

Metalafgivelse til drikkevand - Del 3

**Rig-test af materialer til husinstallationer
Forlænget eksponering af emner i Lysholt Vandværk**

Kate Nielsen, Asbjørn Andersen & Frank Fontenay

FORCE Technology

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

INDHOLD	3
FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 INTRODUKTION	11
1.1 PROJEKTETS BAGGRUND OG FORMÅL	11
2 METALAFGIVELSE TIL DRIKKEVAND, LOVKRAV	12
3 UDFØRTE FORSØG	13
3.1 TESTEMNER OG MATERIALER	13
3.2 VANDKVALITET	13
4 RESULTATER	14
4.1 VARMFORZINKEDE STÅLRØR	14
4.2 KOBBERRØR	17
4.3 KOBBERLEGERINGER	18
4.3.1 Almindelig messing	19
4.3.2 Afzinkningsbestandig messing	19
4.3.3 Rødgods	20
5. KONKLUSION	23
6. LITTERATURLISTE	25
DRINKING WATER REQUIREMENTS	27
7. Appendix	
Appendix A, Drinking Water Requirements	
Appendix B, Chemical Analysis of released metals, 2002 - 2005	

Forord

Dette arbejde er en videreførelse af en undersøgelse, som blev afsluttet i 2004 og som er beskrevet i Miljøstyrelsens rapport, Miljøprojekt Nr. 970, 2004: Metalafgivelse til drikkevand, Rig-tests af materialer til husinstallationer, Del 2; Kate Nielsen, Asbjørn Andersen og Frank Fontenay, FORCE Technology [1].

Nærværende projekt er gennemført med samme udstyr som tidligere arbejde og med samme bemanning. Projektet blev tilrettelagt for at supplere og uddybe nogle af de tidligere resultater og denne rapport skal læses i nøje sammenhæng med Miljøprojekt Nr. 970.

I projektets styregruppe har været repræsentation af Miljøstyrelsen ved Susanne Rasmussen, Erhvervs- og Boligstyrelsen ved Ove Nielsen, DANVA ved Torlei Thomsen, Eurofins ved Kirsten Jebjerg Andersen og FORCE Technology ved Kate Nielsen.

Projektet er udført med Kate Nielsen, FORCE Technology, som projektleder. Databehandling og udarbejdelse af rapport er udført af Frank Fontenay og Asbjørn Andersen, FORCE Technology.

Testemner bestod af tidligere emner, som blev eksponeret i en længere periode. Vandværket Lysholt, TRE-FOR har stået for daglig drift af testrig og har udført aftapninger af vandprøver i prøveperioden 2002 – 2005. Eurofins har under Kirsten Jebjerg Andersens ledelse udført metalanalyser på vandprøver.

Sammenfatning og konklusioner

Der er i projektet undersøgt metalafgivelse til drikkevand fra almindeligt anvendte materialer i brugsvandsinstallationer. De eksponerede materialer er varmforzinket stål, kobber og forskellige kobberlegeringer. De afprøvede kobberlegeringer er almindelig β -messing, afzinkningsbestandig (DZR) messing og rødgoods.

Samtlige eksponeringsforsøg er udført som 12-timers henstandsprøver, og emnerne har været eksponeret i 3 år.

Testriggeren har været placeret på vandværket Lysholt med middelhårdt vand.

De udførte forsøg er rimelig repræsentative for forholdene i drikkevandsinstallationer. I praksis er der et stort variationsmønster.

Undersøgelserne viser fortsættelse af de tendenser, som er iagttaget i tidligere forsøg med enkelte mindre afvigelser.

Kobberafgivelse fra kobberrør og zinkafgivelse fra varmforzinkede stålrør testet i Lysholt opfyldte drikkevandskravene i Miljøministeriets Bekendtgørelse nr. 871, 21. September 2001 [3], hvilket ikke var tilfældet for samme materialer undersøgt tidligere i hårdere vandtyper.

Forsøget blev først og fremmest gennemført for at følge blyafgivelse fra varmforzinkede stålrør over lang tid. I hårde vandtyper havde det tidligere vist sig, at der ved eksponeringer over 1 år skete en mærkbar forandring, således at varmforzinkede stålrør med højt blyindhold afgav stigende mængder bly ved langtidseksponering. Resultaterne viser, at denne tendens ikke gør sig gældende i det middelhårde vand i Lysholt. Det gælder i alle danske vandtyper, at varmforzinkede stålrør med lavere blyindhold afgiver mindre bly til drikkevandet.

Afgivelsen af bly, kobber og arsen er tilfredsstillende lav (d.v.s. opfylder kravene til drikkevand i Miljøministeriets Bekendtgørelse) fra kobberlegeringerne alm. messing, DZR-messing og rødgoods fremstillet som standardprøveemner og monteret i rør af rustfrit stål. For DZR-messing er blyafgivelsen dog for høj i de 3 første måneder med mindre en særlig vaskeproces foretages, og afgivelsen ligger selv efter 3 års eksponering lige på grænsen af det tilladte. Disse resultater er i overensstemmelse med tidligere forsøg.

I testriggeren udgjorde armaturmaterialerne 15% af testrøret under prøven.

Afgivelse af nikkel er lav fra almindelig messing og DZR-messing. Den testede rødgoods havde et relativt højt nikkelindhold (1,1%). Nikkelafgivelsen herfra var forholdsvis høj, men kunne i Lysholt vand opfylde drikkevandskravene i Miljøministeriets Bekendtgørelse efter et halvt års eksponering.

Summary and conclusions

In this project metal release has been investigated from materials commonly used in domestic water installations. The materials tested were hot-dip galvanized steel, copper and various copper alloys. The tested copper alloys were gun metal, β -brass and dezincification resistant (DZR) brass.

All experiments were carried out as 12-hour stagnation tests, and the test pieces were exposed for three years.

The test rig was situated at Lysholt waterworks, with medium hard water.

The experiments performed are reasonably representative for the conditions in drinking water installations. In practice, there is much variation.

The continued investigations of metal release show the same tendencies as the previous experiments.

Copper release from copper pipes and zinc release from hot-dip galvanized steel pipes tested in Lysholt were below the limits laid down in the statutory order from the Danish Ministry of the Environment (Bekendtgørelse no. 871, 21. September 2001), which was not the case in previous tests on the same materials in harder waters.

The release of lead, copper and arsenic was suitably low (below limits in the statutory order from the Danish Ministry of the Environment) from the copper alloys brass, DZR brass and gun metal produced as standard test pieces and mounted in stainless steel pipes. Yet, lead release is too high in the first three months of exposure, unless the copper alloys are washed in a special cleaning process. These results are in good agreement with previously reported results. In the test rig the test piece area accounted for 15 per cent of the test pipe area.

