

Smitterisici ved håndtering af urin, fæces og spildevand

Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning
Nr. 1 2000

Smittesici ved håndtering af urin, fæces og spildevand

Litteraturstudium

Jes la Cour Jansen,
Thorkil Boisen

Indhold

Forord	5
Sammenfatning og konklusioner	7
1. MIKROBIOLOGISKE UNDERSØGELSER AF SEPARAT OPSAMLET HUMANURIN	9
1.1. EFFEKT AF PH OG FORTYNDING PÅ SMITSTOFREDUKTION AF LAGRET URIN	9
1.2. GENNEMGANG AF ARTIKLEN: SURVIVAL OF <i>CRYPTOSPORIDIUM PARVUM</i> OOCYSTS IN SOURCE SEPARATED HUMAN URINE	10
1.3. GENNEMGANG AF ARTIKLEN: EVALUATION OF FEACAL CONTAMINATION AND MICROBIAL DIE-OFF IN URINE SEPARATING SEWAGE SYSTEMS	11
1.4. GENNEMGANG AF ARTIKLEN: SOURCE SEPARATED URINE – NUTRIENT AND HEAVY METAL CONTENT, WATER SAVING AND FEACAL CONTAMINATION	13
1.5. GENNEMGANG AF RAPPORTEN: KÄLLSORTERAD HUMANURIN – FÖREKOMST OCH ÖVERLEVNAD AV FEKALA MIKROORGANISMER SAMT KEMISK SAMMANSÄTTNING	14
1.6. GENNEMGANG AF ARTIKLEN: FÖRBÄTTRINGAR NÖDVÄNDIGA VID HANTERING AV HUMANURIN I ODLING	17
2. MIKROBIOLOGISKE UNDERSØGELSER AF HUMAN AFFØRING EFTER KOMPOSTERING I VENTILEREDE KOMPOSTTOILETTER	19
2.1. GENNEMGANG AF RAPPORTEN: HYGIEJNISKE ASPEKTER VED HJEMME-KOMPOSTERING AV HAGE- OG LATRINEAVFALL	20
2.2. GENNEMGANG AF ARTIKLEN: REDUCTION OF MICROORGANISMS IN DRY SANITATION DUE TO DIFFERENT ADSORBENTS UNDER LOW TEMPERATURE	25
3. MIKROBIOLOGISKE UNDERSØGELSER AF HUMAN AFFØRING EFTER VÅDKOMPOSTERING VED TILFØRSEL AF ILT	27
3.1. GENNEMGANG AF ARTIKLEN: STABILISERING OCH HYGIENISERING AV SVART-VATTEN OCH ORGANISKT AVFALL GENOM VÅDKOMPOSTERING	27
3.2. GENNEMGANG AF ARTIKLEN: THERMOPHILIC AEROBIC REACTOR FOR PROCESSING ORGANIC LIQUID WASTES	30
4. MIKROBIOLOGISKE UNDERSØGELSER AF GRÅT SPILDEVAND	31
5. MIKROBIOLOGISKE UNDERSØGELSER VED GENANVENDELSE AF SPILDEVAND	33
5.1. EKSEMPLER PÅ ANVENDELSE AF SPILDEVAND I ASIEN	34
5.2. EKSEMPLER PÅ ANVENDELSE AF SPILDEVAND I EUROPA	35
5.3. EKSEMPLER PÅ ANVENDELSE AF SPILDEVAND I SKANDINAVIEN	36
6. REGLER OG PRAKSIS VED LOKAL HÅNTERING AF HUMAN AFFØRING I SVERIGE OG NORGE	39
6.1. REGLER OG PRAKSIS I SVERIGE	39
6.1.1. Faktablade	40
6.2. GENNEMGANG AF ARTIKLEN: EXPERIENCES WITH DRY SANITATION AND GREY-WATER TREATMENT IN THE ECOVILLAGE TOARP, SWEDEN	40
6.3. REGLER OG PRAKSIS I NORGE	41
7. REFERENCELISTE	43
Bilag A. Samarbejdsrelationer og kontaktpersoner i Sverige og Norge	49

Forord

Nærværende litteraturstudium er gennemført for Miljøstyrelsen med henblik på at afklare de hygiejniske forhold ved separat håndtering af fæces, urin og gråt spildevand.

Human afføring (fæces og urin) er igennem mange århundreder blevet håndteret uden brug af vand. Det medførte, særligt i byer med høj befolkningstæthed, spredning af patogener (bakterier, virus og parasitter). Sygdomsudbrud som følge af disse patogener var derfor hyppige ofte med dødsfald til følge. Bortskaffelse af human afføring gennem vand blev muliggjort ved opfindelsen af dampmaskinen, som gav mulighed for at transportere rent vand under tryk til mange husstande, så der kunne installeres vandskylende toiletter, hvilket i København blev påbegyndt omkring det sidste århundredeskifte. Samtidig gav forsyningen med rent vand forbedret personlig hygiejne såvel som køkkenhygiejne.

Anvendelsen af vandskylende toiletter og en efterfølgende rensning af spildevand har lige siden sørget for en effektiv barriere mellem befolkningen og de potentielt sygdomsfremkaldende mikroorganismer i human afføring. Der har imidlertid været store ressourcemæssige udgifter forbundet med etablering, vedligeholdelse af kloaksystemet og rensningsanlæggene, som den øgede spildevandsproduktion gav behov for.

I forbindelse med Miljøstyrelsens arbejde med "Aktionsplan for økologisk byfornyelse og spildevandsrensning" og som følge af en generelt stigende efterspørgsel på bæredygtige spildevandsløsninger er der et stigende ønske om dokumentation af de hygiejniske forhold ved separat opsamling af fæces og urin såvel som bearbejdning, lagring, transport og udnyttelse af det mere eller mindre hygiejniserede materiale på landbrugsjord og i haver.

Det er afgørende for anvendelsen af disse løsninger, at de er i stand til at sikre en lige så effektiv beskyttelse af befolkningen mod patogener fra human afføring som det eksisterende vandforsynings- og afløbssystem.

Litteraturstudiet er udført af Thorkil Boisen, Jes la Cour Jansen ApS i perioden november 1999 til marts 2000 og er baseret på videnskabelige publikationer og specialrapporter fra universiteter og andre højere læreanstalter i Norden såvel som offentliggjorte udredningsrapporter indenfor emnet. Derudover er der taget direkte kontakt til forskere på de institutioner i Danmark, Sverige og Norge, der har arbejdet med problemstillingen indenfor de senere år.

Litteraturstudiet er opdelt i fem dele, der hver omhandler mikrobiologiske undersøgelser af:

1. separat opsamlet humanurin,
2. human afføring efter kompostering i ventilerede komposttoiletter,
3. fæces og urin efter vådkompostering ved tilførsel af ilt,
4. gråt spildevand.
5. spildevand til vandingsformål.

Rapporten afsluttes med gennemgang af regler og praksis for håndtering af urin, fæces og gråt spildevand i Sverige og Norge.

Projektet har været fulgt af en styringsgruppe bestående af:

Mogens Kaasgaard (formand), Miljøstyrelsen
Linda Bagge, Miljøstyrelsen
Jes la Cour Jansen, Jes la Cour Jansen ApS.

Sammenfatning og konklusioner

Nærværende litteraturstudium er foretaget for at opsamle viden om tilstedeværelsen og overlevelsen af en række patogener ved separat håndtering af human afføring samt udnyttelse af gråt spildevand og husspildevand.

Humanurin er sædvanligvis steril, men forurenes med fækale patogener i forbindelse med den separate opsamling i den todelte toiletstol. Vha. den kemiske indikator coprostanol, der dannes i tarmsystemet, når kolesterol nedbrydes, er det vist at den gennemsnitlige forurening med fækal materiale er 1 mg pr. liter urin. Ved lagring af urin sker der en lagdeling, og indholdet af patogener er fortrinsvis knyttet til sedimentet.

Overlevelsen af forskellige patogener er undersøgt i urin ved forskellige surhedsgrader. Ved lagring af urin bliver pH-værdien 9. Ved denne surhedsgrad var inaktivering af *Cryptosporidium parvum* oocyster signifikant bedre end ved pH 5 og pH 7. *A. hydrophilia*, *S. senftenberg*, *S. typhimurium* og *P. aeruginosa* inaktiveredes indenfor én dag ved pH 4,5 og pH 10,5. Ved pH 6,0 og 8,9 overlevede organismene op til 3 dage. *E. coli* døde indenfor én dag ved alle pH-værdier bortset fra pH 6,0, hvor *E. Coli* overlevede op til 3 dage ved 20°C og 5 dage ved 4 °C. Ved 4 °C overlevede fækale streptokokker under ét døgn ved pH 10,5 og havde en overlevelse på 3,5 dage ved pH 4,5. Der var stort set ikke nogen reduktion af fækale streptokokker ved pH 6,0 og pH 8,9 selv efter 40 dage. Patogeners inaktivering i urin sker generelt hurtigere ved 37 °C end ved 4 °C og 20 °C.

Fortynding har markant effekt på patogeners overlevelse. *A. hydrophilia*, *S. senftenberg*, *S. typhimurium* og *P. aeruginosa* inaktiveredes således indenfor en dag i ufortyndet urin ved både 4 °C og 20 °C. Ved fortynding på 1:9 overlevede organismene i op til 20 dage. *E. coli* overlevede fem gange så længe i den fortyndede urin som i den ufortyndede. Der skulle bruges tre gange så lang tid på inaktivering af fækale streptokokker i fortyndet urin som i ufortyndet urin. *Clostridium perfringens* blev ikke reduceret under nogen omstændigheder. Det samme gjorde sig gældende for virus, hvor der ikke blev observeret reduktion af Salmonellafagerne selv efter 50 dage. *Ascaris suum* reduceredes i løbet af en periode på 21 dage med 15-20 %. Det anbefales, at der også udføres undersøgelser af *Giardia lamblia*, der er den mest almindeligt isolerede parasit fra tarmsystemet.

På baggrund af litteraturstudiet anbefales det, at urin opsamles med mindst muligt brug af vand så fortyndingen mindskes. Derudover bør urinen opbevares under lokale temperaturforhold, der skal i hvert fald ikke gøres en indsats for at nedkøle urinen ved lagring. Urinens naturlige pH ved lagring er ca. 9, hvilket er med til at inaktivere patogener. Der skal således ikke gøres en indsats for at urinen holdes på pH 7, som er urinens surhedsgrad, når den udskilles fra de menneskelige organisme.

Litteraturstudiet har også fundet dokumentation for smitstoffreduktion ved kompostering af human afføring blandet med organisk materiale: græs, kviste, kloakslam, sanitærbark og toiletpapir. Generelt var temperaturudviklingen hurtigst og størst i de isolerede kompostbeholdere, ligesom temperaturen holdt sig længst i de isolerede beholdere. Derfor anbefales det, at man udelukkende benytter isolerede kompostbeholdere.

Forsøg blev gennemført udendørs i Norge i de kolde måneder september (10,9 °C) til december (2,4 °C), for at undersøge komposteringstoiletternes funktion under disse temperaturmæssigt ugunstige betingelser. Der opnåedes temperaturer på 78 °C og 89 °C, hvilket er tilstrækkeligt til at sikre effektiv smitstoffreduktion. Poliovaccinevirus reduceredes hurtigt i isolerede kompostbeholdere, og heterotroft kimtal blev halveret i løbet af komposteringsprocessens tidlige varmefase. Reduktionen af termotolerante koliforme bakterier (TKB) var også markant. Der blev dog ikke foretaget analyse af startkoncentrationen. TKB i human afføring ligger sædvanligvis omkring $10^7 - 10^9$ pr. gram afføring. Ved kompostering faldt koncentrationen i løbet af 3 måneder fra 8×10^4 til omkring 1000 pr. gram kompostprøve,

hvilket dog ikke tilstrækkelig til at opfylde anbefalingerne i den kvalitetsnorm, der benyttes ved test af komposttoiletter under den nordiske Svanemærkeordning, hvor grænseværdien er 500 TKB pr. gram prøve.

Litteraturstudiet refererer også en kinesisk undersøgelse af smitstofreduktionen i komposttoiletter placeret i tre forskellige regioner, den ene varm og fugtig med stabile temperaturer omkring 22 °C, mens de to øvrige regioner var fugtige med hyppige nedbørspårer og temperaturer fra -10 °C til + 10 °C. Kompostblandingerne bestod af fæces og planteaske, kulaske, savsmuld og erosionsmaterialet løs. Mængdeforholdet mellem fæces og tilsætningsmateriale var 3:1. Blanding af fæces og planteaske var bedst til at sikre reduktion af de mikrobielle indikatorer bl.a. som følge af planteaskens evne til at øge kompostens pH til 9 -10. Mængden af *Ascaris* æg i kompostblandingen reduceredes ved tilsætning af planteaske i løbet af 3 måneder til ca. 1 % af startkoncentrationen, mens overlevelsen af *Ascaris* æg var 16-28 % ved tilsætning af de øvrige tilsætningsmaterialer, hvor pH lå på 7-8.

Det kan være vanskeligt at opnå tilstrækkelig smitstofreduktion i traditionelle komposttoiletter, hvor de iltkrævende komposteringsprocesser går i stå som følge af anaerobe forhold, der skyldes for meget urin og væske fra kondensering af vand i kompostbeholderne. Derfor er der også fundet dokumentation af smitstofreduktion ved vådkompostering af human afføring fra lavtskyllende toiletter, hvor tørstofindholdet imidlertid kun var 0,8 %, hvilket vanskeliggjorde kompostering. Derfor blev der gennemført forsøg med to tilsætningsmaterialer, ét med køkkenaffald og et andet med køkkenaffald og dyregødning, hvilket gav en markant forbedret temperaturudvikling op til 68 °C, og som følge af god blanding af materialet i vådkompostreaktoren opnåedes ved en temperatur på 60 °C i løbet af få timer en tilfredsstillende homogen smitstofreduktion af fækale streptokokker *E. Coli*, termotolerante koliforme bakterier, *Salmonella*, *Ascaris suum*, *Mycobacterium paratuberculosis* og virusfagen *Salmonella typhimurium* bakteriofag 28 B efter få timer. Reduktionen af sporer fra *Clostridium perfringens* var dog ikke tilfredsstillende.

Undersøgelser af det mikrobielle indhold i gråt spildevand (tøjvaskevand, vand fra baderum og køkkenvand) har vist, at det mikrobielle indhold er så højt, at det grå spildevand skal renses, inden det kan genbruges. Det mikrobielle indhold (*E. Coli*, fækale streptokokker og termotolerante koliforme bakterier) i køkkenvand ligger omkring $2-5 \times 10^8$. Køkkenvandet udgør en begrænset del af den totale gråvandsmængde, og har generelt et så højt indhold af organisk stof, at det næppe kan betale sig at anvende vandet til genbrugsformål. Vand fra baderum udgør op mod 80 % af det grå spildevand, og er derfor mere interessant ud fra et genbrugssynspunkt. Vand fra baderum har et indhold af fækale koliforme bakterier omkring 10^3 pr. 100 ml, og totale koliforme bakterier ligger omkring 10^5 pr. 100 ml, men er dog meget afhængigt af antallet af babyer, der kan bidrage betragteligt til indholdet af fækale patogener. Det samme gør sig gældende for tøjvaskevand, hvor det mikrobielle indhold ligger omkring 10^6 pr. 100 ml for *E. Coli* og termotolerante koliforme bakterier, $10^3 - 10^6$ for fækale streptokokker pr. 100 ml og op til 10^5 pr. ml for total koliforme bakterier. Det mikrobielle niveau var væsentligt lavere i vaskevand fra vaskerier (totale koliforme bakterier <200 pr. ml.), hvilket kan skyldes, at det i større udstrækning drejer sig om kogevask.

Spildevand er i århundreder blevet benyttet som vandingsvand og til akvakulturelle formål. I visse lande, særligt U-lande, benyttes spildevandet urensset til vanding af spiselige afgrøder, mens det i andre lande er både renset og desinficeret (Australien og USA), inden det bruges til vanding af f.eks. golfbaner. I Japan renses omkring 10^{10} m³ spildevand årligt, hvoraf $8,5 \times 10^7$ m³ genbruges til f.eks. toiletskyl, landbrugsformål, vådområder, industrielt kølevand, togvask og smeltning af sne.

I Skandinavien er der ikke mange eksempler på anvendelse af spildevand til vandingsformål eller akvakulturelle formål. Der findes dog enkelte projekter, hvor der dog ikke er foretaget mikrobielle undersøgelser af vandets kvalitet. Udnyttelse af spildevand til vanding af pilebevoksninger forventes at stige i de kommende år, og i Sverige er der netop igangsat undersøgelse af risikoen for spredning af smitstoffer ved denne praksis.

1 Mikrobiologiske undersøgelser af separat opsamlet humanurin

Der er i løbet af de seneste år gennemført en del undersøgelser af de hygiejniske forhold omkring separat håndtering af urin. Undersøgelserne er fortrinsvis gennemført i Sverige, hvor der har været en betydelig interesse i flere kommuner og amter for lokal opsamling af urin mhp. reduktion af spildevandsproduktionen og tilbageførsel af et renere gødningsprodukt end ved udbringning af spildevandsslam.

Human urin bidrager med ca. 50 % af den fosformængde og ca. 90 % af den kvælstofmængde, der normalt tilføres kloaksystemet fra husholdninger. Det er energikrævende at producere kvælstofgødning og mineralsk fosfor er en begrænset ressource, og vil med det nuværende gødningsforbrug være opbrugt indenfor ca. 200 år (Fredrikson 1994). Udspreddning af spildevandsslam på landbrugsjord har hidtil været eneste måde at recirkulere næringsstoffer fra by til land. Denne metode indebærer dog også recirkulering af uønskede miljøfremmede stoffer fra afløbssystemet. Derfor er der stigende interesse for udvikling af et økologisk bæredygtigt afløbssystem baseret på separat opsamling og udnyttelse af humanurin som gødning.

I Sverige er der etableret omkring 3000 urinseparerende vandskylende toiletter (Johansson 1999). Det gælder fortrinsvis i såkaldte økolandsbyer, men der er også planlagt installation af urinseparerende toiletter i etageboliger i større bebyggelser og storbyer (A. Finnson, personlig oplysning). For at skaffe information om forholdene omkring separat urinhåndtering har VA-Forsk i Sverige i de senere år gennemført en række forskningsprojekter indenfor området (Haglund & Olofsson 1997, Malmquist & Stenberg 1997, Haglund 1999, Kärrmann et al. 1999).

Separat opsamling af urin sker ved anvendelse af todelte toiletstole, hvor forreste kammer opsamler urin og det bagerste bruges til bortskaffelse af fæces. Der vil ofte være et begrænset vandskyl på ca. 0,1 liter pr. skyl til transport af urin fra urinseparerende toilet til opsamlingsstank. Dette medfører, at urinen bliver fortyndet.

