

# DRUGAČNA EKOLOŠKA ČISTILNA NAPRAVA ZA ODPADNE VODE

*Urban PINTER<sup>1</sup> univ. dipl. inž. grad.*

Čiščenje odpadnih voda iz naselij je svetovni izziv sodobne civilizacije. Slovenija se je problema odplak pričela zavedati v devetdesetih letih prejšnjega stoletja, učinkoviteje pa smo se ga lotili šele po vstopu v EU. Pri gradnji čistilnih naprav se praviloma vedno pojavi težava z umestitvijo čistilne naprave v prostor, saj bi prebivalci radi, da bi bile kar se da oddaljene od njihovih domov. Seveda se z oddaljevanjem čistilnih naprav stran od naselij narava nadalje krni in iskanje boljših in sprejemljivejših rešitev je v ZDA pripeljalo do koncepta »Living machine« [1].

**Slika 1**  
Pogled na steklenjak čistilne naprave za odpadne vode »Living machine« oziroma živi stroj



Living Machine združuje več poznanih tehnologij mehanskega in rastlinskega čiščenja odpadnih vod, posebnost pa je, da postavlja čistilno napravo v zgradbo, praviloma rastlinjak ali celo v avlo, kot je primer občinske stavbe v San Franciscu (slika 8). Zaradi možnosti uravnavanja temperature, poteka biološko čiščenje nepretrgoma in se pozimi ne upočasnjuje. »Living machine« je naprava, ki v sodobno tehnologijo združuje interdisciplinarna znanja mnogih strok, saj temelji na razumevanju bioloških in kemijskih procesov, ki poteka v naravi, kot tudi na razumevanju socialnega in arhitekturnega stanja okolice v katerem se naprava nahaja. Posledica te interdisciplinarnosti je, da postanejo odpadne vode družbeno sprejemljivejše in jih ni potrebno skrivati v podzemlje. Zato je »Living machine« več kot komunalna infrastruktura ali nov model ekološke čistilne naprave. Je plod odgovorne

filozofije odnosa človek – okolje. V tem članku predstavljeno čistilno napravo »Living machine«, ki je lahko vidimo v vasi Findhorn na severu Škotske, kjer je bila zgrajena leta 1995 kot prvi tovrstni projekt na evropskih tleh.

Inženirji tehničnih strok spoznamo v poklicnem življenju nešteto novih tehnologij, pristopov, inovativnih rešitev, domiselnih izumov, izboljšav postopkov in nove materiale. Praktično vsakodnevno smo zasipani z različnimi informacijami o obstoju in uporabi inženirskih orodij, novih pristopih in metodologijah, novih materialih, ponudnikih, spremembah zakonodaje, organizaciji dela itd. A kvantiteta podatkov ni sorazmerna s kvaliteto, še posebej takrat, ko moramo neko tehnološko rešitev implementirati v domače okolje. Predvsem računalniški razvoj je dal našemu delu izjemne možnosti pridobivanja informacij in spoznavanja dobrih praks. Prav pri njih nas pogosto prej navduši elegantnost preproste rešitve, kot zamotana tehnološka dovršenost. Preproste rešitve so običajno poceni, učinkovite in domiselne, zato velja misel, da je genij tisti, ki zna problem s sto neznankami poenostaviti v eno enačbo, ne pa tisti, ki sto neznank ustvari.

Da bi znali rešiti kompleksne probleme je potrebno »izstopiti« iz okvirjev svojega znanja in pogledati stvari iz drugih zornih kotov. To se mi je ponovno utrdilo med strokovno ekskurzijo na Škotsko, kjer sem bil letos septembra. V sklopu programa vseživljenjskega učenja Leonardo da Vinci je ekskurzijo na slovenski strani organizirala Vitra Cerknica, na škotski pa ARCH, Comrie. Med udeleženci so bili predstavniki različnih strok, tako iz javnih ustanov, kot tudi iz zasebnih podjetij, ki so prihajali predvsem iz Notranjske, pa tudi iz goriškega, Vrhnike in Brezovice pri Ljubljani. Predmet navdušenja desetih udeležencev je bil predvsem ogled čistilne naprave »Living machine«.

