

Vandkvalitetskrav for anvendelser af opsamlet regnvand i tøjvask, toiletskyl og brandslukning

Centralt sekundavandsanlæg i bydelen Nye, Aarhus (baggrundsnotat)

Tang, Camilla; Albrechtsen, Hans-Jørgen

Publication date:
2016

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Tang, C., & Albrechtsen, H-J. (2016). Vandkvalitetskrav for anvendelser af opsamlet regnvand i tøjvask, toiletskyl og brandslukning: Centralt sekundavandsanlæg i bydelen Nye, Aarhus (baggrundsnotat). Kgs. Lyngby: DTU Miljø, Danmarks Tekniske Universtitet.

DTU Library Technical Information Center of Denmark

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

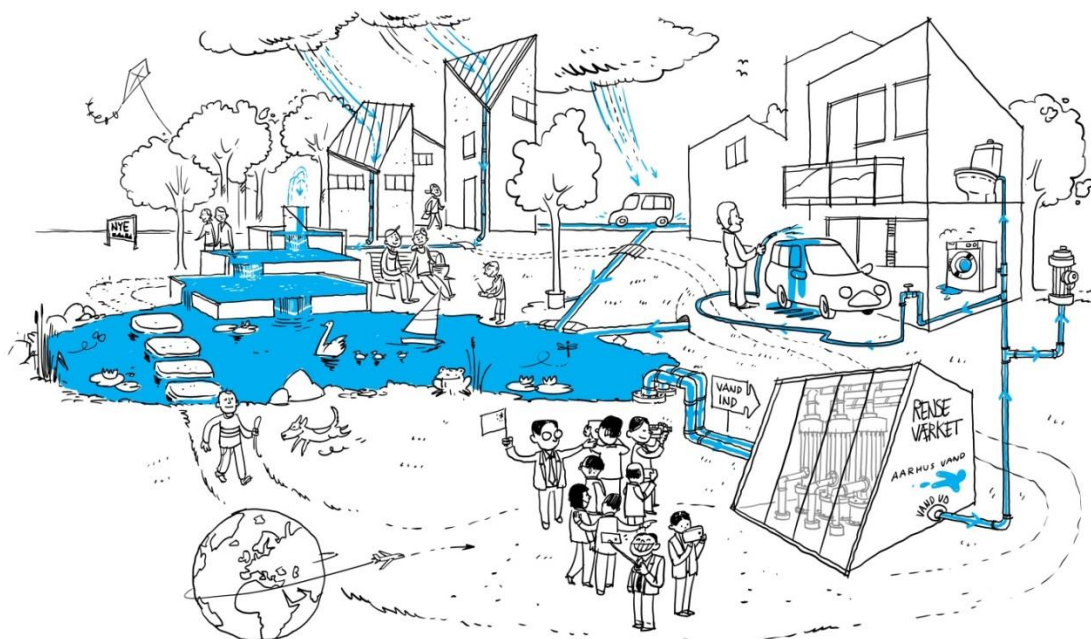
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Vandkvalitetskrav for anvendelser af opsamlet regnvand i tøjvask, toiletskyl og brandslukning

Centralt sekundavandsanlæg i bydelen Nye, Aarhus

Baggrundsnotat



Camilla Tang

Hans-Jørgen Albrechtsen

September 2016

Indhold

Indledning.....	1
1. Regnvand.....	1
2. Datagrundlag og metode	3
2.1 Metode og antagelser	3
2.2 Erfaringer fra andre lande	4
3. Generelle vandkvalitetskrav	6
3.1 Flygtige organiske forbindelser	6
3.2 Korrosion.....	6
3.3 Biostabilitet.....	7
4. Vandkvalitetskrav ved specifikke anvendelser	9
4.1 Toiletskyl	9
4.2 Tøjvask	11
4.3 Brandbekæmpelse.....	14
5. Diskussion.....	15
6. Konklusion.....	16
Litteratur	17

Indledning

Nye er en ny, bæredygtig bydel i det nordlige Aarhus. Aarhus Vand vil, som det første sted i Danmark, etablere en central sekundavandsløsning i Nye, der skal forsyne de 500 boliger med rensset regnvand, der forventes anvendt til:

- Toiletskyl
- Tøjvask
- Brandbekæmpelse

Der er på nuværende tidspunkt ikke vandkvalitetskrav for anvendelse af sekundavand i den danske lovgivning. Aarhus Vand ønsker derfor at kortlægge hvilke fysiske, kemiske og biologiske parametre, der er relevante i forhold til de tre anvendelser samt hvilke kravværdier, vandet bør leve op til, for at det er sikkert og komfortabelt at anvende. DTU Miljø har udarbejdet et oversigtsark med forslag til kravværdier for Aarhus Vand. Baggrunden for de forskellige kravværdier er beskrevet i dette notat.

1. Regnvand

Der er forskellige fysiske, kemiske og biologiske parametre, der kan være problematiske i forbindelse med anvendelse af opsamlet regnvand til toiletskyl, tøjvask og brandbekæmpelse. Risikoen ved de enkelte parametre afhænger dels af forholdene under de enkelte anvendelser og dels af, hvorvidt de er i problematiske koncentrationer i opsamlet regnvand. Det sidstnævnte beskrives i dette afsnit.

Der er en række forhold, der påvirker regnvands sammensætning, der derfor kan variere meget. Regnvand kan optage forskellige stoffer i atmosfæren, men påvirkes i højere grad af de overflader, vandet rammer, samt hvordan det opsamlede regnvand opbevares (Ledin et al., 2004). Regnvand kan ramme mange forskellige overflader som f.eks. tage, malede overflader, cement, befæstede arealer og stier. Disse overflader kan frigive stoffer til regnvandet og dermed påvirke dets sammensætning. Mange byggematerialer indeholder biocider, der kan frigives under regnskyl. Ligeledes kan zinktage frigive zink, og tagpap kan frigive PAHer (Juhl et al., 2014). Udover selve materialet kan der være opsamlet forskellige partikler såsom støv fra bilers bremses, blade, fækaler fra dyr, oliespild, bekæmpelsesmidler og vejsalt på overfladen, der alt sammen kan forurene regnvandet med uønskede stoffer og mikroorganismer. Et litteraturstudie har identificeret 520 relevante måleparametre fordelt på 68 tungmetaller og overgangselementer, 311 miljøfremmede organiske parametre, 33 fysiske, 86 kemiske og 22 mikrobielle parametre (Ledin et al., 2004). Da de overflader, regnvandet rammer, har stor betydning for dets sammensætning, har regnvand opsamlet fra tage en markant bedre hygiejnisk kvalitet sammenlignet med regnvand opsamlet fra befæstede arealer (Ledin et al., 2004). Det skyldes, at dyr såsom ræve, hunde og katte kan afsætte fækaler på befæstede arealer, hvilket forøger risikoen for patogene mikroorganismer (Albrechtsen, 1998). Derudover har menneskelig aktivitet, som f.eks. brug af bekæmpelsesmidler, oliespild og generelt forurening fra biler m.m. større indflydelse på vandkvaliteten, hvis regnvand opsamles fra befæstede arealer (Juhl et al., 2014; Ledin et al., 2004).

Under opbevaring af regnvand i en tank eller et åbent bassin kan forskellige processer ændre vandets sammensætning afhængigt af f.eks. opholdstiden og temperaturen. Ved et åbent bassin er der endvidere mulighed for yderligere forurening. Blandt processerne under opbevaring er bundfældning og biologiske

processer (van der Sterren et al., 2012). Et opbevaringsbassin kan dermed være det første trin i en vandbehandlingsproces, men kan også give anledning til yderligere forurening.

Regnvands sammensætning kan også variere over tid. Den første regn, der falder efter en tør periode, vil vaske partikler, dyrefækalier og lignende af overflader og har derfor typisk højere koncentrationsniveauer end den efterfølgende regn. Dette er kendt som en 'first flush' effekt og observeres især fra mindre overflader, da tidsforskydning af afstrømning fra større arealer kan udjævne effekten (Arnbjerg-Nielsen et al., 2000). Der kan derfor opnås en forbedret vandkvalitet, hvis ikke den første mængde vand under et regnskyl opsamles med henblik på genanvendelse. Der kan også være sæsonmæssige variationer af regnvandets sammensætning, når forureningen kommer fra f.eks. bekæmpelsesmidler og vejsalt (Ledin et al., 2004).