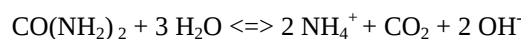
Humanurin er sædvanligvis steril, så længe den befinder sig i blæren, med mindre en person har blærebetændelse eller en anden sygdom, der kan forurene urinen med patogener. Selv om urinen skulle være steril i blæren, kan der dog i forbindelse med den separate opsamling af urin forekomme fækal forurening af urinen, herunder med smitstoffer. Derfor er det interessant at undersøge, hvilken smitstofreduktion der kan opnås ved forskellig lagring af den opsamlede urin.

1.1 Effekt af pH og fortynding på smitstofreduktion af lagret urin

De parametre, der er afgørende for overlevelsen af mikroorganismer i urinen er fortrinsvis temperatur under lagring, fortyndingsforhold og urinens surhedsgrad. Temperaturen afhænger af årstiden og om urinlagringstanken er nedgravet eller placeret i en kælder eller evt. oven på jorden.

Fortyndingen afhænger af skyllemængden. I et svensk studie blev opsamlet 1,34 liter urimblanding pr. person og dag. Heraf var 0,34 liter skyllevand (Jönsson et al. 1997).

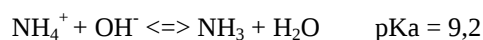
Ved lagring vil urinens pH-værdi relativt hurtigt stige fra pH 6 (frisk urin) til omkring pH 9. Det skyldes at urea, der udgør 90 % af urinens kvælstofindhold (Jönsson et al. 1996) hurtigt omdannes til ammonium (NH_4^+) ved lagring og de frigjorte hydroxydioner får pH til at stige.



Omdannelsen af urea til ammonium sker forholdsvis langsomt ved lav temperatur. I en undersøgelse af ufortyndet urin blev fraktionen af ammonium/ammoniak i forhold til total kvælstof forøget fra 8 % til 26 % i løbet af 87 dage, når urinen opbevarede ved 23 °C, mens fraktionen af ammonium/ammoniak af total kvælstof forblev uændret (8 %), når urinen blev lagret ved 4 °C (Hellström & Kärrman 1995). I en lignende undersøgelse fandt man, at fraktionen af ammonium/ammoniak steg fra 4,2 % til 6,6 % i løbet af 84 dage og fraktionen steg til 14,8 % af total kvælstof i løbet 126 dage, når ufortyndet urin blev lagret ved 4 °C (Hanæus & Johansson 1996). Lagring af fortyndet urin, 1 del urin til 3 dele destilleret vand, gav i samme studium ved 4 °C en forøgelse i ammonium/ammoniak fraktionen fra et udgangsniveau på 4,1 % til 18,6 % i løbet af 84 dage med stigning til 23,2 % efter 126 dage.

Hovedparten (> 85 %) af tilført urea er normalt omdannet til ammonium, når der tages urinprøver fra opsamlings- og lagringstanke, selv om disse tømmes op til fem gange årligt (Kirchmann & Pettersson 1995, Olsson 1995, Hanæus & Johansson 1996, Hellström et al. 1999). Omsætningshastigheden kendes ikke, men i et studium er det vist, at omsætningen sker i ledningsnettet inden indløb til opsamlingsbeholderen (Jönsson et al. 1997). En forklaring på den hurtigere omsætning kan dog være, at omdannelsen af urea til ammonium fortrinsvis sker, hvis der er organisk stof til stede. Det hænger sammen med, at nedbrydningen af urea katalyseres af enzymet urease, der forekommer i de fleste tarmbakterier og urinvejspatogener bl.a. *Klebsiella*, *Proteus* og *Yersinia* (refereret i Olsson, 1995). Aktiviteten af urease er størst, når temperaturen ligger mellem 10 °C og 17 °C.

Stigningen i pH-værdi har en bakteriedræbende effekt (Höglund et al. 1998). Ammoniak (NH_3) antages at have tilsvarende effekt (Jenkins et al. 1998). Forholdet mellem ammonium og ammoniak afhænger af pH-værdien. Ved pH 6 er andelen af ammoniak 0,1 %, ved pH 7 er den 1 %, ved pH 8 er den 10 % og ved pH 9 er der ligevægt mellem ammonium og ammoniak, som det ses af nedenstående ligning ved pKa værdi på 9,2.



pH-værdien bør dog holdes omkring 9, da der ved højere pH-værdi vil ske en fuldstændig dissociering af ammonium til ammoniak med risiko for at ammoniakken vil fordampe fra urinen og dermed forringe urinens gødningsværdi. I følgende artikel gennemgås bl.a. pH-værdiens indflydelse på inaktiveringen af *Cryptosporidium*.

1.2 Gennemgang af artiklen: Survival of *Cryptosporidium parvum* Oocysts in Source Separated Human Urine

Forfattere: Caroline Höglund & Thor Axel Stenström (1999b) Canadian Journal of Microbiology 45:1-7.

Der sker ingen udskillelse af *Cryptosporidium parvum* gennem urin (Höglund & Stenström 1999), men der er risiko for fækal forurening af urinen med bl.a. *Cryptosporidium parvum* i forbindelse med den separate urinopsamling i den forreste toiletskål. Det gælder især kvinder og børn, der kan have svært ved at "ramme", såvel som toiletbrugere med diarré.

Overlevelsen af *Cryptosporidium parvum* i separat opsamlet urin blev undersøgt som del af et bredere studie af mikrobiel risiko ved udnyttelse af urin som gødning i svensk landbrug. *Cryptosporidium parvum* er en parasitisk protozo, der kan give anledning til mave-tarmsygdomme. Smittespredningen er fækal-oral, men kan også ske ved indtagelse af forurenede fødevarer eller ved direkte kontakt med inficerede personer eller dyr (Juranek 1995 og Stenström 1996).

Oocyster fra *Cryptosporidium parvum* kan overleve i affald såvel som i vand og er desuden resistente overfor desinfektionsmidler (Finch et al. 1997). Ydermere er deres infektionsdosis lav (Meinhardt et al. 1996). *Cryptosporidium parvum* er meget udbredt i Sverige, hvor

32 % af al ubehandlet overfladevand (fersk- og saltvand) indeholder oocyster fra *Cryptosporidium parvum* (Hansen & Stenström 1998).

For at vurdere pH-værdiens indflydelse på overlevelsen af *Cryptosporidium parvum* oocyster i urinen, blev der gennemført et studium af æggenes overlevelse ved forskellige pH-værdier. Der findes ingen standardmetode til at måle overlevelsen af *Cryptosporidium parvum* oocyster.

Oocysternes "viabilitet" blev i dette studie målt på tre forskellige måder:

- "excystering": æggenes evne til at frigive sporozoit
- inclusion eller exclusion af farvestof (dye permeability assay) - kan give mål for beskaffenheden af sporozoiternes cellemembran
- fluorescent *in situ* hybridisering - giver udtryk for sporozoiternes evne til at dele sig og øge i antal

Separat opsamlet urin blev indsamlet fra en urinopsamlingsstank i et boligområde nær Stockholm. 18 boliger med i alt 30 vandskylende urinsortierende toiletter var tilsluttet opsamlingsstanken. Forholdet mellem urin og vandskyl var 1:3, hvilket tyder på et relativt højt vandforbrug. Urinens pH-værdi var 9,1. Den opsamlede urin blev opdelt i tre dele, som fik justeret surhedsgraden til hhv. pH 5 og pH 7, mens den sidste del bevarede en pH-værdi på pH 9. Der blev tilsat en suspension af *Cryptosporidium parvum* oocyster mhp. at opnå en ensartet startkoncentration på 8×10^7 pr. ml.

Cryptosporidium parvum oocyster inaktiveredes i løbet af 63 dage ved pH 9, der som nævnt er urins normale pH-værdi ved lagring. Inaktiveringen ved denne pH-værdi var statistisk signifikant bedre end ved pH 5 og pH 7 ($p < 0,01$), hvor 19 % af oocysterne stadig var levedygtige. Testen blev gennemført vha. dye permeability assay. Der blev også gennemført en undersøgelse af oocyst-inaktivering i bufferopløsninger med samme pH-værdier. Der kunne ikke påvises tilsvarende forskel i inaktivering af oocyster i disse buffere med pH 5, pH 7 og pH 9. Det tages som tegn på at inaktiveringen af oocyster i urin ikke udelukkende skyldes urinens surhedsgrad.

I den opsamlede urin var totalkoncentrationen af ammonium (NH_4^+) 3,3g/L (Jönsson et al. 1998). Ved testforhold med pH 9 og 4 °C vil der forventes en koncentration af ammoniak (NH_3) på 0,03 mol/L (Svensson 1993), hvilket skulle kunne give en vis inaktivering af oocyster.

Nedbrydning af mikroorganismer i urin kan ske både i opsamlingsbeholderen og i lagringstanken, hvor temperaturen varierer fra 4 °C til 20 °C (Höglund et al. 1998). De fleste fæcale mikroorganismer overlever længst ved lave temperaturer. Det er således vist, at *Cryptosporidium parvum* oocyster forbliver infektiøse i 5 dage ved 37 °C opbevaring, i 14 dage ved 15-20 °C og i 60 dage ved 4 °C (Sherwood et al. 1982). Nogle oocyster kan også overleve nedfrysning (Fayer & Nerad 1996).

I artiklen har forfatterne på basis af undersøgelsens resultater beregnet den hygiejniske situation omkring opsamling, lagring og udspreddning af urin på landbrugsjord. Hvis én familie ud af 25 familier i et boligområde som leverer urin til en fælles opsamlingsbeholder, er smittet med *Cryptosporidium parvum*, og dermed udskiller oocyster, vil den maximale koncentration af oocyster i urinen være omkring 100 pr. liter. Beregningen er foretaget på baggrund af en udskillelse af 10^5 oocyster pr. gram fæces i en to-måneders periode, hvor 0,1 % af fæces inficerer urin og derved bringes til urinopsamlingsbeholderen. Hvis urinen lagres i 3 måneder vil koncentrationen af levedygtige oocyster reduceres med ca. 90 % til omkring 10 pr. liter.

På baggrund af den beskrevne undersøgelse antages den svenske praksis, hvor urin lagres i 6 måneder, at være tilstrækkelig til at sikre inaktivering af *Cryptosporidium parvum* oocyster (Höglund & Stenström 1999b). Det gælder især, hvis man undlader at tilsætte syre for at holde pH neutralt.

1.3 Gennemgang af artiklen: Evaluation of faecal contamination and microbial die-off in urine separating sewage systems.

Forfattere: Höglund C., Stenström T.A., Jönsson H. & Sundin A. (1998) Wat. Sci. Tech. 38 (6): 17-25.

I denne undersøgelse har man målt koncentrationen og overlevelsen af fækale indikatororganismer og patogener i urinprøver fra opsamlingstanke. Foruden de ovenfor nævnte faktorer (opbevaringstemperatur og urinens surhedsgrad) har man set på effekten af fortynding med skyllevand såvel som indtrængende vand i utætte lagringsbeholdere.

Artiklen beskriver overlevelsen af 9 forskellige mikroorganismer ved:

- to forskellige temperaturer (4 °C og 20 °C)
- tre fortyndingsgrader (ufortyndet, 1:1 og 1:9)
- fire forskellige pH-værdier (pH 4,5, pH 6,0, pH 8,9 (ubehandlet urin) og pH 10,5).

De undersøgte mikroorganismer er følgende:

1. *Aeromonas hydrophila*, ATCC 35654
2. *Clostridium perfringens*, isolat fra et tørt afløbssystem
3. *Escherichia coli*, isolat fra separat opsamlet urin
4. *Pseudomonas aeruginosa* 233/78
5. *Salmonella senftenberg* 775 W
6. *Salmonella typhimurium* (SH4809)
7. Fækale streptokokker, isolat fra separat opsamlet urin
8. Salmonellafag 28 B / *Salmonella typhimurium* 5 A
9. *Ascaris suum* ova, indsamlet på slagteri

Urinprøverne blev over to omgange i 1996 indsamlet fra 14 opsamlingstanke fra 11 forskellige urinseparerende afløbssystemer. Prøverne blev taget vha. et 4 m langt metalrør, hvorpå der var placeret en steril sprøjte, der gjorde det muligt at suge urin op fra beholderen under væskeoverfladen. Der blev også taget en prøve af sedimentet fra opsamlingsbeholdere. Prøverne blev nedkølet transporteret til laboratorium, hvor de blev analyseret indenfor 18 timer.

Total coliforme bakterier blev fundet i varierende antal i opsamlingsbeholdere med et gennemsnit på 260 cfu / ml. (cfu: colony forming units). *E. Coli* blev sjældent fundet, i 84 % af tilfældene var koncentrationen under 10 / ml. Clostridier blev også fundet i varierende koncentration fra 1 - 2000 cfu / ml. Fækale streptokokker optrådte derimod i stor mængde. 76 % af prøverne havde omkring 1000 cfu / ml, og der blev fundet helt op til 10⁵ cfu / ml urin. Den relativt høje koncentration tyder på, at der har fundet vækst sted i ledningsnettet og i lagerbeholdere.

Generelt var bakteriekoncentrationen højere i sedimentet end ved væskeoverfladen. Det stemmer overens med resultaterne fra en undersøgelse af lagdeling i urin opsamlet fra 4 opsamlingsbeholdere og en lagerbeholder, der viste, at koncentrationen af indikatorbakterier var højest i sedimentet fordi bakterierne adsorberes til de sedimenterede partikler (Höglund et al. 1999). Efter 4 måneder var koncentrationen af indikatorbakterierne *E. coli*, enterokokker og totale koliforme under detektionsgrænsen på 3 cfu/ml i alle lag. Koncentrationen af Clostridier var dog fortsat over detektionsgrænsen efter 4 måneders lagringstid.

Fortyndingens effekt på bakteriernes overlevelse var markant. *A. hydrophila*, *S. senftenberg*, *S. typhimurium* og *P. aeruginosa* inaktiveredes således indenfor en dag i ufortyndet urin og i urin, som var fortyndet 1:1 med destilleret vand ved 4 °C og 20 °C. Ved den kraftigere fortynding på 1:9 overlevede organismene i op til 20 dage. *E. coli* overlevede fem gange så længe i den fortyndede urin (1:9) som i den ufortyndede (13,7 dage i forhold til 2,6 dage ved 4 °C og 5,2 dage i forhold til 0,9 dage ved 20 °C). Der skulle bruges tre gange så lang tid på inaktivering af fækale streptokokker i fortyndet urin (1:9) som i ufortyndet urin (19 dage i forhold til 6,5 dage ved 20 °C). Forskellen var mindre ved 4 °C, hvor streptokokkerne levede op til 35 dage. *Clostridium perfringens* viste ingen reduktion efter 35 dage, og Salmonellafagerne var end ikke reduceret efter 75 dage.

Effekten af forskelle i pH-værdi var lige så markant. *A. hydrophilia*, *S. senftenberg*, *S. typhimurium* og *P. aeruginosa* inaktiveredes indenfor én dag ved pH 4,5 og pH 10,5. Ved pH 6,0 og 8,9 overlevede organismene op til 3 dage. *E. coli* døde indenfor én dag ved alle pH-værdier bortset fra pH 6,0 hvor bakterien overlevede op til 3 dage ved 20 °C og 5 dage ved 4 °C. De fækale streptokokker overlevede ved 4 °C under én døgn ved pH 10,5 og havde en overlevelse på 3,5 dage ved pH 4,5, mens der stort set ikke var nogen reduktion ved pH 6,0 og pH 8,9 selv efter 40 dage. *Clostridium perfringens* blev ikke reduceret under nogen omstændigheder selv efter 35 dages inkubation. Det samme gjorde sig gældende for *Salmonellafagerne*, hvor der ikke blev observeret reduktion selv efter 50 dage bortset fra ved pH 4,5 og 20 °C, hvor de overlevede i 8 dage. *Ascaris suum* reduceredes i løbet af en periode på 21 dage med 15-20 %.

Baseret på disse data konkluderer artiklens forfattere, at jo lavere temperaturen er i opsamlings- og lagerbeholder, og jo mere fortyndet urinen er, des længere overlever de fleste mikroorganismer og dermed fækale indikatorer i urinen.

Derfor bør urinen ikke lagres koldt, der skal i hvert fald ikke gøres en speciel indsats for at nedkøle urinen. Mængden af skyllevand skal til gengæld holdes på så lavt et niveau som muligt. Urinens surhedsgrad har også indflydelse på mikroorganismernes overlevelse. Jo mere pH afviger fra neutral, des kortere overlevelse. Reduktionen af mikroorganismer ved høj pH (8,9) skyldes dels basisk miljø, dels et vist niveau af ammoniak i urinen.

Reduktionen af *Ascaris suum* er relativt begrænset. Artiklens forfattere anbefaler at man undersøger, hvad der sker ved opsamling og lagring af urin, hvori der er *Giardia lamblia*, eftersom det er den mest almindeligt isolerede parasit fra tarmsystemet (Marshall et al. 1997).

Artiklen beskriver også anvendelsen af fækale steroler som kemisk indikator for fækal forurening. De mere normale fækale indikatorer er enten for varierende i antal, eller også har de ikke udelukkende fækal oprindelse. Desuden reduceres de sædvanligvis relativt hurtigt i urin. Hvis man ønsker et mål for fækal forurening af urinen, må man derfor vælge en indikator, der kun reduceres meget langsomt i antal. Fækale steroler, især coprostanol, opfylder dette krav (Sundin et al. 1999).

Fækale steroler giver således ikke et direkte udtryk for smitterisiko ved anvendelse af urinen. De giver et kumulativt mål for, hvor meget fækal materiale, der er kommet i urinen, og kan som sådan benyttes i forbindelse med udvikling af toiletstole til separat opsamling af urin, da de vil give udtryk for, hvor gode forskellige toiletstole er til at undgå fækal forurening af urinen.

1.4 Gennemgang af artiklen: Source separated urine –nutrient and heavy metal content, water saving and faecal contamination

Forfattere: Jönsson H., Stenström T.A., Svensson J. & Sundin A. (1997) Wat. Sci. Tech. 35 (9) 145-152.

Dette studium var tilrettelagt mhp. at registrere næringsstof- og tungmetallindhold i urin opsamlet fra 44 lejligheder i "Understenshöjden", et svensk økobyområde i Stockholm med 160 beboere, hvor omkring halvdelen var under 13 år. Desuden undersøgtes om dannelsen af urea til ammonium allerede foregår i ledningsnettet fra de urinseparerende toiletstole til to opsamlingsbeholdere på 40.000 liter hver. Samtidig blev det vurderet, i hvor høj grad urinen var blevet forurenet med fækal materiale i forbindelse med opsamlingen i den todelte WC-kumme.