Namen ekskurzije je bil izmenjati Škotsko in Slovensko prakso gospodarjenja z energijo, kot jo v Sloveniji vključuje LEK (Lokalni energetski koncept). Del programa je bil namenjen tudi obisku naselja Findhorn, ki letos praznuje 50 let obstoja. Nekoč spiritualno – dobrodela organizacija, je začela po letu 1980 preraščati v izobraževalno

<sup>1</sup> Stara vas 3,  
6230 Postojna  
urban@mikelis.si

institucijo, katero letno obišče več deset tisoč obiskovalcev. Projekt Findhorn Ecovillage (ekološka vas Findhorn), kot ga poznamo danes, živi trajnostno v smislu okoljskih, socialnih in ekonomskih vidikov. Nekateri ga imenujejo živ laboratorij ali eksperiment. Razlog preobrata je bil v prepričanju prebivalcev, da hočejo živeti sodobno s čim manj vpliva na okolje. Ekološki odtis so uspeli zmanjšati na polovico britanskega povprečja, brez zmanjšanja življenjskega standarda (več na New Findhorn association, 2012). Eden prvih skupnih dosežkov je bil izgradnja komunalne čistilne naprave za odpadne vode iz naselja, poimenovane »Living machine« ali slovensko »živi stroj« (slika 1). Projekt je izvedlo podjetje Living Technologies Ltd., Findhorn, Škotska (Living technologies Ltd., 2012) na podlagi tehnologije kanadskega biologa dr. John Todd-a (Wikipedia.org – John Todd, 2012). Atraktivnost te naprave je v pristopu k reševanju problematike in v načinu umestitve v prostor. Čistilna naprava je namreč izvedena kot rastlinjak in - če ne prebereš tablice na vhodu - niti poznavalcu po vstopu ni takoj jasno, da je to čistilna naprava za odpadne vode.

#### Delovanje »Living machine«

Čistilna naprava se nahaja na spodnjem robu naselja v rastlinjaku velikosti 10 x 30 m. Kapaciteta čiščenja je za približno 330 ljudi ali 65 m<sup>3</sup> odpadne vode na dan. Prvi del čistilne naprave so trije anaerobni bioreaktorji (slika 2). Ti so zakopani pred rastlinjakom in popolnoma skriti v naravnem okolju. Rastlinjak je zgrajen iz galvaniziranih jeklih profilov, stene so zastekljene iz 10 mm polikarbonata, streha pa iz visoko propustnih steklenih panelov z zelo dobro izolativnostjo, ki se drugače uporabljajo tudi za sprejemnike sončne energije.

Funkcija anaerobnih bioreaktorjev je podobna kot pri običajnih septičnih rezervoarjih. V njih se z razgradnjo oziroma z usedanjem iz odplak izloči organski in anorganski material. Za razgradnjo organskih snovi skrbijo predvsem anaerobne bakterije, ki uspevajo v odpadni vodi brez prisotnega kisika. Iz anaerobnih rezervoarjev gre delno prečiščena voda v štiri zaprte aeracijske rezervoarje v rastlinjaku (slika 4). Bazeni imajo premer približno 3 m in višine prav tako 3 m, pri čemer je spodnja polovica vkopana v zemljo. V bazenih se voda čisti s pomočjo vpihanja kisika, oziroma bolje s pomočjo bakterij, ki živijo v odpadni vodi bogati s kisikom. Bakterije so naseljene predvsem na koreninah rastlin, ki so nasajene v posebnih mrežastih koših, tako da so v celoti potopljene v vodi. V tej fazi se zmanjšuje količina suspendirane snovi in biokemijska potreba po kisiku, hkrati pa poteka tudi naravni proces nitrifikacije amoniaka. Glavna naloga rastlin



**Slika 2**  
Anaerobni rezervoarji pred rastlinjakom so prekriti z zemljo in zatravljeni



**Slika 3**  
»Living machine« od znotraj, kjer vidimo dve liniji aeracijskih rezervoarjev



**Slika 4**  
Zaprti aeracijski rezervoar, preko sive cevi se dovaja odpadna voda, zrak pa se vpahuje od spodaj

v rezervoarjih je, da nudijo bakterijam ugoden življenjski prostor, sekundarna funkcija pa je, da konzumirajo hranila in kovine v vodi ter da dajejo možnost izmenjave kisika pri bioloških procesih v rezervoarjih. Po obdelavi v aeracijskih rezervoarjih se voda prečrpa v usedalnik oziroma bistrilnik. V usedalniku se trdni delci (predvsem bakterije iz aeracijskega rezervoarja) usedejo in nato vrnejo v primarni anaerobni bioreaktor.

