

PRIPREMA VODE U VELIKIM SISTEMIMA DALJINSKOG GREJANJA

WATER TREATMENT IN LARGE-SCALE DISTRICT HEATING SYSTEMS

ANDREJ KOKALJ,
„Optimal Energy Solution“, d.o.o., Beograd

U velikim sistemima daljinskog grejanja (sistemi od nekoliko stotina kilovata do nekoliko megavata), uvek postoji potreba za održavanjem kvaliteta grejne vode. Bez pripreme vode u cevovodu počinju korozija, izdvajanje i taloženje kamenca, taloženje mulja, apsorpcija i desorpcija gasova i počinju organske hemijske reakcije zbog kojih se na grejne cevi talože bakterije i organske materije. Osim hemijske pripreme vode, za dobro funkcionisanje primarnog dela grejnog postrojenja potrebno je održavati određeni statički pritisak, prema potrebi dopunjavati sistem i omogućavati termičku ekspanziju vode. U ovom radu prvo se razmatraju postojeća rešenja u pripremi vode u primarnim sistemima daljinskog grijanja. Zatim su opisane elektrohemijske i fizičke osnove procesa, koji se vrše nad grejnom vodom i princip rada uređaja koji radi na principu adijabatske ekspanzije.

Na kraju je opisana primena ovog principa na slučaju iz prakse u toplani Ainring u Nemačkoj.

In large-scale district heating systems (systems from several hundred of kilowatts up to several megawatts) there is always a need for continuous water treatment. Without water preparation, corrosion, limestone formation (scaling), slime, absorption and desorption of gasses, organic chemical reactions occur in the heating water and on the walls of the pipelines. Additionally, for normal functioning of the primary side of the heating system, correct pressurisation, water fill up, and provision of thermal expansion is necessary. In this paper, the existing solutions of this problems are analyzed, physical and chemical processes are described and the functioning of the system with adiabatic expansion is presented. At the end, the case study of the adiabatic expansion treatment of water, applied in district heating of Ainring (Germany) is presented.

Ključne reči: *tretman vode; daljinsko grejanje; hemijska priprema; adijabatska ekspanzija*

Key words: *water treatment; district heating; chemical conditioning; adiabatic expansion*

1. Problematika pipreme grejne vode

Grejna voda treba da zadovolji sledeće kriterijume:

1. funkcionalni kriterijum: potrebno je održavati osnovne parametre vode (hemijski parametri, fizički parametri);
2. ekonomski kriterijum: upotreba sistema sa najnižim ukupnim troškovima na dugi rok (uključujući nabavku, održavanje, potrošnju struje, vode, hemikalija i sl.);
3. ekološko-pravni kriterijum: upotrebljeni sistemi i procesi treba da budu u skladu sa važećim zakonima, sa što manje uticaja na okolinu, uključujući i zaštitu na radu.

Sva tri gore navedena kriterijuma utiču na izbor optimalnog rešenja za pripremu vode za daljinsko grejanje.

Najčešća rešenja koja se koriste u većini velikih sistema su:

1. čišćenje vode sa standardnim, a onda i sa katjonskim i anjonskim filterom,
2. kondicioniranje cirkulacione vode sa fosfatnim i baznim sredstvima,
3. održavanje pritiska
 - a) diktir pumpama,
 - b) rezervoarom vode na većoj visini,
4. dopunjavanje vode i preuzimanje termičke ekspanzije putem akumulacione posude, zaštićene parnim ili slojem azota,
5. degasifikacija putem termičke degasifikacije.

Dansko udruženje za daljinsko grejanje preporučuje svojstva vode za dopunu i cirkulacione vode u zatvorenim sistemima grejanja. U tabeli 1 navedena su preporučena svojstva vode za dopunu i cirkulacione vode.

Iz tabele se može videti koji su značajni parametri vode za dopunu i cirkulacione vode. Ovi parametri definišu kakav hemijski kvalitet treba da ima voda koja se nalazi u primarnom postrojenju daljinskog grejanja. U tabeli 1 su vrednosti traženog kvaliteta vode, dok će u nastavku biti opisane elektrohemijske i fizičke osnove uz pomoć kojih je moguće bolje razumevanje gornjih parametara.