Toiletterne blev udstyret med tælleranlæg til at registrere antallet af skyl i såvel fækalieskålen som urinskålen. Ud fra kendskabet til vandforbrug pr. skyl blev det totale vandforbrug udregnet og dermed fortyndingsgraden af urinen.

Mængden af næringsstoffer, som hver person dagligt tilførte opsamlingsbeholderen blev beregnet. Beregningen skete på basis af konkrete målinger af den tilførte urin i samlebeholderen og kendskabet til antallet af beboere. I tabel 1.1 opgøres således beregnede/målte og

forventede værdier af næringsstoffer i den opsamlede urin ud fra kendskabet til at beboerne opholdt sig i Understenshøjden 13,9 timer i døgnet, og at halvdelen af beboerne var under 13 år.

Tabel 1.1. Indholdet af næringsstoffer i separat opsamlet urin.

Næringsstof	Målt/beregnet g/beboer/dag	Forventet g/beboer/dag	Litteratur (Sundberg, 1995) g/beboer/dag
Kvælstof	4,9	5,7	11
Fosfor	0,42	0,52	1
Kalium	1,34	1,29	2,5

Det fremgår af tabel 1.1, at de målte/beregnete niveauer er ca. 80 % af de forventede. Forskellen kan skyldes, at en forholdsvis stor del af urinen rammer den forkerte skål i toiletet, hvilket er ret sandsynligt, når man tager de relativt mange børn i bebyggelsen i betragtning.

Omsætningen af urea til ammonium foregik meget hurtigt, idet 97,5 % af nitrogenet var i form af ammonium/ammoniak ved indløb til opsamlingsbeholderen. Forfatterne antager, at den hurtige omsætning skyldes den biofilm, der dannes inde i ledningsnettet fra toiletstole-
ne til opsamlingsbeholder. Efter 14 dages lagring i opsamlingsbeholderen var yderligere 1 % af kvælstoffet, i alt 98,5 %, i form af ammonium/ammoniak. Disse fund stemmer overens med resultaterne i andre tilsvarende undersøgelser (Kirchmann & Petterson 1995; Olsson 1995).

Man undersøgte ikke indholdet af smitstoffer i urinen, men analyserede for indholdet af fækalt materiale vha. den kemiske indikator coprostanol, der er en fækal sterol, som produceres i tarmsystemet, når kolesterol nedbrydes. Det er som nævnt dokumenteret, at fækale steroler kan anvendes som kumulativt mål for forurening af urin med fækalt materiale (Sundin et al. 1999). I urinen blev der ved de to undersøgelser fundet hhv. 7,8 µg/l og 5,0 µg/l fækale steroler, hvilket svarer til en gennemsnitlig forurening af urinen på 1 mg fækalt materiale pr. liter urinopløsning (Jönsson et al. 1997).

1.5 Gennemgang af rapporten: Källsorterad humanurin – förekomst och överlevnad av fekala mikroorganismer samt kemisk sammansättning

Forfatter: A. Olsson (1995): Institutionen för lantbruksteknik. SMI. Rapport 208. ISSN 0283-0086.

Fra 7 forskellige separate urinseparationstoiletter indsamledes urinprøver og deres indhold af *E.coli*, fækale streptokokker og colifager blev analyseret.

Der kunne ikke påvises colifager i nogen af prøverne. Indholdet af *E.coli* var lavt i samtlige prøver, mens indholdet af fækale streptokokker varierede fra meget lave niveauer op til 12.000 cfu / ml. Der var tydelig forskel på det mikrobielle indhold i urinbeholdernes væskeoverflade og bundsedimentet, hvor bundsedimentet havde de højeste værdier.

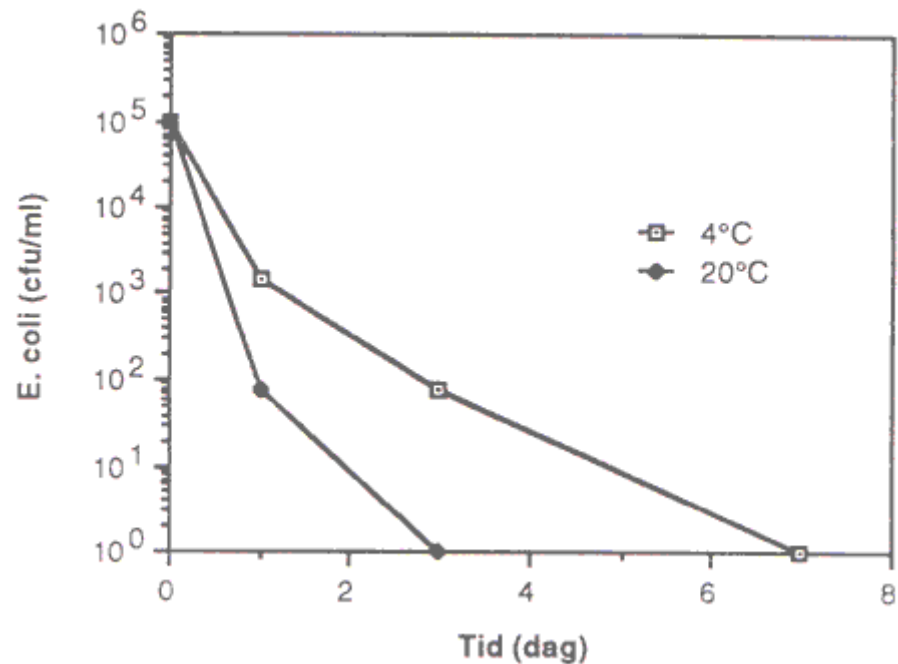
For at undersøge smitstofreduktionen i urin som funktion af lagringstiden analyseredes indholdet af fækale streptokokker og *E. coli* i urin lagret i 1 til 12 måneder.

Tabel 1.2. Indholdet af *E. coli* og fækale streptokokker i separat opsamlet urin som blev lagret fra 1 til 12 måneder.

Lagringstid (måneder)	<i>E.coli</i> (cfu / ml)	Fækale streptokokker (cfu / ml)	PH
1	< 1	234	8,7
2	< 1	90	8,8
3	< 1	30	8,7
12	< 1	< 1	8,7

Derudover blev der gennemført analyse af temperaturens indflydelse på reduktionen af en række mikroorganismer under lagring af urin ved hhv. 4 °C og 20 °C og pH 9. For at sikre et højt udgangsniveau blev der tilført bakterier til urinen.

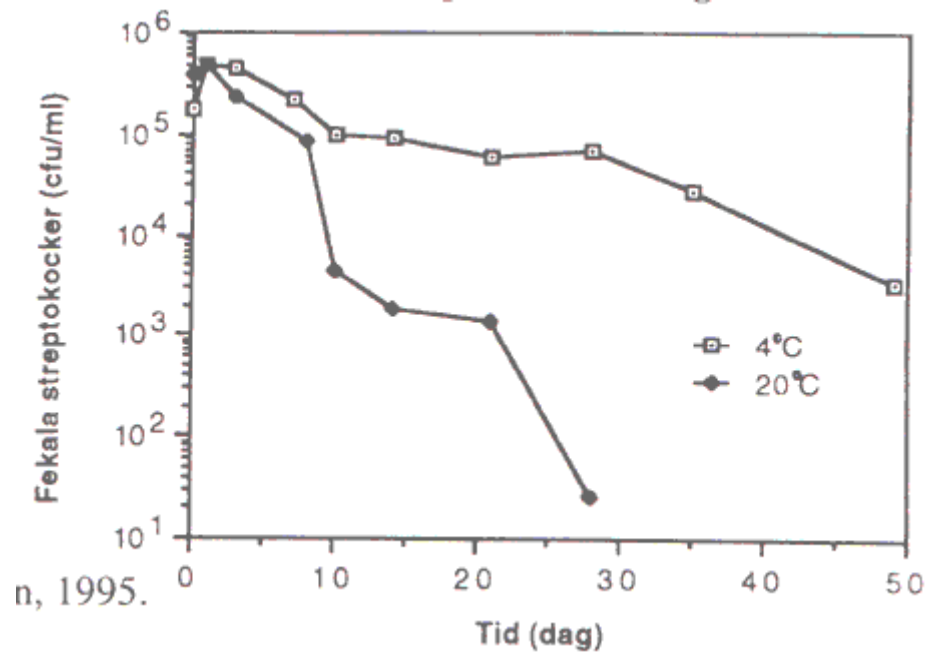
Figur 1.1 Reduktion af *E. coli* i urin lagret ved 4 °C og 20 °C.



Kilde: Olsson, 1995.

Det ses, at reduktionen af *E. coli* sker hurtigst ved 20 °C, hvor indholdet falder under detektionsgrænsen indenfor 3 dage, mens der gik 7 dage, inden denne reduktion blev opnået ved 4 °C.

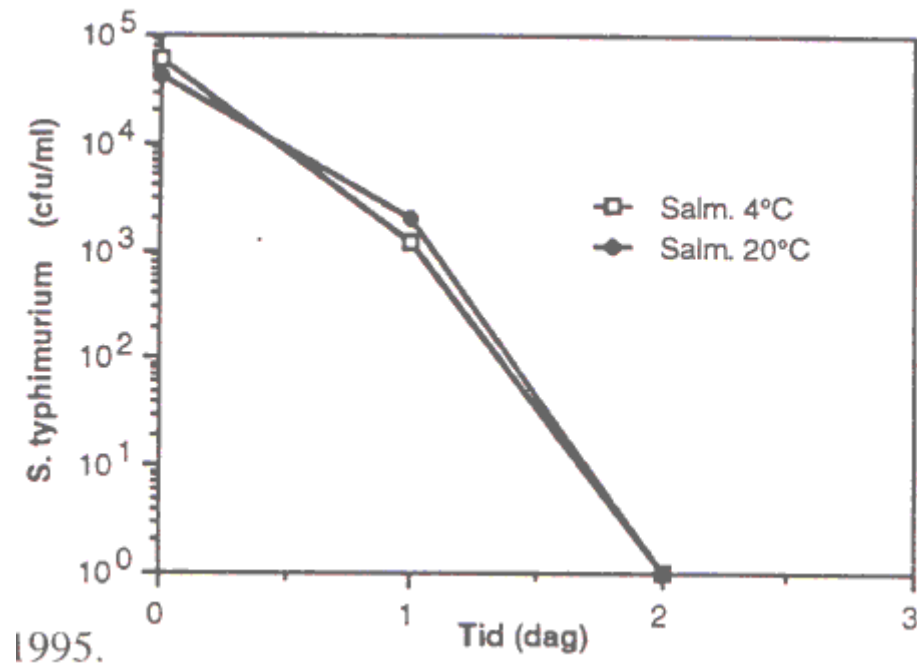
Figur 1.2. Overlevelse af fækale streptokokker i lagret urin ved 4 °C og 20 °C.



Kilde: Olsson, 1995.

Det ses her, at reduktionen af fækale streptokokker sker væsentligt langsommere end reduktionen af *E. coli*, og også i dette tilfælde sker reduktionen hurtigst ved 20 °C.

Figur 1.3. Overlevelse af *Salmonella typhimurium* i lagret urin ved 4 °C og 20 °C.

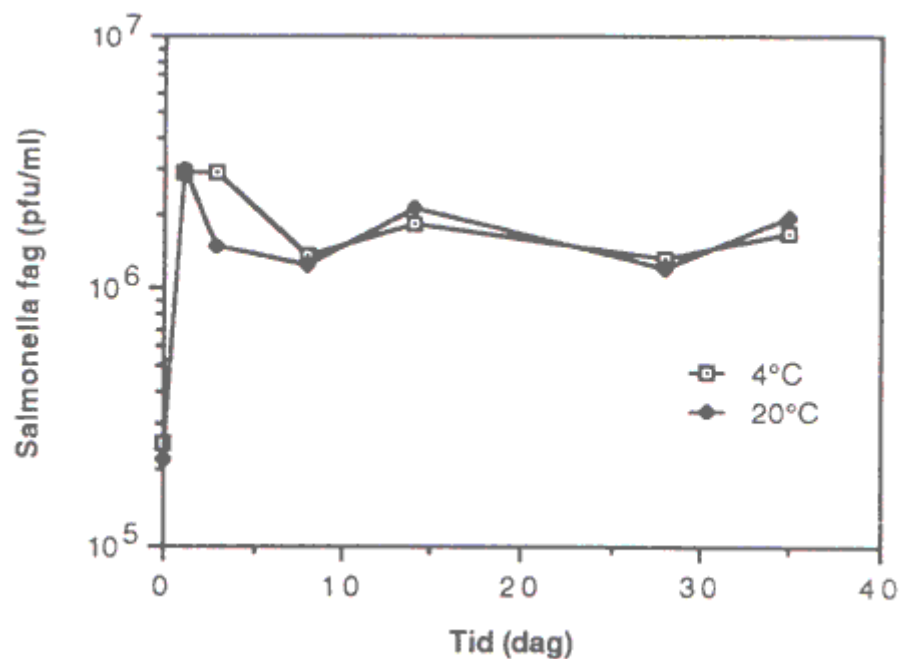


Kilde: Olsson, 1995.

Det ses at reduktionen af *Salmonella typhimurium* er uafhængig af temperaturen og ved både 4 °C og 20 °C sker reduktionen så hurtigt, at *Salmonella* ikke kan påvises efter 2 dage.

Som indikator på overlevelsen af virus tilsatte man bakteriofagen *Salmonella typhimurium* 28 B.

Figur 1.4. Overlevelsen af bakteriofag 28 B i lagret urin ved hhv. 4 °C og 20 °C.



Kilde: Olsson, 1995.

Som det fremgår af ovenstående figur 1.4, opnåede man stort set ingen reduktion af virus efter 40 dage, hverken ved 4 °C eller 20 °C.

Tabel 1.3. Opgørelse over de parametre, der indgår i test af separat opsamlet urin.

Parametre	Höglund & Stenström (1999)	Höglund et al. (1998)	Jönsson et al. (1997)	Olsson (1995)
Aeromonas hydrophila		+		
Ascaris suum		+		
Clostridium perfringens		+		
Cryptosporidium parvum	+			
E. coli		+		+
Fækale koliforme bakterier				
Fækale streptokokker		+		+
Pseudomonas aeruginosa		+		
Salmonella senftenberg		+		
Salmonella typhimurium		+		+
Salmonellafag 28 B		+		+
*Coprostanol (fækal sterol)			+	

Landbrugets holdning til humanurin som gødning beskrives nedenfor.

1.6 Gennemgang af artiklen: Föbättringar nödvändiga vid hantering av humanurin i odling

Forfatter: Fernholm M. (1999): Biologik 7: 4-8.

I Sverige har urin allerede i nogle år været anvendt til udspreddning på marker. I 1999 blev der gennemført en interviewundersøgelse blandt 10 landmænd, der har aftaget og anvendt separat opsamlet urin som gødning. Hver landbruger modtager mellem 1000 og 150000 liter pr. år. Kun 3 ud af de 10 landbrugere havde fået oplysninger om urinens gødningsværdi. De øvrige bønder ville også gerne have denne information. Landbrugerne opfatter generelt urinen som gødningsmæssigt uinteressant, da mængderne er for små og kvælstofniveauet opfattes som lille, da det ikke lugter af ammoniak som almindelig husdyrgødning. Derudover synes bønderne at urinen indeholder for meget skyllevand, hvilket medfører øgede transportudgifter.

Hovedparten af bønderne tager imod urinen, fordi de gerne vil hjælpe, og fordi deres jord ligger relativt nær ved på urinproducenterne. Husdyrproducenterne henter selv urinen, da de allerede har gyllevogne til transporten. Hovedparten af planteproducenterne har fået entreprenører til at bringe urinen. Bønderne betaler ikke for urinen, og nogle landmænd tager endda penge for at hente den. Landbrugerne gav udtryk for, at de ville have mere koncentreret urin i fremtiden, hvilket også skulle være muligt (Bán et al. 1999).

Hovedparten af landbrugerne udspreder urinen med almindelig gødningssspreder fra 1 meters højde. Kun én udbringer urinen med slæbeslanger. Kun halvdelen nedpløjer efter udspreddning af urin. Det medfører et unødigt kvælstoftab, da kvælstoffordampningen fra urin er større end fra husdyrgødning.

Generelt opfatter bønderne humanurin som ren og fri for smitstoffer, da de fleste er vidende om, at det er fæces der er hovedleverandør af patogener i human afføring. Hvis de skulle modtage urin fra ukendte leverandører ville landbrugerne kræve bedre kontrol. Kun 2 ud af de 10 landbrugere, der indgik i undersøgelsen, havde kendskab til anbefalingen fra Smittskyddsinstitutet i Sverige om, at urinen bør lagres 6 måneder inden udspredning på landbrugsjord. De fleste landbrugere udspreder urinen direkte, eller når de alligevel skal gøde markerne, og tager således ikke hensyn til lagringsbehovet.

2 Mikrobiologiske undersøgelser af human afføring efter kompostering i ventilerede komposttoiletter

Udnyttelse af human afføring som gødning i jordbruget har været anvendt i århundreder særligt i det sydøstlige Asien (Korea, Kina og Indien). Det gælder både udnyttelse af frisk afføring fra landbefolkningen såvel som lagret og mere eller mindre forarbejdet toiletaffald (fæces, urin og toiletpapir) fra byernes borgere.

Tør håndtering af fæces og urin har i mange år været udbredt ved enkeltbeliggende boliger og sommerhuse især i Sverige og Norge, hvor nedsivning af spildevand mange steder er umuligt pga. klippefyldt undergrund. Håndteringen bestod i mange år blot af opsamling i en beholder, hvis indhold efterfølgende blev nedgravet, hældt på møddingen eller komposteret med organisk husholdningsaffald.

Omkring 1930 udvikledes i Sverige et komposttoilet ”Clivus multrum” af Richard Lindström. Tusindvis af disse komposttoiletter er siden blevet solgt over hele verden (Del Porto & Steinfeld, 1999). I løbet af de seneste 25 år er også mange andre producenter af komposttoiletter kommet på markedet. Derfor er de praktiske erfaringer med komposttoiletter relativt mange, men der mangler generelt mikrobiologiske undersøgelser af toiletternes evne til at hygiejnisere tilført materiale.

I Norge indførtes i 1982 et kvalitetsmærkningssystem for komposttoiletter. ”Kvalitetsnorm for biologiske klosetter” (Engen, 1993). Toiletterne testes for deres evne til at fordampe væske og nedbryde tilført organisk materiale til et hygiejnisk tilfredsstillende produkt gennem aerobe komposteringsprocesser (Engen, 1991).

I testforløbet foretages kontinuerlig registrering af temperaturudviklingen i kompostbeholderen. Der måles både i centrum af kompostmassen såvel som i periferien for at undersøge om temperaturudviklingen og dermed hygiejniseringen forløber ensartet, eller om det kun er visse dele af komposten, som omsættes tilstrækkeligt. Et krav til testen er at materialets indhold af termotolerante koliforme bakterier skal være under 500 bakterier pr. 100 g kompostmateriale (TS).

