

Anja Weckman  
16.7.2005 Luopioinen

anja.weckman@puutarhaliitto.fi

## Ravinteet käymälästä peltoon

Yleistä virtsan, käymäläkompostin ja lietteen hyötykäytöstä

Virtsa on hyvä typpilannoite

Typpi virtsassa ammonium-muodossa

Muutkin ravinteet kasveille käyttökelpoisia

Haitta-aineita ja mikrobeja vähän

Varastoinnissa tärkeää typen säilyttäminen ja mikrobien tuhoaminen

Virtsan käyttö maataloudessa ja kotipuutarhassa

Levitys tyynellä ja kostealla säällä

Kiinteän ulosteen koostumus ja kompostointi

Käymäläkompostin hygienisoituminen

Hyötykäyttö maanparannusaineena kotipuutarhassa

Kirjallisuutta

### Yleistä virtsan, käymäläkompostin ja lietteen hyötykäytöstä

60 - 70 %, maatalouden ihmisravintoon tuottamista kasvinravinteista päätyy ihmisen ulosteisiin, enimmäkseen virtsaan. Tärkeimmät kasvinravinteet ovat typpi, fosfori ja kalium. Nykyään meillä ja muissa länsimaissa osa ravinteista palautetaan viljelysmaille yhdyskuntalietteen tai sakokaivolietteen muodossa. Viimeisen sadan vuoden aikana jätteiden käsittely on kuitenkin muuttunut ravinteiden kierrätyksen sijaan yhä enemmän yksisuuntaiseksi ravinnevirraksi viljelysmailta vesistöihin.

Yhden ihmisen käymäläjätteiden ravinnemäärät vuodessa ja niiden jakautuminen

	Virtsa		Kiinteä uloste		Käymäläjätteet
	Kg/hlö/a	%	Kg/hlö/a	%	
Tuorepaino	329-438		26-51		365-511
Typpi (N)	4,0	89	0,5	11	4,5
Fosfori (P)	0,4	67	0,2	33	0,6
Kalium (K)	0,9	69	0,4	31	1,3
Yhteensä NPK	5,3		1,1		6,4

Vesiviemärointi ei ole ravinteiden kierrätyksen kannalta paras mahdollinen ratkaisu, vaikka puhdistamolietettä levitetäänkin pelloille: Virtsa ja ulosteet sekoittuvat muihin yhdyskuntajätteisiin, harmaisiin vesiin, jolloin niiden lannoitearvo huononee merkittävästi. Laimentuminen laskee ravinnepitoisuutta, ja monenlaisia orgaanisia kemikaaleja sekä raskasmetalleja sekoittuu mukaan teollisuuden jätevesistä ja katuviemäriveresistä. Kaikkia ravinteita ja mikrobeja ei saada parhaissaakaan jätevedenpuhdistamoissa talteen, vaan osa joutuu vesistöihin. Fosforista ja biologisesta hapenkulutuksesta, eli mikrobeista saadaan poistettua yli 90%, jäteveden tyydestä noin 30%. Tästä suuri osa vielä haihtuu ilmaan lietteen stabiloinnin aikana. Typen lisäksi myös muita liukoisia ravinteita, kuten kaliumia menetetään stabiloinnissa.

Lietteen käyttö maataloudessa on vähentynyt 90-luvulla Suomessa ja muualla Euroopassa jyrkentyneiden asenteiden takia. Monissa maissa puhdistamolietteen käyttöä on jouduttu vähentämään myös suurten raskasmetallipitoisuuksien takia. Suomessa puhdistamolietteestä käytetään maataloudessa vajaa 40% ja maataloudessa ja viherrakentamisessa yhteensä noin 60%. Enimmillään puhdistamolietteen hyötykäyttö oli meillä 80-luvulla, jolloin noin 70% siitä hyödynnettiin. Lietteen laatu on kuitenkin Suomessa viime vuosina parantunut mm. teollisuuden jätevesien parantuneen valvonnan ansiosta. Meillä lietettä hyödynnetään edelleen enemmän kuin monissa muissa maissa. Esimerkiksi Ruotsissa lietteestä käytetään maataloudessa vajaa kolmannes, samoin Saksassa.

Kun ihmisen virtsa ja ulosteet pidetään erillään muusta jätteestä ja esikäsitellään huolellisesti, ne ovat hyvää lannoitetta ja maanparannusainetta. Kiinteät ulosteet ja virtsa voidaan käsitellä joko yhdessä tai erikseen. Makkilantaa käytetään nykyään lannoitteena lähinnä Itä-Aasiassa.

Virtsan erottelu ja lannoitekäyttö on hyvä ravinteiden kierrätystapa, koska virtsassa on suurin osa, 70 - 90 % ravinteista, eikä siinä juuri ole mikrobeja. Virtsan käsittely erillisenä on helpompaa kuin yhdessä ulosteiden kanssa, koska sitä ei riittävän varastoinnin lisäksi tarvitse muuten esikäsitellä ennen käyttöä lannoitteena. Virtsan käsittelyssä ja varastoinnissa on kuitenkin oltava tarkka, sillä typpi haihtuu virtsasta hyvin helposti. Jätevedenpuhdistamojen ravinnekuormitus vähenisi huomattavasti jo pelkän virtsan erottelun ansiosta, vaikka ulosteet huuhdottaisiin edelleen viemäriin. Toisaalta myös kiinteän ulosteen käsittely esimerkiksi kompostoimalla helpottuu, kun virtsaa ei ole seassa. Sen vuotuinen määrä on niin pieni, että haja-asutusalueella sijoituskohteiden löytyminen valmiille kompostille ei ole ongelma. Ulosteiden hyötykäyttö on hyödyllistä maan orgaanisen aineksen ja hyvän rakenteen ylläpidon kannalta sekä tietysti vesistöjen mikrobikuormituksen vähentämiseksi.

Suomessa ei ole vielä olemassa mitään virallisia ohjeita tai sääntöjä virtsan lannoitekäytöstä. Kotitarveviljelyssä (paitsi pohjavesialueella) kukin voi lannoittaa millä haluaa, kunhan naapurit eivät joudu kärsimään kohtuuttomista hajuhaitoista. Lannoiteasioita valvoo Kasvintuotannon tarkastuskeskuksen maanviljelyskemian osasto. Lannoitelaki koskee lannoitustuotteita, joita luovutetaan tai myydään eteenpäin. Ihmisen virtsalle ei ole vielä laadittu omia sääntöjä, eli se ei ole virallisesti maa- ja metsätalousministeriön lannoiteluettelossa oleva lannoitetuote, eikä sitä ole hyväksytty luomuviljelyn lannoitteeksi. Ruotsissa on virtsan lannoitekäyttöä kokeiltu, ja varsinkin ruotsalaiset luomuviljelijät ovat kiinnostuneita, koska luomutuotannossakin olisi tarvetta nopeavaikutteiselle typpilannoitteelle. Maa- ja metsätalousministeriön ja Kasvintuotannon tarkastuskeskuksen ohje yhdyskuntalietteen käytöstä vuodelta 2005 sanoo, että liete on käsiteltävä ennen peltovetivystystä esimerkiksi kompostoimalla, kalkkistabiloimalla tms. eikä sitä saa käyttää vihannes- eikä perunamaille.

