

Metalafgivelse til drikkevand, DEL 2

Videreførelse af Rig-tests af materialer til
husinstallationer

Kate Nielsen, Asbjørn Andersen og 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
1.1.1 De væsentligste konklusioner fra det tidligere projekt	11
1.2 NYE MÅL	12
2 METALAFGIVELSE TIL DRIKKEVAND, KRAV OG TEORI	13
2.1 MEKANISME FOR METALAFGIVELSE	13
3 UDFØRTE FORSØG	16
3.1 PRØVEMETODE	16
3.1.1 Design af testrig	16
3.1.2 Procedure	19
3.2 TESTEMNER OG MATERIALER	21
3.2.1 Ny emner	21
3.2.2 Tidligere emner	21
3.3 VANDKVALITET	22
3.4 DRIFSAFVIGELSE, REGNEMARK	24
4 TIDLIGERE MÅLINGER	25
5 RESULTATER, NY UNDERSØGELSER	30
5.1 RUSTFRIT STÅL	30
5.2 VARMFØRZINKET STÅL, RØR	30
5.3 KOBBERRØR	34
5.4 KOBBERLEGERINGER	35
5.4.1 Almindelig messing	36
5.4.2 Afzinkningsbestandig messing	37
5.4.3 Rødgods	39
5.5 FORCHROMET MESSING OG FORNIKLET MESSING	39
5.5.1 Blandingsbatterier, forchromede	39
5.5.2 Vandmålere, afspærringsventil og fittings, forniklede dele	39
6. KONKLUSION	51
7. LITTERATURLISTE	53

8. Appendix

Appendix A, Drinking Water Requirements

Appendix B, Test method

Appendix C, Test pieces. Materials, products and dimensions

Appendix D, Chemical Analysis of Drinking Water for testing

Appendix E, Analysis of trace elements in drinking water

Appendix F, Comparison of German and Danish Tests

Appendix G, Chemical Analysis of released metals, 2002 - 2003

Appendix H, Chemical Analysis of released metals, 1999 - 2003

Forord

Dette arbejde er en videreførelse af en undersøgelse, som blev afsluttet i 2001 og som er beskrevet i Miljøstyrelsens rapport, Miljøprojekt Nr. 603, 2001 : Metalafgivelse til drikkevand, Rig-tests af materialer til husinstallationer; Kate Nielsen, FORCE Technology[1].

Nærværende projekt er gennemført med samme udstyr, som tidligere arbejde og med stort set 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. 603.

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

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

Testemner bestod dels af tidligere emner, som blev eksponeret i en længere periode, dels ny emner leveret af VVS branchen. Et nyt vandværk blev inddraget. Vandværkerne Astrup og Vester Gjesing, Forsyningen, Esbjerg, Lysholt, TRE-FOR og Regnemark, Københavns Energi har stået for daglig drift af testrigs og har udført aftapninger af vandprøver i prøveperioden 2000 – 2003. Eurofin 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 rødgoods, almindelig β -messing, afzinkningsbestandig (DZR) messing herunder A-metal, som er en særlig type afzinkningsbestandig messing.

I forsøgene på de danske vandværker er en del af de eksponerede testemner de samme standardprøver, som er anvendt i eksponeringsforsøg i Tyskland. På denne måde er det blevet muligt at sammenligne resultaterne fra Danmark og Tyskland og skabe forståelse for årsager til forskelle i testresultater.

Samtlige eksponeringsforsøg er udført som 12-timers henstandsprøver, og emnerne har været eksponeret i 1-4 år, idet nogle emner har været kontinuert eksponeret fra begyndelsen af det første forsøg i 1999, mens andre er monteret 2002.

Testriggerne har været placeret på vandværker med 4 forskellige vandtyper, der repræsenterer blødt, middelhårdt og hårdt vand. De fire vandværker er Astrup og V. Gjesing med blødt vand, Lysholt med middelhårdt vand og Regnemark med meget hårdt vand.

De udførte forsøg er rimelig repræsentative for forholdene i drikkevandsinstallationer. I praksis er der et stort variationsmønster. Fornyede undersøgelser af metalafgivelse med ét års eksponeringstid i drikkevand (2002) viser samme tendens som i forrige forsøg (1999). Metalafgivelsen er stærkt afhængig af vandkvalitet og er stigende med stigende indhold af bikarbonat, øvrigt saltindhold og ledningsevne. Niveau for metalafgivelsen i det middelhårde vand i Lysholt, TRE-FOR ligger således højere end for de bløde vandtyper i Esbjerg (Astrup og Vester Gjesing) og lavere end det hårde vand i Regnemark, Københavns Energi.

Kun nikkelafgivelsen synes ikke at følge ovennævnte mønster. Den synes næsten upåvirket af vandsammensætningen i de 4 vandtyper, dog med tendens til højest afgivelse i det bløde vand i Astrup.

Kobberafgivelse fra kobberrør og zinkafgivelse fra varmforzinkede stålrør testet i Lysholt opfyldte kravene i Miljøministeriets Bekendtgørelse (2001), hvilket ikke var tilfældet for samme materialer undersøgt tidligere i hårdere vand.

Afgivelsen af bly, kobber og arsen er tilfredsstillende lav (d.v.s. opfylder Miljøministeriets krav i Bekendtgørelsen) fra kobberlegeringerne alm. messing, DZR-messing og rødgoods fremstillet som standardprøveemner og monteret i rør af rustfrit stål. Blyafgivelsen er dog for høj i de 3 første måneder med mindre en særlig vaskeproces foretages.

Disse resultater er i overensstemmelse med tidligere udførte tyske forsøg. I testriggeren udgjorde armaturmaterialerne 15% af testrøret under prøven.

Afgivelse af nikkel er lav fra messing og DZR-messing. Den testede rødgods var tilleget meget nikkel (1,1%). Nikkelafgivelsen herfra var høj og kunne ikke opfylde Miljøministeriets Bekendtgørelse.

De forbedrede egenskaber af den nu testede DZR-messing skyldes mange faktorer (herunder materialets varmebehandling under produktionsproces, emne geometri og test forhold).

Et sammensat emne med vandmåler og afspærringsventil, som indeholdt både almindelig messing og DZR-messing, afgav i alle fire vandtyper bly, kobber og arsen i mindre mængde end for DZR-messing alene. De forniklede dele gav anledning til en nikkelafgivelse, som efter et år kunne opfylde Miljøministeriets krav. Dette gælder når vandværksvandet som udgangspunkt er fri for nikkel. Det skal imidlertid tages i betragtning, at nogle danske vandtyper er nikkelholdige.

En anden variant af DZR-messing (A-metal) opfyldte i middelhårdt vand (Lysholt) Miljøministeriets krav. Emnet har kun været prøvet i form af fordelerrør.

Variation i fabrikationsmetode for 2 typer blandingsbatterier gav forbedrede egenskaber m.h.t. nikkelafgivelse i Regnemark vand. Blandingsbatterierne kunne i den ny udførelse opfylde Miljøministeriets krav.

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, dezincification resistant brass, a.o. A-metal, which is a special type of dezincification resistant brass.

In the experiments performed at Danish waterworks a part of the test pieces tested were identical to test pieces tested in Germany. In this way it has been possible to compare the results from Denmark and Germany and to reveal the causes for differences in test results.

All experiments were carried out as 12-hour stagnation tests, and the test pieces were exposed for 1-4 years. Some pieces were continuously exposed from the first test run in 1999, whereas others were mounted in 2002.

The test-rigs were situated at waterworks with 4 different water types representing soft, medium hard and very hard water. The 4 water works are Astrup and V. Gjesing with soft water, Lysholt with medium hard water and Regnemark with very hard water.

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

The new investigations of metal release with one-year exposure time in drinking water (2002) show the same tendencies as the previous experiments (1999). The metal release depends strongly on water quality and it increases with increasing concentrations of hydrogen carbonate, salt content and conductivity. The level of metal release in the medium hard water in Lysholt, TRE-FOR thus was higher than in the softer waters in Esbjerg (Astrup and Vester Gjesing) and lower than in the hard water in Regnemark, Københavns Energi.

The nickel release seems to be diverting from this pattern, as it is almost not affected by the water composition of the 4 water types. There is a tendency for highest Ni release in the soft water in Astrup.

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

The release of lead, copper and arsenic was suitably low (below limits in the regulation 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 the first three month of exposure, unless the copper alloys are washed in a special cleaning process. These results are in good agreement with previously reported German results. In the test rig the test piece area accounted for 15 % of the test pipe area. The nickel release from brass and DZR-brass was low. The gunmetal tested had a high nickel content of 1,1 %. The nickel release from this alloy was high and above the limits in the Danish regulation.

The improved properties of the recently tested DZR-brass is due to a number of factors such as heat treatment in the production process, geometry of the piece and test conditions.

A combined test piece with water meter and block valve, containing both brass and DZR-brass in all water types released less lead, copper and arsenic than DZR-brass.

The nickel-plated parts after 1 year of exposure gave rise to a nickel release below the limits in the regulation from the Danish Ministry of the Environment. This is true when the water from the water work is free of nickel. It should, however, be taken into consideration that some Danish water types contain nickel.

Another type of DZR-brass (A-metal) could fulfill the demands in the regulation from the Danish Ministry of the Environment in the medium hard water of Lysholt. The material has only been tested in the form of manifolds.

An adjusted fabrication method for 2 types of mixer taps lowered the nickel release in Regnemark water considerably. The mixer taps could fulfill the demands in the Danish regulation with the new production method.

1 Introduktion

1.1 Projektets baggrund og formål

I perioden maj 1999 til maj 2000 blev i fire testrigrs eksponeret en række almindeligt anvendte materialer til husinstallationer for drikkevand. Materialerne blev eksponeret i blødt og hårdt vandværksvand på vandværkerne Astrup, Vester Gjesing, Birkerød og Regnemark. Undersøgelsen er beskrevet i Miljøprojekt Nr. 603 2001 [1], Metalafgivelse til drikkevand, Miljøstyrelsen.

1.1.1 De væsentligste konklusioner fra det tidligere projekt

- Rustfrit stål afgiver meget lidt metaller til drikkevandet.
- Varmforzinket stål afgiver for høje mængder zink i hårdt vand, men zinkafgivelsen i bløde vandtyper overstiger ikke drikkevandskrav. Efter et år var afgivelsen af zink i hårdt vand ikke faldet væsentligt. Blyafgivelsen synes ikke at overskride grænser.
- Tidligere undersøgelser har vist, at kobberrør afgiver for meget kobber i meget hårdt vand, men er et velegnet materiale i blødt vand.
- Kobberlegeringer afgiver zink, kobber, bly og evt. arsen og nikkel. Niveaueet afhænger af legeringstyper. Når der tages hensyn til, at kobberlegeringer kun indgår som mindre emner i en installation, vil nogle legeringer være uproblematisk og andre ligge på grænsen for det tilladelige. De bestandige legeringer, afzinkningsbestandig messing og/eller rødgoods, havde relativt høje afgivelser af kobber, bly, nikkel og arsen. Mere viden var ønsket. Der syntes ikke at være fuld overensstemmelse mellem danske og tilsvarende tyske forsøg.
- Forniklede kobberlegeringer afgiver for meget nikkel; der må af fabrikanter arbejdes på reduktion af nikkelafrivelse.

Nogle materialer viste stadig stigende metalafgivelse eller en metalafgivelse, som kunne forventes at stige i de kommende år.

Der syntes således behov for at følge metalafgivelsen i blødt og hårdt vand fra undersøgte materialer i en længere driftsperiode. Endvidere var det ønskeligt at få metalafgivelsesmålinger fra en mellemhård vandtype. Der var også behov for bredere viden om metalafgivelse fra varianter af produkter af kobberlegeringer, herunder også nikkelafrivelse fra nikkelholdige legeringer og fra overfladebehandlede emner. Endvidere kunne eksponering af samme testemner, som blev anvendt i tyske forsøg, i vore testrig på de danske vandværker skabe forbindelse til og forståelse for årsager til forskelle i testresultater i Danmark og Tyskland. Herved kunne vindes megen viden om metalafgivelse i praksis.

Det blev besluttet at gennemføre yderligere forsøg i et nyt videregående projekt.

1.2 Nye mål

- Rørmaterialer:
 1. Varmforzinket stål undersøges i mellemhårdt vand (Lysholt)
 2. Varmforzinket ståls langtids metalafgivelse (Zn og Pb) følges i 3 tidligere opstillinger.
 3. Kobberrør undersøges i mellemhårdt vand (Lysholt)

- Armatur/fittings:

Metalfgivelser i 4 vandtyper undersøges fra:

 1. alm. blyholdig messing (a)
 2. afzinkningsbestandig messing (b)
 3. rødgoods (c) i form af standardprøveemner fra Tyskland placeret i rustfrit rørsystem.
 4. Vandmåler/ afspærringsventil med tilhørende fittings (a og b)

Endvidere prøves i Lysholt:

 5. afzinkningsbestandig messing (fordelerrør)

- Forchromet /forniklet messing:
 1. Blandingsbatterier undersøges i Regnemark alene.
 2. Ovennævnte vandmåler/afspærringsventil har forniklede overflader

2 Metalafgivelse til drikkevand, krav og teori

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.

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

Zink, Zn
Kobber, Cu
Bly, Pb
Cadmium, Cd
Arsen, As
Nikkel, Ni
Antimon, Sb,

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

2.1 Mekanisme for metalafgivelse

Når drikkevand transporteres fra vandværk til forbruger, vil der ske kemiske reaktioner mellem vand og rørmaterialer. Korrosionen, der herved sker på metalliske materialer, er af elektrokemisk natur. På metaloverfladen foregår der to forskellige typer delprocesser, som eventuelt udspiller sig på hvert sit areal. Der dannes små elektriske kredsløb med samtidigt forløbende anodeprocesser, hvor der sker oxydation, og katodeprocesser, hvor der sker reduktion. [4].

Korrosionen resulterer herved i forskellige effekter. Der vil forekomme jævne eller lokaliserede angreb på rørmaterialerne. Der vil dannes opløst metal i vandet og der vil eventuelt udfældes faste stoffer i form af partikler eller fastsiddende belægninger.

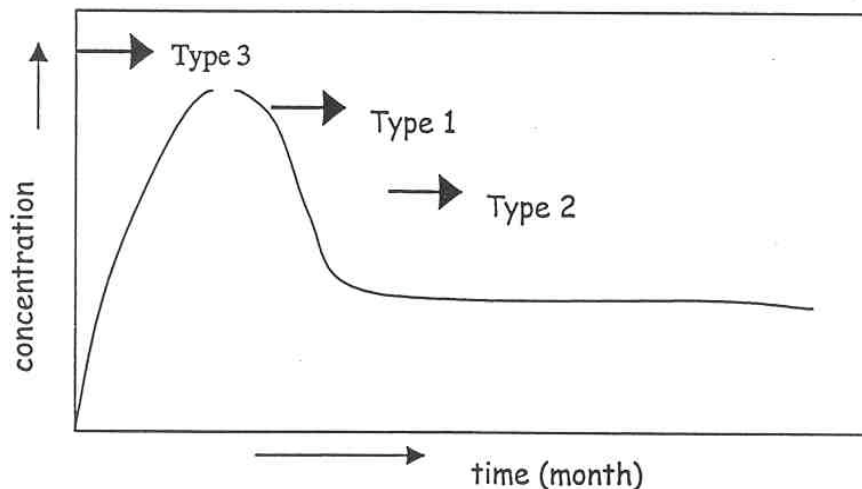
De elektrokemiske processer i drikkevand har oftest reduktion af ilt som forudsætning. I første trin bevirker de, at metallet oxyderes på ionform

[4]. Metalionerne, der opløses i vandet, reagerer videre med andre kemiske forbindelser i vandet. På metaloverfladerne vil der herved udfældes faste stoffer i form af belægninger af mere eller mindre beskyttende art. Belægningernes kvalitet får stor indflydelse på den fortsatte metalafgivelse, som kun er mærkbar, når vandet har stået en vis tid i installationen. Hvis ilten efter lange opholdstider bliver opbrugt i vandet, kan der tilføres vandet metalioner ved opløsning af tidligere udfældede korrosionsprodukter [5 og 6].

Mængden af metal, som findes i vandet ved tapstedet, er afhængig af en række parametre, således

- Henstandstid
- Vandkvalitet, **herunder skiftende vandtype**
- Materiale, **sammensætning, korrosionsegenskaber, overfladefinish**
- Konstruktion, **dimension, placering, andre metaller m.v.**
- Vandforbrug, eget og naboers forbrug, aftapningsmønster
- Vandforbrug ved idriftsætning
- Temperatur
- Installationens alder

I figur 1 ses en grafisk afbildning, som i princippet viser, hvorledes installationens alder har indflydelse på metalafgivelsen i henstandsprøver.



Figur 1. Principiel indflydelse af driftstid på metalafgivelse i henstandsprøver. Afgivelsen stabiliserer sig, når der er dannet beskyttelseslag. Maximumdelen af kurven kan være fra 1 uge til halve år eller mere afhængig af legering og undersøgt metal [7].

De mange faktorer, der påvirker metalafgivelsen, har også den virkning, at der i forskellige situationer er varierende mekanismer, som er styrende for metalafgivelsen [7]. Nedenfor er listet mulige styrende mekanismer.

- Opløselighed
- Iltkoncentration
- Bimetalliske effekter
- Overfladefinish af metallet

- Belægningsdannelse med tiden
- Vandsammensætningen

Da der i et driftsforløb med tiden sker ændringer i den styrende mekanisme, kan det være vanskeligt gennemskueligt, hvad der er baggrund for den resulterende metalafgivelse.

Der blev i Tyskland udarbejdet en standard for måling af metalafgivelse i drikkevand [8].

Der er i løbet af de sidste 10 år udført en række undersøgelser af, hvor stort metalindhold der kan opstå i drikkevandet ved tapstedet [9-18].

3 Udførte forsøg

3.1 Prøvemethode

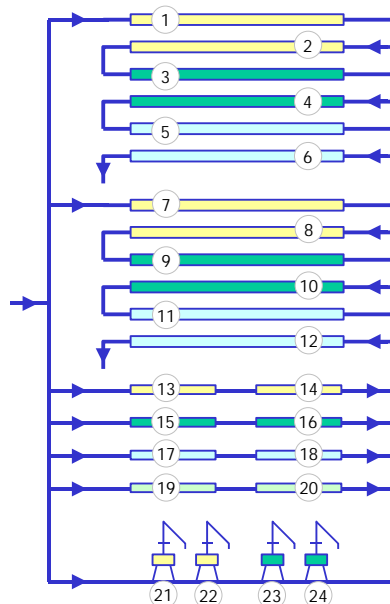
3.1.1 Design af testrig

I testriggen kan 24 prøveemner monteres med mellemliggende rørstykker af plast og med plast-aftapningsventiler, som muliggør aftapning af henstået vand fra hvert enkelt prøveemne for sig. Der er anvendt limet ABS-plast til mellemliggende rørstykker, udluftningsventiler, afspærringsventiler og aftapningsventiler.

Vandtrykket på testriggen styres ved tilgangen ved hjælp af en reguleringsventil til et tryk på 3 atm. Der er simuleret vandforbrug. Ved styring med motorventil med ur kan der således udføres systematisk aftapning af vand.

Testriggene er placeret på selve vandværket, hvor variationerne i vandsammensætning er begrænsede, og hvor rumtemperaturen er konstant og lav. Temperaturen på vand ved tilgang er lidt lavere, 10 - 12°C.

Metalemner af samme materiale er anbragt i serie. Metalemner af forskelligt materiale er anbragt parallelt. Testriggen indeholder således 7 parallelle grene. Hvert prøveemne er altid testet i 2 eksemplarer, og alle resultater er derfor gennemsnit af analyseresultaterne for de 2 prøver.



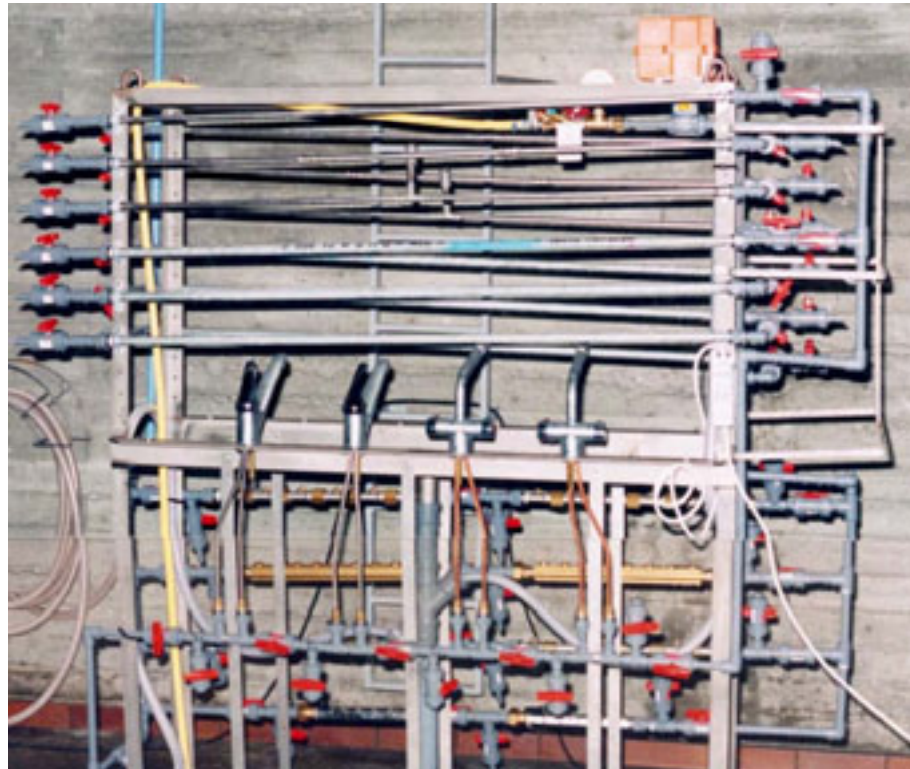
Figur 2. Principskitse af den danske testrig.

Testemner i form af ventiler afprøves fuld åbne.

Blandingsbatterier står under daglig drift med åbne ventiler, således at der ved det simulerede vandforbrug automatisk strømmer vand ud i testriggens samlebakke.

Når testriggen ikke gennemskylles, står tuden på blandingsbatterierne vandfyldt. Dette er under forudsætning af, at emnerne er korrekt udluftede. Prøvevand aftappes fra blandingsbatterier nedefra. Om prøvemethode se også Appendix B.

Testriggen ses i sin helhed i figur 3. Eksempler på sammenkoblede emner ses i figur 4, 5 og 6.



Figur 3. Testrig opstillet på Vester Gjesing Vandværk.



Figur 4. Samlede testemner. Fra oven: emne 19/20, 15/16, 17/18 og 13/14.



Figur 5. Eksempler på sammenkoblede testemner fra forsøgsperioden 2002-2003 eksponeret på Lysholt Vandværk. Øverst ses fordelerrør af afzinkningsbestandig messing, A-metal, emne 17/18. Nederst ses vandmåler med afspærringsventil og fittings, emne 19/20. Dette emne indeholder både almindelig messing og DZR-messing. Måler og ventil er forniklet.



Figur 6. Standard testemner monteret i rør af rustfrit stål. Indeholdt vandvolumen i fittings relativt til testrør er tilnærmet 15 %. Se også Appendix C og F.



Figur 7. Testemner, som monteret i Lysholt. De 3 øverste, emne 1, 3 og 5, er kobberlegeringer, som er monteret i rustfri rør (15%). De 3 nederste rør, emne 7, 9 og 11, er af varmforzinket stål.



Figur 8. Installationsdetalje fra testrig. Rustfrit stålør med overgangsittings af rustfrit stål, emne 1-6.



Figur 9. Installationsdetalje fra testrig. Kobberrør med overgangsfittings af messing. Der er gevindsamling mellem messing og plast.



Figur 10. Installationsdetalje fra testrig. Standard testemner fra tyskland [8]-[13].

Øverst et DZR-mesingemne placeret i rør af varmforzinket stål, emne 11-12 (2002) Lysholt. Nederst, emne 3-4 (2002) som placeret i 4 vandtyper.



Figur 11. To forskellige typer blandingsbatterier af forchromet messing, monteret i testrør. Varianter af samme fabrikat blev eksponeret i Regnemark fra henholdsvis 1999 og fra 2002.

3.1.2 Procedure

Der er opsat i alt 4 ens testrigs på 4 vandværker, som har hver sin vandtype.

3.1.2.1 Daglig drift

Som simulering af dagligt vandforbrug er valgt et aftapningsprogram på to gange 15 min. i døgnet med aftapning henholdsvis kl. 8 morgen og

kl. 16 eftermiddag. Der sendes gennemsnitlig 1400 liter vand gennem en testrig pr. døgn. Vandet fordeles i testriggens 7 parallelle grene, der varierer i indvendig geometri og derfor har forskellig tryktab og forskellig vandmængde. Den gennemsnitlige vandmængde pr. gren (og for et emne) er 200 liter pr. døgn, og vandhastigheden under aftapning er i mange prøveemner omkring 0,6 meter pr. sekund.

3.1.2.2 Prøvetagning

12 TIMERS STAGNATIONSTEST

Der blev aftappet 12-timers henstandsprøver 8 eller 9 gange i den 1-årige forsøgsperiode. Målingerne lå med korteste intervaller ved forsøgsstart, hvor der sker de største forandringer i metalafgivelsen.

Ved prøvetagning blev motorventilen omstillet til manuel betjening. Herefter blev testriggen gennemskyllet i 10 minutter, og der blev udtaget vandprøve til blindværdibestemmelse og til bestemmelse af enkelte vandparametre. (Jfr. Appendix D).

Herefter blev der lukket for vandtryk, og alle afspærringsventiler blev lukket. 12 timer senere blev prøveemner successivt tømt for vand i forud rensede og mærkede prøveflasker, idet de første 50 ml vand, som henstod i taphane, blev bortkastet. For afgrening 1 og 2 blev aftapning startet oppefra efter åbning af udluftningsventil.

ANDRE STAGNATIONSTIDER

Testriggene kan anvendes til prøvning ved andre henstandstider, f.eks. 1-16 timer. Der er i denne projektdel udelukkende prøvet ved 12 timers henstand.

I den tyske standard DIN 50931-1 [8] arbejdes med forskellige stagnationstider, hvorved der gives anvisning på bestemmelse af metalafgivelsen ved en gennemsnits henstandstid $M(t)$, som skal afspejle det ugentlige gennemsnit, der henvises til i drikkevandskravene. Målinger viser, at $M(t)$ i mange tilfælde udgør ca. halvdelen af metalindholdet i en 12 timers stagnationsprøve [15]. Det gælder dog ikke for alle metaller.

3.1.2.3 Kemiske analyser

Vandprøver er undersøgt for de legeringselementer, som indgår i legeringerne. Der er dog ikke analyseret for jern. Der kan i legeringer, som indeholder zink, forekomme små mængder cadmium som følgemetal; derfor er der også bestemt cadmium i vandprøverne. Analyser er udført på akkrediteret laboratorium ved atomabsorption til detektionsgrænse 0,01 µg/l for Cd, 0,1 µg/l for As, Pb og Ni, 0,2 µg/l for Sb, 50 µg/l for Cu og 100 µg/l for Zn. Se analysemetoder i Appendix E.

3.1.2.4 Forsøgs usikkerhed

Usikkerheden for gennemførelse af undersøgelsen er for de fleste testemner mindre end 20%. For visse af testemnerne konstateres større variationer, hvilket tilskrives testemnernes variation. Usikkerheder i øvrigt hidrører fra metalafgivelsens natur, variationer i vandsammensætning, testrig design-type, betjeningsvariationer ved prøvetagning og i mindre grad af analyseusikkerhed.

I MP603 [1] Appendix F er der mere detaljeret redegjort for mulige fejlkilder.

3.2 Testemner og materialer

I forsøgene blev der målt på nye testemner i perioden 2002 – 2003, og der blev udført fortsatte målinger på tidligere emner, som var blevet sat i drift 1999. Målinger foregik i vandværkerne Astrup, V. Gjesing, Lysholt og Regnemark.

3.2.1 Ny emner

I den ny testrunde med driftsperiode marts 2002 – marts 2003 blev der testet nye emner og materialekvaliteter i 4 testrings. En oversigt ses nedenfor i tabel 1. I Appendix C ses flere oplysninger om materialesammensætning, produkter og dimensioner.

NR.	Testemner	Foto/ Figur nr.
1 og 2	$\alpha\beta$ -messing i rustfri stålrør, CuZn40Pb2 (C)	6 og 7
3 og 4	Afzinkningsbestandig messing i rustfri stålrør, CuZn36Pb2As (E)	6, 7 og 10
5 og 6	Rødgods i rustfri stålrør, CuSn5Zn5Pb5-C (F)	6 og 7
7 og 8*	Varmforzinkede stålrør, lavt blyindhold, 0,05% Pb	7
9 og 10*	Varmforzinkede stålrør, højt blyindhold, 0,7% Pb	7
11 og 12*	Varmforzinkede stålrør, 0,05% Pb, med fitting af afzinkningsbestandig messing	7 og 10
13 og 15*	Kobberrør	9
17 og 18*	Afzinkningsbestandig messing, A-metal, (fordelerrør), CuZn33Pb2Si-C	5
19 og 20	Vandmåler med fittings og afspærringsventiler, messing og forniklet messing	5
21 og 22**	Forchromet messing, blandingsbatteri, 2-greb	11
23 og 24**	Forchromet messing, blandingsbatteri, 1-greb	11

* Kun Lysholt Vandværk

** Kun Regnemark Vandværk

Tabel 1. Oversigt over testemner og materialer. Driftsperiode marts 2002-marts 2003. Vandværker: Astrup, V. Gjesing, Lysholt og Regnemark.

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. Emnerne er venligst stillet til rådighed af Eckert Meyer, Umweltbundesamt, Berlin. Samme serie af emner er testet i en række forskellige vandtyper i Tyskland [13, 14 og 15]. Appendix C og F.

3.2.2 Tidligere emner

Endvidere fortsattes driften og måleperioden på prøveemner fra den tidligere undersøgelse, MP603 [1], således at i alt 6 forskellige prøveemner i dubletter blev testet i knap 4 år, Maj 1999-marts 2003 i de 3 vandtyper Astrup, V. Gjesing og Regnemark. Testrings fra de tidligere forsøg i Birkerød Vandværk var blevet demonteret, bestykket

med ny emner (tabel 1) og opstillet på det nye eksponeringssted, Lysholt Vandværk, der leverer en mindre hård vandtype.