Toiletterne testes svarende til, at de er dimensioneret til 4 PE og tilføres dagligt:

800 g afvandet slam
4800 ml kunstig urin
100 g toiletpapir

I løbet af testperioden tilføres i alt

44,8 kg afvandet slam
268,8 liter kunstig urin
5,6 kg toiletpapir

Toiletterne skal være i stand til at omsætte og reducere den tilførte mængde så effektivt at de kan bruges i et år uden behov for tømning af beholderen. Der udstedes et godkendelsesbevis til de toilettyper, der opfylder betingelserne i testen.

Norge, Sverige, Finland og Island har i 1995 på basis af Jordforsk-testen udarbejdet en miljømærkning af ”Avløpsfrie klosettsystemer” toiletter under Svaneordningen. I miljømærkningen, der kan læses på (www@ecolabel.no) indgår også krav til komposttoiletternes materialekvalitet og fremstillingsmåde.

Svanemærket kan benyttes i forbindelse med markedsføring af konkrete toilettyper. Der er intet generelt forbud mod installation af de toiletter, der ikke har Svanemærket. Da producenterne således ikke har nogen afgørende fordel ved at få godkendt netop deres toiletprodukt, har der været begrænset interesse for at få testet toiletterne, og der pågår for tiden ingen test af komposttoiletter på Jordforsk. Visse kommuner vil dog kun godkende etablering af de komposttoiletter, der har dette kvalitetsstempel. Hvis denne praksis breder sig, forventes det at få positiv indflydelse på mængden af test i fremtiden.

I biblioteket på Jordforsk har man samlet produktdata på de komposttoiletter, der har været på markedet i Norge i de seneste 20 år. I perioden har der været et forholdsvis stort salg af mange forskellige komposttoilettyper. Der er ingen oversigt over det nøjagtige salg, men det kan evt. findes ved direkte henvendelse til producenterne. Sammenligning af nyt og gammelt salgsmateriale viser at videreudvikling og forbedring af komposttoiletter er påfaldende begrænset, på trods af at testene og de praktiske erfaringer har vist, at der fortsat er mange problemer med komposttoiletterne.

Jordforsk har anbefalet, at der kun etableres komposttoiletter med isolerede beholdere, hvilket skulle medvirke til at sikre effektiv mikrobiologisk omsætning i kompostbeholderne og undgå uhygiejniske forhold ved tømning af beholderne. Problemer med overløb af væske skulle kunne løses ved at udbygge toiletbeholderne med et reservoir til opsamling af væske eller ved at lede væsken uden for beholderen til nedsivning eller et rensningsanlæg.

Producenterne ville muligvis bruge flere ressourcer på udvikling af toiletterne, hvis der blev indført en obligatorisk test for alle komposttoiletter på markedet, og hvis det kun er de godkendte toiletter, der kan få lov til at blive solgt. Visse kommuner stiller krav om at toiletterne skal have kvalitetsmærket, men der er endnu ingen planer om at gøre det til et nationalt krav. Testen gennemføres på ønske fra producenterne og rapporterne er ikke offentlige. Der findes ikke et tilsvarende system i Sverige eller Danmark.

I det følgende refereres resultaterne fra en undersøgelse af smitstofreduktionen ved kompostering af haveaffald og afvandet slam, der i undersøgelsen skal gøre det ud for toiletaffald.

2.1 Gennemgang af rapporten: Hygiejniske aspekter ved hjemmekompostering af hage- og latrineaffald

Forfattere: Engen Ø., Hansen J.F., Linjordet R. & Ånestad G. (1994): Projekt nr. 1517. Jordforsk. ISBN nr. 82-7467-119-8

Dette projekt blev iværksat og finansieret af det norske "Helsedirektorat", der ønskede et grundlag for fastlæggelse af regler for separat håndtering af toiletaffald. Projektet skulle især undersøge de virologiske forhold ved kompostering af toiletaffald. Patogene bakterier og parasitter kan inaktiveres ved opvarmning til 60-70 °C afhængigt af opvarmningsvarighed.

For at opnå effektiv reduktion af sygdomsfremkaldende mikroorganismer ved kompostering skal der sikres en ensartet temperaturudvikling i hele kompostmassen. En høj temperatur vil desuden medføre relativt hurtig mineralisering af det organiske materiale og hindre genvækst af smittefarlige mikroorganismer, når temperaturen efter endt kompostering falder til omgivelsernes niveau.

I projektet blev der anvendt 3 relativt store komposttoiletter (240 liter) af typen "Muldvarpen", der er isoleret med dobbelt bund og to kompostkamre. I forsøget anvendtes dog kun toiletternes ene kammer. Desuden indgik en uisolert kompostbeholder i forsøget som referencebeholder. "Muldvarpen" blev valgt fordi den anses for at være repræsentativ for store isolerede komposttoiletter, og fordi den tidligere var blevet testet, og der derfor eksisterede et dokumenteret sammenligningsgrundlag.

Hver "Muldvarp" blev placeret udendørs ved forsøgslaboratoriets nordside. Dermed blev direkte solindstråling fra syd forhindret. I projektforsøget fik hver kompostbeholder tilført ca. 110 kg "toiletaffald", sanitærbark og haveaffald. Referencebeholderen fik kun tilført

96 kg materiale, da omsætningen i referencebeholderen var lavere og den derfor hurtigere blev fyldt op.

Toiletaffaldet bestod af frisk afvandet aluminiumsfældet spildevandsslam fra et rensningsanlæg. Der er således ikke tale om en test med anvendelse af den type toiletaffald, der sædvanligvis tilføres et komposttoilet. Inden det blev placeret i Muldvarpe-beholderne blev det i 10-14 dage forbehandlet indendørs, mens temperaturen lå i området 14-21 °C. Det var nødvendigt at igangsætte den mikrobielle stofomsætning på denne måde, da temperaturen i kompostbeholderne som udgangspunkt var for lav til, at mikroorganismerne ville kunne påbegynde deres aktivitet af sig selv.

På den måde har man undersøgt "Muldvarpens" evne til smitstofreduktion af afvandet og delvis komposteret spildevandsslam. Sanitærbarken havde et tørstofindhold på 80 % og bestod af 0-8 mm fyrrebark (90 %) og flis (10 %). Haveaffaldet bestod af græs og blade samt grene, kviste og skud, som var blevet kværnet til en størrelse på 5-25 mm. Derudover blev der tilsat toiletpapir, ubleget af mærket "Green Rabbit Miljø". Hver beholder var udstyret med plastbeholdere til opsamling af overskudsvæske.

Den totale forsøgsperiode blev af praktiske og økonomiske grunde sat til 3 måneder. Det skulle give tilstrækkeligt datagrundlag til at foretage hygiejniske vurderinger af kompostbeholdernes evne til smitstofreduktion af tilført afvandet spildevandsslam, selv om man ikke forventede at materialet ville blive færdigkomposteret indenfor dette tidsrum. Projektet blev igangsat om efteråret for at afklare komposttoiletternes funktion under relativt dårlige forhold med lav udendørstemperatur, der vil hæmme stofomsætningen.

I hver beholder blev der som bundmateriale lagt 32-35 kg haveaffald, som blev dækket af viruspodet afvandet spildevandsslam. Slamlagen blev derpå dækket af haveaffald. På den måde opnåede man en vis lagdeling af materialet i kompostbeholderen. Hver beholder blev tilført 200 ml levende poliovaccinavirus type 1, 2 og 3 med en udgangskoncentration på $10^{10,3}$ TCID₅₀ /ml (Tissue Culture Infective Dose ved 50 % infektion).

Poliovaccinavirus vurderes at være apatogent, men man indhegnede alligevel kompostbeholderne, så uvedkommende ikke skulle komme i kontakt med materialet. Man tilstræbte, at tilførslen skulle svare til normal brug af komposttoiletter som muligt. Der var ugentlig inspektion af beholderne, og temperaturmålinger blev gennemført kontinuerligt med 9 målepunkter i hver beholder. Efter 84 døgn blev forsøget afsluttet, og foruden de mikrobielle og kemiske parametre blev komposten i forbindelse med tømning af beholderne vurderet mht. lugt, struktur og fauna.

Tabel 2.1. Tilførsel af organisk stof til de enkelte kompostbeholdere (kg friskvægt).

Fraktioner	B1	B2	B3	R1
Græs	44,6	36,5	36,5	33,4
Blade og kviste	17,5	25,1	27,4	15,3
Kloakslam	20,0	20,0	20,0	20,0
Sanitærbark	22,1	20,7	22,3	22,5
Toiletpapir	3,0	3,0	3,0	3,0
Vand	2,0	2,0	2,0	2,0
Total	109,2	107,3	111,2	96,2

De fysisk-kemiske prøver blev taget fra tre prøvetagningspunkter, dog kun i slamlaget: A: centrum, B: et ydre hjørne og C: et indre hjørne af slamlaget. C er placeret nær skillevæggen mellem kompostbeholderens to kamre og er derfor bedre isoleret end B. Prøver til virusdyrkning blev taget dagligt de første 4 dage og de efterfølgende to uger med op til 3 døgn intervaller. Derpå blev prøverne taget med en uge og en måneds mellemrum. 5 uger efter forsøgets start kom der overskudsvæske i opsamlingsbeholderne. 10 ml af denne væske blev også analyseret.

Der blev analyseret for heterotroft kimtal, som skulle angive den totale mikrobielle biomasse (bakterier og mikroskopiske svampe). Desuden bestemte man indholdet af termotolerante koliforme bakterier som mål for indholdet af tarmbakterier. Der blev også analyseret for *E. coli*, der anses for at være en god indikator på tilstedeværelsen af frisk fækal forure-

ning og derfor potentielt smittefarlig afføring (Engen et al. 1994). Analyse af koliforme bakterier og fækale streptokokker blev også gennemført.

Forsøget blev som nævnt iværksat om efteråret, og udetemperaturen under forsøget var gennemsnitligt på 3,2 °C. Den laveste udetemperatur i løbet af 12 timer var -5,8 °C, og gennemsnitstemperaturen de fire forsøgsmåneder var:

september: 10,9 °C
oktober: 2,4 °C
november: 0,2 °C
december: 2,4 °C

I samtlige isolerede beholdere observeredes en hurtig temperaturstigning til 60 - 70 °C, der holdt sig i ca. 10 dage og efter to ugers drift faldt temperaturen i alle målepunkter til under 30 °C. I de isolerede beholdere var temperaturen kun en anelse lavere i yderpunkterne end inde i centrum af slamlaget. Ensartet temperatur i kompostmaterialet er afgørende for nedbrydningen af patogener, da temperaturforskelle på mere end 10 °C i intervallet 40 °C - 60 °C kan have afgørende betydning for nedbrydningen af patogener (Engen et al. 1994).

I den uisolerede referencebeholder var temperaturstigningen væsentligt mindre. Således kom temperaturen i løbet af to uger kun op på 37,7 °C i centrum af kompostmassen, mens den i yderpunkterne ikke kom over 25,7 °C. På den koldeste dag i forsøgsperioden (-5,8 °C) faldt temperaturen i den uisolerede beholder også til under frysepunktet (-1,4 °C).

Den relativt lave temperatur i referencebeholderen har medført, at omsætningen af tilført materiale har været langsommere end i de isolerede beholdere. Derfor er der også tilført mindre materiale og dermed energi til referencebeholderen. Alle beholdere fik tilført toilet- og bladaffald efter hhv. 29 og 35 døgn, hvorpå der som nævnt skete en markant stigning i temperatur i de isolerede beholdere.

Tabel 2.2. Temperaturregistrering i de isolerede kompostbeholdere.

	Målepunkt	Højeste temp. °C	Døgn >50°C	Døgn >55°C	Døgn >60°C	Døgn >70°C
B1	Yderkant	64,9	10	7½	4	-
B1	Centrum	66,3	10	9	4½	-
B2	Yderkant	62,0	10	8½	2	-
B2	Centrum	69,5	11½	10	8	-
B3	Yderkant	64,7	10½	8	4½	-
B3	Centrum	70,8	10½	9½	7	1

Gennemsnitligt var temperaturen i slamlaget højere end 55 °C i en periode på 9 døgn. Ved denne temperatur kan man forvente både en hurtig omsætning og en vis smitstoffreduktion af komposten. Der findes ingen internationale krav til varigheden af et bestemt temperaturniveau under kompostering af toiletaffald.

I en sommerundersøgelse over kompostering af have- og toiletaffald i en anden kompostbeholder (Termo Kompostsilo) fandt man også en hurtig temperaturstigning og meget høje temperaturniveauer over perioder på 6 og 11 døgn. Den maksimale temperatur nåede op på 78 °C og 89 °C. Ved sådanne temperaturer forventes smitstoffreduktionen at være meget effektiv.

I "Muldvarp"-undersøgelsen opnåedes i løbet af tre måneder en reduktion i beholdernes indhold af organisk stof på følgende værdier:

B1: 40,5 %
B2: 25,0 %
B3: 32,6 %
R1: 35,0 %

I de norske kvalitetsnormer for komposttoiletter (biologiske klosetter) er der krav om at indholdet af organisk stof skal reduceres med mindst 30 % i løbet 154 døgn. I de isolerede

kompostbeholdere sank massen gennemsnitligt 53 cm i løbet af de 14 dage, hvor temperaturen i beholderen var højest. I referencebeholderen sank den kun 30 cm i samme periode. Det stemmer overens med, at strukturen af det tilførte kompostmateriale (slam, bark, flis, toilet-papir) ved tømningstidspunktet var væsentlig mindre synlig i de tre isolerede kompostbeholdere sammenlignet med referencebeholderen. Den tilførte mængde græs var dog forholdsvis synlig i alle beholdere som tegn på, at græsset ikke var nedbrudt.

Heterotroft kimtal blev i komposten fundet i koncentration mellem 10^9 og 10^{10} pr. gram tørstof. I de isolerede Muldvarp-beholdere reduceredes kimtallet til omtrent det halve i løbet af komposteringsforløbet (84 dage). Reduktionen sker i den tidlige varmefase af komposteringsforløbet. I løbet af de første 4 uger reduceres kimtallet således fra $1,72 \times 10^9$ til $7,11 \times 10^8$, hvilket er en reduktion på 59 %. I samme periode reduceredes kimtallet fra $1,58 \times 10^9$ til $1,08 \times 10^9$ i referencebeholderen, hvilket er en reduktion på 32 %.

Der blev efter 4 uger analyseret for termotolerante koliforme bakterier i kompostmassen. Det gennemsnitlige indhold var $8,2 \times 10^4$ pr. gram tørstof. Ved sidste måling inden tømning af beholderne var antallet af termotolerante koliforme bakterier under 10^3 pr. gram tørstof. Selv om temperaturen i kanten af kompostbeholderne havde været lavere end i centrum var indholdet af termotolerante koliforme bakterier ikke højere i kompostens ydre dele.

I følge de norske kvalitetsnormer skal indholdet af termotolerante koliforme bakterier være under 500 pr. gram kompost ved endt kompostering. I Muldvarp-undersøgelsen ligger niveauet på det dobbelte. Indholdet af termotolerante bakterier varierer en del, men ligger ofte mellem 10^7 og 10^9 pr. gram afføring (Engen et al. 1994).

Af økonomiske grunde blev der i Muldvarp-undersøgelsen ikke foretaget analyse af termotolerante koliforme bakterier i råmaterialet. Det er derfor uvist, hvor stor reduktionen af de termotolerante koliforme bakterier har været under forbehandlingen af afløbsslammet, inden det blev placeret i kompostbeholderne.

I nedenstående tabeller 2.3 og 2.4. opgøres det gennemsnitlige antal kim og termotolerante koliforme bakterier i kompostmassen på tre måletidspunkter, såvel som reduktion af bakterieantallet og kimtallet. Termotolerante koliforme bakterier er bestemt ved 44 °C, Most Probable Number (MPN).

Tabel 2.3. Indholdet af termotolerante koliforme bakterier (TKB) og heterotroft kimtal pr. gram prøve.

Dato	Kompostbeholder	TKB 44 °C (MPN)	Heterotroft kimtal 25 °C
15.09.92	B1, B2, B3	$8,2 \times 10^4$	$1,72 \times 10^9$
	R1	$25,7 \times 10^4$	$1,58 \times 10^9$
14.10.92	B1, B2, B3	$1,8 \times 10^4$	$7,11 \times 10^8$
	R1	$4,4 \times 10^4$	$1,08 \times 10^9$
11.11.92	B1, B2, B3	860	$1,30 \times 10^9$
	R1	$52,2 \times 10^4$	$1,47 \times 10^9$
09.12.92	B1, B2, B3	1.160	$7,94 \times 10^8$
	R1	$4,1 \times 10^4$	$2,40 \times 10^9$

Tabel 2.4. Procentvis reduktion af termotolerante koliforme bakterier og kimtal.

Kompostbeholder	TKB 44 °C (MPN)	Kim 25 °C
B1, B2, B3	98,6 %	53,7 %
R1	84,0 %	- 51,6 % *

* kimtallet i referencebeholderen blev som nævnt forøget med en faktor 1,5 i forsøget over 84 dage.

Det ses af tabellerne, at reduktionen af både kimtal og termotolerante koliforme bakterier er væsentligt højere i de isolerede beholdere end i de uisolerede beholdere. Det ses også, at indholdet af termotolerante koliforme bakterier overstiger den grænseværdi på 500 TKB pr. gram tørstof, der anvendes i den norske kvalitetsnorm.

Koncentrationen af Poliovaccine-virus blev reduceret meget hurtigt i de isolerede beholdere, hvor temperaturudviklingen var kraftig. Allerede tre døgn efter tilførsel af virus til de isolerede kompostbeholdere, faldt viruskoncentrationen fra $10^{10,3}$ TCID₅₀/ml til under $10^{1,7}$ TCID₅₀/ml.

I den uisolerede referencebeholder reduceredes koncentrationen af virus i den første måned fra $10^{6,2}$ TCID₅₀/ml til 10^4 TCID₅₀/ml. Det er en reduktion på 99,4 %, men virus har en meget lav infektionsdosis, så en slutkoncentration på 10.000 virus er betragtelig.

Artiklen konkluderede, at fælles kompostering af have- og toiletaffald i isolerede kompostbeholdere gav en tilfredsstillende temperaturudvikling (niveau og varighed) i hele kompostmassen. Reduktionen af termotolerante koliforme bakterier var betydelig og poliovaccinevirus kunne ikke påvises efter tre døgn. Forfatterne vurderede, at de fleste humanpatogene mikroorganismer ligeledes vil blive reduceret tilfredsstillende under tilsvarende vilkår. Temperaturudvikling og resultaterne af de biologiske tests i uisolerede beholdere var imidlertid så ringe, at "privat" kompostering af toiletaffald i uisolerede ikke kan anbefales.

