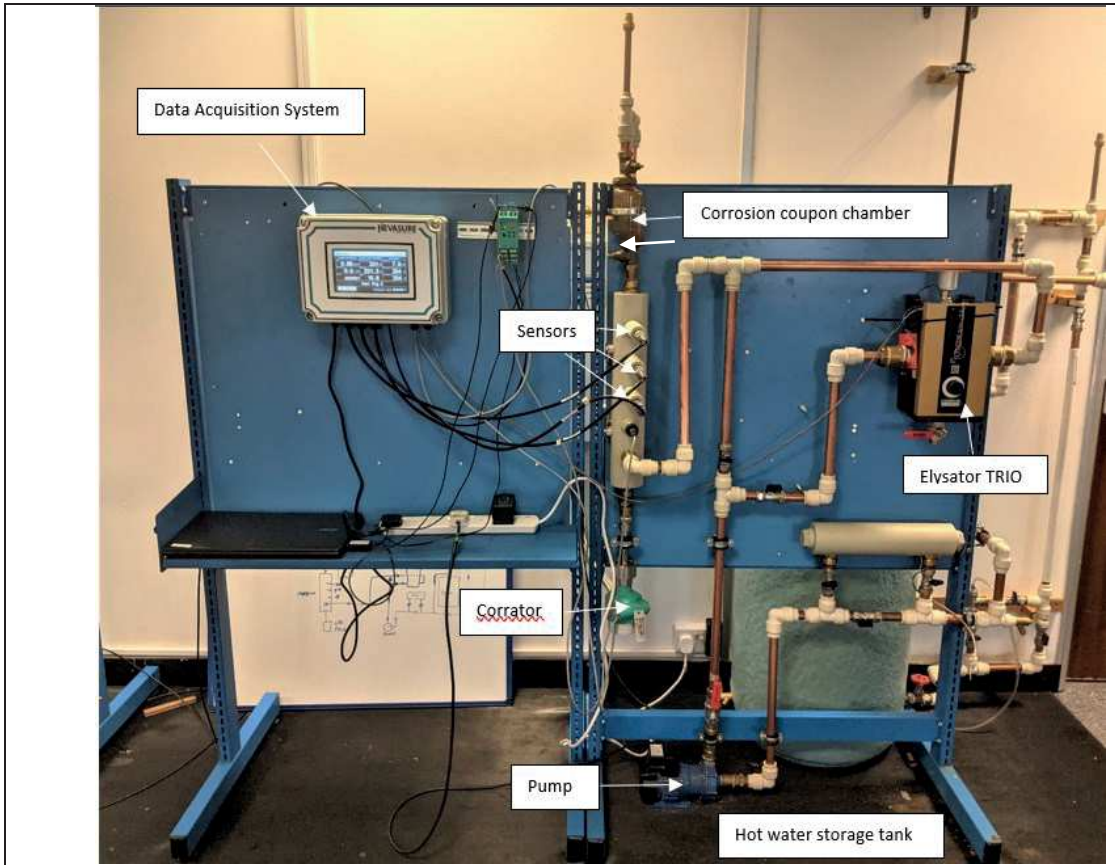
Water: Bottled mineral water (Yorkshire Vale from Morrisons). Starting conductivity around 1,200 µS/cm