### **Virtsa on hyvä typpilannoite**

Virtsaa voidaan pitää lähes täydellisenä ravinneliuksena, sillä se sisältää tasapainoisesti mikroravinteita ja sen makroravinteet ovat kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Raskasmetallien ja muiden haitta-aineiden pitoisuudet sekä mikrobien määrä ovat alhaisia. Virtsa, jota ihminen tuottaa vuosittain noin 400 kg ja josta 95 % on vettä, sisältää valtaosan ihmisen ulosteiden ravinteista. Tyyppistä on virtsassa noin 88 %, fosforista noin 67 % ja kaliumista noin 71 %.

Pääravinteiden määrät virtsassa ovat keskimäärin noin 4 kg tyyppiä, 0,37 kg fosforia ja 0,9 kg kaliumia henkeä kohti vuodessa. Helppoliukoisen tyyppien osuus on suuri verrattuna muihin orgaanisiin lannoitteisiin. Tyyppien ja kaliumin suhde on samaa luokkaa kuin monissa peltoviljelyn väkilannoitteissa tai sian lietelannassa. Fosforin määrä on kuitenkin melko alhainen, koska fosforista merkittävä osa eritetään kiinteään ulosteeseen. Virtsa on ravinnesuhteiltaan lähinnä typpilannoite.

### **Typpi virtsassa ammonium-muodossa**

Tuoreessa virtsassa 85 - 92 % tpeestä on ureana. (  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  ). Urea on amidi, ja sitä kutsutaan myös karbamidiksi tai virtsa-aineeksi. Se on elimistön proteiiniaineenvaihdunnan pääasiallinen lopputuote.

Urea hydrolysoituu ureaasientsyymin katalysoimassa reaktiossa ammoniummuotoon, ammoniumioneiksi ( $\text{NH}_4^+$ ) / ammoniakiksi ( $\text{NH}_3$ ). Monet virtsatie- ja suolistobakteerit erittävät ureaasia. Urean hydrolysoitumisen ammoniummuotoon on havaittu olevan hyvin nopeaa käytännön olosuhteissa, joissa on tutkittu erottelevista käymälöistä ja virtsasäiliöistä otettuja näytteitä. Virtsasäiliöstä, jopa suoraan käymälästä tulevasta putkesta otetuissa näytteissä ammoniumtyypen osuus virtsan kokonaistypestä on ollut 85 - 97 %. Mikrobeilla on tässä suuri merkitys, sillä steriileissä laboratorio-oloissa urean muuttuminen ammoniumiksi on hyvin hidasta varastointiolosuhteista riippumatta.

Urean hajoaminen ammoniummuotoon saa aikaan virtsan pH:n nousun, mikä johtuu reaktiossa muodostuvista hydroksidi- ja vetykarbonaatti-ioneista. Tuoreen virtsan pH vaihtelee normaalisti välillä 4,8 - 7,5, mutta yleensä se on noin 6. Varastoinnin aikana virtsan pH nousee noin 9:ään. Ammoniakin ja ammoniumin välinen tasapaino liuoksessa on pH:sta riippuva. Mitä korkeampi pH sitä enemmän ammoniakkia suhteessa ammonium-ioneihin. Liuoksessa oleva ammoniakki puolestaan on tasapainossa ympäröivän ilman kaasumaisen ammoniakin kanssa, eli sitä haihtuu herkästi. Tämä tasapaino on lämpötilasta riippuva, ja ammoniakkia haihtuu ilmafaasiin sitä enemmän mitä korkeampi on lämpötila ja mitä suurempi on konsentraatioero.

Helppoliukoisen ja kasveille välittömästi käyttökelpoisen ammoniumtyypen osuus virtsassa on suuri verrattuna muihin orgaanisiin lannoitteisiin. Ammoniumtppi muuttuu maassa nitraatiksi ( $\text{NO}_3^-$ ), joka sekin on helppoliukoista ja kasveille käyttökelpoista. Kasvien juuret joutuvat kilpailemaan ammoniumtyypistä maan mikrobien kanssa, ja kestää joitakin viikkoja ennenkuin nitrifikaatiobakteerien biomassaan sitoutunut tppi vapautuu nitraattina takaisin kasvien käyttöön. Väkilannoiteissa tppi on yleensä puoliksi nitraattina ja puoliksi ammoniumina. Väkilannoitetyypen hyväksikäyttö on tehokkaampaa kuin virtsan typen.

### **Muutkin ravinteet kasveille käyttökelpoisia**

Fosfori on virtsassa epäorgaanisina fosfaatteina ja kalium ionimuodossa, molemmat kasvien kannalta väkilannoiteravinteiden veroisia. Kasvit pystyvät hyödyntämään virtsan fosforin mahdollisesti jopa tehokkaammin kuin väkilannoiteforforin. Virtsassa on tasapainoinen määrä myös kaikkia muita makro- ja mikroravinteita. Rikin määrä virtsassa on samaa luokkaa kuin fosforin. Rikki on virtsassa sulfaattina kuten väkilannoiteissakin. Ammoniumin jälkeen runsaimmat ionit ovat kloridi ( $\text{Cl}^-$ ) ja natrium ( $\text{Na}^+$ ). Ihmisen virtsa on suolaisempaa kuin eläinten virtsa, ja siksi se ei ainakaan suurina määrinä ja jatkuvasti käytettynä sovellu kloorinarkojen kasvien lannoittamiseen. Virtsalla tehdyissä lannoituskokeissa ei ole kuitenkaan havaittu sen aiheuttaneen haittavaikutuksia kasveille edes suurina pitoisuuksina. Suomen humidissa ilmastossa ei maan suolaantumisesta ole vaaraa.

Käytännössä erottelevista käymälöistä tuleva virtsa esimerkiksi Ruotsissa tehdyissä lannoituskokeissa on koostunut virtsan ja huuhteluveden seoksesta, jossa virtsan ja veden suhde on ollut noin 1 : 1 - 1 : 2. Koska ulosteita sekoituu aina jonkin verran erotellunkin virtsan joukkoon, on virtsaa varastoitava noin 6 kuukautta ennen peltovetystä, jotta se hygienisoituu. Niinpä typen hävikkiä tapahtuu aina jonkin verran. Fosforia ja kaliumia ei juuri häviä. Jotkin aineet, kuten fosfori, kalsium, magnesium ja raskasmetallit sakkautuvat helposti säiliön pohjalle, joten virtsalios ei ole tasalaatuista, ellei sitä sekoiteta hyvin juuri ennen kuin säiliötä aletaan tyhjentää.