I tabel 2 ses i oversigt, hvilke emner fra tidligere forsøg der fortsatte operationsperioden indtil 2003.

NR.	Testemner	Foto Figur nr.
7 og 8	Varmforzinkede stålør, ½", med 0,9% Pb i Zn-belægning	3
9 og 10	Varmforzinkede stålør, ½", med 0,3% Pb i Zn-belægning	3
11 og 12:	Varmforzinkede stålør, ½", med 0,4% Pb i Zn-belægning	3
13 og 14	Messing, ventilhuse og muffe, ½", hhv. Cu 61%, Zn 37%, Pb 2% og Cu 60%, Zn 37%, Pb 3%.	4
15 og 16	Messing, fordelerrør med propper, ¾", hhv. Cu 63%, Zn 35%, Pb 1,3% og Cu 61%, Zn 36%, Pb 2%.	4
17 og 18	Afzinkningsbestandig messing, ventilhuse og muffe, ½", Cu 64%, Zn 34%, Pb 2%, As 0,09%.	4

Tabel 2. Oversigt over testemner og materialer. Driftsperiode marts 1999-marts 2003.

Vandværker: Astrup, V. Gjesing, Lysholt og Regnemark.

I Appendix C ses flere oplysninger om materialesammensætning, produkter og dimension for tidligere emner.

3.3 Vandkvalitet

De vigtige parametre med indflydelse på korrosionshastigheden er vandets pH, ledningsevne, hårdhed og indhold af ilt, hydrogencarbonat, og neutralsalte [5 og 14]. Det er et krav, at vandet beluftes, og det er ofte iltmættet, når det forlader vandværket.

De i projektet valgte vandtyper er i alle tilfælde beluftet grundvand, som opfylder gældende danske krav for drikkevand. Vandtyperne spænder fra de blødest mulige, der er behandlet med kuldioxid og calciumhydroxyd, til middel hårde vandtyper. Det er tilstræbt at udføre forsøg i vand med samme iltindhold, temperatur (ca. 11°C) og nogenlunde samme pH, men med varierende indhold af hydrogencarbonat (og hårdhed) og neutralsaltindhold.

I tabel 3 ses en oversigt over de i alt 5 vandtyper, der er anvendt i forsøg i første (1999) og anden (2002) testserie.

Vandværk	HCO ₃ ⁻ mmol/l	pH	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	Lednings- evne mS/m
Astrup, Esbjerg	1,4	7,5-7,7	33	38	31
Vester Gjesing, Esbjerg	2,1	7,5-7,7	31	37	37
Lysholt, TRE-FOR	3,8	7,6-7,8	23	47	51
Birkerød	5,5	7,5-7,7	36	33	71
Regnemark, Københavns Energi	6,3	7,4-7,6	100	83	87

Tabel 3. Vigtigste vandparametre for det færdigbehandlede grundvand, som leveret af de 5 vandværker, der har udført testrigforsøg.

Flere detaljer om vandsammensætningen ses i Appendix D, som gengiver resultater fra de udvidede vandanalyser fra de 5 vandværker i årene 1998-2003.

Enkelte parametre er målt løbende i forsøgsperioden. Der blev i forbindelse med aftapninger i testrigforsøgene udtaget en prøve af det vand, som blev fyldt i testriggeren aftenen før henstandperioden efter 10 minutters skylning. Oversigt over de løbende målinger af enkelte vandparametre ses også i Appendix D. Det fremgår heraf, at de i tabel 1 anførte karakteristika i praksis har varieret indenfor et vist interval.

De i Appendix D anførte variationer vil have indflydelse på metalafgivelsen. Men det har ikke været muligt at knytte de observerede variationer i vandsammensætningen til de samtidig målte metalafgivelser, jfr. data i Appendix G og H.

Specielt kan bemærkes, at de laveste pH-værdier, målt i Astrup, vil svare til vand med indhold af aggressivt kuldioxid. En sådan forandring vil betyde, at opløseligheden af korrosionsprodukternes salte stiger og derfor kan medføre, at belægningerne i en eller anden udstrækning løsnes fra overfladerne.

Der er ved enkelte måletidspunkter set forøget metalafgivelsesniveauer for en række emner.

De ekstreme, afvigende værdier, som kan ses i resultattabellerne, er udeladt af de grafiske afbildninger. En mulig kilde til uregelmæssighederne kan f.eks. være en meget kortvarig ændring i vandsammensætning, f.eks. et stort pH-fald ved kort svigt i calciumhydroxyd dosering.

3.4 Driftsafvigelse, Regnemark

I det eksperimentelle arbejde opstod en udstyrsfejl på Regnemark i perioden juli/august 2002, d.v.s. 5 måneder inde i ny test serie (2002) og 3½ år inde i gammel testserie (1999). Timeren gik i stykker i en sommerferieperiode, og testtriggen stod i 14 dage fyldt med stillestående vand.

Herefter blev foretaget udskiftning af timer. Under reparationen var testtriggen kun meget kortvarig uden vand, d.v.s. luftfyldt.

Fejlen har betydet, at der midlertidigt skete forstyrrelse i metalafgivelsesmålinger, og enkelte data er taget ud af graferne. Det kan ikke afvises, at fejlen har haft indflydelse på efterfølgende metalafgivelsesmålinger.

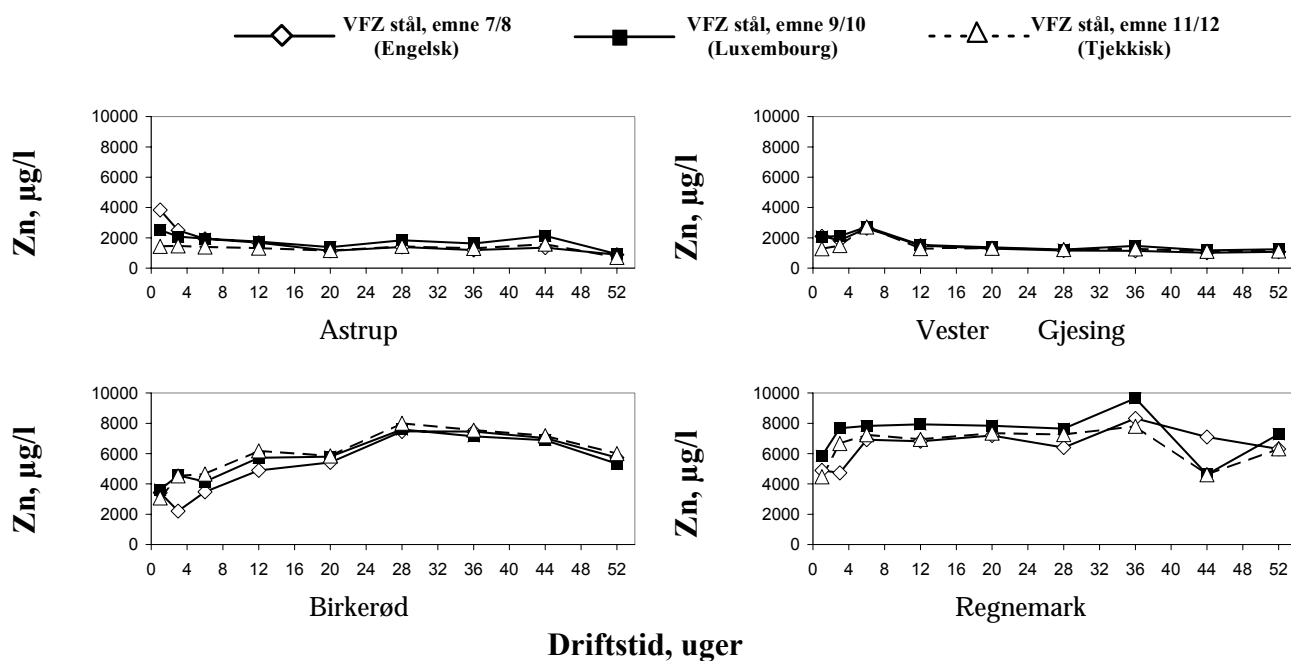
4 Tidligere målinger

I dette kapitel, figur 12, 13, 14 og 15, er gengivet en række resultater fra første del af projektet for at lette sammenligningen med de nye resultater. For uddybende gennemgang og beskrivelse af de tidligere forsøg henvises til rapporten for første del af projektet [1].

I dette kapitel er endvidere henvist til tidligere tyske målinger, hvor der er anvendt standard testemner af samme design og kemiske sammensætning, som ny emner 1/2, 3/4 og 5/6 i nye danske forsøg. Sammenligning til tyske emner findes i Appendix F.

Varmforzinkede stålrør

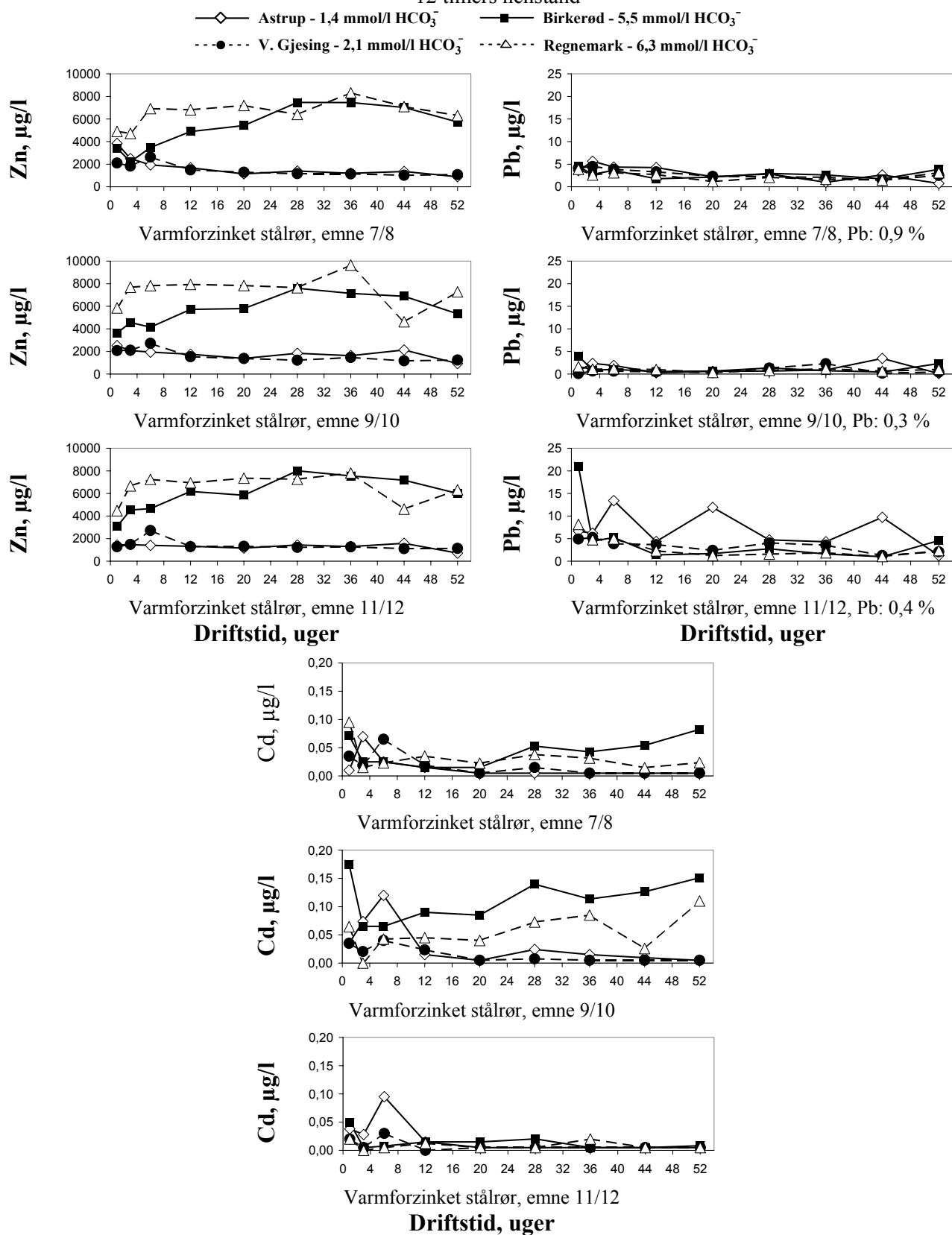
Afgivelse af zink
12 timers henstand



Figur 12. Zinkafgivelse efter 12 timers henstand fra rør af varmforzinket stål i afhængighed af driftstid vist for hver af de 4 vandtyper. De viste målepunkter er gennemsnit af målinger på 2 emner. Zinkafgivelsen er ikke produktafhængig, men stærkt afhængig af vandsammensætning. Zinkafgivelsen er høj i hårdt vand (Birkerød og Regnemark) og betydelig lavere i blødt vand (Astrup og Vester Gjesing).

Afgivelse af Zn, Pb og Cd fra varmforsinket stål

12 timers henstand

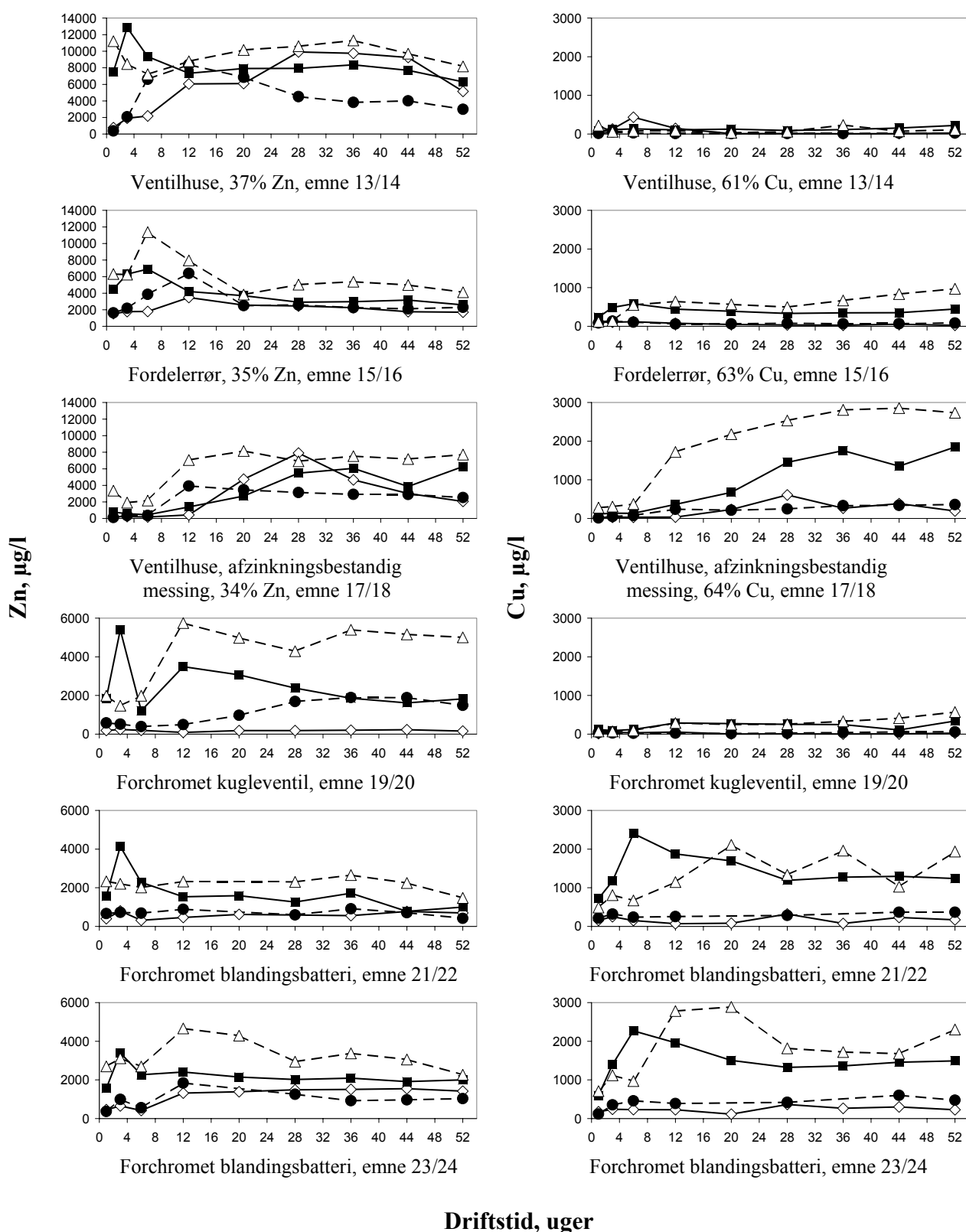


Figur 13. Zink, bly og cadmiumafgivelse fra varmforsinkede stålrør som funktion af driftstid er vist for 12 timers henstandsprøver. Hvert produkt er afbildet for sig og afgivelsen for hver af de 4 vandtyper er vist. De viste målepunkter er gennemsnit af målinger på 2 emner. Metalafgivelsen synes ikke at have stabiliseret sig efter et års driftstid.

Zink- og kobberafgivelse fra messing

12 timers henstand

—◇— Astrup - 1,4 mmol/l HCO_3^- —■— Birkerød - 5,5 mmol/l HCO_3^-
 - - -●- - V. Gjesing - 2,1 mmol/l HCO_3^- - - -△- - Regnemark - 6,3 mmol/l HCO_3^-

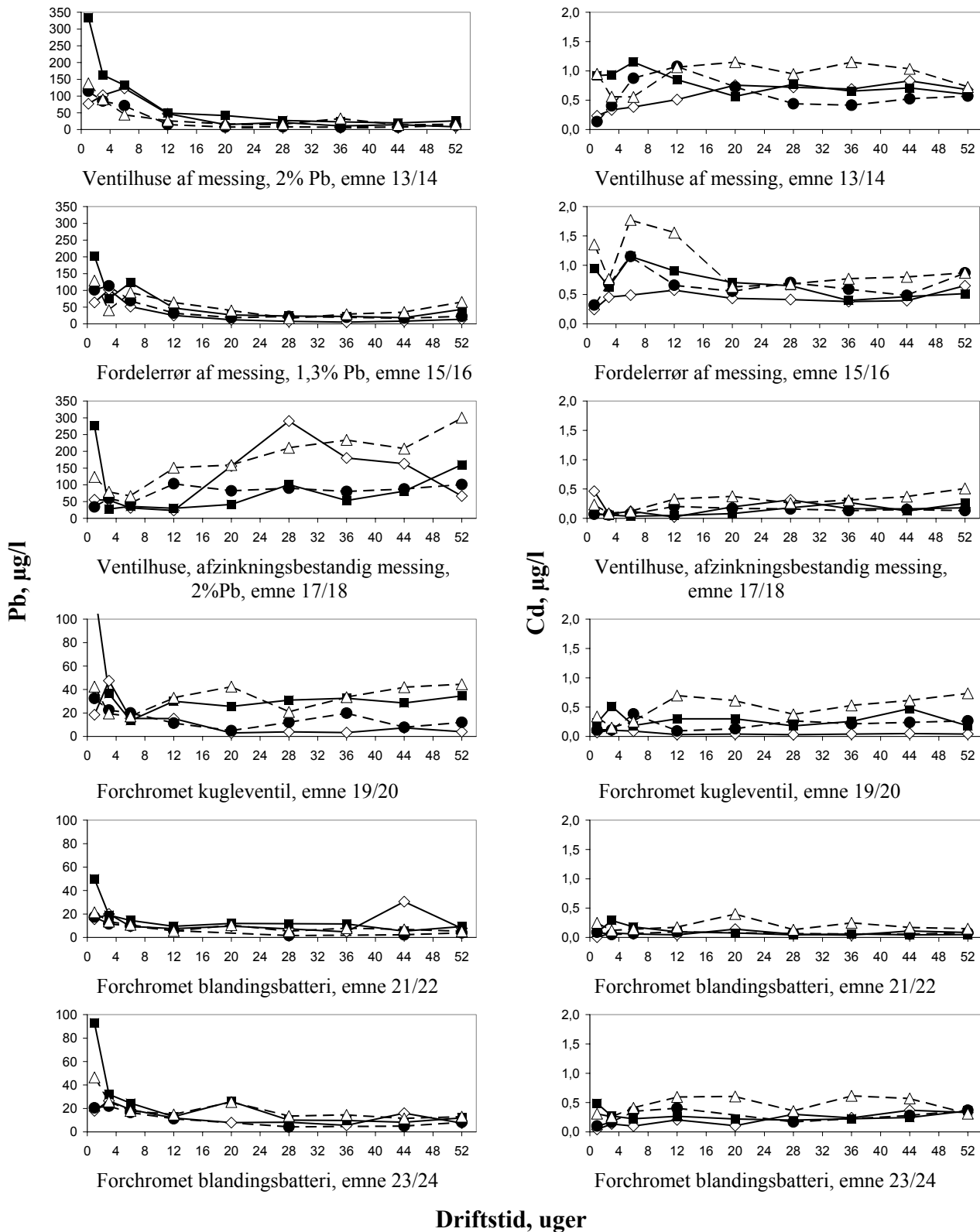


Figur 14. Zink- og kobberafgivelse efter 12 timers henstand i samtlige messingemner, messing og forchromet messing. De viste punkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

Bly- og cadmiumafgivelse fra messing

12 timers henstand

—◇— Astrup - 1,4 mmol/l HCO_3^- —■— Birkerød - 5,5 mmol/l HCO_3^-
 - -●- - V. Gjesing - 2,1 mmol/l HCO_3^- - -△- - Regnemark - 6,3 mmol/l HCO_3^-



Driftstid, uger

Figur 15. Bly- og cadmiumafgivelse fra alle emner af messing og forchromet messing efter 12 timers henstand.

De viste målepunkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

5 Resultater, ny undersøgelse

Der er i de to undersøgelser udført kemisk analyse for metalindhold i aftappede vandprøver i perioden maj 1999 til marts 2003. Vandprøver er udtaget efter 12 timers henstand og resultaterne er gengivet i tabelform i Appendix G og H. I de følgende afsnit er undersøgelsens væsentligste resultater beskrevet, illustreret grafisk og kommenteret.

5.1 Rustfrit stål

Ingen undersøgelser. Forrige projekt [1] viste, at der stort set ikke afgives metaller fra rustfrit stål til drikkevand på grund af materialets gode evne til passivering. Der er ikke foretaget nye undersøgelser af rustfrit stål, men rustfrit stål indgår i testrør 1/2, 3/4 og 5/6. Se endvidere figur 6.

5.2 Varmforzinket stål, rør

(Zn, Cd og Pb)

EMNE: ny (2002), nr.7 – 12 i Lysholt.

tidl. (1999), nr.7 – 12.

Zinkafgivelse

Forrige undersøgelse [1] viste, at zinkafgivelse i samme vandtype, var uafhængig af zink lagets sammensætning for 3 afprøvede rørtyper, jfr. figur 12. Derimod havde vandkvaliteten stor indflydelse, således at zinkafgivelsen steg kraftigt med stigende hårdhed, jfr. figur 13.

I den middelhårde vandtype i Lysholt blev der under et års driftstid testet 2 nye rørtyper med bly indhold 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 (figur 16 a og b).

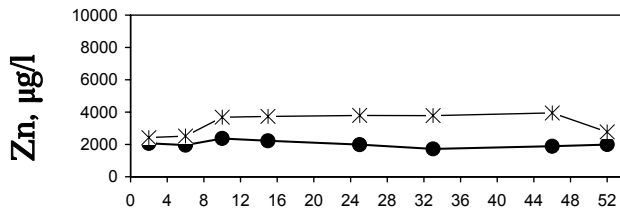
Niveauet for zinkafgivelse i det middelhårde vand i Lysholt var som forventet ikke så højt som i de hårde vandtyper i Birkerød og Regnemærk, og ligeledes mindre end i de bløde vandtyper Astrup og V.Gjesing (figur 16 c og d).

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 16 b).

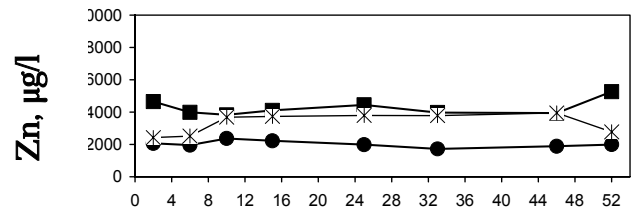
De gamle rør, som blev opsat i Astrup, V.Gjesing og Regnemærk i 1999 er fortsat blevet testet og zinkafgivelsen er registreret op til 4 år. Det viste sig, at det alt for høje zink- indhold i det hårde vand i Regnemærk efter 2 års driftstid var faldet til værdier under eller lige omkring den af Miljøministeriet fastsatte grænse på 5 mg Zn/l ved 12 timers stagnation, mens zinkafgivelsen forblev nogenlunde på samme niveau andet og tredje år i Astrup og V.Gjesing. En lille forøgelse til nær 3 mg/l sås det fjerde år (figur 17 a, b og c).

Afgivelse af zink fra varmforzinket stål 12 timers henstand

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

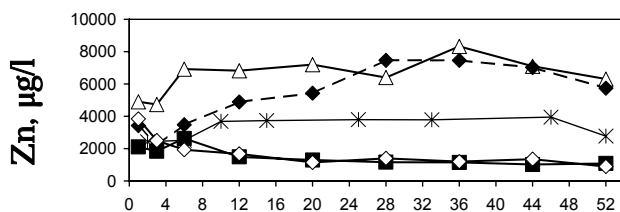


a.
Varmforzinket stålør, emne 7/8 og 9/10
Lysholt (2002)

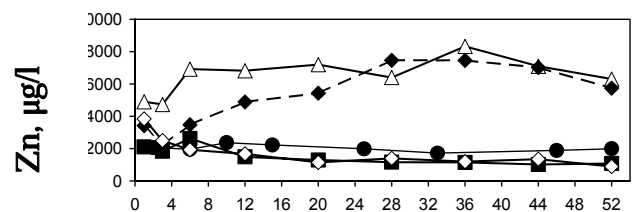


b.
Varmforzinket stålør, emne 7/8, 9/10 og 11/12
Lysholt (2002)

◇ Astrup 1.4 mmol/l HCO₃ ■ V. Gjesing-2.1 mmol/l HCO₃ * Lysholt-3.8 mmol/l HCO₃ (7)
 ● Lysholt-3.8 mmol/l HCO₃ (9/10) ◆ Birkerød-5.5 mmol/l HCO₃ ▲ Regnemark-6.3 mmol/l HCO₃



c.
Varmforzinket stålør, emne 7/8
(1999) og emne 7/8 Lysholt (2002)

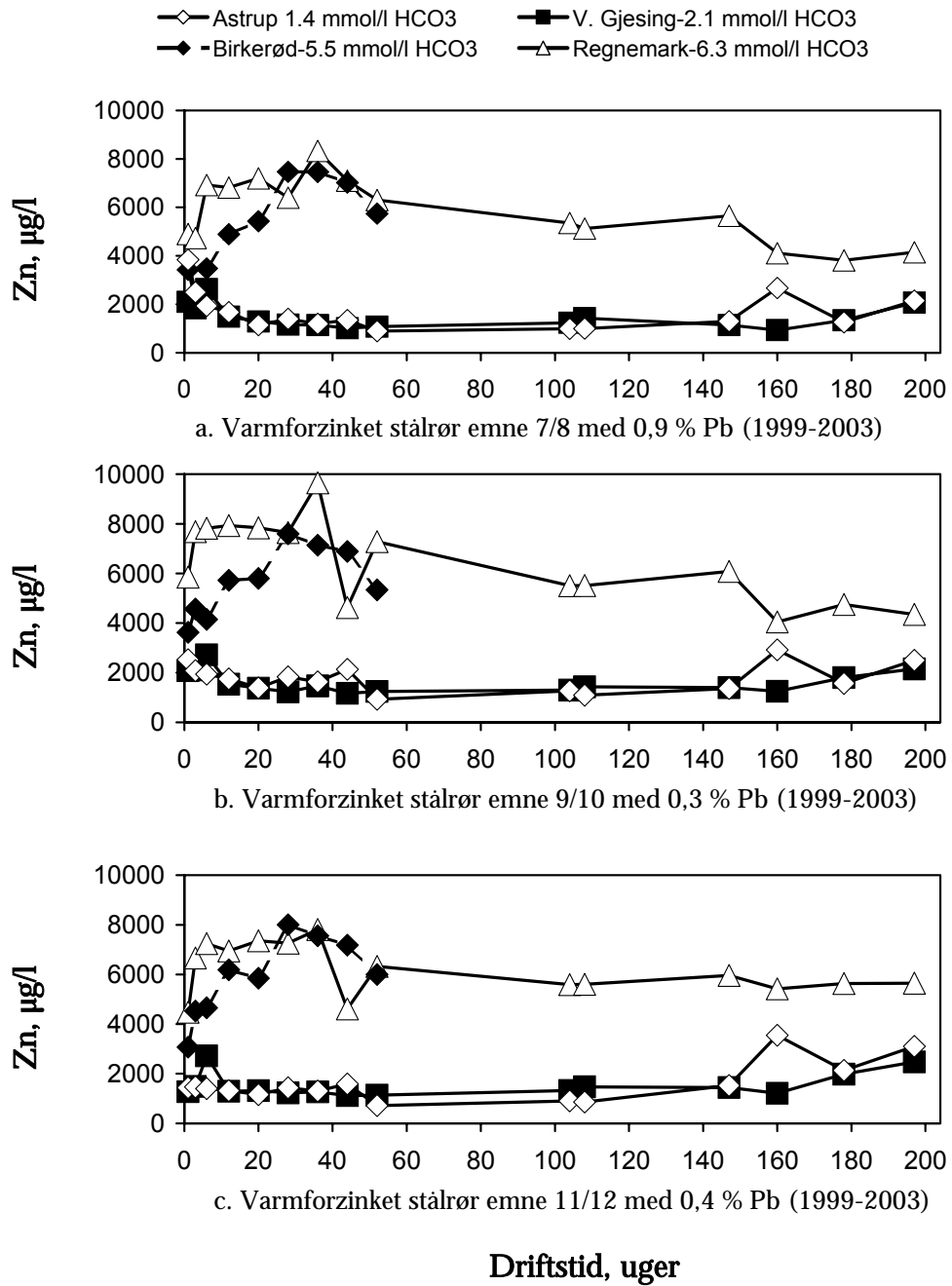


d.
Varmforzinket stålør, emne 7/8 (1999) og
emne 9/10 Lysholt (2002)