The nickel release from brass and DZR brass was low. The gun metal tested had a high nickel content of 1.1 per cent. The nickel release from this alloy was high, but below the limits in the Danish statutory order.

1 Introduktion

1.1 Projektets baggrund og formål

I perioden februar 2002 til marts 2005 blev i en testrig eksponeret en række almindeligt anvendte materialer til husinstallationer for drikkevand. Materialerne blev eksponeret i middelhårdt vandværksvand på vandværket Lysholt. Nogle af materialerne er tidligere testet i 3 eller 4 andre vandtyper. Undersøgelsen er beskrevet i Miljøprojekt Nr. 970 2004 [1], Metalafgivelse til drikkevand, Del 2, Miljøstyrelsen. Der henvises til denne rapport for detaljer om prøvemethode.

Prøvning af metalafgivelsen i Lysholt, hvor eksponering kun var foretaget i 1 år, blev fortsat for en række materialer. Forsøget blev forlænget for også at kunne se disse materialer i en 3 års eksponeringsperiode. Prøvningen blev fortsat for følgende materialer:

- Rørmaterialer:
 1. Varmforzinket stål
 2. Kobber

- Fittings:
 1. Alm. blyholdig messing (a)
 2. Afzinkningsbestandig messing (b)
 3. Rødgods (c)

Fittings blev eksponeret i form af standardprøveemner fra Tyskland placeret i rustfrit rørsystem.

2 Metalafgivelse til drikkevand, lovkrav

Drikkevand kan optage metaller under transport i ledningsnettet. Det er hensigten at vandet ved tapstedet skal være velsmagende og fri for sundhedsskadelige stoffer. Vandets sammensætning og de anvendte materialer i husinstallationerne, hvor opholdstiden kan være lang, har indflydelse på, hvordan metalafgivelsen til vandet bliver. Miljøministeriet har fastsat krav til vandets sammensætning efter at vandet er behandlet i vandværk og til metalindhold målt i vandet ved tapstedet.

I 1998 udkom et nyt EU direktiv om vandkvalitet [2]. Det har givet anledning til omarbejdning af nationale regler. En revideret udgave af "Miljøministeriets Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg" trådte i kraft i oktober 2001 [3]. Tabel over højest tilladelige værdier er gengivet i Appendix A. For at lette fortolkningen af reglerne har man i 2005 udsendt "Vejledning om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg" [4].

I indeværende projekt er det fundet relevant at analysere for metallerne:

Zink, Zn
Kobber, Cu
Bly, Pb
Arsen, As
Nikkel, Ni

som indgår i større eller mindre mængde i de undersøgte metalliske materialer.

3 Udførte forsøg

3.1 Testemner og materialer

I forsøgene blev der målt på testemner i perioden 2002 – 2005. Målinger foregik på Lysholt vandværk.

En oversigt over de prøvede emner i testriggeren ses nedenfor i tabel 1. I [1] ses flere oplysninger om prøvningsmetode, materialesammensætning, produkter og dimensioner.

NR.	Testemner
1 og 2	$\alpha\beta$ -messing i rustfri stålrør, CuZn40Pb2
3 og 4	Afzinkningsbestandig messing i rustfri stålrør, CuZn36Pb2As
5 og 6	Rødgods i rustfri stålrør, CuSn5Zn5Pb5
7 og 8	Varmforzinkede stålrør, lavt blyindhold, 0,05% Pb
9 og 10	Varmforzinkede stålrør, højt blyindhold, 0,7% Pb
11 og 12	Varmforzinkede stålrør, 0,05% Pb, med fitting af afzinkningsbestandig messing
13 og 15	Kobberrør

Tabel 1. Oversigt over testemner og materialer. Driftsperiode 2002 - 2005.

Emnerne 1/2 , 3/4 og 5/6 er standardemner i henhold til DIN 50931 – 1. Emnerne er monteret i rør af rustfrit stål, og de udgør ca. 15% af hele testrørets areal.

Enkelte andre materialer er testet i Lysholt i perioden 2002-2003. Resultater heraf er beskrevet i Miljøprojekt Nr. 970 2004 [1].

3.2 Vandkvalitet

I tabel 3 ses en oversigt over væsentlig vandparametre for Lysholt Vandværk. (TOC skal tilføjes).

Vandværk	HCO ₃ ⁻ mmol/l	pH	Mætningsindex $\Delta\text{pH}=\text{pH}-\text{pH}_s$ beregnet	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Ledningsevne mS/m	NVOC mg/l
Lysholt, TRE-FOR	3,8	7,6-7,8	+0,5	23	47	51	1,3

Tabel 2. Vigtigste vandparametre for det færdigbehandlede grundvand fra Lysholt Vandværk.

4 Resultater

Der er i undersøgelsen udført kemisk analyse for metalindhold i aftappede vandprøver i perioden februar 2002 til marts 2005. Vandprøver er udtaget efter 12 timers henstand og resultaterne er gengivet i tabelform i Appendix B.

I de følgende afsnit er undersøgelsens væsentligste resultater beskrevet, illustreret grafisk og kommenteret.

4.1 Varmforzinkede stål rør

(Zn og Pb)

Emne: nr.7 – 12

Zinkafgivelse

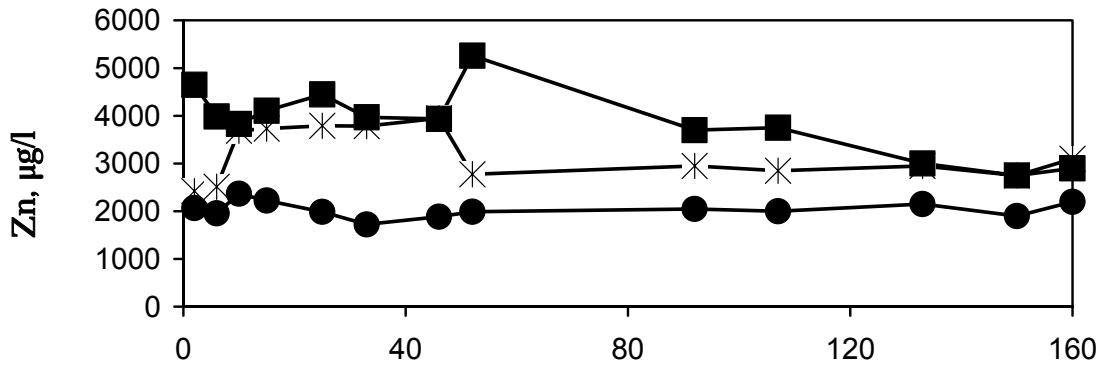
I den middelhårde vandtype i Lysholt blev der under 3 års driftstid testet 2 rørtyper med blyindhold på henholdsvis 0,7 % (9/10) og 0,05% (7/8). I denne forsøgsserie sås der nogen forskel på zinkafgivelsen fra de 2 rørkvaliteter indbyrdes, idet prøverne 9/10 med det højeste blyindhold afgav noget mindre zink (figur 1a).