På grund af de tidsmæssige variationer samt betydningen af, hvordan regnvandet opsamles og opbevares, er der meget store variationer i regnvands sammensætning (Eriksson, 2002). Derfor er det svært at forudsige kvaliteten af det opsamlede regnvand i Nye. Den store variation i regnvands sammensætning betyder endvidere, at der er risiko for at overse en vigtig parameter, når der opstilles kravværdier, da der kan være særlige forhold i Nye, der kan få en specifik parameter til at optræde i en kritisk høj koncentration, selvom dette ikke observeret tidligere i regnvand.

Det er i dag tilladt at anvende regnvand opsamlet fra tage til toiletskyl og tøjvask efter filtrering (0,18-0,5 mm), såfremt regnvandsanlægget udformes i overensstemmelse med Drikkevandsbekendtgørelsen¹ (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016) og Rørcenter anvisning 003 "Brug af regnvand til toiletskyl og vaskemaskiner i boliger" (Rørcentret, 2012; Juhl et al., 2014). Dog er det ikke tilladt at anvende regnvand til toiletskyl og tøjvask på institutioner, hvor der er særligt følsomme personer som f.eks. på hospitaler, plejehjem og daginstitutioner. Det er heller ikke tilladt at anvende regnvand til tøjvask i institutioner og bygninger med offentlig adgang såsom skoler, samlingshuse, biblioteker og kontorer, selvom regnvand gerne må anvendes sådanne steder til toiletskyl efter tilladelse fra myndighederne (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016). Anvisningen fra Rørcentret stiller krav til udformningen af regnvandstanke og hvordan de tilkobles, så der ikke er risiko for kontaminering af drikkevandsforsyningen. Derudover opstilles retningslinjer for, hvilke tagflader der betragtes som uegnede til opsamling af regnvand på grund af især misfarvninger af vandet. Dette gælder tage med ny bitumenbelægning, nogle typer af tagpap, græs-, mos- og stråtage, kobbertage og asbestholdige tage (Rørcentret, 2012). Det er ikke alle krav i anvisningen, der er relevante i forhold til etablering af en sekundavandsløsning i Nye, da man her vil opsamle vand fra både tagflader og befæstede arealer, og vil behandle vandet. Det vil sige, at vandet inden behandling vil have en ringere vandkvalitet end vand opsamlet udelukkende fra tage, men at vandet efterfølgende kan behandles til den ønskede kvalitet.

Regnvandsanlæg er på nuværende tidspunkt kun installeret i begrænset omfang i Danmark. De nuværende anlæg beskrives som tekniske vanskelige at installere, mens der også er enkelte rapporter om gener i form af misfarvning og lugt. Derudover har der været enkelte tilfælde, hvor regnvandsanlægget ikke har været installeret korrekt og drikkevandsforsyningen er blevet forurennet (Albrechtsen, 1998; Raben & Juhl, 2014). Da den planlagte vandforsyning i Nye er baseret på et to-strengt system og en central behandling af sekundavandet, kan disse erfaringer ikke overføres direkte.

¹ Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg

2. Datagrundlag og metode

2.1 Metode og antagelser

I det omfang, det har været muligt, er kravværdierne i de følgende afsnit opstillet på baggrund af gældende lovgivning i andre lande (se afsnit 2.2) og gældende nationale vejledninger. Internationalt er der kun i begrænset omfang lovgivning for anvendelse af opsamlet regnvand, men derimod lovgivning om genanvendt, behandlet spildevand. Da denne lovgivning ofte er rettet mod konkrete anvendelser, vurderes kravværdierne for spildevand også være relevante i forhold til anvendelse af opsamlet regnvand. Der kan være stoffer i regnvand, der ikke er i spildevand, hvilket er vigtigt at være opmærksom på, så der ikke udelades relevante parametre i opstillingen af kravværdier. For nogle parametre har det ikke været muligt at finde kravværdier i litteraturen. Her har vi enten anvendt grænseværdien i Drikkevandsbekendtgørelsen anvendt eller estimeret kravværdien under forskellige antagelser. Hvordan de specifikke kravværdier er fundet, er beskrevet nærmere ved hver anvendelse i afsnit 4.

Kravværdierne er opstillet på baggrund af de tre forskellige anvendelser og hvilken vandkvalitet de kræver for at vandet er sikkert og komfortabelt at anvende. I planlægningen af vandbehandling bør der derfor tages hensyn til, at vandkvaliteten kan ændre sig under lange transportafstande og opbevaring efter behandling. Hver kravværdi er sammenlignet med den tilsvarende grænseværdi i Drikkevandsbekendtgørelsen, for at sikre, at der ikke stilles strengere krav til en given parameter end Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016). Drikkevand er egnet til alle tre anvendelser og det vurderes derfor ikke nødvendigt, at vandet behandles til en kvalitet, der er bedre end drikkevandskvalitet. Ved sammenligning med Drikkevandsbekendtgørelsen er det værdien ved taphane, der er anvendt.

Derudover er kravværdien sammenlignet med værdier fra litteraturen for at undersøge, hvorvidt den pågældende kravværdi er relevant i forhold til de koncentrationer, der tidligere er målt i opsamlet regnvand. Ledin et al. (2004) gennemførte et omfattende litteraturstudie af hvilke parametre, der er målt i opsamlet regnvand, samt hvilke parametre der potentielt kan forekomme. Formålet med dette studie var at definere et fremtidigt måleprogram for opsamlet regnvand med henblik på genanvendelse og anses derfor som yderst relevant i forhold til opstilling af fremtidige kravværdier for genanvendt regnvand i Nye. Den gennemgåede litteratur dækker regnvand opsamlet i forskellige lande og under meget forskellige forhold. Det betyder, at der er en række ekstreme værdier, der ikke nødvendigvis er retvisende for, hvad der kan forventes i regnvand opsamlet i Nye. Kravværdierne er sammenlignet med hele intervallet af målte værdier, selvom disse ekstreme værdier indgår. Hvis kravværdien er højere end den maksimale målte værdi, er det vurderet, at kravværdien ikke er relevant, fordi det er usandsynligt, at parameteren vil forekomme i så høj en koncentration, at den er problematisk i forhold til de tre anvendelser. I så fald er kravværdien ikke inkluderet i oversigtsarket og arket indeholder dermed kun de væsentligste parametre.

Den amerikanske miljøstyrelse og verdenssundhedsorganisationen (WHO) har opstillet en række vejledende vandkvalitetskrav, som drikkevand bør overholde for at være æstetisk at anvende (US EPA, 2016; WHO, 2006). Disse sikrer, at vandet ikke fører til lugtgener og misfarvninger og er opstillet for drikkevand, og ikke sekundavand, men er højere end koncentrationerne i Drikkevandsbekendtgørelsen. Det er vurderet, at disse værdier er relevante i forhold til at fastsætte kravværdier, der netop skal sikre mod lugtgener og misfarvning, og dermed at vandet er komfortabelt for forbrugerne at anvende.

2.2 Erfaringer fra andre lande

I Danmark anvendes regnvand kun i begrænset omfang og der er på nuværende tidspunkt ikke lovgivning for anvendelse af behandlet regnvand opsamlet både fra tage og befæstede arealer (Raben & Juhl, 2014). Derfor præsenteres i dette afsnit eksempler på regulering af genanvendt regnvand i Australien, USA og Tyskland.

I Australien opsamles og anvendes regnvand i stort omfang, da klimaet skaber tørkeperioder med vandmangel (van der Sterren et al., 2012). 16 % af alle australske husholdninger opsamler regnvand og 13 % anvender opsamlet regnvand som deres primære kilde til drikkevand (enHealth Council, 2004). Der er ingen national lovgivning for anvendelse af regnvand, men derimod lokal lovgivning i de forskellige delstater (NRMMC, 2009). I Brisbane er det f.eks. den enkelte operatørs ansvar, at vandet er sikkert og æstetisk at håndtere, men der er ikke givet konkrete grænseværdier. Dette skyldes, at der tages udgangspunkt i, hvordan regnvandet er opsamlet og til hvilket formål det skal anvendes i en såkaldt "fit-for-purpose" tilgang. På denne måde tages hensyn til den konkrete anvendelse og det kan undgås at vandet overbehandles med øgede omkostninger til følge. Der skal derfor foretages en konkret risikovurdering ved etablering af regnvandssystemer (Brisbane City Council, 2008). Til dette formål findes en national vejledning, det ikke er lovpligtigt at følge, men som kan anvendes ved risikovurdering af anvendelse af opsamlet regnvand (NRMMC, 2009). Vejledende grænseværdier for at sikre menneskelig sundhed er angivet i Tabel 1. Denne tilgang medfører, at regnvandssystemer i Australien er designet på mange forskellige måder afhængigt af den lokale lovgivning og regnvandets anvendelse. Det er dog normal praksis at opsamle vand fra tage og at fraseparere vandet fra 'first-flush' for at øge vandkvaliteten (van der Sterren et al., 2012).

