Krisberedskap för sanitetsystem: Utvärdering av behandlingslösningar för toalettavfall

Emergency preparedness for sanitation systems: Evaluation of toilet waste treatment solutions

Kajsa Löfgren,
Uppsala universitet och Norconsult, kajsa.lofgren@norconsult.com

Sammanfattning

Denna artikel sammanfattar examensarbetet Krisberedskap för sanitetssystem: Utvärdering av behandlingslösningar för toalettavfall (Löfgren, 2025). Arbetet utreder lösningar för insamling och behandling av toalettavfall vid långvarigt elavbrott i svensk kontext, där det inte längre går att spola i toaletten. Med det definierade krisscenariot analyserades praktiska, hållbara och skalbara alternativ för 500 respektive 10 000 personer, med separat insamling av urin och fekalier. Målet var att minimera smittspridning och möjliggöra näringsåterföring till jordbruket. Utifrån urvalskriterier valdes hink för urin och latrintunna för fekalier. Tre behandlingsmetoder uppfyllde urvalskriterierna och utvärderades: värmekompostering och ureabehandling för fekalier samt lagring för urin. Massbalansberäkningar kvantifierade flöden, behov av tillsatsmaterial, behandlingsvolymer och återföringspotential. En multikriterieanalys som fokuserade på processtekniska krav, yta, personalbehov, återföringspotential jämförde metoder och skalor. Resultaten visade att ureabehandling i stor skala (10 000 personekvivalenter, pe) är mest fördelaktig för fekalier tack vare mindre volym, kort behandlingstid och sluten process som begränsar lukt. Urinlagring är resurssnål och enkel men praktiskt genomförbar främst i liten skala (500 pe) då det hanteras stora volymer. Det kunde konstateras att lösningarna är robusta, smittförebyggande, möjliggör näringsåterföring och kan implementeras i kris med lättillgängliga behållare efter mindre modifieringar.

Abstract

This article summarises the thesis Crisis Preparedness for Sanitation Systems: Evaluation of Treatment Solutions for Toilet Waste (Löfgren, 2025). The study investigates collection and treatment options for toilet waste during a prolonged power outage in Sweden, when flushing is no longer possible. Under the defined crisis scenario, it analyses practical, sustainable, and scalable alternatives for 500 and 10,000 people, respectively, with a separate collection of urine and faeces. The objective was to minimise disease transmission while enabling nutrient recycling to agriculture. Based on the selection criteria, buckets were chosen for urine and latrine bins for faeces. Three treatment methods met the criteria and were evaluated: thermophilic composting and urea treatment for

faeces, and storage for urine. Mass-balance calculations quantified incoming waste flows, requirements for additives, treatment volumes, and nutrient recovery potential. A multi-criteria analysis—emphasising process requirements, footprint, staffing needs, and recovery potential—compared methods and scales. Results showed that large-scale urea treatment (10,000 population equivalents, pe) is the most advantageous option for faeces due to smaller volumes, short treatment time, and a closed process that limits odours. Urine storage is a resource-efficient and straightforward process, but it is practically feasible mainly at a small scale (500 pe) due to the large volumes involved. The study concludes that these solutions are robust, reduce the risk of disease transmission, enable nutrient recycling, and can be implemented in a crisis using readily available containers with minor modifications.

Keywords: Emergency sanitation, toilet waste management, urea treatment, thermal composting, crisis preparedness, nutrient recycling

Inledning

Krisberedskap har fått ökad tyngd i Sverige i takt med klimatförändringar och ett mer spänt säkerhetspolitiskt läge. Eftersom samhällsviktiga system är ömsesidigt beroende – där VA är en central del tillsammans med el- och värmeförsörjning – kan exempelvis ett omfattande elavbrott slå ut vatten- och avloppsförsörjningen, vilket gör att toaletter inte kan spolas. Projektets syfte är att undersöka och föreslå lösningar för insamling och behandling av toalettavfall vid kris.