I det ovenfor beskrevne forsøg blev beholderne moderat deformerede ved fyldning og som følge af varmeudvikling ved komposteringen. Det var desuden vanskeligt at få låget på kompostbeholderen til at stå i åben stilling i forbindelse med tømning af beholderen. Disse mere praktiske forhold har sjældent stor betydning i forbindelse med vurdering af komposttoiletter. Der bør dog rettes opmærksomhed mod disse forhold, når de enkelte komposttoiletmodeller skal vurderes overfor hinanden, da muligheden for at renholde toiletterne, toiletbeholdernes stabilitet under fyldning og kompostering såvel som under tømning er afgørende for komposttoiletternes anvendelighed.

I fremtidige forsøg med komposttoiletter bør det overvejes at anvende fæces og urin i stedet for afvandet spildevandsslam. Derved vil man få en bedre vurdering af de enkelte toiletters evne til at modtage og omsætte materialet ved konstant tilførsel af frisk afføring, og desuden få et mere korrekt mål for konsekvenserne af den konstante reinficering af kompostmassen, der sker ved almindeligt brug af toiletterne.

2.2 Gennemgang af artiklen: Reduction of microorganisms in dry sanitation due to different adsorbents under low temperature

Forfatter: Wang J.Q. (1999): Proceedings til Stockholm Water Symposium, "Urban Stability Through Integrated Water Related Management" side 396-398.

Det svenske SIDA (svarer til det danske DANIDA) har i 1997 igangsat tre projekter i Kina omkring tør håndtering af human afføring. Årsagen er, at kun 13,5 % af den kinesiske befolkning på ca. 1.250 millioner mennesker har adgang til toiletinstallationer af tilstrækkelig hygiejnisk kvalitet.

Tør håndtering af human afføring vurderer SIDA som interessant, eftersom Kina lider af vandmangel i og omkring de større byer, hvor vandskylende toiletter desuden vil medføre en voldsom recipientforurening da spildevandsrensning ikke er særlig udbredt og under alle omstændigheder utilstrækkelig.

Det ene projekt blev gennemført i en provins i det nordvestlige Kina, hvor der blev etableret 21 urinseparerende komposttoiletter. Det drejer sig om 4 forskellige typer: enkelt- og dobbeltkammer med og uden solopvarmning. Toiletterne blev placeret udendørs delvist nedgravede. Området har koldt klima og en gennemsnitlig årlig nedbør på 460 mm.

Det andet projekt foregik i det nordøstlige Kina, hvor klimaet også er koldt, gennemsnitstemperaturen er 4 °C og nedbøren er rigelig med hyppige oversvømmelser. I denne provins blev der placeret 90 toiletter udendørs med kompostbeholderen oven på jorden eller delvist nedgravede.

Tredje projekt foregik i en bjergrig, varm og fugtig region i det sydlige Kina, hvor den gennemsnitlige temperatur er 18 – 22 °C og periodevis kraftig fordampning. Der blev etableret 70 indendørs komposttoiletter af forskellig type.

For at fremme omsætningen i komposttoiletterne blev der tilsat forskellige absorberende stoffer: planteaske, kulaske, savsmuld og løs (geologisk materiale). For at afklare, hvilken indflydelse de forskellige absorberende stoffer har på nedbrydningen af mikroorganismer i komposttoiletter under kolde forhold, blev der gennemført forsøg med et antal toiletter som fik tilført de forskellige absorberende stoffer, så de lagvis dækkede fæces. Mængdeforholdet mellem absorberende stof og fæces var generelt 1:3.

Nedbrydningen af mikroorganismer blev vurderet ved to metoder. Der blev placeret "the-poser" af polyamid og en porestørrelse på 20 µm med *Ascaris*-æg i de forskellige kompostblandinger. Desuden blev toiletkompostblandingerne blandet med *Salmonella typhimurium* 28 B bakteriofager i en startkoncentration på over 10⁸ pr. gram. Hendøen af de tilførte *Ascaris*-æg og bakteriofager såvel som registrering af *E. Coli* og *Salmonella* blev brugt til vurdering af de enkelte kompostblandinger. Derudover er pH, temperatur, fugtighed, lugt og tilstedeværelsen af fluer og larver i komposten blevet registreret.

Undersøgelserne blev gennemført ved temperaturforhold, der varierede mellem – 10 °C og + 10 °C. I 120 dage var den laveste døgntemperatur under frysepunktet. I samme periode var der mindre end 20 dage, hvor fæcestemperaturen var under frysepunktet. Det medførte en delvis nedfrysning af materialet i løbet af undersøgelsesperioden. Temperaturen kom dog sjældent under – 3 °C.

Registrering af mikrobiel overlevelse blev foretaget periodisk efter at fæcesblandingerne havde ligget i toiletterne i mere end 3 måneder. Fugtigheden varierede mellem 15% og 62%. Antallet af fækale koliforme bakterier efter de tre måneder varierede fra under 1 til 100 bakterier pr. gram. Overlevelsen af *Ascaris* æg i polyamid-poserne lå efter 4,5 måneder mellem 0,95 og 20,2 % i forhold til udgangsniveauet.

I nedenstående tabel opgøres reduktionen af mikroorganismerne på to tidspunkter som angivet i tabellen. Hendøen af mikrobielle indikatorer er angivet logaritmisk som gennemsnittet af fundene i to latriner pr. tilsætningsmateriale. For *Ascaris* er den procentvise overlevelse opgjort. Der er ingen opgørelse over konkrete koncentrationsniveauer for de enkelte mikroorganismer.

Tabel 2.5. Reduktion af mikroorganismer i toiletaffald med forskellige tilsætninger. (Opgørelsen gælder gennemsnittet af data fra to komposttoiletter pr. tilsætningsmateriale.)

Type	Tid i kompostbehold. Ud over de første 3 måneder	Fækale koliforme Bakterier	Fager	<i>Ascaris</i> æg % overlevende
Planteaske (pH 9-10)	55 dage	7 log	6 log	1,7
	3 måneder	> 7 log	> 7 log	0,95
Kul-aske (pH 7)	55 dage	5 log	3 log	28,3
	3 måneder	5 log	5 log	14,4
Savsmuld (pH 7-8)	55 dage	4 log	2 log	32,2
	3 måneder	4 log	4 log	16,1
Løs (erosionsmateriale) (pH 6-8)	55 dage	3 log	2 log	33,3
	3 måneder	3 log	3 log	20,2

Overlevelsen af fækale mikroorganismer forlænges sædvanligvis under kølige forhold. Da dette projekt foregik udendørs om vinteren forventedes smitstofreduktionen således være begrænset. Undersøgelsen viste imidlertid, at det er muligt at opnå en forholdsvis god reduktion af sygdomsfremkaldende mikroorganismer ved kompostering under kolde betingelser. Delvis nedfrysning kan muligvis medvirke til reduktion af de mikrobielle indikatorer, men der mangler undersøgelser på området.

I undersøgelsen var tilsætning af planteaske bedst til at reducere de fækale indikatorbakterier, bakteriofag og Ascaris-æggenes overlevelse. Effektiv reduktion blev opnået i løbet af få måneder, og kan skyldes, at planteasken medførte stigning i pH (ikke vist i tabellen). De øvrige tilsætningsstoffer gav ikke samme stigning i pH, og som det fremgår af tabellen, havde de øvrige stoffer ikke samme effekt på reduktionen af de fækale indikatorer. I stedet for tilsætning af planteaske, som i visse områder kan være vanskeligt at skaffe i tilstrækkelige mængder, vil tilsvarende pH-stigning kunne opnås ved tilsætning af kalk.

3 Mikrobiologiske undersøgelser af fæces og urin efter vådkompostering ved tilførsel af ilt

Det kan være vanskeligt at gennemføre kompostering af fæces og urin i komposttoiletter fordi fugtigheden i beholderen er for høj. Problemet kan mere eller mindre løses ved separat urinhåndtering. Imidlertid kan der i flere tilfælde være behov for vand til transport af human afføring fra de enkelte toiletter til en fælles opsamlingsbeholder. Det gælder især i etageboliger, hvor transport af fæces og urin til opsamlingsbeholder vil være meget vanskelig uden brug af en eller anden form for transportmedium, hvilket som regel vil være vand. Uanset hvor lille vandmængde, der benyttes, vil vandet give problemer med komposteringsprocesserne, da vandet presser luften ud af kompostmassen så mikroorganismerne kommer til at lide af iltmangel.

Problemet er forsøgt løst vha. en såkaldt "Aquatron", der er en slags centrifuge, hvor fæces og toiletpapir skulle kunne adskilles fra urin og skyllevand i kraft af væskens centrifugalkraft, inden human afføring ledes ind i kompostbeholderen (Tykesson 1992). Der er dog ikke fundet dokumentation for Aquatronens effektivitet.

Kompostering er mulig selv om materialet er fugtigt. Metoden kaldes vådkompostering og foregår ved indblæsning af ilt i kompostbeholderen, så de iltkrævende komposteringsprocesser kan foregå selv om vandindholdet er højt. Resultaterne af forsøg med vådkompostering gennemgås herunder.

3.1 Gennemgang af artiklen: Stabilisering och hygienisering av svartvatten och organiskt avfall genom vådkompostering

Forfattere: Norin E., Stenström T.A. & Albiñ A. (1996): Vatten 52: side165-176.

Smitstofreduktionen af sort spildevand (fæces, urin, toiletpapir og skyllevand) ved aerob termofil vådkompostering i en 1000 liters isoleret vådkomposteringsreaktor er blevet undersøgt. Det sorte spildevand kom fra en bebyggelse med vakuumtoiletter, der bruger ca. 1,5 liter pr. skyl. Foruden sort spildevand blev der også gennemført test efter tilsætning af organisk husholdningsaffald og dyregødning for at øge kulstof- og tørstofindholdet (TS).

Blanding 1: Sort spildevand: TS ca. 0,8 %

Blanding 2: Sort spildevand, organisk køkkenaffald: TS ca. 2,2 %

Blanding 3: Sort spildevand, organisk køkkenaffald, dyregødning: TS ca. 4,5 %

Ved kompostering af blanding 1 (sort spildevand: TS 0,8%) var der så lidt organisk stof og dermed energi i vådkompostreaktoren at komposteringsprocesserne ophørte efter 5 dage, hvor den akkumulerede varmeproduktion var nået op på 18 kWh/1000 liter (nedbrydning af organisk stof var da 42 %). Der opnåedes en temperatur på 50,8 °C i løbet af 4 dage (Eller 1995), hvilket er væsentligt mindre end temperaturudviklingen i de kompostblandinger med organisk køkkenaffald og dyregødning, som beskrives herunder.

Kompostering af blanding 2 (sort spildevand, organisk køkkenaffald: TS 2,2 %, hvor 70 % af det organiske stof kommer fra organisk køkkenaffald) gav en væsentlig bedre akkumuleret varmeudvikling på 60 kWh/1000 liter efter 10 dages drift med en maximal temperatur på 67°C efter 7 dage, som faldt til 60°C efter yderligere 3 dage. I løbet af denne periode faldt indholdet af organisk stof med 40 % og pH steg fra pH 7 til pH 8,5.

Kompostering af blanding 3 (sort spildevand, organisk køkkenaffald og dyregødning: TS 4,5 %) gav omtrent samme udvikling som under blanding 2 med en akkumuleret varmeproduktion efter 11,5 dage på 86 kWh pr. 1000 liter og en max. temperatur på 68 °C.

Størrelsen på de partikler, der indgår i komposteringen bør være < 5 mm af hensyn til komposteringens forløb, temperaturudviklingen og dermed smitstofreduktionen (Bendixen 1996). Hvis der tilsættes organisk køkkenaffald til kompostblandingen skal det derfor findes inden tilførsel til vådkompostreaktoren. Desuden oplyses, at der blev opnået en tilfredsstillende omsætning af organisk stof i løbet af 7 dage, og der ikke var nogen fordampning af kvælstof i komposteringsforløbet, hvilket er af betydning for kompostmaterialets gødningsmæssige værdi.

Ved alle tre kompostblandinger var temperaturen i komposteringslokalet 20 °C. Den naturlige temperaturudvikling ved vådkompostering af de forskellige kompostblandinger (ved blanding 2 og 3 nåede temperaturen efter 7 dage op på hhv. 67 °C og 68 °C) er tilstrækkelige til at sikre en effektiv smitstofreduktion, som det fremgår af den efterfølgende gennemgang, hvor smitstofreduktionen af forskellige mikroorganismer er registreret ved forskellige temperaturer.

Der blev foretaget målinger på de bakterier og virus, som fandtes i det sorte spildevand såvel som testmikroorganismer, der blev tilsat i selve komposteringsreaktoren. Kombinationen af temperatur og eksponeringstid er den afgørende faktor for forløbet af smitstofreduktionen. Valget af testorganismer blev foretaget på grundlag af internationale standarder og kendskabet til de forskellige organismers temperaturfølsomhed.

Fækale indikatorbakterier (*E. Coli*, *Clostridium perfringens*, termotolerante koliforme bakterier, fækale streptokokker), *Ascaris suum* (spoleorm fra grise, meget termostabil parasit, testindikator for parasitære orme) og *Salmonella typhimurium* bakteriofag 28B.

Indikatorerne blev testet ved reaktortemperaturer på 55 °C og 60 °C. Eksponeringstiden blev varieret imellem forsøgene. Test med *Ascaris suum* blev gennemført ved at placere 10.000 ascaris-æg i specialudviklede testposer, som efterfølgende blev anbragt i vådkomposteringsreaktoren. Æggenes overlevelse blev testet ved 50 °C, 55 °C og 60 °C. Ved hver reaktortemperatur eksponeredes to poser parallelt i 0, 5, 10, 15, 30, 60, 120 og 240 minutter. *Salmonella typhimurium* bakteriofag 28B blev testet ved iblanding af 100 ml suspension (10^{10} enheder/ml) direkte i reaktorens kompostmateriale og måle viruskoncentrationen ved forskellige eksponeringstider.

I laboratorietest blev ved forskellige temperaturer undersøgt følgende:

Salmonella typhimurium bakteriofag 28B (parallele overlevelsesstudier ved 4 °C, 56 °C, 60 °C og 65 °C). *Mycobacterium paratuberculosis* og *Salmonella spp.* blev testet ved 55 °C.

Der tages udgangspunkt i at fækale indikatorer i sort spildevand som udgangspunkt har en koncentration på $10^4 - 10^6$ pr. ml (Norin et al. 1996). Der blev udført tre tests med *E. Coli*, *Clostridium perfringens*, termotolerante koliforme bakterier, fækale streptokokker etc. ved 55 °C i blanding 2 og én test ved 60 °C i blanding 3.

Ved 55 °C:

- reduceredes termotolerante koliforme bakterier (inkl. *E. Coli*) til <10/ml efter 7,5 timer.
- reduceredes fækale streptokokker til < 10/ml efter 12 timer.
- kunne genfindes sporer af *Clostridium perfringens* i konc. på $10^3 - 10^4$, hvilket betyder, at sporerne stort set ikke er blevet reduceret ved 55 °C.

Ved 60 °C:

- reduceredes de termotolerante koliforme bakterier (inkl. *E. Coli*) såvel som de fækale streptokokker til ikke målbart niveau efter 3,5 timers behandling.
- var sporekoncentrationen af *Clostridium perfringens* efter 48 timers behandling stadig 10^3 /ml.

På den baggrund konkluderede forfatterne, at vådkompostering af human afføring med organisk husholdningsaffald vil medføre en tilfredsstillende reduktion af de fleste fækale indikatorer ved en behandlingstid på mindst 12 timer ved 55°C. Der skete dog stort set ingen reduktion af sporerne fra *Clostridium perfringens* ved vådkomposteringen.

Æg fra *Ascaris suum* blev testet ved 55°C og 60°C. Efter 5 minutter eller længere kunne æggene ikke længere udvikles til larver. Ved lavere temperatur (50 °C) kunne der findes levende larver efter 4 timer. På den baggrund konkluderedes det, at vådkompostering af human afføring vil give en fuldstændig reduktion af parasitten *Ascaris suum* selv ved meget korte behandlingstider, når blot temperaturen er 55°C eller derover.

Ved 55 °C opnåedes en 5-6 log¹⁰-reduktion af *Mycobacterium paratuberculosis* efter 24 timer. Varmebehandling ved 60 °C gav mere end en 7 log¹⁰-reduktion til < 1 pr. ml efter 24 timer, hvilket artiklens forfattere anser for tilstrækkeligt.

Samtlige test med *Salmonella* blev som nævnt gennemført som laboratorietests. *Salmonella senftenberg* havde højere termotolerans end *Salmonella typhimurium*, *Salmonella enteridis* og *Salmonella dublin*. *Salmonella senftenberg* voksede stadig efter 24 timer ved 50 °C, mens de øvrige vækst ophørte efter blot 2 timer. Forskellige stammer af *Salmonella senftenberg* blev derfor benyttet i de følgende tests. Det konkluderes, at der generelt opnås tilfredsstillende reduktion af *Salmonella* efter 2-3 timer ved 55 °C. På den baggrund er den gennemførte vådkompostering tilstrækkelig til at inaktivere *Salmonella*.

Salmonella typhimurium bakteriofag 28B blev anvendt som virus-indikator i både vådkomposteringsreaktoren og ved laboratorieforsøg. Ved reaktorforsøgene blev gennemført to test ved 55 °C blanding 2 og to test ved 60 °C blanding 2 og 3. Laboratorietestene blev gennemført ved flere forskellige temperaturer og med forskellige suspensionsmedier. Ved 55 °C opnåedes en log¹⁰-reduktion efter 24 timer i det ene forsøg og efter 3-24 timer i det andet forsøg. Ved 60 °C opnåedes en 4 log¹⁰-reduktion efter 29-47 timer i det ene forsøg og efter 3-24 timer i det andet forsøg. I laboratorietestene opnåedes en langsommere reduktion af bakteriofag 28 B, hvilket tyder på, at ikke bare temperaturen, men også suspensionsmediet har indflydelse på virus-overlevelsen.

Forfatterne konkluderer, at hovedparten af fækale indikatorer og patogenerne *Mycobacterium paratuberculosis*, *Ascaris suum*, *Salmonella senftenberg* blev reduceret effektivt efter 12 – 24 timers behandling ved 55°C. For reduktion af virus-indikatoren *Salmonella typhimurium* bakteriofag 28 B krævedes en temperatur på mindst 60°C. Undersøgelsen konkluderer derfor, at vådkomposteringen bør foregå ved temperaturer mellem 60°C og 65°C for at opnå hurtigere reduktion.