I rørprøve 11/12 var der placeret et fitting af afzinkningsbestandigt messing i de varmforzinkede rør, figur 7. En mindre forøgelse af zinkafgivelsen kunne fra start ses i forhold til rør 7/8 (figur 1a).

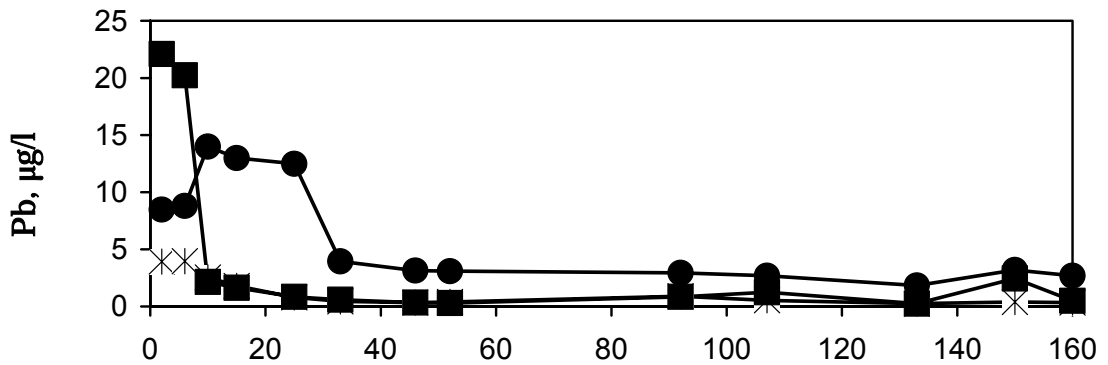
Efter ca. 1 års drift jævnedes forskellen i zinkafgivelse ud, og alle rør afgav 2500-3000 µg zink pr. liter.

Afgivelse af zink og bly fra varmforzinket stål 12 timers henstand

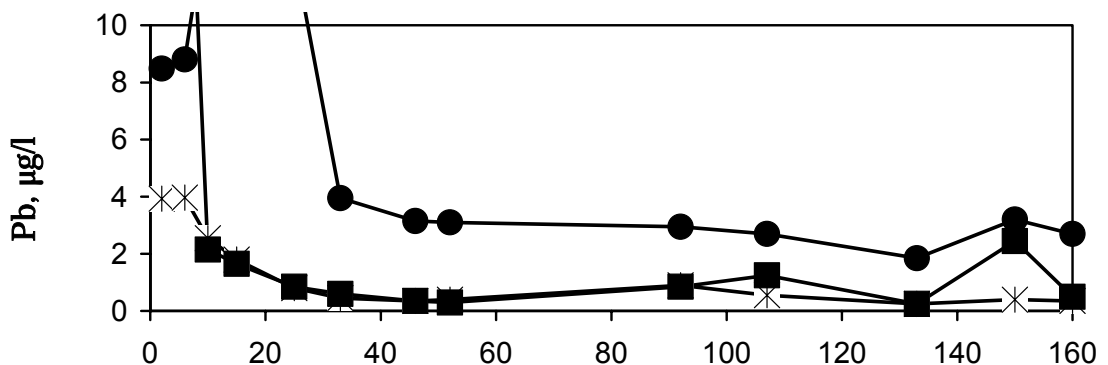
-x- Emne 7/8 - 0,05 % Pb ● Emne 9/10 - 0,7 % Pb ■ Emne 11/12 - 0,05 % Pb+messingfitting



a. Zink fra varmforzinket stålrør, emne 7/8, 9/10 og 11/12 Lysholt



b. Bly fra varmforzinket stålrør, emne 7/8, 9/10 og 11/12 Lysholt. Efter 10 uger afgiver rør med højt blyindhold mest bly til vandet.



c. Samme som b, men med anden skala

Driftstid, uger

Figur 1. Zink- og blyafgivelse fra varmforzinket stål i Lysholt. Afgivelse er målt efter 12 timers henstand som funktion af driftstid. De viste målepunkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

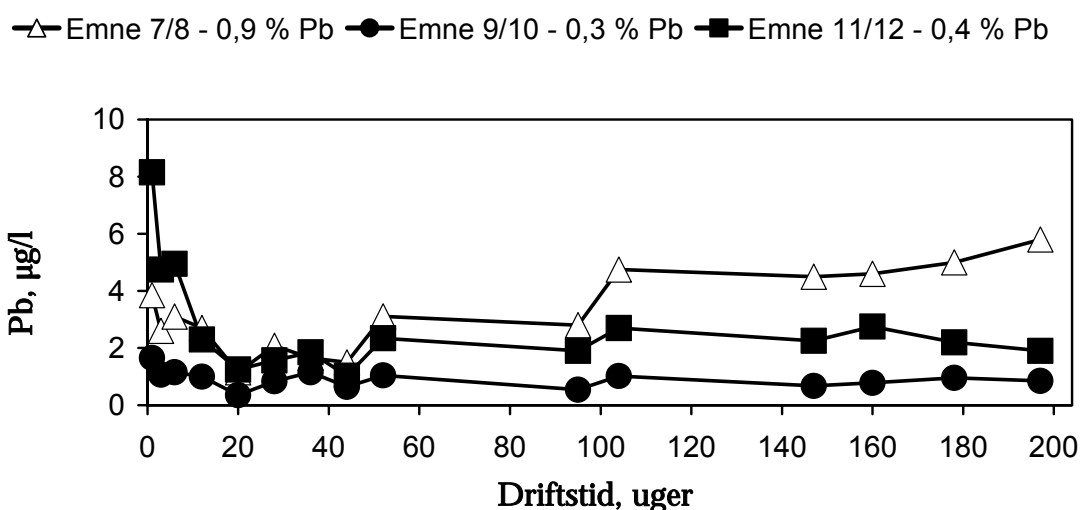
Blyafgivelse

2 typer af varmforzinket stålør blev eksponeret i Lysholt. Rørens blyindhold var henholdsvis 0,7% (9/10) og 0,05% (7/8). Testør nr. (11/12), som var udkåret af samme rør som testør 7/8, havde et indbygget standardfitting af afzinkningsbestandig messing. Messingen får en vis katodisk beskyttelse fra det uædle varmforzinkede stålør.