2. Elektrohemijske i fizičke osnove

2.1. Korozija

Korozija u sistemima za grejanje/hlađenje može biti:

1. korozija reakcijom kiseonika, koja predstavlja najčešći oblik korozije,
2. korozija kao posledica delovanja ugljenične kiseline,
3. korozija nastala formiranjem hidrogena.¹

Ad. 1

Brzina i dinamika korozije zavisi od pH vrednosti, elektromehaničkog potencijala i temperature vode.

Anodna hemijska reakcija se javlja na metalima – na sistemu cevovoda:



Katodna hemijska reakcija nastaje u vodi, gde je kiseonik oslobođen:

¹ Korozija nastala formiranjem hidrogena je veoma retka, pa zato neće biti detaljnije objašnjavana.

Tabela 1. Preporučeni parametri vode (Danish Distric Heating Association)

	Voda za dopunu		Cirkulaciona voda	
	Meka voda	Demineralizirana voda	Meka voda	Demineralizirana voda
Izgled	bez boje	bez boje	bez boje	bez boje
Miris	bez	bez	bez	bez
Trunje	< 5 mg/l	< 1 mg/l	< 10 mg/l	< 1 mg/l
pH-vrednost	9,8 +/- 0,2	9,8 +/- 0,2	9,8 +/- 0,2	9,8 +/- 0,2
Provodnost	kao sirova voda	< 10 S/cm	< 1500 S/cm	< 25 S/cm
Tvrdoća	< 0,1 dH°	< 0,01 dH°	< 0,5 dH°	< 0,1 dH°
Udeo kiseonika, ugljen-dioksida	< 0,1/10 mg/l	< 0,1/10 mg/l	< 0,02/10 mg/l	< 0,02/10 mg/l
Udeo ulja, masti	bez	bez	< 1 mg/l	< 1 mg/l
Udeo hlorida Cl	< 300 mg/l	< 0,1 mg/l	< 300 mg/l	< 3 mg/l
Udeo sulfata SO ₄	–	< 0,1 mg/l	–	< 1 mg/l
Udeo gvožđa Fe tot	< 0,05 mg/l	< 0,005 mg/l	< 0,1 mg/l	< 0,05 mg/l
Udeo bakra Cu tot	< 0,05 mg/l	< 0,01 mg/l	< 0,02 mg/l	< 0,01 mg/l
Bakteriološka granica	–	–	–	–

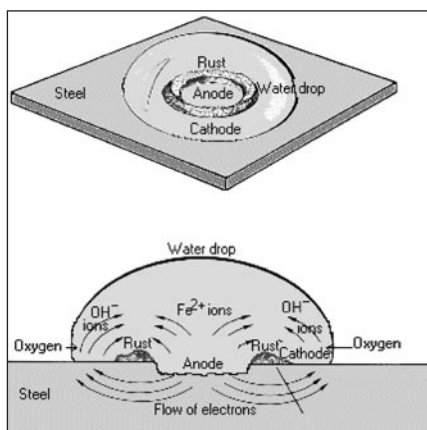


Kombinovana jednačina može biti napisana u sledećem obliku:

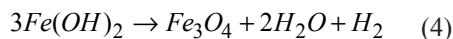


Slika 1 pokazuje kompletnu hemijsku reakciju koja se odigrava u kapljici vode. Oba negativno naelektrisana elektrona e^- se kreću i zauzimaju mesta na metalu, a joni Fe^{2+} i OH^- kreću se u pravcu vode kao što se može videti.

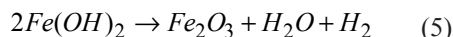
Kada je koncentracija kiseonika u vodi mala, u cevi se stvara magnetit Fe_3O_4 , a u skladu sa Schickorovom reakcijom. Ovaj sloj deluje kao zaštita i sprečava koroziju:



Slika 1. Proces korozije u kapljici vode



Kada je koncentracija kiseonika velika, formira se hematit Fe_2O_3 . Hematit ne poseduje zaštitnu funkciju magnetita.



Ako koncentracija kiseonika u vodi opada, hematit se postepeno pretvara u magnetit i formira zaštitni sloj u cevi.