I USA er der ingen national lovgivning for anvendelse af regnvand til sekundavandsformål, hvilket reguleres forskelligt fra delstat til delstat. Der er derimod lovgivning for behandlet og genanvendt spildevand. Her stilles ikke blot krav til grænseværdier men også til, hvordan vandet skal behandles og efterfølgende monitoreres (US EPA, 1991; Tabel 1). Der stilles forskellige krav alt efter, hvilken anvendelse der er tale om og hvor stor en grad af kontakt mennesker har med vandet. Genanvendt spildevand til toiletskyl og brandbekæmpelse skal leve op til kravene for "unrestricted urban reuse" og skal efter konventionel spildevandsbehandling efterfølges af filtrering (sand- eller mikrofiltrering) og desinfektion med klor. Fordi vandet skal desinficeres med klor, er der krav til turbiditet og suspenderet stof (SS) inden desinfektion og en rest af Cl_2 efter desinfektion (US EPA, 2012). Spildevand er ligesom regnvand komplekst i sin sammensætning og kan indeholde en række problematiske fysiske, kemiske og biologiske parametre. Denne kompleksitet imødekommes altså i USA både med en række grænseværdier, og med krav til behandlingen for at sikre en tilstrækkelig vandkvalitet til de forskellige anvendelser.

I Tyskland er anvendelse af regnvand langt mere udbredt end i Danmark og i 2007 blev der opført ca. 50.000 regnvandsanlæg årligt (Nolde, 2007). Den primære motivation for opsamling af regnvand i Tyskland er ikke baseret på vandmangel som i Australien, men derimod for at beskytte drikkevandsressourcen. Drikkevandsforsyningen i bl.a. Berlin er baseret på grundvand, der er infiltreret fra floder og søer. Formålet med opsamling af regnvand i byer er derfor at reducere mængden af forurening, der ender i floder og søer, og dermed potentielt i drikkevandsressourcen (Steffan et al., 2010). I Tyskland anbefales, at sekundavand (både behandlet regnvand og gråt spildevand) anvendes til toiletskyl, havebrug og vanding af afgrøder, hvorimod det er forbrugernes egen beslutning og ansvar at anvende sekundavand til tøjvask (Nolde et al. 2007). Sekundavand skal leve op til fire kriterier (Nolde et al., 2007):

1. Det skal være hygiejnisk sikkert
2. Det skal være æstetisk på højde med drikkevand (det vil sige ingen udfældning og misfarvninger)
3. Det skal være miljømæssigt forsvarligt
4. Driftsomkostningerne må ikke overstige dem for drikkevand

Endvidere skal installationer leve op til standarden DIN 1989 "Rainwater harvesting systems – Part 1: Planning, construction, operation and maintenance" fra 2002. Der er ikke opstillet specifikke grænseværdier til sekundavand udover kravene i Tabel 1. Der er altså en lignende tilgang som i USA, hvor der stilles ganske få grænseværdier, men til gengæld stilles krav til håndteringen af vandet.

Tabel 1: Grænseværdier for anvendelse af regnvand og/eller rensset spildevand som sekundavand i Tyskland, Australien, USA og Europa. Værdierne er maksimale grænseværdier, hvis ikke andet er angivet. - indikerer ingen værdi opgivet.

	Tyskland ¹	Australien ²	Australien ²	USA ³	Europa ⁴	Europa ⁴
Anvendelse(r)	Toiletskyl (og tøjvask)	Toiletskyl	Brand-bekæmpelse	Toiletskyl og brand-bekæmpelse	Sekundavand private hjem	Brand-bekæmpelse
Vandtype	Regnvand og spildevand	Regnvand	Regnvand	Spildevand	Spildevand	Spildevand
pH	-	6,5-8,5	6,5-8,5	6-9	-	-
Oxygen	> 50 % mætning	-	-	-	> 0,5 mg/L	> 0,5 mg/L
Turbiditet	-	2 NTU	2 NTU	2 NTU ⁵	-	-
SS	-	-	-	5 mg/L ⁵	-	-
Total kvælstof	-	-	-	-	15-20 mg/L	15-20 mg/L
Total fosfor	-	-	-	-	2-5 mg/L	2-5 mg/L
Cl ₂ rest	-	> 1 mg/L	> 1 mg/L	> 1 mg/L	-	-
Klorid	-	-	-	-	250 mg/L	250 mg/L
BOD ₅ /BOD ₇	5 mg/L	-	-	10 mg/L	-	-
Total coliforme	1/100 mL	-	-	-	1 CFU/100 mL	1 - < 1000 CFU/100 mL
Fækale coli	-	-	-	1 CFU/100 mL	-	-
<i>Escherichia coli</i>	1/10 mL	1 CFU/100 mL	10 CFU/100 mL	-	-	-
Enterococci	-	-	-	-	1 CFU/100 mL	20 CFU/100 mL
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1/1 mL	-	-	-	-	-
Andet	Lugtfri Farveløst	-	-	-	-	-

¹ Nolde et al. (2007)

² Vejledende værdier fra Philp et al. (2008)

³ US EPA (2012)

⁴ Eksempler på værdier fra Italien, Israel og Spanien fra Salgot et al. (2006)

⁵ Inden desinfektion

Erfaringerne fra andre lande viser, at det er vigtigt, at grænseværdierne sættes i forhold til anvendelsen og hvor meget kontakt, der er risiko for, for at undgå unødigt behandling. For alle lande er der sat grænseværdier i forhold til enten fækale coli, total coliforme eller *E. coli*. Dette indikerer, at det er fækal forurening og dermed tilstedeværelsen af patogene mikroorganismer, der er en bekymring i forhold til genanvendelse af både regnvand og spildevand. Til gengæld reguleres der ikke i forhold til eksempelvis tungmetaller eller miljøfremmede stoffer. Dette kan skyldes, at de koncentrationer, der typisk er fundet i regnvand, ikke vurderes til at være problematiske, men det kan også skyldes, at det er for komplekst at fastsætte grænseværdier for samtlige tungmetaller og miljøfremmede stoffer, der kan optræde i regnvand. Dette overkommes i nogle tilfælde ved at sætte standarder for vandets egenskaber, som f.eks. at det skal være sikkert og ikke give anledning til æstetiske problemer.

3. Generelle vandkvalitetskrav

Sekundavand defineres som "vand af anden kvalitet end drikkevand, der kan erstatte brugen af drikkevand eller på anden vis kompensere for anvendelsen af drikkevand" (Rygaard & Albrechtsen, 2013).

Sekundavand kan dække flere typer af vand såsom overfladevand, vand fra afværgepumpninger, processpildevand og regnvand. Overordnet set har Danmark ikke vandmangel, men i byområder med begrænset adgang til grundvand kan brugen af sekundavand mindske presset på grundvandsressourcen (Juhl et al., 2014). Selvom sekundavand ikke er af drikkevandskvalitet, skal kvaliteten stadig være tilstrækkelig god til de tre anvendelser og ikke give anledning til problemer. Det kan eksempelvis være æstetiske problemer som lugt, tekniske problemer som korrosion og sundhedsmæssige problemer som infektionssygdomme eller allergi (Tabel 2). Det er ikke alle problemer, der er relevante i alle anvendelser. Dette afhænger af, hvor stor risiko der er for menneskelig kontakt med vandet, og hvilke forhold der er gældende under anvendelsen (f.eks. pH og temperatur).

Tabel 2: Måleparametre som kan give problemer i forhold til opsamlet regnvand (Ledin et al., 2004)

	Problem	Måleparametre
Tekniske/æstetiske	Udfældning a) Neutral pH b) Høj pH (vaskemaskine)	Metaller, pH, alkalinitet, sulfat
	Korrosion	Calcium, carbonat, klorid, sulfat
	Lugtgener	Ilt, sulfid
	Skumdannelse	Skumhøjde
	Farvning af tøj og toiletkummen	Metaller, humus- og fulvussyre
	Blegning af tøj	Kraftigt oxiderende stoffer, f.eks. H ₂ O ₂
	Dosering af vaskemiddel	Vandets hårdhed, calcium og magnesium
Sundheds- mæssige	Infektionssygdomme	Patogene mikroorganismer
	Allergi	Miljøfremmede organiske forbindelser og metaller
	Cancer	
	Mutagene forandringer	
	Reproduktionstoksiske stoffer	

3.1 Flygtige organiske forbindelser

I Ledin et al. (2004) er der præsenteret forskellige miljøfremmede, organiske forbindelser, der kan være problematiske i forhold til menneskelig sundhed, da de kan give anledning til allergi, cancer, mutagene forandringer eller er reproduktionstoksiske. Blandt disse er forskellige flygtige forbindelser som f.eks. benzen og klorerede opløsningsmidler. Disse er ikke inkluderet i kravværdierne, da det vurderes, at de vil være dampet af under opbevaring i åbent bassin eller under vandbehandlingen og dermed ikke udgør en sundhedsrisiko i de tre anvendelser i Nye.