Resultater ses i figur 1b og 1c. Rør 7/8 med lavt blyindhold viste lav blyafgivelse lige fra start < 4 µg/l og siden < 2 µg/l i 12 timers henstandsprøver. Efter et højere niveau for blyafgivelse de første 6 uger var også rør (11/12) meget lav < 2 µg/l. Rør 9/10 med et højt blyindhold afgav mere bly til testvandet, således 10-15 µg/l i det første halve år. Efter 32 uger var blyafgivelsen < 4 µg/l fra rør 9/10 ved 12 timers henstand. Samtlige de eksponerede rør opfylder kravene til blyafgivelse i Miljøministeriets Bekendtgørelse.

I tidligere forsøg i hårdere vandtyper var blyafgivelsen fra varmforzinkede stålør med højt blyindhold svagt stigende efter 1 års eksponering, figur 2. Sammenligning af blyafgivelse fra rør med højt blyindhold i det hårde vand i Regnemark og det middelhårde vand i Lysholt viser forskelle i udviklingen, figur 3. Således sker der en svag stigning i blyafgivelsen i Regnemark efter ca. 1 års drift, mens afgivelsen i Lysholt stabiliseres på et lavt niveau efter knap et år. Resultaterne af denne og tidligere undersøgelser viser således, at varmforzinkede stålør med højt blyindhold i alle undersøgte vandtyper afgiver mere bly til vandet end varmforzinkede stålør med lavt blyindhold. Fabrikanternes produktudvikling går da også i retning af stadig lavere blyindhold i de varmforzinkede stålør.

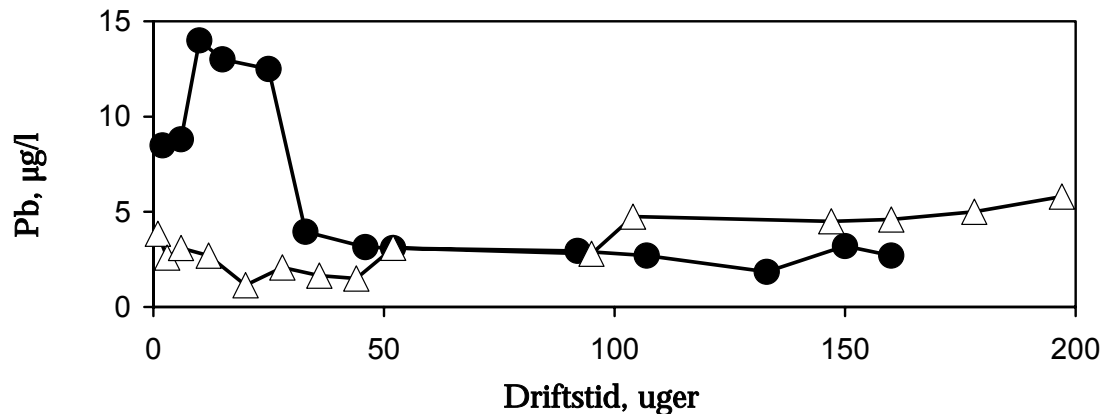
Afgivelse af bly fra varmforzinket stål 12 timers henstand



Figur 2. Blyafgivelse fra varmforzinkede stålør, Regnemark (1999-2003). Efter ét års driftstid er blyafgivelsen størst for rør med størst blyindhold. De viste målepunkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

Afgivelse af bly fra varmforzinket stål 12 timers henstand

△ Emne 7/8 - 0,9% Pb (Regnemark) ● Emne 9/10 - 0,7% Pb (Lysholt)



Figur 3. Blyafgivelse fra varmforzinket stål i Lysholt (emne 9/10, 0,7 % Pb) og Regnemark (emne 7/8, 0,9 % Pb). Afgivelse er målt efter 12 timers henstand som funktion af driftstid. De viste målepunkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

4.2 Kobberrør

(Cu)

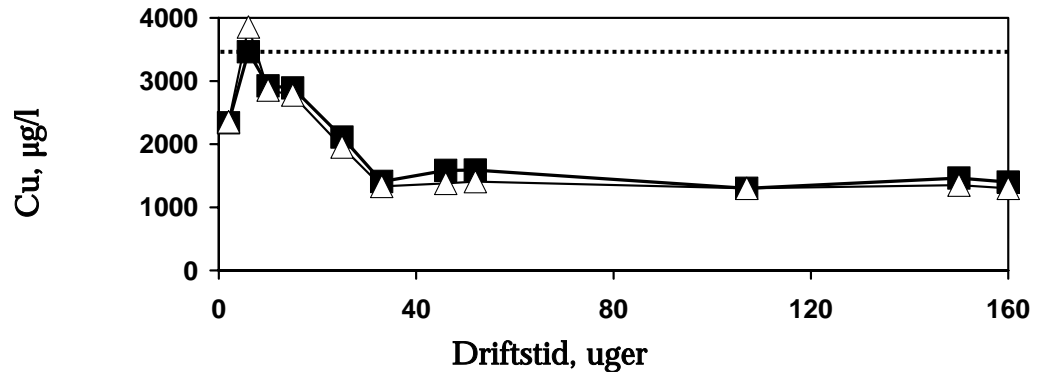
Emne: nr.13 og 15.

Kobberrør, som var monteret med 2 stk. messingfittings blev testet i Lysholt. Messing udgjorde 5% af rørlængden. Kobberafgivelsen i det middelhårde vand ses på figur 4.

Det bemærkes, at der er god overensstemmelse mellem enkeltbestemmelserne fra de 2 testede rør. I den første tid efter installation blev kobber afgivet efter henstand op til godt 3 mg/l; men efter 3 måneder var maksimum passeret, og afgivelsen holdt sig stabilt på ca. 1,5 mg/l efter 12 timers henstand.

Grænseværdien for kobberrør i drikkevand i Miljøministeriets Bekendtgørelse på 2 mg/l efter 12 timers henstand er således overholdt for kobberrør i det middelhårde vand i Lysholt.

Kobberafgivelse fra kobberrør i Lysholt 12 timers henstand



Figur 4. Kobberafgivelse fra kobberrør emne 13/15, Lysholt. Punkterne viser enkeltbestemmelser. Den stiplede linie angiver den gældende grænseværdi, der overholdes efter 24 uger.

4.3 Kobberlegeringer

Kategorier: β -messing, DZR-messing (afzinkningsbestandig) og rødgoods (Cu, Zn, Pb, Ni, As)

Emne: nr.1 – 6.