Ad. 2

Tamo gde je ugljen-dioksid (CO_2) prisutan u sistemu, može nastati ugljenična kiselina. Ugljen-dioksid može ući u vodu za zagrevanje odnosno hlađenje

preko kontakta sa vazduhom, ili može nastati u hemijskoj reakciji između kamenca i vode. Ugljen-dioksid reaguje sa vodom i formira slabu ugljeničnu kiselinu, koja takođe vodi ka koroziji:

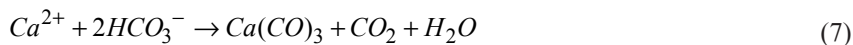


2.2. Mikroerozija

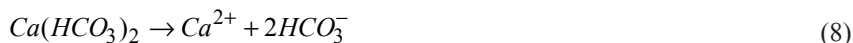
U slučaju da je veći broj gasova rastvoren u vodi za grejanje, mehurići se mogu formirati na svim mestima u sistemu cevovoda. Veličina i oblik mehurića zavisi od temperature i pritiska vode. Pri većem pritisku, mehurići se smanjuju i postaju veoma teški. Prilikom kretanja u cevima, mikroerozija može da izazove trenje između mehurića i cevi. Mikroerozija je takođe produkt tvrdih metalnih delova koji prolaze kroz cevovode. Ovi delovi su najčešće ostaci posle zavarivanja ili neočišćenih cevi nakon uspostavljanja sistema za grejanje.

2.3. Nastanak kamenca

Kamenac uglavnom nastaje kao posledica hemijske reakcije između soli kalcijuma (Ca) i magnezijuma (Mg), koje su prisutne u vodi, i ugljenične kiseline HCO_3 . Kamenac nastaje sa višim temperaturama vode, ali ispod tačke ključanja. Hemijska reakcija je sledeća:



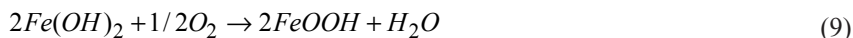
Kamenac se taloži kada se voda, bogata kalcijum-hidrogenkarbonatom $Ca(HCO_3)_2$, zagreva na temperaturu višu od $55^\circ C$, sa maksimalnim intenzitetom na oko $65^\circ C$:



Neophodni uslovi za prisustvo kamenca su visoka temperatura i prisustvo CO_2 .

2.4. Nastanak mulja

Mulj može ometati rad pumpe i smanjiti protok u cevima. Mulj obično nastaje u sistemima za grejanje, gde cevi nisu otporne na difuziju. U tom slučaju se kiseonik i drugi gasovi šire kroz cevi izazivajući veliku razliku parcijalnih pritisaka između vazduha i vode za grejanje odnosno hlađenje. Mulj je gvožđe (II) hidroksid $FeOOH$ i nastaje na osnovu sledeće reakcije:



Kada se mulj nataloži u cevovodu, može se transformisati u gvožđe (III) hidroksid.

2.5. Rastvorljivost vazduha u vodi

Rastvorljivost vazduha u vodi je objašnjena Henrijevim zakonom. On kaže da rastvorljivost vazduha u vodi opada sa povišenjem temperature i raste sa porastom pritiska, kao što se može videti na slici 2. Voda na $0^\circ C$, sa natpritiskom od 2 bar, može da apsorbuje približno 83 l/m^3 vazduha, a na $80^\circ C$ samo 32 l/m^3 vazduha. To pokazuje da će vazduh biti intenzivno apsorbovan na mestima sa višim pritiskom i nižom temperaturom. Kada se voda zagreje, vazduh se oslobađa iz vode u obliku mehurića.

2.6. Prenos toplote

Sa kamencem formiranim na površinama za prenos toplote, prenos toplote može biti smanjen kao posledica smanjenja koeficijenta prenosa toplote. Sloj kamenca deluje kao dodatna izolacija, koji izaziva pomenuto smanjenje prenosa toplote.

$$\dot{Q} = A \times \alpha \times (t_{sr} - t_n) \quad (10)$$

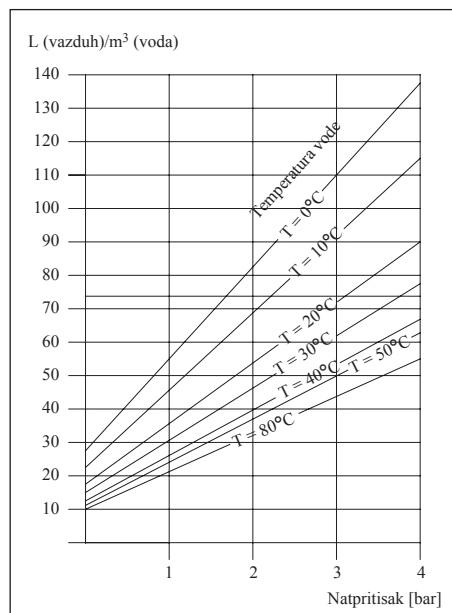
gde su:

- \dot{Q} – količina toplote [W],
- A – površina za razmenu toplote [m^2],
- T_{sr} – srednja temperatura prenosa toplote [K],
- T_p – temperatura okoline [K],
- α – koeficijent prenosa toplote [$\text{W/m}^2\text{K}$].

Ako se koeficijent prenosa smanji, za istu količinu toplote, temperatura u razmenjivačima toplote ili površina za razmenu toplote mora biti veća, što se može videti iz jednačine (10).

2.7. Rezime

1. Vazduh i ostali gasovi mogu prodrati u sisteme za grejanje kroz zatvorne, membrane.



Slika 2. Rastvorljivost vazduha kao funkcija natpritiska i temperature vode

2. Bez oslobođenog kiseonika u vodi procesi vodene korozije i mulja se ne mogu pojaviti.

3. Rastvorena količina gasova u vodi zavisi od pritiska i temperature vode. Sa povišenjem temperature vode i sniženjem pritiska, količina apsorbiranog gasa u vodi se smanjuje. To znači da hladna voda sistema za grejanje odnosno hlađenje ima veću apsorpcionu moć nego voda koja je zagrejana do radne temperature. Posle nekog vremena, voda u cevovodu postaje zasićena rastvorenim gasovima. Kada se voda zagreje, to dovodi do izdvajanja gasa i formiranja vazдушnih mehurića.

4. U tekućoj vodi, koja je korišćena za nadoknađivanje i ispunjavanje sistema, nalaze se soli kalcijuma i magnezijuma. Obe ove soli predstavljaju potencijalni uzrok nastanka kamenca. Kamenac nastaje na višim temperaturama i u prisustvu CO₂.

5. Kamenac se najpre taloži na površinama sa višom temperaturom. Ove površine su najčešće razmenjivači toplote u kotlovima. Zbog smanjenog prenosa toplote, kotlovi se nalaze pod dodatnim toplotnim opterećenjem i izloženi opasnosti od pregrevanja.

6. Sloj kamenca na grejnim površinama generatora toplote, kao što su kotlovi, smanjuje efikasnost prenosa toplote, što umanjuje prosečnu efikasnost sistema za grejanje.

3. Priprema grejne vode adijabatskom ekspanzijom

Mehanička priprema vode predstavlja relativno nov pristup. Uređaj za mehaničku pripremu vode je patentiran u Nemačkoj i korišćen u sistemima daljinskog grejanja u Evropi i Aziji.

Funkcije uređaja su sledeće:

- održavanje pritiska u sistemu,
- kompenzacija termičkog širenja vode,
- eliminacija vazduha (eliminacija rastvorenih gasova iz vode),
- eliminacija soli i nečistoća rastvorenih u vodi,
- dopunjavanje sistema u skladu sa standardima DVGW,
- mehanička priprema vode.

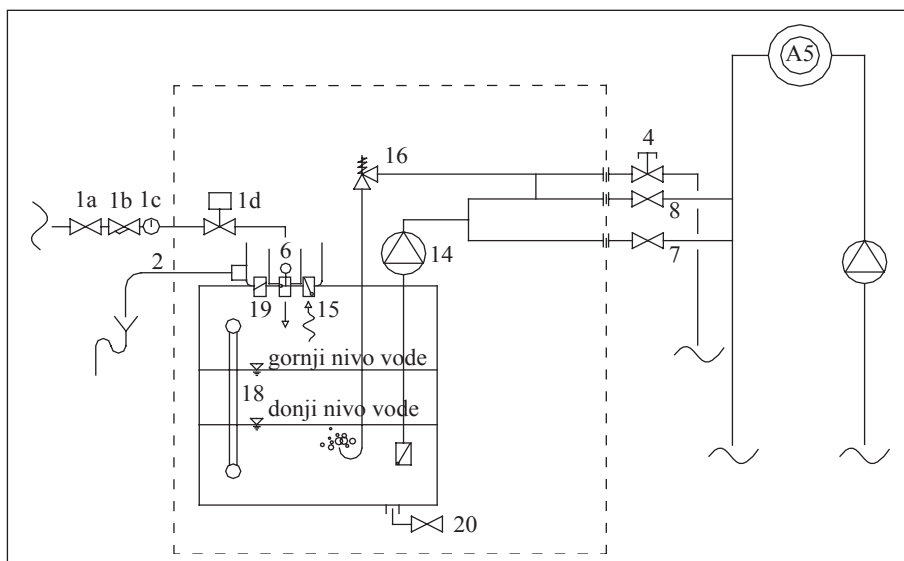
Degasifikacija deluje u skladu sa pomenutim Henrijevim zakonom: on koristi razliku u rastvorljivosti gasova u zavisnosti od pritiska (slika 3). Uređaj se povezuje na povratni vod od toplotne podstanice (A5). Zagrejana ili ohlađena voda teče preko prelivnog ventila (16), gde se pritisak redukuje na vrednost atmosferskog pritiska.