3.2 Gennemgang af artiklen: Thermophilic aerobic reactor for processing organic liquid wastes

Forfatter: Odd Jarle Skjelhaugen (1999a): Wat. Res. 33 (7): 1593-1602.

I denne artikel beskrives vådkompostering baseret på human afføring og organisk husholdningsaffald. Husholdningsaffaldet indsamles i bionedbrydelige plastposer, da forskerne har erfaring for at papirposers høje tørstofindhold hæmmer komposteringsprocessen. Human afføring ledes fra lavtskylstoiletter (2-3 liter) til beholdere ved boligerne, hvor materialet opbevares i op til to år. Den tilførte biomasse danner syre, som sænker pH til under 5, hvorved materialet konserveres. Derpå transporteres lagret husholdningsaffald og toiletaffald til en samlebeholder for op til 700 husstande, hvor det samlede materiale omsættes ved termofil vådkompostering.

Systemet er gennemført på 5 anlæg i perioden 1995-98 (4 i Norge og 1 i Sverige). Det er lykkedes at opnå tilfredsstillende resultater med et hygiejniseret kompostmateriale, som uden lugtgener eller tab af næringsværdi kan tilbageføres til landbruget. Artiklen oplyser imidlertid om smitstoffreduktionen, at man følger de norske regler på området: 50°C i 23

timer, 55°C i 10 timer eller 60°C i 4 timer. Det noteres, at systemets succes afhænger af sorteringseffektiviteten, da fejlsortering af husholdningsaffaldet gør kompostproduktet uegnet som jordforbedringsmiddel.

Der arbejdes desuden med reduktion af transportvandforbruget i lavtskylstoiletterne, da et for højt vandforbrug øger transportudgifterne og vanskeliggør hygiejnisering. Derfor er der arbejdet med udvikling af lavtskylstoiletter helt ned til 0,14 liter pr. skyl. Der er ikke tale om vakuumtoiletter, men de fungerer alligevel tilfredsstillende, når blot toiletaffaldet skal transporteres til beholder umiddelbart under toiletstolen (Skjelhaugen & Sæther 1999).

Tabel 3.1. Oversigt over parametre ved vurdering af komposttoiletter og vådkompostreaktorer.

Parameter	Engen (1994)	Wang (1999)	Norin et al. (1996)
Ascaris suum		+	+
Clostridium perfringens			+
E. coli	+	+	+
Fækale streptokokker			+
Heterotroft kimtal	+		
Mycobacterium paratuberculosis			+
Poliovaccinavirus	+	+	
Salmonella spp.			
Salmonella typhimurium		+	
28 B bakteriofag			
Termotolerante koliforme bakterier			+
Total koliforme bakterier	+	+	

I tidsskriftet "International Compost Toilet Journal", der udgives i USA, beskrives udviklingen indenfor komposttoiletter. Tidsskriftet kan læses på internettet ved kontakt til: The Centre for Ecological Pollution Prevention. Email: EcoP2@hotmail.com.

4 Mikrobiologiske undersøgelser af gråt spildevand

Ved separat håndtering af fæces og urin reduceres forureningsgraden af det øvrige grå spildevand fra køkken, baderum og tøjvask betragteligt, og der er derfor hyppigt ønske om at udnytte det grå spildevand i økologiske bebyggelser. I dette kapitel dokumenteres det, at indholdet af mikroorganismer i gråt spildevand er så betragteligt, at vandet skal renses og desinficeres, inden det kan genbruges. I tabellerne 4.1 og 4.2 opgøres den hygiejniske kvalitet af gråt spildevand opdelt i tøjvaskevand, vand fra baderum og køkkenvand.

Tabel 4.1. Mikrobielle parametre fundet i afløbsvand fra tøjvask.

Mikrobiel parameter	Christova-Boal et al. (1996)	Naturvårds-Verket (1995)	Feachem et al. (1983a)	Feachem et al. (1983b)	Rose et al. (1991a)	Rose et al. (1991b)
Colifager/ml		1×10^5				
E. Coli/ml		$28,2 \times 10^6$				
Fækale koliforme bakt./100 ml	$1,09 \times 10^3$		$1,6 \times 10^4$	$7,1 \times 10^3$	126	25
Fækale strepto. Pr. 100 ml	$2,4 \times 10^3$		$1,3 \times 10^6$	$2,3 \times 10^5$		
Termotolerante koliforme		$28,8 \times 10^6$				
Total koliforme bakt. /100 ml	$2,3 \times 10^3 - 3,3 \times 10^5$		$8,9 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	199	56

Feachem (a): tøjvask Feachem (b): tøjskylning

Rose (a): tøjvaskevand fra vaskeri Rose (b): tøjskyllevand fra vaskeri

Tabel 4.2. Mikrobielle parametre i afløbsvand fra bruser, badekar og håndvask i baderum.

Mikrobiel parameter	Christova-Boal et al. (1996)	Naturvårds-Verket (1995)	Feachem et al. (1983)	Santala et al. (1998)	Rose et al. (1991a)	Rose et al. (1991b)	Burrows et al. (1991)
Colifag/ml		$3,9 \times 10^5$					
E. Coli/ml		$2,4 \times 10^8$					
Fæk. Koli-form bakt pr. 100 ml	$3,3 \times 10^3$		$5,5 \times 10^3$		6×10^3	$1,8 \times 10^4 - 7,9 \times 10^6$	
Fækale streptokok /100 ml	$2,4 \times 10^3$	4×10^7	7×10^4				
Termotol. Koliform Bakterier pr. 100 ml		$6,6 \times 10^8$		op til $1,4 \times 10^6$			
Total koliforme bakt pr. 100 ml	$2,4 \times 10^7$		$8,2 \times 10^3$		10^5	$2,8 \times 10^7$	> 100
Total bakt Cfu/100 ml						$6,1 \times 10^8$	> 300

Rose (a): karbad og brusebad. Rose (b): gråt spildevand, hvor 79 % er karbad og brusebad.

Afløbsvand fra køkkenvask udgør kun en lille del af en gennemsnitshusholdnings vandforbrug (Christova-Boal et al. 1996). Da det ydermere er forholdsvis forurenet sammenlignet med andet gråt spildevand kan det muligvis ikke betale sig at rense vandet mhp. genbrug.

Tabel. 4.3 Mikrobielle parametre fundet i afløbsvand fra køkkenvask

Mikrobiel parameter	Naturvårdsverket (1995)
Colifager/ml	< 3
E. Coli/ml	$2,5 \times 10^8$
Fækale streptokokker/100 ml	$5,5 \times 10^8$
Termotolerante koliforme	$3,8 \times 10^8$

Tabel 4.4. Mikrobielle parametre fundet i blandet gråvand fra både køkken, bad og tøjskab.

Mikrobiel parameter	Gerba et al. (1995)	Fittschen & Niemczynowicz (1997)	Albrechtsen (1998)	Rose et al. (1991) (familier med børn)
E. Coli/ml		$28,2 \times 10^6$	$2,4 \times 10^4$	
Enterococcus cfu / 100 ml			$2,7 \times 10^5$	
Fækale kolif. bakterier/ 100 ml	$5,4 - 7,2 \times 10^{10}$			$3,2 \times 10^5$
Termotolerante koliforme bakt./ 100 ml		$0,5 - 3,3 \times 10^6$		
Total kolif. bakt./100 ml	$7,2 - 8,8 \times 10^{10}$		$8,9 \times 10^5$	$1,5 \times 10^3$

Det skal noteres, at Rose et al. (1991) viste, at indholdet af totale koliforme bakterier og fækale koliforme bakterier var signifikant højere i familier med børn hhv. $1,5 \times 10^3$ og $3,2 \times 10^5$ cfu pr. 100 ml sammenlignet med familier uden børn (hhv. 6 og 80 cfu pr. 100 ml).

Det ses af tabellerne 4.1 – 4.4, at der samlet er et forholdsvis højt indhold af mikroorganismer i gråt spildevand. Det kan desuden oplyses, at indholdet af organisk stof og næringsstoffer er så højt, at betingelserne for mikrobiel vækst er til stede, hvilket man bør tage hensyn til ved lagring, så man undgår lugtgener og risiko for smitte.

Der arbejdes på at udvikle en test af gråt spildevand til dokumentation af fækal forurening. Fækale steroler kan benyttes til dokumentation af kumuleret fækal forurening af urin og har også været benyttet til analyse af gråt spildevand. Det har imidlertid vist sig at være vanskeligt at benytte fækale steroler til dette formål. Det skyldes, at et væsentligt bidrag til fækal forurening af gråt spildevand stammer fra vask af babyer og blevask. Fækale steroler dannes imidlertid ikke i tarmsystemet før 3-4 års alderen, og kan derfor ikke benyttes som indikator (Stenström, pers. opl.).

5 Mikrobiologiske undersøgelser ved genanvendelse af spildevand

Historisk har genanvendelsen af spildevand fortrinsvis været rettet mod udspreddning på landbrugsjord med ønsket om at reducere forureningen af akvatiske recipienter (Cooper 1991). Udnyttelse af spildevand til gødnings- og vandingsformål har dog været støt stigende igennem en årrække i Asien, Nordafrika, Syd og Mellemamerika, Australien, Mellemøsten og Kina, hvor tilgængeligheden til rent ferskvand og plantegødning ikke har kunnet følge med befolkningstilvæksten. I disse områder anvendes mange typer spildevand på forskellige afgrødetyper, som det fremgår af tabellen herunder.

Tabel 5.1. Eksempler på anvendelse af spildevand

Land	Område	Spildevandstype	Afgrøder	Vandet areal (ha)
Mexico	Mezquital valley	90 % af spildevandet fra Mexico City	majs, hvede, havre, grønne tomater, chili, foder afgrøder	58.000
Chile	Santiago	70 % af byens urensede spildevand i perioder fortyndet med regnvand	salat, kål, selleri, korn, grapefrugt	6.000
Peru	hele landet	Urenset og delvis renset	spiselige og uspiselige afgrøder	6.000
Argentina	Mendoza City	Mekanisk renset	salat, løg, tomater, artiskokker	2.000
Tunesien	Tunis	Mekanisk biologisk	citrus frugter, korn, oliven	4.420
Saudi Arabien	Riyad	Mekanisk biolog. kemisk	korn, foderafgrøder, daldpalmer, citrontræer	3.300

Kilde: Strauss, 1991

I Asien er der flere eksempler fra bl.a. Indien, Vietnam og Kina på udnyttelse af spildevand til aquakultur fiskeproduktion. Spildevandet giver basis for algeproduktion, der er foder for dyreplankton og fisk.

Risikoen for smittespredning ved udnyttelse af spildevand afhænger af en række faktorer:

- 1) patogener skal være til stede i spildevandet
- 2) koncentrationen af patogenerne skal være tilstrækkelig til at medføre sygdom
- 3) personers kontakt med patogenerne skal ske på en måde der medfører infektion/sygdom

Artssammensætningen og koncentrationen af de mange forskellige bakterier, parasitter og vira i spildevand afhænger dog af, hvor udbredte de forskellige patogener er i de områder, der leverer spildevandet. Generelt vurderes koncentrationen af patogener i spildevand således at være højest i de egne af verden, hvor den sanitære standard er lav.

I de senere år har der været stigning i antallet af mennesker fra Danmark og andre relativt velstående lande, der bevæger sig til lande i Asien, Afrika, Mellem- og Sydamerika, hvor den sanitære standard er forholdsvis lav og frekvensen af patogener er relativt høj. Det vil medføre, at de rejsende har risiko for at blive smittet med vandbårne sygdomme, som de bringer tilbage til deres hjemland, hvorved koncentrationen af vandbårne patogener i dansk

spildevand kan forventes at stige i de kommende år. Den udvikling bør tages i betragtning ved vurdering af smitterisici.

For at mindske risikoen for spredning med sygdomsfremkaldende mikroorganismer ved udnyttelse af spildevand har WHO fastsat retningslinier for anvendelse af spildevand til forskellige formål. Retningslinierne sætter fokus på fækale koliforme bakterier og nematode æg. Flere studier af de mikrobielle forhold i waste stabilization ponds i Peru, Brasilien og Thailand har vist, at inaktiveringen af patogene mikroorganismer og virus korrelerer med inaktivering af fækale koliforme bakterier (ref. i Strauss 1991). Det blev således vist, at reduktion af fækale koliforme bakterier fra 10^8 til 10^3 pr. 100 ml, der kan opnås i løbet af 3-4 uger i waste stabilization ponds, svarer til en totalreduktion af patogene bakterier og virus på 99,5 – 99,99 %.

5.1 Eksempler på anvendelse af spildevand i Asien

I verdens største spildevandsbaserede akvakulturanlæg i Calcutta er spildevandets indhold af fækale koliforme bakterier omkring 100 – 1000 pr. 100 ml (Strauss 1991). I et lignende projekt i Peru, hvor der blev produceret fisk og rejer lå spildevandets indhold af fækale koliforme bakterier fra 10^2 – 10^4 pr. 100 ml. Ved undersøgelse af fiskenes kød blev der ikke påvist fækale koliforme bakterier (ref. i Strauss 1991).

I Vietnam er udnyttelse af spildevand til fiskeproduktion også udbredt, idet spildevand fra mere end 2 mio. mennesker anvendes i adskillige Nordvietnamesiske provinser. Derudover er der i det sydlige Vietnam placeret omkring 360.000 toiletter direkte over fiskedamme. Toiletterne bruges flittigt, og man regner med at 65 % af befolkningen forretter deres nødvendigt direkte i dammene på denne måde. Det er oplagt, at der er hygiejniske problemer ved denne praksis.

I disse områder er udnyttelse af spildevand og næringsstoffer fra fæces og urin dog afgørende for at producere tilstrækkeligt med proteinholdige fødevarer. Lokalbefolkningerne er i forvejen udsat for så mange patogener i deres hverdag, at fiskeproduktion i spildevand ikke forventes at udgøre nogen øget smitterisiko, og de relativt få undersøgelser af sygdomsrisici ved indtagelse af fisk fra spildevandsgødede akvakulturanlæg har ikke påpeget nogen forhøjet risiko (ref. i Dalsgaard 1996). Der er dog ikke foretaget nogen vurdering af sundhedsrisici for de personer, der arbejder i akvakulturanlæggene og har direkte kontakt med spildevandet. Der mangler også dokumentation af sundhedsrisici for dem, der transporterer og sælger fisk fra anlæggene.

I Japan, der er et mere industrialiseret og økonomisk velstående asiatisk land end Vietnam, har spildevand også været anvendt i mange år. Årligt renses omkring $1,1 \times 10^{10} \text{ m}^3$ spildevand, hvoraf $8,5 \times 10^7 \text{ m}^3$ genbruges til forskellige formål som opgjort herunder:

Tabel 5.2. Anvendelse af rensset spildevand i Japan.

Anvendelse	Antal anlæg	1000 m ³ /dag
Toiletskyl	12	2095
Togvask	15	6189
Industrivand	3	15089
Kølevand	19	8139
Fortyndning af toiletaffald (night soil)	15	6409
Landbrugsformål	5	12702
Miljøformål (vådområder)	23	28293
Landskabsbevanding	12	165
Smeltning af sne	9	6434

Kilde: Maeda et al. 1996.

På trods af den udbredte anvendelse af spildevand har japanerne ikke fastsat nationale standarder på området.

5.2 Eksempler på anvendelse af spildevand i Europa

Udnyttelse af spildevand findes også i visse europæiske lande, hvor spildevandsudnyttelse er inddraget i planerne for at skaffe tilstrækkeligt ferskvand til vandingsformål i jordbruget i lande som Portugal, Spanien og Italien.

I Spanien har man i et større turistområde vandet golfbaner med rensat spildevand siden 1989. Vandet tilføres golfbanerne ved sprøjtevanding. Derved dannes aerosoler, som kan indeholde patogener, som kan spredes over lange afstande med vinden. For at mindske risikoen for smittespredning vandes der kun om natten, sprøjtevandingen indstilles nogle timer inden golfbanerne åbnes for publikum, og der må ikke sprøjtevandes i kraftig blæst. For yderligere at reducere smitterisikoen desinficeres det rensede spildevand med klor ($15\text{--}25\text{ mg Cl}_2/\text{l}$), så indholdet af fækale koliforme bakterier reduceres til under $10\text{ cfu}/100\text{ ml}$. Det er blevet påvist, at relativt kortvarige fejl i desinfektionsanlægget har medført relativt langvarige perioder med forhøjede niveauer af fækale indikatororganismer (Mujeriego & Sala 1991).

I Portugal blev der gennemført et projekt, hvor salatplanter (*Latuca sativa*) blev vandet med konventionelt rensat, men ikke desinficeret spildevand ved sprøjtevanding. Undersøgelsen foregik i løbet af to år og dækkede kun bakteriel forurening, da parasitter ikke var endemiske i det område spildevandet stammede fra. I nedenstående tabel vises forureningsniveauet af salatplanter umiddelbart efter vanding med spildevand.

Tabel 5.2. Forureningsniveau af vandingsvand og vandede afgrøder umiddelbart efter vanding.

Organisme	Vandingsvand (pr. 100 ml)	Startkoncentra./ (100 g vådvægt)	Startkoncentra./ (100 g tørvægt)	Forsøgsår
E. Coli	5×10^6		2×10^6	1
Salmonella spp.	23		98	1
Total koliforme	$1,5 \times 10^7$	3×10^6	$4,3 \times 10^7$	2
Fækal koliform	8×10^6	7×10^5	1×10^7	2
E. Coli	6×10^6	3×10^5	$4,5 \times 10^6$	2
Salmonella ssp.	17	13	190	2

Kilde: Vaz da Costa-Vargas et al. (1991).

Salmonella blev i løbet af 5 dage reduceret til ikke måleligt niveau, hvilket fortrinsvis skyldes det lave udgangsniveau. De øvrige bakterier reduceredes i løbet af 7 dage til et niveau omkring 10^4 , som holdt sig i de 10 dage, der blev foretaget målinger.

I Frankrig er der gennemført et lavteknologisk projekt med infiltration af mekanisk, biologisk og kemisk rensat spildevand. Almindeligt rensat spildevand opfylder ikke WHO's grænseværdier, hvis vandet skal kunne bruges uden restriktioner i jordbruget. Infiltration igennem 1,5 – 2 m ikke-vandmættet groft sand af mekanisk-biologisk rensat spildevand gav den ønskede smitstofreduktion. Sandet må ikke vandmættes, da spildevandets opholdstid i sandet derved reduceres, og opholdstidens længde er afgørende for smitstofreduktionen (Brissaud et al. 1999).

I Tyskland har man igennem mere end 100 år udnyttet spildevand i akvakulturel fiskeproduktion (Prein 1990). Der produceres op til 500 kg fisk/ha i løbet af 7 måneder ved en daglig spildevandstilførsel svarende til 2000 PE. Hovedparten af anlæggene blev etableret omkring begyndelsen af sidste århundrede.

