

RUSALCA LIFE12 ENV/SI/000443 "Nanoremediation of water from small waste water treatment plants and reuse of water and solid remains for local needs"



Poročilo o začetni študiji

Initial Study Report

(Deliverable of Action A.1)

Ljubljana, December 2013

Avtorji:

Ana Mladenovič, Primož Oprčkal, Alenka Mauko Pranjič, Peter Nadrah, Andijana Sever Škapin, Iztok Kovačič, Peter Geršič, Radmila Milačić, Janez Ščančar, Zvonko Cotič, Alenka Kotar, Mirko Šprinzer.

Partnerji projekta RusaLCA:

- Zavod za gradbeništvo Slovenije (koordinator)
- Esplanada,
- Structum,
- Vekton,
- Občina Šentrupert,
- Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano
- Institut Jožef Stefan.

Spletna stran projekta: <http://www.rusalca.si/si/>

Študija je bila pripravljena v okviru projekta RusaLCA, ki ga finančno podpira Evropska unija, program LIFE+.

KAZALO

1. Summary	7
1.1. Water situation in Slovenia and cleaning/treatment of wastewater	7
1.2. The structure of small biological wastewater treatment plants and actual Slovenian legislation in this area.....	8
1.3. Nanoremediation of water with zero-valent iron nanoparticles	10
1.4. The current management practices of organic sludge waste	11
1.5. A model for the life cycle analysis (Life Cycle Assessment – LCA) and model for the life cycle cost analysis.....	12
1.6. Re-use of treated wastewater from wastewater treatment plant	13
1.7. Consumption of drinking water and public utility regulation system in the municipality of Šentrupert.....	13
2. Uvod.....	15
2.1. Namen začetne študije	17
3. Stanje voda v Sloveniji.....	19
4. Postopek čiščenja odpadne vode iz gospodinjstev na mali biološki čistilni napravi	25
4.1. Izhodišče.....	25
4.2. Male čistilne naprave.....	26
4.2.1. Primer male čistilne naprave	26
4.3. Obdelava blata	28
5. Zakonodaja v Republiki Sloveniji glede umeščanja malih čistilnih naprav	30
6. Nanodelci nič valentnega železa za čiščenje onesnaženih vod	34
6.1. Dobre prakse uporabe železovih nanodelcev za remediacijo vod	38
7. Organsko blato iz čistilnih naprav	41
7.1. Možnosti uporabe blata iz čistilnih naprav	42
7.2. Uporaba blata iz čistilnih naprav v gradbeništvu	43
7.2.1. Uporaba blata pri proizvodnji cementa	43
7.2.2. Uporaba blata v betonih in maltah	43
7.2.3. Uporaba blata v cestogradnji	44
7.3. LCA analize, ki so bile objavljene s področja uporabe odpadnega blata	46
7.3.1. Nadomeščanje konvencionalnega gnojila z odpadnim blatom	48
7.3.2. Nadomeščanje cementa z odpadnim blatom	49
7.3.3. Uporaba odpadnega blata v opekarski industriji	51
7.3.4. Finančna primerjava	51
7.4. Blato iz male biološke čistilne naprave z dodatno nanoremediacijo po načrtu projekta RusaLCA	51
8. Studije o ponovni uporabi vode očiščene na čistilni napravi	53
9. Tehnologije povratnih zank v Evropi	56
10. Odvajanje in čiščenje odpadnih voda v občini Šentrupet	60
10.1. Obstojeca infrastruktura	60
10.2. Operativni plan odvajanja in čiščenja odpadne vode v občini Šentrupert	60
10.2.1. Aglomeracija Slovenska vas	60
10.2.2. Aglomeracija Šentrupert	61
10.2.3. Ostala območja	63
10.3. Uporaba očiščene vode iz čistilne naprave v Občini Šentrupert	66
Literatura	67

KAZALO SLIK

<i>Slika 1: Prikaz ocene ekološkega stanja površinskih voda v obdobju od 2006 do 2008 (Vir: ARSO, 2010).</i>	19
<i>Slika 2: Trend nihanja gladin podzemne vode v medzrnskih vodonosnikih za obdobje od 1990 do 2008 (Vir: ARSO, 2010).</i>	20
<i>Slika 3: Ocena kemijskega stanja podzemnih vodonosnikov v obdobju od 2006 do 2008 (Vir: ARSO, 2010).</i>	21
<i>Slika 4: Območja oskrbe s pitno vodo s cisternami, v sušenem obdobju leta 2003 (Vir: ARSO, 2010).</i>	21
<i>Slika 5: Graf prikazuje vodnatost rek v Sloveniji med sušnim obdobje 2011/2012 in dolgoletno povprečje vodnatosti rek (Vir: Strojan, 2010).</i>	22
<i>Slika 6: Odstopanja izmerjene mesečne količine padavin v letu 2012 od dolgoletne povprečne mesečne količine padavin (Vir: ARSO, 2014).</i>	23
<i>Slika 7: Graf prikazuje odstopanje letne količine padavin v letu 2012 od dolgoletnega povoprečja v nekaterih večjih krajih po Sloveniji (Vir: ARSO, 2014).</i>	23
<i>Slika 8: Shematski prikaz delovanja MBČN, projektirane za 200 PE.</i>	26
<i>Slika 9: Primer areacijskega sistema v mali biološki čistilni napravi na Hruševem.</i>	27
<i>Slika 10: Shematski prikaz procesov imobilizacije težkih kovin in razgradnje organskih kontaminatov na površini nZVI (povzeto po O'Carroll et al., 2013).</i>	35
<i>Slika 11: Verige aglomeriranih nanodelcev nič valentnega železa pod vrstičnim elektronskim mikroskopom.</i>	36
<i>Slika 12: Difraktogram XRD analize komercialno dostopnih nZVI.</i>	37
<i>Slika 13: Difraktogram XRD analize nZVI sintetiziranih v laboratoriju z metodo redukcij z NaBH₄.</i>	38
<i>Slika 14: Prerez voziščne konstrukcije.</i>	45
<i>Slika 15: Primerjava štirih scenarijev glede na njihov vpliv na toksičnost (Povzeto po Munoz et al.2009).</i>	54
<i>Slika 16: Shema de-facto indirektne ponovne uporabe očiščene vode (EUWI, 2007).</i>	57
<i>Slika 17: primer sistema povratne zanke iz gorske koče Hohtälli, Švica (Vir: http://environmentalresearchweb.org/cws/article/news/26980).</i>	59
<i>Slika 18: Območje aglomeracije Slovenska vas.</i>	61