Infektioner sprids via patogener i dricksvatten, mat, smutsiga händer eller via inandning av aerosoler; infekterade värdar utsöndrar stora mängder patogener i avföring och ibland urin (Feachem et al., 1983). Fekalier har högst patogenkoncentration (Singh et al., 2017). Torrt toalettavfall kan behandlas för att inaktivera patogener genom lagring, anaerob behandling, förbränning, värmekompostering eller kemisk behandling (McConville et al., 2020). Lagring stabiliserar materialet och minskar patogener över tid, styrt av bl.a. temperatur, tid och fukthalt (McConville et al., 2020). Vid lagring av enbart urin sker avdödning främst via ammoniaktoxicitet när urea omvandlas till ammoniak (Niwagaba, 2009). Värmekompostering är aerob nedbrytning där patogener inaktiveras av höga temperaturer och mikrobiell konkurrens; hygienisering uppnås över 50 °C och beror på tid/temperatur-förhållandet (Vinnerås, 2007; Johannesdottir et al., 2023). Kemisk behandling inaktiverar patogener genom att påverka mikroorganismernas struktur eller metabolism; vanliga medel är starka baser/syror och oxiderande ämnen (Vinnerås et al., 2003). Urea (som bildar ammoniak) och perättiksyra bedömdes som mest realistiska för separerade fekalier med avseende på effektivitet, miljöpåverkan och genomförbarhet (Vinnerås och Jönsson, 2003).

Utöver att begränsa smittspridning är tryggad näringsförsörjning central för långsiktig samhällsresiliens – vid långvariga avbrott kan toalettavfall bli en lokal gödselresurs. Fosforkretsloppet är mycket långsamt och användningen överstiger nybildningen; gruvreserverna väntas nå sin topp omkring 2033 och blir sedan svårare att utvinna, samtidigt som brytning är resurskrävande (Rhodes, 2013). Återföring av fosfor behövs därför för hållbarhet och minskad övergödning. Kväve är däremot oftast mest begränsande; utan kvävegödsling minskar skörden redan första säsongen, medan fosforbrist ofta märks senare tack vare jordens lager (Ekelöf & Råberg, 2011). Ur beredskapssynpunkt bör tillgången till naturliga, resurssnåla kvävegödselmedel säkras för att upprätthålla livsmedelsproduktionen vid kris.

Denna artikel sammanfattar examensarbetet Krisberedskap för sanitetssystem: Utvärdering av behandlingslösningar för toalettavfall (Löfgren, 2025) som analyserar hur separerad insamling och lokal behandling kan utformas i svensk stadsmiljö vid längre bortfall av VA-försörjningen, med jämförelser mellan 500 respektive 10 000 pe. Ett långvarigt elavbrott används som illustrativt scenario, men slutsatserna gäller VA-bortfall oavsett orsak. För beräkningar, figurer och fullständig referenslista hänvisas till originalrapporten.

Metod

Krisscenariot som projektet utgick ifrån var ett långvarigt elavbrott vilket skulle medföra att de existerande VA-systemen inte fungerar. Fokus låg på lösningar för tätbebyggda stadsområden då behovet av hantering ansågs störst där. Baserat på scenariot utformades urvalskriterier för att kunna välja ut relevanta insamlings- och behandlingslösningar för analys. Urvalskriterierna avsåg separat insamling i lägenhetsmiljö, lokal behandling inom gångavstånd, oberoende av kontinuerlig el och vatten, hanterbara tillsatsmaterial samt minimerade importberoenden utanför EU.

En litteraturstudie genomfördes om patogener i respektive fraktion (urin och fekalier) och hygieniseringsprinciper för de utvalda behandlingsmetoderna. Underlaget omfattar bl.a. sammanställningar av exkretkomposition för massbalanser (Jönsson et al., 2005) samt studier på ammoniakhygienisering av fekalier, värmekompostering av fekalier och urinlagring i relevant skala (Nordin, 2010; Vinnerås, 2007; Vinnerås et al., 2008; Niwagaba, 2009).

