

生态卫生厕所系统的设计和性状

Petter D. Jenssen教授
挪威农业大学农业工程系
1430 Aas
petter.jenssen@itf.nlh.no

引言

家庭垃圾和食物处理工业垃圾中含有大量的植物养分和有机物 (Jenssen and Skjelhaugen 1994)。理论上讲, 家庭污水和有机垃圾中的养分足以供全世界人食用的农作物提供肥料。事实上, 城市消耗的水中, 20~40%用于水冲式厕所 (Gardner 1997)。为了社会的持续发展, 我们需要回收养分, 减少水的消耗, 并使处理垃圾所需的能耗降到最低程度。

在所有的污水中, 黑水 (厕所污水) 中含有90%的氮和80%的磷 (如果用的清洁剂不含磷)。另外, 污水中30~75%的有机物来自厕所中的粪尿 (Jenssen & Skjelhaugen 1994)。通过使用尿分离式、堆肥、或者高度节水的厕所, 养分可以收集并再利用 (Jenssen 1999)。浓缩的厕所和家庭有机垃圾也可以通过有氧和厌氧过程产出能量。在挪威, 主要的着重点是使用高度节水的厕所 (比如真空厕所) 和堆肥厕所。为了发展简单的中水 (除厕所外的生活污水) 处理系统 (如湿地、生物过滤器、土壤渗透系统或以上措施的综合系统等), 人们已经付出了大量的努力。

中水的处理是一个完整生态卫生系统的重要部分。Rasmussen et al. (1996)评估了挪威处理中水的各种系统。从那以后, 挪威利用简单的生物过滤器和地下水流入人工湿地, 不断地发展各种创新的中水处理系统 (Westlie 1997, Gulbrandsen 1999, Larsen 2000 and Heistad et al. 2001)。

本文旨在回顾挪威城市和农村地区, 满负荷源头分离“零排放”系统的设计和性状。着重论述了中水的处理系统。

黑水和有机垃圾的处理和再利用

利用真空和重力作用、每次冲水0.5~1.5升的厕所已在市场上有售。这种厕所每人每天产生5~7升黑水 (Gulbrandsen 1999)。而传统的水冲式厕所每人每天产生的黑水量是其6~15倍。使用这种1升型的水冲式厕所, 平均每户挪威家庭每年产生6~9立方米黑水。即使冲水量只有1升, 干物质 (DM) 的含量也通常低于1%。为了成功地利用液态堆肥这种挪威最常见的黑水处理方式, 必须在粪便中加入有机物 (Jenssen and Skjelhaugen 1994)。添加物如家庭有机垃圾、动物厩肥和来自食物处理工厂的残余物, 可以提高干物质含量以加速堆肥。已经发展了一种节能的液态堆肥装置 (Jenssen and Skjelhaugen 1994)。这种液态堆肥装置的流出物是卫生化的和无味的。如果利用堆肥过程中产生的热量, 这个装置在运行时还能生产出能量来。

一些小型分散化装置中的厌氧处理在挪威被认为是不经济的, 因为气候寒冷的挪威比气候温暖的地区需要更隔绝和更复杂的系统。然而, 厌氧过程吸引人的地方是气体的能量质量要优于热量。因此, 我们正在研究寒冷气候条件下小规模厌氧反应器。

另一个问题是经无害化处理的污水在农业上的应用。一个方法是直接将液体有机肥料注入土壤 (Morken 1998)。这种设备并不插入土壤, 而是利用压力将肥料注入土壤。这种系统的一个优点就是肥料直接接触土壤, 确保了氮的吸收。这可以将氮的流失量减少至15~20%, 而传统的地表喷洒方式造成的氮流失量为70~80%。这种设备也可能做到边注肥边播种。利用有机液体肥料注入土壤的方式所获得的作物产量可以与施用矿物肥料的常规方式媲美。

中水的处理

中水中含有少量的氮和磷，但含有大量的有机物 (Rasmussen et al. 1996) 和指标性细菌 (Rasmussen et al. 1996, Gulbrandsen 1999, Larsen 2000)。中水的处理需求取决于它最后的排放或使用。如果将污水排放到大海中，无需或者只需初级的处理就已足够。如果排放到内陆湖泊或者河流中，最好经过二次处理。这可以利用由Westli (1997) 或者Heistad et al. (2001)开发的简单生物过滤系统完成。如果将污水排放到小溪中或者用于灌溉和补充地下水，降低细菌含量就显得很重要。这可以利用沙过滤器或者生物过滤器和地下水流入人工湿地的组合装置来完成 (见表一)。