<i>Slika 19: Območje aglomeracije Šentrupert.....</i>	<i>62</i>
<i>Slika 20: Kanalizacijski sistem v delu Šentruperta – Poštaje.....</i>	<i>63</i>
<i>Slika 21: Sistemi odvajanja in čiščenja odpadne vode v MČN > 50 PE.</i>	<i>64</i>
<i>Slika 22: Sistemi odvajanja in čiščenja odpadne vode v MČN > 50 PE.</i>	<i>65</i>

Povzetek

Glavni namen začetne študije je bil pridobiti podatke o trenutnem stanju voda v Sloveniji, predvsem na področju obdelave/čiščenja komunalnih voda v malih čistilnih napravah. Opisane so različne tehnike čiščenja odpadnih voda in podrobnejše predstavljeno delovanje male biološke čistilne naprave ter možnosti uporabe organskega blata, ki nastane kot odpadni produkt v teh napravah. Opisano je tudi delovanje nanodelcev ničivalentnega železa. Izbran je model za analizo življenjskega cikla (Life Cycle Assessment) model za analizo stroškov v življenjskem krogu (Life Cycle Cost Analysis). Izdelana je študija o porabi in odvajjanju vode na izbrani lokaciji in v regiji ter študija o ponovni uporabi vode očiščene na čistilni napravi.

Novi pristop, ki se bo demonstriral na pilotni napravi v Šentrupertu, je eden od temeljev za postopno vzpostavitev krožnega gospodarstvo v občini.

1. Summary

The Initial Study has been prepared to examine the practical, scientific and legislative aspects of wastewater treatment in small wastewater treatment plants (SWTP). Also, the options for sustainable use of the generated solid waste described in the literature were examined. The Slovenian text of this report cites 65 most important sources used in this work. All partners participated in the Initial Study, with contributions focusing on the following relevant areas:

1. The water situation in Slovenia and cleaning/treatment of wastewater (Vekton);
2. The structure of small biological wastewater treatment plants and actual Slovenian legislation in this area (IJS, NLZOH, Esplanada);
3. Nanoremediation of water with zero-valent iron nanoparticles (ZAG, IJS);
4. The current management practices of organic sludge waste (ZAG, Structum);
5. A model for the life cycle analysis (Life Cycle Assessment - LCA) and a model for the life cycle cost analysis (LCCA) (ZAG);
6. Re-use of treated wastewater from wastewater treatment plant (ZAG);
7. Consumption of drinking water and public utility regulation system in the municipality of Šentrupert where the pilot small wastewater treatment plant will be located according to the RusaLCA project plan (Municipality Šentrupert).

1.1. Water situation in Slovenia and cleaning/treatment of wastewater

A review of the data on the state of water in Slovenia and Europe has been carried out. The data show that climate change poses one of the greatest problems of modern society. They are expressed primarily as the impact on food security and the difficulties in access to energy and to drinking water. In particular, the shortage of drinking water due to frequent droughts is calling for changes in society. New approaches for sustainable water management are suggested that include the reduction of needs and efficient water management and the use of renewable water sources. Thus, an important element of sustainable water use is the recycling of wastewater. Re-use of water is essential for areas where drinking water sources are

scarce. This reduces the water consumption from natural sources. By discharging treated wastewater the state of the environment is also improved.

The context of sustainable water management areas with dispersed settlements represents a specific problem. There the construction of large municipal wastewater treatment plants, long branched sewage systems and pumping stations is financially unattainable. Here we can see, as a sustainable alternative, the use of small wastewater treatment plants with improved efficiency of cleaning and so representing a renewable source of water. Small wastewater treatment plants (SWTP) show a great potential regarding the use in such areas.

1.2. The structure of small biological wastewater treatment plants and actual Slovenian legislation in this area

We examined the operating principle of the SWTP and the actual legislation of the Republic of Slovenia in the field of building and using SWTP. The system of wastewater treatment in SWTP is divided into several stages. In the first step mechanical cleaning is carried out, followed by biological treatment followed by the last mechanical cleaning stage. In the first step, the flow rate of the water is reduced and heavier particles sink to the bottom where they are collected as an organic sludge. In the second, biological stage, with the process of aeration, the water is enriched with oxygen. This enables the growth of aerobic bacteria that feed on organic matter, minerals and nitrogen (in the form of NH_4^+) present in the wastewater. The biochemical reactions in bacteria enable the conversion of the ammonia nitrogen into nitrate and nitrite. With bacterial metabolic processes the waste organic matter and minerals are adsorbed and removed with the activated sludge when it settles to the bottom. In the final cleaning step, the settling of the activated sludge with bacteria takes place. Some of it is then returned in the biological treatment stage. Treated water flows, through the mechanical sieves out of the SWTP, in surface water. During the whole biological process of cleaning, organic sludge is produced, which must be regularly removed. But part of it must be left in the SWTP system to maintain bacterial activity.

Regulations for the construction and about the effectiveness of small biological and other types of wastewater treatment plants are clearly defined in the legislation of the

Republic of Slovenia. Small municipal wastewater treatment plant (SWTP) is according to the actual legislation, the device for the treatment of urban wastewater with a treatment capacity of less than 2,000 population equivalents (PE). In it, the wastewater is treated by biological degradation in different ways:

- in aerated lagoons – built according to Slovenian standard SIST EN 12255-5;
- in the biological reactor – built according to Slovenian standards SIST EN 12255-6 and SIST EN 12255-7;
- in artificial wetlands.