Kada je pritisak u vodi snižen, gasovi se izdvajaju iz vode u formi mehurića. Mulj i rastvorene soli se talože na dnu posude za vodu. Ovu vodu onda preko pumpe (14) ponovo dovodimo u sistem (7). Posuda ima otvor za odvod (20), koji omogućava čišćenje naslaga sa njenog dna.

Struktura sistema je izrađena u skladu sa DIN 1988 sa sistemskom separacijom. Ako je nivo vode ispod donje dozvoljene granice, nivo-prekidač otvara elektromehanički ventil (1d), koji preko plovka (6) propušta svežu tekuću vodu u posudu. Ova dodatna voda je depresirana na vrednost atmosferskog pritiska i desalinizovana. U slučaju prekomerne količine vode u sistemima grejanja odnosno hlađenja, čep (2) omogućava zaštitu sistema. Priključak za termičku ekspanziju je 4. Uređaj omogućava konstantan pritisak sistema za grejanje odnosno hlađenje pomoću monostata.

Voda u posudi može biti podeljena u 5 slojeva (slika 4). Sloj 1 je na mestu gde se voda uvodi u posudu bez pritiska. U sloju 2 su mehurići rastvorenih gasova kao što su O₂, N₂, CO₂ and H₂ eliminisani iz vode. U sloju 3 protok vode se smiruje, tako da

se u sloju 4 mogu taložiti soli i mulj. Naslage se formiraju u sloju 5 na dnu posude. Brzina vode i turbulencije na dnu posude su dovoljno male za uklanjanje taloga.



Slika 3. Princip rada multifunkcionalnog uređaja AIR-SEP

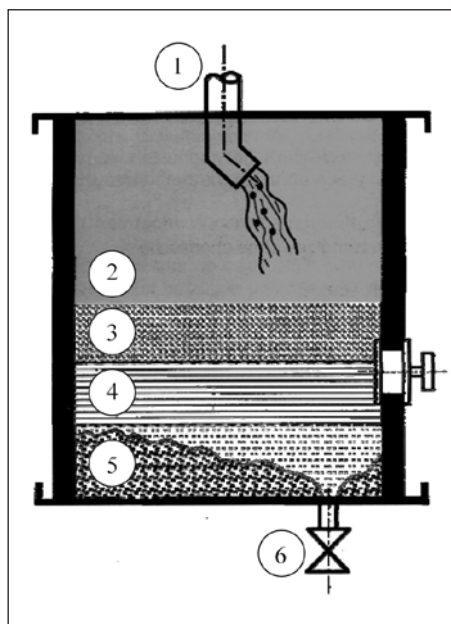
Hemijske, fizičke i električne osobine ovako tretirane vode su sledeće:

1. tvrdoća vode: < 3,0 dH
2. pH vrednost: 8~10
3. količina kiseonika u vodi: < 2,0 mg/l
4. električna provodnost: < 1000 μ S

Uređaj AIR-SEP sa svojim karakteristikama aktivno eliminiše rastvorene gasove iz sistema i štiti ih od korozije, mulja i nastanka kamenca, omogućavajući visoku efikasnost ukupnog prenosa energije.