在有利的自然条件下，土壤渗透是一个费省效宏的选择 (Westby et al. 1997)。挪威已经制定了一套决定土壤渗透和沙过滤器系统尺寸和它的设计的标准 (Jenssen 1986, Jenssen and Siegrist 1991, MD 1992)。

物过滤器和利用轻集料 (LWA) 或者相似的多孔渗水介质的人工湿地 (Heistad et al. 2001, Jenssen and Krogstad 2001)。

单向生物过滤器在污水中充气，减少了生物需氧量 (BOD) 和细菌。这样，在其后面再加一个入渗系统就可以用于更大的处理强度 (Heistad et al. 2001)。使用单向生物过滤器也提供了就地自然系统的新型设计。在倾斜的地形下，这种过滤器可以通过使用一个虹吸管来运行。在中水处理强度达每天每平方米1.15立方米的条件下，使用这种过滤器可以降低70%的BOD和 10^2 - 10^5 的指标性细菌。假设每人每天产出100升中水 (见表二)，一个表面积为1平方米的生物过滤器可以处理约10个人的中水。这种生物过滤器成功运行的关键是液体均匀分布在过滤介质上和间歇性的流入剂量。

传统的土壤渗透方式在农村地区不可行，可以使用简单的生物过滤器、在土壤渗透前设生物过滤器，或者人工湿地系统。在城市地区，生物过滤器后再接一个地下水流入人工湿地的方式运行良好 (见表二)。

对于城市中的中水，可以设计一个紧凑型的轻质集料生物过滤器和人工湿地系统。加上一个生物过滤系统在内，总面积约为每人2平方米。湿地和生物过滤器的最小深度分别为1米和0.6米。利用这个配置，流出物的质量相当高 (见表一)。在挪威首都奥斯陆，来自33户公寓 (Klosterenga) 的生活污水处理后，质量可以作为公寓庭院中的游泳水 (见表一)。覆盖生物过滤器的面积用作了运动场。在夏季，由一个流动系统提供附加的充气 (Wilkes 1980)。计划将经过处理的污水排入当地的溪流。流出物的质量见表一。因为当地溪流或者水体可以接受这种处理过的出流，就不再需要二次污水处理系统了。

表一也显示了另两种满负荷中水处理系统的出流数值。挪威农业大学中的Kaja系统处理宿舍生活污水。在Bergen的Torvetua系统处理来自43个公寓的生活污水。所有这3个系统的主要设计结构是相同的。

表 1. 中水处理池的出流 (GSTE) 和三个生物过滤器/人工湿地系统最终流出物的平均值。

系统	建造年份	使用人数	中水处理池出流 BOD/COD	最终流出物 BOD/COD	中水处理池出流总氮	最终流出物总氮	中水处理池出流总磷	最终流出物总磷	最终流出物 TCB**
Kaja	1997	48	88	6	8,8	2,4	1,0	0,1	<1000
Torvetua	1999	130	346*	44*	5,5	2,2	0,89	0,19	<1000
Klosterenga	2000	100	未测到	22*	未测到	2,5	未测到	0,02	0

*COD, ** TCB=耐高温大肠菌

这些系统流出物和流入物的值都符合世界卫生组织制定的饮用水含氮量标准（小于每升10毫克）。其中磷的浓度也十分低，最终流出物中的磷浓度符合挪威制定的关于小型处理厂污水排入淡水的要求（小于每升1毫克）。中水处理池出流的TCB浓度为每100毫升 $10^4\sim 10^6$ 。而最终流出物中的细菌浓度符合欧洲的洗澡水标准（每100毫升小于1000TCB）。Klosterenga的所有样本一致显示，每100毫升TCB为0。如此好的效果可能归功于最新一代高度吸磷的轻质集料（Filtralite-PTM）。经过生物过滤器过滤和接着经过人工湿地，最终流出物就可排入当地的溪流、农田或地下水中。

水的消耗

传统厕所用水占了人均用水的20~40%（Gardner 1997）。表二显示了人均中水的产出量，变化在81升到133升。表二中挪威生态村项目的污水产出量为最小。在Kaja的宿舍，尽管使用了节水的淋浴器，生活污水的产出量还是较高。如果没有节水的淋浴器，每个学生每日的中水量为156升。这表明，学生宿舍产出的生活污水中，淋浴用水占了很大的比例。挪威的年轻人（15~25岁）通常比其它年龄的人群更常洗澡，且洗澡时间较长。这样，全部挪威人的平均中水产出量就相对较小。当Kaja的学生使用真空厕所（每次冲水1升）和节水淋浴器时，相比挪威的人均用水量，他们要少耗用27%的水。生态村的人们使用堆肥厕所，只消耗整个国家平均用水量的一半。