3.2 Korrosion

Korrosion kan forkorte levetiden af rør og tekniske vandinstallationer (Nielsen, 1995) og er derfor problematisk i forhold til transport af vand i alle tre anvendelser. Derfor behandles det særskilt i dette afsnit. I forhold til korrosion er parametrene klorid, sulfat, bikarbonat og pH vigtige (Dansk Standard, 2009). Hvorvidt der er risiko for korrosion afhænger dels af vandkvaliteten og dels af de anvendte rørmaterialer (Tabel 3). Det vil sige, at såfremt vandkvaliteten giver anledning til korrosion, er det muligt at overkomme dette ved at

vælge rørmaterialer, der er modstandsdygtige overfor korrosion. I den nuværende lovgivning for etablering af regnvandsanlæg, skal der f.eks. anvendes rustfrit stålør (såfremt klorid-koncentrationen ikke overskrider 150 mg/L), PEX rør eller kompositrør (f.eks. alu-PEX-rør) til fordelings- og koblings-ledninger for at undgå korrosion (Rørcentret, 2012).

Tabel 3: Vandkvalitet, hvor korrosion af forskellige materialer ikke er problematisk (under hensyntagen til anvendelsesområde og udskiftelighed) (Dansk Standard, 2009).

Rørmateriale	Vandkvalitet
SG-jern Asfalterede, cementerede	pH > 6,5 aggressiv carbondioxid < 2 mg/L
Varmforsinket stål	100 mg/L < HCO ₃ ⁻ < 300 mg/L Ca ²⁺ > 20 mg/L pH > 7,0 $\frac{Cl^- + 2SO_4^{2-}}{HCO_3^-} < 1$ (målt i mmol/L)
Kobber	7,5 < pH < 9,0
Rustfrit stål	Cl ⁻ < 150 mg/L ¹
PVC, PEL, PEH, PEM	
PEX	

¹ Nogle fabrikater er godkendt til 250 mg/L

Grænseværdien for klorid i drikkevand er 250 mg/L (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016) og dette vurderes derfor som tilstrækkeligt i forhold til de tre anvendelser. Calcium (Ca²⁺), klorid (Cl⁻) og sulfat (SO₄²⁻) er målt i meget varierende koncentrationer i opsamlet regnvand. Klorid er målt i koncentrationer mellem 0,7 og 46.000 mg/L, hvor de højeste koncentrationer er målt i regnvand opsamlet fra befæstede arealer, hvor der er saltet om vinteren (Ledin et al., 2004). Der er dermed situationer, hvor der kan være risiko for korrosion, hvis der anvendes varmforsinket eller rustfrit stål, når man opsamler regnvand fra befæstede arealer.

3.3 Biostabilitet

En af de store bekymringer ved genanvendelse af regnvand er forekomsten af patogene mikroorganismer (Afsnit 2.2). I Holland er der målt *Legionella* i et regnvandssystem i husholdninger (op til 2000 CFU/L), hvor vandet opsamles fra tage og behandles med en grov filtrering (Oesterholt et al., 2007), mens der i prøver fra danske regnvandsanlæg blev målt en eller flere patogene mikroorganismer i 12 ud af 27 prøver (Albrechtsen, 2002). Derudover kan mikrobiologisk vækst også give æstetiske problemer ved dannelse af biofilm og lugtgener. Vandets indhold af mikroorganismer vil variere alt efter hvordan vandet opsamles og opbevares. Som tidligere nævnt, har regnvand opsamlet fra tage en markant bedre mikrobiologisk kvalitet end vand opsamlet fra befæstede arealer (Ledin et al., 2004). Mikroorganismer kan håndteres ved at desinficere regnvandet, men det er også muligt at mindske forekomsten af mikroorganismer ved at give dem ugunstige vækstforhold under opbevaring. Det er bl.a. vandets indhold af substrat (organisk stof), strømingsforhold, pH og temperatur, der har betydning for mikrobiologisk vækst (Rørcentret, 2012).

Opholdstiden under opbevaring har betydning for den mikrobielle kvalitet af vandet (Juhl et al., 2014). En lang opbevaringstid i åbne bassiner kan give anledning til algevækst, hvilket kan give æstetiske problemer, men også potentielt sundhedsmæssige problemer ved dannelse af algetoksiner (Kaas et al., 1999). Ved opbevaring i åbne bassiner anbefales det, at opholdstiden (20 % fraktil) maksimalt er 50, 30 og 20 dage ved hhv. 15, 20 og 25 °C for at undgå algevækst (Philp et al., 2008). Det er forskelligt ved hvilken temperatur og pH bakterier vokser mest optimalt (Tabel 4).

Tabel 4: Opformningstemperatur, optimal temperatur og optimal pH-værdi for bakterier, som kan forekomme i regnvandsanlæg (Rørcentret, 2012)

Bakterie	Opformerings-temperatur °C ¹	Optimal temperatur °C	Optimal pH-værdi
<i>Y. pseudotuberculosis</i>	4-42	28-29	4-10
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	4-43	28-37	-
Fækale streptokokker	10-45	37	-
<i>Klebsiella</i>	12-43	37	6-8
<i>Salmonella</i>	18-42	37	6-8
<i>E.coli</i>	18-44	37	6-8
<i>Legionella</i>	25-45	35-37	-

¹ Det temperaturinterval hvor bakterien kan vokse

For de fleste bakterier er der optimale vækstbetingelser ved neutral pH. Ændringer af pH kan give problemer med korrosion og pH er derfor en parameter, det i praksis vil være svært at ændre på. Baseret på de optimale temperaturer er der i den gældende vejledning for genanvendelse af regnvand sat en vejledende temperatur for opbevaring af regnvand (uden desinfektion) på 18 °C (Rørcentret, 2012).

I et dansk studie fra 2005 konkluderes det, at drikkevandskvalitetskravene for farvetal, turbiditet og/eller kimtal overskrides på 235 ud af 267 vandværker, hvor koncentrationen af NVOC overskrider 4 mg/L (Ernstsen et al., 2004), hvilket ligger til grund for grænseværdien, der er fastsat i Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016). Denne værdi vurderes som relevant som kravværdi ved de tre anvendelser for at begrænse mikrobiel vækst. En yderligere motivation for denne kravværdi er, at en høj forekomst af organisk materiale (humus- og fulvosyre) kan give anledning til en gul-brun farve i vandet og dermed æstetiske problemer. Det er også en mulighed at udtrykke indholdet af organisk materiale gennem biologisk iltforbrug (BOD), som det er tilfældet i Tabel 1. I en dansk kontekst anvendes denne parameter dog primært i forbindelse med spildevandsrensning, hvorimod NVOC indgår ved normal og udvidet kontrol på vandværker (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016). Derfor anses NVOC for at være en mere passende måleparameter i forhold til genanvendelse af regnvand. Opstår anaerobe forhold under opbevaring kan det give anledning til sulfidproducerede bakterier, der forårsager lugtgener (enHealth Council, 2004). Derfor bør der være ilt i vandet (> 0,5 mg/L) og gerne i overskud, så der ikke opstår anaerobe forhold f.eks. under opbevaring i toilettets cisterne. Drikkevandsbekendtgørelsen har en grænseværdi på minimum 5 mg oxygen/L (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016), der kan anvendes som kravværdi efter vandbehandling i Nye for at sikre aerobe forhold.

4. Vandkvalitetskrav ved specifikke anvendelser

I de følgende afsnit beskrives de specifikke kravværdier til hver af de tre anvendelser:

- Toiletskyl
- Tøjevask
- Brandbekæmpelse

Ved hver anvendelse beskrives under hvilke forhold vandet anvendes og hvilke æstetiske, tekniske og sundhedsmæssige problemer, der kan opstå, hvis ikke vandet har en tilstrækkelig kvalitet. Derefter gennemgås relevante parametre samt forslag til kravværdier og baggrunden for disse.