### **Haitta-aineita ja mikrobeja vähän**

Virtsassa on vähän raskasmetalleja ja muita myrkyllisiä aineita. Suomalainen ruoka sisältää vierasaineita melko vähän. Lisäksi munuaiset poistavat raskasmetalleja tehokkaasti, ja suurin osa haitta-aineista päätyy virtsan sijasta kiinteään ulosteeseen

Puhtaassa virtsassa mikrobeja on vähän. Useimmat ulosteen mikrobit kuolevat virtsaan jouduttuaan nopeasti. Tämä johtuu varastoidun virtsan korkeasta pH:sta ja suolapitoisuudesta. Korkea pH myös lisää ammoniakkin myrkyllisyyttä ja bakteereita sekä viruksia tappavaa vaikutusta. Mitä vähemmän huuhteluvettä käytetään, sitä väkevämpää virtsaliuos on ja sitä nopeammin mikrobit kuolevat. Virukset ja itiölliset bakteerit sekä gram-positiiviset bakteerit voivat kestää virtsassa kuitenkin melko pitkään. Virusten, varsinkin ihmiselle patogeenisten, elinikää virtsassa ei ole vielä riittävästi tutkittu. Myös monet alkueläimet muodostavat suoliston ulkopuolella kestromuotoja, kystejä, jotka voivat kestää epäsuotuisia oloja ja siten levitä virtsan mukana.

### **Varastoinnissa tärkeää typen säilyttäminen ja mikrobien tuhoaminen**

Virtsan varastoinnissa tärkeintä on, että haitalliset mikrobit kuolevat ja että typen määrä säilyy mahdollisimman suurena. Virtsaa suositellaan hygieniasyistä varastoitavaksi vähintään kuusi kuukautta ennen käyttöä lannoitteena. Välivarastoinnin avulla varmistetaan riittävä varastointiaika koko erälle.

Tarvittavan varastotilan ja mahdollisten kuljetuskustannusten minimoimiseksi sekä virtsan hygienisoitumisen kannalta olisi tärkeää, että huuhteluvettä käytetään mahdollisimman vähän.

Riski typen häviämiseen virtsasta varastoinnin aikana haihtumalla ammoniakkin muodossa on suuri. Varastointiolosuhteilla onkin ratkaisevaa merkitys virtsan arvoon typpilannoitteena. Ilmanvaihto ja säiliön ilmatilan suuruus sekä lämpötila virtsasäiliöön johtavassa putkessa ja itse säiliössä vaikuttavat ammoniakkin haihtumiseen. Tiiviissä säiliössä ilmafaasiin vapautunut ammoniakki estää lisähaihdunnan. Myös haihtuneella hiilidioksidilla on ammoniakkin haihtumista estävä vaikutus. Eläinten virtsalla tehdyt kokeet osoittavat, että ammoniakkaa voi avoimen säiliön nestepinnasta haihtua vuorokaudessa jopa 30 g / m<sup>2</sup>. Kelluvalla katteella kuten muovilla, lecasoralla, parafiiniöljyllä tai katolla katetusta pinnasta tappio on alle 5 g / m<sup>2</sup>. Tanskalaisessa kokeessa typpihäviö talven aikana vain sateelta suojatusta virtsasäiliöstä oli 49 % ja umpinaisesta kaivosta 4 %. Markkinoilla on myös täysin suljettuja PVC-muovisia virtsasäiliöitä, joista typen hävikkiä ei tapahdu lainkaan.

Virtsasäiliössä olevan virtsan pintaan syntyy vähätyppinen kerros, joka hidastaa ammoniakkin haihtumista. Niinpä virtsaliuoksen turhaa sekoittamista varastoinnin aikana tulisi välttää. Tapa, jolla virtsaliuos johdetaan säiliöön, vaikuttaa myös typpihäviöön. Tuloputken suun olisi oltava virtsasäiliön alaosassa. Näin vältetään suuren ammoniakkin konsentraatioeron syntyminen jatkuvasti liuoksen pintaan sekä suuren haihduttavan nestepinta-alan muodostuminen liuoksen valuessa säiliön ilmatilan halki. Putki ei kuitenkaan saa tukkeutua säiliön pohjalle muodostuvalla sedimentillä, joten tyhjennysputken on myös oltava lähellä tuloputken suuta. Osa ravinteista sakkautuu säiliön pohjalle, joten siinä vaiheessa, kun aiotaan levittää lannoitteeksi, voi sekoittaa.

Kokeissa, joissa on yritetty hapattavilla kemikaaleilla estää eläinten virtsan urean muuttumista ammoniummuotoon tai jo muodostuneen ammoniakkin haihtumista, on kemikaalien tehoa haitannut virtsan suuri karbonaateista johtuva puskurikyky. Sitä paitsi korkea pH on hyväksi virtsan nopean hygienisoitumisen kannalta. Virtsan kuivatus kuljetettavien määrien pienentämiseksi kuluttaisi paljon energiaa. Lisäksi pitäisi käyttää ammoniakkin haihtumista estäviä kemikaaleja.

Mikrobit elävät virtsassa yleensä sitä kauemmin mitä matalampi varastointilämpötila, mitä laimeampi liuos ja mitä enemmän orgaanista, hajotettavaa materiaalia on saatavilla. Optimaalinen pH useimmille suolistobakteereille on välillä 6 - 8, eli ne viihtyvät tuoreessa virtsassa, mutta alkavat kuolla, kun pH nousee. Auringonvalo tai UV-valo puolestaan nopeuttavat bakteerien kuolemista, koska säteily vaurioittaa niiden solukelmuja. Monet mikrobit kuolevat huomattavasti nopeammin +20 °C:een lämpötilassa kuin +4 °C:ssa. Tämä johtuu niiden elintoimintojen hidastumisesta alhaisessa lämpötilassa, jolloin ne kestävät paremmin epäsuotuisia oloja. Jotkin mikrobit toisaalta kuolevat pakkasessa, mutta eivät läheskään kaikki.