Driftstid, uger

Figur 16. Zinkafgivelse efter 12 timers henstand fra rør af varmforzinket stål i afhængighed af driftstid. 2 nye rørkvaliteter er eksponeret i Lysholt og resultater afbildet grafisk i diagram a. og b. I diagram c. og d. er de nye målinger sammenlignet med andre rør og andre vandtyper fra tidligere forsøg. Se s. 19, fig. 4.13. Zinkafgivelse i Lysholt, hvor vandet er middel i hårdhed ($\text{HCO}_3^- = 3.8 \text{ mmol}$), er som forventet mindre end i hårdt vand og større end i blødt vand. De viste målepunkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

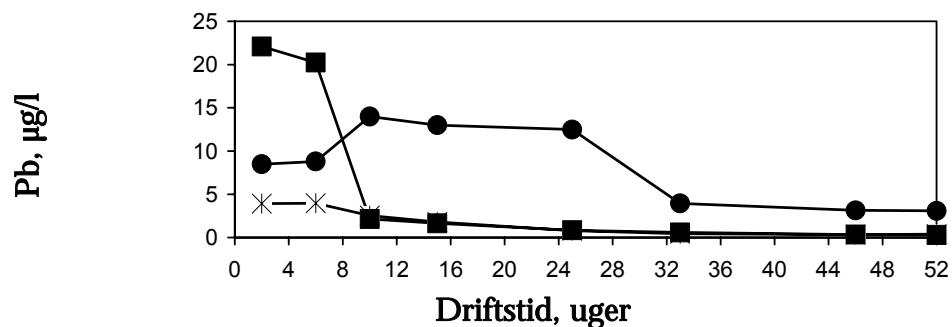
Afgivelse af zink fra varmforzinket stål 12 timers henstand



Figur 17. Zinkafgivelse i 3 kvaliteter rør af varmforzinket stål i en driftsperiode på 4 år i forskellige vandtyper. De viste målepunkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

Afgivelse af bly fra varmforzinket stål
12 timers henstand
Lysholt Vandværk (2002)

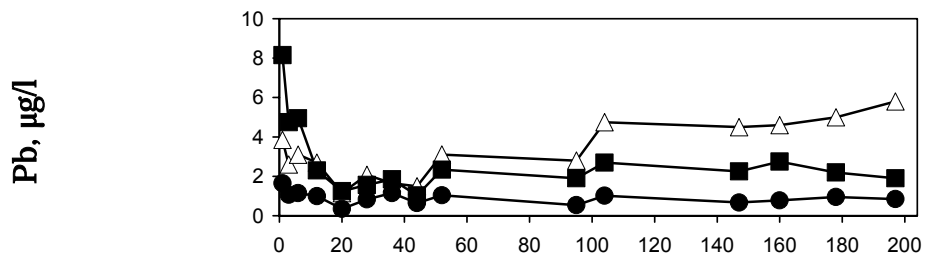
-✱- Emne 7/8 - 0,05 % Pb ● Emne 9/10 - 0,7 % Pb ■ Emne 11/12 - 0,05 % Pb+messingfitting



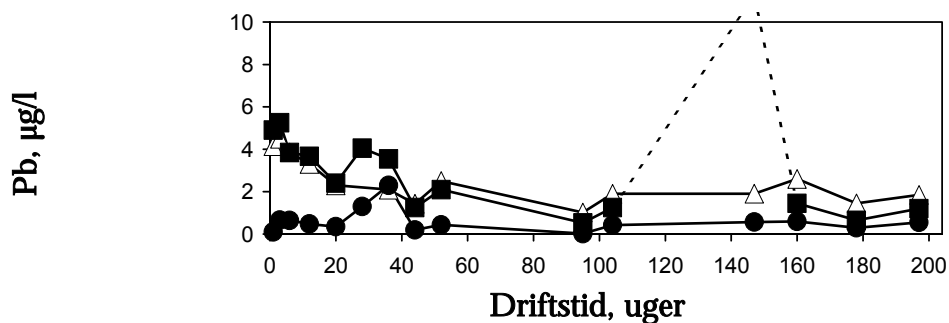
Figur 18. Blyafgivelse fra 2 nye rørkvaliteter af varmforzinket stål efter eksponering i Lysholt vandværk. Efter 1 år er blyafgivelsen < 3,5 µg Pb/l. De viste målepunkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

Afgivelse af bly fra varmforzinket stål
12 timers henstand

-△- Emne 7/8 - 0,9 % Pb ● Emne 9/10 - 0,3 % Pb ■ Emne 11/12 - 0,4 % Pb



Figur a. Varmforzinkede stålør med varierende blyindhold, Regnemærk (1999-2003)



Figur b. Varmforzinkede stålør med varierende blyindhold, Vester Gjesing (1999-2003)

Figur 19. Blyafgivelse i 3 kvaliteter rør. Efter ét års driftstid er blyafgivelsen størst for rør med størst blyindhold. De viste målepunkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

Cadmiumafgivelse

I alle tilfælde var cadmiumafgivelsen fra varmforzinkede rør i Lysholt meget lav. Således var cadmium afgivelsen efter 10 ugers driftstid < 0,02 µg/l.

Blyafgivelse

Nye rør af varmforzinket stål blev eksponeret i Lysholt. Rørenes blyindhold var henh. 0,7% (9/10) og 0,05% (7/8). Testrør nr. (11/12), som var udskåret af samme rør som testrør 7/8, havde et indbygget standardfitting af afzinkningsbestandig messing. Messingen får en vis katodisk beskyttelse fra det uædle stålør. Resultater ses i figur 18. 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. Efter 32 uger var blyafgivelsen < 5 µg/l fra rør 9/10 ved 12 timers henstand. Forsøgene i Lysholt fortsættes. Alle varmforzinkede rør i Lysholt vil blive undersøgt for at se, om blyafgivelsen stiger i løbet af de næste par år.

De gamle varmforzinkede stålør, som blev opsat i 1999 i Regnemark, V. Gjesing og Astrup, viste meget interessante resultater på blyafgivelse efter en forlænget driftstid. Det ses i figur 19 a, at blyafgivelsen i det hårde vand i Regnemark efter 2 år steg til et højere niveau. Blyafgivelsen var her lavest (1 – 2 µg/l) efter 1 år for alle rørkvaliteter, men som årene gik, øgedes blyafgivelsen (op til 6 µg/l efter 12 timers henstand). Herefter var det røret med højest blyindhold, der afgav mest bly, og røret med mindst blyindhold, der afgav mindst bly. Det er illustreret i figur 19 b, at for blødere vandtyper var udviklingen anderledes. I V.Gjesing skete et svagt fald i blyafgivelse; mens Astrup, som kan have et lille indhold af aggressiv kulsyre for én af rørkvaliteterne, havde en pendlende blyafgivelse (høj/lav).

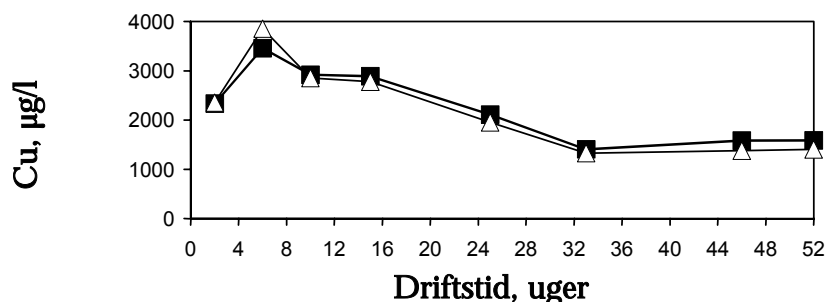
5.3 Kobberrør

(Cu)

EMNE: ny (2002), nr.13 og 15 i Lysholt.

Kobberrør, som var monteret med 2 stk. messingfittings blev testet i Lysholt. Messing udgjorde 5% af rørlængden. Kobberafgivelsen i det mellemhårde vand ses på figur 20. 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 under 2 mg/l efter 12 timers henstand. Blyafgivelsen fra kobberrøret (hidrørende fra overgangsfittings af messing) var lav i hele perioden. Der blev målt 2 – 4 µg/l Pb ved 12 timers henstand .

Kobberafgivelse fra kobberrør i Lysholt 12 timers henstand



Figur 20. Kobberafgivelse fra kobberrør emne 13/15, Lysholt (2002). Punkterne viser enkeltbestemmelser. Der ses god overensstemmelse mellem kobberafgivelsen fra de to rør. Den stiplede linie angiver den gældende grænseværdi, der overholdes efter 24 uger.

5.4 Kobberlegeringer

Kategorier: β -mesting, DZR-mesting (afzinkningsbestandig) og rødgods (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, As og Sb),

EMNE: ny (2002), nr.1 - 6, 19 - 20 samt.17 - 18 i Lysholt tidl. (1999) 13 - 18

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 kontakttid 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 rørmaterialerne. Ved vurdering af niveauer for afgivelse af Pb, Cd, Ni, As og Sb relaterer kravene i Bekendtgørelsen [3] til ugentligt gennemsnit. Man kan ved metalafgivelse af disse metaller som en grov retningslinie antage, at de her målte 12 timers henstandsprøver ligger på et niveau, der er en 2-faktor større end det ugentlige gennemsnit.

I forsøgsserien 1999 var alle kobberlegeringer placeret således, at kobberlegeringerne udgjorde ca. 85% af den testede rørlængde. Der blev i denne forsøgsserie målt utilfredsstillende høje og tilsyneladende stadig stigende afgivelse af kobber, bly og arsen for afzinkningsbestandig messing (jfr. figur 14 og 15). Dette var i modstrid med tilsvarende tyske målinger, Appendix F [13].

I den ny forsøgsserie 2002 blev 3 kategorier af kobberlegeringer afprøvet. Resultater ses på figur 21 - 24. Almindelig messing, DZR-mesting (afzinkningsbestandig messing) og rødgods blev testet i form af standard prøveemner. Emnerne var af samme charge som brugt i Tyskland, Appendix C og F. Prøveemner nr. 1 - 6 blev placeret i en rørstrækning af rustfrit stål, således at kobberlegeringerne udgjorde 15% af den testede rustfri stålørslængde, svarende til 2 standardemner monteret i det rustfrie rør, figur 6. 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.

Prøveemner nr. 17/18 i forsøgsserie 2002, Lysholt vandværk er en variant af afzinkningsbestandig messing (A-metal, Appendix C) afprøvet i form af fordelerrør, figur 5 øverst. Testemnet udgør ca. 85% af rørløbet.

Prøveemne nr. 19/20 består af et sammensat emne (vandmåler, fittings, afspærringsventil), hvori både indgår alm. messing og DZR-messing. Nogle af emnerne er forniklet. Prøveemnet repræsenterer en del af en praktisk installation (afgrening til lejlighed efter stigrør), og også her udgør kobberlegeringerne ca. 85% af testrøret, figur 5 nederst.

Det viste sig, som ved første forsøgsserie, at metalafgivelsen var lavest for de bløde vandtyper og højest for de hårde. Vand fra Lysholt, som er mellemhårdt, har i de ny forsøg vist en metalafgivelse, der ligger på et niveau mellem de bløde og de hårde vandtyper, som forventet. I figur 25 ses eksempler på metalafgivelse (Zn, Cu, As, Ni) fra kobberlegeringer **(1/2, 3/4 5/6 og 19/20)** i Lysholt vand.

5.4.1 Almindelig messing

De ny testemner fra 2002-serien havde et eksponeret areal, som udgør ca. 15 % af det rustfrie testrør. Almindelig messing afgav meget zink; således op til 3000 µg/l. For armaturmaterialer, som kun udgør en lille procentdel af rørsystemet, er zink-niveauet 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 var afgivelsen efter 12 timers henstand nået et minimum, som følger:

For Astrup var kobber	<50 µg/l	og	bly	4,7 µg/l
For V.Gjesing var kobber	<50 µg/l	og	bly	3,1 µg/l
For Lysholt var kobber	<50 µg/l	og	bly	2,8 µg/l
For Regnemark var kobber	<50 µg/l	og	bly	3 µg/l

I hele perioden var cadmiumafgivelse, som forventet, meget lav, således < 0,7 µg/l i alle vandtyper.

I hele perioden var arsen (< 0,9 µg/l) og antimon (< 0,7 µg/l) som forventet meget lav i alle vandtyper. Arsen og antimon legeres ikke til denne almindelig messing.

Heller ikke nikkel legeres til almindelig messing, og afgivelser blev fundet i begrænset mængde (< 10 µg/l). Der blev dog målt højere nikkelafgivelse i Regnemark. Den testede messingdel indeholder kun meget lidt nikkel, (Appendix C), hvorfor de højere værdier målt i Regnemark ikke umiddelbart kan forklares ved metalafgivelse fra messingdelen. Resultaterne må betrages som en forsøgsfejl. (Se resultater i figur 23).

I figurerne 21 og 22 og 26 ses grafisk afbildning af afgivelsen af zink, kobber, bly og arsen i forskellige vandtyper fra almindelig messing i sammenligning med afgivelse fra andre kobberlegeringer. Det ses, at blyafgivelsen er let forhøjet i de første 3 måneder. Denne blyafsmittning til vandet hidrører fra, at der findes udtværet bly på overfladen p.g.a. maskinbearbejdede indvendige overflader. Nogle fabrikanter vasker dette bly bort før anvendelsen af armaturet til drikkevand.

Således er metalafgivelsen ikke kritisk for almindelig messing, om end man af hensyn til brug af rør af varmforzinket stål kunne ønske sig en lavere afgivelse af kobber.

Resultaterne er i god overensstemmelse med tidligere forsøg (jfr. figur 14 og 15).

De er endvidere i god overensstemmelse med tyske undersøgelsesresultater, skønt der ved forsøgene er gjort brug af andet vand, anden testrig og et andet vandforbrug (andet flow regime).

Der er udført fortsatte målinger på almindelig messing, emnerne 13/14 og 15/16 fra 1999 serien. Der blev i alle fire år målt fortsatte lave værdier i afgivelse af kobber, bly, cadmium og nikkel (jfr. Appendix H). En undtagelse var, at kobberafgivelse fra almindelig messing i Regnemark vand steg fra ca. 100 til 500 µg/l, se figur 27. Denne forøgelse af kobberafgivelsen, har betydning i rørsystemer af varmforzinket stål, idet kobberholdigt vand er stærkt korrosionsfremmende for dette rørmateriale.

5.4.2 Afzinkningsbestandig messing

De nye prøveemner af afzinkningsbestandig messing var monteret i rør af rustfrit stål. De udgjorde 15% af den metalliske rørlængde. Det ses af resultaterne i figur 21 og 22, at metalafgivelsen har stabiliseret sig efter et halvt år; bly og 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. 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 opfylder Miljøministeriets Bekendtgørelse [3]. Blyafgivelsen i nye emner hidrører fra maskinbearbejdede overflader. Dette bly kan vaskes bort før brug.

Cadmiumafgivelse er meget lav i alle vandtyper (<0,3 µg/l).

Nikkel og antimon er ikke legeringselementer i afzinkningsbestandig messing. Efter 1 års driftstid var materialets afgivelse til drikkevandet for nikkel < 2 µg/l (figur 23) og antimon < 0,2 µg/l, d.v.s. som forventet tilfredsstillende lavt.

Den nu afprøvede afzinkningsbestandige messing (2001) viser bedre egenskaber m.h.t. metalafgivelse end den først afprøvede legering (1999) [1]. Der er lavet en undersøgelse af årsagen hertil.

Begge legeringer ligger i kemisk sammensætning og egenskaber indenfor legeringstypen afzinkningsbestandig messing. Men den først testede (1999) ligger i yderkanten af intervallet. Den indeholder en anseelig mængde β-fase (5 – 10%), den korroderer lidt mere i kontakt med drikkevand; den efterlader en stor overflade i kontakt med vandet. Emnet har efter en periode i drift en stor ru overflade. De observerede forskelle forklarer de målte forskelle. Kobberindustrien arbejder med en eventuel justering af standarderne for afzinkningsbestandig messing.

Denne forskel samt forhold ved testemnets udformning i 1999-serien og 2002-serien kan udmærket forklare de observerede forskelle på metalafgivelse i de 2 tests. En oversigt er givet i tabel 4.

Forhold ved legeringen, emnet og testmetode	Afzinkningsbestandig messing, Første test, 1999 Foto 4 (emne 17/18)	Afzinkningsbestandig messing, Anden test, 2002 Foto 6 (emne 17/18)
Messingens kemiske sammensætning	Indenfor standard, ligner hinanden (analyse)	Indenfor standard, ligner hinanden (analyse)
Mikrostruktur	α -fase med 5 – 10% β	α -fase med 1-2% β
Varmebehandling	÷	+
Emne facon	Ventilhuse samlet med muffer. Meget ujævn og kompliseret facon, bl.a. gevind i muffer	Glat prøve emne
Metaloverflade/vand volumen	Ekstremt stort	lille
Armatnr/rørlængde	15%	85%
Testrig	Tømmes for vand ved prøvetagning (luftbobler kan let fanges i ventilhusets kroge)	Tømmes for vand ved prøvetagning, men emnet er ret glat, luftbobler fanges ikke så let

Tabel 4. Forskelle på afzinkningsbestandig messingemne afprøvet i henholdsvis 1999 og i 2002.

Det sammenbyggede emne 19/20, som er testet i de ny forsøg i alle 4 vandtyper, ses på figur 5 nederst. Nogle af emnerne er forniklede, og der er anvendt en blanding af almindelig messing og DZR-messing. Testemnerne udgør ca. 85% af testrør 19/20. Hvis metalafgivelsen skal sammenlignes med de ny emner 1 – 6, skal den afgivne metal-koncentration divideres med $85/15 = 6$. Det ses i figur 21 og 22, at metalafgivelsen er mindre end for afzinkningsbestandig messing (m.h.t. kobber, bly, arsen), til gengæld afgives lidt mere af det mindre problematiske zink. Der vil være en tendens til, at opløsningen af zink fra den almindelige messing beskytter mod opløsning af de mere ædle metaller fra DZR-messingen. Der afgives nikkel fra emne 19/20 i alle vandtyper, (f23 og 24). Afgivelsen er aftagende efter 4 måneder og efter et halvt år, er nikkelafgivelse ($< 60/40/20 \mu\text{g/l}$ ved 12 timers henstand) nede på værdier, der opfylder Bekendtgørelsens krav. Dog kun når drikkevandet ikke i forvejen indeholder nikkel, figur 25.

En anden variant af en DZR-messing (A-metal) blev testet i middelhårdt vand i Lysholt i form af fordelerrør, som under prøvning udgjorde ca 85% af rørstrækning (figur 21, 22 og 23). Ved sammenligning med ny emner 1 – 6 divideres niveau for metalafgivelse med 6. Det skal tages i betragtning, at fordelerrøret af A-metal er et uregelmæssigt emne sammenlignet med ny prøver 1 – 6, som er glatte og i mindre grad fanger luftbobler under forsøget. Evt. kan foretages direkte sammenligning med gamle testemner i 1999 – serien (17 –18, anden DZR-messing) i Birkerød vandtype, figur 14 og 15.

Der er udført fortsatte forsøg på de gamle testemner af DZR-messing (17/18), der således er eksponeret fra 1999 til 2002. Metalafgivelsen synes at have toppet efter 1 år. Kobber, bly og arsenafgivelse ses i figur 28. Kobberafgivelsen viste sig at fortsætte i samme høje niveau, blyafgivelsen blev

lidt lavere og arsenafgivelsen viste sig tilfredsstillende lav med alle værdier under 3 µg/l.

(Der er også målt videre på 13/14 og 15/16, almindelige messingtyper).

5.4.3 Rødgods

Rødgods er den mest ædle kobberlegering, hvilket resulterer i at metalafgivelsen er acceptabel lav efter et halvt år for en række metaller, figur 21 og 22. Efter et års driftstid er blyafgivelsen meget lav til trods for at blyindholdet i legeringen er højere end i messing. Se blyafgivelse for en række kobberlegeringer i figur 22. 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, særligt i hårdere vandtyper. Se sammenligningen i figur 22.

Rødgods er tillegeret lidt antimon. Den lille Sb-afgivelse fra rødgods er illustreret grafisk i figur 29.

Rødgods er tillegeret nikkel. I den aktuelle legering er nikkellindholdet 1,1% . Nikkelafgivelsen ses i figur 23 og 24. Den er uønsket høj. Tyske undersøgelser har vist, at nikkel er et legeringselement, som opløses i særlig grad, d.v.s. fortrinsvis for øvrige metaller. Der anvendes i dag rødgodstyper med lavere nikkellindhold (<0,6%Ni) til brug til drikkevand.

5.5 Forchromet messing og forniklet messing

(Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, As, Sb).

5.5.1 Blandingsbatterier, forchromede

Emne ny (2002), nr. 21/22 og 23/ 24 i Regnemark.

I første testserie (1999) blev testet 2 forskellige blandingsbatterier fremstillet af samme fabrikant. Begge typer blandingsbatterier viste da i alle vandtyper en høj afgivelse af nikkel. I den ny testserie er medtaget blandingsbatterier fremstillet af samme fabrikant; men der er gjort forsøg på at reducere nikkelbelægningsernes udbredelse på de indvendige overflader.

De ny emner er testet i 2002-serien i Regnemark vand i et år. Afgivelsen af Zn, Cu, Pb og Ni er vist i figur 30. Prøveproduktionen viste en tilfredsstillende lav nikkelafrivelse. I figur 31 er nikkelafrivelsen for de ny emner (2002) vist til sammenligning med målinger på de forrige emner (1999). Det ses, at nikkelafrivelsen er reduceret væsentligt i ny emner. Den ændrede fremstillingsproces har således medført, at produktet har en lav nikkelafrivelse, der opfylder Bekendtgørelsens krav. Imidlertid lader ændringerne sig ikke umiddelbart implementere i fabriktionsprocessen.

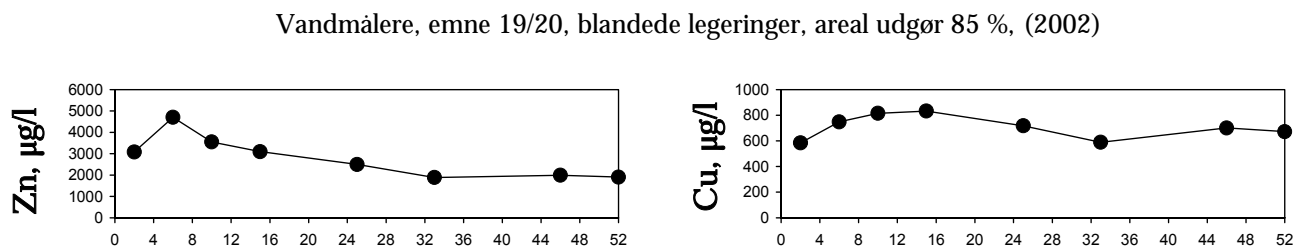
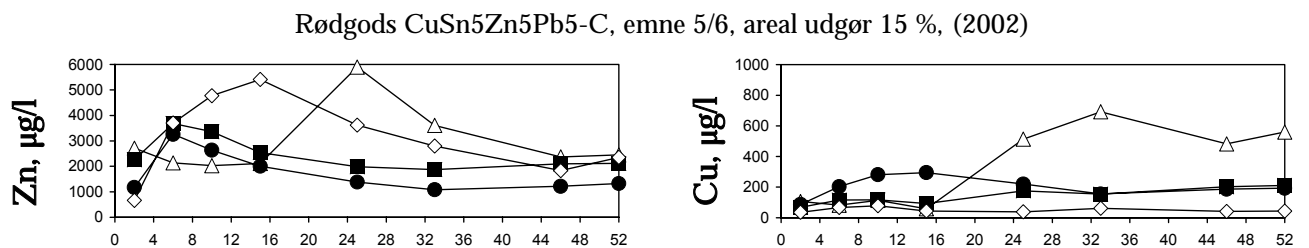
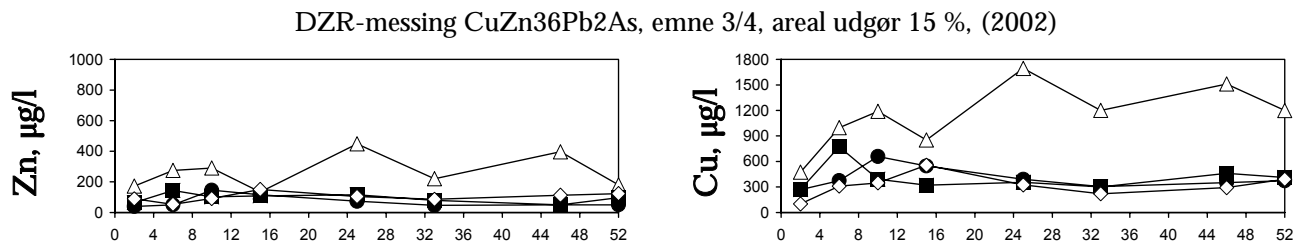
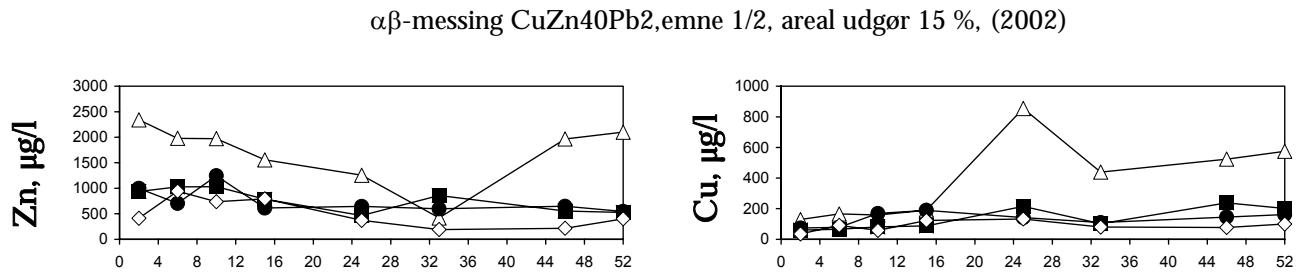
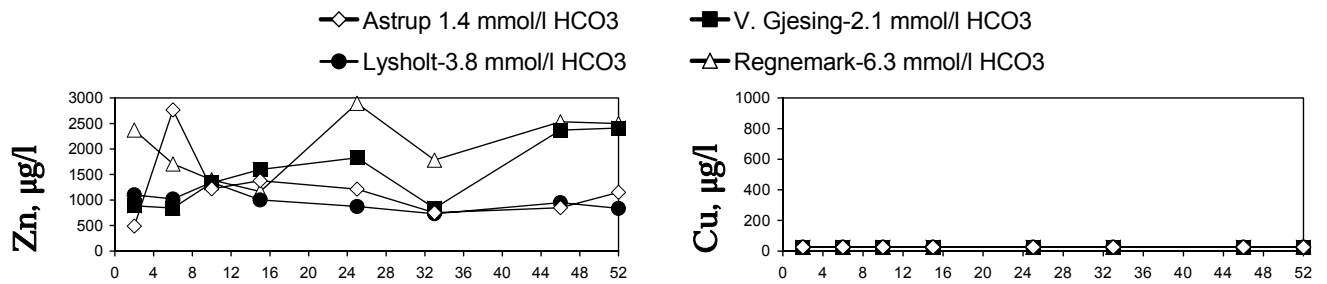
5.5.2 Vandmålere, afspærringsventil og fittings, forniklede dele

EMNE: ny (2002), nr. 19/20 (85%).

Emne 19/20 indeholder en forniklet messingvandmåler og en forniklet messing afspærringsventil, samlet med et antal DZR-fittings. Ved afgroning af

rør til en lejlighed er det ofte denne gruppe af komponenter, der sidder samlet på rørledningen. Ved testen udgør kobberlegeringerne et eksponeret areal på ca. 85% af testrøret. Ved vurdering af metalafgivelsen skal indkalkuleres, at legeringerne i praksis regnes til en andel af rørintallationen svarende til 10%. Dette emne er testet i 4 vandtyper, resultatet for afgivelse af zink, kobber, bly og arsen er præsenteret i figur 21 og 22. Afgivelsen af nikkel i 4 vandtyper er vist i figur 23, 24 og 32. Der er betragtelig nikkelafrivelse i det første halve år, men værdierne er stærkt aftagende, formentlig fordi der har været tale om meget tynde lagtykkelser af nikkel på de indvendige overflader. Efter 26 uger er nikkelafrivelsen tilfredsstillende lav, og opfylder krav til drikkevand.