Small municipal wastewater treatment plants (SWTP) with a capacity of up to 50 PE must be constructed according to standards from EN 12566-1 to EN 12566-5. Such SWTP are considered as a construction product (regulated by the Construction Products Act; in the Official Gazette of the Republic of Slovenia, No. 98/07, 30/10). Those with a capacity exceeding 50 PE are treated as a construction facility and are required by the Construction Act (OG. RS, No. 110/2002 and amendments) to obtain a building permit. When planning SWTP it is necessary to take into account the Environmental Protection Act (Official Gazette RS, No. 41/04, 20/06, 39/06, 70/08, 108/09, 48/12, 57/12) and Water Law (Official Gazette RS, No. 67/02, 110/02-ZGO-1, 2/04, 41/04-ZVO-1). Effectiveness of the SWTP with a capacity below 2000 PE is prescribed by the Regulations on emissions and discharges of effluents from small municipal wastewater treatment plants (Official Gazette RS, no. 98/07 and 30/10). Here, the two limit parameters are set: chemical oxygen demand (COD), is limited to 150 mg/L O₂, and biological oxygen demand (BOD₅), is limited to 30 mg/L O₂. Regularly maintained and properly functioning SWTP can purify wastewater to such an extent that its emissions do not pose a further threat to the environment. In case purified water is to be re-utilized for secondary purposes, or returned to users we have to further purify it. Here, as an example, are given the limitations for drinking water in the Rules on Drinking Water (Official Gazette RS, No. 19/04 and amendments). For the drinking water a set of parameters and limit values is listed in the said Regulations, specifying the requirements that must be satisfied in order to protect human health. To produce the treated water that will be safe for users, the conventional biological treatment system must be upgraded. This will be done with additional cleaning through the innovative technology of zero-valent iron nanoparticles (nZVI).

1.3. Nanoremediation of water with zero-valent iron nanoparticles

Increasing population growth puts pressure on the environment, forcing scientists to search for more effective and economically acceptable technology solutions to solve the problems of waste disposal and environmental pollution. In the last decade, a trend of use of nanomaterials in solving environmental problems is noticeable. The latter, in comparison with particles of micro- and millimetre dimensions, have much larger specific surface area and reactivity, allowing them greater efficiency. For the purpose of the remediation of soil and groundwater iron nanoparticles and especially zero-valent iron nanoparticles (nZVI) are mentioned most often in the literature. The synthesis of the latter is relatively simple and can be carried out by several different methods to obtain the nanoparticles of sizes ranging from 5 to 100 nm. The most commonly used is a process of reduction of FeCl_3 solution with NaBH_4 . The reaction products are elemental iron, H_2 gas, and boric acid. Zero-valent iron is an effective reducing agent which in contact with the water oxidizes to Fe^{2+} and Fe^{3+} and donates electrons. This results in iron oxyhydroxide mineral formation that also has a large adsorption capacity. Remediation efficiency of nZVI is highly dependent on pH and the consistency of remediated media. Zero-valent iron nanoparticles are effective in the immobilisation of divalent and trivalent metal ions (Cr , Pb , As , Cu , Cd , Ni , Zn), and six-valent chromium (Cr(VI)), with the mechanisms of reductive induced coprecipitation and adsorption. Through the mechanisms of hydrogenation, hydrogenolysis and reductive elimination it can degrade several types of chlorinated and other organic pollutants. Degradation of these, however, is problematic in terms of the formation of daughter products, which can be even more hazardous than the parent compound. Zero-valent iron nanoparticles act as an antimicrobial agent. The reaction of Fe^0 and Fe^{2+} with oxygen and water promote the so-called Fenton reaction that generates reactive oxygen species (ROS). Indirectly through the formation of the ROS nZVI can, with mechanisms of lipid peroxidation (degradation of membranes), protein oxidation (reduced enzyme activity) as well as mutations in DNA, cause the destruction of microbes. When using nZVI for remediation water it is necessary to emphasize that the dispersion of nanoparticles is very unstable and that due to the effect of electromagnetic attractive forces between nanoparticles, they agglomerate in a very short time. The stability of the dispersion can be increased by

the addition of weak electrolytes. After the use of nZVI for remediation purposes, particles form poorly crystalline and little or non-reactive agglomerates of micro- and millimetre dimensions that are highly prone to settling. When bare nZVI are in contact with oxygen and water they can rapidly become passive and on their surface a shell of non-reactive iron oxyhydroxides is formed. Due to the above described properties, nZVI are seen as an effective tool for remediation, which, compared to other nanomaterials, have no proven negative effects on the biota and the environment. Examples of the use of nZVI have already been described in the United States, the Czech Republic, Germany and Italy especially for ground water remediation.

1.4. The current management practices of organic sludge waste

Project LIFE+ RusaLCA in addition to recycling wastewater also provides the development in the field of use of the organic sludge from SWTP, which will allow zero-waste management. Organic sludge, resulting from the treatment of wastewater in SWTP, is very heterogenic in its composition and that is affecting its recycling potential. Differences are arising from different purification technologies and different levels of pollution of inflows. Quantities of organic sludge generated with wastewater treatment processes in the world are very large.

Initial processing of organic sludge includes stabilization, dewatering and/or incineration. The process of stabilization relates to the reduction of biochemical oxygen demand, under aerobic and anaerobic conditions. By concentrating and drying the consistency of sludge is achieved so that pellets can be obtained intended for recycling. The alternative to the anaerobic microbial digestion is plant digestion, but it is slow, and only suitable for small quantities of sludge. In extreme cases it is used in the most expensive and most environmentally controversial processing solution, incineration. Here it is necessary to control the exhaust gases and the deposition of the ashes with concentrated inorganic substances. Traditionally the sewage sludge is used in agriculture worldwide. In addition to the enrichment with phosphorus, sludge has positive effects on the soil by adjusting pH, organic matter content, porosity, cation exchange capacity and moisture retention. The limitations for agriculture use are low metals and pathogenic bacteria content.

In the construction industry the metal content is not a problem because sludge is used as a raw material for the manufacture of cement and brick. The use of ash as

an additive is common in the manufacture of a variety of other building materials: concrete, mortar, asphalt, soil stabilization.