Po usedalniku se voda prečrpa v tri filtrirne rezervoarje, kjer so sredinski filtri napolnjeni z lahko

porozno kamnino (slika 5). Rezervoarji lahko delujejo popolnoma anaerobno, delno anaerobno ali aerobno, saj imajo nameščene črpalke za kroženje vode z malo kisika (delno aerobno stanje), kot tudi šobe za vpihovanje zraka za popolnoma aerobno stanje. Možnost nastavitve filtrirnih rezervoarjev zagotavlja operaterju naprave dodatno fleksibilnost, saj lahko napravo popolnoma prilagodi potrebam odpadne vode. Ker je delež prostega kisika po dotoku iz bistrilnika blizu ničle, deluje prvi filtrirni rezervoar najpogosteje

anaerobno, predvsem za potrebe dodatne denitrifikacije odpadne vode. Drugi rezervoar običajno deluje aerobno, da se nitrificira preostali amoniak, ki je še ostal v odpadni vodi. Tretji rezervoar nato ponovno deluje anaerobno, za končno denitrifikacijo in poliranje vode.

Pri aerobnem delovanju črpalke vpihujejo zrak v rezervoar od spodaj. Ta potiska vodo navzgor proti površini, medtem ko se na drugi strani pretaka navzdol po filtru. Voda večkrat zaokroži preko filtra, običajno se nastavi reciklirni krog do 100 – kratnika pritoka vode v rezervoar. Aerobno delovanje zmanjšuje biološko potrebo po kisiku v vodi, zmanjša količino suspendirane snovi in nitrificira vodo. Pri anaerobnem delovanju mehanične črpalke črpajo vodo čez filter navzgor, pri čemer je površina rezervoarja zaraščena z rastlinami kot sta plavajoča praprotnica (azolla) in vodna preslica. Te predvsem preprečujejo sončni svetlobi, da pri prodrla v rezervoar in omogočila rast alg. Ključne prednosti tovrstnega čiščenja vode so (Living technologies Ltd, 2012):

- ugodno stabilno območje za rast bakterij z visokom površinskim izkoristkom,
- zelo hitro izmenjevanje vode preko površin z biologijo,
- direktna poraba  $\text{NH}_4$  in  $\text{NO}_3$ ,
- ciklična nitrifikacija in denitrifikacija vode,
- podpira daljšo življenjsko dobo rastlin in koreninskih sistemov,
- samoočiščevalna sposobnost naprave.

Ko odpadna voda potuje od rezervoarja do rezervoarja je vedno čistejša. Različne stopnje onesnaženosti odpadne vode dajejo tudi različne pogoje za življenje. Če so v prvih rezervoarjih predvsem bakterije, so v naslednjih naseljene tudi drugi organizmi kot so alge, polži in ribe. S tem se ustvari primerno bivalno okolje živih organizmov, ki izvajajo naravne procese razgradnje odpadnih snovi z veliko večjo intenzivnostjo. Tehnologija »Living machine« ni samo sposobna doseči predpisanih okoljevarstvenih standardov za izpustne odpadne vode, temveč se čiščenje izvaja popolnoma brez kemikalij. Sposobnost čiščenja tovrstne naprave je navedena tabeli 1.