Ved vurdering af metalafgivelse fra kobberlegeringer skal det tages i betragtning, at legeringerne ikke bruges som rørmateriale, men kun til emner af arealmæssig ringe udstrækning. Den gennemsnitlige kontaktid med vandet er derfor kortere, og der kan accepteres højere metalafgivelse fra disse materialer end for rørmaterialer. Ved vurderinger antages det rimeligt at gå ud fra, at kobberlegeringer indgår som 10% af rørarealerne. Ved vurdering af niveauer for afgivelse af Pb, Cd, Ni og As relaterer kravene i Miljøministeriets Bekendtgørelse [3] til ugentligt gennemsnit. Man kan ved afgivelse af disse metaller som en grov retningslinje antage, at de her målte 12 timers henstandsprøver ligger på et niveau, der er dobbelt så højt som det ugentlige gennemsnit.

3 typer af kobberlegeringer blev afprøvet. Resultater ses på figur 5 og 6. Almindelig messing, DZR-messing (afzinkningsbestandig messing) og rødgoods blev testet i form af standard prøveemner. Prøveemner nr. 1 – 6 blev placeret i en rørstrækning af rustfrit stål, således at kobberlegeringerne udgjorde 15% af det testede rustfri stålørns længde, svarende til 2 standardemner monteret i det rustfrie rør. Hvis armaturmaterialernes udstrækning ses i forhold til hele rørlængden af rustfrit stål plus afsluttende plastrørdele i riggen, da udgør armaturmaterialerne 12% af den totale rørlængde.

I figur 5 og 6 ses eksempler på metalafgivelse (Cu, Zn, As, Ni, Pb) fra kobberlegeringer (1/2, 3/4 og 5/6).

Almindelig messing

Testemnerne havde et eksponeret areal, som udgør ca. 15 % af det rustfri testrør. Almindelig messing afgav meget zink; således op til 1200 µg/l. For armaturmaterialer, som kun udgør en lille procentdel af rørsystemet, er zinkniveauet ikke væsentligt.

Afgivelsen af kobber og bly havde efter få uger passeret et maximum og bevægede sig hurtigt mod lave værdier. Efter et års driftstid havde afgivelsen efter 12 timers henstand nået et minimum for kobber på under 50 µg/l og bly på under 3 µg/l

I hele perioden var arsen (< 0,9 µg/l) som forventet meget lav. Arsen legeres ikke til almindelig messing.

Heller ikke nikkel legeres til almindelig messing, og afgivelser blev fundet i begrænset mængde (< 10 µg/l).

Det ses, at blyafgivelsen er let forhøjet i de første 3 måneder. Denne blyafsmitning til vandet hidrører fra, at der findes udtværet bly på overfladen p.g.a. maskinbearbejdede indvendige overflader. Nogle fabrikkanter vasker dette bly bort før anvendelsen af armaturet til drikkevand.

Således er metalafgivelsen ikke kritisk for almindelig messing.

4.3.2 Afzinkningsbestandig messing

Prøveemner af afzinkningsbestandigt messing var monteret i rør af rustfrit stål. De udgjorde 15% af den metalliske rørlængde. Det ses af resultaterne i figur 5 og 6, at metalafgivelsen har stabiliseret sig efter et halvt år; arsenafgivelsen er indenfor det acceptable for en 12 timers henstandsprøve. Kobber afgives stadig i mængder, der er generende for rør af varmforzinket stål; men i øvrigt er indholdet faldende og acceptabelt. Efter ca. 1 års drift stiger kobberindholdet, hvilket formentlig skyldes, at der er dannet beskyttelseslag, som nedsætter zinkafgivelsen. En anden mulighed kunne være, at der opstår en ujævn og dermed større overflade af messingen som følge af ujævne korrosionsangreb. Mens zink afgives i mindre mængde end fra almindelig messing, så afgives bly, kobber og arsen i højere koncentrationer end for almindelig messing.

Blyafgivelsen er uønsket høj de første 3 måneder, men falder herefter til værdier, der omtrent opfylder Miljøministeriets Bekendtgørelse [3]. Der ses dog en mindre stigning efter ca. 1 års eksponering, så afgivelsen herefter ligger lige på grænsen af det tilladte (12-32 µg/l). Ifølge [4] er der dog ingen risiko for akutte effekter, når blyindholdet i henstandsprøverne ikke overskrider 50 µg/l. Blyafgivelsen fra nye emner hidrører fra maskinbearbejdede overflader. Dette bly kan vaskes bort før brug.

Nikkel er ikke legeringselement i afzinkningsbestandig messing. Materialets nikkelf afgivelse til drikkevandet var som forventet tilfredsstillende lav, < 2 µg/l (figur 6 c).

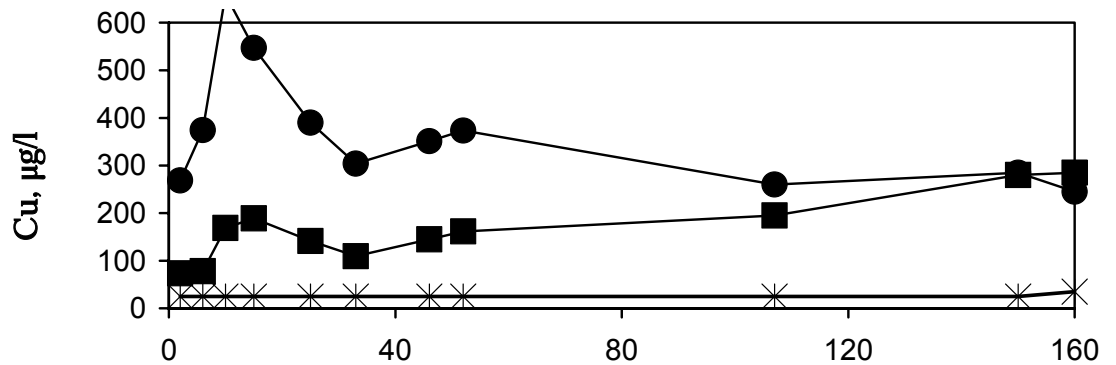
4.3.3 Rødgods

Rødgods er den mest ædle kobberlegering, hvilket resulterer i at metalafgivelsen er acceptabel lav efter et halvt år for en række metaller, figur 5 og 6. Efter et års driftstid er blyafgivelsen meget lav til trods for at blyindholdet i legeringen er højere end i messing. Der afgives lidt zink og næsten ingen arsen. Men rødgods afgiver væsentlig mere kobber end messing, hvilket gør den uacceptabel sammen med rør af varmforzinket stål. Se sammenligningen i figur 5 a. Det bemærkes, at kobberafgivelsen fra DZR-messing efter 3 år er lige så høj som for rødgods. Dette har formentlig sammenhæng med, at DZR-messingens zinkafgivelse er faldende pga. dannelse af beskyttelseslag.