Sludge as a raw material for the cement production must have a very low moisture content. Addition of up to 10 wt% of sludge in the mixture for the preparation of cement clinker had minor influence on cement composition. The use of pellets in concrete and mortar mixtures reduces slump and reduces initial and final setting time. But the literature data also show that the compressive strength of concrete is markedly reduced when pellets are used. An alternative strategy is the use of pellets in road construction. They could be used in any of the layers of the road structure (in the case that they correspond to the characteristics of the material for road construction).

1.5. A model for the life cycle analysis (Life Cycle Assessment – LCA) and model for the life cycle cost analysis

From the above listed facts, it is clear that the establishment of the Protocol for the use of recycled organic sludge is very complex. Therefore, in the context of the initial study, the basic framework of Life Cycle Analysis (LCA) for organic sewage sludge was established.

The LCA analysis of procedures for stabilization and treatment of organic sludge show that the most environmentally and economically objectionable is incineration. The most effective method for the processing of sludge into pellets is, according to LCA analyses, thermal drying in combination with anaerobic digestion. It allows the capture of emitted gas and its use as an energy source. From both an environmental as well as cost point of view, the use of sludge for agricultural purposes is the least controversial, although the nutritional value of the latter is more than 25 times less than fertilizer. LCA analysis have also shown that the most effective way of using sludge, as an alternative raw material, is for the purpose of manufacturing bricks. Nevertheless, as an alternative material in manufacturing of cement it greatly helps to reduce the negative environmental impact of the cement industry.

Sludge from the LIFE+ RusaLCA project pilot SWTP with the extra nanoremediation cleaning system could be suitable as an additive to massive concrete, lower strength concrete, concrete for road construction or as concrete for the load-bearing layer of

paving stones. Most likely, by the analogy, nanoremediation sediment containing high levels of iron hydroxides can also be used in cement composites.

1.6. Re-use of treated wastewater from wastewater treatment plant

Life cycle analysis (LCA) of recycled wastewater described in the literature relate primarily to the comparison of energy consumption by processing of drinking water for the water supply and wastewater treatment. In doing so, it has been found that the tertiary process of wastewater treatment is less energy-consuming than the processing of drinking water for the water supply. But it must be emphasized that this water is only suitable for irrigation in agriculture since it may, in spite of cleaning, still contain excess nutrients and microbes.

Additionally purified water from a pilot system for the SWTP for the LIFE+ RusaLCA project is going to be used for local fire brigade work or watering of gardens and farmland of local inhabitants, who are also interested in building a secondary water supply to their residences.

1.7. Consumption of drinking water and public utility regulation system in the municipality of Šentrupert

After we had examined the legislative, scientific and practical aspects, crucial for the establishment of a pilot return loop system of recycling of wastewater and sludge. We have also focused on an overview of the current situation in terms of water management in the municipality Šentrupert.

An overview of the consumption of drinking water, management of water resources and management of wastewater was prepared. The main problem of the described area is reflected in dispersed settlements, which prevents the use of large systems of wastewater treatment plants. That is why sewage systems in Municipality of Šentrupert combine only smaller agglomerations (about 50 population equivalents) in which wastewater treatment can be done in small municipal waste-water treatment plants. Those individuals, living in areas with lower population density, are forced, according to the current legislation, to install individual small waste-water treatment plants. The average annual consumption of drinking water in this area is approximately 97.7 litres per capita per day. The pilot cleaning system of the LIFE+

RusaLCA project will be included in the sewer system of Šentrupert - Poštaje, which includes 28 buildings with 87 residents.

2. Uvod

RusaLCA (Nanoremediacija vode iz malih bioloških čistilnih naprav in ponovna uporaba vode in trdnih ostankov procesa čiščenja za lokalne potrebe) je ekoinovacijski projekt, ki ga izvaja Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG - koordinator) in partnerji: podjetja Esplanada, Structum, Vekton, občina Šentrupert, Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano (NLZOH) ter Institut Jožef Stefan (IJS). Projekt je v višini 50 % proračuna projekta financiran iz programa Evropske Unije Life+. Trajanje projekta je od 1. 7. 2013 do 31. 12. 2016.

Glavni cilj projekta je demonstrirati strokovni in laični javnosti, da se z dodatnim čiščenjem vode, ki prihaja iz male biološke čistilne naprave in vračanjem te vode porabnikom preko povratne zanke, poraba pitne vode iz naravnih virov lahko zmanjša do 30 %. To bo predvidoma tudi zmanjšalo stroške komunalnih storitev in povečalo gospodarsko učinkovitost gospodinjstev in lokalne skupnosti.

Pomemben cilj projekta je tudi vzpostaviti protokol uporabe blata iz male čistilne naprave in iz nanoremediacijskega bazena v različnih vrstah kompozitov za uporabo v gradbeništvu in okoljskih ureditvah. Reciklirano blato iz male čistilne naprave bo uporabljeno za humusne kompozite, usedline iz nanoremediacijskega bazena pa v betonih. To bo pripomoglo k ohranjanju naravnih virov na račun ponovne uporabe recikliranih odpadkov, kar posledično pomeni manjše odlaganje in kopiranje odpadkov na odlagališčih in oblikovanje sistema upravljanja voda z nič odpadki. Cilj projekta je tudi pridobljeno znanje in dobro prakso širiti naprej med strokovno in laično javnost. Operativen pilotni sistem povratne zanke in sistem upravljanja voda z nič odpadki je dober zgled za druga področja z razpršeno poselitvijo in podobnimi geografskimi in podnebnimi karakteristikami.

Pri izdelavi začetne študije so sodelovali vsi partnerji projekta. Proučeni so bili praktični, znanstveni in zakonski vidiki čiščenja odpadnih voda v malih čistilnih napravah ter trajnostna uporaba trdnih odpadkov, ki pri tem nastanejo.

Institut Jožef Stefan je v sodelovanju z ZAG in NLZOH pripravil opis postopka čiščenja odpadne vode iz gospodinjstev na malih bioloških čistilnih napravah (MBČN). Na prvi mehanski čistilni stopnji se usedajo trdni delci. V drugi, biološki stopnji, čiščenje poteka s pomočjo aerobnih bakterij, ki za svoj razvoj porabljajo organska onesnaževala, mineralne snovi in amoniakalni dušik (NH_4^+), raztopljen v vodi. Na tretji stopnji se mehansko in z usedanjem izloči aktivno blato. Očiščena voda odteče v površinsko vodo.