Liuoksen väkevyys ja korkea pH tappavat tehokkaasti gram-negatiivisia bakteereita, kuten Salmonellat ja kolit. Ne häviävät ruotsalaisten tutkimusten mukaan virtsaliuoksesta yleensä parissa kuukaudessa. Gram-positiivisten bakteerien, esimerkiksi fekaalisten streptokokkien, hävittämiseen virtsasta tarvitaan muutama kuukausi lisää varastointiaikaa. Niiden häviäminen on kuitenkin huomattavasti nopeampaa korkeammissa lämpötiloissa. Bakteerivirusten ei havaittu vähentyneen virtsassa 80 vrk:n varastoinnin aikana, joten myös ihmiselle patogeenisten virusten elinikää virtsassa pitäisi tutkia. Monilla viruksilla on tosin myös muita tehokkaita leviämistapoja ihmisestä toiseen. Niitä pääsee jäteveden mukana aina myös vesistöihin. Maassa niiden leviämistä ja siirtymistä kasveihin rajoittaa niiden adsorboituminen maahiukkasten pinnoille.

Eri mikrobilajien erilaisten elinolosuhteiden takia olisi virtsan hygienisoitumisen kannalta luultavasti eduksi, että varasto-olosuhteita muutettaisiin jossakin vaiheessa varastointia. Maanalainen säiliö on typen säilymiisen kannalta hyvä. Lämpötila pysyy viileänä ja suhteellisen vakiona läpi vuoden. Mikrobien häviämisen kannalta tällaiset olosuhteet eivät ehkä ole parhaat.

### **Virtsan käyttö maataloudessa ja kotipuutarhassa**

Kerätty virtsa pitäisi ensimmäisenä käyttää kotipuutarhassa ja kuljettaa kauemmas vasta tarvittaessa lisää maa-alaa.

Virtsan käyttö lannoitteena maataloudessa edellyttää, että eroteltua virtsaa on riittävästi ja oikeaan aikaan saatavilla kohtuullisella etäisyydellä tilalta. Käytännössä virtsa pitäisi etukäteen ajaa tilalla olevaan säiliöön, josta sen saisi nopeasti ajettua pellolle. Virtsaa voidaan levittää pellolle säiliövaunulla, kuten eläinten virtsa ja liete, tai kastelukaluston avulla. Lannan ja virtsan käyttö lannoitteena maataloudessa tulee yleensä kalliimmaksi kuin väkilannoitteiden käyttö, sillä se on laimeampaa, käsiteltävät tilavuudet ovat 40 - 200 kertaa suurempia kuin väkilannoitteita käytettäessä, käyttö vaatii investointeja varastotilaan ja koneisiin sekä huomattavasti enemmän työtä, koska lannoitus on tehtävä erillisenä työvaiheena. Keväällä se lisää muutenkin kiireistä työhuippua ja voi aiheuttaa satotappiota kylvön myöhästymisen tai maan tiivistymisen takia. Keväällä maa on yleensä kosteaa ja erittäin herkkää tiivistymään. Näin on erityisesti Etelä-Suomen savimailla. Mahdollinen sadonalennus aiheuttaa kustannuksia viljelijälle sitä enemmän, mitä paremman hinnan viljelykasvista saa. Jos maa tiivistyy, voi pellon kasvukunto heikentyä pitkäksi aikaa.

Ihmisvirtsa sopii ravinnesuhteiltaan sellaisenaan lannoitteeksi parhaiten suhteessa muihin ravinteisiin paljon tyypeä vaativille kasveille, kuten viljoille, heinänurmille (tai nurmikolle) ja öljykasveille. Orgaanisilla mailla, siis turve- ja multamailla voi pelkällä virtsalla lannoitettaessa tulla puutetta fosforista ja kaliumista. Kivennäismaat sisältävät näitä ravinteita yleensä luonnostaan runsaammin ja tyypeä taas alhaisesta eloperäisen aineen määrästä johtuen vähemmän. Niinpä kivennäismailla ei virtsan lisäksi välttämättä tarvitsisi antaa muita lannoitteita. Nurmenviljelyssä karjatiloiilla ei yleensä ole pulaa orgaanisista lannoitteista, joten todennäköisempää ihmisvirtsan käyttö olisi

kasvinviljelytiloilla, lähinnä viljanviljelyssä. Maatalouskäyttö edellyttäisi, että levityskalusto ja säiliö olisivat tilalla valmiina.

Maatalouden ympäristötuen ehtojen mukaan eläinten virtsaa tai puhdistamolietettä ei saa levittää routaantuneeseen tai lumipeitteiseen maahan. Joillakin pohjavesialueilla vesioikeus on kieltänyt eläinten virtsan levityksen. Puhdistamolietteen levitys pohjavesialueella on kielletty. Maatalouden ympäristötuen ehtoihin kuuluvat eri kasveille ja eri maalajeille annettavan typpi- ja fosforilannoituksen enimmäismäärät, jotka on otettava huomioon myös virtsaa levitettäessä. Lisäksi kaikkia, myös ympäristötukijärjestelmään kuulumattomia viljelijöitä, koskee typpilannoitusta rajoittava Valtioneuvoston päätös maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamiseksi.

Kloorinarat kasvit, kuten peruna, kurkku ja monet muut puutarhakasvit saattavat kärsiä ihmisvirtsan suuresta klooripitoisuudesta, vaikka virtsalla tehdyissä kokeissa ei tähän mennessä ole ilmeisesti haittavaikutuksia havaittu. Kloorivapaissa kemiallisissa lannoitteissa kloorin määrä ei saa ylittää 3 paino-%. Ihmisvirtsasssa klooria on noin puolet typen määrästä. Viljat, nurmet ja esimerkiksi sokerijuurikas kestävät klooria hyvin. Sokerijuurikkaan ja eläimille syötettävän nurmirehun laadun kannalta myös virtsan sisältämä reilu määrä natriumia voisi olla hyväksi.

Monet kasvit, esimerkiksi peruna, juurikasvit, marjakasvit ja hedelmäpuut, tarvitsisivat virtsan lisäksi erillistä fosfori- ja/tai kaliumlannoitusta maan ravinnetilan mukaan. Savimailla kaliumia on yleensä melko hyvin saatavilla. Viljoille virtsa olisi monilla kivennäismailla ravinnesuhteiltaan sopiva lannoite sellaisenaan.

Virtsan typpi ei tutkimustulosten mukaan ole käytännössä teholtaan väkilannoitetyypen veroista. Tämä johtuu siitä, että ammoniumtyppilannoitteiden teho yleensäkin on jonkin verran nitraattilannoitteita heikompi. Lisäksi, mikä ehkä tärkeintä, väkilannoitteen sijoitus kylvölannoittimella siemenen lähelle parantaa lannoitteen tehoa hajalevitettyyn virtsaan verrattuna. Sijoitus juurten ulottuville vaikuttaa erityisesti kasvun alkuvaiheessa ravinteiden saatavuuteen. Fosforin käyttökelpoisuuteen sijoitus vaikuttaa erityisen paljon, koska fosfori liikkuu maassa heikosti.