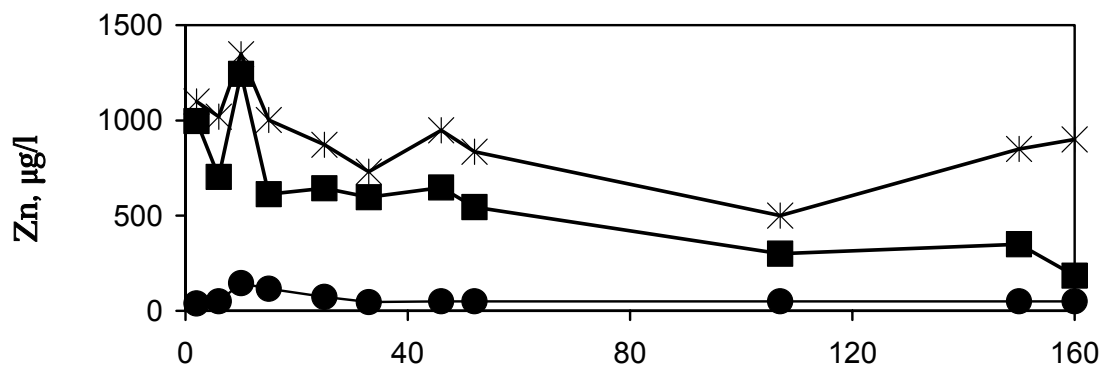
Rødgods er tillegeret nikkel. I den aktuelle legering er nikkellindholdet 1,1% . Nikkelafgivelsen ses i figur 6 c. Den er uønsket høj i de første 6 måneder, men kan herefter godt opfylde drikkevandskravene i Miljøministeriets Bekendtgørelse, hvis vandværksvandet ikke indeholder nikkel. Tyske undersøgelser har vist, at nikkel er et legeringselement, som opløses i særlig grad, dvs. fortrinsvis for øvrige metaller. Der anvendes i dag rødgodstyper med lavere nikkellindhold (<0,6%Ni) til materialer i kontakt med drikkevand, og nikkelfrigivelsen fra disse legeringer vil være lavere.

Afgivelse af kobber og zink fra kobberlegeringer
12 timers henstand

* αβ-messing, emne 1/2 ■ DZR-messing, emne 3/4 ● Rødgods, emne 5/6



a. Kobberafgivelse fra kobberlegeringer.



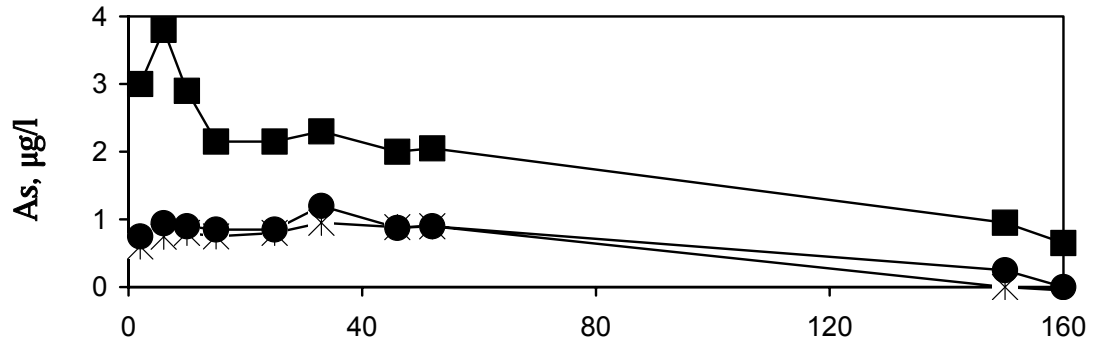
b. Zinkafgivelse fra kobberlegeringer.

Driftstid, uger

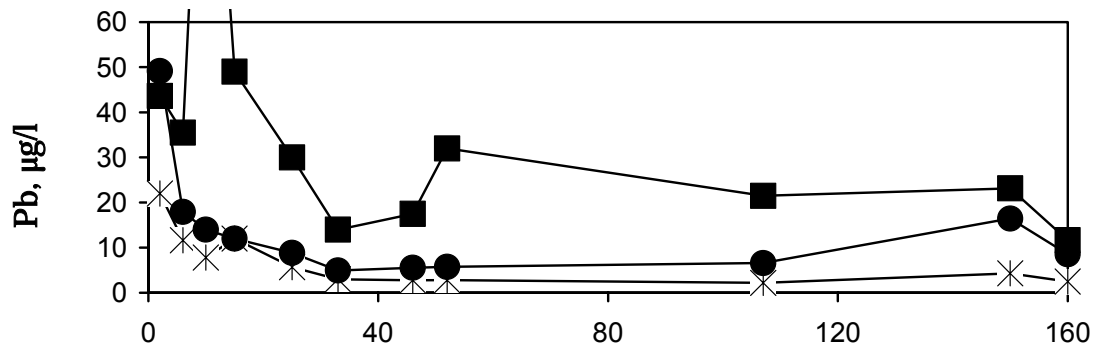
Figur 5. Kobber- og zinkafgivelse fra kobberlegeringer efter henstand i 12 timer, Lysholt. Eksponeret areal udgør 15 %. Emne 1/2 er β -messing (CuZn40Pb2), emne 3/4 er DZR-messing (CuZn36Pb2As) og emne 5/6 er rødgoods (CuSn5Zn5Pb5). De viste punkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

Afgivelse af arsen, bly og nikkel fra kobberlegeringer 12 timers henstand

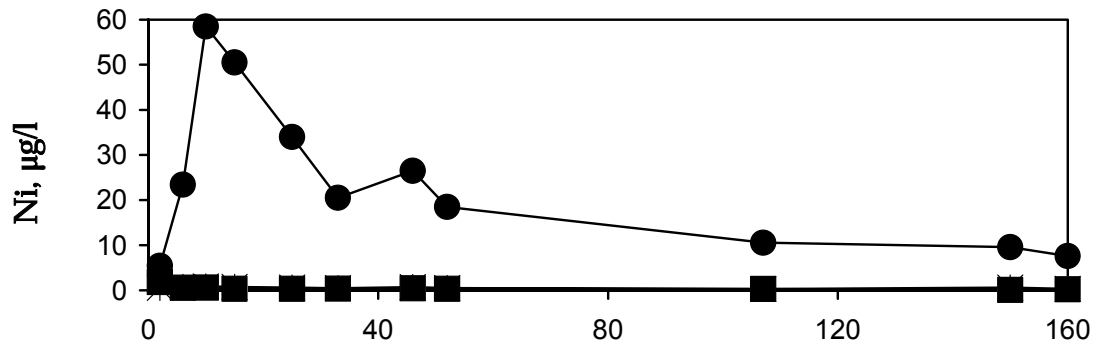
* αβ-messing, emne 1/2 ■ DZR-messing, emne 3/4 ● Rødgods, emne 5/6



a. Arsenafgivelse fra kobberlegeringer.



b. Blyafgivelse fra kobberlegeringer.



c. Nikkelafgivelse fra kobberlegeringer.