Sledi kratek pregled slovenske zakonodaje za področje MBČN. Pri tem je bilo poudarjeno, da sta po zakonodaji za male komunalne čistilne naprave (MKČN) z zmogljivostjo pod 2000 populacijskih enot (PE) bistvena parametra kemijska potreba po kisiku (KPK) in biološka potreba po kisiku (BPK5). Slednja sta po Uredbi o emisiji snovi pri odvajjanju odpadnih vod iz malih komunalnih čistilnih naprav (Ur. L. RS št. 98/07 in 30/10) omejena na 150 mg/L O_2 (KPK) in 30 mg/L O_2 (BPK5).

V podjetju Esplanada je bilo ob pregledu zakonodaje o MBČN ugotovljeno, da MKČN z zmogljivostjo čiščenja do 50 PE spadajo med gradbene proizvode (Zakon o gradbenih proizvodih; Ur. I. RS, št. 52/00, 110/02, 82/13). Takšne s kapaciteto več kot 50 PE pa so tretirane kot gradbeni objekt in potrebujejo gradbeno dovoljenje (Zakon o graditvi objektov; Ur. I. RS, št. 110/2002 in spremembe). Pri načrtovanju MKČN je potrebno upoštevati tudi Zakon o varstvu okolja (Ur. I. RS, št. 41704, 20/06, 39/06, 70/08, 108/09, 48/12, 57/12) ter Zakon o vodah (Ur. I. RS, št. 67/02, 110/02-ZGO-1, 2/04, 41/04-ZVO-1).

IJS in ZAG sta pripravila opis delovanja nanodelcev ničvalentnega železa (nZVI) za razne potrebe remediacije. Pri tem je ključna učinkovitost nanodelcev za remediacijo širokega spektra onesnažil (kovine, klorirani in drugi ogljikovodiki, bakterije...). Velika specifična površina in reaktivnost nanodelcev hkrati omogočata učinkovito remediacijo ter povečujejo težno delcev, da hitro oksidirajo in tvorijo agregate železovih hidroksidov. Agregati nanodelcev bodo v postopku čiščenja vode iz MBČN tako izgubili nano značaj in bodo po koncu postopka remediacije potonili in tvorili nenevarnen sediment.

Za doseganje želene učinkovitosti remediacije so najbolj primerni nZVI z velikostjo do 100 nm, sintetizirani po metodi redukcije Fe(III) z NaBH_4 .

Podjetje Structum je pripravilo pregled možnosti uporabe blata iz čistilnih naprav v gradbeništvu. Ugotovljeno je bilo, da je pred uporabo blato potrebno stabilizirati (znižati biokemijsko potrebo po kisiku) ter zgostiti in sušiti. Pri tem dobimo pelete iz blata, ki jih je mogoče uporabiti pri proizvodnji cementa ali v betonih in maltah. Alternativna rešitev je tudi uporaba peletov v cestogradnji.

V okviru začetne študije modela življenjskega kroga pilotnega sistema je ZAG preučil možnosti ponovne uporabe organskega blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu, kot nadomestilo za cement in v opekarski industriji. Pri tem je bilo ugotovljeno, da se blato že tradicionalno uporablja kot gnojilo v kmetijstvu. Alternative pa so tudi kot nadomestni material za izdelavo opeke ali v skrajnem primeru sežig v sežigalnicah, kjer se nato za potrebe gradbeništva uporablja predvsem pepel.

ZAG je opravil tudi študijo o ponovni uporabi vode očiščene na čistilni napravi.

V Občini Šentrupert je bil pripravljen pregled stanja na področju porabe pitne vode, upravljanja vodnih virov in gospodarjenja z odpadnimi vodami. Problematika opisanega območja se kaže predvsem v razpršeni poselitvi, ki onemogoča uporabo velikih sistemov komunalnih čistilnih naprav. Kanalizacijsko omrežje tako združuje manjše aglomeracije (približno 50 PE) pri katerih čiščenje odpadne vode lahko poteka v malih komunalnih čistilnih napravah. Povprečna letna poraba pitne vode na tem območju znaša približno 97 litrov na prebivalca dnevno.

2.1. Namen začetne študije

Namen začetne študije je pregledati literaturo ter zbrati praktične, znanstvene in zakonske vidike z naslednjih področij:

stanje voda v Sloveniji in čiščenje/obdelava komunalnih voda.

delovanje malih bioloških čistilnih naprav in zakonodaja na tem področju.

nanoremediacija z nanodelci ničivalentnega železa.