### **Levitys tyynellä ja kostealla säällä**

Levitystekniikka ja -ajankohta ovat tärkeitä virtsan typen hyväksikäytön kannalta. Virtsan huolimaton käsittely eri vaiheissa käymälästä ja varastoinnista levitykseen voi aiheuttaa jopa 90 % typpihävikin, jolloin lannoitearvo menetetään, ja typpikuormitus siirtyy vesistöistä ilmaan. Jos virtsa levitetään väärään aikaan tai sitä levitetään liikaa, typpeä myös huuhtoutuu nitraattimuodossa vesistöihin.

Lannoitus on ajoitettava siten, että viljelykasvi ehtii käyttää hyväkseen kaiken typen, ettei se huuhtoudu. Paras virtsan levitysaika typpihävikin minimoimiseksi on keväällä niin, että virtsa mullataan heti maahan. Näin typpi on heti kasvun alkuvaiheessa kasvin käytettävissä. Jos virtsaa levitetään syksyllä, on parempi odottaa myöhäissyksyyn. Aikaisin syksyllä levitettäessä ammonium ehtii muuttua nitrifikaatiobakteerien toiminnan tuloksena nitraatiksi, joka huuhtoutuu herkästi syyssateiden mukana. Lisäksi myöhäissyksyllä on kylmempää, mikä vähentää myös ammoniakin haihtumista levityksen yhteydessä.

Levityksen yhteydessä on kaikkein suurin ammoniakin haihtumisriski. Eläinten virtsasta ammoniakin hävikki pintalevityksen yhteydessä voi nousta jopa 80 %:iin. Hävikki jää kuitenkin peltoviljelyssäkin 5-10 %, jos levitetään sopivalla säällä ja mullataan pian levityksen jälkeen. Kotipuutarhassa käytettävillä menetelmillä hävikki voidaan saada todennäköisesti vieläkin pienemmäksi.

Peltolevityksessä vaikuttaa myös levitystekniikka typen hävikkiin. Hajalevittimellä roiskittaessa haihtuu enemmän ammoniakkia kuin letkulevittimellä suoraan maan pintaan tai sijoituslaitteella maan sisään levitettäessä.

Tuulisuus, ilman lämpötila ja ilmankosteus sekä maan lämpötila vaikuttavat ammoniakin haihduntaan. Tuulisella, lämpimällä ja kuivalla säällä haihdunta on suurinta ja tyynellä, viileällä ja kostealla säällä vähäisintä. Ammoniakin hävikin estämisessä olennaista on, että virtsa pitäisi saada nopeasti hyvään maakontaktiin ja imeytymään, ennen kuin se ehtii kuivua. Virtsa pitäisi aina pyrkiä levittämään mahdollisimman tyynellä ja kostealla säällä, ja paljaalle maalle levitettynä multaamaan nopeasti. Levitystä seuraavan tunnin aikana ammoniakin haihtuminen on nopeinta, koska konsentraatioero liuoksen ja ilman välillä on suurimmillaan. Maanpinnalle voi kotipuutarhassa vielä levittää jotakin katetta, esimerkiksi ruohosilppua tai kompostia, hajuhaitatkin vähenevät. Jos virtsaa levitetään kasvustoon, se on lehdistön alle sijoitettuna paremmassa suojassa kuivumiselta ja haihtumiselta kuin paljaalla maalla tai kasvuston pinnassa.

### **Mihin virtsa riittää**

Virtsa sisältää keskimäärin 11 g typpeä, 1 g fosforia ja 2,5 g kaliumia henkeä kohti vuorokaudessa. Oletetaan typen hävikiksi yhteensä vähän yli 20 %. 5 miljoonan suomalaisen virtsa sisältää siis 16 milj. kg N, 1,8 milj. kg P ja 4,5 milj. kg K vuodessa. Jos typpilannoitustaso on 90 kg / ha, lannoitetta riittää 178 000 ha:lle. Jos satotaso on virtsalla lannoitettaessa 3000 kg / ha, eli hiukan alempi kuin väkilannoitteilla, viljaa saadaan yhteensä 534 miljoonaa kiloa. Kaikkien viljalajien sato sekä leipäviljaksi että rehuksi oli Suomessa vuonna 2003 yhteensä 3744 miljoonaa kiloa. Noin 14 % vuotuisesta viljasadosta saataisiin siis lannoitettua virtsalla.

Se, miten paljon ravinteita kasvillisuus tarvitsee ja pystyy käyttämään, riippuu paikallisesta ilmastosta ja maaperästä, viljelykasvista sekä viljelyn intensiteetistä. Esimerkiksi Kiinassa, alueella jossa saadaan yksi sato vuodessa, makkilantaa on levitetty FAO:n mukaan 20-30 tonnia hehtaarille, mikä tarkoittaa, että yhden aikuisen tuotos on levitetty 250 - 300 m<sup>2</sup>:lle. Tämä on melko turvallisen kokoinen maa-ala, eli pohjaveden saastumisvaaraa ei vielä ole.

### **Virtsan hyötykäyttö kotipuutarhassa**

Niin kauan kuin virtsan erottelu on harvinaista ja tapahtuu yksittäisissä kotitalouksissa, jolloin virtsaliuosta tuotetaan suhteellisen pieniä määriä, on hyötykäyttö kotipuutarhassa järkevin vaihtoehto. Virtsaa voidaan levittää esimerkiksi nurmikolle, kukkapenkeille ja myös syötävälle kasveille. Virtsaa voidaan käyttää myös keittiö- ja puutarhajätekompostin lisäaineena tai kompostoitaessa kiinteitä ulosteita nopeuttamaan kompostoitumista. Hygienian varmistamiseksi virtsaa ei kannata käyttää kasvukauden aikana salaateille tai tuoreina syötävälle juureksille.

Laimentaminen kasteluveden kanssa parantaa ravinteiden imeytymistä maahan. Kasveille, joiden kasvukausi on pitkä, kuten nurmikolle, virtsa voidaan antaa useammassa erässä, koska sen tyyppi on nopeavaikutteisista. Syksyllä ei nurmikkoa eikä varsinkaan talvenarkoja kasveja kuitenkaan enää kannata lannoittaa virtsalla, sillä liiallinen typpi viivästyttää tuleentumista, eli kypsymistä ja huonontaa talvehtimistä. Nitraatin huuhtoutuminen vältetään, kun virtsaa levitetään kasvien tarpeen mukaan. Puhdistamolietteilä lannoitettaessa on ohjeiden mukaan talousveden hankintaan käytettävien kaivojen ja lähteiden ympärille jätettävä maalajista ja maaston kaltevuudesta riippuen vähintään 30 - 100 m:n suojakaista. Talvella virtsaa ei pidä kotipuutarhassakaan levittää, sillä silloin suurin osa tyypestä huuhtoutuu tai haihtuu.