Rig configuration: No oxygen permeable silicone tubes in circuit

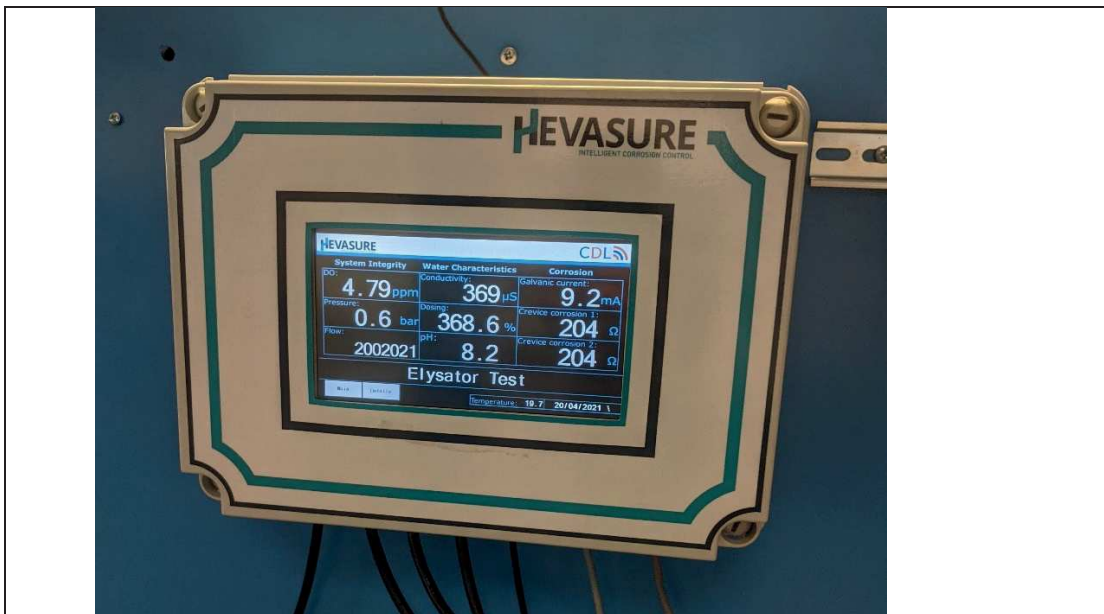
Temperature: 60°C

Starting level of DO: 5 mg/L

Trio device: IN CIRCUIT



**Figure 1: Test Rig**



**Figure 2: Hevasure Data Acquisition System**

### 3. RESULTS

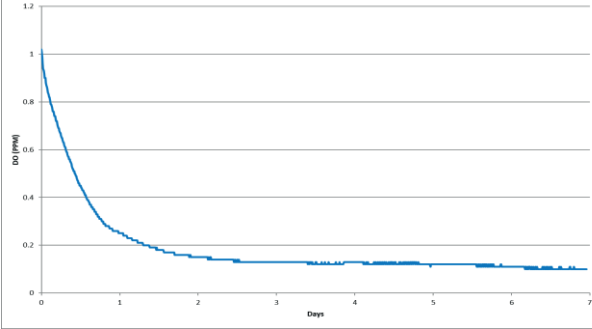
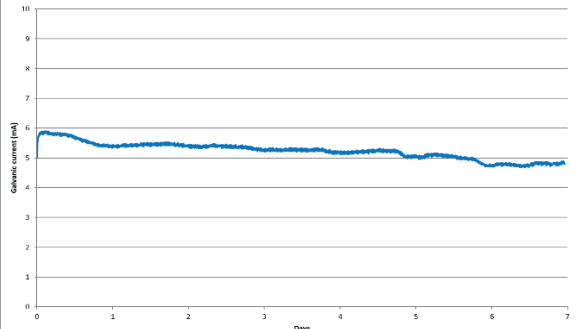
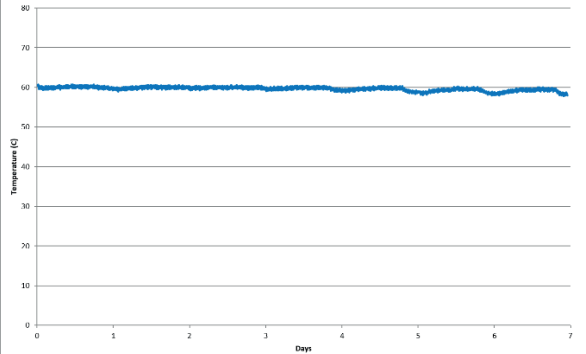
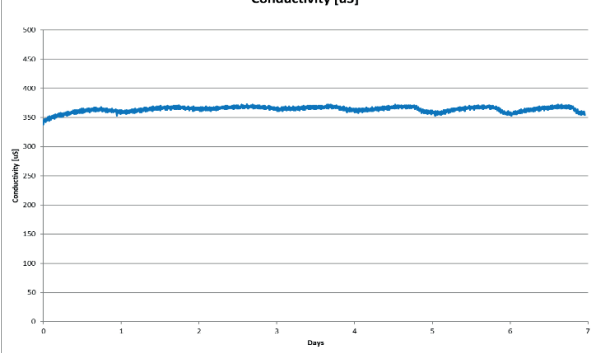
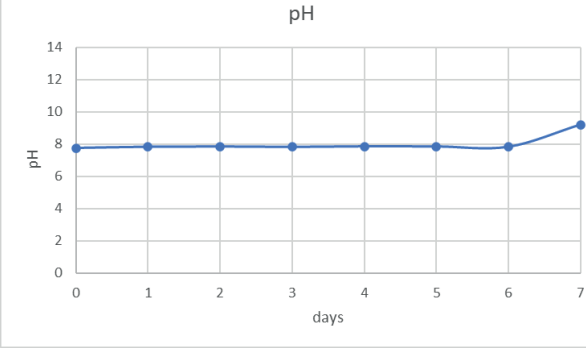
#### 3.1. Test 1 (Control – No Elysator device but with oxygen ingress via silicone tube)