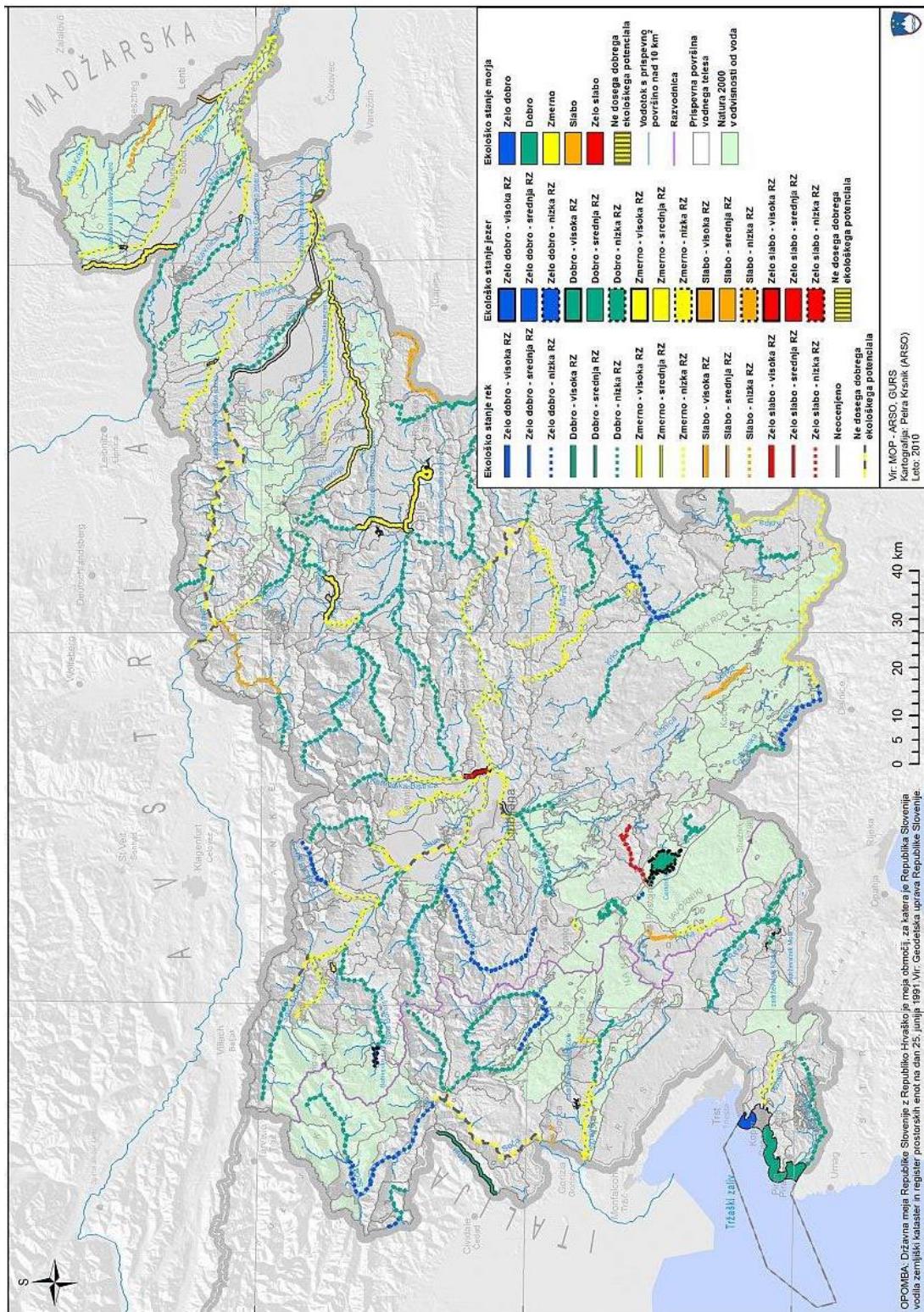
dosedanja praksa ravnanja z odpadnim organskim blatom iz čistilnih naprav.

model za analizo življenjskega cikla (Life cycle assessment - LCA) in model za analizo stroškov v življenjskem krogu (Life Cycle Cost Analysis).

ponovna poraba vode očiščene na čistilni napravi.

poraba pitne vode in ureditev komunalnega sistema v občini Šentrupert, kjer se bo nahajala mala biološka čistilna naprava po načrtu projekta RusaLCA.

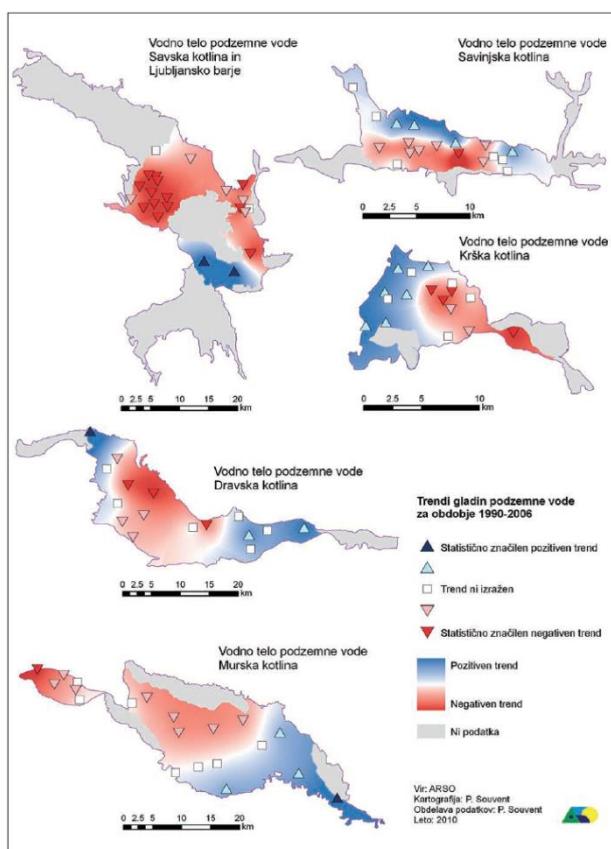
3. Stanje voda v Sloveniji



Slika 1: Prikaz ocene ekološkega stanja površinskih voda v obdobju od 2006 do 2008 (Vir: ARSO, 2010).

Podnebne spremembe predstavljajo enega najresnejših problemov človeštva, kljub dejству, da se podnebje je in bo spremenjalo. Podnebne spremembe imajo velik vpliv na družbo s tem, ko vplivajo na prehransko varnost, dostop do pitne vode in energije. Pomanjkanje vode zaradi pogostih suš in slabega ravnanja z vodnimi viri, zahteva spremenjeno družbeno obnašanje na področju vodo varstva.