4.1 Toiletskyl

4.1.1 Problemstillinger

Under toiletskyl anvendes vandet uden opvarmning. Der opbevares vand i cisternen og i kummen inden brug, hvilket der skal tages hensyn til i forhold til vandets sammensætning, så der ikke opstår lugtgener på grund af mikrobiel vækst. Under toiletskyl dannes aerosoler, hvilket medfører, at der er risiko for indånding af problematiske stoffer og mikroorganismer, og dermed for infektionssygdomme og allergi (Tabel 5). Af denne årsag anbefales det i nogle ejendomme, der anvender regnvand til toiletskyl, at toilettet lukkes ned inden skyl (Rørcentret, 2012). Der er også en risiko for hudkontakt under f.eks. rengøring, der ligeledes kan give sundhedsmæssige problemer. Endelig er der en række æstetiske og tekniske forhold, da forskellige vandkvaliteter kan give anledning til udfældning af salte, farve, lugtgener og skumdannelse (Eriksson, 2002).

Tabel 5: Problemer der kan opstå i forbindelse med anvendelse af regnvand til toiletskyl. Tilpasset fra Eriksson (2002)

Overførsel	Problem	Problemtype
Indånding	Infektionssygdomme	Sundhed
	Allergi	Sundhed
Hudkontakt	Infektionssygdomme	Sundhed
	Allergi	Sundhed
Andet	Udfældning	Teknisk
	Farve i toiletkummen	Æstetisk
	Lugtgener	Æstetisk
	Skumdannelse	Æstetisk

I det følgende gennemgås fysiske, kemiske og biologiske parametre, der er relevante i forhold til anvendelse af opsamlet regnvand til toiletskyl.

4.1.2 Basisparametre

For at begrænse bakterievækst, og dermed lugtgener og potentielt sundhedsmæssige problemer, bør vandtemperaturen ikke overstige 18 °C, NVOC ikke overstige 4 mg/L og der bør være ilt i vandet (se afsnit 3.3). Af æstetiske årsager bør vandets turbiditet ikke være for høj. I de udenlandske vejledninger er der enighed om, at en turbiditet på maksimalt 2 NTU er tilstrækkeligt for at sikre, at vandet er klart (Tabel 1) og dette foreslås derfor som kravværdi. For at undgå korrosion bør koncentrationerne af sulfat, klorid, calcium, bikarbonat og pH leve op til kvalitetskravene i Tabel 3, medmindre der tages hensyn til dette i valget af rørmaterialer.

4.1.3 Metaller og ioner

Der er en række metaller, der kan give anledning til udfældning og misfarvning i toiletkummen og som af æstetiske årsager ikke bør forekomme i for høje koncentrationer. I Ledin et al. (2004) er der beregnet, hvilke mineraler der potentielt kan udfælde ved forskellige pH og temperaturer. Beregningerne er baseret på de højeste målte koncentrationer fundet i litteraturen og kan derfor betragtes som et worst case scenarie. Under forhold ved toiletskyl, pH 7 og 20 °C, kan aluminium, barium, jern, kalium og bly potentielt fælde ud. Det er derfor undersøgt nærmere, om det er relevant at opstille kravværdier til disse og hvad kravværdien bør være. Aluminium kan danne flokke af partikler og skabe misfarvning i intervallet 0,1-0,2 mg/L (WHO, 2006) og på baggrund af disse værdier anbefales det i amerikansk lovgivning, at koncentrationen er lavere end 0,2 mg/L for at undgå misfarvning (US EPA, 1991). Dette er den samme koncentration som grænseværdien ved taphane i Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016). For jern anbefales det af æstetiske årsager, at koncentrationen er under 0,3 mg/L (US EPA, 1991), hvilket stemmer godt overens med grænseværdien i Drikkevandsbekendtgørelsen på 0,2 mg/L (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016). Bly i regnvand stammer primært fra organiske blyforbindelser, der har været anvendt som tilsætning til benzol (Ledin et al., 2004). Da dette nu er i yderst begrænset i Danmark på grund af den gældende lovgivning (Miljøministeriet, 2014), forventes indholdet af bly ikke at være problematisk i forhold til udfældninger. Kaliumkoncentrationen varierer fra 0,1 til 13,7 mg/L i opsamlet regnvand (Ledin et al., 2004). I Drikkevandsbekendtgørelsen accepteres kaliumkoncentrationer op til 20 mg/L, hvis det kan påvises, at det skyldes geologien og ikke en forurening ved den pågældende kildeplads (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016). Da de målte koncentrationer er lavere end grænseværdien, opstilles der ikke en kravværdi for kalium. Det samme er tilfældet for barium, der er målt i koncentrationer fra 40 til 120 µg/L, og hvor grænseværdien i Drikkevandsbekendtgørelsen er 700 µg/L (Ledin et al., 2004; Miljø- og Fødevareministeriet, 2016).

4.1.4 Miljøfremmede organiske forbindelser og tungmetaller

Det er især miljøfremmede organiske forbindelsers toksicitet, der er en bekymring i forhold til anvendelse af sekundavand. Det er meget begrænsede mængder vand, der er risiko for at indtage under toiletskyl og derfor vurderes miljøfremmede organiske forbindelser i regnvand ikke som problematiske i forhold til anvendelser ved toiletskyl (Oesterholt et al., 2007). Ud fra denne argumentation, og fordi der ikke er sat grænseværdier i udenlandsk lovgivning (Tabel 1), vurderes tungmetaller heller ikke at være problematiske i forhold til genanvendelse af regnvand til toiletskyl.

4.1.5 Mikrobiologi

Der er begrænset kontakt med vandet fra toiletskyl, men dannelsen af aerosoler er potentielt problematisk ved forekomst af patogene mikroorganismer. Som tidligere nævnt er mikrobiologiske parametre gennemgående i udenlandske vejledninger for genanvendelse af regnvand og spildevand (Tabel 1). For anvendelse til toiletskyl er der sat en kravværdi på 1 CFU/100 mL for både *E. coli* og *Enterococci*. Grænseværdierne fastsat i EU's Badevandsdirektiv for *E. coli* og *Enterococci* er hhv. 250 og 100 CFU/100 mL ved den bedste vandkvalitet, hvilket er højere end for rensset spildevand. Der er kontakt med vandet ved badning og vandet må således ikke udgøre en sundhedsrisiko. Den relativt store forskel mellem værdierne kan skyldes, at spildevand som udgangspunkt indeholder fækalier og dermed potentielt patogene mikroorganismer, hvorimod badevand som udgangspunkt ikke indeholder fækalier, medmindre der er sket en forurening. De strenge krav til indikatororganismer for rensset spildevand kan derfor være et udtryk for, at vandet skal være tilstrækkeligt desinficeret for at undgå en sundhedsrisiko ved anvendelse af vandet. Det er muligt, at kravværdierne kan justeres, hvilket bør ske på baggrund af en konkret risikovurdering, som det f.eks. er praksis i Australien.

4.2 Tøjvask

4.2.1 Problemstillinger

Under tøjvask forøges pH til ca. 9,5-10,5 ved pulvervaskemidler eller ca. 7,5-9 ved flydende vaskemidler (Damhus & Kaasgaard, 2006) og temperaturen forøges alt efter typen af vaskeprogram. Det betyder, at forholdene er anderledes end ved toiletskyl og der er potentielt andre stoffer, der er problematiske. Der er længerevarende menneskelig kontakt med tøjet efter tøjvask og derfor kan det være problematisk, hvis forskellige stoffer ophobes i tøjet. Derfor er det relevant at inddrage parametre, der kan give anledning til langtidseffekt som cancer, mutagenitet og reproduktionstoksicitet (Eriksson, 2002). Der er endvidere risiko for menneskelig kontakt med aerosoler under håndtering af vådt tøj fra maskinen (Oesterholt et al., 2007). Denne risiko vurderes dog så begrænset, at den ikke er taget med i det følgende (Tabel 6).

Tabel 6: Problemer der kan opstå i forbindelse med anvendelse af regnvand til tøjvask i vaskemaskine. Tilpasset fra Eriksson (2002)

Overførsel	Problem	Problemtype
Hudkontakt	Infektionssygdomme	Sundhed
	Allergi	Sundhed
	Cancer	Sundhed
	Mutagenitet	Sundhed
	Reproduktionstoksicitet	Sundhed
Andet	Udfældning	Teknisk
	Korrosion	Teknisk
	Blegning af tøj	Æstetisk
	Farvning af tøj	Æstetisk
	Luftgener	Æstetisk
	Dosering af detergenter	Teknisk

4.2.2 Basisparametre

Ligesom ved toiletskyl, er de generelle vandkvalitetskrav beskrevet i afsnit 3 for at undgå hhv. korrosion og bakterievækst relevante i forhold til tøjvask. For at reducere bakterievækst, og dermed lugtgener og potentielt sundhedsmæssige problemer, bør temperaturen ikke overstige 18 °C, NVOC ikke overstige 4 mg/L og der bør være ilt i vandet (se afsnit 3.3). Ligeledes bør vandets turbiditet maksimalt være 2 NTU (Tabel 1). For at undgå korrosion bør koncentrationerne af sulfat, klorid, calcium og bikarbonat samt pH leve op til kvalitetskravene i Tabel 3, medmindre der tages hensyn til dette i valget af rørmaterialer og det er hensigtsmæssigt i forhold til vaskemaskinens komponenter.