	<p style="text-align: center;">Galvanic current</p> <p style="text-align: center;">NOT MEASURED – TRIO NOT CONNECTED</p>
<p><b>Comment:</b> Dissolved oxygen steadily increased over the test due to ingress through the porous tube.</p>	
<p><b>Comment:</b> The corrosion rates of steel increased in proportion to the dissolved oxygen levels reaching a peak of 0.2 mm/y (note the decrease on the last day was due to a drop in temperature)</p>	<p><b>Comment:</b> The temperature of system water was maintained between 58 &amp; 59 °C except for on the last day when there was a power trip out to the boiler.</p>
<p><b>Comment:</b> Conductivity of the system water was around 300 <math>\mu</math>S throughout the test except when the temperature dropped on the last day.</p>	<p><b>Comment:</b> The pH of the system water ranged from 8.7 to 9.3 depending on temperature</p>

### 3.2. Test 2 (Trio device with oxygen ingress via silicone tube)

<p><b>Comment:</b> The effect of the TRIO device on scavenging dissolved oxygen from the system water can clearly be seen. Dissolved oxygen decreased by nearly 30% despite deliberate diffusion of oxygen through the porous tube.</p>	<p><b>Comment:</b> The sacrificial anode and cathode generated a galvanic current of between 7 and 8.4 mA during the test due to the reduction of dissolved oxygen.</p>
<p><b>Comment:</b> The corrosion rates of steel decreased after day 4 from a starting value of 0.08 mm/y to 0.06 mm/y over the 7 day test period, showing a 25% reduction.</p>	<p><b>Comment:</b> The temperature was maintained between 58°C and 60°C throughout the test</p>
<p><b>Comment:</b> The conductivity of the system water decreased slightly from around 400 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math> to 350 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>.</p>	<p><b>Comment:</b> The pH of the system water was maintained between 9.4 &amp; 9.2 during the test.</p>

### 3.3. Test 3 (Trio device without oxygen ingress)

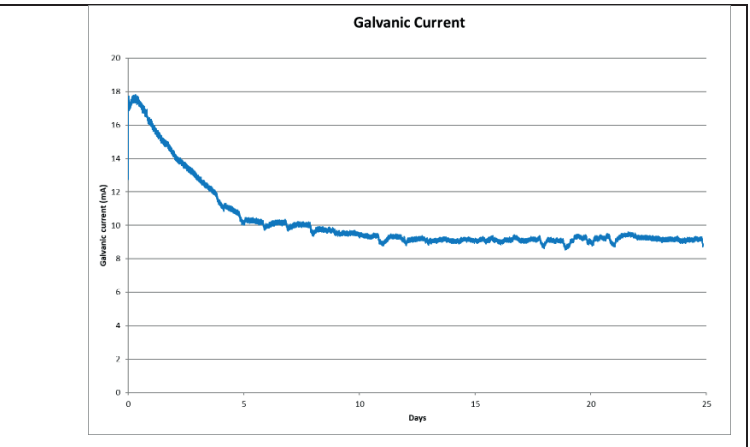
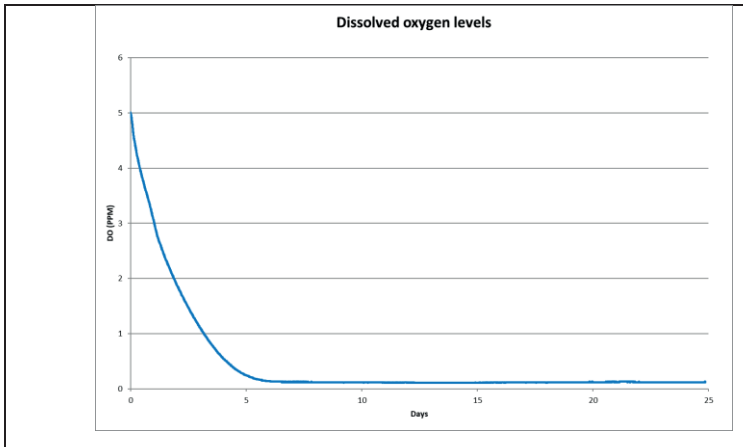
	