4. Primena koncepta adijabatske ekspanzije u praksi

U 2007. godini, u mestu Ainring u Nemačkoj, izgrađena je nova kombinovana kotlanica sa kotlovima na biomasu – drvene pelete i gasnim kotlovima. U kotlovima se proizvodi para niskog pritiska i vruća voda za daljinsko grejanje.



Slika 4. Slojevi vode u posudi

Karakteristike postrojenja:

- zapremina vode u postrojenju: 250 m³,
- temperaturski režim na primarnoj strani: 110/70°C,
- toplotni kapacitet postrojenja: 20 MW,
- na daljinsko grejanje priključeno je cca 3.200 građana,
- ukupna dužina toplovoda: 11 km.



Slika 5. Trasa daljinskog grejanja u Ainringu

Podaci sa kojima je bio izračunat uređaj AIR-SEP:

- Q = 20 MW Q – ukupna instalisana toplotna snaga,
V = 250 m³ V – zapremina vode u sistemu,
T = 110/70°C T – temperaturski režim na primarnoj strani,
H = 4,5 bar (g) H – statička visina.

U sistem su ugrađena dva uređaja AS-E 2400/6 u kombinaciji sa dve ekspanzijske posude AS-EB 2400, ukupne zapremine 9600 litara. Svi uređaji su međusobno hidraulički povezani. Pumpe za održavanje pritiska programirane su da se međusobno menjaju, a u slučaju defekta sistem ulazi u alarmiranje.

Prednosti ugradnje uređaja AIR-SEP:

1. održavanje optimalnih parametara vode (pH, elektroprovodnost, nivo kiseonika i dr.),

2. dopunjavanje vode i održavanje pritiska,

3. održavanje uslova za optimalan prenos toplote u primarnom postrojenju,

4. bez potrebe za hemijskom pripremom vode DIN EN 14868 ne preporučuje upotrebu natrijum-sulfida (Na_2SO_3) ili hidrazina (N_2H_2) u zatvorenim sistemima grejanja jer podstiču rast mikroorganizama i stvaraju uslove za koroziju bakra i njegovih legura].

Zbog toga su troškovi održavanja uređaja niski – bez hemijskih aditiva, bez opasnosti za radnike i bez uticaja na okolinu,

5. kompaktna konstrukcija – sve je u jednom uređaju na malom prostoru,

6. vrlo jednostavno održavanje/čišćenje/podešavanje – bez posebne obuke za rad,

7. bez komplikovanih sastavnih delova, svi delovi mogu se vrlo jednostavno zameniti,

8. kratak rok amortizacije.

5. Zaključak

Kvalitet vode je jedna od promenljivih koja utiče na pravilan rad sistema za grejanje. Ako voda nije pravilno pripremljena, nastaju mnogi problemi, koji izazivaju teškoće u radu sistema za grejanje i smanjuju njihovu efikasnost. Predstavljen je uređaj koji koristi mehaničku pripremu vode. On koristi razliku u rastvorljivosti gasova, sa ciljem da ih eliminiše iz medija za grejanje odnosno hlađenje.

Pored eliminacije gasa on takođe omogućuje korektno održavanje pritiska u sistemu, predstavlja kompenzaciju za termičku ekspanziju, vrši eliminaciju soli i mulja i dopunjavanje grejnog sistema.

Primenljiv je u većim sistemima daljinskog grejanja, i predstavlja alternativu klasičnim načinima pripreme vode.



Slika 6. ORC (Organic Rankine Cycle) koji se primenjuje u biomasnom postrojenju



Slika 5. Toplana Ainring



Slika 7. Uređaji AIR-SEP u funkciji

Literatura

- [1] **Recknagel, Sprenger, Schramek (1999)**, *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*, R. Oldenbourg Verlag München, Wien.
- [2] **Bernstein, Hans Friedrich (2006)**, *Druckhaltung und entgasung*, IKZ Haustechnik, Österreich.
- [3] **Gutierrez-Miravete, Ernesto (1998)**, *Computation of corrosion*.
- [4] **Simon, R. (1989)**, *Beurteilung eines Gerätes (AIR-SEP) auf Eignung als Korrosionsschutz in Wasserführenden Rohrleitungssystemen*, Lehrstuhl für Metallurgie und Metallkunde.
- [5] *** DIN EN 14686 (Korrosionsschutz Metallischer Werkstoffe – *Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasser-Zirkulationssystemen*; Deutsche Fassung prEN 14868:2003).

kgH