4.2.3 Metaller og ioner

Der er forskellige metaller, der potentielt kan fælde ud under tøjvask. Der er dog nogle andre forhold, da både temperaturen og pH (pga. af vaskemiddel) er højere end ved toiletskyl. Ledin et al. (2004) har lavet samme beregninger som ved toiletskyl, men ved 40 og 60 °C, og en pH på 10. Resultaterne viser, at udover metallerne beskrevet i afsnit 4.1.3, kan også mangan, cadmium og zink udfælde under tøjvask. Derfor bør jern og aluminium, som ved toiletskyl, ikke overskride hhv. 0,3 og 0,2 mg/L. Der er sat vejledende grænseværdier for både zink og mangan i amerikansk lovgivning for at undgå udfældning og misfarvning. Baseret på disse værdier, foreslås kravværdien for zink til 5 mg/L og mangan til 0,05 mg/L (US EPA, 2012). Cadmium behandles i næste afsnit grundet sine toksiske effekter.

Regnvand er naturligt blødt med et lavt indhold af calcium og magnesium (Ledin et al., 2004). Dette er en fordel ved tøjvask, da der skal doseres en mindre mængde vaskemiddel. Regnvand opsamlet fra både tage

og befæstede arealer i Berlin havde en gennemsnitlig hårdhed på 0,9 tyske hårdhedsgrader (°dH) (Nolde, 2007), hvilket svarer til meget blødt vand (GEUS, 2010). I litteraturen er der fundet hårdheder i opsamlet regnvand varierende fra 0,1 dH til 49,3 °dH, hvilket igen illustrerer de store variationer i regnvands sammensætning (Ledin et al., 2004). De højeste værdier for hårdhed måles typisk, når regnvandet har været i kontakt med beton/cement (Zhang et al., 2014), så alt efter hvordan regnvandet opsamles, kan de positive effekter fra blødt vand variere. I Drikkevandsbekendtgørelsen er der en vejledende grænseværdi for hårdhed mellem 5 og 30 °dH (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016). I forhold til anvendelse af regnvand, er det mest sandsynligt, at det er den nedre grænse, der overskrides, og at vandet dermed er for blødt. Dette kan give anledning til korrosion, men der er allerede taget hensyn til dette i Tabel 3, og derfor opstilles der ikke en kravværdi for vandets hårdhed.

4.2.4 Miljøfremmede organiske forbindelser og tungmetaller

Det har ikke været muligt at finde grænseværdier for miljøfremmede organiske forbindelser og tungmetaller for anvendelse af sekundavand ved tøjvask. Disse vurderes dog at være relevante i forhold til anvendelse af regnvand til tøjvask, fordi tøjet har længerevarende kontakt med huden. Kravværdier for forskellige organiske forbindelser og tungmetaller er derfor blevet estimeret på baggrund af den internationale tekstilmærkning Oeko-Tex[®], der stiller krav til indholdet af skadelige stoffer i tekstiler (Oeko-Tex, 2016). I de følgende beregninger anvendt de strengeste krav, hvilket er kravene for babytøj. Kravværdierne er estimeret under en worst case antagelse, hvor hele



vaskevandets indhold af skadelige stoffer overføres til tøjet. Et mere realistisk scenarie vil være, at der opstår en ligevægt mellem et givent stof i tøjet og vaskevandet, og det dermed ikke er den totale mængde, der overføres til tøjet. Det antages endvidere, at der vaskes 3 kg tøj og anvendes 40 L vand baseret på tal fra Energistyrelsen (2013). De beregnede kravværdier er sammenlignet med værdierne i Drikkevandsbekendtgørelsen for at sikre, at de estimerede værdier ikke er strengere end kravene til drikkevand, og er sammenlignet med målte værdier i Ledin et al. (2004) for at undersøge, om de er relevante i forhold til koncentrationerne tidligere målt i regnvand.

Som eksempel stiller Oeko-Tex mærkningen krav om en maksimal koncentration af arsen på 0,2 mg/kg tekstil i babytøj. Ved en vask hvor der vaskes 3 kg tøj og anvendes 40 L vand, giver det en kravværdi på:

$$\text{Kravværdi} = \frac{0,2 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot 3 \text{ kg}}{40 \text{ L}} \cdot 10^3 \frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} = 15 \mu\text{g/L}$$

Denne værdi er højere end de 10 µg/L, der er grænseværdien i Drikkevandsbekendtgørelsen, og samtidig indenfor intervallet af målte værdier på 0,1 – 340 µg/L, og er derfor relevant i forhold til genanvendelse af opsamlet regnvand til tøjvask.

Der ligger en række forsimplede antagelser bag de estimerede kravværdier, der dog muliggør en sammenligning med den faktiske kvalitet af det opsamlede regnvand. Viser det sig vanskeligt at imødekomme disse kravværdier kan de revurderes baseret på en konkret risikovurdering.

4.2.5 Mikrobiologi

Selvom temperaturen forøges under tøjvask, er det sjældent nok til at desinficere vandet. Nye typer af vaskemiddel gør det muligt at vaske ved 20 °C med en medfølgende energibesparelse (Energistyrelsen, 2013). Ved tøjvask opstilles de samme kravværdier som ved toiletskyl baseret på værdierne i Tabel 1. Det vil sige, at kravværdien er 1 CFU/100 mL for både *E. coli* og *Enterococci*.

Tabel 7: Grænseværdier for tekstiler til babyer i Oeko-Tex standarden, den beregnede kravværdi, grænseværdien i Drikkevandsbekendtgørelsen og hvorvidt kravværdien er tidligere målt i opsamlet regnvand. Grå farve indikerer "ikke relevant som kravværdi".

	Krav (Oeko-Tex)¹	Beregnet kravværdi	Drikkevandsbekendtgørelsen²	Kravværdi påvist i opsamlet regnvand?³
	[mg/kg]	[µg/L]	[µg/L]	[Ja/nej]
Metaller				
Antimon (Sb)	30	2250	5	Nej
Arsen (As)	0,2	15	10	Ja
Bly (Pb)	0,2	15	10	Ja
Cadmium (Cd)	0,1	7,5	5	Ja
Krom (Cr)	1	75	50	Ja
Krom VI (CrVI)	0	0		Ja
Kobolt (Co)	1	75	5	Nej
Kobber (Cu)	25	1875	2000	Nej
Nikkel (Ni)	1	75	20	Ja
Kviksølv (Hg)	0,02	1,5	1	Ja
Pesticider				
Total	0,5	37,5	0,5	Ja
Phenoler				
Pentachlorphenol (PCP)	0,05	3,8	0,01	Ja
Tetrachlorphenol (TeCP)	0,05	3,8	0,1	Ja
Trichlorphenol (TrCP)	0,2	15	0,1	Ja
Dichlorphenol (DCP)	0,5	38	0,1	Ja
Monochlorphenol (MCP)	0,5	38	0,1	Ja
Chlorerede benzener og toulener				
Total	1	75	1	Ja
PAHer⁴				
Enkelte	0,5	38	0,01	Ja
Total	5	375	0,1	Ja

¹ Oeko-Tex (2016)

² Miljø- og Fødevareministeriet (2016)

³ Ledin et al. (2004).

⁴ benzo[a]pyren, benzo[e]pyren, benzo[a]anthracen, chrysen, benzo[b]flouranthen, benzo[j]flouranthen, benzo[k]flouranthen og dibenzo[a,h]anthracen

4.2.6 Øvrige

Kraftigt oxiderende stoffer som eksempelvis brintoverilte (H₂O₂) kan blege tøjet under tøjvask. Disse stoffer forventes imidlertid at reagere med organisk materiale i opsamlingsbeholderen og vurderes derfor ikke som problematiske i forhold til tøjvask (Ledin et al., 2004).