Driftstid, uger

Figur 6. Arsen-, bly- og nikkelfrigivelse fra kobberlegeringer efter henstand i 12 timer, Lysholt. Eksponeret areal udgør 15 %. Emne 1/2 udgør β-messing (CuZn40Pb2), emne 3/4 udgør DZR-messing (CuZn36Pb2As) og emne 5/6 udgør rødgoods (CuSn5Zn5Pb5). De viste punkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

5. Konklusion

- De udførte forsøg er rimelig repræsentative for forholdene i drikkevandsinstallationer. I praksis er der et stort variationsmønster.
- Forlængede undersøgelser af metalafgivelse i drikkevand i Lysholt (2002-2005) viser samme tendens, som i den 1-årige eksponering. Materialerne varmforzinket stål, kobber og kobberlegeringer er undersøgt.
- Kobberafgivelse fra kobberrør og zinkafgivelse fra varmforzinkede stålrør testet i Lysholt opfyldte kravene til drikkevand i Miljøministeriets Bekendtgørelse [3], hvilket ikke var tilfældet for samme materialer undersøgt tidligere i hårdere vand.
- Blyafgivelsen fra varmforzinkede stålrør afspejlede allerede efter 10 uger blyindholdet i zinklaget. Efter et halvt år kunne også rør med højt blyindhold (0,7%) overholde krav i Miljøministeriets Bekendtgørelse [3]. Der var fortsat lav blyafgivelse, i Lysholt vand, fra varmforzinkede stålrør i hele forsøgsperioden.
- Det gælder i alle danske vandtyper, at varmforzinkede stålrør med lavere blyindhold afgiver mindre bly til drikkevandet.
- Afgivelsen af bly, kobber og arsen er tilfredsstillende lav (dvs. opfylder krav til drikkevand i Miljøministeriets Bekendtgørelse) fra kobberlegeringerne alm. messing, DZR-messing og rødgoods fremstillet som standardprøveemner og monteret i rør af rustfrit stål. For DZR-messing er blyafgivelsen dog for høj i de 3 første måneder med mindre en særlig vaskeproces foretages, og afgivelsen ligger selv efter 3 års eksponering lige på grænsen af det tilladte. I testriggeren udgjorde armaturmaterialerne 15% af testrøret under prøven.
- Afgivelse af nikkel er lav fra messing og DZR-messing. Den testede rødgoods var tilleget meget nikkel (1,1%). Nikkelafgivelsen herfra var høj men kunne i Lysholt vand godt opfylde kravene i Miljøministeriets Bekendtgørelse efter ½ års eksponering. Dette gælder, når vandværksvandet som udgangspunkt ikke indeholder nikkel.

6. Litteraturliste

1. Miljøprojekt 970 2004, K. Nielsen, A. Andersen og Frank Fontenay, Metalafgivelse til drikkevand, Del 2, rig-tests af materialer til husinstallationer, Miljøstyrelsen 2004.
2. Rådets direktiv nr. 98/83/EF af 3. november om kvaliteten af drikkevand, EF-Tidende, L 330/32 af 5. december 1998.
3. Miljøministeriets Bekendtgørelse nr. 871 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg af 16. oktober 2001.
4. Vejledning om vandkvalitet og tilsyn med vandforayningsanlæg, MST-vejledning nr. 3, Miljøstyrelsen 2005.

Drinking Water Requirements

	EU DWD 1998	Denmark 2001	Remarks
Zinc, Zn	no limit	5 mg/l (12 h)	stagnation
		3 mg/l	weekly average
Copper, Cu		2 mg/l (12 h)	stagnation
	2 mg/l		weekly average
Lead, Pb	10 µg/l	10 µg/l	weekly average
Cadmium, Cd	5 µg/l		stagnation
		5 µg/l	weekly average
Arsenic, As	10 µg/l		stagnation
		10 µg/l	weekly average
Chromium, Cr	50 µg/l	50 µg/l	weekly average
Nickel, Ni	20 µg/l	20 µg/l	weekly average

Maximum allowed values at the consumer's tap.

The most important thresholds for metal release according to EU Drinking Water Directive (2) and Danish National regulation (3) are given above.

1 Chemical Analysis of Metal content in Water Samples

12h stagnation

Operation period: March 2002 - March 2005

Water works: Astrup, V. Gjesing, Lysholt and Regnemark

No.	Test pieces
1 and 2	Test pieces of -brass in stainless steel pipes, CuZn40Pb2
3 and 4	Test pieces of dezincification resistant brass in stainless steel pipes, CuZn36Pb2As
5 and 6	Test pjeeces of gunmetal of stainless steel pipes, CuSn5Zn5Pb5-C
7 and 8	Galvanised steel pipe, low lead, 0,05% Pb
9 and 10	Galvanised steel pipe, high lead, 0,7% Pb
11 and 12	Galvanised steel pipes, 0,05% Pb, with fitting of dezincification resistant brass
13 and 15	Copper pipes
17 and 18	Dezincification resistant brass (manifolds), CuZn33Pb2Si-C
19 and 20	Watermeter with fittings and stop-valves, a variety of brasses and nickel plated brass

Tables with analysis results of

Zinc, Zn
 Copper, Cu
 Lead, Pb
 Cadmium, Cd
 Nickel, Ni
 Arsenic, As
 Antimony, Sb

Zinc release, 12 hours stagnation, µg/l
 Operation period: March 2002 - March 2005

Lysholt

Weeks 2 6 10 15 25 33 46 52 92 107 133 150 160

Test piece No.

1	1131	1174	1157	1049	946	680	1000	800		500		800	1100
2	1068	866	1539	956	799	781	896	872		500		900	700
3	948	737	1256	632	592	589	628	513		200		400	200
4	1045	670	1232	593	695	604	667	577		400		300	170
5	38	73	154	117	76	47	<100	<100		<100		<100	<100
6	40	27	137	115	71	46	<100	<100		<100		<100	<100
7	2373	2245	3375	4029	4040	4320	4081	2456	3200	3200	3200	2900	3500
8	2473	2785	4000	3434	3546	3250	3813	3093	2700	2500	2700	2600	2700
9	1916	1793	2042	2039	1756	1609	1788	1788	1600	1500	1800	1700	1800
10	2221	2117	2693	2410	2221	1837	1986	2198	2500	2500	2500	2100	2600
11	4825	4221	3562	3381	3789	3095	2900	3609	3100	3100	2700	2300	2500
12	4475	3754	4100	4831	5108	4848	4971	6912	4300	4400	3300	3200	3300
13	451	609				270	250	206					
15	338	615				232	115	117					
17	2911	4265	3337	2808	2417	1905	1993	1863					
18	3249	5140	3762	3386	2578	1867	1992	1941					
19	1125	3262	2476	2023	1489	1072	1289	1390					
20	1219	3254	2791	1984	1277	1092	1147	1260					

Copper release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: March 2002 - March 2005

Lysholt

Weeks 2 6 10 15 25 33 46 52 107 150 160

Test piece No.