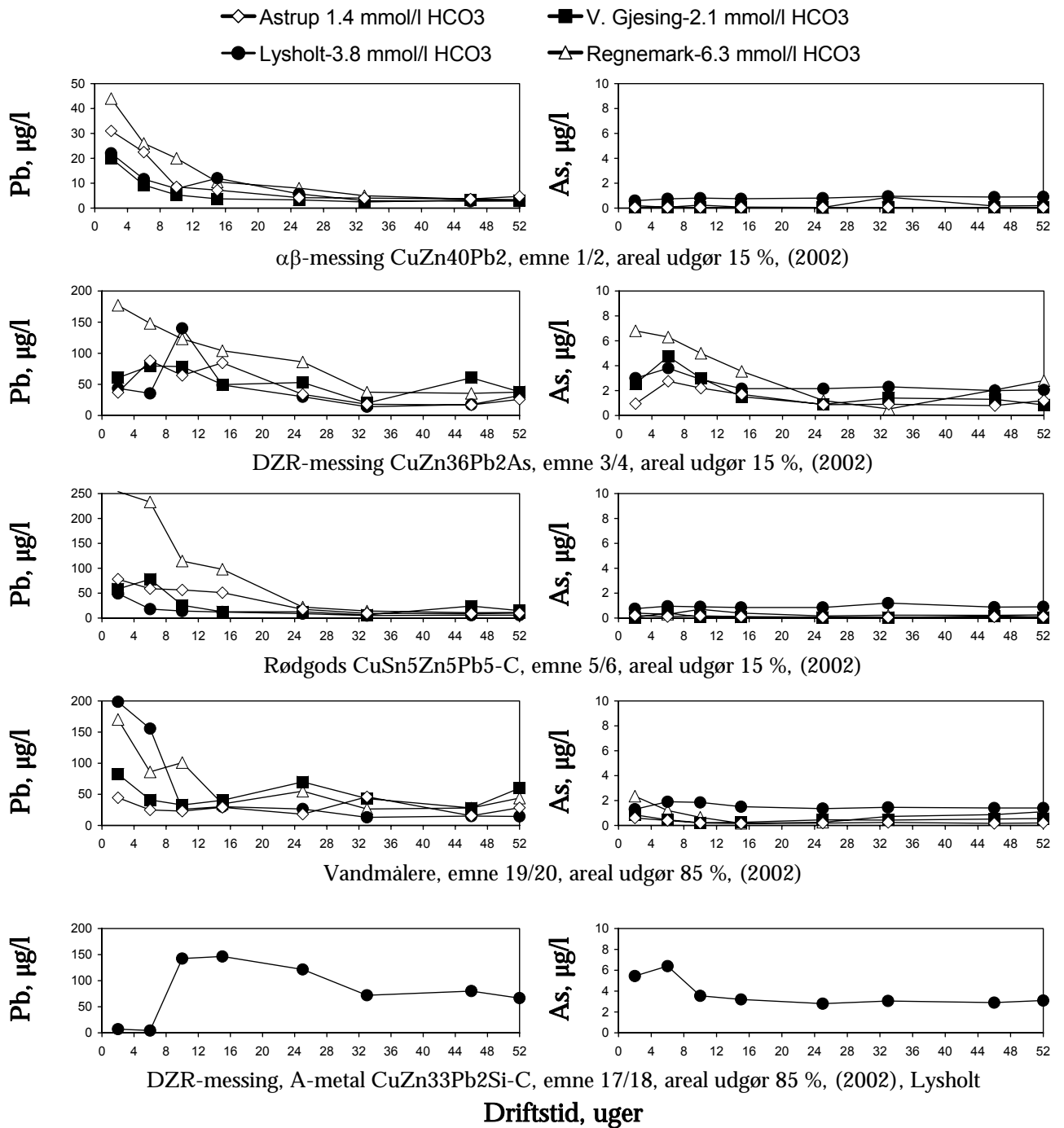
Zink- og kobberafgivelse fra kobberlegeringer 12 timers henstand



Driftstid, uger

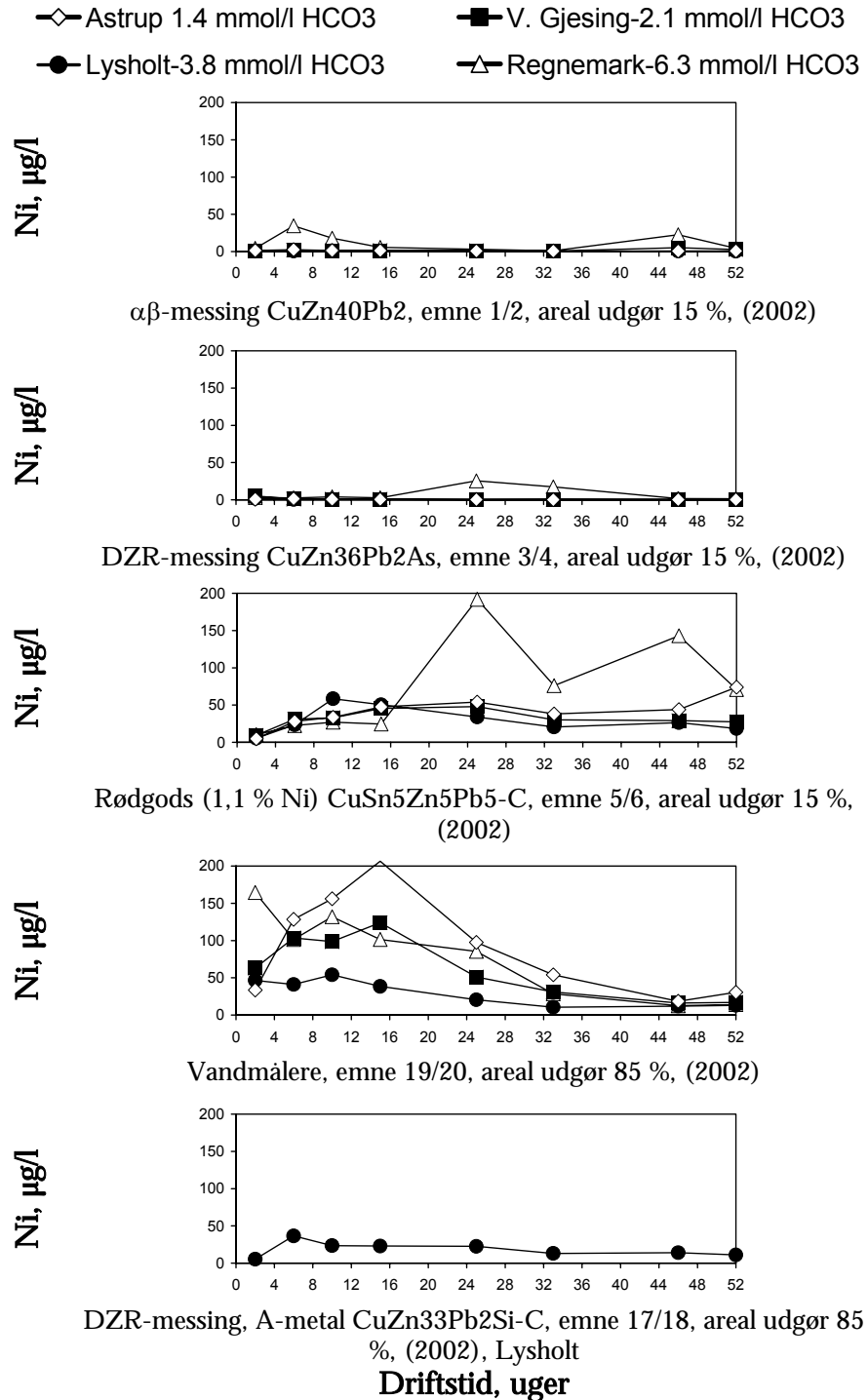
Figur 21. Zink- og kobberafgivelse fra messing og rødgods efter henstand i 12 timer. De viste punkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

**Bly- og arsenafgivelse fra kobberlegeringer
12 timers henstand**



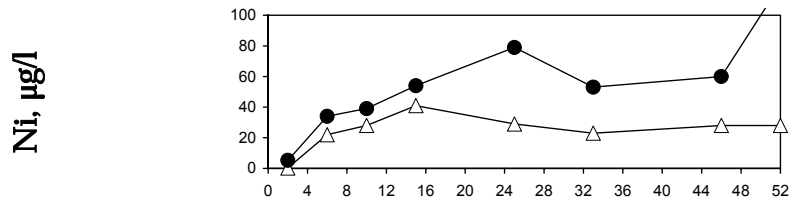
Figur 22. Bly- og arsenafgivelse fra messing og rødgods efter henstand i 12 timer. De viste punkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

Nikkelafgivelse fra kobberlegeringer 12 timers henstand

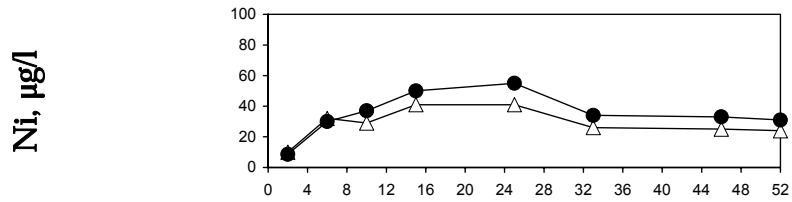


Figur 23. Nikkelafgivelse fra messing og rødgods efter henstand i 12 timer. De viste punkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

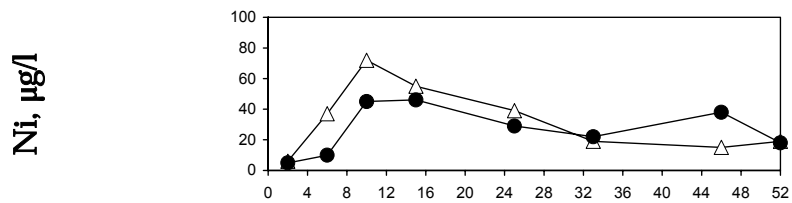
**Nikkelafgivelse fra kobberlegeringer
12 timers henstand**



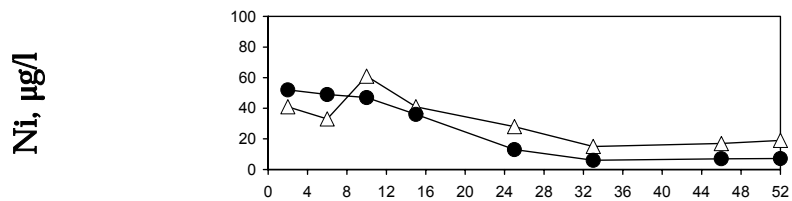
Rødgoods (1,1 % Ni) CuSn5Zn5Pb5-C, emne 5/6, areal udgør 15 %, (2002), Astrup



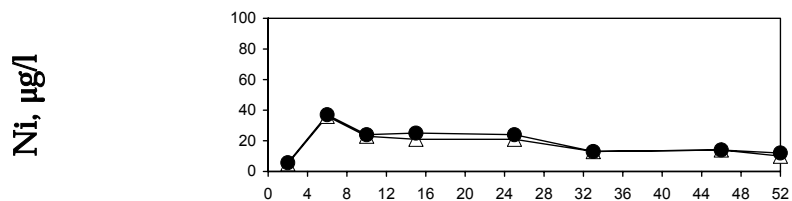
Rødgoods (1,1 % Ni) CuSn5Zn5Pb5-C, emne 5/6, areal udgør 15 %, (2002), V. Gjesing



Rødgoods (1,1 % Ni) CuSn5Zn5Pb5-C, emne 5/6, areal udgør 15 %, (2002), Lysholt



Vandmålere, blandede legeringer, emne 19/20, areal udgør 85 %, (2002), Lysholt

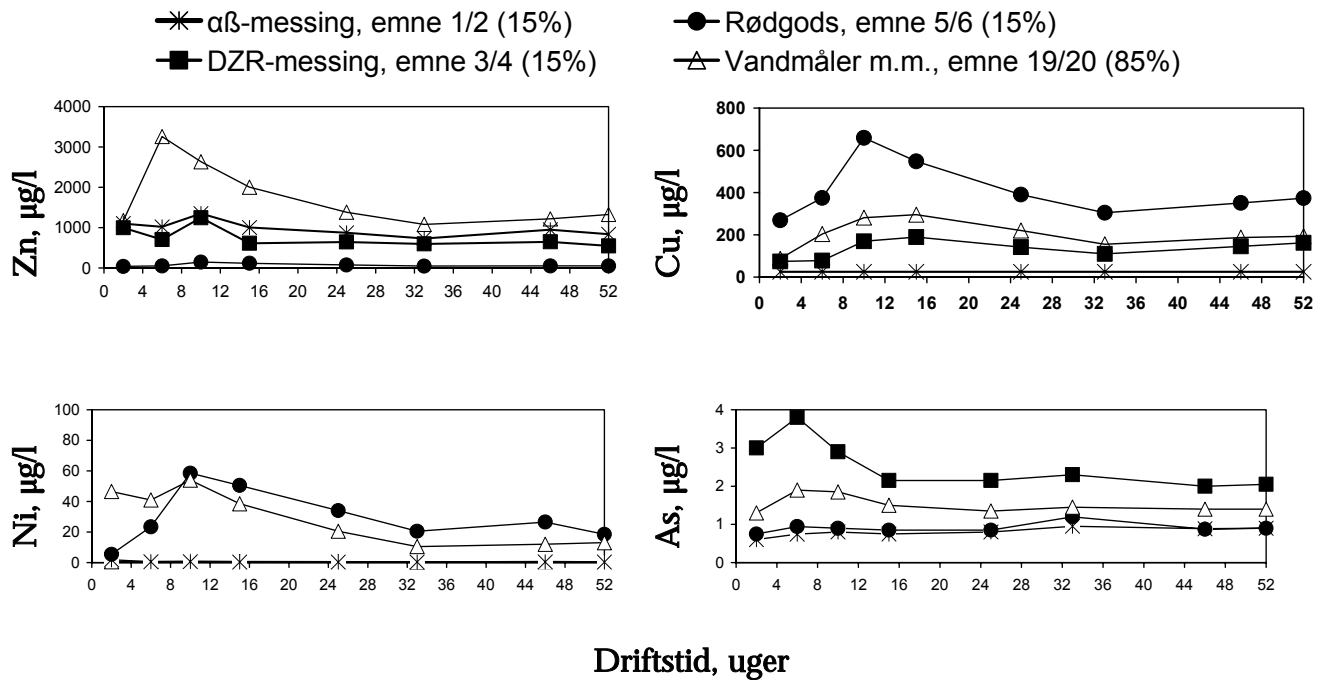


DZR-messing, A-metal CuZn33Pb2Si-C, emne 17/18, areal udgør 85 %, (2002), Lysholt

Driftstid, uger

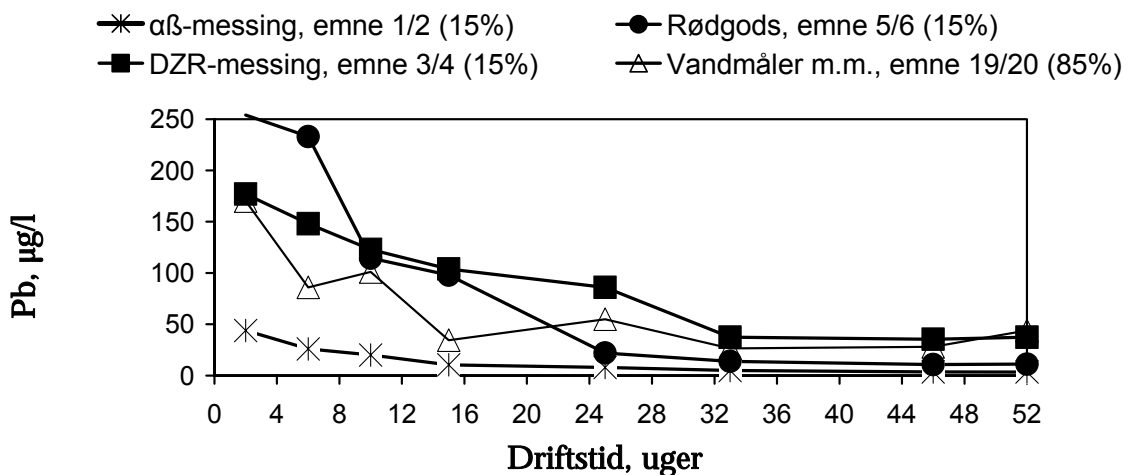
Figur 24. Nikkel enkeltbestemmelse på udvalgte paralleltestede emner. Der er både sammenfaldende værdier og eksempler på væsentlige forskelle.

Zink, kobber, nikkel og arsenafgivelse fra kobberlegeringer i Lysholt 12 timers henstand



Figur 25. Zink-, kobber-, nikkel- og arsenafgivelse fra kobberlegeringer efter henstand i 12 timer, Lysholt (2002). Eksponeret areal udgør 15 % for emne 1-6 og 85 % for emne 19/20. Emne 1/2 udgør β-messing (CuZn40Pb2), emne 3/4 udgør DZR-messing (CuZn36Pb2As) og emne 5/6 udgør rødgods (CuSn5Zn5Pb5-C). De viste punkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

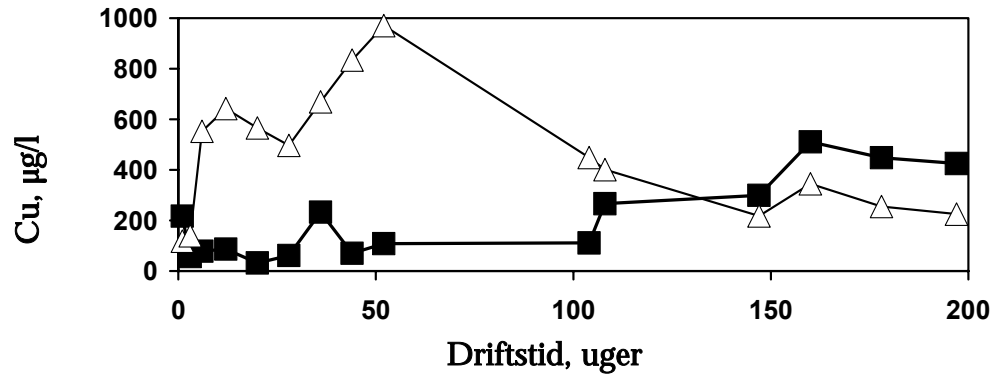
Blyafgivelse fra kobberlegeringer i Regnemark 12 timers henstand



Figur 26. Blyafgivelse fra messinger og rødgods efter henstand i 12 timer, Regnemark (2002). Eksponeret areal udgør 15 % for emne 1-6 og 85 % for emne 19/20. De viste punkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

Kobberafgivelse fra messing i Regnemark 12 timers henstand

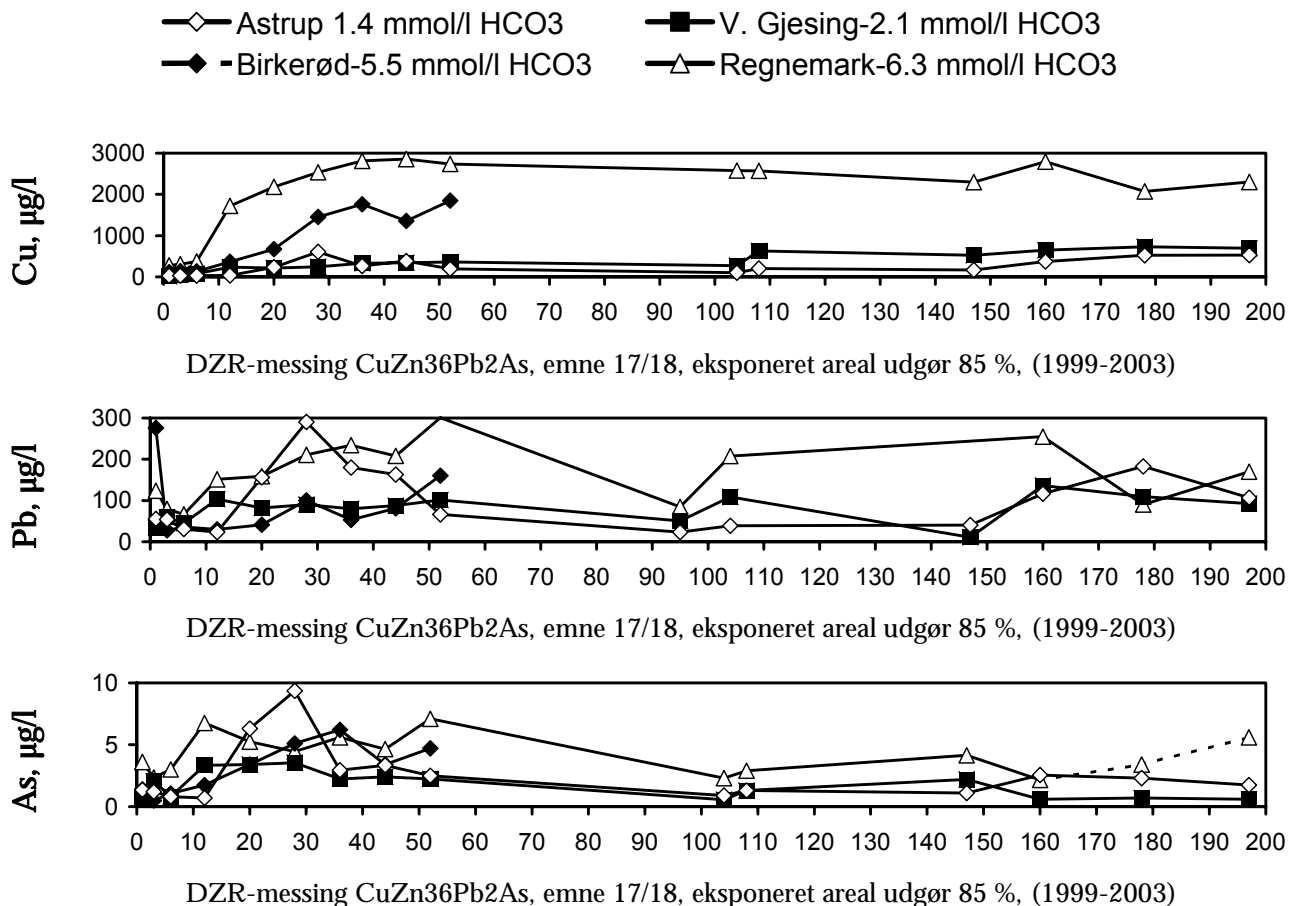
■ Ventilhuse m. fitting, messing, emne 13/14 △ Fordelerrør, messing, emne 15/16



Figur 27. Kobberafgivelse fra messing efter henstand i 12 timer, Regnemark (1999). I alt fire års eksponering i Regnemark. Kobberafgivelsen var i de fleste tilfælde faldende efter et år, som ved emne 15/16. Imidlertid var der en stigning for β -messingen, emne 13/14 efter 2 år, således fra 100 $\mu\text{g/l}$ til 400 $\mu\text{g/l}$. De viste punkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

Kobber, bly og arsenafgivelse fra DZR-messing (1999)

12 timers henstand

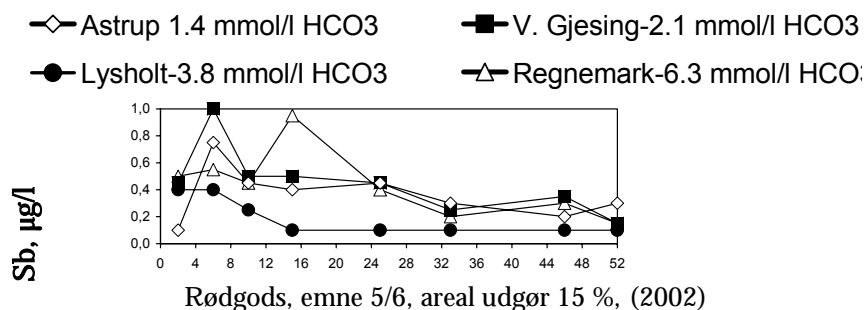


Driftstid, uger

Figur 28. Kobber-, bly- og arsenafgivelse fra afzinkningsbestandig messing efter henstand i 12 timer. De viste punkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

Afgivelse af antimon fra rødgoods

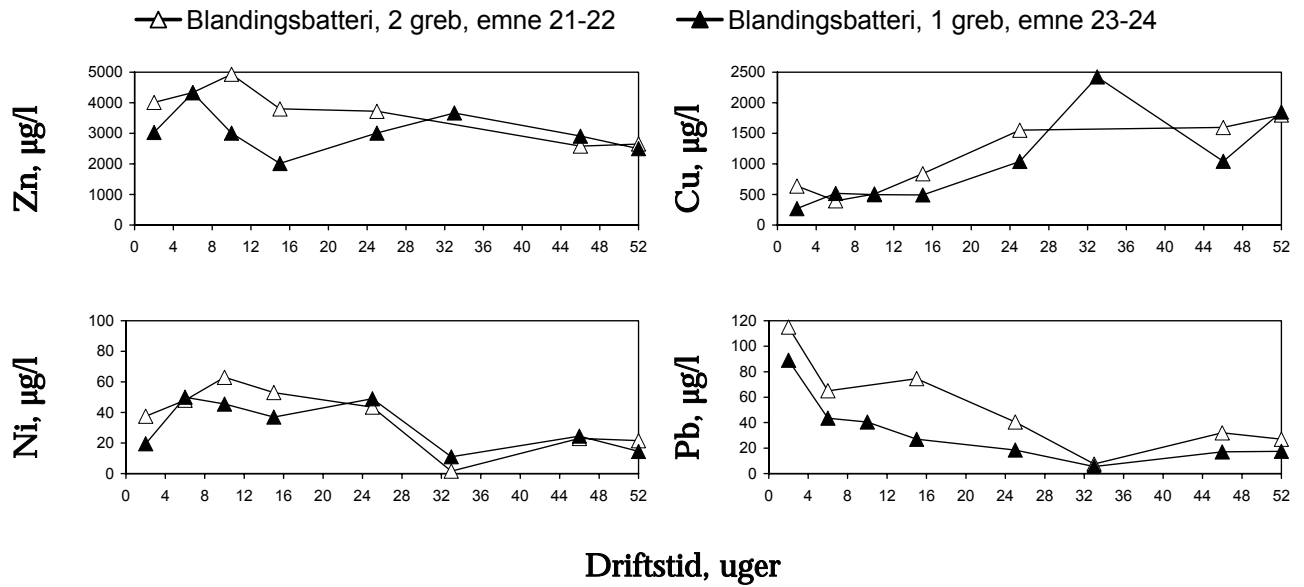
12 timers henstand



Driftstid, uger

Figur 29. Antimonafgivelse fra rødgoods efter henstand i 12 timer. De viste punkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

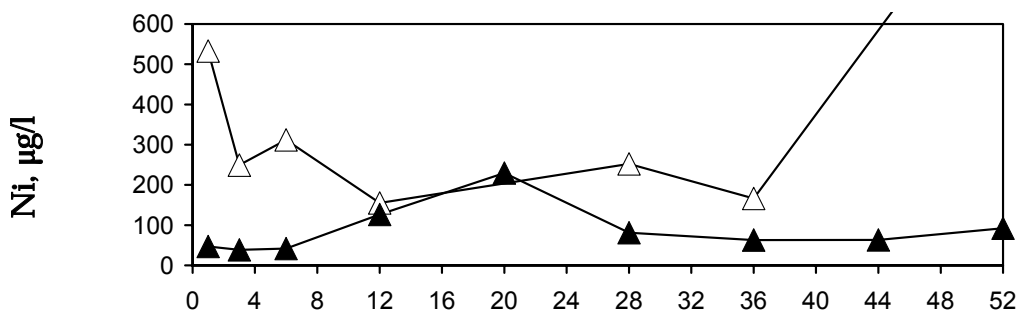
Forchromet messing, blandingsbatterier i Regnemark
Afgivelse af zink, nikkel, kobber og bly
12 timers henstand



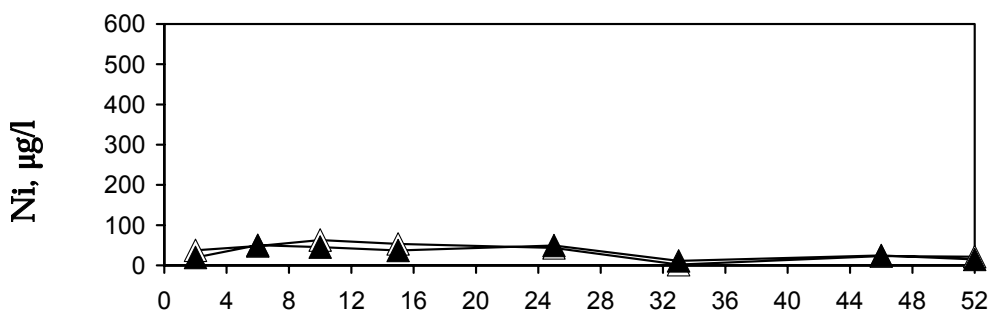
Figur 30. Nikkelafgivelse fra blandingsbatterier, emne 21-24, eksponeret areal udgør ca. 85 %, Regnemark (2002). De viste punkter er gennemsnit af 2 målinger.

**Afgivelse af nikkel fra forchromede blandingsbatterier i Regnemark
12 timers henstand**

—△— Blandingsbatteri, 2 greb, emne 21-22 —▲— Blandingsbatteri, 1 greb, emne 23-24



Blandingsbatterier, emne 21-24, areal udgør ca. 85 %, Regnemark, (1999)



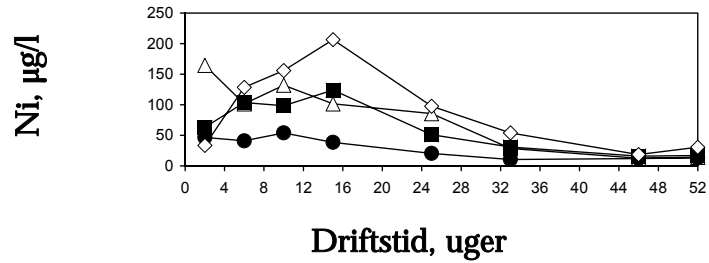
Blandingsbatterier, emne 21-24, Regnemark, (2002)

Driftstid, uger

Figur 31. Nikkelafgivelse fra blandingsbatterier, emne 21-24, areal udgør ca. 85 %, foto på figur 11. Efter prøvning i 1999 serien blev fabrikationsmetoden af blandingsbatterierne ændret, således at nikkelmængden på vandberørte overflader blev reduceret. I 2002 serien ses meget lavere nikkelfrigivelse, efter ét år < 25 µg/l ved 12 timers henstand. De viste punkter er gennemsnit af 2 målinger.

Afgivelse af nikkel fra vandmålere af forniklet messing
12 timers henstand

- ◇ Astrup 1.4 mmol/l HCO₃ ■ V. Gjesing-2.1 mmol/l HCO₃
● Lysholt-3.8 mmol/l HCO₃ △ Regnemark-6.3 mmol/l HCO₃



Figur 32. Nikkelafgivelse fra vandmålere med diverse fittings, emne 19/20, areal udgør 85 %, (2002). Se foto figur 5. Målt efter henstand i 12 timer. De viste punkter er gennemsnit af målinger på 2 emner.

6. Konklusion

- De udførte forsøg er rimelig repræsentative for forholdene i drikkevandsinstallationer. I praksis er der et stort variationsmønster.
- Fornyeede undersøgelser af metalafgivelse med ét års eksponeringstid i drikkevand (2002) viser samme tendens, som i forrige forsøg (1999). Metalafgivelsen er stærkt afhængig af vandkvalitet og er stigende med stigende indhold af bikarbonat, øvrigt saltindhold og ledningsevne. Materialerne varmforzinket stål, kobber og kobberlegeringer er undersøgt.
- Niveau for metalafgivelsen i det middelhårde vand i Lysholt, TRE-FOR ligger således højere end for de bløde vandtyper i Esbjerg (Astrup og Vester Gjesing) og lavere end det hårde vand i Regnemark, Københavns Energi.
- Kun nikkelafrivelsen synes ikke at følge ovennævnte mønster. Den synes næsten upåvirket af vandsammensætningen i de 4 vandtyper, dog med tendens til højere værdier i det bløde vand i Astrup.
- Kobberafgivelse fra kobberrør og zinkafgivelse fra varmforzinkede stålør testet i Lysholt opfyldte kravene i Miljøministeriets Bekendtgørelse (2001), hvilket ikke var tilfældet for samme materialer undersøgt tidligere i hårdere vand.
- Afgivelsen af bly, kobber og arsen er tilfredsstillende lav (d.v.s. opfylder Miljøministeriets krav i Bekendtgørelsen) fra kobberlegeringerne alm. messing, DZR-messing og rødgoods fremstillet som standardprøveemner og monteret i rør af rustfrit stål, dog er blyafgivelse ikke tilfredsstillende lavt før efter 3 måneder. Disse resultater er i overensstemmelse med tidligere udførte tyske forsøg. I testriggeren udgjorde armaturmaterialerne 15% af testrøret under prøven.
- Blyafgivelse kan reduceres væsentligt fra nye maskinbearbejdede overflader på kobberlegeringer ved en særlig vaskemetode.
- Afgivelse af nikkel er lav fra messing og DZR-messing. Den testede rødgoods var tillegeret meget nikkel (1,1%). Nikkelafrivelsen herfra var høj og kunne ikke opfylde Miljøministeriets Bekendtgørelse.
- De forbedrede egenskaber af den nu testede DZR-messing skyldes mange faktorer (herunder materialets varmebehandling under produktionsproces, emne geometri og test forhold)
- Et sammensat emne med vandmåler og afspærringsventil, som indeholdt både almindelig messing og DZR-messing, afgav i alle fire vandtyper bly, kobber og arsen i mindre mængde end DZR-messing. De forniklede dele gav anledning til en nikkelafrivelse, som efter et år kunne opfylde Miljøministeriets krav. Dette gælder, når vandværksvandet som udgangspunkt er fri for nikkel. Det skal imidlertid tages i betragtning, at nogle danske vandtyper er nikkelholdige.
- En anden variant af DZR-messing (A-metal) opfyldte i middelhårdt vand (Lysholt) Miljøministeriets krav. Emnet har kun været prøvet i form af fordelerrør.
- Variation i fabrikationsmetode for 2 typer blandingsbatterier gav forbedrede egenskaber m.h.t. nikkelafrivelse i Regnemark vand. Blandingsbatterierne kunne i den ny udførelse opfylde Miljøministeriets krav.