4.3 Brandbekæmpelse

4.3.1 Problemstillinger

I litteraturen er de primære anvendelser af regnvand: Vanding af afgrøder (særligt i lande med stor vandmangel), toiletskyl og tøjvask, hvorimod anvendelse til brandbekæmpelse kun nævnes i begrænset omfang. Det kan være udfordrende at udforme ledningsnettet til også at håndtere vand til brandbekæmpelse, da det kræver et relativt højt flow, men kun i begrænsede tidsperioder. Dimensioneres rørene efter brandhændelser betyder det, at der størstedelen af tiden vil være relativt lavt flow i systemet, hvilket kan give udfordringer med bakterievækst og forringet vandkvalitet (Asano et al., 2007). Dette kan især være problematisk i forhold til anvendelse af regnvand, da der er risiko for forekomst af patogene mikroorganismer og vækst af disse bør undgås. Disse udfordringer kan forklare, hvorfor der typisk er større fokus på andre anvendelser end brandbekæmpelse.

Til forskel til toiletskyl og tøjvask, anvendes der allerede sekundavand til brandbekæmpelse, da man udover brandhaner anvender overfladevand fra f.eks. søer (Juhl et al., 2014). Dette indikerer, at der ikke stilles samme krav til æstetiske parametre (f.eks. vandets farve og lugt) som de to andre anvendelser. Vand til brandbekæmpelse reguleres af "Bekendtgørelsen om redningsberedskab", hvor der stilles krav til, at der skal være tilstrækkelig vandforsyning til brandslukning, men ikke til vandets kvalitet (Forsvarsministeriet, 2005).

Ved brandbekæmpelse er der større risiko for kontakt med vandet i forhold til de to andre anvendelse. I en australsk vejledning for risikovurdering ved anvendelse af sekundavand til forskellige formål, antages det, at der under brandbekæmpelse kan indåndes op imod 20 mL vand, hvilket er væsentlig højere end de 0,01 mL, der antages kan blive indåndet under hhv. toiletskyl og kontakt med maskinvasket tøj (NRMMC, 2006). Dette bør ses i perspektivet af, at der er en række andre problematiske forhold under brandbekæmpelse end selve vandet, der anvendes under slukning. Brande udvikler en lang række giftige stoffer, der forurener det anvendte vand samt udgør en sundhedsrisiko for brandfolkene ved hudkontakt, indtagelse og indånding (Hansen, 2013). Den forøgede risiko for menneskelig kontakt kan være problematisk i forhold til patogene mikroorganismer, som f.eks. *Legionella*. I både delstaten Queensland i Australien og USA skal genanvendt spildevand renses til den bedste kvalitetsklasse for anvendelse i brandbekæmpelse svarende til den kvalitet, der kan anvendes til vanding af afgrøder, der konsumeres uden tilberedning (Q EPA, 2005; Asano et al., 2007). Dette kan skyldes risikoen for patogene mikroorganismer og dermed sundhedsrisikoen for brandfolkene.

De væsentligste problemstillinger ved anvendelse af regnvand til brandbekæmpelse vurderes at være:

- Risiko ved indånding og hudkontakt (sundhedsrisiko)
- Biostabilitet (sundhedsrisiko)
- Korrosion (teknisk problem)

Kravværdierne præsenteret i de følgende afsnit gælder ved brandbekæmpelse fra brandhaner og dermed ikke for vand til f.eks. sprinkleranlæg, da disse stiller andre krav i forhold til udfældning og korrosion, da der er tale om mindre rørdimensioner og materialer.

4.3.2 Basisparametre

Som ved de øvrige to anvendelser bør temperaturen ikke overstige 18 °C og NVOC ikke overstige 4 mg/L for at begrænse bakterievækst (se afsnit 3.3). Af samme årsag bør turbiditeten ikke overstige 2 NTU (Tabel 1). For at undgå korrosion bør koncentrationerne af sulfat, klorid, calcium og bikarbonat samt pH leve op til kvalitetskravene i Tabel 3.

4.3.3 Metaller og ioner

Kravværdierne for f.eks. jern og aluminium ved toiletskyl og tøjvask er angivet for at undgå udfældninger og dermed misfarvning er vandet. Det vil sige, at kravværdierne er primært fastsat af æstetiske hensyn. Udfældning af forskellige metaller kan potentielt være et problem, hvis det sker i stort omfang så udstyr m.m tilstopper. Dette forventes ikke at være tilfældet og derfor opstilles der ikke kravværdier for at undgå udfældning. Såfremt vandet også skal anvendes til sprinkleranlæg, kan udfældning være et større problem, da der her er tale om mindre rør og dysser sammenlignet med brandbekæmpelse fra brandhaner, og der kan være risiko for tilstopning.

4.3.4 Miljøfremmede organiske forbindelser og tungmetaller

Som tidligere nævnt, udvikler brande en lang række giftige forbindelser herunder kræftfremkaldende forbindelser og partikler, der kan indåndes og komme ned i lungerne. De giftige forbindelser kan f.eks. være benzen og formaldehyd (Hansen, 2013). Derfor vurderes bidraget af miljøfremmede organiske stoffer og tungmetaller fra vandet, der anvendes til brandslukning, at være i ubetydelige koncentrationer i forhold til, hvad der udvikles under brand. Der opstilles derfor ikke kravværdier til miljøfremmede organiske forbindelser og tungmetaller for denne anvendelse.

4.3.5 Mikrobiologi

Fordi der er risiko for at indånde vandet under brandslukning, bør der stilles kravværdier til mikrobiologi for at minimere risikoen for infektionssygdomme. Disse opstilles på baggrund af værdierne i Tabel 1 til 10 CFU/100 mL for *E. coli* og 20 CFU/100 mL for *Enterococci*. For at reducere risikoen for patogene mikroorganismer, bør der ligesom ved de andre anvendelser undgås bakterievækst i vandet under opbevaring.

5. Diskussion

De foregående afsnit har præsenteret forslag til kravværdier til opsamlet regnvand ved anvendelse til toiletskyl, tøjvask og brandbekæmpelse. For nogle parametre foreslås de samme kravværdier for alle tre anvendelser for f.eks. at undgå, at vandet er korrosivt, mens der for andre parameter er forskel fra anvendelse til anvendelse. Tøjvask er den af de tre anvendelser, der har flest kravværdier. Dette skyldes at der metaller, der kun fælder ud ved høje temperaturer og pH, og at tøjet har kontakt med huden efter vask, hvorfor der bør tages hensyn til miljøfremmede organiske forbindelser og tungmetaller. De foreslåede kravværdier viser endvidere, at det ikke er nødvendigt at anvende vand af drikkevandskvalitet til de tre formål, da størstedelen af de opstillede kravværdier er højere koncentrationer end grænseværdierne i Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016). Dette projekt har udelukkende fokuseret på kvaliteten af det opsamlede regnvand, og ikke kvantiteten. Et system til genanvendelse af regnvand bør indrettes, så der kan anvendes drikkevand f.eks. i perioder, hvor det ikke regner eller om vinteren, hvis det ikke er muligt at opsamle regnvand på grund af frost.

Det er vigtigt at bemærke, at listen af kravværdier ikke er udtømmende og der kan være metaller, mikroorganismer eller miljøfremmede stoffer, der forekommer i problematiske koncentrationer i det opsamlede regnvand i Nye. Dette skyldes sammenhængen mellem opsamling og opbevaring og regnvandets kvalitet. Der kan f.eks. vælges en type maling eller tagmateriale, der afgiver et bestemt stof og hvis dette anvendes som standard i hele den nye bydel, kan der potentielt tilføres betydelige mængder til det opsamlede regnvand. Der kan også ske uforudsete menneskelige hændelser som spild af kemikalier eller olie, der kan forurene et regnvandsbassin.

For at opnå en vandkvalitet, der opfylder de opstillede kravværdier, kan der etableres vandbehandling for at opnå den ønskede vandkvalitet, hvilket også er planen i Nye. Der findes en række teknologier, der kan fjerne miljøfremmede stoffer og mikroorganismer. Det kan f.eks. være med membranfiltrering og UV-behandling (Asano et al., 2007). Derudover kan regnvandsbassinet også indgå som et første behandlingstrin ved bundfældning og biologiske processer (van der Sterren et al., 2012). Behandling af det opsamlede regnvand kan være omkostningsfuldt, men kan samtidig også fungere som en hygiejnisk barriere, hvis f.eks. regnvandsbassinet forurenes.

En anden mulighed for at opnå den ønskede vandkvalitet er at undgå, at regnvandet bliver forurenede med uønskede stoffer. Forbedres kvaliteten af det opsamlede regnvand, kan det være med til at sænke behovet for rensning og dermed omkostningerne forbundet med genanvendelse. Der er eksempelvis en række tagmaterialer, der ifølge Rørcentrets anvisning for regnvandsanlæg ikke er egnede til opsamling af regnvand - f.eks. kobbertage, tage med ny bitumenbelægning og asbestholdige tage (Rørcentret, 2012). Ved at undgå disse materialer kan koncentrationerne af problematiske stoffer i vandet reduceres.