<p><b>Comment:</b> The level of dissolved oxygen decreased markedly over the test period from 1 mg/L to 0.1 mg/L due to the effect of the magnesium sacrificial anode in the Elysator Trio device. This shows a significant reduction of DO by 90%.</p>	<p><b>Comment:</b> The sacrificial anode generated a galvanic current that decreased from 6 to 5 mA during the test due as the oxygen became consumed and anode activity reduced.</p>
	
	<p><b>Comment:</b> The temperature was maintained between 59.5°C and 60.5°C throughout the test</p>
	
<p><b>Comment:</b> The conductivity of the system water was maintained between 354 and 362 micro Siemens during the test</p>	<p><b>Comment:</b> The pH of the system water was maintained between 7.8 and 8 during the first 6 days increasing to 9.2 on day 7 of the test</p>

### 3.4. Test 4 (Low conductivity Pre-treated water - Trio device without oxygen)

<p><b>Comment:</b> The level of dissolved oxygen decreased rapidly over the 1<sup>st</sup> 4 days from 1mg/L to 0.1 mg/L but then gradually increased to just under 0.2 mg/L</p>	<p><b>Comment:</b> The sacrificial anode generated a galvanic current that decreased from a max 1.6 to a minimum of 0.85 mA during the test. The low conductivity of the system water resulted in a lower galvanic current than that seen in previous tests</p>
	<p><b>Comment:</b> The temperature was maintained between 60 and 61 throughout the test</p>
<p><b>Comment:</b> The Pre-treatment process using the Elysator Purotap device resulted in a significantly lower conductivity, decreasing to a minimum of 52 Micro Siemen at 60C</p>	<p><b>Comment:</b> The pH of the system water was maintained around 9 over the course of the 14-day test</p>