7. Litteraturliste

1. Miljøprojekt 603 2001, K. Nielsen, Metalafgivelse til drikkevand, rig-tests af materialer til husinstallationer, Miljøstyrelsen 2001.
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 af 16. oktober 2001.
4. Mattsson, E., Elektrokemi och korrosionslära, Bulletin nr. 100, Korrosionsinstitutet Stockholm, 1987.
5. Nielsen, K: Metalafgivelse i drikkevand, Vandteknik, januar 2000
6. Nielsen, K., Prevention of internal/external corrosion, 20th International Water Supply Congress, IWSA, Durban, September 1995.
7. Co-normative research on test methods for materials in contact with drinking water, European Commission, bcr information, chemical analysis, EUR 19602 EN, 2000.
8. DIN 50931-1, Korrosionsversuche mit Trinkwässern, Teil 1: Prüfung der Veränderung der Trinkwasserbeschaffenheit, November 1999.
9. Nielsen, K. og Yding, F., Kobber i drikkevand, Bygge- og Boligstyrelsen, København, Rapport juni 1997.
10. Nielsen, K., Copper Release from Pipes in High Alkalinity Water, International workshop and seminar, Chalmers University of Technology, Göteborg, May 1995.
11. Becker, A., Kruse, C.-L., Patzelt, T. und Overath, H.: Wasserzeitige Möglichkeiten zur Reduzierung der Kupferabgabe aus Hausinstallationen in der Trinkwasser, Materials and Corrosion 47, 89-95, 1996
12. Nielsen, K., Pilot project on copper investigation of 10 houses in Copenhagen. Data tables. FORCE Institute, Brøndby, Denmark, May 5, 1999.
13. von Franqué, O., E.Meyer and Sauter, W., Field Trials to assess Metallic Materials in Contact with Drinking Water. Umweltbundesamt, Berlin June 2000.
14. Eckert Meyer, personal communication.
15. K.Nielsen, Comparison of Metal Release for Copper Alloys in drinking Water by German and Danish Dynamic tests. CEN, TC 164, WG 3, AHG5. Work document no. 237 and 238, December 2003.
16. Nielsen, K. and A. Andersen, Metal release from domestic water installations, CEOCOR, Biarritz, october 2001.
17. Andersen, A. and K. Nielsen, Nickel release from domestic water installations, CEOCOR, Giardini Naxos, May 2003.
18. Andersen, A., F. Fontenay and K. Nielsen, Metal release in drinking water from copper alloys, NKM 13, Reykjavik, April 2004.

1 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		stagnation
		50 µg/l	weekly average
Nikkel	20 µg/l	20 µg/l	weekly average

Maximum allowed values at the consumers tap.

The most important thresholds for metal release according to EU Drinking Water Directive (1) and Danish National regulation (2) are given above.

1. TEST METHOD

Danish Test rig, Metal release to drinking water

Design of test rig

24 test-items are installed in the test rig in a plastic pipe system with plastic stop valves and tap valves. The structural design of the testing allows simulated use of water and sampling of stagnated water from each test-item separately. ABS-plast jointed by gluing is used for pipes, fittings, air escape valves, stop valves and tap valves in the test rig.

The water pressure is controlled at 3 BAR by a regulation valve at the inlet. There is simulated use of water. A timer for systematic water outlet controls the flow regime. Test rigs are placed at the waterworks, where the alternations of the water composition are limited and the room temperature is stable and low. The water temperature at the inlet is a little lower, 10 - 12°C throughout the year.

The pipe arrangement in the test rig is shown in the figure below.

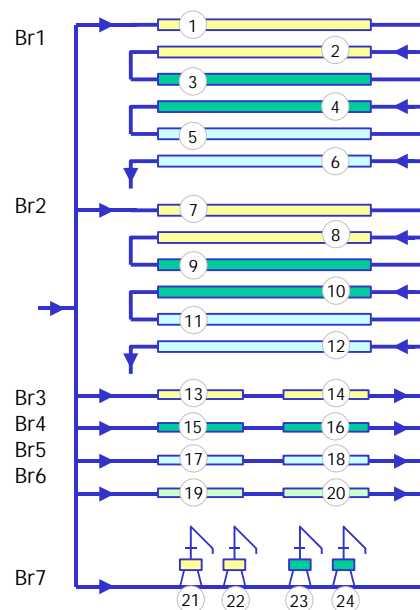


Figure of test rig

Schematic sketch of the Danish test rig. The test-items nos. are illustrated.

Arrangement of metallic test pieces (pipes, fittings and valves)

All pieces are tested in duplicate. Test pieces made of the same group of materials are placed in series in the test rig. Test pieces of various groups of material are placed in parallel. Thus the test rig contains 7 parallel branches.

Example 1

In the first test-run May 1999 - May 2000 the test samples were distributed as follows (from top):

- Branch 1: 2 x 3 stainless steel pipes, pieces 1 - 6
- Branch 2: 2 x 3 galvanised steel pipes, pieces 7 - 12
- Branch 3: 2 joined items of brass valve bodies, pieces 13 - 14
- Branch 4: 2 brass manifolds, pieces 15 - 16
- Branch 5: 2 joined items of DZR brass valve bodies, pieces 17-18
- Branch 6: 2 joined items made of chromium plated brass ball valves, pieces 19-20*
- Branch 7: 2 x 2 mixer taps of chromium plated brass, pieces 21-24**

* The valves are tested in full open position

** The mixer taps have got open valves in the daily service condition. This means that water is streaming out in an open drip tray when the timer activates the automatic stop valve for the test rig. When the water is stagnant in the daily flow regime, the spout in the mixer taps will be full of water, if there is no space of air in the spouts. The water sampling for analysis is done backwards from the tap valve placed on the pipe below the mixer taps.

Procedure

In the first test run, May 1999 - May 2001, the four test-rigs were placed at 4 different waterworks with a variety in water composition. The exposed test pieces were identical at the four sites.

In the second test run, March 2002 – March 2003, the test rigs were again placed at 4 water works, but one rig was moved to another water work.

In the second test run only 2 x 4 test pieces were identical in the 4 water works. 2 x 6 test pieces were a continuation of pieces from the first test run. They were exposed in a prolonged period of approximately 4 years. Some test pieces were tested in one water work only.

Service conditions for test rigs

For simulating daily use of water, a flow regime of two times 15 minutes in 24 hours is chosen. The rest of the time the water is stagnant. The flush of the system is made at 8 a.m. and at 4 p.m. The average use of water on a test rig is approximately 1400 l per day. The water is distributed in the 7 branches in the test rig. Each branch varies internally in geometry and length and therefore the pressure-loss, water amount and velocity vary. The average amount of water flowing in a branch is 200 litres per day and in many items the velocity is around 0.6 m/s. While the condition stagnation time/flow time is constantly 23½hour/½hour, the amount of water passing is variable and the velocity is not exactly the same in all items. Yet, every exposure represents a situation in a practical system, where the variations are numerous. But the structural design determines a test, where the precise exposure of an item is not completely comparable to another item in the test-rig.

Sampling of stagnation water

12 hours stagnation test

12 hours stagnation tests were sampled 9 times over the one-year exposure period in first test run and 8 times in the second test run. The measurements were most frequent in the first months, when the changes in metal release were extensive.

Before sampling the motor valve was switched to manual mode. Then the test rig was flushed with water for 10 minutes and water samples for blind metal analysis and water samples for the water parameter analyses pH, HCO_3^- , Cl^- and conductivity were taken.

Then the other valves were closed, the water pressure was closed and all stop valves among the test pieces were closed. 12 hours later the test-pieces were successively emptied for water. The water was sampled in rinsed and pre-marked plastic bottles. The first 50 ml of water from the plastic taps was thrown away. For branches 1 and 2, the sampling was made with start from the top of the test rig after the air escape valve had been opened.

Short period stagnation measurements (run time curves)

After one year in operation, all waterworks in the first run made series of short period stagnation measurements at ½h, 2hrs, 4 hrs, 8 hrs and 12 hrs. The tests were made in the same way as the 12 hours stagnation sampling only the period of stagnation was shortened.

The test rig is not designed for ½h stagnation sampling. The stagnation time has not been exact for the ½h samples, thus these samples are much more subjected to inaccuracy than are the other measurements.

Chemical analyses

The metal analyses of the water samples were made at an accredited laboratory by atomic absorption to the detection limits:

0,01	µg/l	for Cd
0,1	µg/l	for As, Pb, Su, Cr, Ni and Mo
0,2	µg/l	for Sb
50	µg/l	for Cu
100	µg/l	for Zn

No.	Material	Test piece/origin	Alloy	Dimension, diameter, d	Dimension, length, l	Water volume ml	Volumen ratio, Test piece/ pipe Approx. %	Testrigns placement, water works
1/2	$\alpha\beta$ -brass, extruded and machined	2 test pieces, DIN50931-1, mounted in pipes of stainless steel, 316L. German Manufacturer. [13]	CuZn40Pb2	15/13 pipes 24/17 mm test pieces	test pipe: 140 cm testpieces 2x10 mm	23/202	15	4 water types Astrup, V.Gjesing, Lysholt, Regnemark
3/4	DZR-brass extruded and machined	2 test pieces, DIN50931-1, mounted in pipes of stainless steel, 316L. German Manufacturer. [13]	CuZn36Pb2As	15/13 pipes 24/17 mm test pieces	test pipe: 140 cm testpieces 2x10 mm	23/202	15	4 water types Astrup, V.Gjesing, Lysholt, Regnemark
5/6	Gunmetal, cast	2 test pieces, DIN50931-1, mounted in pipes of stainless steel, 316L. German Manufacturer. [13]	CuSn5Zn5Pb5-C, Ni: 1,1 %	15/13 pipes 24/17 mm test pieces	test pipe: 140 cm testpieces 2x10 mm	23/202	15	4 water types Astrup, V.Gjesing, Lysholt, Regnemark
7/8	Galvanised steel	Pipe. Swedish	0,05 % Pb in zinc layer	1/2" 22/16	140 cm	280	85	Lysholt
9/10	Galvanised steel	Pipe. British/Netherland	0,7 % Pb in zinc layer	1/2" 22/16	140 cm	280	85	Lysholt
11/12	Galvanised steel with DZR-brass fitting	Pipe as 7/8. Swedish. Fitting as 3/4 (standard)	0,05 % Pb in zinc layer	1/2" 22/16	140 cm	280	85	Lysholt
13/15	Copper Cu-PHCE	Pipe. English	Phosphordesoxydised copper, hard > 99,99% Cu	15/13 mm	140 cm	180	85	Lysholt
17/18	DZR-brass , A-metal	3 x manifold with screw caps	CuZn33Pb2Si-C	3/4"		158	85	Lysholt
19/20	A variety of brasses . $\alpha\beta$ -brass, DZR-brass, some Ni-plated	2 x Watermeters with fittings and stop-valves	CuZn40Pb2 and CuZn36Pb2As	3/4"		152	85	4 water types, Astrup, V.Gjesing, Lysholt, Regnemark
21/22	Chromium-nickel plated brass	Mixer tap valve 2-grips	CuZn40Pb2			130	85	Regnemark
23/24	Chromium-nickel plated brass	Mixer tap valve 1-grip	CuZn40Pb2			160	85	Regnemark

No.	Material	Test piece	% Pb	% Zn	% Ni	% Cd	% Sn	% Cu	% As	Sb	Other
1/2	$\alpha\beta$ -brass CuZn40Pb2	Test pieces x 2 placed in pipes of stainless steel, 316 L	2,1	39,1	0,003	0,002	0,01	59,8	<0,01	0,008	Chemical analysis according to [13]
3/4	DZR-brass CuZn36Pb2As	Test pieces x 2 placed in pipes of stainless steel, 316 L	1,8	35,8	0,02	0,001	0,05	61,4	0,14	0,002	Chemical analysis according to [13]
5/6	Gunmetal, cast CuSn5Zn5Pb5-C	Test pieces x 2 placed in pipes of stainless steel, 316 L	4,7	4,5	1,1	<0,001	4,7	85,6	0,012	0,12	Chemical analysis according to [13]
7/8	Galvanised steel	Pipe, Zinc layer (XRF):	0,05								
9/10	Galvanised steel	Pipe, Zinc layer (XRF):	0,7								
11/12	Galvanised steel with one DZR-brass fitting	Pipe, Zinc layer (XRF):	0,05								
13/15	Copper, Cu-PHCE > 99,99% Cu	Pipe									
17/18	DZR-brass A-metal, CuZn33Pb2Si-C	Manifolds x 3 Screw caps x 9	1,5	28	0,37		0,35	63,8	0,05	0,0077	Si: 0,71 % Fe: 0,32 % Al: 0,044 %
19/20	A variety of brasses , some nickel plated	Water meter* x 2 Stop valve* x 2 Fittings x 4									* Nickel plated
21/22	Chromium-nickel plated brass, CuZn40Pb2	Mixer tap valve 2-grips									Special production to reduce nickel at internal surfaces
23/24	Chromium-nickel plated brass, CuZn40Pb2	Mixer tap valve 1-grip									Special production to reduce nickel at internal surfaces

No.	Materiale	Emne/oprindelse	Legeringstype	Dimension, d	Dimension, l	Vand- mængde	Overflade/volum en cm ² /ml	Andre oplysninger
1/2	Rustfrit stål	Rør, tysk	X5CrNiMo 17-12-2	15/13 1 mm	140 cm	180 ml	3,2	
3/4	Rustfrit stål	Rør med fittings, tysk	X5CrNiMo 17-12-2	15/13 1 mm	140 cm	180 ml	3,2	
5/6	Rustfrit stål med fortinnede fittings af kobberlegeringer	Rør med fittings, 1 stk. Cu og 2 stk. RG5. Lagtykkelse tinlag 1-2 μ , tysk	X5CrNiMo 17-12-2 Rødgods: CuSn3Zn8 Pb5 med 2,7% Ni	15/13 1 mm	140 cm	185 ml	3,2	
7/8	Varmforzinket stål	Rør, britisk	0,9% Pb i zinklag	½” 22/16	140 cm	280 ml	2,5	
9/10	Varmforzinket stål	Rør, Luxembourg	0,3% Pb i zinklag	½” 22/16	140 cm	280 ml	2,5	
11/12	Varmforzinket stål	Rør, tjekkisk	0,4% Pb i zinklag	½” 22/16	140 cm	280 ml	2,5	
13/14	Messing	6 x ventilhuse & muffe, dansk	CuZn37 Pb2	½”	54 cm	115 ml	Stor	
15/16	Messing	Fordelerrør med propper, italiensk	CuZn35 Pb1,3	30/26	50 cm	235 ml	1,6	
17/18	Afzinkningsbestandig messing	6 x ventilhuse & muffe, dansk	CuZn35 Pb2* As 0,09	½”	48 cm	150 ml	Stor	
19/20	Forchromet messing	6 x kugleventiler, dansk	CuZn40 Pb1,5 Forniklet kugle	3/4”	29 cm	55 ml	3,3	
21/22	Forchromet messing	Blandingsbatteri to-greb, dansk	Delvis forniklet indiv. Trukket tud			130 ml		Kobberrør, loddet. (38 cm, 10/8,4 mm)
23/24	Forchromet messing	Blandingsbatteri, et-greb, dansk	Delvis forniklet indiv. Støbt tud			160 ml		Kobberrør, loddet. (38 cm, 10/8,4 mm) De fleste forniklede

No.	Materiale	Emne	% Pb	% Zn	% Ni	% Cr	% Mo	% Sn	% Cu	% As	Andet
1/2	Rustfrit stål	Rør			10,76	16,83	2,08				C: 0,032
3/4	Rustfrit stål	Rør			10,60	16,82	2,04				C: 0,034
5/6	Rustfrit stål m.fortinnede samlinger af kobber og rødgods	Fittings: a: T-stykke, x 1 b: overgangsstk. x2 EDX, AH EDX, JBM	3,7 3,0	8,9 9,0	2,6 2,7				(100) 2,5 2,8		Fortinnet 1-2 µm udv./indv. Fortinnet 1-2 µm udv./indv.
7/8	Varmforzinket stål	zinklag: overflade:	0,88 (0,95)								
9/10	Varmforzinket stål	zinklag:	0,30								
11/12	Varmforzinket stål	zinklag:	0,43								
13/14	Messing	ventilhuse x 6 muffer x 5 overgangsstk. x 1	1,7 2,9 1,5	37,3 36,9 39,9	0,08 0,05				60,5 59,8 58,5	0,012 0,012	Tynd fornklingslag på yderside af ventil-huse. (efterfølgende indvendig maskin-bearbejdet)
15/16	Messing	fordelerrør x 1 propper x 8 overgangsstk x 2	1,3 2,1 1,5	36* 36,1 39,9	0,05 0,12				61,8* 60,9 58,5	0,006 0,006	0,24% Fe; analyse vi-ser:ikke afzinknings-beständig messing
17/18	Afzinkningsbe- standig messing	ventilhuse x 6 muffer x 5	1,9 2,0	35* 35*	0,01 0,01				62,7* 62,5*	0,087 0,054	Tynd fornklingslag på yderside af ventilhuse. (efterfølgende indven- dig maskinbearbejdet)
19/20	Forchromet messing	kugleventil, hus x 6 kuglevent.,kugle x6 overgangsstk. x 1	1,2 1,9 1,5	39,6 39,2 39,9					59,2 58,9 58,5		Hus: forchromet udv., Cr, Ni Indv., yderst Cr, Ni Indv., inderst, Ni Kugle: 5 µm Ni, indv./udv.
21/22	Forchromet messing	Blandingsbatteri, To-greb									
23/24	Forchromet messing	Blandingsbatteri, Et-greb massiv kerne:	2,5	37*	0,06				60*		Lodning: Ag-baseret (CuZn) Massiv messing kerne: Forniklet

1 Chemical analysis of Drinking Water for Testing, Water Quality

1.1 ASTRUP VANDVÆRK

Table 1. Water quality at Astrup Waterworks analysed 1998-2000.

Parameter		Sampled on 04-14-1998	Sampled on 05-04-1999	Sampled on 05-16-2000
Temperature	°C	-	8,8	9,0
pH		7,47	7,50	8,2
Conductivity	mS/m	30,08	30,9	31,2
Permanganate number (KMnO ₄)	mg/l	< 1	1,9	< 4
NVOC	mg/l	-	-	-
Total saltes	mg/l	200	190	198
Total hardness	°dH	5,25	5,65	5
Permanent hardness	°dH	1,95	1,70	1,3 ^{1.)}
Carbonate hardness	°dH	3,30	3,95	3,7 ^{1.)}
Calcium precipitation	°dH	< 5 mg/L	< 5 mg/L	-
Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	30,3	33	31,8
Magnesium (Mg ⁺⁺)	mg/l	4,4	4,2	4,20
Sodium (Na ⁺)	mg/l	21,6	20	21,6
Potassium (K ⁺)	mg/l	1,8	1,7	1,70
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	< 0,005	< 0,005	0,014
Alkalinity, total (TA)	mmol/ l	1,18	1,41	1,3 ^{1.)}
Hydrogencarbonat (HCO ₃ ⁻)	mg/l	72	86	81
Chloride (Cl ⁻)	mg/l	33,1	30,6	31,3
Sulphate (SO ₄ ⁻)	mg/l	37,5	31,4	34
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	< 0,1	0,1	< 0,1
Phosphor - total (P)	mg/l	0,005	0,008	0,032
Silicon dioxide (SiO ₂)	mg/l	18	21	-
Oxygen (O ₂)	mg/l	9,3	8,9	10
Excess carbon dioxide, (CO ₂)	mg/l	3	< 2	< 2

1.) Calculated value.

Table 2. Water quality at Astrup Waterworks analysed 2001-2003.

Parameter		Sampled on 05-04-2001	Sampled on 03-20-2002	Sampled on 03-18-2003
Temperature	°C	-	8,6	8,6
pH		7,9	8,0	7,5
Conductivity	mS/m	30,6	32,2	31,1
Permanganate number (KMnO ₄)	mg/l	<4	-	-
NVOC	mg/l	0,31	0,24	0,35
Evaporation residue	mg/l	182	161	191
Total hardness	°dH	6	6	6
Permanent hardness	°dH	2,1 ^{1.)}	2,2 ^{1.)}	2,2 ^{1.)}
Carbonate hardness	°dH	3,9 ^{1.)}	3,8 ^{1.)}	3,8 ^{1.)}
Calcium precipitation	°dH	-	-	-
Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	39	33,6	32,8
Magnesium (Mg ⁺⁺)	mg/l	4,3	4,5	4,0
Sodium (Na ⁺)	mg/l	20	21,2	20,9
Potassium (K ⁺)	mg/l	1,6	1,7	1,7
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	<0,0065	<0,0065	<0,0065
Alkalinity, total (TA)	mmol/ l	1,4 ^{1.)}	1,3 ^{1.)}	1,3 ^{1.)}
Hydrogencarbonat (HCO ₃ ⁻)	mg/l	85	82	82
Chloride (Cl ⁻)	mg/l	29,4	31,3	31
Sulphate (SO ₄ ⁻)	mg/l	31	38	34
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1
Phosphor - total (P)	mg/l	<0,005	0,012	0,020
Silicon dioxide (SiO ₂)	mg/l	-	-	-
Oxygen (O ₂)	mg/l	8,1	10	11
Excess carbon dioxide, (CO ₂)	mg/l	<2	<2	6

1.) Calculated value.

1.2 VESTER GJESING VANDVÆRK

Table 3. Water quality at Vester Gjesing Waterworks analysed 1998-2000.

Parameter		Sampled on 05-05-1998	Sampled on 04-26-1999	Sampled on 05-02-2000
Temperature	°C	-	8,7	9,1
pH		7,69	7,61	7,8
Conductivity	mS/m	37,0	37,4	37,5
Permanganate number (KMnO ₄)	mg/l	< 1	1,4	< 4
NVOC	mg/l	-	-	-
Evaporation residue	mg/l	230	230	221
Total hardness	°dH	7,90	7,84	8
Permanent hardness	°dH	2,13	2,13	2,0 ^{1.)}
Carbonate hardness	°dH	5,77	5,71	6,0 ^{1.)}
Calcium precipitation	°dH	< 5 mg/L	< 5mg/L	-
Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	50	50	51
Magnesium (Mg ⁺⁺)	mg/l	3,8	3,8	5
Sodium (Na ⁺)	mg/l	19	19	20
Potassium (K ⁺)	mg/l	1,7	1,7	1,8
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	< 0,005	< 0,005	0,0090
Alkalinity total (TA)	mmol/ l	2,06	2,04	2,1 ^{1.)}
Hydrogencarbonat (HCO ₃ ⁻)	mg/l	130	120	130
Chlorid (Cl)	mg/l	31,0	30,8	30,3
Sulphate (SO ₄ ⁻)	mg/l	36,8	35,3	34
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	0,1	< 0,1	0,16
Phosphor - total (P)	mg/l	0,010	0,010	0,023
Silicon dioxide (SiO ₂)	mg/l	18	19	-
Oxygen (O ₂)	mg/l	10	11	11
Excess carbon dioxide, (CO ₂)	mg/l	< 2	< 2	< 2

1.) Calculated value

Table 4. Water quality at Vester Gjesing Waterworks analysed 2001-2003.

Parameter		Sampled on 04-30-2001	Sampled on 03-12-2002	Sampled on 03-2003
Temperature	°C	-	8,4	8,6
pH		7,7	7,7	7,3
Conductivity	mS/m	37,6	36,7	35,31
Permanganate number (KMnO ₄)	mg/l	<4	-	-
NVOC	mg/l	0,37	0,42	0,39
Evaporation residue	mg/l	154	242	227
Total hardness	°dH	8	8	8
Permanent hardness	°dH	2,3 ^{1.)}	2,3 ^{1.)}	2,3 ^{1.)}
Carbonate hardness	°dH	5,7 ^{1.)}	5,7 ^{1.)}	5,7 ^{1.)}
Calcium precipitation	°dH	-	-	-
Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	49	48	49,9
Magnesium (Mg ⁺⁺)	mg/l	3,6	3,7	3,7
Sodium (Na ⁺)	mg/l	20	19	19,6
Potassium (K ⁺)	mg/l	1,7	1,5	1,5
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	<0,0065	<0,0065	<0,0065
Alkalinity total (TA)	mmol/ l	2,0 ^{1.)}	2,0 ^{1.)}	2,0 ^{1.)}
Hydrogencarbonat (HCO ₃ ⁻)	mg/l	124	123	124
Chlorid (Cl)	mg/l	30,9	30,4	30
Sulphate (SO ₄ ⁻)	mg/l	34	33	32
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1
Phosphor - total (P)	mg/l	0,010	0,015	0,024
Silicon dioxide (SiO ₂)	mg/l	-	-	-
Oxygen (O ₂)	mg/l	11	11	10
Excess carbon dioxide, (CO ₂)	mg/l	<2	<2	<2

1.) Calculated value

1.3 LYSHOLT VANDVÆRK

Table 5. Water quality at Lysholt Waterworks analysed 2000-2002.

Parameter		Sampled on 12-04-2000	Sampled on 11-20-2001	Sampled on 03-12-2002
Temperature	°C	8,5	8,5	8,3
pH		8,1	8,1	8,0
Conductivity	mS/m	51	54,6	53,8
Permanganate number (KMnO ₄)	mg/l	9,7	3,2	2,9
NVOC	mg/l	1,4	1,3	1,1
Evaporation residue	mg/l	316	328	321
Total hardness	°dH	13	14	13
Permanent hardness	°dH	2,5 ^{1.)}	2,5 ^{1.)}	1,2 ^{1.)}
Carbonate hardness	°dH	10,5 ^{1.)}	11,5 ^{1.)}	11,8 ^{1.)}
Calcium precipitation	°dH	-	-	-
Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	82	89	78
Magnesium (Mg ⁺⁺)	mg/l	5,5	6,8	7,1
Sodium (Na ⁺)	mg/l	15	19	20
Potassium (K ⁺)	mg/l	2,0	2,8	2,9
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005
Alkalinity total (TA)	mmol/ l	3,8 ^{1.)}	4,1 ^{1.)}	4,2 ^{1.)}
Hydrogencarbonat (HCO ₃ ⁻)	mg/l	229	250	257
Chlorid (Cl)	mg/l	23,0	23,3	24,2
Sulphate (SO ₄ ⁻)	mg/l	47	44	37
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	0,60	<1,0	1,1
Phosphor - total (P)	mg/l	0,011	0,012	0,017
Silicon dioxide (SiO ₂)	mg/l	-	-	-
Oxygen (O ₂)	mg/l	10,3	10,9	10,4
Excess carbon dioxide, (CO ₂)	mg/l	<2	<2	<2

1.) Calculated value.

Table 6. Water quality at Lysholt Waterworks analysed 2002-2003.

Parameter		Sampled on 10-24-2002	Sampled on 09-30-2003
Temperature	°C	9,0	9,8
pH		8,1	8,0
Conductivity	mS/m	52,6	53,6
Permanganate number (KMnO ₄)	mg/l	-	-
NVOC	mg/l	1,3	1,3
Evaporation residue	mg/l	323	336
Total hardness	°dH	13	14
Permanent hardness	°dH	2,2 ^{1.)}	3,4 ^{1.)}
Carbonate hardness	°dH	10,8 ^{1.)}	10,6 ^{1.)}
Calcium precipitation	°dH	-	-
Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	80	91
Magnesium (Mg ⁺⁺)	mg/l	6,4	5,6
Sodium (Na ⁺)	mg/l	16	13
Potassium (K ⁺)	mg/l	2,3	2,0
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	<0,005	<0,005
Alkalinity total (TA)	mmol/l	3,9 ^{1.)}	3,8 ^{1.)}
Hydrogencarbonat (HCO ₃ ⁻)	mg/l	235	232
Chlorid (Cl ⁻)	mg/l	21,4	21,3
Sulphate (SO ₄ ⁻)	mg/l	46	62
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	1,1	<1,0
Phosphor - total (P)	mg/l	0,007	0,044
Silicon dioxide (SiO ₂)	mg/l	-	-
Oxygen (O ₂)	mg/l	10,7	9,2
Excess carbon dioxide, (CO ₂)	mg/l	<2	<2

1.) Calculated value

1.4 REGNEMARK, KØBENHAVNS ENERGI

Table 7. Water quality at Regnemark Waterworks analysed 1998-2000.