Massbalansberäkningar utfördes för respektive behandlingsmetod vid 500 och 10 000 pe för att kunna kvantifiera inkommande flöden, tillsatsbehov, behandlingsvolymer och näringspotential för respektive metod. Resultaten används i den kvalitativa jämförelsen för att bland annat belysa skaleffekter; detaljerade formler utelämnas här.

Genomförbarheten av de tre metoderna och dess olika skalor utvärderades och jämfördes med en multikriterieanalys (MKA) mot kriterierna utrymme, processtekniska krav, personalbehov, omgivningspåverkan och näringsåterföringspotential vilket visas i tabell 1. Metoderna för fekaliebehandling utvärderades både baserat på metod och skala medan behandling av urin enbart undersöktes baserat på skala. Viktfördelningen sattes utifrån krisprioriteringar och testades i känslighetsanalyser för att pröva robusthet. Upplägget följer etablerade principer för MKA (Dodgson et al., 2009).

De olika alternativens prestanda för respektive kriterium sammanställdes, värdena enligt de angivna indikatorerna omvandlades sedan till poäng enligt de satta poängskalorna för varje kriterium. För samtliga kriterier, utom det för återföringspotential, gällde att ett högt indikatorvärde motsvarade en hög negativ

Tabell 1. Summering av de olika kategorierna, kriterier samt indikatorer för utvärdering av behandlingsmetoder.

Kategori	Kriterium	Sub-kriterium	Indikator
Genomförbarhet	Utrymmeskrav	Volymbehov	m^3
	Processtekniska krav	Antal process tekniska krav	st
	Personalbehov	Antal anställda	st/10 000 PE
		Kompetenskrav	Avancerad - Ingen
	Tillsatsmaterial	Mängd tillsatsmaterial	kg/ behandling * 10 000 PE
		Tillgänglighet av tillsatsmaterial	Svårt - Lätt
Social acceptans	Omgivningspåverkan	Påverkan från lukt	Hög påverkan - Ingen påverkan
Ekologisk hållbarhet	Återföringspotential	Gödslingsareal	ha/ 10 000 PE

påverkan. Därför användes följande poängskala (1–5) för att bedöma påverkan.

1 poäng = hög negativ påverkan
3 poäng = måttligt negativ påverkan
5 poäng = låg negativ påverkan

För kriteriet gällande återföringspotential motsvarade i stället ett högt indikatorvärde en hög positiv påverkan, vilket innebar att höga poäng tilldelas höga värden.

Vid poängsättning av kriterier som består av fler än ett sub-kriterium (personalbehov och tillsatsmaterial) användes en multiplikativ rangordningsmodell eftersom den totala påverkan på kriteriet är beroende av effekterna från båda sub-kriterier. Kriteriet poängsätts alltså baserat på produkten av poängen från sub-kriterierna s1 och s2. Totalpoängen för kriterier med två sub-kriterium bedömdes enligt följande:

1 poäng = $1 \leq s_1 \cdot s2 \leq 5$
2 poäng = $6 \leq s_1 \cdot s2 \leq 9$
3 poäng = $10 \leq s_1 \cdot s2 \leq 14$
4 poäng = $15 \leq s_1 \cdot s2 \leq 19$
5 poäng = $20 \leq s_1 \cdot s2 \leq 25$

I sammanvägningen av resultaten användes en additiv modell där varje kriteriepoäng multiplicerades med dess vikt och sedan summerades till ett slutbetyg där det är alternativet med högst slutbetyg som anses vara det mest fördelaktiga. Denna metod ger en tydlig överblick över alternativens relativa styrkor (Dogson et al., 2009).