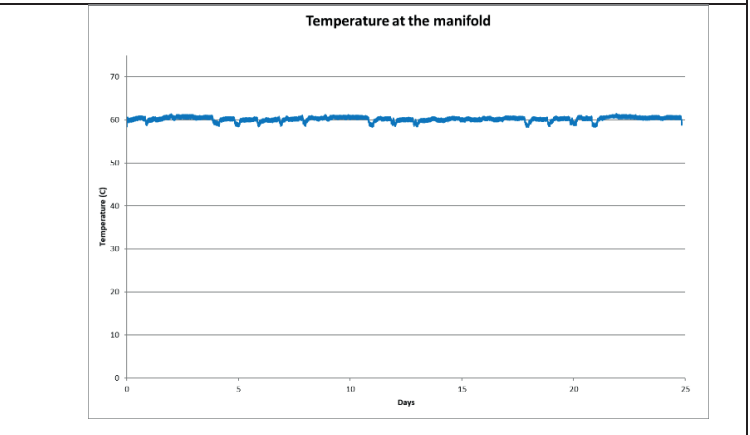


### 3.5. Test 5 (High conductivity mineral water - Trio device without oxygen ingress)

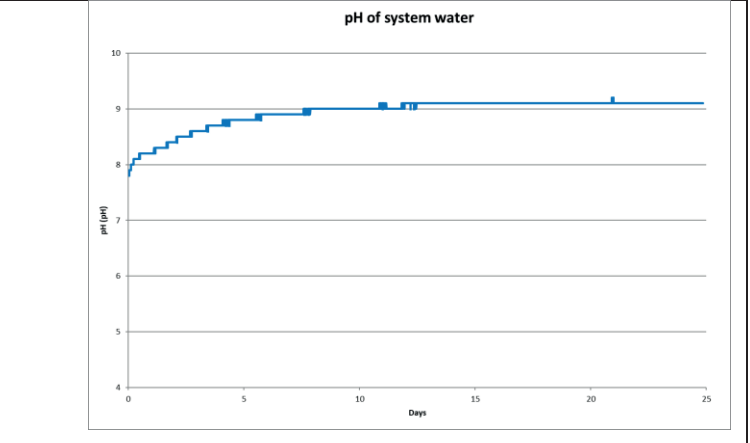
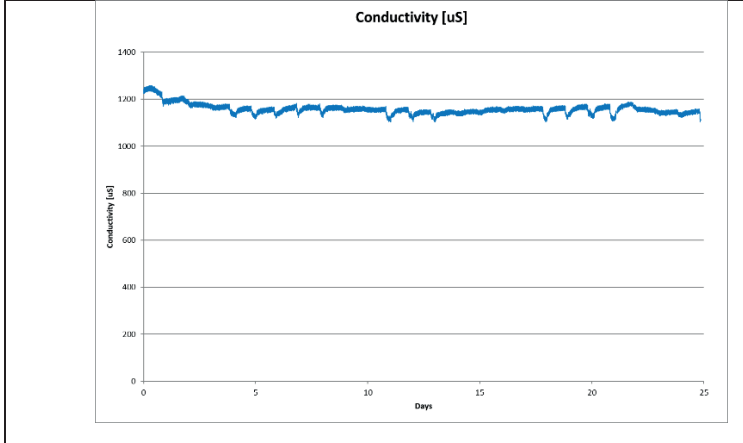


**Comment:** The level of dissolved oxygen decreased rapidly over the 1<sup>st</sup> 5 days from 1mg/L to 0.12 mg/L but then stabilised at this level over the remaining 20 days of the test

**Comment:** The sacrificial anode generated a galvanic current that decreased from a max 18 mA to a minimum of 9.1 mA during the test. The high conductivity of the system water resulted in a significantly higher galvanic current than that seen in previous tests. This indicates that the anode was consumed more when compared with the test using purified system water from the the Purotap device.



**Comment:** The temperature was maintained around 60C throughout the 25-day test



**Comment:** The conductivity of the mineral water used in the test decreased from around 1250 micro Siemens to 1100 micro Siemens at 60C over the course of the test

**Comment:** The pH of the system water increased over the 1<sup>st</sup> 10 days of the test from 7.8 to 9 eventually stabilising around 9.1