Parameter		Sampled on 12-21-1998	Sampled on 02-23-1999	Sampled on 04-26-2000
Temperature	°C	8,9	8,3	8,8
pH ^{1.)}		7,49	7,41	7,79
Conductivity ^{1.)}	mS/m	75,5	78,1	78,5
Permanganate number (KMnO ₄)	mg/l	4,2	6,8	8,8
NVOC	mg/l	-	-	-
Evaporation residue	mg/l	627	635	697
Total hardness	°dH	22,6	24,2	22,5
Permanent hardness	°dH	5,3	6,7	5,2
Carbonate hardness	°dH	17,2	17,5	17,3
Calcium precipitation ^{1.)}	°dH	0,9	1,0	1,1
Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	120	132	123
Magnesium (Mg ⁺⁺)	mg/l	25	25	23
Sodium (Na ⁺)	mg/l	65	65	62
Potassium (K ⁺)	mg/l	5,8	5,6	5,7
Alkalinity total (TA)	mmol/ l	6,14	6,25	6,18
Hydrogencarbonat (HCO ₃ ⁻)	mg/l	375	381	377
Chlorid (Cl)	mg/l	100	110	99
Sulphate (SO ₄ ⁻)	mg/l	86	91	122
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	1,0	2,6	2,5
Phosphor - total (P)	mg/l	-	< 0,0050	< 0,0050
Silicon dioxide (SiO ₂)	mg/l	26	27	27
Oxygen (O ₂)	mg/l	8,7	8,9	8,8
Excess carbon dioxide, (CO ₂) ^{1.)}	mg/l	0	0	0

1.) Measured at 12°C

Table 8. Water quality at Regnemark Waterworks analysed 2001-2003.

Parameter		Sampled on 09-24-2001	Sampled on 03-04-2002	Sampled on 08-19-2003
Temperature	°C	9,3	8,6	9,4
pH ^{1.)}		7,25	7,7	7,4
Conductivity ^{1.)}	mS/m	75,0	78	79
Permanganate number (KMnO ₄)	mg/l	5,7	-	-
NVOC	mg/l	2,42	2,27	2,60
Evaporation residue	mg/l	646	639	671
Total hardness	°dH	21,9	21,7	22,1
Permanent hardness	°dH	4,8	4,7	4,9
Carbonate hardness	°dH	17,1	17,0	17,2
Calcium precipitation ^{1.)}	°dH	1,2	1,3	1,5
Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	120	114	120
Magnesium (Mg ⁺⁺)	mg/l	22	25	23
Sodium (Na ⁺)	mg/l	69	65	60
Potassium (K ⁺)	mg/l	6,4	6,0	6,0
Alkalinity total (TA)	mmol/ l	6,10	6,06	6,15
Hydrogencarbonat (HCO ₃ ⁻)	mg/l	372	370	375
Chlorid (Cl)	mg/l	108	109	106
Sulphate (SO ₄ ⁻)	mg/l	79	88	83
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	2,5	2,5	2,6
Phosphor - total (P)	mg/l	0,0050	<0,01	<0,01
Silicon dioxide (SiO ₂)	mg/l	26	12	21
Oxygen (O ₂)	mg/l	8,57	9,51	8,9
Excess carbon dioxide, (CO ₂) ^{1.)}	mg/l	<2	<2	<2

1.) Measured at 12°C

2. Chemical Analysis on actual Test Days

pH (DS 287)								
Week	Astrup		Vester Gjesing		Lysholt		Regnemark 12°C	
	On-site	At lab.	On-site	At lab.	On-site	At lab.	On-site	At lab.
95	7,9		7,8					7,5
104	7,8		7,7					
2 /147		7,8		7,7		7,9		7,5
6		6,1		7,7		7,9		7,4
10		7,7		7,6		7,8		7,9
15 /160		7,7		8,0		7,9		7,4
25	7,8	7,6	7,8	7,6	7,6 *1	7,8	7,4	7,6
33 /178	8,0	7,7	7,8	7,6	7,6 *2	7,8		
46	7,9	7,7	7,8	7,7	7,7 *3	8,0		7,5
52/ 197	8,2	7,4	7,7	7,5	7,7 *4	7,8		7,5

*1= temperature at 10,9°C, *2 = temperature at 8,8°C, *3 = temperature at 8,0°C, *4 =temperature at 7,8°C

Conductivity ms/m								
Week	Astrup		Vester Gjesing		Lysholt		Regnemark 12°C	
	On-site	At lab.	On-site	At lab.	On-site	At lab.	On-site	At lab.
95		30,4		37,6				77,8
104		30,5		37,6				73,7
2 /147		32,1		37,1		54,2		75,4
6		31,5		37,1		52,8		75,9
10		31,8		36,6		52,2		72,9
15 /160		30,3		36,5		53,6		77,2
25		30,6		35,9		53,9		80,0
33 /178		29,1		34,5		53,3		
46		31,5		36,9		53,5		76,8
52/ 197		30,2		35,5		52,0		77,2

Alkalinity mmol/l								
Week	Astrup		Vester Gjesing		Lysholt		Regnemark	
	On-site	At lab.	On-site	At lab.	On-site	At lab.	On-site	At lab.
95		1,3		2,0				6,3
104		1,3		2,0				6,2
2 /147		1,3		2,1		4,1		6,3
6		1,4		2,0		4,0		6,3
10		1,4		2,0		4,0		6,2
15 /160		1,3		2,0		4,1		6,1
25		1,4		2,0		4,1		
33 /178		1,5		2,1		3,8		
46		1,4		2,0		3,8		6,0
52/ 197		1,4		2,0		3,8		6,1

Appendix D

Chloride mg/l								
Week	Astrup		Vester Gjesing		Lysholt		Regnemark	
	On-site	At lab.	On-site	At lab.	On-site	At lab.	On-site	At lab.
95		30		31				116
104		31		32				101
2 /147						21		96
6						24		105
10						22		84
15 /160						21		103
25						24		
33 /178						22		101
46						18		102
52/ 197						23		104

1. Analysis of Trace Elements in Drinking Water

Principle:

Pre-treatment: All aqueous samples are preserved with suprapur nitric acid at $\text{pH} < 2$ and kept at room temperature.

Analysis:

As, Pb; Cd, Cr, Cu, Zn. The samples shall be analysed by using high-resolution inductively coupled plasma mass spectrometry (HR-ICPMS), using the standard addition method and clean-room techniques shall be applied.

Ni, Sn, Mo: The samples shall be analysed directly by use of atomic absorption spectrometry with graphite oven techniques (ETAAS) and background correction and standard addition techniques shall be applied.

Zn (high level), Cu (high level), Pb (high level), Ni (high level): The elements shall be analysed directly by means of inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES), and measurements are made by use of a calibration curve.

References:

Measurements at HR-ICPMS: U.S. Environmental Protection Agency method 200.8:1991: Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma – mass spectrometry.

Measurements by ETAAS: Danish Standard DS 2211, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 3113 A+B, 18th edition (1992 + 1994). Perkin Elmer Analytical Techniques for Furnace Atomic Absorption Spectrometry 1984.

Measurements by ICP-AES: DS/EN ISO 11885 Water Quality-Determination of 33 elements by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy. 1st Ed. 1998.

Internal quality control:

The results have been checked by simultaneous analysis of certified reference materials.

Analysis uncertainty:

At a control check analysis, the analysis uncertainty found is, CV_{total} of 2-8%.

1. Comparison of German and Danish Tests and Results,

Metal Release from Copper Alloys

- Standard test pieces, DIN 50931-1 [8]
- Material composition, chemical analysis [13]
- Water composition
- Selected German results [14]
- Comparison of test conditions and results [15]

Standard Test Pieces

Table 2.2.3. Percentage mass composition of the test materials

Code	EN designation	Pb	Ni	Cu	Zn	Sn	Cd	As	Sb
C	CuZn40Pb2	2.1	0.003	59.8	39.1	0.01	0.002	<0.01	0.008
D	CuZn39Pb3	2.7	0.06	57.5	38.4	0.18	0.003	0.006	0.009
E	CuZn36Pb2As	1.8	0.02	61.4	35.8	0.05	0.001	0.14	0.002
F	CuSn5Zn5Pb5-C	4.7	1.1	85.6	4.5	4.7	<0.001	0.012	0.12
G	CuSn5Zn5Pb2-C	2.0	1.7	84.9	8.1	2.6	<0.001	0.007	0.17

The above alloys have been manufactured and tested in Germany. Alloys C, E and F have been tested also in the Danish rig test in the operation period March 2002-March 2003.

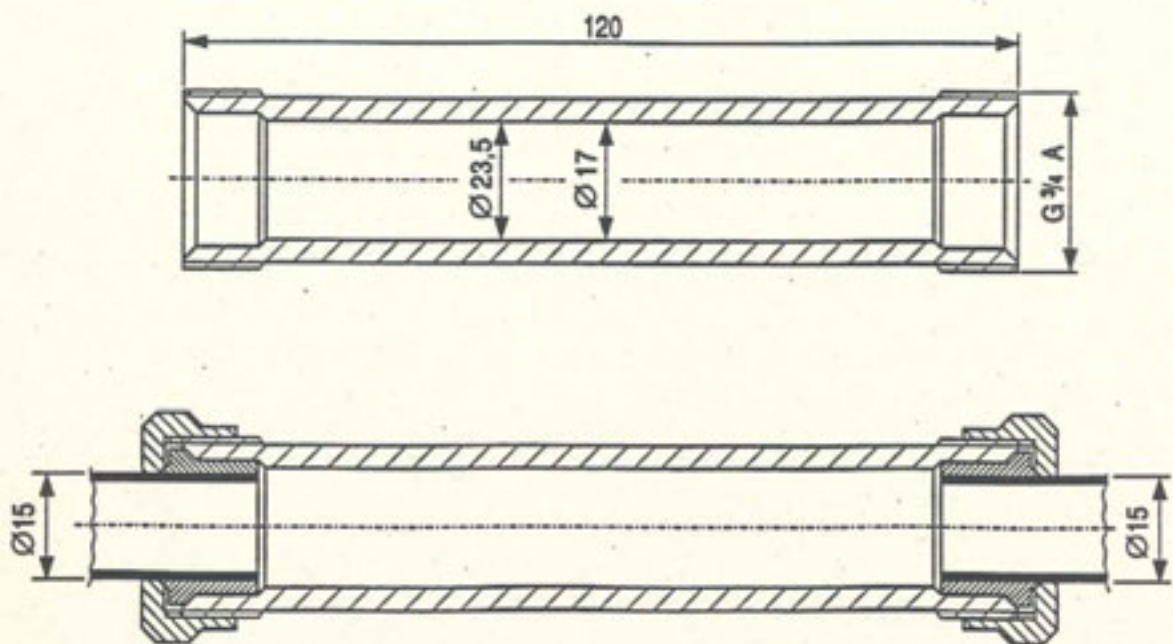


Fig. 2.1.1. Test pieces for testing the materials for fittings.

In both German and Danish tests the alloys were mounted in stainless steel pipes at same dimensions and same ratio between test piece and pipe length.

German Water Compositions

Table 2.3.1 Original composition of the test waters

		Thalfang Series 3	Langen Series 2	Berlin Series 4	Würzburg Series 5
Total hardness	mmol/L	0.35	1.90	2.60	6.54
Ca	mg/L	7	58	92	181
Mg	mg/L	4	11	8	49
Na	mg/L	2	14	41	17
K	mg/L	1	3	4	4
Cl	mg/L	4	27	56	68
NO ₃	mg/L	4	26	4	41
SO ₄	mg/L	7	57	89	263
HCO ₃	mg/L	32	133	235	386
Conductivity (25°C)	µS/cm	86	470	730	1275
Temperature	°C	9	12	12	14
pH		7.82	7.92	7.50	7.10
pH (CaCO ₃)		8.68	7.75	7.37	7.01
SI experimental		-0.86	0.17	0.14	0.08
K _{B 8.2}	mmol/L	0.04	0.05	0.32	1.17
K _{S 4.3}	mmol/L	0.52	2.19	3.85	6.33
O ₂	mg/L	10.7	10.4	5.9	5.5
Si _{total}	mg/L	2.6	8.2	12.4	6.5
P _{total}	mg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
o-PO ₄	mg/L	<0.05	<0.05	0.10	0.05
Al	mg/L	0.08	<0.05	0.15	0.11

Table 2.3.2. Composition of the waters used in the test.

Facility	K _{B 8.2} (mmol / L)		pH		K _{S 4.3} (mmol / L)	DIC (mg / L)
	Theoretical value	Actual mean	Theoretical value	Actual mean		
Thalfang	0.04	0.04	7.5	7.59	0.5	6
	0.5	0.45	6.4	6.44	0.5	12
	1.0	0.98	6.1	6.09	0.5	18
	2.0	2.02	5.8	5.77	0.5	30
	4.0	4.21	5.5	5.46	0.5	54
Langen	0.5	0.47	7.0	7.03	2.0	30
	1.0	1.10	6.7	6.68	2.0	36
	2.0	2.04	6.4	6.39	2.0	48
	4.0	4.08	6.1	6.09	2.0	72
Berlin	0.2	0.16	7.7	7.76	3.5	43
	0.5	0.47	7.2	7.28	3.5	48
	1.0	0.85	6.9	7.00	3.5	54
	2.0	1.94	6.6	6.62	3.5	66
	4.0	3.68	6.3	6.34	3.5	90
Würzburg	0.5	0.48	7.6	7.57	6.4	83
	1.0	1.16	7.1	7.11	6.4	91
	2.0	2.02	6.9	6.85	6.4	101
	4.0	4.06	6.6	6.57	6.4	125
	1.2 + X	1.15	7.1	7.11	6.4	91

Water Composition in Danish Tests

Waterworks	HCO ₃ ⁻ mmole/l	pH	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Conductivity mS/m
Astrup	1,4	7,5 - 7,7	33	38	31
Vester Gjesing	2,1	7,5 - 7,7	31	37	37
Lysholt	3,8	7,6 - 7,8	23	47	51
Regnemark	6,3	7,4 - 7,6	100	83	77 (12°C)

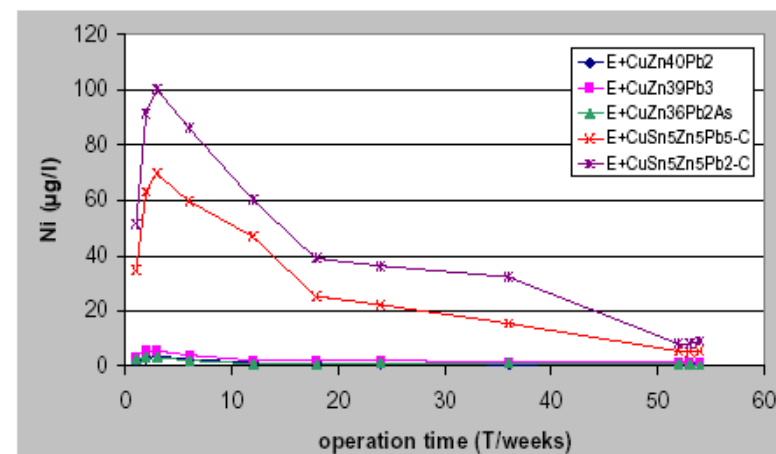
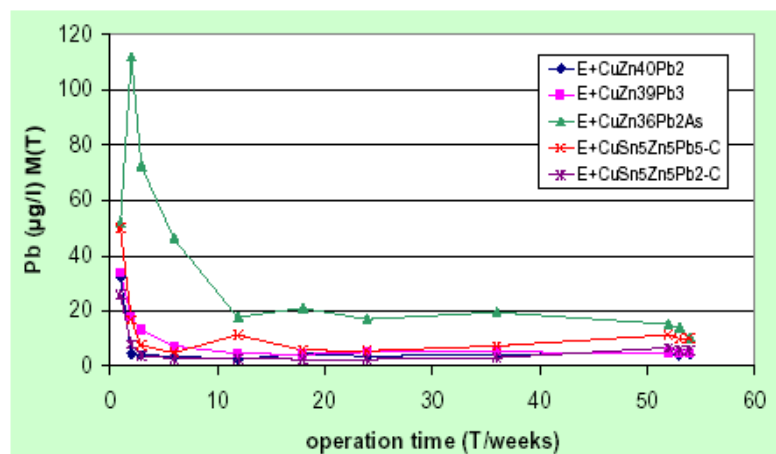
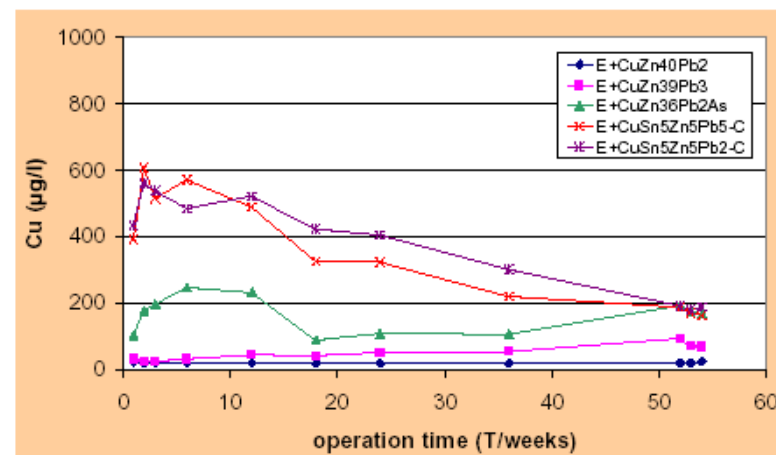
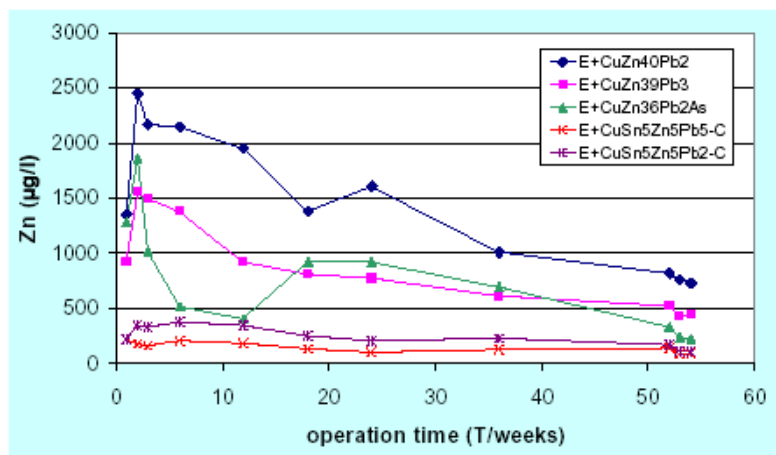
Some important water parameters for tested water types in Germany and Denmark

Waterworks	Conductivity mS/m	HCO ₃ ⁻ mmole/l	pH
V. Gjesing, DK	37	2,1	7,6
Langen, DE	47	2,0	7,0
Lysholt, DK	51	3,8	7,7
Berlin, DE	73	3,5	7,7 7,2
Regnemark, DK	100	6,3	7,4
Würzburg, DE	130	6,4	7,6

The waters are listed with increasing conductivity.

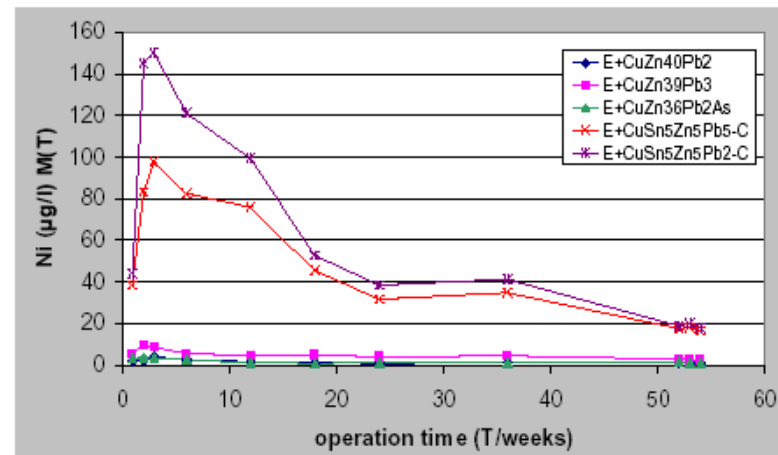
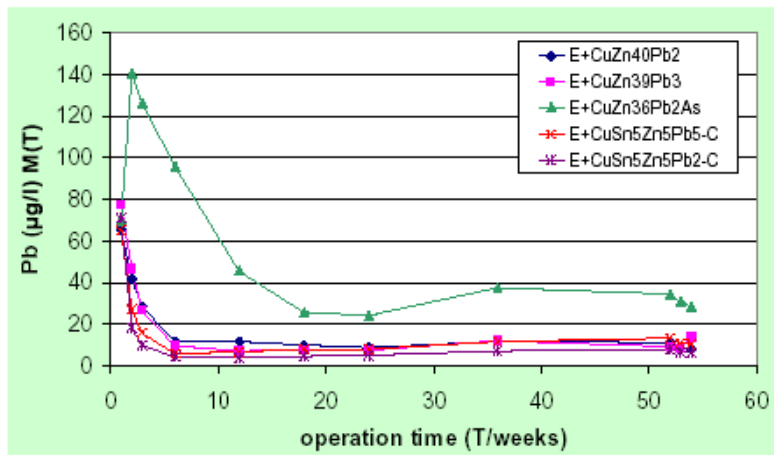
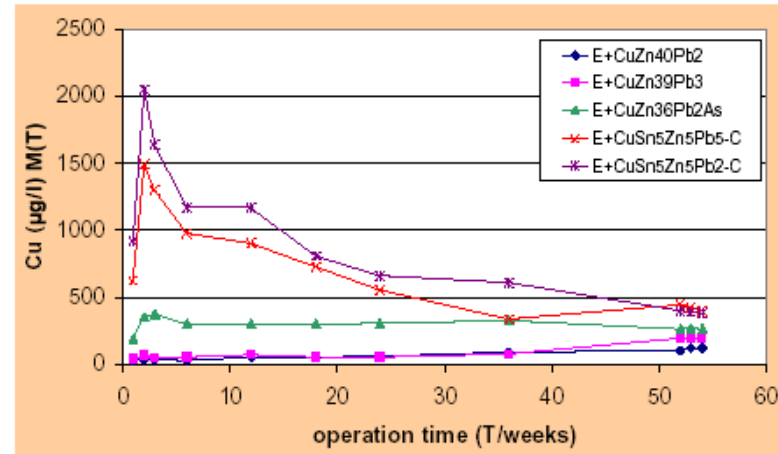
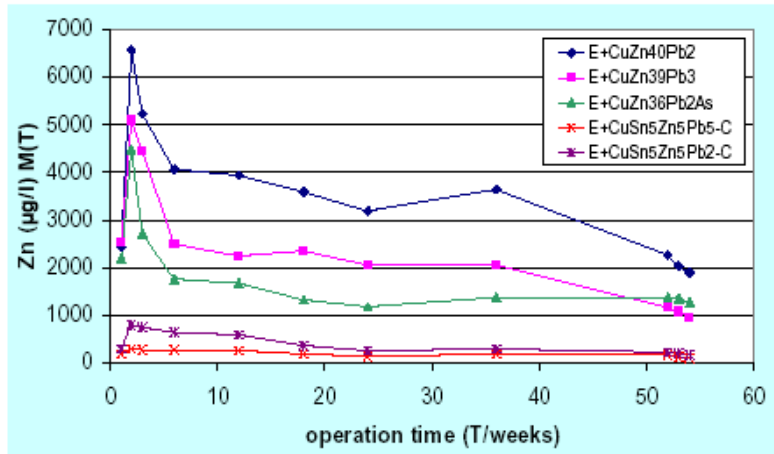
Lead, copper, Nickel and Zinc release from five different materials, M(T) over operation time, Berlin, Rig K Alk=3.5 mmol/l Ac=0.15 mmol/l pH=7.7

Lead, Copper, Nickel and Zinc release from five different materials, M(T) over operation time,
Berlin, Rig K Alk=3.5 mmol/l Ac=0.15 mmol/l pH=7.7



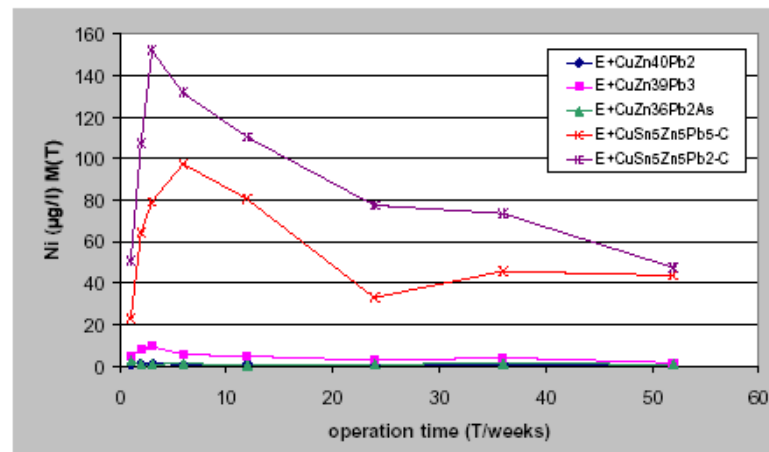
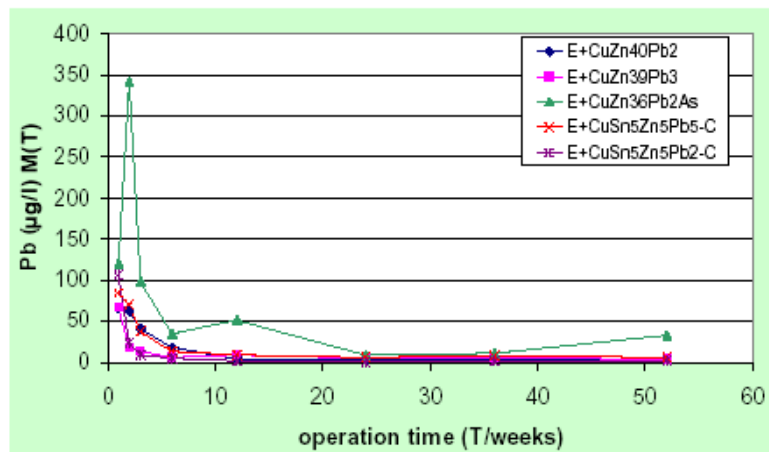
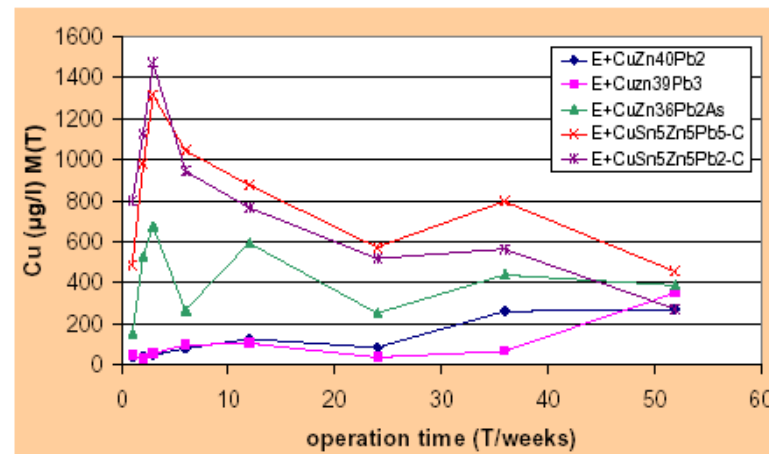
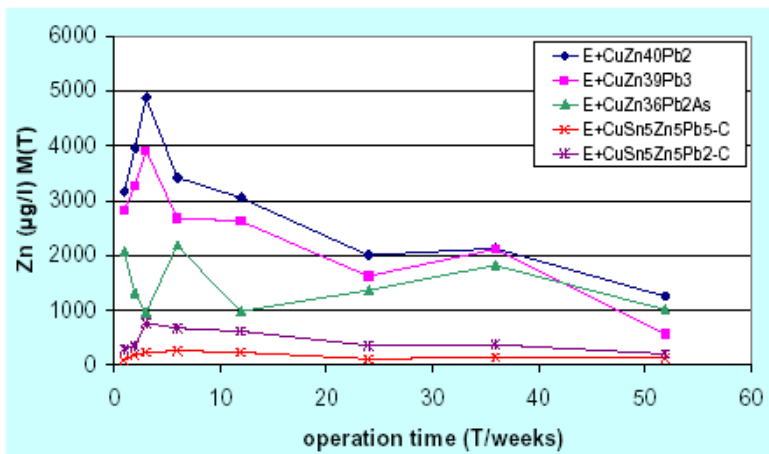
Lead, Copper, Nickel and Zinc release from five different materials, M(T) over operation time,

Berlin, Rig L Alk=3.5 mmol/l Ac=0.5 mmol/l pH=7.2



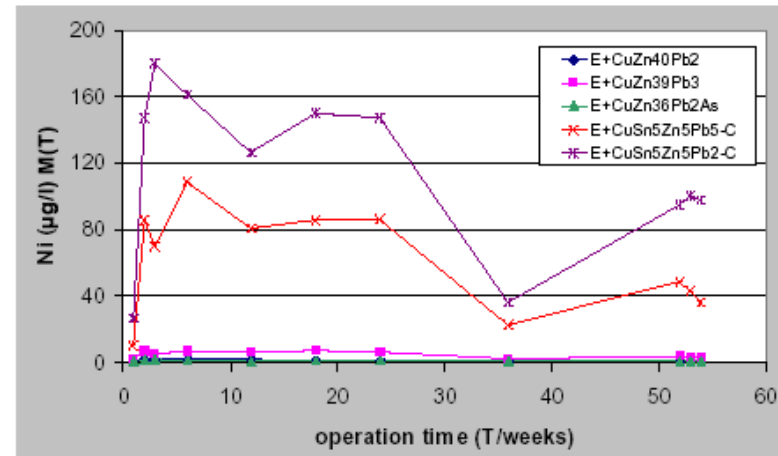
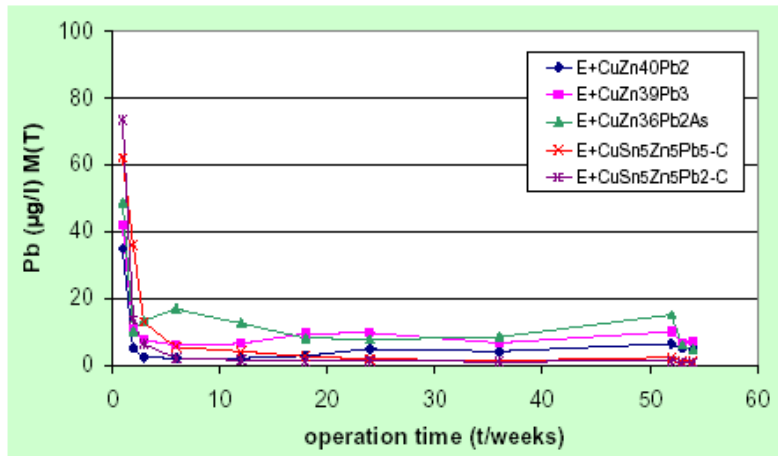
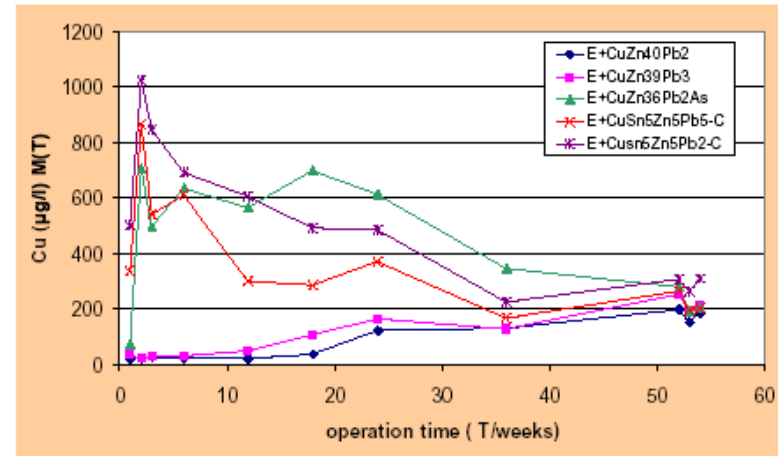
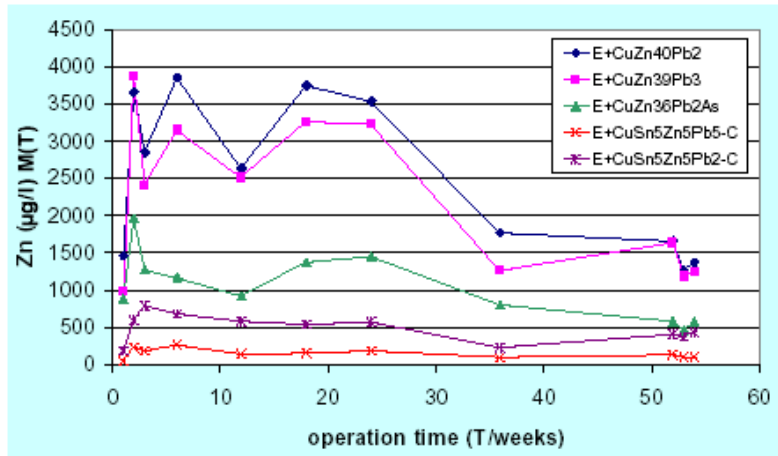
Lead, Copper, Nickel and Zinc release from five different materials, M(T) over operation time,