Jotta kotitaloudessa kertynyt virtsa voidaan levittää puutarhaan, on puutarhan oltava riittävän iso. Maa-alan tarpeeseen vaikuttaa perheen koko sekä kotona oleskeltu aika vuorokaudessa. Jönsson ym. (1998) tutkivat kotona kerätyn virtsaliuoksen määrää kahdella asuinalueella Ruotsissa. Asukkaat olivat pääasiassa työssäkäyviä perheitä, joissa oli myös lapsia. Kotona kerätyn virtsaliuoksen määrä henkeä kohti vuorokaudessa oli noin 1,3 l, eli noin 480 l vuodessa. Tämä määrä sisälsi noin 1,6 kg typpeä. Virtsa sopii hyvin nurmikon lannoitukseen. Nurmikko ei tarvitse ravinteita kovin paljon, jos leikkuujäte jätetään nurmikolle. 1 kg typpeä aarille vuodessa riittää, ja korkeintaan 2 kg, jos leikkuujäte kerätään pois. Kasvimaalle virtsaa on levitettävä enemmän, koska sadon mukana viedään ravinteita maasta pois. Oletetaan, että virtsan tuestä haihtuu levitettäessä 10 %. Näiden tietojen pohjalta esimerkiksi nelihenkisessä perheessä kerätyn virtsaliuoksen ravinteiden hyödyntämiseen tarvittaisiin vähintään noin 600 m<sup>2</sup> nurmikkoa tai hieman vähemmän tehokkaasti viljeltyä puutarha-alaa.

Kloorinarkojen kasvien lannoitukseen virtsaa ei ehkä kannata käyttää pitkäaikaisesti suurina määrinä. Puutarhakasveista marjakasvit ovat herkkiä kloorille, mutta mustaherukka kestää sitä muita marjakasveja paremmin. Alppiruusut ja atsaleat ovat erityisen kloorinarkoja. Arkoja ovat myös mm. peruna, tomaatti, sipuli, pavut, kurkku, retiisi ja selleri. Vihanneksista hyvin klooria sietävät kaalit, pinaatti, punajuuri ja parsat.

### **Kiinteän ulosteen koostumus ja kompostointi**

Kiinteä uloste koostuu pääasiassa vedestä, ruuansulatuselimistössä sulamattomista kasvikuuduista sekä hajottajamikrobeista. Ihminen ulostaa vuodessa keskimäärin vähän yli 40 kg. Yhden ihmisen vuosituotos sisältää liukoista typpeä 0,09 kg, fosforia 0,19 kg ja kaliumia 0,17 kg. Kokonaistyyppipitoisuus on paljon liukoisen typen määrää suurempi. Fosforin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet ulosteessa ovat huomattavasti suuremmat kuin virtsassa. Virtsan mukana kuitenkin eritetään kaksi kertaa enemmän fosforia kuin ulosteessa. Ulosteen fosforista suurin osa on kalsiumfosfaattina ja vain vähän liukoisessa ionimuodossa. Kalsiumin ja magnesiumin vuosituotoksesta on ulosteessa suurempi osa kuin virtsassa. Raskasmetalleja ja muita haitallisia aineita kiinteässä ulosteessa on huomattavasti enemmän kuin virtsassa.

Tuore ulostegramma sisältää 100 - 1000 miljoonaa bakteeria, eli noin 25 % massasta. Siinä voi esiintyä myös patogeenisiä bakteereja. Ulosteissa esiintyy myös yli 100 erilaista virustyyppiä. Parasiiteista on yleisin alkueläin *Giardia lamblia*, jota on toistaiseksi tavattu Suomessa harvoin, mutta esimerkiksi Virossa se on hyvin tavallinen. Ulosteissa voi myös esiintyä matoja tai niiden munia.

Kiinteä uloste voidaan kompostoida yhdessä muun kotitaloudessa syntyvän orgaanisen jätteen kanssa erilaisia seosaineita käyttäen. Käymälän jätesäiliössä esikompostoitunut massa kompostoituu jälkikompostissa täydellisesti 6 - 12 kuukaudessa. Kompostoinnissa jätteen määrä vähenee 70 - 90 % biologisen hajoamisen ja veden haihtumisen seurauksena. Kompostoinnin onnistuminen riippuu hajottajamikrobien hyvinvoinnista. Prosessin kulkuun voidaan vaikuttaa säätämällä massan kosteutta, happipitoisuutta, lämpötilaa ja ravinnesuhteita. Kosteutta, ja sitä kautta happipitoisuutta, voidaan kompostikäymälöissä säätää lisäämällä kosteutta sitovia ja huokoisuutta lisääviä aineita, ilmastoimalla ja kastelemalla. Ilman saannin lisäksi prosessin käynnistyminen vaatii vähintään 10° C:een lämpötilan. Se on nopeimmillaan 45 - 55 °C:een lämpötilassa. Riittävä kosteus sekä hajottajamikrobeille tärkeiden ravinteiden tasapainoinen saanti, etenkin massan hiili/typpi -suhde on tärkeää kompostoinnin onnistumiselle.

Käymäläkompostin hiili/typpisuhdetta voidaan säädellä seosaineita käyttämällä. Uloste sisältää runsaasti hiiltä, joten sitä voidaan kompostoida käyttämällä suhteellisen vähän seosaineita. Jos massan

typpipitoisuutta halutaan lisätä, voidaan erottelevissa käymälöissäkin kompostin sekaan lisätä virtsaa. Liian suuri typen määrä kuitenkin lisää pahanhajuisen ammoniakkin haihtumista ja typpihävikkiä. Hiilipitoisia seosaineita ovat esimerkiksi hake, puunkuori, sahanpuru, turve ja lehtikarike. Orgaanisen materiaalin hajotessa hiiltä poistuu hiilidioksidina ja typpeä ammoniakkinä. Typpeä poistuu suhteellisesti vähemmän, joten kompostin C/N -suhde laskee kompostin kypsyessä.

Kompostimassan johtoluku laskee kompostoitumisen edetessä. Johtolukuun vaikuttaa liukoisten ionien määrä, ja johtoluku vaikuttaa siihen, kuinka väkevä kasvualusta komposti on kasveille, eli kestävätkö ne siinä nuutumatta.