## 4. DISCUSSION

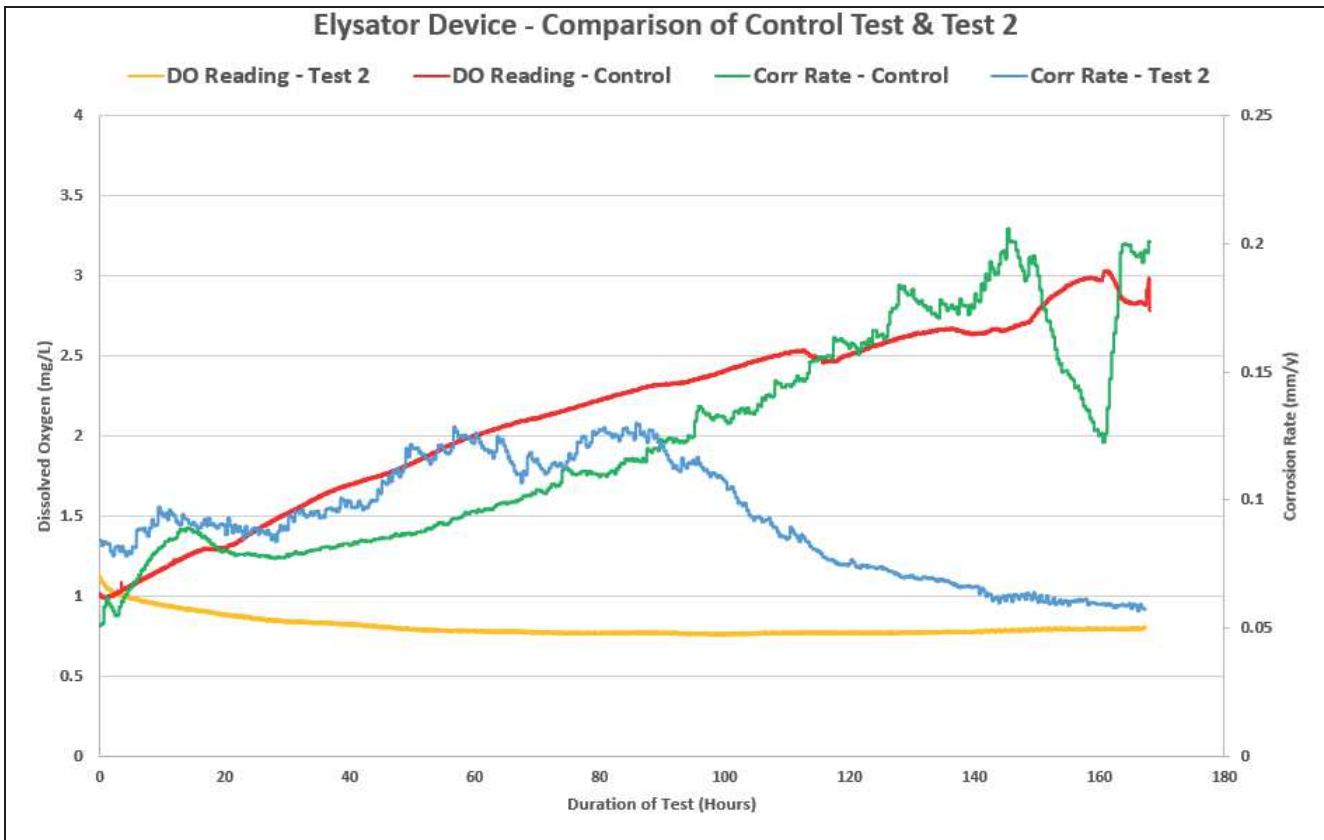
The presence of dissolved oxygen in water-based systems leads to oxidation of metals by electrochemical means. Carbon and mild steels are especially vulnerable and form either magnetite or haematite (iron oxide products) with the rate of corrosion being related to the availability of oxygen (DO level) and temperature. Oxygen induced corrosion (OIC) as a form of usually pitting would be caused. Chemical inhibitors can prevent or slow down the corrosion process, but it is not good practice to only rely on this approach to alleviate oxygen induced corrosion. Based on MCS's past 15 years experience, dissolved oxygen should be maintained less than 0.1 mg/L in closed water systems, which aligns with VDI 2035. Other metals can also succumb to corrosion due to the presence of oxygen and pitting attack on copper and brass components is a common problem.

### ***Dissolved Oxygen***

The tests carried out in this exercise were designed to test the hypothesis that the Elysator device reduces dissolved oxygen levels in closed systems and, consequently, reduces corrosion rates (especially of steel). The test rig was initially set-up to continually bleed a controlled rate of air into the system water and a baseline set of results was established. The second test repeated these conditions with the exception that the TRIO device was connected into the water circuit. Since in the control test, dissolved oxygen levels increased from 1.02 mg/L to 2.98 mg/L (192% increase), while in the second test, it decreased from 1.14 mg/L to 0.79 mg/L (31% decrease), it can be confidently stated that the hypothesis that ***the TRIO devices reduces dissolved oxygen in heated water*** is proven. It is reasonable to expect that continued use of the Elysator device would drive DO levels even lower.

### ***Corrosion Rate of steel***

We can see from the data generated and the graphs below that reducing dissolved oxygen does have a positive effect on corrosion rates of steel. Therefore, it can be concluded that the hypothesis that ***the TRIO devices reduces corrosion rates of steel as a consequence of dissolved oxygen reduction in heated water*** is also proven.

**Comments:**

Over the course of the 7-day control test, the corrosion rate of steel increased from 0.05 mm/y to 0.20 mm/y in response to the increase in dissolved oxygen (Trio not in circuit).

With the Elysator Trio device in circuit (Test 2), the corrosion rate of steel decreased from 0.08 mm/y to 0.06 mm/y in response to the significant decrease in dissolved oxygen, over the same 7-day period.