#### Delujoči »Living machines«

Na svetu deluje že najmanj 27 »Living machines« ([http://en.wikipedia.org/wiki/Living\\_machines](http://en.wikipedia.org/wiki/Living_machines)), razvija pa se mnogo različic teh naprav. Predvsem so zanimive tiste, ki so nameščene kar v večjih zgradbah kot npr. na sliki 8 v San Franciscu ali v novi stavbi fakultete za okoljske vede v Oberlinu, Ohio (Solaripedia, 2012). Žal nisem uspel pridobiti informacij kakšni so bili stroški investicij v te naprave in kakšni so stroški

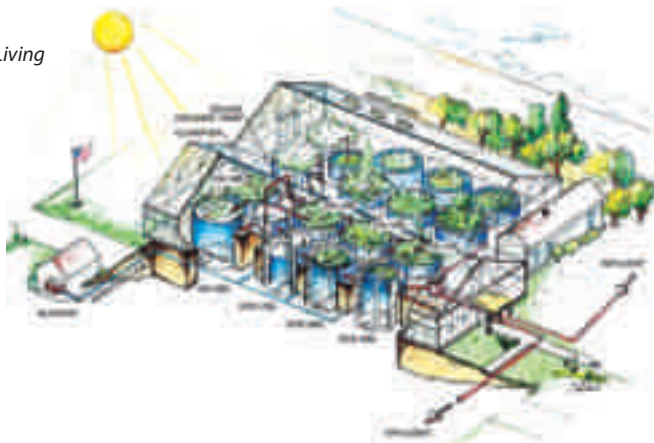
**Slika 5**  
Filtrirni rezervoarji; odpadna voda priteka v prostor med zunanjim in notranjim obročem rezervoarja, v osrednji delu se vpihuje zrak, ki dviguje vodo, da kroži



**Slika 6**  
»Ribnik« pred iztokom prečiščene vode nazaj v naravo ima funkcijo končnega »poliranja« vode, ribe v njem pa služijo tudi kot kontrola učinkovitosti čiščenja odpadne vode



**Slika 7**  
Prezrez primer »Living machine« iz ZDA



obratovanja. Glede na podatke ameriške naravovarstvene agencije (US EPA, 2002) so čistilne naprave »Living machine« finančno konkurenčne do kapacitete približno 2200 m<sup>3</sup> odpadne vode dnevno (približno za 14.500 prebivalcev). V kolikor pa so postavljene v toplejših krajih, kjer ne potrebujejo varovalnega rastlinjaka pa do 3750 m<sup>3</sup> odpadne vode dnevno oziroma za približno 25.000 prebivalcev. Po oceni naj bi bila investicija v »Living machine« cenejša do 20 % od konvencionalne naprave, manjši pa bi naj bili tudi stroški vzdrževanja.

### Zaključek

Delovanje čistilnih naprav je zasnovano na posnemanju bioloških in kemijskih procesov zgradnje v naravi. Da bi bili ti procesi konstantni (kot je konstantno naše onesnaževanje) so elementi naprave »Living machine« zavarovani z rastlinjakom, ki omogoča nadzorovano uravnavanje temperature in zračenje. Osnovna naloga naprave je, da očisti odpadno vodo hranil in da spremeni amoniak (NH<sub>4</sub>) v nitrate (NO<sub>3</sub>), kar ji uspeva z množico bakterij v bioreaktorjih. Nitrati so hrana algam in gnojilo vodni preslici. Alge so hrana živalskemu planktonu in polžem, živalski plankton pa je hrana ribam. Rastline kot so jezerski biček, rogoz in vodna hijacinta pretvorijo strupene snovi v nenevarne, lesnate rastline pa absorbirajo težke kovine. Stranski produkt čistilne naprave »Living machine« so tako le okrasne rastline in majhne ribice, oboje pa se lahko prodaja (ribice predvsem kot vaba pri ribolovu).

»Living machine« je zanimiv zaradi enostavne delovanja, predvsem pa zaradi domiselnosti umestitve naprave v življenjsko okolje prebivalcev. Kdor se ukvarja s področjem opremljanja naselij in s tem povezanim odvajanjem in čiščenjem odpadnih voda ve, da običajno prebivalcem odpadna voda (dokler jim ne začne smrdeti iz greznice) sploh ne predstavlja problema. Mnogim se kanalizacija ne zdi potrebna, čistilno napravo pa večina gleda le kot izvor obremenjevanja okolice. Kar ponuja »Living machine« v primerjavi s klasičnimi napravami za čiščenje odpadne vode je ravno to sožitje med napravo, okoljem in ljudmi. Objekt že zaradi zunanlega izgleda ne asocira na odpadno vodo, zato tudi ljudem ni moteč. V okolici smradu praktično ni, zaprt objekt in tehnologija pa dajeta upravljavcu možnost absolutnega kontroliranja mikroklimne naprave, kar je običajna težava ob ekstremno vročih ali mrzlih dneh pri konvencionalnih napravah. Bistveno sporočilo te naprave ni tehnologija, temveč svoboda ustvarjalnosti, ki je projektantu omogočila stopiti iz okvirja konvencionalnega znanja in obravnavati problematiko celostno, ne