Resultat

Utifrån urvalskriterierna valdes hushållsnära tvåkärlsinsamling (urin/fekalier) och tre behandlingsmetoder som uppfyllde samtliga urvalskriterier: värmekompostering (fekalier), ureabehandling (fekalier) och urinlagring. Alternativ som anaerob behandling och förbränning sorterades bort på grund av elberoende, och olika tillsatser för kemisk behandling som perättiksyra avfärdades av hanteringsskäl. Urvalet bekräftade att de tre behandlingsspåren möter kraven på separerad, lokal och i huvudsak el- och vattenoberoende hantering. Tvåkärlsinsamlingen underlättar behandling, koncentrerar smittrisken till fekaliefraktionen och förenklar korta transporter till närliggande behandlingspunkter.

I utvärderingen och jämförelsen med MKA framträder tydliga mönster mellan metoder och skalor. Ureabehandling av fekalier och var mest fördelaktig i 10 000 pe tack vare sluten process, kort behandlingstid och relativt små behandlingsvolymer, vilket ger god ytekonomi och begränsad luktpåverkan. Metoden är därför lämplig för mer centraliserad hantering; sårbarheten är tillgången på urea, vilket adresseras i diskussionsavsnittet.

Värmekompostering är fullt möjlig men mer yt- och arbetsintensiv. Krav på strukturmaterial, omblandning/luftning och temperaturhållning medför högre driftkänslighet och risk för lukt i tät stadsmiljö, särskilt vid uppskalning.

Urinlagring är robust och enkel i 500 pe-skalan när processen hålls sluten; vid 10 000 pe blir lagringsvolymerna väldigt stora och svåra att rymma i tätort.

MKA resulterade i att ureabehandling rankades högst för fekalier vid 10 000 pe, medan urinlagring bedömdes mest realistisk vid 500 pe. Värmekompostering föll tillbaka vid uppskalning på grund av utrymme, personalinsats och ventilationsbehov. Känslighetsanalyserna visade på stabil rangordning även vid ändrade viktfördelningar, vilket stärker slutsatsernas robusthet.

Diskussion

Resultaten visar att toalettavfallslösningar för krissituationer kan organiseras med standardiserade behållare och korta, lokala flöden. Vid behandling i större skala ger ureabehandling tydliga fördelar: slutna system minimerar lukt och exponering, processteg kan standardiseras i batcher och personalbehov per behandlad volym blir lågt. Sårbarheten är ureatillgången; rapporten antar EU-import men det rekommenderas att ha beredskapslager eller avtal, alternativt redundans via en mindre komposteringslinje. Storskalig ureabehandling kan göras i täta 10 m^3 containrar, medan småskalig kan ske i tätade sopkärl.

Värmekompostering passar där yta och struktur-

material finns och där arbetsinsats kan organiseras. Lokalt tillgängligt sågspån eller trädgårdsavfall kan stärka robustheten men kräver logistik och ventilationslösningar; kväveförluster bör beaktas och urin bör inte blandas in i kompostflödet.

En central praktisk utmaning är omblandning, utan maskiner blir både urea- och kompostbehandling arbetsintensiva. Lagerläggning av fekalier och urea samt tillsats av urin som källa till urea kan dock förbättra både omblandning och ureabehovet med samma hygieniseringseffekt (Fidjeland, 2010). Vid kompostering kan strukturmaterialet tillsättas redan i insamlingskärlen hos hushållen för att minska både lukt och omblandningsbehov.

Urinlagring är praktisk i mindre, distribuerade enheter. I större skala dominerar ytor och behållarkapacitet planeringen; en möjlig strategi är att endast en del av urinvolymen lagras för återföring av näring till jordbruk medan resterande volymer kan användas till icke-ätliga grödor om inte kräver hygienisering. Oavsett strategi krävs tydliga principer för uppställning, tätning och transportkedjor.

Styrnings- och ansvarsdimensionen innebär att kommunal beredskap behöver inkludera separat insamling och lokal behandling i risk- och sårbarhetsanalyser samt säkerställa tillgång till behållare, tillsatsmedel och personlig skyddsutrustning. MKA och känslighetsanalysen tydliggör att olika stadsdelar kan behöva olika lösningar: i en trång innerstad gynnar utrymmeskrav ureabehandling; i lägen med god tillgång på strukturmaterial kan kompostering vara ett rimligt komplement.