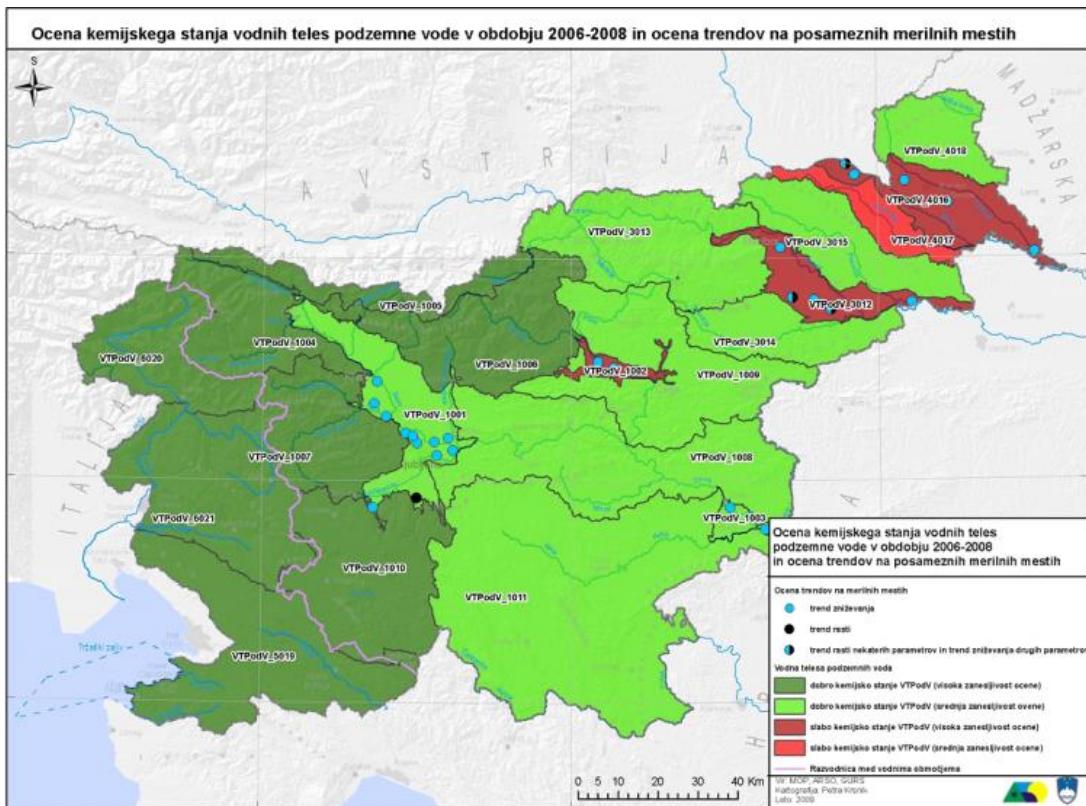
Poročilo z naslovom Vode v Sloveniji, ki ga je pripravila Agencija Republike Slovenije za okolje, iz leta 2010, navaja, da je 5% površinskih voda v Sloveniji v slabem kemijskem stanju, kar 38% pa je v slabem ekološkem stanju (*Slika 1*). V istem poročilu je prikazan tudi trend upadanja gladine podzemne vode v medzrnskih vodonosnikih, saj je bilo v nekaterih obdobjih iz njih zajetih tudi več kot 50% razpoložljivih zalog vode (*Slika 2*). Medzrnski vodonosniki so namreč eden glavnih virov pitne vode v Sloveniji.



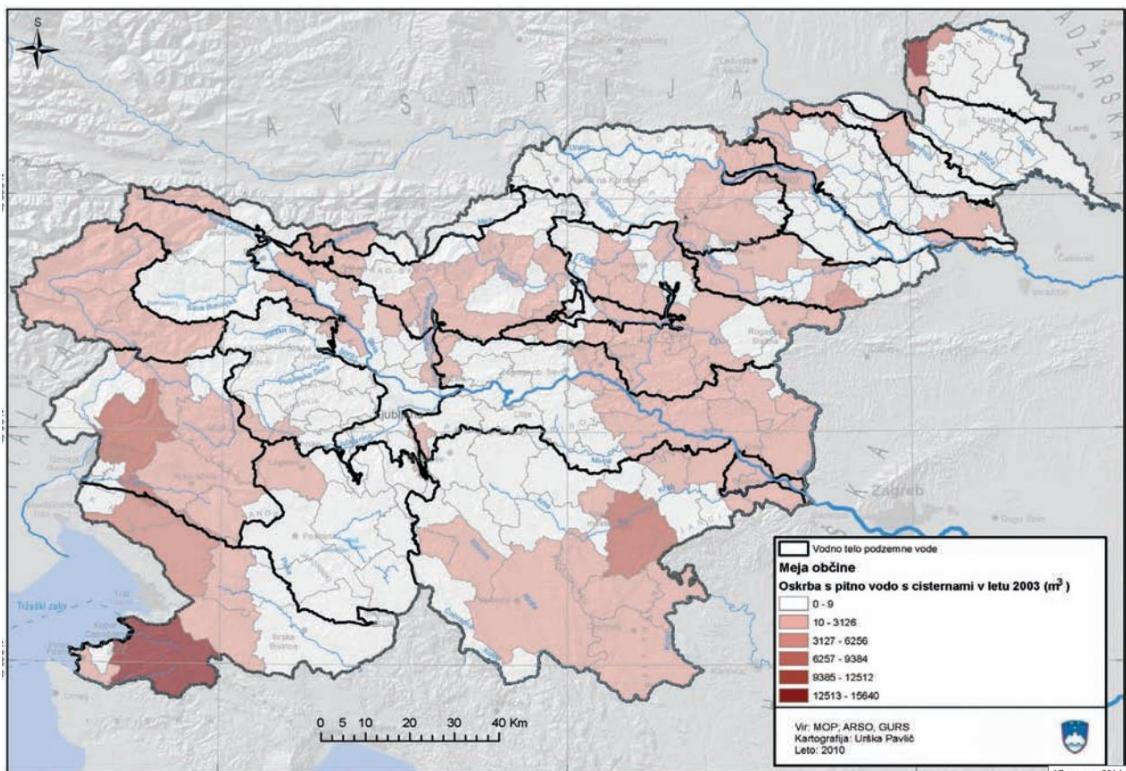
Slika 2: Trend nihanja gladin podzemne vode v medzrnskih vodonosnikih za obdobje od 1990 do 2008 (Vir: ARSO, 2010).

Na ranljivost tovrstnih virov pitne vode kaže tudi kemično stanje vodnih teles podzemne vode (*Slika 3*). Ugotovljeno je bilo slabo kemično stanje medzrnskih vodonosnikov na območju Savinjske kotline, Dravskega polja in Murske kotline (ARSO, 2010).