I 1929 etableredes i München et anlæg på 233 ha. Anlægget er designet til at modtage spildevand fra 500.000 personer med en organisk belastning svarende til $40\text{ t BI}_5/\text{dag}$. Anlægget kunne dog kun klare belastninger på op til $20\text{ t BI}_5/\text{dag}$ svarende til en spildevandskoncentration på $10\text{ g BI}_5/\text{m}^2/\text{dag}$. Trods reduktion af spildevandstilførslen opstod hyppigt iltsvind med tilhørende fiskedød. Derfor blev anlægget ændret fra at være et rensningsanlæg til at være et efterpoleringsanlæg. Den organiske spildevandsbelastning i slutningen af 1950'erne var således $10\text{--}12\text{ g BI}_5/\text{m}^2/\text{dag}$, mens den i 1989 var reduceret til $2\text{--}3\text{ g BI}_5/\text{m}^2/\text{dag}$.

På anlægget i München produceres der årligt 100-150 ton fisk, fortrinsvis karper *Cyprinus carpio*. Der foretages ingen fodring af fiskene ud over de organismer, der naturligt lever i det næringsrige spildevand. Der sker kun ringe sedimentation i anlægget, og til trods for at anlægget aldrig har været rensset, er sedimentets tykkelse kun 20 cm. Det skyldes fortrinsvis at indholdet af suspenderet stof i indløbsvandet holdes lavt.

Spildevandssammensætningen i det rensede spildevand, der bruges til fiskeproduktionen er BI_5 : 25-30 mg/l, COD: 50-60 mg/l, Total fosfor: 4-5 mg/l og Total kvælstof: 20-25 mg/l. Inden vandet ledes ind i fiskebassinerne fortyndes spildevandet dog 1:3. Man planlægger dog at mindske fortyndingsgraden i takt med at spildevandsrensningen forbedres. Det noteres (Prein 1990), at reduktionen af bakterier herunder fækale koliforme bakterier i anlægget er >99% i forhold til det rensede spildevand, der ledes ind i anlægget.

Derudover findes ingen dokumentation for smitstoffreduktionen i anlægget eller indholdet af patogener i fiskene. De eneste informationer vedr. smitstoffreduktion stammer fra statslige kontrolinstanser, der oplyser, at alle undersøgte patogener ligger under de kritiske niveauer, og at der ikke har kunnet påvises humane patogener i kød fra fisk produceret i anlægget.

5.3 Eksempler på anvendelse af spildevand i Skandinavien

Der er ikke mange eksempler på genanvendelse af spildevand i Skandinavien. Inden for de seneste 10-15 år har der dog været gennemført enkelte projekter med dyrkning af planter i spildevand mhp. kombineret rensning og udnyttelse af næringsstoffer. Ved DIFTA (Dansk Institut for Fiskeriteknologi og Akvakultur) har der været nogle undersøgelser i slutningen af 1980'erne, hvor mekanisk-biologisk rensset spildevand blev brugt til vanding af bl.a. tomatplanter og elefantgræs (Nørremark 1990). Vurdering af sundhedsrisici og smitstoffreduktion er ikke fundet.

I Kolding etableredes i 1993 et såkaldt "bioværk" i tilknytning til en etageboligbygges. Spildevand fra boligerne ledes til rensning i et lokalt mekanisk-biologisk rensningsanlæg på 260 PE, hvorfra rensset vand ledes til bioværket, der er et pyramideformet væksthuse på 21 x 21 m med en højde på 13,7 m. Spildevandet bruges bl.a. til dyrkning planter, fortrinsvis pyntegrønt.

Ved opførelsen stillede myndighederne krav om, at rensningen og planternes næringsstoffjernelse skulle være tilstrækkelig til at spildevandet kan nedsives lokalt, og der ikke optræder uhygiejniske forhold pga. spildevandet for omgivelserne. Desuden måtte der ikke opstå uhygiejniske forhold for personer der arbejder i anlægget. Anlægget blev taget i brug 1994, og siden har den årlige tilledning af spildevand været 11.000 m³.

Der er i perioden 1994-97 produceret ca. 60.000 planter i anlægget (Byfornyelsesselskabet Danmark 1997). Det drejer sig fortrinsvis om efeu, bregner, bambus og sommerblomster til lokalt brug. Næringsstoffjernelsen har i perioden været utilstrækkelig, men der er endnu ikke publiceret resultater over rensningseffektiviteten. Foruden dyrkning af planter har der også været produktion af fisk i bassiner, som tilføres mekanisk-biologisk rensset spildevand. I bassinerne findes også algeplankton, som udnytter næringsstofferne i spildevandet og fungerer som fødeorganismer for dyreplankton og fisk. Anlægget er opbygget med to parallelle linier, hvilket skulle gøre det muligt at afprøve forskellige driftsformer i anlægget, men det er endnu ikke sket. Spildevand fra bioværket ledes igennem et rodzoneanlæg, inden det nedsives. Nedsivningsanlægget har fungeret tilfredsstillende.

Arbejdsmiljøet har i følge Byfornyelsesselskabet Danmark været uproblematisk og luftkvalitetsmålinger karakteriserer bioværket som svarende til rene rum. Det skyldes formodentligt, at vandet hygiejniseres med ozon, inden spildevandet ledes ind i de åbne dyrkningsrender i væksthuse. I en periode var ozonanlægget ude af drift, uden at det fik afgørende indflydelse på de hygiejniske forhold. I betragtning af at energiforbruget til dette hygiejniseringsanlæg er ca. 20.000 kWh årligt, har man ønsket at ophøre med at hygiejniser vandet med ozon.

Stensunds Vattenbruk i Trosa syd for Stockholm har igennem 10 år været demonstrationsanlæg for rensning af spildevand i såkaldte polykulturanlæg, hvor alger, dyreplankton, fisk, krebsdyr og snegle udnytter organisk stof og næringsstoffer i spildevandet til deres vækst, mens spildevandet renses. Smitstoffreduktionen var 99 % for følgende patogener: heterotrofe bakterier 20 °C, koliforme bakterier 35 °C, *E. coli* 44 °C og fækale streptokokker (Guterstam 1991).

Vattenbruket er placeret i et lukket væksthuse, og som følge af kunstig belysning er temperaturen hele året tilstrækkelig til, at man kan benytte Vattenbruket som opholdsrum for besøgsgrupper og arbejdere på stedet. Oprindeligt var det også meningen, at der skulle være café i Vattenbruket. Selv om der ikke er nogen kraftig spildevandslugt i anlægget, kan der dog være øget sundhedsrisiko ved at etablere café i et overdækket rensningsanlæg, hvor koncentrationen af aerosoler indeholdende patogener skulle være højere end udendørs. Der er ikke fundet dokumentation for tilstedeværelsen af patogener i anlæggets luft.

Risikoen for smitte med vandbårne patogener for personer, der arbejder ved rensningsanlæg, og derfor forventes at blive udsat for forhøjede niveauer af patogener, har været undersøgt i USA og Europa. Det har ikke været muligt at dokumentere forhøjet risiko for spildevandsbårne sygdomme blandt arbejdere på rensningsanlæg i USA og Europa (Cooper 1991).

Igennem de seneste 15 år har der været gennemført en del projekter især i Sverige, men også i Danmark, hvor energiafgrøder som f.eks. pil (*Salix spp.*) vandes med spildevand (Hasselgren 1998, Hasselgren 1999). Dokumentation af tilstedeværelsen af sygdomsfremkaldende mikroorganismer er endnu ikke offentliggjort, men Anneli Carlander er i gang med et ph.d.-projekt på Smittskyddsinstitutet i Stockholm, som vil belyse de hygiejniske forhold omkring vanding af energipil med spildevand (Carlander, pers. opl.). De praktiske forsøg foregår i Skåne.

6 Regler og praksis ved lokal håndtering af human afføring i Sverige og Norge

6.1 Regler og praksis i Sverige

Kommunen kan meddele tilladelse til etablering af komposttoiletter eller urinseparerende toiletter samt anvendelse af det opsamlede og mere eller mindre hygiejniserede toiletaffald.

Der er ikke fastlagt nationale regler på området. Der findes kun nationale regler for etablering og drift af infiltrationsanlæg, sandfiltre og rodzoneanlæg (markbädd) i skrivelsen "Allmänna Råd" fra slutningen af 1980'erne. Det er derfor op til den enkelte kommune og dens medarbejdere i deres Miljöhälsovårdskontorer at afgøre på hvilket grundlag, der skal gives tilladelse eller afslag til etablering af de pågældende installationer.

Visse kommuner er meget imødekommende og har igennem årene opbygget en vis erfaring med systemerne (Tanum kommune i Östergötland og Västervik kommune ved den svenske østkyst), mens andre kommuner er mere betænkelige. Ved afslag kan ansøgeren klage til Länsstyrelsen (amtet), der heller ikke har nogen faste regler.

Tanum kommunes miljö- och hälsoskyddsnämnd vedtog i 1992 at man ville arbejde for et stop for brug af vandskyllende toiletter ved nybyggerier fra år 2000. Der blev udarbejdet informationsmateriale til kommunens borgere om mulige alternativer herunder komposttoiletter med og uden urinseparation. Informationsmaterialet opfordrer borgerne til at henvende sig til kommunen for at høre nærmere om mulighederne.

Der er fastlagt nationale regler for stabilisering og smitstofreduktion af spildevandsslam, såvel som grænseværdier for indholdet af tungmetaller. Desuden er der regler for slammets håndtering i forbindelse med udbringningen, herunder på hvilke afgrøder det kan anvendes, og hvor hurtigt det skal nedpløjes. Som nævnt dækker reglerne dog ikke separat opsamlet urin og fæces. Der findes heller ingen regler om, at Embedslægeinstitutionen skal høres i forbindelse med etablering af anlæg og udbringning af materiale.

Manglen på nationale regler i Sverige medfører, at der er store forskelle indenfor Sverige mht. hvor udbredt separat håndtering af human afføring er. Størst erfaring har man i områder med mange fritidshuse, særligt i områder, hvor fritidshuse gradvis går over til helårsbeboelse. I visse kommuner har man en del projekter med separat håndteret human afføring, det gælder f.eks. Tanum, Gotland, Västervik og Norrtälje. Tanum kommune valgte således i starten af 1990'erne, at alle nybyggede huse i kommunen skulle udstyres med urinseparerende toiletter (A. Schönbeck, pers. opl.). Kommunen har dog ikke sat indsamlingen af den opsamlede og lagrede urin i system. I stedet har man kontakten en række landbrugere, der har ønsket at aftage urinen, og overdraget opgaven til dem. Der har ikke været gennemført nogen oplæring af landbrugerne i den forbindelse.

Naturvårdsverket oplyser, at man ikke hidtil har villet lave regler på området, da kundskabsniveauet endnu er for lavt. Man har været med til at finansiere projektet "Systemanalys VA – Hygienstudie" (Albihn & Stenström 1998), der vurderer de hygiejniske forhold ved alternativ håndtering af human afføring. Naturvårdsverket nævnte, at der er behov for yderligere undersøgelser, herunder afklaring af risikoen for spredning af lægemiddelrester, inden der kan fastlægges regler på området. Derfor overvejer Naturvårdsverket i samarbej-

de med nogle kommuner at gennemføre et forskningsprogram for små rensningsanlæg og alternative metoder til håndtering af human afføring.

I forbindelse med separat opsamling og udnyttelse af urin som gødning har det været praksis, at urinen lagres i 6 måneder inden udbringning på landbrugsjord. Det forventes, at denne praksis vil blive til en regel i fremtiden (Elisabeth Öhman, Naturvårdsverket, pers. opl.) Elisabeth Öhman, Naturvårdsverket, Blekhölmsterassen 36, S-10648 Stockholm, direkte telefon: 0046 8 698 15 34.

6.1.1 Faktablade

I 1998 blev der i Sverige udgivet et faktablad om separat urinhåndtering "Urinsortering – en del i framtidens avloppssystem" Gröna Fakta 7/1998. Faktabladet, der på 4 sider samlede de daværende erfaringer med urin, er bl.a. finansieret af Stockholm Vatten, Smittskyddsinstitutet og Sveriges Lantbruksuniversitet.

Faktabladet konkluderer, at separat urinhåndtering er et interessant alternativ ved nybyggeri og ombygninger i landsbyer. Desuden noteres, at jo mere der arbejdes med separat urinhåndtering, des mere interessant ser det også ud for anvendelse i stor skala og større bymæssig bebyggelse. Det gælder især byer, hvor spildevandsrensningen ikke inkluderer næringsstoffjernelse (Johansson et al. 1998). I Faktabladet peges på behovet for yderligere systemanalyser, økonomiske beregninger og organisatoriske udredninger.

Det er ikke tilstrækkeligt, at vurdere smitstofreduktionen i komposttoiletter, når det skal afgøres om et bestemt metode til håndtering af toiletaffald er hensigtsmæssig og i stand til at beskytte brugerne mod smitte med patogener. Toiletsystemets anvendelighed ved dagligt brug herunder tilsyn, pasning og tømning er afgørende for at opnå en effektiv beskyttelse af brugerne. I den følgende artikel beskrives nogle erfaringer fra en svensk økoby, hvor anlæggene ikke har levet op til forventningerne.

6.2 Gennemgang af artiklen: Experiences with dry sanitation and greywater treatment in the ecovillage Toarp, Sweden

Forfatter: I. Fittschen & J. Niemczynowicz. Wat. Sci. Tech. 35 (9): 161-170.

Komposttoiletter er forholdsvis udbredt i Sverige sammenlignet med Danmark. De fleste komposttoiletter er placeret ved enkeltbeliggende boliger i det åbne land. Der er imidlertid endnu ret få samlede bebyggelser med komposttoiletter. Økolandsbyen Toarp i Sverige blev opført i 1992. Den består af 37 boliger med op til 150 indbyggere. Der er benyttet 3 forskellige komposttoiletter i økolandsbyen. Alle tre komposttoilettyper var udstyret med varmelegemer for at forbedre fordampningen, og dermed mulighederne for at opnå kompostering af det tilførte materiale.

Brugerne blev interviewet om toiletternes funktion. Brugerne havde størst problemer med fluer, som foruden at være irriterende også kan indebære en risiko som smittespredere. Desuden var mange beboere generede af lugtgener fra toiletterne trods konstant ventilation. Der var stor forskel på de enkelte toilettypers funktionsduelighed. Toilettypen "Ekoloo" blev af stort set alle brugere vurderet som uanvendelig både i daglig brug og ved tømning.

De to andre toilettyper: Lindén og især Snurredassen fungerede bedre, men der var også flere brugere som havde flueproblemer med disse toiletter, til trods for at energiforbruget til fordampning var betragteligt (325 – 650 kWh/person/år).

Alle adspurgte syntes, det var ubehageligt at tømme toiletterne. Visse komposttoiletter blev i undersøgelsesperioden udskiftet med urinseparerende komposttoiletter for at mindske overløbsproblemerne. Det havde mindsket flueproblemerne, men der var flere beboere, som fandt det vanskeligt at anvende toiletterne, og især børn havde svært ved at ramme rigtigt.

Artiklen giver ingen dokumentation af smitstofreduktionen i komposten, hverken i selve toiletterne eller i forbindelse med tømning.

Beboerne har generelt oplyst, at der var for ringe information om komposttoiletternes funktion, så den løbende pasning kan have været for ringe (tilsætning af organisk materiale, blanding af kompostmassen etc.), hvilket muligvis har været årsagen til de dårlige driftserfaringer. Det svarer til de danske erfaringer, hvor brugere af komposttoiletter ofte er blevet overraskede over det forholdsvis store arbejde, der er forbundet med pasning af toiletterne

Efter 3 års drift vedtog bebyggelsens administration, at alle boliger skulle have vandskylende toiletter, som skulle tilsluttes et lokalt gråvandsrenseanlæg. Det gik beboerne imidlertid imod, da de fleste beboere principielt var interesserede i at have komposttoiletter. Man blev derfor enige om, at de enkelte beboere selv kunne vælge om de ville fortsætte med deres komposttoiletter eller få udskiftet dem med traditionelle WC'er. 32 ud af de 37 boliger valgte at få installeret WC'er, mens de sidste 4 boliger fik udskiftet deres komposttoiletter med urinseparerende komposttoiletter.

Nogle af dem der valgte at udskifte deres komposttoilet gjorde det med den begrundelse, at komposttoiletternes høje energiforbrug var økologisk ufornuftigt. I løbet af relativt kort tid blev også de 4 af de 5 urinseparerende komposttoiletter udskiftet med WC'er, hvilket skyldtes vanskeligheder med at holde "fæces-afløbet" rent, da det havde væsentligt mindre diameter end i de oprindelige komposttoiletter.

På basis af artiklens konklusioner bør man sikre, at der informeres ordentligt, inden der tages beslutning om at installere komposttoiletter i en bebyggelse og inden det afgøres, hvilken toiletttype der skal anvendes. Hvis beboerne vurderer at pasningsarbejdet bliver for omfattende, burde man måske overveje en professionel pasningsordning.

Artiklen beskriver også Toarps erfaringer med håndtering af gråt spildevand. Anlægget til rensning af gråt spildevand var dimensioneret til 150 personer med et dagligt vandforbrug på 200 liter. I undersøgelsesperioden boede der 100 personer i bebyggelsen, hvoraf 34 var børn. Det gennemsnitlige daglige vandforbrug i perioden var 110 liter. Der blev fundet forholdsvis høje niveauer af termotolerante koliforme bakterier i det grå spildevand, hvilket fremgår af nedenstående tabel. De blev dog effektivt fjernet i den efterfølgende rensning i rodzoneanlæg og sandfilter.

Tabel 6.1. Antal termotolerante koliforme bakterier pr. 100 ml i de enkelte gråvandsrensetrin.

Dato	før rodzone	efter rodzone	efter sandfilter
8. maj 1995	ingen måling	ingen måling	< 20
29. maj 1995	540000	110	< 2
26. juni 1995	790000	< 16000	0
10. juli 1995	2200000	33000	0
17. juli 1995	3300000	3500	0
18. sept. 1995	2200000	110	2

6.3 Regler og praksis i Norge

Ligesom i Sverige er det kommunerne, der giver tilladelse til etablering af komposttoiletter og lokal bortskaffelse af kompostmaterialet. Der findes ingen nationale regler på området. I visse kommuner gives kun tilladelse til etablering af de toiletter, der er blevet godkendt under Svanemærkeordningen, som tidligere beskrevet.

Jordforsk ved Norges Landbrugshøjskole har som nævnt testet komposttoiletter på opdrag af producenterne siden 1982. Foruden at teste om toiletterne er tilstrækkeligt holdbare til at klare dagligt brug, undersøges det om der kan inden tømning kan opnås tilstrækkelig reduktion af termotolerante koliforme bakterier i det tilførte toiletaffald i selve opsamlingsbeholderen.