### **Käymäläkompostin hygienisoituminen**

Kompostin on oltava riittävän suuri ja riittävän hyvin lämpöeristetty, jotta lämpöhukka ympäristöön ei ylitä jätteen hajotuksessa vapautuvaa energiamäärää. Tavallisesti käymäläkompostien lämpötila pysyy paljon toivotun hygienisoitumislämpötilan alapuolella. Pitkällä säilytysajalla tätä pystytään jonkin verran korvaamaan. Kompostin kääntäminen on myös tärkeää, jotta massa lämpenee ja hygienisoituu tasaisesti joka puolelta. Kompostia ei kuitenkaan pidä kääntää kiihkeän lämpövaiheen, ammonifikaation, aikana koska silloin ammoniakkinä haihtuu paljon. Kuitenkin kääntäminen on tehtävä kompostin ollessa vielä lämmin, koska joidenkin patogeenien tuhoutuminen riippuu enemmän lämpötilasta kuin mikrobitoiminnasta. Seosaineiden, esimerkiksi haravointijätteen, esikompostoituminen nostaa niiden lämpötilaa ja nopeuttaa siten kompostoitumisprosessin alkamista.

Hygieenisesti ehdottoman turvallista tuotetta ei saada kompostoimalla aikaan, mutta suolistoon sopeutuneille eliöille kompostiolosuhteet ovat yleensä hyvin epäsuotuisat. Anaerobiset tai anaerobisiin olosuhteisiin sopeutuneet mikrobit joutuvat tekemisiin hapen kanssa. Hapen lisäksi patogeeneja tappaa kompostissa korkea lämpötila, korkea pH, kilpaileva mikrobifloora sekä korkea ammoniumtyppikonsentraatio. Lämpötila on ehdottomasti tehokkain mikrobien tappaja. 60 - 70 °C tappaa kaikki patogeenit paitsi itiöitä muodostavien bakteerien itiöt. Lämpötilan noustessa kymmenellä asteella kompostointinopeus kaksinkertaistuu. Mikrobitoiminta kuitenkin hidastuu liian kuumassa, yli 60 °C, ja hajottajamikrobit saattavat jopa kuolla. Kun halutaan mahdollisimman korkea hygieniataso, on kuitenkin hyväksyttävä prosessin hidastuminen.

Arvioitaessa ihmisen ulosteiden lannoitekäytön aiheuttamia terveysriskejä, merkityksellisiä ovat ruuansulatuselimistön kautta infektoivat ja pitkään infektoimiskykyisinä säilyvät patogeenit. Tämänhetkisen tiedon mukaan jäykkäkouristus, Clostridium tetani, on epidemiologisesti merkittävin patogeeninen itiöitä muodostava ja sellaisena korkeita lämpötiloja esimerkiksi kompostissa kestävä bakteeri ulosteessa. Sitä esiintyy myös yleisesti hevosen lannassa sekä viljelymaassa. Se infektoi haavojen kautta, ja ennaltaehkäisy on rokotus. Myös alkueläimet muodostavat suoliston ulkopuolella kestromuotoja, kystejä, jotka saattavat kestää epäsuotuisia oloja pitkään.

Salmonella sp. ja monet muut bakteerit, virukset sekä loisten, kuten suolinkaisen munat ovat melko kestäviä muille ulkoisille olosuhteille, esimerkiksi jäätymiselle, mutta korkea lämpötila tuhoaa ne. Loisten munat tuhoutuvat nopeasti jo yli 30 °C:ssa. Lisäksi loisten munat tuhoutuvat myös kompostin pintaosissa yleensä nopeasti saalistuksen ansiosta.

### **Hyötykäyttö maanparannusaineena kotipuutarhassa**

Koska kiinteää ulostetta syntyy vähän, kuiva-aineeksi muutettuna vain noin 10 kg henkeä kohti vuodessa, on kompostointi ja käyttö maanparannusaineena kotipihaassa paras hyödyntämistapa.

Tällä hetkellä Suomessa yleisin tapa käyttää käymäläkompostia on levittää sitä pihan pensaiden juurelle tai joutomaalle. Haja-asutusalueella käymäläkompostille ei ole vaikea löytää paikkaa, koska vuodessa kertyvä määrä on melko pieni.

Käymäläkomposti on lähinnä maanparannusaine, joka lisää maan orgaanisen aineksen määrää ja parantaa siten välillisesti maan viljavuutta. Kompostoinnin aikana osa liukoisesta tyypeistä haihtuu ammoniakkinä. Kuitenkin käymäläkomposti on ravinteikkaampaa kuin keittiökomposti. Käymäläkompostin laatu maanparannusaineena riippuu myös hyvin paljon käytetyistä kuivikkeista ja seosaineista. Käymäläkomposti on kypsänakin yleensä useimmille kasveille turhan väkevää sellaisenaan kasvualustana käytettäväksi. Lisäksi pelkkä eloperäinen aines on kasvualustana kylmä. Kompostia voi esimerkiksi levittää parin sentin kerroksen maan pinnalle ja harata kevyesti pintamaahan. Jos on isohko kasvima, voi halutessaan levittää käymäläkompostia joka vuosi vain osalle alasta, johon kylvää jotakin ns. vihantalannoituskasvia. Vihantalannoituskasvi käännetään sitten syksyllä maahan, ja vasta seuraavana vuonna sen tilalle kylvetään syötäviä kasveja.

Valmis komposti tuoksuu mullalta, mutta kompostin kypsyttä voi testata myös esimerkiksi idättämällä siinä vihanneskrassin siemeniä: jos itävyys on lähellä 100 %, on komposti tarpeeksi kypsää. Komposti sopii erinomaisen hyvin käytettäväksi, kun valmistetaan kasvualustaa monivuotisille kasveille, kuten nurmikolle. Esimerkiksi kaali ja mansikka pystyvät erittäin hyvin käyttämään hyväkseen eloperäistä lannoitusta. Kaalilla orgaaniset lannoitteet parantavat erityisesti sen rakennetta.