***Corrosion Rates of Aluminium***

Test coupons were used to assess the corrosion rate of aluminium in some of the tests. The average corrosion rate determined in the control test (without the Elysator Trio) was found to be 0.85 mm/y. The corresponding measurement in test 2 (with the Elysator Trio) was 0.13 mm/y demonstrating the efficacy of the Elysator device at reducing aluminium corrosion rates.

***Galvanic Currents***

The tests also looked at the current generated between the sacrificial magnesium anode and the cathode within the TRIO device to understand how it was actively engaged in the oxygen reduction process. An oxidation / reduction process takes place as shown below which generates an galvanic current that can be measured.

Oxidation half-cell reaction:  $\text{Mg (s)} \rightarrow \text{Mg}^{2+} \text{ (aq)} + 2\text{e}^{-}$

Reduction half-cell reaction:  $\text{O}_2 \text{ (g)} + 2\text{H}_2\text{O (l)} + 4\text{e}^{-} \rightarrow 4\text{OH}^{-} \text{ (aq)}$

***A higher galvanic current signifies that the magnesium anode is oxidising faster to form magnesium hydroxide  $\text{Mg(OH)}_2$  and in the process removing dissolved oxygen from the system water more vigorously.*** Comparing the results from test 2 with test 3 (similar soft mains water) it can be seen that the galvanic currents were higher when dissolved oxygen (DO) was higher, as expected. Galvanic currents averaged 7.3 mA for an average DO of 0.8 mg/L in test 2, compared to 5.2 mA and 0.2 mg/L respectively for test 3. It is also clear that the conductivity of the water affects the oxidation rate of the magnesium anode and consequently galvanic current. In test 4 (demineralised water produced from Purotap with low conductivity, the galvanic currents only averaged 0.94 mA for an average DO of 0.22 mg/L. In test 5 with a much higher conductivity the average galvanic currents were as high as 10.2 mA even though the dissolved oxygen was only slightly higher on average.

### **Conductivity**

There is a tendency for the Elysator Trio device to decrease conductivity slowly over time. In the water pre-treated using the Purotap device the conductivity fell from 74  $\mu\text{S/cm}$  at the start to 56  $\mu\text{S/cm}$  after 7 days. In hard mineral water the conductivity fell from 1222 to 1158  $\mu\text{S/cm}$  after 25 days. Reduced conductivity is a good sign indicating that the electrical galvanic currents needed to support the corrosion process are weakened. Eventually, the corrosion rate of metallic components in the water system would be reduced.

### **pH**

The Elysator devices (including the Trio) are intended to condition the system water and bring the pH within the range 8.2 to 10. The only water used in the test which started outside this range was the bottled mineral water used in Test 5. Over the 25-day test period the pH gradually increased from 7.8 to 9.2 bringing it within the intended range. In all other tests using soft or demineralised water, the pH remained within the intended range throughout.

Finally, it is important to consider how these results relate to the German VDI 2035 standard for maintaining quality in closed heating and chilled water systems. Unlike the BSRIA guide BG50:2021, emphasis is placed more on good engineering practice, using demineralised water and the need to keep dissolved oxygen levels and conductivity low. Since chemical inhibitors are not considered necessary, any physical device which can achieve this is to be encouraged. Undoubtedly the Elysator device scavenges out oxygen while maintaining conductivity at a low level and therefore reduces corrosion and supports the attainment of VDI 2035.

## 5. CONCLUSION

The Elysator Trio device has been shown to significantly reduce important parameters - **dissolved oxygen and conductivity** levels in a recirculating LTHW system while conditioning the water.

*The TRIO device conditions system water by the sacrificial oxidation of a magnesium anode. The level of activity of this anode (as measured by galvanic current output) has been shown to vary over time and with conditions. As well as consuming dissolved oxygen, the anode activity reduces the conductivity of the system water while increasing the pH.*

*The combined effect of the changing conditions has been shown to have a marked effect (reduction) on the corrosion of both steel and aluminium.*

*Continued use of the Elysator device over a longer period would continue the trend of reducing DO and conductivity as a consequence of the galvanic activity of the magnesium anode. Continued dissolution of the anode to magnesium hydroxide would keep the pH operating in the alkaline range, which assists with passivation of steel providing further corrosion protection.*