Langen, Rig A Alk=2.0 mmol/l Ac=0.5 mmol/l pH=7.0



Lead, Copper, Nickel and Zinc release from five different materials, M(T) over operation time,

Würzburg, Rig P Alk=6.4 mmol/l Ac=0.5 mmol/l pH=7.5



Comparison of German and Danish Rig Tests

Samples	Comparison
Copper alloys	Identical
Manufacture	Identical
Exposed length of alloy	Identical (10 cm)
Shape of test piece	Identical
Mounted in stainless steel pipes	Identical
Ratio surface/volume	Identical
Internal diameter	Identical
Total pipe length in rig	German = 3 m Danish = 1.4 m (+0.3)
No. of alloy test pieces per pipe length	German = 5 Danish = 2
Ratio alloys/pipe length	German = 17 % Danish = 15 % (12 %)

Operating conditions	German test rig	Danish test rig
Temperature	Ambient temperature	12 (+/- 2) °C
Pressure	0.5 Bar	3 Bar
Velocity	0.3 m/sec	≈0.6 m/sec.
Daily water consumption	130 l	200 l
Stagnation	64 x 15 min + 8 h	8 h + 16 h
Number of daily flushes	64	2
Length of flush period	45 sec	15 min
Total daily time of flush	48 min	30 min

Comparison of German and Danish Results

Pb, ppb		Water works		German			Danish	
		KS 4,3		Berlin			Regnemark	Lysholt
		Cond. ms/m		73			77(12°C)	51
		pH					7,4	7,7
Alloy	Alloy mrk.	BK 8,2	pH	8h	16h	M(T)	12h	12h
CuZn40Pb2	C	0,2	7,7	6	8	5	4	4
		0,5	7,2	16	15	11		
CuZn39Pb3	D	0,2	7,7	6	9	5	(4)	(4)
		0,5	7,2	12	16	10		
CuZn36Pb2As	E	0,2	7,7	17	24	15	40	35
		0,5	7,2	42	59	35		
CuSn5Zn5Pb5-C	F	0,2	7,7	12	16	11	11	6
		0,5	7,2	15	18	13		

Pb, ppb		Water works		German			Danish	
		KS 4,3		Langen			Regnemark	Lysholt
		Cond. ms/m		47			77(12°C)	51
		pH		7,0			7,4	7,7
Alloy	Alloy mrk.	BK 8,2	pH	8h	16h	M(T)	12h	12h
CuZn40Pb2	C						4	4
		0,5	7,0	7	6	4		
CuZn39Pb3	D						(4)	(4)
		0,5	7,0	7	7	4		
CuZn36Pb2As	E						40	35
		0,5	7,0	56	65	33		
CuSn5Zn5Pb5-C	F						11	6
		0,5	7,0	10	10	6		

Comparison of German and Danish Results

Ni, ppb		Water works		German			Danish	
		KS 4,3		Berlin			Regnemark	Lysholt
		Cond. ms/m		73			77(12°C)	51
		pH					7,4	7,7
		Alloy	Alloy mrk.	BK 8,2	pH	8h	16h	M(T)
CuZn40Pb2	C	0,2	7,7	0,8	1,3	0,8		0,5
		0,5	7,2	2,0	1,9	1,2		
CuZn39Pb3	D	0,2	7,7	2,4	3,8	1,5		(0,5)
		0,5	7,2	4,7	8,6	2,8		
CuZn36Pb2As		0,2	7,7	0,8	1,1	0,9	1,5	0,4
		0,5	7,2	2,1	2,9	1,5		
CuSn5Zn5Pb5-C		0,2	7,7	9,6	14,4	6	70	20
		0,5	7,2	31,8	53,4	18		

Ni, ppb		Water works		German			Danish	
		KS 4,3		Langen			Regnemark	Lysholt
		Cond. ms/m		47			77(12°C)	51
		pH		7,0			7,4	7,7
		Alloy	Alloy mrk.	BK 8,2	pH	8h	16h	M(T)
CuZn40Pb2	C							0,5
		0,5	7,0	1,1	1,6	0,7		
CuZn39Pb3	D	0,5	7,0	3,4	5,0	1,5		(0,5)
CuZn36Pb2As	E	0,5	7,0	1,2	2,0	0,8	1,5	0,4
CuSn5Zn5Pb5-C	F						70	20
		0,5	7,0	92	139	44		

1 Chemical Analysis of Metal content in Water Samples

12h stagnation

Operation period: March 2002 - March 2003

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

No.	Test pieces
1 and 2	Test pieces of $\alpha\beta$ -brass in stainless steel pipes, CuZn40Pb2 (C)
3 and 4	Test pieces of dezincification resistant brass in stainless steel pipes, CuZn36Pb2As (E)
5 and 6	Test pieces of gunmetal of stainless steel pipes, CuSn5Zn5Pb5-C (F)
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 (E)
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 nickelplated brass
21 and 22**	Mixer tap valve, chromium-nickel plated brass, 2-grips
23 and 24**	Mixer tap valve, chromium-nickel plated brass, 1-grip

* Lysholt water work only

** Regnemark water work only

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 2003

Astrup

Weeks 2 6 10 15 25 33 46 52
 Test piece No.

1	482	2637	1189	1222	1206	750	891	1200
2	498	2896	1249	1536	1221	751	809	1100
3	404	766	725	791	284	168	227	410
4	421	1119	749	796	460	211	204	390
5	104	52	101	146	88	78	102	97
6	74	55	82	155	121	94	123	150
19	693	3909	5806	6144	4529	2952	2071	2700
20	635	3495	3738	4678	2712	2646	1597	2000

Appendix G

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

Vester Gjesing

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	908	743	1326	1588	1984	974	2676	2817
2	864	941	1344	1608	1671	708	2064	2001
3	972	1185	1136	861	662	1083	653	722
4	901	871	926	708	274	637	457	331
5	70	206	104	108	107	82	<100	106
6	59	82	99	110	124	75	<100	87
19	2565	3527	3525	2141	1710	1550	2045	1969
20	1958	3838	3195	2935	2258	2194	2143	2259

Zinc 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.

1	1131	1174	1157	1049	946	680	1000	800
2	1068	866	1539	956	799	781	896	872
3	948	737	1256	632	592	589	628	513
4	1045	670	1232	593	695	604	667	577
5	38	73	154	117	76	47	<100	<100
6	40	27	137	115	71	46	<100	<100
7	2373	2245	3375	4029	4040	4320	4081	2456
8	2473	2785	4000	3434	3546	3250	3813	3093
9	1916	1793	2042	2039	1756	1609	1788	1788
10	2221	2117	2693	2410	2221	1837	1986	2198
11	4825	4221	3562	3381	3789	3095	2900	3609
12	4475	3754	4100	4831	5108	4848	4971	6912
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

Appendix G

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

Regnemark

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	1909	1264	1069	997	2672	1747	2494	2500
2	2833	2151	1722	1337	3120	1819	2570	
3	2507	2042	1686	1482	1358	472	2411	2700
4	2175	1916	2259	1631	1155	365	1521	1500
5	178	308	353	151	495	174	285	190
6	166	241	227	116	402	267	509	170
19	2586	1866	1661	1618	6011	3563	2400	2400
20	2841	2408	2395	2603	5790	3654	2343	2500
21	3821	3936	4609	3928	3622	for lidt	2385	2300
22	4200	4737	5259	3671	3822	prøve	2780	3000
23	2913	2315	2788	1640	3111	3935	2976	2500
24	3146	6341	3224	2393	2910	3398	2845	2500

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

Astrup

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	11	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
2	8,8	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
3	25	65	60	121	164	91	82	110
4	44	117	55	126	101	68	73	90
5	100	306	354	600	290	218	264	320
6	100	313	342	512	358	222	321	460
19	36	<50	35	<50	<50	<50	<50	<50
20	35	108	121	62	52	77	57	61

Appendix G

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

Vester Gjesing

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
2	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
3	61	70	90	84	208	86	240	193
4	60	61	71	90	221	118	236	209
5	304	1047	439	334	389	348	522	473
6	235	498	344	308	321	254	398	350
19	71	125	120	80	193	171	260	276
20	63	106	113	105	158	137	145	145

Cobber 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.								
1	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
2	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
3	72	80	140	199	146	110	150	171
4	75	76	198	179	137	109	140	152
5	265	627	696	555	388	317	334	374
6	272	122	622	539	392	291	368	373
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
15	2353	3854	2855	2777	1956	1330	1378	1405
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

Appendix G

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

Regnemark

Weeks 2 6 10 15 25 33 46 52

Test piece No.

1	35	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
2	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	tom
3	<50	131	114	184	892	519	599	710
4	233	200	202	196	818	359	448	440
5	473	1094	1297	961	1844	1209	1344	1200
6	476	900	1083	745	1546	1193	1679	1200
19	114	77	92	57	518	830	489	470
20	98	87	135	60	509	555	476	650
21	738	422	467	1055	1650	for lidt	1763	1900
22	537	368	551	624	1452	prøve	1428	1700
23	239	214	258	357	920	2604	1015	1800
24	300	819	734	626	1160	2242	1069	1900

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

Astrup

Weeks 2 6 10 15 25 33 46 52

Test piece No.

1	31	20	7,0	6,4	4,3	3,6	3,4	4,5
2	31	25	10	8,0	4,1	4,4	3,9	4,9
3	31	62	58	104	34	19	19	31
4	43	114	71	65	34	17	15	21
5	82	60	58	58	20	10	7,3	8,6
6	74	58	55	44	15	9,0	10	11
19	58	19	19	26	9	36	13	30
20	31	31	27	32	27	56	18	27

Appendix G

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

Vester Gjesing

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	20	8,6	6,2	3,7	3,2	2,5	2,7	2,9
2	20	9,9	4,4	3,7	3,4	2,4	3,8	3,2
3	62	88	87	49	57	15	68	38
4	59	71	70	50	49	25	53	38
5	62	82	29	12	12	7,2	24	16
6	55	74	22	13	13	5,0	24	14
19	86	42	31	45	65	40	55	51
20			35	36	75	46	41	36

Lead 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.								
1	21	11	7,2	12	5,5	3,2	3,1	3,0
2	23	12	8,4	12	5,9	2,8	2,4	2,6
3	43	35	94	55	29	14	19	36
4	44	36	186	43	31	14	16	28
5	43	30	13	11	8	4,7	5,0	5,8
6	56	6,2	15	13	9,7	5,2	6,1	5,7
7	4,6	4,9	3,3	1,9	0,7	0,4	0,3	0,3
8	3,3	3,1	1,8	1,7	0,9	0,5	0,4	0,5
9	15	16	15	14	13	4,4	3,5	3,5
10	2,0	1,1	13	12	12	3,5	2,8	2,7
11	19	21	1,6	1,6	0,9	0,8	0,4	0,3
12	26	20	2,7	1,7	0,8	0,4	0,3	0,3
13	3,1	2,2					1,5	1,7
15	3,9	3,5					2,1	2,1
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

Appendix G

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

Regnemark

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	29	16	14	8,9	8,4	5	3,4	3,4
2	59	36	26	12	8,2	5	3,8	Tom
3	187	116	79	89	89	46	40	39
4	167	180	167	119	83	29	31	27
5	283	196	98	116	24	16	12	13
6	225	270	131	80	20	12	9,5	9,4
19	165	82	91	25	41	26	22	33
20	176	90	111	44	69	27	34	55
21	117	69	79	89	41	2	24	25
22	113	61	91	60	40	10	40	29
23	90	35	37	28	24	8	22	17
24	88	52	44	26	13	3	12	18

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

Astrup

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	0,13	0,39	0,23	0,21	0,18	0,12	0,1	0,16
2	0,13	0,43	0,23	0,23	0,18	0,12	0,09	0,14
3	0,05	0,06	0,07	0,06	0,03	0,02	0,02	0,03
4	0,04	0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02
5	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
6	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02
19	0,13	1,2	1,7	1,7	1,2	0,74	0,39	0,70
20	0,13	0,99	0,91	1,1	0,65	0,62	0,26	0,45

Appendix G

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

Vester Gjesing

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	0,15	0,15	0,18	0,23	0,22	0,11	0,27	0,27
2	0,13	0,21	0,2	0,23	0,17	0,08	0,22	0,21
3	0,08	0,12	0,06	0,04	0,03	0,03	<0,01	0,03
4	0,07	0,07	0,05	0,04	0,02	0,03	<0,01	0,02
5	0,01	0,02	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
6	0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
19	0,11	0,78	0,53	0,44	0,19	0,17	0,2	0,31
20	0,07	1,0	0,6	0,36	0,35	0,27	0,31	0,27

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

Appendix G

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

Regnemark

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	0,56	0,53	0,42	0,19	0,26	0,20	0,19	0,20
2	0,74	0,79	0,72	0,30	0,31	0,21	0,20	tom
3	0,34	0,27	0,17	0,10	0,08	0,04	0,06	0,09
4	0,25	0,16	0,09	0,08	0,07	0,03	0,04	0,05
5	0,04	0,04	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01
6	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,01
19	0,30	0,43	0,41	0,32	0,93	0,46	0,23	0,31
20	0,33	0,39	0,43	0,44	0,92	0,46	0,26	0,27
21	0,40	0,38	0,66	0,52	0,59	0,03	0,86	0,17
22	0,44	0,56	1,40	0,53	0,57	0,04	0,79	0,18
23	0,37	0,25	0,37	0,20	0,41	0,29	0,13	0,12
24	0,47	0,33	0,44	0,31	0,42	0,49	0,11	0,19

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

Astrup

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	1,6	2,3	1,5	1,2	0,8	0,7	0,7	0,8
2	1,1	2,9	1,3	1,2	0,9	0,7	0,6	0,9
3	0,8	0,6	0,6	0,5	0,2	<0,05	0,2	0,3
4	0,9	2,3	0,8	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2
5	4,2	22	28	41	29	23	28	28
6	5,2	34	39	54	79	53	60	120
19	44	117	180	216	111	59	21	39
20	23	140	132	197	84	49	16	22

Appendix G

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

Vester Gjesing

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	0,6	0,8	0,9	1,2	1,1	0,6	0,6	0,8
2	0,7	3,2	1,3	1,4	1,1	0,7	10,0	4,6
3	10	1,1	0,8	0,7	0,5	0,8	0,5	0,4
4	0,6	0,8	0,7	0,7	0,2	0,4	0,3	<0,1
5	10	32	29	41	41	26	25	24
6	8,6	30	37	50	55	34	33	31
19	64	106	139	98	50	35	11	14
20	62	101	58	150	52	27	21	20

Nickel 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.								
1	0,7	1,0	1,0	1,0	0,9	0,6	0,8	0,6
2	0,5	0,5	0,8	0,5	0,4	0,3	0,6	0,4
3	0,6	0,7	0,6	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3
4	3,1	0,5	0,6	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
5	6,0	37	72	55	39	19	15	19
6	4,9	9,9	45	46	29	22	38	18
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

Appendix G

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

Regnemark

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	3,5	24	7,9	2,2	18	1,2	9,0	4,4
2	5,0	45	28	9,0	226	0,9	36	
3	3,5	3,3	2,2	1,5	4,0	30	1,9	2,0
4	2,9	1,9	5,6	3,8	47	4,6	1,2	1,0
5	11	22	28	30	256	61	111	81
6	9,2	23	26	19	128	91	175	61
19	117	101	117	96	123	39	15	17
20	212	102	147	107	48	18	9,9	11
21	52	42	50	62	48	0,8	27	25
22	23	54	76	44	39	2,3	19	18
23	23	79	57	48	79	7	21	
24	16	21	34	26	19	15	28	

Appendix G

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

Vester Gjesing

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
2	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
3	2,8	5,7	3,0	1,7	1,1	1,7	1,5	1,0
4	2,3	3,8	3,0	1,3	0,7	1,1	1,1	0,7
5	<0,1	0,5	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1
6	<0,1	0,3	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
19	0,8	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7
20	0,9	0,4	0,2	0,2	0,5	0,5	0,4	0,4

Appendix G

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

Regnemark

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	0,2	<0,1	0,3	0,1	<0,1	0,2	0,2	0,2
2	0,2	0,1	0,2	<0,1	<0,1	1,6	0,2	
3	6,6	6,4	4,6	3,5	1,3	0,2	2,3	3,5
4	6,8	6,3	5,4	3,6	1,1	0,9	1,8	2,1
5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3
6	0,4	0,3	1,0	0,4	0,1	0,2	0,2	0,2
19	2,3	1,4	0,7	<0,1	0,3	0,8	0,6	0,9
20	2,4	1,0	0,6	0,2	0,2	0,6	1,1	1,3

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

Astrup

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	<0,2	0,3	<0,2	<0,2	0,2	<0,2	<0,2	<0,2
2	<0,2	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<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	<0,2	0,7	0,4	0,4	0,4	0,3	<0,2	0,2
6	<0,2	0,8	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,4
19	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
20	0,4	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

Appendix G

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

Vester Gjesing

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	0,4	<0,2	<0,2	<0,2	0,3	<0,2	<0,2	<0,2
2	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<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	0,5	1,0	0,5	0,5	0,4	0,2	0,4	0,2
6	0,4	1,0	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	<0,2
19	0,4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
20	0,4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

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

Appendix G

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

Regnemark

Weeks	2	6	10	15	25	33	46	52
Test piece No.								
1	0,6	0,5	0,5	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
2	0,7	0,7	0,7	0,4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
3	0,3	0,3	<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	0,5	0,5	0,4	1,1	0,5	0,3	0,3	0,2
6	0,5	0,6	0,5	0,8	0,3	<0,2	0,3	<0,2
19	0,8	0,8	1,3	0,3	0,8	<0,2	<0,2	<0,2
20	1,0	0,8	0,7	0,4	0,5	<0,2	<0,2	<0,2
21		2,5	2,4		1,5	<0,2	0,8	0,5
22		2,7	2,8		1,2	<0,2	0,8	0,4
23		0,4	0,3		0,2			
24		0,5	0,5		<0,2			

1 Chemical Analysis of Metal content in Water Samples

12h stagnation

Operation period: May 1999 - March 2003

Water works: Astrup, V. Gjesing, Birkerød, Regnemark

No.	Test pieces
1 and 2	Stainless steel pipes, 15/13 mm, AISI 316 (Fe 70%, Cr 17%, Ni 11%, Mo 2%)
3 and 4	Stainless steel pipes, 15/13 mm with pressure fittings of stainless steel, AISI 316
5 and 6	Stainless steel pipe, 15/13 mm AISI 316 with pressure fittings of tin-coated copper and tin-coated gunmetal (Cu 82%, Sn 2,8%, Pb 3%, Zn 9%, Ni 2,7%)
7 and 8	Galvanised steel pipes, ½", with 0,9% Pb in Zn-coating
9 and 10	Galvanised steel pipes, ½", with 0,3% Pb in Zn-coating
11 and 12:	Galvanised steel pipes, ½", with 0,4% Pb in Zn-coating
13 and 14	Brass, valve casings and fittings, ½", respectively Cu 61%, Zn 37%, Pb 2% and Cu 60%, Zn 37%, Pb 3%.
15 and 16	Brass, manifolds with plugs, ¾", respectively Cu 63%, Zn 35%, Pb 1,3% and Cu 61%, Zn 36%, Pb 2%.
17 and 18	Dezincification resistant brass, valve casings and fittings, ½", Cu 64%, Zn 34%, Pb 2%, As 0,09%.
19 and 20	Nickel-chromium plated brass, ball valve, ¾", with nickel plated ball
21 and 22	Nickel-chromium plated brass, mixing tap, 2-grips
23 and 24	Nickel-chromium plated brass, mixing tap, 1-grip

Tables with analysis results of

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

Zinc release, 12 hours stagnation, µg/l
 Operation period: May 1999 - March 2003
 Astrup

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
5	<20	<20	70	53	49	49	58	51	68						
6	<20	<20	70	60	62	65	80	60	59						
7	2640	2370	2010	1520	1150	1450	1310	1445	949	1090	1164	1387	2802	1406	2300
8	5040	2620	1860	1828	1130	1340	1080	1250	831	890	832	1219	2540	1113	2000
9	2081	2090	1880	1704	1340	1920	1630	2200	951	1300	1120	1385	3037	1514	2300
10	2960	2070	2000	1797	1430	1740	1630	2070	905	1240	1068	1343	2810	1615	2700
11	1644	1600	1520	1458	1230	1640	1340	1490	748	980	908	1387	3163	1929	2700
12	1230	1330	1280	1181	1090	1230	1270	1685	682	830	816	1657	3927	2343	3500
13	958	1680	2360	5986	5390	7410	10300	11040	4620	4150	2852	1432	2295	1257	2000
14	571	2150	2000	6109	6810	12400	9200	7440	5670	2840	2580	1723	2717	2146	2400
15	1591	1750	1290	3583	2090	2070	1960	1880	1790	1270	1956	1689	2440	1706	2300
16	1442	1800	2290	3368	3020	2820	2540	1650	1605	1350	1328	2176	2940	1919	2600
17	241	239	152	355	4880	9300	3340	2470	1780	920	912	1446	2571	1045	1300
18	161	220	200	503	4590	6490	5980	3580	2340	1180	428	1476	2711	1446	1800
19	183	214	61	56	33	176	55	252	71						
20	193	263	339	124	330	189	350	206	246						
21	373	913	109	386	620	489	418	543	437						
22	424	680	524	543	1820*	692	694	1002	953						
23	405	594	399	1181	1170	1040	1120	1285	1425						
24	515	714	437	1458	1610	1940	1900	1813	1415						

Appendix H

Zinc release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
 Vester Gjesing

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
5	<20	<20	534	44	81	58	45	31	34						
6	<20	20	411	56	91	49	39	30	42						
7	1450	1795	4070	1366	1130	999	990	900	956	1120	1344	1096	891	1286	2116
8	2750	1875	1190	1612	1450	1320	1290	1130	1205	1350	1508	1191	983	1396	2015
9	2875	2345	2830	1674	1400	1310	1530	1220	1235	1240	1368	1413	1302	1835	2209
10	1285	1869	2610	1396	1350	1140	1400	1115	1250	1350	1488	1384	1194	1770	2095
11	1240	1381	3850	1181	1200	1140	1250	1050	1080	1210	1412	1510	1235	1904	2297
12	1310	1596	1590	1396	1430	1310	1290	1180	1190	1440	1528	1384	1191	2057	2651
13	511	1682	4550	6694	6900	4680	4050	4230	3310	3430	2352	2703	1167	2160	1536
14	244	2472	8680	10051	6810	4360	3600	3780	2660	3260	3108	2336	1143	2196	920
15	1365	1945	3140	10236	2450	2370	1990	1990	2020	1590	2148	1341	1535	1547	2195
16	1870	2405	4580	2567	2540	2790	2510	2230	2570	2200	2628	1244	1924	2362	3434
17	111	389	328	3706	3370	3260	2830	2790	2400	1730	2008	1499	1168	1145	935
18	118	342	403	4138	3540	3010	2990	3010	2660	1960	2692	2215	1470	1310	1300
19	419	445	515	389	950	1500	2030	1916	1215						
20	739	588	267	595	998	1880	1760	1860	1760						
21	598	752	372	873		499	907	330	407						
22	734	704	1001	903		697	919	1090	431						
23	308	642	893	1489		914	810	920	909						
24	430	1341	224	2197		1600	1040	1020	1155						

Zinc release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - May 2000
 Birkerød

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52
Test piece No.									
5	<20	30	70	<20	59	71	42	63	61
6	<20	<20	100	53	65	49	29	38	44
7	3143	2990	2600	3737	4850	7100	6750	6360	5150
8	3698	1430	4360	6047	6000	7830	8170	7680	6330
9	3692	4310	4100	5678	5720	7260	7140	6940	5810
10	3562	4820	4200	5770	5880	7930	7140	6840	4860
11	2818	4455	4790	6355	6070	8050	7590	7340	5940
12	3326	4610	4520	6016	5620	7960	7520	7020	6060
13	7739	12250	9110	6694	9660	7360	8360	7540	6410
14	7290	13450	9570	7988	6170	8510	8360	7840	6200
15	4271	4540	6880	4107	4210	2850	2700	3460	2550
16	4738	8050	6930	4292	3180	2980	3250	2865	2610
17	641	310	360	1242	2070	5052	5920	6120	6090
18	889	850	530	1550	3330	5910	6170	1610	6450
19	1595	3740	1210	3552	2480	2750	3470	2005	1735
20	2110	7060	220*	3429	3660	2020	248	1230	1915
21	1551	3830	2430	1643	1560	795	1930	715	1185
22	1566	4455	2130	1427	1620	1730	1510	840	815
23	1595	3800	2460	2444	10920*	2400	2250	1830	2090
24	1536	2990	2070	2382	2150	1640	1930	1995	1915

* Uregelmæssige data

Appendix H

Zinc release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
 Regnemark

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
5	<20	75	133	210	174	61	96	89	81						
6	<20	85	146	223	206	55	109	99	94						
7	4480	2110	6260	6168	6550	6020	7780	16275*	6570	5370	5220	5926	3997	3748	4200
8	5310	7350	7580	7474	7840	6780	8873	7100	6040	5340	5030	5380	4224	3877	4100
9	5980	7570	7620	7672	7710	8000	9650	5270	6970	5530	5630	6398	3959	5211	4500
10	5720	7800	8030	8189	7970	7290	9650	3980	7590	5480	5400	5764	4137	4283	4200
11	4860	6800	7330	7302	7520	6850	7390	4780	6400	5600	5740	6008	5331	5649	5800
12	4090	6530	7160	6587	7190	7680	8230	4440	6250	5580	5470	5922	5516	5618	5500
13	9610	7380	9460	8780	9060	10100	10800	8960	7440	4370	4890	5300	3716	2720	2900
14	12820	9520	4960	12300*	11240	11100	11800	10440	8890	5860	5490	5526	7850	2668	3300
15	6220	6500	10840	7819	3930	3680	4730	4670	3760	3260	4800	5904	3917	2782	2900
16	6410	5980	11900	8090	3740	6390	6040	5300	4450	4830	6500	7183	3324	3819	4000
17	3760	2120	2570	7302	8290	6530	6940	6790	7260	5680	5620	3893	2731	3201	4300
18	2940	1710	1740	6809	8023	7290	8100	7560	8160	6160	6200	4240	1463	3977	5000
19	1676	1720	2850	7055	6360	4170	4310	3510	3380						
20	2289	1220	1120	4444	3600	4410	6490	6820	6640						
21	2143	2600	2100	2349		1890	1870	2560	1410						
22	2518	1810	1930	2300		2720	3440	1930	1535						
23	2224	2780	2960	5158	4500	3100	3310	3100	2520						
24	3180	3450	2430	4173	4080	2790	3440	3020	2010						

* Uregelmæssige data

Cobber release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
Astrup

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
5	9	111	258	375	194	174	251	117	141						
6	4	75	333	218	210	461	2021*	162	142						
13	36	37	735	159	7,4	10	5	16	<50	5,1	5,0	<50	<50	<50	<50
14	38	221	136	130	9,9	18	7	5	<50	1,5	5,1	<50	<50	<50	<50
15	112	98	69	56	58	48	40	69	<50	11	71	<50	104	72	73
16	94	114	165	99	36	23	15	39	<50	57	41	<50	117	49	82
17	26	31	31	29	257	774	232	396	177	99	189	153	416	534	530
18	27	31	29	42	207	440	297	368	208	103	217	181	334	516	530
19	8	36	24	49	3,3	5	2	5	<50						
20	19	63	42	58	3,5	5	3	5	<50						
21	169	327	2*	117	115	226	49	209	157						
22	147	176	151	25	46	410	102	255	187						
23	122	183	170	231	78	276	195	249	216						
24	228	300	296	226	150	451	334	356	239						

*uregelmæssige data

Appendix H

Cobber release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
 Vester Gjesing

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
5	12	47	1693	269	259	126	126	123	168						
6	8	67	1622	305	361	137	168	157	158						
13	19	25	24	13	10	17	18	<50	<50	14	24	<50	<50	<50	<50
14	11	77	33	14	11	20	18	<50	<50	7,8	63	<50	<50	<50	<50
15	96	95	123	62	68	109	84	<50	94	82	148	128	206	159	150
16	71	168	92	60	59	51	46	67	79	45	91	93	147	111	101
17	12	55	67	252	211	228	313	342	360	269	652	549	590	770	623
18	16	47	89	226	219	267	347	340	359	277	606	495	699	689	767
19	27	38	24	<50	12	15	17	<50	<50						
20	48	22	19	<50	19	39	65	58	61						
21	186	252	149	239		278		346	333						
22	247	389	331	271		291		390	401						
23	113	285	410	400		358		521	463						
24	121	424	512	378		483		683	488						