表 2. 家庭中每人每天的需水量（单位：升）

	挪威 ¹	美国 ²	挪威生态村 ³	Kaja ⁴
粪便污水	40	57	0	7
其它生活污水	120	133	81	112
总计	160	180	81	117

¹ Vråle 1987, ² Tchobanoglous 1998, ³ Kristiansen and Skaarer 1979, ⁴ Søyland 1998

结论

从挪威获得的经验显示，粪便污水和其它生活污水分开处理几乎可以达到“零排放”的目标。家庭有机垃圾可以与粪便污水一同处理，在产出能量的同时，生产肥料和土壤改良剂。连同节水装置，耗水量减少可达50%。即使在城市地区，技术简单的紧凑型生活污水处理系统也能实现污水的分散处理。这样运送未经处理污水的二级管道和抽水系统的需求就降低了。

参考资料

- Gardner, G. 1997. Recycling organic waste: From urban pollutant to farm resource. Worldwatch Institute, paper 135, 58 p.
- Gulbrandsen, A. 1999. A watersaving vacuum system for transport of blackwater and onsite treatment of greywater in a constructed wetland. M.Sc. Thesis. Dept. of Engineering, Agr. Univ Norway, Ås (In Norwegian).
- Heistad, A., P.D. Jenssen and A.S. Frydenlund. 2001. A new combined distribution and pretreatment unit for wastewater soil infiltration systems. In K. Mancl (ed.) Onsite wastewater treatment. Proc. Ninth Int. Conf. On Individual and Small Community Sewage Systems, ASAE.

- Jenssen, P.D. 1988. Design criteria for wastewater infiltration systems. In: R. Bahmidimarri (ed.). *Alternative wastewater treatment systems*. Elsevier, London, pp. 93 - 107.
- Jenssen P. D. 1999. An overview of source separating solutions for wastewater and organic waste treatment. . In: Kløve B et al. (eds.). *Management the wastewater resource. Proceeding s of the fourth international conference on Ecological Engineering for Wastewater Treatment*. Agr. Univ. Norway, Ås. June 7-11 1999.
- Jenssen P.D. and R. L. Siegrist 1991. Integrated loading rate detemionations for wastewater infiltration systems sizing. On-site wastewater treatment. Proc. 6th Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems. 16 –17 Dec. 1991 Chichago Illinois. ASAE Publ. 10-91, pp. 182-191.
- Jenssen, P.D. and O.J. Skjelhaugen. 1994. Local ecological solutions for wastewater and organic waste treatment - a total concept for optimum reclamation and recycling. Proc. Seventh International Symposium on Individual and Small Community Sewage systems, Atlanta, ASAE 18-94, pp. 379 - 387.
- Jenssen, P.D og T. Krogstad. 2001. Design of constructed wetlands using phosphorus sorbing lightweight aggregate (LWA). I: *Treatment wetlands in cold climate*, Mander Ü. og Jenssen, P.D. (eds.), Computational Mechanics Publ. (in Press).
- Kristiansen, R. and N. Skaarer 1979. BOV-vannets mengde og sammensetning. Vann no. 2, pp. 151-156.
- MD. 1992. Forskrift om utslipp fra separate avløpsanlegg. Ministry of Environment, Oslo, Norway.
- Morken, J. 1998. Direct ground injection - a novel method of slurry injection. Landwards, winter 1998, pp. 4-7.
- Rasmussen, G., P.D. Jenssen and L. Westlie. 1996. Graywater treatment options. In: J. Staudenmann, et al. ed. *Recycling the resource: Proceedings of the second international conference on ecological engineering for wastewater treatment*, Waedenswil, Switzerland, Sept. 18-22 1995. Transtec, pp. 215-220.
- Tchobanoglous, G. and R. Crites, 1998. *Small and decentralized wastewater management systems*. Mc Graw-Hill, Boston.
- Vråle, L. 1987. Forurensningsmodell for avløpsvann fra boliger – bestemme,se av spesifikke tall. NIVA rapport VA-6/87, Norwegian Institute of Water Research, Oslo.
- Westby, T., J.C. Møller, G. Ausland, L. Westlie og G. Rasmussen. 1997. Infiltrasjon av sanitæravløp i stedlige jordmasser. Jordforsk rapport nr 145/97.
- Westlie, L. 1997. Jordforsk-rapport nr 140/97. Rensing av gråvann i kompakte filtre for boliger og hytter.
- Wilkes, J. 1980. som stöd for det levende – Virbela flowforms. Balder 18/19 pp. 6-13, Järna Sweden.