1	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	70
2	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	0
3	72	80	140	199	146	110	150	171	210	250	270	
4	75	76	198	179	137	109	140	152	180	310	300	
5	265	627	696	555	388	317	334	374	270	280	240	
6	272	122	622	539	392	291	368	373	250	290	250	
7	<20	<50										
8	<20	<50										
9	<20	<50										
10	<20	<50										
11	<20	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50				
12	<20	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50				
13	2336	3460	2922	2889	2111	1408	1582	1589	1300	1460	1400	
15	2353	3854	2855	2777	1956	1330	1378	1405	1300	1350	1300	
17	525	676	769	737	665	553	671	628				
18	644	821	862	928	770	625	730	716				
19	82	223	236	265	204	154	187	177				
20	91	183	326	325	236	156	186	209				

Lead release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: March 2002 - March 2005

Lysholt

Weeks 2 6 10 15 25 33 46 52 92 107 133 150 160

Test piece No.

1	21	11	7,2	12	5,5	3,2	3,1	3,0		2,2		2,4	2,1
2	23	12	8,4	12	5,9	2,8	2,4	2,6		2,2		6,2	2,9
3	43	35	94	55	29	14	19	36		28		18,2	10,5
4	44	36	186	43	31	14	16	28		15		28,1	12,8
5	43	30	13	11	8	4,7	5,0	5,8		6,6		19,9	8,2
6	56	6,2	15	13	9,7	5,2	6,1	5,7		6,6		13	8,9
7	4,6	4,9	3,3	1,9	0,7	0,4	0,3	0,3	0,0	0,5	0,2	0,4	0,3
8	3,3	3,1	1,8	1,7	0,9	0,5	0,4	0,5	1,8	0,6	0,3	0,4	0,4
9	15	16	15	14	13	4,4	3,5	3,5	3,7	2,9	2	3	2,5
10	2,0	1,1	13	12	12	3,5	2,8	2,7	2,2	2,5	1,7	3,4	2,9
11	19	21	1,6	1,6	0,9	0,8	0,4	0,3	0,8	1,1	1,9	2,4	0,9
12	26	20	2,7	1,7	0,8	0,4	0,3	0,3	0,9	1,4	0,2	2,5	0,1
13	3,1	2,2					1,5	1,7		11	0,3	24,9	8,5
15	3,9	3,5					2,1	2,1		47	0,3	22,9	11,8
17	7,6	4,8	140	140	118	72	84	66					
18	6,4	4,0	145	153	125	72	76	67					
19	194	145	26	31	28	13	16	15					
20	204	166	26	29	25	13	14	14					

Cadmium release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: March 2002 - March 2003

Lysholt

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
L - 1	0,19	0,21	0,19	0,15	0,13	0,07	0,1	0,1
L - 2	0,15	0,15	0,21	0,12	0,09	0,08	0,08	0,08
L - 3	0,06	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	<0,01
L - 4	0,06	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	<0,01
L - 5	0,02	0,02	0,02	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01
L - 6	0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
L - 7	0,07	0,03	<0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	<0,01
L - 8	0,04	0,02	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,02	<0,01
L - 9	0,06	0,04	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
L - 10	0,61	0,66	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
L - 11	1,9	2,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
L - 12	0,24	0,05	<0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	<0,01
L - 13	0,06	0,03						
L - 15	0,05	0,02						
L - 17	0,09	0,20	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04
L - 18	0,09	0,22	0,12	0,11	0,11	0,06	0,06	0,08
L - 19	0,14	0,15	0,29	0,22	0,13	0,09	0,11	0,17
L - 20	0,21	0,25	0,35	0,2	0,12	0,09	0,1	0,14

Nickel release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: March 2002 - March 2005

Lysholt

Weeks 2 6 10 15 25 33 46 52 107 150 160

Test piece No.

Test piece No.	2	6	10	15	25	33	46	52	107	150	160
1	0,7	1,0	1,0	1,0	0,9	0,6	0,8	0,6	0,4	0,4	0,4
2	0,5	0,5	0,8	0,5	0,4	0,3	0,6	0,4	0,2	0,8	0,3
3	0,6	0,7	0,6	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2
4	3,1	0,5	0,6	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,3
5	6,0	37	72	55	39	19	15	19	12,4	8,9	8,2
6	4,9	9,9	45	46	29	22	38	18	8,7	10,3	7,0
11	0,22	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1			
12	0,96	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1			
17	5,0	36	23	21	21	13	14	10			
18	5,6	37	24	25	24	13	14	12			
19	41	33	61	41	28	15	17	19			
20	52	49	47	36	13	6	7,0	7,1			

Arsenic release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: March 2002 - March 2005

Lysholt

Weeks 2 6 10 15 25 33 46 52 150 160

Test piece No.

L - 1	0,6	0,9	0,8	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	-0,1	-0,1
L - 2	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0	0,9	0,9	0,1	0,1
L - 3	2,9	4,0	3,2	2,4	2,2	2,3	2,0	2,0	1	0,6
L - 4	3,1	3,6	2,6	1,9	2,1	2,3	2,0	2,1	0,9	0,7
L - 5	0,7	1,3	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,3	0,0
L - 6	0,8	0,6	0,9	0,8	0,8	1,4	0,9	0,9	0,3	0,0
L - 11	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,9	0,7	0,7		
L - 12	0,4	0,8	0,6	0,5	0,5	0,8	0,7	0,7		
L - 17	4,6	5,5	3,3	3,1	2,8	3,0	2,9	3,0		
L - 18	6,3	7,3	3,8	3,3	2,8	3,1	2,9	3,2		
L - 19	1,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,5	1,4	1,4		
L - 20	1,4	1,9	2,0	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4		

Antimony release, 12 hours stagnation, µg/l
 Operation period: May 2002 - March 2003

Lysholt

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	0,4	0,3	0,2	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
2	0,4	,4	0,3	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	
3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
5	0,4	0,7	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
6	0,4	<0,2	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
7		<0,2						
8		<0,2						
9		0,2						
10		0,3						
11	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
12	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
13		<0,2						
15		<0,2						
17	1,6	3,3	1,60	1,50	1,00	0,70	0,50	0,60
18	1,7	3,1	1,70	1,50	1,10	0,60	0,40	0,70
19	0,3	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
20	0,3	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