Der er som tidligere nævnt forskel på vandkvaliteten alt efter, om vandet er opsamlet fra tage eller befæstede arealer. Selvom der tages hensyn til anvendelse af regnvand ved materialevalg, må det forventes at regnvand opsamlet fra befæstede arealer er af ringere kvalitet end vand opsamlet fra tage, der på nuværende tidspunkt må anvendes direkte til tøjvask og toiletskyl. Derfor bør det overvejes, hvorvidt begge fraktioner skal opsamles med henblik på genanvendelse og hvorvidt de skal sammenblandes, og derved forringe kvaliteten af vandet opsamlet fra tage.

6. Konklusion

Formålet med dette projekt var at udarbejde et oversigtsark med forslag til kravværdier ved anvendelse af regnvand som sekundavand til toiletskyl, tøjvask og brandbekæmpelse. Der er blevet foreslået kravværdier for basisparametre, som f.eks. temperatur og pH, metaller, miljøfremmede organiske forbindelser og mikrobiologi i det omfang, det har været relevant. Kravværdierne viser, at vandet ikke behøver at være af drikkevandskvalitet, for at vandet er sikkert og komfortabelt at anvende til de tre formål. Det vil højst sandsynligt være nødvendigt at behandle det opsamlede regnvand i Nye for at opnå den ønskede kvalitet, men det er også muligt via materialevalg m.m. at undgå en række skadelige stoffer i vandet og dermed reducere behovet for vandbehandling.

Litteratur

Albrechtsen, H.-J. (1998). *Mikrobiologiske undersøgelser af regn- og gråvandsanlæg*. Miljøstyrelsen og By- og Boligministeriet.

Albrechtsen, H.-J. (2002). Microbiological investigations of rainwater and graywater collected from toilet flushing. *Water Science and Technology*. 46(6-7), pp. 311-316

Arnbjerg-Nielsen, K.; Hvitved-Jacobsen, T.; Johansen, N.B.; Mikkelsen, P.S.; Poulsen, B.K.; Rauck, W.; Schlütter, F. (2000). *Stofkoncentrationer i regnbetingede udledninger fra fællessystemer*. Miljøprojekt nr. 532, Miljøstyrelsen.

Asano, T.; Burton, F.; Leverenz, H.L.; Tsuchihashi, R.; Tchobanoglous, G. (2007). *Water reuse – issues, technologies and applications*. Metcalf & Eddy. 1. udgave.

Brisbane City Council (2008). *Harvesting the potential of stormwater – a guide for groups exploring stormwater harvesting*.

Damhus, T.; Kaasgaard, S. (2006). *Generelt oplæg om forsøg til demonstration af vaskeeffekter på enzymer – samt et par konkrete forsøgsvejledninger*. Detergent Applications II, Novozymes A/S.

Dansk Standard (2009). *Norm for vandinstallationer*. DS 439 4. udgave.

Energistyrelsen (2013). *Nye hvidevarer – hvad skal jeg vide, før jeg køber?* Energistyrelsen.

enHealth Council (2004). *Guidance on use of rainwater tanks*. Australian Government.

Eriksson, E.H. (2002). *Potentials and problems related to reuse of water in households*. Ph.D. Thesis. The Technical University of Denmark.

Ernstsen, V.; Larsen, C.L.; Tougaard, L. (2005). *NVOC krav til drikkevand*. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 18 2005

Ernstsen, V.; Johnsen, A.R. (2008). *NVOC og kimtal i drikkevand*. Miljøministeriet.

EU (2006). *Europa-parlamentets og rådets direktiv 2006/EF om forvaltning af badevandskvalitet og om ophævelse af direktiv 76/160/EØF*.

Forsvarsministeriet (2005). BEK nr. 765 af 03/08/2005 Bekendtgørelse om risikobaseret kommunalt redningsberedskab "Bekendtgørelse om redningsberedskab".

GEUS (2010). *Drikkevandets hårdhed*. Tilgængelig fra: <http://www.geus.dk/DK/data-maps/Sider/haardhedskort-dk.aspx> [Besøgt 1. september 2016]

Hansen, J. (2013). *Sammenhængen mellem brandbekæmpelse og udvikling af kræft – det ved vi i dag*. FOA – Fag og Arbejde.

Juhl, M.M.; Raben, A.; Juel, H.; Jensen, L.H. (2014). *Udredning om brug af sekundavand i Danmark*. Naturstyrelsen.

Kaas, H.; Moestrup, Ø.; Larsen, J.; Henriksen, P. (1999). *Giftige alger og algeopblomstringer – TEMA rapport fra DMU*. Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser.

Ledin, A.; Auffarth, K.P.S.; Boe-Hansen, R.; Eriksson, E.; Albrechtsen, H.-J.; Baun, A.; Mikkelsen, P.S. (2004). *Brug af regnvand opsamlet fra tage og befæstede arealer – udpegnings af relevante måleparametre*. Miljøstyrelsen.

Miljøministeriet (2014). BEK nr. 1311 af 04/12/2014 Bekendtgørelse om kvaliteten af benzin, diesellole, gasolie og biobrændstofblandinger til anvendelse i motorkøretøjer m.v. "Brændstofkvalitetsbekendtgørelsen".

Miljø- og Fødevarerministeriet (2016). BEK nr. 802 af 01/06/2016 Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. "Drikkevandsbekendtgørelsen".

NRMMC, National Resource Management Ministerial Council (2006). *Australian guidelines for water recycling – managing health and environmental risk (part 1)*.

NRMMC, National Resource Management Ministerial Council (2009). *Australian guidelines for water recycling – stormwater harvesting and reuse*. National Water Quality Management Strategy. Document no. 23.

Nolde, E. (2007). *Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces*. Desalination. 215, pp. 1-11.

Nolde, E.; Vansbotter, B.; Rüden, H.; König, C. (2007). *Innovative water concepts – service water utilisation in buildings*. Berlin Senate Department for Urban Development.

Oeko-Tex (2016). *Oeko-Tex® Standard 100*. Oeko-Tex® - International Association for Research and Textile in the Field of Textile Ecology

Oesterholt, F.; Martijnse, G.; Medema, G.; van der Kooij, D. (2007). *Health risk assessment of non-potable domestic water supplies in the Netherlands*. Journal of Water Supply. 56(3), pp. 171-179.

Philp, M.; McMahon, J.; Heyenga, S.; Marinoni, O.; Jenkins, G.; Maheepala, S.; Greenway, M. (2008). *Review of Stormwater Harvesting Practices*. Urban Water Security Research Alliance Technical Report No. 9

Raben, A.; Juhl, M.M. (2014). *Brug af regnvandsanlæg i Danmark – Erfaringsopsamling*. Naturstyrelsen.

Rygaard, M.; Albrechtsen, H.-J. (2013). *Begrebsafklaring og oplæg til kvalitetskriterier for sekundavand*. DTU Miljø.

Rørcentret (2012). *Brug af regnvand til wc-skyl og vaskemaskiner i boliger – Rørcenter anvisning 003, 4. udgave*. Udarbejdet for Energistyrelsen og Naturstyrelsen, Miljøministeriet

Salgot, M.; Huertas, E.; Weber, S.; Dott, W.; Hollender, J. (2006). *Wastewater reuse and risk: definition of key objectives*. Desalination. 187, pp. 29-40.

Steffan, C.; Schmidt, M.; Köhler, M.; Hübner, I.; Reichmann, B. (2010). *Rainwater managing concepts – greening buildings, cooling buildings – Planning, construction, operation, and maintenance guidelines*. Berlin Senate Department for Urban Development.

US EPA (1991). *EPA National Secondary Drinking Water Regulations. Final Rule*. Fed. Reg. 56:20:3526. U.S. Environmental Protection Agency.

US EPA (2012). *Guidelines for water reuse*. EPA/600/R-12/618. U.S. Environmental Protection Agency.

van der Sterren, M.; Rahman, A.; Dennis, G.R. (2012). Rainwater Harvesting Systems in Australia, Ecological Water Quality - Water Treatment and Reuse, Dr. Voudouris (Ed.), InTech, Tilgængelig fra: <http://www.intechopen.com/books/ecological-water-quality-water-treatment-and-reuse/rainwater-harvesting-systems-in-australia> [Besøgt 24. august 2014]

WHO (2006). *Guidelines for Drinking-water quality*. World Health Organization. 4. Udgave.

Zhang, J.; Deng, Y.; Lei, Z.; Xie, W. (2014). *Characteristics of ion release from building materials during rainwater harvesting*. Advanced Materials Research. 955-959, pp. 3522-3528.