## Kirjallisuutta

- Burström, A. & Jönsson, H. 1998. Dubbelspolade urinsorterande toaletter - driftserfarenheter och problemuppföljning. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, Rapport 229., Uppsala. 37 s.
- Burström, A., Jönsson, H. & Svensson, J. 1998. Mätning på två urinsorterande avloppssystem - urinlösning, toalettanvändning och hemvaro i en ekoby och i ett hyresområde. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. Rapport 228., Uppsala. 43 s.
- Claesson, S. & Steineck, S. 1991. Växtnäring, hushållning - miljö. Sveriges lantbruksuniversitet. Speciella skrifter 41. Uppsala. 69 s.
- Dalhammar, G.
- Diem, K. & Lentner, C. (ed.). 1971. Scientific tables. 7. painos. Basle. Switzerland. CIBA-Geigy Limited. 809 s.
- Drangert, J-O., Bew, J. & Winblad, U. 1997. Ecological alternatives in sanitation. Publications on water resources 9. Stockholm. Department for natural resources and the environment. Sida. 90 p.
- Elmquist, H. & Rodhe, L., Steineck, S., Linden, B. & Blomberg, M. 1998. Humanurin och rötresten till väskor, delrapport. Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala, Jordbrukstekniska institutet. 40 s.
- Fitschen, I. & Hahn, H. H. 1998. Characterisation of the municipal waste water part human urine and a preliminary comparison with liquid cattle excretion. Water Science and Technology 33 (6): 9 - 16.
- Flinck, A. 1982. Fertilizers and fertilization. Weinheim. Verlag Chemie. 438 s.
- Guyton, A. & Hall, C. 1994. Textbook of medical physiology. 9th ed. WB Saunders Company.
- Heinonen-Tanski, H. (toim.). 1994. Ulosteperäisten ja muiden hankalien jätteiden hyötykäyttö. Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitosten monistesarja 5 /1994. 86 s.
- Hellman, E. 1995. Gödsling med urin. Vänersborg. LRF Service väst ab. 23 s.
- Hellström, D., Johansson, E., Grennberg, K. 1999. Storage of human urine: acidification as a method to inhibit decomposition of urea. Ecological engineering 12 (3 - 4): 253 - 269
- JAAKKOLA, A. 1992. Kasvinravitsemus toim. kirjassa Maa, viljely ja ympäristö. WSOY, Porvoo, Helsinki, Juva, 334 s.
- KEMPPAINEN, e. 1992. karjanlanta ja muut eloperäiset lannoitteet toim. kirjassa Maa, viljely ja ympäristö. WSOY, Porvoo, Helsinki, Juva, 334 s.
- HELLSTRÖM, m. & Kärrman, E. 1996. Nitrogen and phosphorus in fresh and stored urine. Environmental research forum, vols 5 - 6, 1996. s. 221 - 226.
- Henze, M. 1997. Waste design for households with respect to water, organics and nutrients. Water Science and Technology 35, 9: 113 - 120

- Hoglund, C., Stenström, T. A., Jonsson, H. & Sundin, A. 1998. Evaluation of faecal contamination and microbial die-off in urine separating sewage systems. *Water Science and Technology* 38, 6
- Hovellius, K. 1997. Humanurin till åkermark - tekniska och ekonomiska aspekter. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. *Institutionsmeddelande* 97: 02. 28 s.
- Hänninen, K., Harju, K., Pietikäinen, S., Lahtinen, P., Jyränkö, P. & Mälkönen, P. 1987. Kompostien humustutkimus. 1 Kompostointiparametrit. Joensuun yliopisto. Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan raporttisarja 22. Joensuu. 119 s.
- Johansson, S. 1997. Urin från bostadsområde testad i fältförsök. Nedmyllning vid sådd ger god spannmålskörd. *Biologik* nr 2. s. 7 - 10.
- Jönsson, H., Olsson, A., Stenström, T. A. & Dalhammar, G. 1996. Källsorterad humanurin i kretslopp, förstudie i tre delar. Uppsala. 53 s.
- , Stenström, T. A., Svensson, J. & Sundin, A. 1997. Source separated urine - nutrient and heavy metal content, water saving and faecal contamination. *Water science and technology* 35, 9: 145 - 152.
- Kemira. 1997. Kasvukirja. Kemira Agro Oy. 159 s.
- Kirchmann, H. & Pettersson, S. 1995. Human urine - Chemical composition and fertilizer use efficiency. *Fertilizer Research* 40, 2: 149 - 154.
- KVARMO, P.
- Linden, B. 1997. Humanurin som kvävegödselmedel tilfört i växande gröda vid ekologisk odling av höstvetete och havre. Rapport 1, serie b, Mark och växter. Skara, Institutionen för jordbruksvetenskap.
- Maaseutukeskusten liitto. 1998. Nurmen viljely.
- Malkki, S. 1995. Kompostikäymäläopas. Työtehoseuran julkaisuja nro 342, 55 s.
- , Heinonen-Tanski, H. & Jantunen, P. 1997. Ympärikuotisten kompostikäymälöiden toimintavarmuus ja häiriöiden kartoitus. Suomen ympäristö 125. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto, 82 s.
- . 1999. The current situation and the legislation concerning the use of municipal organic waste in Finland. in Proceedings of NJF seminar 292. Danish institute of agricultural sciences, DIAS. report 13, Plant production. Use of municipal organic waste: 33 - 39.
- Mara, D. & Cairncross, S. 1989. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture. Geneva, World Health Organization. 187 p.
- Määttä, J. 1999. Ekologiset vesihuoltoratkaisut. VTT Rakennustekniikka, sisäinen raportti. 35 s.
- Olsson, A. 1995. Källsorterad humanurin - förekomst och överlevnad av fekala mikroorganismer samt kemisk sammansättning. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. Rapport 208. 41 s.
- OLSSON, A. & STENSTRÖM
- Paatero, J., LEHTOKARI, M. & KEMPPAINEN, E. 1984. Kompostointi. WSOY. Porvoo. 268 s.
- Rautanen, S. 1995. Vesihuollon nykytila Suomessa ja viidessätoista muussa Euroopan maassa. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 637. 155 s.
- Ridderstolpe, P. & Salomon, E. 1995. Östhammars kretsloppsverk. Teknisk rapport 2. Uppsala. Sveriges lantbruksuniversitet. 43 s.
- Rodhe, L. & Johansson, S. 1996. Urin - Spridningsteknik, ammoniakavgång och växtnäringsutnyttjande. JTI-rapport, Lantbruk & industri 217. Jordbrukstekniska institutet. 53 s.
- Saether, T. 1995. Tungmetaller og patogener i egn etter spredning av våtkompostert kloakkslamm. ITF rapport 70/1995. Norges lantbrukshogskole. Institutionen for tekniske fag. 21 s.
- Salkinoja-Salonen, M. 1983. Käymäläkomposti ja kompostikäymälä. julkaisussa Kompostikäymäläopas. Pehmeän teknologian seuran julkaisuja 10. 2. painos. s. 49 - 67.
- Thomsson, O. 1999. The current situation concerning the use of municipal organic waste in Sweden. in Proceedings of NJF seminar 292. Danish institute of agricultural sciences, DIAS. report 13, Plant production. Use of municipal organic waste: 28 - 32.
- Weckman, A. 2000. Ihmisen ulosteet lannoitteena, työtehoseuran monisteita 1/2000 (75)
- Viljavuuspalvelu oy. 1997. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. 28 s.
- Wahlström, E., Hallanaro, E-L. & Manninen, S. 1996. Suomen ympäristön tulevaisuus. Suomen ympäristökeskus. 272 s.
- Winblad, U. 1997. Towards an ecological approach to sanitation. Publications on water resources no 5. Department for natural resources and the environment. Sida. Stockholm. 13 s.
- Wolgast, M. 1993. Rena vatten. Uppsala. Creanom HB. 185 s.
- Ympäristöministeriö. 1991. Puhdistamolietteen käyttö maanviljelyssä. 43 s.