|    |                                  | vtok, mg/l | iztok, mg/l |
|----|----------------------------------|------------|-------------|
| 1. | biološka potreba po kisiku (BPK) | 250        | 10          |
| 2. | suspendirane snovi               | 160        | 10          |
| 3. | skupna vsebnost dušika           | 40         | 10          |
| 4. | amoniak                          | 50         | 2           |
| 5. | nitriti                          | 0          | 5           |
| 6. | fosfor                           | 7          | 5           |

**Tabela 1**  
Rezultati čiščenja odpadne vode za napravo v Fildhornu



**Slika 8**  
Leta 2011 zgrajena »Living machine« v predverju občinske stavbe v San Franciscu

samo tehnično. Njegov cilj – očistiti odpadno vodo iz gospodinjstev - ni bil usmerjen le v izgradnjo čistilne naprave, ampak je tehnično funkcijo naprave inovativno združil v funkcionalen sistem, ki je ljudem uporaben, sprejemljiv in zanimiv. ■

#### Viri in povezave:

- Findhorn Foundation. 1996. The Living Machine at the Findhorn Foundation, letak, Findhorn, Škotska
- New Findhorn Association. 2012. Pridobljeno 26.10.2012 na: <http://www.findhorn.com/nfa/Main/HomePage>
- Living technologies Ltd. 2012. Pridobljeno 26.10.2012 na: <http://www.ltluk.com/>
- Living machine systems, L3C. 2012. pridobljeno 26.10.2012 na: <http://www.livingmachines.com/>
- Wikipedia.org – John Todd. 2012. Pridobljeno 26.10.2012 na: [http://en.wikipedia.org/wiki/John\\_Todd\\_\(biologist\)](http://en.wikipedia.org/wiki/John_Todd_(biologist))
- John Todd ecological design. 2012. Pridobljeno 02.11.2012 na: <http://www.toddecological.com/eco-machines/>
- Wikipedia.org – living machines. 2012. Pridobljeno 26.10.2012 na: [http://en.wikipedia.org/wiki/Living\\_machines](http://en.wikipedia.org/wiki/Living_machines)
- Inhabitat.com. 2012. Pridobljeno 02.11.2012 na: <http://inhabitat.com/wastewater-treatment-plant-in-san-francisco-is-a-gorgeous-indoor-wetland/>
- Solaripedia. 2012. Pridobljeno 05.11.2012 na: [http://www.solaripedia.com/13/38/397/oberlin\\_college\\_living\\_machine.html](http://www.solaripedia.com/13/38/397/oberlin_college_living_machine.html)
- Facebook – living machine. 2012. Pridobljeno 05.11.2012 na: <http://www.facebook.com/livingmachinesystem?ref=ts&fref=ts>
- US EPA. 2002. Wastewater technology fact sheet: The living machine. Pridobljeno 25.11.2012 na: [http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002\\_12\\_13\\_mtb\\_living\\_machine.pdf](http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002_12_13_mtb_living_machine.pdf)
- Todd, J. Josephson, B. 1996. The design of living technologies for waste treatment. Ecological Engineering 6 (1996) 109-136.
- [1] »Living machine« je blagovna znamka Living Machines Inc., New Mexico, ZDA

#### Slike in tabela:

- Slika 1, slika 2, slika 3, slika 4, slika 5 in slika 6: Urban Pinter
- Slika 7: John Todd ecological design, 2012
- Tabela 1: Living technologies Ltd., 2012
- Slika 8: Inhabitat.com, 2012