Slutsatser

Det är genomförbart att upprätthålla hygienisk hantering av toalettavfall vid bortfall av VA-system genom separat insamling och lokal behandling. I större skala framstår ureabehandling av fekalier som förstahandsval tack vare sluten, kompakt och snabb process; värmekompostering är ett verksamt alternativ i mindre skala där ytor och material finns; urinlagring är robust i mindre skala men volymstyrd i större. Kommunal beredskap bör därför förbereda platser, behållare och materialflöden samt bemannings- och arbetsmiljörutiner, med möjligheter att växla mellan lösningar efter lokala förutsättningar.

Referenser

Feachem, R. G., Bradley, D. J., Garelick, H. & Mara, D. D. (1983). Sanitation and Disease: Health aspects of excreta and wastewater management. No. 11616.

Dodgson, J. S., Spackman, M., Pearman, A. D. & Philips, L. D. (2009). Multi-criteria analysis: a manual. Wetherby: Communities and Local Government. ISBN: 978-1-4098-1023-0.

Ekelöf, J. & Råberg, T. (2011). Växtnäringens inflytande på skörd och kvalitet av potatis. Alnarp: SLU.

Fidjeland, Jorgen (2019). Quantitative microbial risk assessment of agricultural use of fecal matter treated with urea and ash. Examensarbete. Norwegain University of Life Science.

Johannesdottir, S., Nordin, A., Persson, E., Kusoffsky, E. & Johansen, A. (2023). Slamhygienisering – kartläggning och utvärdering av tekniker, (12), 72 s.

Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D. & Kärrman, E. (2005). Composition of urine, faeces, greywater and biowaste: For utilisation in the URWARE model, (12). Göteborg. Urban Water Report nr: 2005:6.

Löfgren, K. (2025). Krisberedskap för sanitetsystem: Utvärdering av behandlingslösningar för toalettavfall. Examensarbete vid Uppsala universitet.

McConville, J. R., Kvarnström, E., Nordin, A. C., Jönsson, H. & Niwagaba, C. B. (2020). Structured Approach for Comparison of Treatment Options for Nutrient-Recovery From Fecal Sludge. Frontiers in Environmental Science, 8. doi:10.3389/fenvs.2020.00036.

Niwagaba, C. B. (2009). Treatment Technologies for Human Faeces and Urine. Doktorsavhandling. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. ISBN: 978-91-576-7417-3.

Nordin, A. (2010). Ammonia Sanitisation of Human Excreta Treatment – Technology for Production of Fertiliser. Doktors avhandling. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.

Rhodes, C. J. (2013). Peak Phosphorus – Peak Food? The Need to Close the Phosphorus Cycle. Science Progress, 96(2), 109–152. doi:10.3184/003685013X13677472447741.

Singh, S., Mohan, R. R., Rathi, S. & Raju, N. J. (2017). Technology options for faecal sludge management in developing countries: Benefits and revenue from reuse. Environ mental Technology & Innovation, 7, 203–218. doi:10.1016/j.eti.2017.02.004.

Vinnerås, B. (2007). Comparison of composting, storage and urea treatment for sanitising of faecal matter and manure. Bioresource Technology, 98(17), 3317–3321. doi:10.1016/j.biortech.2006.07.011.

Vinnerås, B., Holmqvist, A., Bagge, E., Albihn, A. & Jönsson, H. (2003). The potential for disinfection of separated faecal matter by urea and by peracetic acid for hygienic nutrient recycling. Bioresource Technology, 89(2), 155–161. doi:10.1016/S0960-8524(03)00044-0.

Vinnerås, B. & Jönsson, H. (2003). Kemisk hygienisering av avloppsprodukter (VA-Forsk 2003-24).

Vinnerås, B., Nordin, A., Niwagaba, C. & Nyberg, K. (2008). Inactivation of bacteria and viruses in human urine depending on temperature and dilution rate. Water Research, 42(15), 4067–4074. doi:10.1016/j.watres.2008.06.014.