Det antages, at tilstrækkelig smitstofreduktion kan opnås ved at sikre at følgende temperaturforhold bliver opnået: 50°C i 23 timer, 55°C i 10 timer eller 60°C i 4 timer. Erfaringerne fra Jordforsk er blevet brugt ved fastlæggelsen af procedurene for godkendelse af komposttoiletter under Nordisk Miljømærknings Svanemærke.

7 Referenceliste

- Albihn A. & Stenström T.A. (1998): Systemanalys VA – Hygienstudie. VA-Forsk rapport nr. 16.
- Albrechtsen H.-J. (1998): Boligernes vandforbrug. Mikrobiologiske undersøgelser af regn- og gråvandsanlæg. Inst. for Miljøteknologi, DTU. Bolig- og Byministeriet og Miljøstyrelsen. ISBN 87-985613-9-1
- Bán Z., Bydén S. & Lind B.-B. (1999): Concentration, crystallisation and mineral adsorption for nutrient recovery and reuse from human urine. Præsenteret ved den 4. internationale konference om Ecological Engineering for Wastewater Treatment, "Managing the Wastewater Ressource" Ås, Norge, 7.-11. juni 1999.
- Bendixen (1995): Smitstofreduktion i biomasse. Det veterinære forsøgsprogram i biogasfællesanlæg. Bind II: Delrapporter og bilag. Landbrugs- og Fiskeriministeriet. Veterinærdirektoratet.
- Brissaud F., Salgot M., Bancolé A., Campos C. & Folch M. (1999): Residence time distribution and disinfection of secondary effluents by infiltration percolation. Wat. Sci. Tech. 40 (4-5): 215-222.
- Burrows W.D., Schmidt M.D., Carnevale R.M. & Schaub S.A. (1991): Nonpotable reuse: Development of health criteria and technologies for shower water recycle. Wat. Sci. Tech. 24 (9): 81-88.
- Byfornyelsesselskabet Danmark (1997): Økologisk byfornyelse i Kolding. Rapport udarbejdet for Kolding Kommune og Boligministeriet. ISBN nr. 87-985613-2-4.
- Christova-Boal D., Eden R.E. & McFarlane S. (1996): An investigation into greywater reuse for urban residential properties. Desalination 106: 391-397
- Cooper R.C. (1991): Public health concerns in wastewater reuse. Wat. Sci. Tech. 24 (9): 55-65.
- Dalsgaard A. (1996): Fiskedam under dasset. Ingeniøren 30 (26. juli 1996): side 10.
- Del Porto D. & Steinfeld C. (1999): The Composting Toilet System Book: A practical Guide to Choosing, Planning and Maintaining Composting Toilet Systems, a Water-Saving, Pollution-Preventing Alternative".
- Eller G. (1996?): Liquid composting of raw wastewater mixed with biodegradable waste. Persistence of selected pathogens and indicator organisms. Diplomrapport Brunswick Universitet og Smittskyddsinstitutet i Stockholm.
- Engen Ø. (1991): Hytteklosetter. Alternative avløpsløsninger for hytter og spredt bebyggelse, med hovedvekt på miljøkonsekvenser. Prosjekt nr. 1207. Jordforsk.
- Engen Ø. (1993): Kvalitetsnormer for biologiske klosetter. 3. reviderede udgave. Jordforsk, Ås, Norge.
- Engen Ø., Hansen J.F., Linjordet R. & Ånestad G. (1994): Hygiejniske aspekter ved Hjemmekompostering af Hage- og latrinavfall. Prosjekt nr. 1517. Jordforsk, Norge.
- Fayer R. & Nerad T. (1996): Effects of low temperatures on viability of *Cryptosporidium parvum* oocysts. Appl. Env. Microbiol. 62 (4): 1431-1433.

- Feachem R.G., Bradley D.J., Garelick H. & Duncan Mara D. (1983): Sanitation and Disease. Health Aspects of Excreta and Wastewater Management. Published for The World Bank by John Wiley & Sons, side 16 – 21.
- Fernholm M. (1999): Föbättringar nödvändiga vid hantering av humanurin i odling. *Biologi* 7: 4-8.
- Finch G.R., Gyürék L.L., Liyanage L.R.J. & Belosevic M. (1997): Effects of various disinfection methods on the inactivation of *Cryptosporidium*. AWWA Research Foundation and American Water Works Association, USA.
- Fittschen I. & Niemczynowicz J. (1997): Experiences with dry sanitation and greywater treatment in the ecovillage Toarp, Sweden. *Wat. Sci. Tech.* 35 (9): 161-170.
- Fredrikson F. (1994): Fosfor – tillgångar och framtida behov. Institutionsrapport 1994:12. Chalmers Tekniska Högskola. Göteborgs Universitet.
- Gerba C.P., Straub T.M., Rose J.B. Karpiscak M.M., Foster K.E. & Brittain R.G. (1995): Water quality of graywater treatment system. *Wat. Res.* 31 (1): 109-116.
- Guterstam B. (1991): Ecological engineering for wastewater treatment: Theoretical foundations and practical realities. Proceedings of the International Conference at Stensund Folk College, Sweden, MARCH 24-28, 1991.
- Haglund J.-E. & Olofsson B. (1997): Utvärdering af VA-lösningar i ekobyer. VA-Forsk.
- Haglund J.-E. (1999): Kompletterande avloppslösningar i flerfamiljhus och offentliga lokaler. VA-Forskrappport 10.
- Hansen A. & Stenström T.A. (1998): Kartläggning av *Giardia* och *Cryptosporidium* i svenska ytvattentäkter. Swedish Institute for Infectious Disease Control and National Food Administration ISBN 1400-3473, SMI-tryck 118-1998. Elanders Gotab, Stockholm, Sverige.
- Hanæus Å. & Johansson E. (1996): Urinsorterande avloppssystem – Inventering, utvärdering och laboratorieförsök. M.Sc. Thesis. 176 E, Department of Environmental Planning and Design, Luleå University of Technology, Sweden.
- Hasselgren K. (1998): Use of municipal waste products in energy forestry: highlights from 15 years of experience. *Biomass and Bioenergy* 15 (1): 71-74.
- Hasselgren K. (1999): Bevattnings av energiskog med biologiskt behandlat avloppsvatten. VA-Forskrappport 5.
- Hellström D. & Kärrman E. (1995): Nitrogen and phosphorus in fresh and stored urine. *Environmental Research Forum*. 56: 221-226.
- Hellström D., Johansson E. & Grennberg K. (1999): Storage of human urine: Acidification as a method to inhibit decomposition of urea. *Ecological Eng.* 12 (3-4): 253-269.
- Höglund C., Stenström T.A., Jönsson H. & Sundin A. (1998): Evaluation of faecal contamination and microbial die-off in urine separating systems. *Wat. Sci. Tech.* 38 (5): 17-25.
- Höglund C. & Stenström T.A. (1999a): Hygienic aspects on the reuse of source separated human urine in agriculture. *Proceedings* 399-401.
- Höglund C. & Stenström T.A. (1999b): Survival of *Cryptosporidium parvum* oocysts in Source Separated Human Urine. *Canadian Journal of Microbiology*. 45:1-7.
- Höglund C., Stenström T.A., Vinnerås B. & Jönsson H. (1999): Chemical and microbial composition of layers in source separated human urine. *Proceedings fra konferencen "Managing the Wastewater Resource"*, Ås, Norge, 7.-11. juni 1999.

- Jenkins M.B., Bowman D.D. & Ghiorse W.C. (1998): Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts by ammonia. Appl. Env. Microbiol. 64 (2): 784-788.
- Jenssen P.D. (1999): Kretsløpsbasert avløps- og avfallshåndtering. Proceeding: NJF Jordbruk og Samfunn 28. juni 1999, sesjon Organisk avfall.
- Johansson M., Jönsson H. & Höglund C. (1998): Urinsortering – en del i framtidens avloppssystem? Gröna Fakta 7/1998.
- Johansson E. (1999): Urine Separating Wastewater Systems: Design Experiences and Nitrogen Conservation. Licentiate Thesis. Luleå Universitet 1999:43.
- Juranek D.D. (1995): Cryptosporidiosis: Sources of infection and guidelines for prevention. Clin. Infect. Dis. 21 (Suppl 1): 57-61.
- Jönsson H., Olsson A., Stenström T.A. & Dalhammar G. (1996) Källsorterad humanurin i krettslopp – Förstudie i tre delar. VA-forsk nr. 3.
- Jönsson H., Stenström T.A., Svensson J. & Sundin A. (1997): Source separated urine-nutrient and heavy metal content, water saving and faecal contamination. Wat. Sci. Tech. 35 (9): 145-152.
- Jönsson H., Burström A. & Svensson J. (1998): Mätning på två urinsortande avloppssystem-urinlösning, toalettanvändning och hemvaro i en ekoby och i ett hyreshusområde. Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala, Rapport nr. 228.
- Kirchmann H. & Pettersson S. (1995): Human urine – Chemical composition and fertilizer use efficiency. Fertilizer Research 40: 149-154.
- Kärman E., Jönsson H., Gruvberger C., Dalemo M., Sonesson U. & Stenström T.A. (1999): Miljösystemanalys av hushållens avlopp och organisk avfall – syntes av hanteringssystem undersökta inom FoU-programmet "Organiskt avfall som växtnäingsresurs". VA-Forsk rapport 15.
- Maeda M., Nakada K. Kawamoto K. & Ikeda M. (1996): Area wide use of reclaimed water in Tokyo, Japan. Wat. Sci. Tech. 33 (10-11): 51-57.
- Malmqvist P.A. & Stenberg M. (1997): Alternative sewage systems in Bergsjön and Hamburgsund. Summary report from the ECO-GUIDE project. VA-Forsk rapport 8.
- Marshall M.M., Naumovitz D., Ortega Y. & Sterling C.R. (1997): Waterborne protozoan pathogens. Clin. Microbiol. Rev. 10 (1): 67-85.
- Matsuo T. (1993): Practical Experiences from Large-Scale Systems for Collected Human Waste Treatment and Disposal in Japan. Proceedings: Integrated Measures to Overcome Barriers to Minimizing Harmful Fluxes from Land to Water. Stockholm Water Symposium. August 1993.
- Meinhardt P.L., Casemore D.P. & Miller K.B. (1996): Epidemiologic aspects of human cryptosporidiosis and the role of waterborne transmission. Epidemio. Rev. 18 (2): 118-136.
- Mujeriego R. & Sala L. (1991): Golf course irrigation with reclaimed wastewater. Wat. Sci. Tech. 24 (9): 161-171.
- Naturvårdsverket (1995): Vad innehåller avlopp från hushåll? Näring och metaller i urin och fekalier samt i disk-, tvätt-, bad- och duschvatten.
- Norin E., Stenström T.A. & Albin A. (1996): Stabilisering och hygienisering av svartvatten och organiskt avfall genom våtkompostering. Vatten 52: (165-176).

- Nørremark I. (1990): Hygiejneproblemer ved udnyttelse af husspildevand til plantedyrking. Notat. Dansk Institut for Fiskeriteknologi og Akvakultur.
- Olsson A. (1995): Källsorterad humanurin – förekomst och överlevnad av fekala mikroorganismer samt kemisk sammansättning. Institutionen för lantbruksteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, Rapport 208.
- Ortega Y.R., Roxas C.R., Gilman R.H., Miller N.J., Carbrera L., Taquiri C. & Sterling C.R. (1997): Isolation of *Cryptosporidium parvum* and *Cyclospora cayetanensis* from vegetables collected in markets of an endemic region in Peru. Am. J. Trop. Med. Hyg. 57 (6): 683-686.
- Prein M. (1990): Wastewater-Fed Fish Culture in Germany. Proceedings Int. Seminar on Wastewater Reclamation and Reuse for Aquaculture, India, 6-9 December 1988, AIT, Thailand.
- Rose J.B., Sun G., Gerba C.P. & Sinclair N.A. (1991): Microbial quality and persistence of enteric pathogens in graywater from various household sources. Wat. Res. 25 (1): 37-42.
- Santala E., Uotila J., Zaitsev G., Alasiurua R., Tikka R. & Tengvall J. Microbial greywater treatment and recycling in an apartment building. AWT 98 – Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse: Milano 14.-16. september 1998. Proceedings side 319-324.
- Sherwood D., Angus K.W., Snodgrass D.R. & Tzipori S. (1982): Experimental cryptosporidiosis in laboratory mice. Infect. Immun. 38: 471-475.
- Skjelhaugen O.J. (1999a): Thermophilic aerobic reactor for processing organic liquid wastes. Wat. Res. 33 (7). 1593-1602.
- Skjelhaugen O.J. & Sæther T. (1999): A case study of a single house installation for source sorting the wastewater. Proceeding: 4th Int. Conf. On Managing the Wastewater Resource, Ås, Norway, June.
- Stenström T.A. (1996): Sjukdomsframkallande mikroorganismer i avloppssystem. Riskvärdering av traditionella och alternativa avloppslösningar. Naturvårdsverket, Smittskyddsinstitutet & Socialstyrelsen. Rapport 4683.
- Stenström T.A., Höglund C. & Jönsson H. (1999): Evaluation of microbial risks and faecal contamination of urine diverting sewage systems. Wasser & Boden 51/10: 11-14.
- Strauss M. (1991): Human waste use: Health protection practices and scheme monitoring. Wat. Sci. Tech. 24 (9): 67-79.
- Sundberg K. (1995): Vad innehåller avlopp från hushåll? Rapport 4425, Naturvårdsverket, Sverige.
- Sundin K.A., Leeming R.L. & Stenström T.A. (1999): Degradation of faecal sterols in urine for assessment of faecal cross-contamination i source separated urine and urine storage tank sediment. Wat. Res. 33 (9): 1975-80.
- Svensson L. (1993): Ammonia volatilization from land-spread livestock manure. PhD-thesis. Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala.
- Svensson P. (1993): Nordiska erfarenheter av källsorterande avloppssystem. Examensarbete. 117 E. ISSN 0349 – 6023. Inst. För samhällsbyggnadsteknik. Avdelingen för restproduktteknik. Tekniska Högskolan i Luleå.
- Tykesson Å. (1992): Kretsloppssystem för toalettavfall (Examensarbete 1992:048 E). Inst. För samhällsbyggnadsteknik. Avdelningen för restproduktteknik, Tekniska Högskolan i Luleå.

Vaz da Costa-Vargas S.M., Mara D.D., Vargas-Lopez C.E. (1991): Residual faecal contamination on effluent-irrigated lettuces. Wat. Sci. Tech. 24 (9): 89-94.

Wang J.Q. (1999): Reduction of microorganisms in dry sanitation due to different adsorbents under low temperature conditions. (Proceedings til Stockholm Water Symposium, "Urban Stability Through Integrated Water Related Management" side 396-398.

[www@ecolabel.no](http://www.ecolabel.no): Oversigt over betingelserne i Svanemærkeordningen.

Bilag a: Samarbejdsrelationer og kontaktpersoner i Sverige og Norge

Smittskyddsinstitutet (SMI) i Stockholm, Sverige

Thor Axel Stenström, chef

Caroline Höglund, PhD-stud.(hygiejnisk kvalitet af separat opsamlet urin)

Anneli Carlander, PhD-stud.(risici ved udnyttelse af spildevand og slam i energiskov herunder risiko for smittespredning til dyr)

Annika Sundin, PhD-stud.(hygiejne ved kompostering af husholdningsaffald og human afføring)

Therese Westrell, PhD-stud. (risikovurdering "microbial risk assessment")

Jakob Ottosson, PhD-stud.(fækale mikroorganismer og steroler i drikkevand og spildevand)

Annette Hansen, PhD-stud.(anvendelse af giardia og cryptosporidium som test-organismer)

Lantbruksuniversitetet (SLU) i Uppsala, Sverige

Avdelning för Jordbruksteknik:

Staffan Steineck, lektor

Ola Palm, lektor

Erik Norin, lektor

Avdelning för lantbruksteknik:

Håkan Jönsson, lektor (vurdering og udnyttelse af separat opsamlet urin)

"TEMA"

Biologisk affald

Biogasanlæg

Statens Veterinärmedicinska Anstalt (SVA):

Ann Albihn, lektor

Jordforsk, Norge

William Warner

Har mange års erfaring med komposttoiletter fra såvel Norge som USA, hvor han er uddannet og fortsat har kontakt til de forskergrupper, der arbejder med komposttoiletter.

William Warner er for tiden i gang med en opgave for Verdensbanken mhp. at finde egnede toiletsystemer i de U-lande, hvor vandforsyning og kloakering ikke er egnet til brug af vandskylende toiletter. I dette arbejde fokuseres på komposttoiletter og udtørringstoiletter med og uden urinseparering.

Norges landbrugshøjskole

På Norges Landbrugshøjskole er der også nogle forskere, der arbejder med alternative metoder til håndtering af fæces, urin og gråt spildevand:

Professor Odd Jarle Skjelhaugen

Norges Landbrugshøjskole
Institut for Tekniske Fag, Boks 5065
1432 Ås, Norge
Tlf. 0047 64 94 87 00 / Fax. 00 47 64 94 88 10
Email: o.j.skjelhaugen@itf.nlh.no

Skjelhaugen arbejder med kompostering af husholdnings- og toiletaffald mhp. recirkulering til landbruget. Der er udviklet et system, som er uafhængigt af det normale afløbssystem, som beskrevet under kapitel 3.

Professor Petter D. Jenssen

Norges Landbrugshøjskole
Institut for Tekniske Fag, Boks 5065
1432 Ås, Norge
Tlf. 0047 64 94 86 85, fax. 00 47 64 94 88 10
Email: petter.jenssen@itf.nlh.no

Jenssen har igennem flere årtier arbejdet med infiltration af spildevand og har de seneste 10 år også været meget involveret i at finde bæredygtige alternativer til det traditionelle afløbssystem. I 1993-97 var Jenssen således forskningsleder for et norsk forskningsprojekt for "Naturbasert Afløpsrensning".

Jenssen har i sit arbejde fokuseret på vandproblematikken herunder rensning, bortskaffelse eller udnyttelse af gråt vand ved separat håndtering af toiletaffald. Gråt spildevand kan indeholde høje niveauer af f.eks. termotabile koliforme bakterier. Jenssen har bl.a. arbejdet med rensning af gråt spildevand i biofiltre efterfulgt af rodzoneanlæg (Jenssen,1999).

Jon Fredrik Hanssen

Afd. for biokemi og mikrobiologi
P.O. Box 5040
1432 Ås, Norge
Tlf. 00 47 64 94 77 34 / Fax. 00 47 64 94 77 50

Hanssen har tidligere været involveret i projekter med dokumentation af komposttoiletters funktion, men er pt. ikke med i noget projekt desangående.