Copper release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - May 2000
 Birkerød

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52
Test piece No.									
5	12	11	55	65	510	389	336	294	278
6	8	<1	218	317	515	369	239	215	193
13	71	118	132	84	145	108	126	163	289
14	88	113	135	130	113	73	105	146	152
15	172	372	576	414	403	301	311	310	405
16	296	604	586	473	380	367	383	394	486
17	105	170	114	342	509	1212	1657	1960	1845
18	121	104	149	385	839	1691	1859	746	1852
19	69	92	68	346	254	309	311	145	435
20	169	905*	172	230	289	200	183	66	242
21	742	1395	3080	2259	1784	1248	1342	1396	1357
22	698	952	1726	1492	1606	1136	1209	1198	1118
23	589	1583	2345	2132	1516	1403	1520	1547	1512
24	606	1214	2194	1791	1493	1243	1206	1371	1475

Appendix H

Copper release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
 Regnemark

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
5	19	234	642	705	688	480	462	469	323						
6	14	384	792	795	661	438	494	466	378						
13	359	52	90	94	26	57	54	67	91	105	264	304	475	432	380
14	75	62	67	79	38	66	412	74	126	117	269	295	546	464	470
15	102	156	520	531	356	196	222	331	347	138,5	213	161	333	204	200
16	134	123	585	753	776	798	1116	1337	1594	759	589	274	357	306	250
17	255	281	410	1867	2000	2290	2680	2760	2614	2411	2370	2178	3093	1987	2300
18	305	334	334	1576	2360	2780	2940	2950	2858	2746	2770	2411	2493	2156	2300
19	76	75	53	430	430	440	470	504	577						
20	64	67	140	146	65	77	190	320	562						
21	715	878	625	763	2465	1164	1733	590	1732						
22	262	741	716	1532	1756	1508	2190	1465	2144						
23	651	1190	1077	2775	3337	1833	1722	1676	2134						
24	768	1049	862	2789	2439	1803	1722	1683	2476						

Lead release, 12 hours stagnation, µg/l
 Operation period: May 1999 - March 2003
 Astrup

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
1	0,9	0,5	0,9												
2	0,7	0,6	0,8												
3	0,5	1,1	0,6												
4	0,5	6,5	0,7												
5	4,7	19	2,8	0,8	1,0	2,4	5,5	1,1	0,8						
6	5,4	15	2,0	1	0,9	5,6	40*	1,9	0,9						
7	4,3	7,3	3,8	1,6	2,0	1,4	0,9	1,6	0,8	0,3	0,8	1,3	2,9	1,1	1,8
8	2,8	4,0	4,9	6,9	2,4	4,2	1,1	3,6	0,7	0,3	0,7	1,2	2,7	1,5	2,6
9	0,8	3,0	1,1	0,1	0,2	0,4	1	3,2	0,1	<0,04	0,3	0,3	0,6	0,3	0,7
10	0,7	1,7	2,7	0,5	1,0	0,9	0,8	3,7	0,1	<0,04	0,3	0,4	0,5	0,3	0,6
11	5,4	5,6	8,8	2,3	3,8	3,5	2,3	5,0	1,1	0,3	0,7	0,2	1,6	0,9	1,4
12	7,9	6,8	18	6,4	20	5,9	6,3	14	1,4	1,1	1,0	17,8	2,5	1,5	2,6
13	91	85	142	45	14	13	9,6	22	7,1	5,0	10	0,9	22	9	9,3
14	63	120	104	50	16	29	12	6,7	9	1,6	15	1,6	13	39	13
15	60	110	43	32	15	8,6	7,3	11	14	4,6	19	2,6	14	13	13
16	68	94	60	18	9,2	6,3	3,1	5,2	13	9	11	2,5	15	8	15
17	52	49	33	13	173	318	160	173	56	23	37	40	127	187	120
18	59	59	29	34	139	262	200	153	77	24	40	41	107	178	94
19	18	52	8,6	8,5	2,6	3,9	3,3	8,9	3,7						
20	19	43	22	22	3,2	4,0	3,2	5,7	4,3						
21	17	20	4,9	7,9	7,1	10	4,9	36	7,3						
22	14	20	14	7,1	12	4,6	4,6	25	8,1						
23	21	28	22	8,7	8,5	4,4	2,4	4,8	7						
24	15	25	16	15	7,3	12	8,7	27	8						

* Uregelmæssige data

Appendix H

Lead release, 12 hours stagnation, µg/l
 Operation period: May 1999 - March 2003
 Vester Gjesing

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
1	0,1	0,3	0,7	0,2											
2	<0,1	0,5	0,4	0,2											
3	0,1	0,3	0,5	0,2											
4	<0,1	0,2	0,5	0,3											
5	0,3	3,8	11,0	0,9	0,5	0,7	2,1	0,3	0,7						
6	0,6	5,4	11,0	1,0	0,4	1,0	3,1	0,3	0,5						
7	4,3	4,8	4,9	3,9	2,7	<0,1*	1,8	1,6	2,9	0,9	2,2	2,2	3,1	1,7	2,0
8	4,0	4,2	2,8	2,7	1,9	<0,1*	2,4	1,2	2,1	1,1	1,6	1,6	2,1	1,2	1,7
9	0,1	0,6	0,7	0,5	0,4	0,5	2,1	0,2	0,5	<0,04	0,43	0,52	0,6	0,3	0,5
10	0,1	0,7	0,6	0,5	0,3	2,1	2,5	0,2	0,4	<0,04	0,42	0,62	0,6	0,3	0,6
11	1,7	2,5	2,3	1,6	1,1	2,6	2,7	0,6	1,0	0,1	0,7	0,4	0,9	0,4	0,8
12	8,1	8,0	5,4	5,8	3,7	5,5	4,4	1,9	3,2	0,9	1,8	22,0	2,0	0,9	1,6
13	203,0	73,0	45,0	15,8	7,1	7,3	6,5	6,3	12,0	3,9	15	0,9	10	8,1	5,8
14	26,0	97,0	98,0	13,7	7,5	8,9	6,7	7,8	13,0	2,9	90	1,7	11	12	6,1
15	120	130	73	38	20	29	22	21,0	26	8,2	18	9,0	14	10	11
16	83	97	65	26	17	15	17	13	19	4,3	11	12	17	8,3	14
17	23	56	38	101	85	93	84	86	101	50	110	10	131	110	78
18	45	63	52	105	79	87	76	89	101	51	107	12	142	109	107
19	31	22	13	16	3,5	7,1	5,7	4,5	6,1						
20	34	23	27	7,0	6,3	17	34	11	18						
21	14	12	5,5	6,8		1,2		1,9	3,9						
22	21	11	14,0	4,8		1,9		2,6	4,0						
23	18	17	15,0	10,5		3,9		3,3	6,4						
24	23	27	18,0	11,9		4,6		6,6	10,0						

* Uregelmæssige data

Lead release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - May 2000
 Birkerød

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52
Test piece No.									
1	1,6	0,2	1,0						
2	1,4	0,2	0,8						
3	1,5	0,3	0,7						
4	1,5	0,3	0,8						
5	9,6	1,2	6,5	0,9	1,8	2,5	1,4	0,9	3,1
6	5,3	0,6	5,7	0,5	3,1	3,1	2,0	1,2	4,0
7	4,2	3,0	3,8	2,6	2,7	3,2	2,7	1,7	3,8
8	4,8	2,5	3,5	0,9	1,6	2,7	2,6	1,8	3,9
9	1,8	0,8	0,9	0,5	0,6	1,3	0,7	0,5	2,2
10	6,2	0,9	1,2	0,6	0,7	1,4	0,8	0,4	2,5
11	16,0	4,2	5,0	1,3	1,4	2,4	1,4	0,8	3,8
12	26,0	4,6	5,5	1,5	2,0	3,1	1,8	1,2	5,3
13	309	154	139	43	43	26	23	18	29
14	360	171	126	55	41	28	23	21	23
15	227	53	140	57	31	28	26	20	53
16	178	98	106	38	22	19	18	17	33
17	360	30	33	32	33	83	104	113	159
18	192	25	38	28	50	118	2,5	49	161
19	91	5	18	34	25	39	42	36	47
20	160	68	9	26	26	23	23	21	22
21	46	15	12	8	12	4,4	15	4,2	7,7
22	54	23	17	11	12	19	8	6,6	11
23	84	41	27	15	35	10	9,4	7,9	11
24	102	23	22	11	17	10	10	8,5	13

Appendix H

Lead release, 12 hours stagnation, µg/l
 Operation period: May 1999 - March 2003
 Regnemark

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
1	0,3	0,3	0,2												
2	0,4	0,3	0,2												
3	0,3	0,3	0,2												
4	0,4	0,2	0,2												
5	1,1	0,9	0,8	1,5	1,4	2,3	1,1	1,0	1,0						
6	0,7	0,8	0,7	1,5	1,1	1,6	1,0	0,9	1,1						
7	4,1	3,0	3,6	3,0	1,4	2,1	1,8	1,5	2,5	2,4	4,1	4,0	4,0	5	6
8	3,6	2,2	2,6	2,4	0,9	2,0	1,5	1,5	3,7	3,2	5,4	5,0	5,2	5	5,6
9	1,4	0,8	1,0	1,0	0,3	0,8	1,1	0,7	0,9	0,4	0,9	0,6	0,8	1,1	0,8
10	1,9	1,3	1,3	1,0	0,4	0,9	1,2	0,6	1,1	0,7	1,1	0,7	0,8	0,8	0,9
11	5,3	2,8	2,6	2,0	0,8	1,3	1,8	0,9	2,2	1,7	2,5	2,1	2,4	1,9	1,8
12	11,0	6,7	7,3	2,6	1,7	1,8	1,9	1,2	2,5	2,1	2,9	2,4	3,1	2,5	2,0
13	127	76	62	24	15	15	17	13	14	10	19	0,4	22	22	21
14	149	104	26	28	18	17	49	14	18	9,9	20	19	27	18	25
15	127	47	131	82	40	12	19	22	36	5,3	12	16	8,7	9	9,1
16	131	34	58	46	40	21	39	48	95	16	26	21	12	14	14
17	122	84	72	174	185	221	207	192	260	83	199	*	300	77	160
18	125	74	61	128	133	200	261	224	341	86	216	*	209	103	180
19	43	20	16	44	70	33	31	30	29						
20	42	19	18	22	15	9	36	54	60						
21	23	13	10	4	9	4	8	7	6						
22	20	14	12	6	12	6	8	6	4						
23	38	19	16	14	34	12	14	11	12						
24	55	33	20	16	17	15	15	12	14						

Cadmium release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
Astrup

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
1	0,02	0,01	0,01												
2	<0,01	0,03	0,01												
3	<0,01	0,02	0,01												
4	<0,01	0,09	0,02												
5	<0,01	0,19	0,02	<0,03	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01						
6	0,03	1,60	0,03	<0,03	<0,01	0,02	0,07	<0,01	<0,01						
7	0,01	0,08	0,02	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			0,02	0,03	0,02	0,02
8	0,01	0,06	0,03	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			0,01	0,03	0,01	0,02
9	0,05	0,09	0,07	<0,03	<0,01	0,03	0,02	0,01	<0,01			0,04	0,07	0,04	0,05
10	0,02	0,06	0,17	<0,03	<0,01	0,02	0,01	<0,01	<0,01			0,03	0,04	0,03	0,03
11	0,04	0,03	0,14	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			0,6	0,01	<0,01	0,01
12	0,04	0,02	0,05	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			2,1	0,01	<0,01	0,01
13	0,32	0,31	0,38	0,52	0,63	0,68	0,70	0,95	0,60	0,24	0,33				
14	0,15	0,36	0,39	0,50	0,88	0,76	0,68	0,71	0,76	0,17	0,29				
15	0,21	0,45	0,40	0,59	0,34	0,32	0,35	0,40	0,63	0,68	0,60				
16	0,28	0,46	0,58	0,56	0,53	0,51	0,41	0,39	0,67	0,51	0,39				
17	0,06	0,07	0,16	<0,03	0,21	0,35	0,13	0,13	0,16	0,05	0,07				
18	0,87	0,08	0,08	0,03	0,18	0,28	0,20	0,19	0,20	0,04	0,08				
19	0,07	0,11	0,05	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,03						
20	0,07	0,10	0,13	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05						
21	<0,01	0,07	0,04	0,04	<0,1	0,05	0,03	0,09	0,06						
22	<0,01	0,08	0,08	0,05	0,14	0,06	0,05	0,13	0,11						
23	0,06	0,13	0,11	0,21	0,10	0,17	0,16	0,23	0,24						
24	0,02	0,14	0,09	0,20	0,11	0,43	0,32	0,51	0,42						

Appendix H

Cadmium release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
 Vester Gjesing

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
1	<0,01	<0,01	0,04	<0,01											
2	<0,01	<0,01	0,02	<0,01											
3	0,01	<0,01	0,04	<0,01											
4	<0,01	<0,01	0,02	<0,01											
5	0,02	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01						
6	0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01						
7	0,05	0,03	0,10	0,02	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01			0,02	0,02	0,01	0,02
8	0,02	0,01	0,03	0,02	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01			0,01	0,01	<0,01	0,01
9	0,03	0,03	0,04	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	0,03	0,02	0,04
10	0,04	0,02	0,04	0,02	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	0,02	0,01	0,03
11	0,02	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
12	0,02	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
13	0,13	0,38	0,65	0,85	0,71	0,43	0,42	0,54	0,65	0,21	0,35				
14	0,14	0,43	1,1	1,30	0,74	0,45	0,41	0,51	0,49	0,19	0,45				
15	0,28	0,78	1,10	0,79	0,62	0,78	0,55	0,46	0,85	0,19	0,74				
16	0,36	0,59	1,20	0,52	0,49	0,63	0,63	0,51	0,89	0,23	0,69				
17	0,07	0,06	0,08	0,22	0,19	0,19	0,14	0,15	0,14	0,10	0,18				
18	0,07	0,06	0,06	0,18	0,15	0,13	0,12	0,15	0,12	0,08	0,18				
19	0,09	0,10	0,16	0,07	0,12	0,22	0,24	0,25	0,15						
20	0,13	0,12	0,61	0,11	0,14	0,31	0,19	0,23	0,38						
21	0,06	0,06	0,04	0,09		0,05		0,04	0,08						
22	0,12	0,04	0,09	0,10		0,08		0,07	0,08						
23	0,09	0,10	0,20	0,30		0,13		0,17	0,29						
24	0,11	0,23	0,50	0,51		0,21		0,39	0,45						

Cadmium release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - May 2000
 Birkerød

Weeks 1 3 6 12 20 28 36 44 52
 Test piece No.

1	0,04	<0,01	<0,01						
2	<0,01	<0,01	<0,01						
3	<0,01	<0,01	<0,01						
4	<0,01	<0,01	<0,01						
5	<0,01	<0,01	0,03	<0,03	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
6	<0,01	0,02	0,01	<0,03	<0,03	<0,01	<0,01	0,02	0,05
7	0,09	0,03	0,03	<0,03	<0,03	0,06	0,04	0,05	0,09
8	0,05	0,02	0,02	<0,03	<0,03	0,05	0,05	0,06	0,07
9	0,18	0,08	0,08	0,11	0,13	0,20	0,17	0,18	0,21
10	0,17	0,05	0,05	0,07	0,04	0,08	0,06	0,07	0,10
11	0,05	<0,01	<0,01	<0,03	<0,03	0,02	<0,01	<0,01	<0,01
12	0,05	<0,01	0,01	<0,03	<0,03	0,02	<0,01	<0,01	0,01
13	0,93	0,95	1,1	0,78	0,57	0,67	0,61	0,59	0,63
14	0,91	0,92	1,2	0,92	0,56	0,87	0,70	0,83	0,57
15	1,0	0,50	1,1	0,86	0,66	0,59	0,37	0,43	0,49
16	0,89	0,76	1,2	0,95	0,75	0,71	0,43	0,50	0,54
17	0,07	0,03	0,03	0,04	0,06	0,14	0,27	0,21	0,22
18	0,10	0,08	0,04	0,06	0,1	0,22	<0,01	0,04	0,29
19	0,32	0,33	0,32	0,28	0,25	0,23	0,35	0,54	0,17
20	0,14	0,70	0,05	0,32	0,35	0,13	0,16	0,41	0,19
21	0,06	0,27	0,17	0,1	0,07	0,03	0,06	0,04	0,05
22	0,11	0,31	0,19	0,09	0,08	0,06	0,06	0,05	0,05
23	0,07	0,32	0,25	0,28	0,27	0,23	0,26	0,28	0,45
24	0,90	0,22	0,20	0,25	0,17	0,17	0,19	0,21	0,27

Appendix H

Cadmium release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
 Regnemark

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
1	0,02	<0,05	<0,01												
2	<0,01	<0,05	<0,01												
3	0,01	<0,05	<0,01												
4	0,02	<0,05	<0,01												
5	0,02	0,36	0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01						
6	0,03	<0,05	0,01	0,02	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01						
7	0,15	<0,05	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,02	0,02			0,13	0,09	0,06	0,04
8	0,04	<0,05	0,02	0,03	<0,01	0,02	0,033	<0,01	0,03			0,10	0,05	0,05	0,06
9	0,04	<0,05	0,03	0,03	0,01	0,05	0,05	<0,01	0,05			0,15	0,04	0,05	0,05
10	0,09	0,05	0,06	0,06	0,07	0,10	0,12	0,05	0,17			0,25	0,04	0,10	0,10
11	0,02	<0,05	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01			0,04	0,01	0,02	0,02
12	0,02	<0,05	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01			0,03	0,02	0,01	0,01
13	0,96	0,53	0,82	0,90	1,10	0,89	1,10	0,97	0,63	0,20	0,44	0,58			
14	0,94	0,59	0,29	1,23	1,20	1,00	1,20	1,10	0,82	0,23	0,43	1,95			
15	1,8	0,88	2,05	1,58	0,66	0,44	0,62	0,63	0,64	0,19	0,51	0,53			
16	0,91	0,65	1,49	1,53	0,60	0,92	0,92	0,97	1,10	0,30	0,73	0,51			
17	0,22	0,08	0,12	0,32	0,36	0,23	0,27	0,34	0,43	0,12	0,20	0,73			
18	0,25	0,09	0,11	0,34	0,39	0,29	0,35	0,4	0,59	0,13	0,24	1,02			
19	0,28	0,18	0,35	0,81	0,83	0,42	0,42	0,51	0,56						
20	0,40	0,12	0,16	0,58	0,39	0,33	0,64	0,72	0,91						
21	0,17	0,15	0,14	0,18	0,33	0,09	0,14	0,2	0,12						
22	0,33	0,09	0,14	0,17	0,47	0,17	0,36	0,14	0,18						
23	0,26	0,19	0,48	0,71	0,70	0,42	0,63	0,62	0,33						
24	0,36	0,32	0,34	0,49	0,51	0,29	0,6	0,52	0,29						

Nickel release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
Astrup

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
1	0,2	0,1	0,5	<0,1	0,2	0,2	<0,1	<0,1	0,2						
2	0,2	0,2	0,4	<0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1						
3	0,1	0,1	0,6	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
4	<0,1	0,2	0,5	<0,1	<0,1	0,1	0,2	<0,1	0,1						
5	0,8	3,0	5,8	14	19	17	17	16	20						
6	0,6	3,2	8,4	17	20	20	20	20	21						
7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1						
8	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1						
9	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
12	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,2	<0,1	0,1						
13	3,9	4,5	6,9	13	16	18	17	16	13	7,3	5,4	5,7	4,1	3,1	4,2
14	2,1	5,6	5,2	13	26	20	20	19	15	5,8	4,7	7,0	5,3	4,9	5,0
15	5	5	3	9	5	6	6	11	9	4,4	6,0	8,7	5,7	4	5,3
16	5	5	6	7	8	8	5	4	6	6	3,7	9,2	7,1	5	6,9
17	0,7	0,3	<0,1	0,2	3,0	5,7	2,5	1,5	1,4	0,9	0,6	1,9	1,7	0,9	0,8
18	0,3	0,2	0,8	0,8	2,8	10,0	3,9	2,3	1,6	0,5	0,7	3,1	2,1	1,1	1,2
19	1482	1527	1018	2730	2230	1658	2520	2942	2429						
20	2293	1888	1957	2200	2024	1135	2270	2785	2715						
21	340	283		200		321	180	188	46						
22	932	813	680	500		148	56	51	89						
23	29	29	70	59		264	340	53	107						
24	6	6	4	12		21	19	21	17						

21/3. Tages ud pga usandsynligt tal
21/5.- 24/5. Tages ud pga for lille vandmængde

Appendix H

Nickel release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
 Vester Gjesing

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
1	0,1	0,2	1,1	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	<0,1						
2	0,1	0,2	2,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
3	<0,1	<0,1	1,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
4	<0,1	<0,1	3,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
5	0,4	2,7	134	11	28	17	15	13	13						
6	0,7	3,6	121	13	33	15	13	12	15						
7	<0,1	0,1	0,7	0,8	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
8	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
9	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1						
11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
12	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
13	1,1	8,3	20	20	17	12	9,4	11	8,2	9,3	7,4	7,1	3,8	8	3,5
14	0,6	9,3	27	32	16	12	8,8	10	8,4	9,0	9,0	7,2	4,1	5	1,9
15	4	9	18	14	11	11	7	9	11	5,0	8,6	3,9	4,6	5	5,7
16	4	8	21	15	10	9	7	7	10	6,1	9,4	3,7	5,9	6	7,4
17	0,8	0,8	0,4	2,7	3,4	3,1	1,9	1,9	1,8	2,1	1,5	1,1	1,0	1,1	0,5
18	0,5	3,0	0,5	4,6	3,5	2,9	2,3	2,3	1,6	1,4	1,9	1,7	1,2	1,1	0,9
19	563	1754	3037	3172	2308	2301	1982	1675	1311						
20	330	2024	4168	2890	1982	683	310	289	472						
21	240	369	302	526		68		36	184						
22	304	564	346	546		33		87	340						
23	150	230	175	279		147		106	99						
24	20	47	81	137		114		74	76						

Nickel release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2000
 Birkerød

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52
Test piece No.									
1	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1
2	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
3	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
4	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1
5	0,5	1,1	1,4	1,9	16	20	12	12	19
6	0,3	0,3	11,8	11	16	13	7,9	11	14
7	0,3	<0,1	0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
8	0,2	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
9	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
10	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
11	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
12	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
13	16	39	29	19	23	21	20	19	26
14	16	33	29	23	19	23	22	20	19
15	9	265	15	8	11	7	6	7	7
16	10	179	28	9	9	8	6	6	7
17	0,6	<0,1	0,1	0,4	1,0	2,5	3,0	3,0	3,0
18	0,6	0,4	0,2	0,4	1,7	3,3	3,1	2,7	3,4
19	279	997	1035	1460	3372	846	1000	5330	808
20	130	867		4030	4744	3954	5300	8720	2634
21	387	16	14	74	126	46	61	35	27
22	279	19	83	300	50	20	11	16	11
23	29	18	18	340	170	54	67	46	62
24	40		146	190	707	303	134	143	140

Appendix H

Nickel release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
 Regnemark

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
1	0,3	<0,1	3,7	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
2	0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
3	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	0,5	0,2	<0,1						
4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1						
5	1,2	19	39	60	59	20	27	29	26						
6	0,8	22	33	64	52	18	31	32	28						
7	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	1,1	<0,1						
8	0,3	<0,1	<0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	1,7	<0,1						
9	0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	<0,1						
10	0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1						
11	0,7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
12	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
13	18	13	15	19	24	28	28	26	20	9,8	12	25	3,5	7	6,7
14	19	17	7	29	29	31	33	30	24	13	14	22	10	5	8,9
15	12	10	21	16	8	7	8	9	7	7,1	11	9,5	5,4	5	6,9
16	11	8	19	17	9	13	12	12	10	9,9	14	10	3,6	7	8,7
17	2,4	0,9	0,8	3,7	4,6	3,6	5,1	3,5	3,9	3,3	3,6	11	1,9	2,4	2,9
18	3,1	1,2	0,4	3,2	4,6	4,0	5,3	3,7	4,0	3,5	3,9	7,3	3,2	2,8	3,4
19	1543	1258	2419	2446	1240	1773	892	589	987						
20	2617	4322	6161	8601	6796	3760	1884	315	664						
21	459	211	392	232		136	179		962						
22	607	288	232	79		369	154		1043						
23	31	28	37	117	193	64	57	57	109						
24	63	49	47	137	266	99	69	70	75						

Arsenic release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
Astrup

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
1	<0,1	<0,1													
2	<0,1	<0,1													
3	<0,1	0,1													
4	<0,1	0,2													
5	<0,1	0,2													
6	<0,1	0,2													
7	<0,1	<0,1													
8	<0,1	<0,1													
9	<0,1	<0,1													
10	<0,1	<0,1													
11	<0,1	<0,1													
12	<0,1	<0,1													
13	0,5	0,2	0,4	0,2	0,2	<0,1	<0,1	0,2	<0,1			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
14	0,2	0,5	0,3	0,2	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1			<0,1	<0,1	0,1	<0,1
15	0,3	0,4	0,3	0,2	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1			<0,1	1,8	0,1	<0,1
16	0,3	0,4	0,3	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1			<0,1	1,6	<0,1	<0,1
17	1,3	1,1	0,7	0,7	6,8	11	2,4	3,5	1,7	0,9	1,0	0,9	2,6	2,0	1,2
18	1,4	1,3	0,9	0,7	5,8	7,7	3,5	3,2	3,3	0,9	1,6	1,2	2,5	2,6	2,3
19	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,1	<0,1						
20	0,1	<0,1	0,2	0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,1	<0,1						
21	0,2	0,2	0,1	0,1	<0,1	0,2	<0,1	0,1	0,2						
22	0,6	0,4	0,3	0,2	<0,1	0,2	0,1	0,2	0,2						
23	0,1	0,2	0,2	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
24	0,3	1,2	0,3	0,3	0,2	0,1	<0,1	0,2	<0,1						

Appendix H

Arsenic release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
 Vester Gjesing

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
1	0,4	<0,1													
2	0,3	<0,1													
3	0,4	<0,1													
4	0,4	<0,1													
5	0,4	<0,1													
6	0,3	<0,1													
7	0,1	<0,1													
8	<0,1	<0,1													
9	0,1	<0,1													
10	0,1	<0,1													
11	0,2	<0,1													
12	0,1	<0,1													
13	0,8	0,4	0,5	0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1			0,1	<0,1	<0,1	<0,1
14	0,4	0,5	0,8	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1			0,2	<0,1	<0,1	<0,1
15	0,5	0,7	0,5	0,1	<0,1	0,1	0,1	<0,1	0,1			0,1	<0,1	<0,1	<0,1
16	0,5	0,4	0,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			0,2	0,11	<0,1	<0,1
17	0,5	1,5	0,6	3,5	3,3	3,8	2,3	2,2	1,9	0,5	0,9	1,8	0,6	0,7	0,6
18	1,1	2,6	1,0	3,2	3,5	3,3	2,2	2,6	2,6	0,6	1,7	2,6	0,6	0,7	0,6
19	0,5	0,3	0,4	0,1	<0,1	0,1	0,2	0,2	0,2						
20	0,7	0,3	0,4	<0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3						
21	0,5	0,3	0,2	0,1		0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
22	0,7	0,3	0,2	0,1		0,1	<0,1	<0,1	0,1						
23	0,4	0,3	0,2	<0,1		0,1	<0,1	<0,1	<0,1						
24	0,5	0,4	0,2	0,1		0,1	<0,1	<0,1	0,1						

Arsenic release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - May 2000
 Birkerød

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52
Test piece No.									
1	<0,1	<0,1							
2	<0,1	<0,1							
3	<0,1	<0,1							
4	<0,1	<0,1							
5	<0,1	<0,1							
6	<0,1	<0,1							
7	<0,1	<0,1							
8	<0,1	<0,1							
9	<0,1	<0,1							
10	<0,1	<0,1							
11	<0,1	<0,1							
12	<0,1	<0,1							
13	0,6	0,9	1,7	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
14	0,5	1,1	1,8	0,4	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1
15	0,30	0,3	0,8	0,3	<0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
16	0,4	0,4	0,7	0,2	<0,1	<0,1	0,1	0,1	0,1
17	1,4	0,5	0,9	1,7	3,1	4,5	6,1	4,8	4,9
18	1,4	0,5	1,2	1,8	3,7	5,7	6,3	2,0	4,5
19	0,3	0,3	0,5	1,1	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2
20	0,4	0,4	0,1	0,8	0,9	0,6	0,5	0,3	0,3
21	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	<0,1	0,1	0,1	0,1
22	0,4	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
23	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
24	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1

Appendix H

Arsenic release, 12 hours stagnation, µg/l
Operation period: May 1999 - March 2003
 Regnemark

Weeks	1	3	6	12	20	28	36	44	52	95	104	147	160	178	197
Test piece No.															
1	0,1	0,1													
2	0,1	0,1													
3	0,1	0,1													
4	0,2	0,1													
5	0,2	0,2													
6	0,1	0,1													
7	<0,1	<0,1													
8	<0,1	0,1													
9	<0,1	<0,1													
10	0,1	0,1													
11	0,1	0,1													
12	<0,1	<0,1													
13	1,3	1,0	1,1	0,5	0,3	0,2	0,5	0,2	0,2			0,3	0,1	0,4	0,4
14	1,1	0,9	0,5	0,3	0,2	0,3	0,7	0,2	0,2			0,3	0,3	0,2	0,3
15	0,9	0,4	0,7	0,5	0,2	0,3	0,5	0,2	0,5			0,3	0,2	0,2	0,2
16	0,6	0,3	0,6	0,4	0,3	0,2	0,6	0,4	0,7			0,4	0,1	0,2	0,3
17	4,1	2,5	3,6	6,7	4,5	3,8	4,7	4,2	6,2	2,2	2,5	4,2	2,6	3,1	5,1
18	3,1	2,2	2,4	6,9	6,0	5,1	6,5	5,1	8,0	2,4	3,3	4,1	1,7	3,7	6,1
19	0,6	0,4	0,6	1,6	0,3	0,3	0,6	0,4	0,6						
20	0,7	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3	1,0	0,6	0,9						
21	0,4	0,2	0,4	0,4	0,2	0,5	0,8	0,3	1,0						
22	0,4	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3						
23	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1	0,4	0,2	0,3						
24	0,4	0,2	0,5	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3						