RUSALCA LIFE12 ENV/SI/000443 "Nanoremediation of water from small waste water treatment plants and reuse of water and solid remains for local needs"

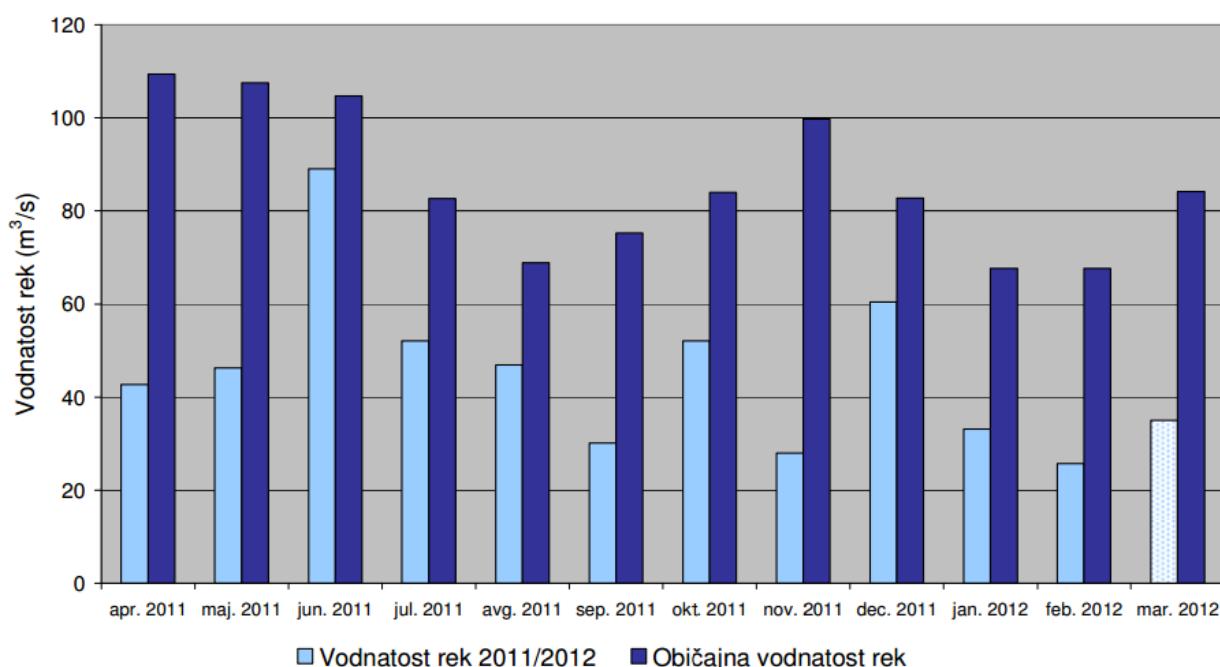


Slika 3: Ocena kemijskega stanja podzemnih vodonosnikov v obdobju od 2006 do 2008 (Vir: ARSO, 2010).



Slika 4: Območja oskrbe s pitno vodo s cisternami, v sušenem obdobju leta 2003 (Vir: ARSO, 2010).

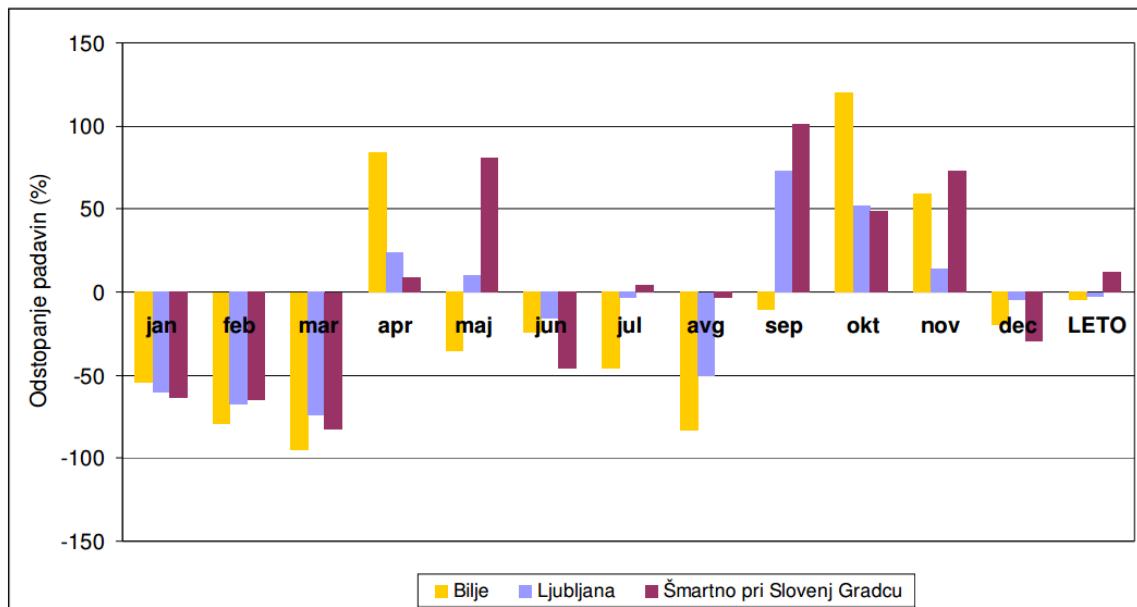
Poročilo Agencije Republike Slovenije za okolje navaja tudi podatke o problematiki vodo oskrbe v sušnih obdobjih. Ta je bila še posebno izrazita v letu 2003, ki je bilo najbolj sušno v zadnjem stoletju. Zaradi pomanjkanja vode iz naravnih virov je bilo s cisternami na prizadeta območja prepeljanih kar 119 180 m³ vode, od takšnega dovoza pitne vode pa je bilo odvisnih okoli 47 400 ljudi (*Slika 4*). Pri tem se je kot najbolj ranljiva izkazala vodo oskrba na območju Primorske, Dolenjske, Notranjske in zahodne Štajerske (ARSO, 2010). Vpliv sušnih obdobij je opazen tudi na letnih pretokih rek v Sloveniji, ki so lahko v različnih obdobjih nižji za več kot polovico glede na dolgoletno povprečje. Na sliki 5 so prikazani podatki za sušno obdobje iz leta 2011/2012 (Strojan, 2013).



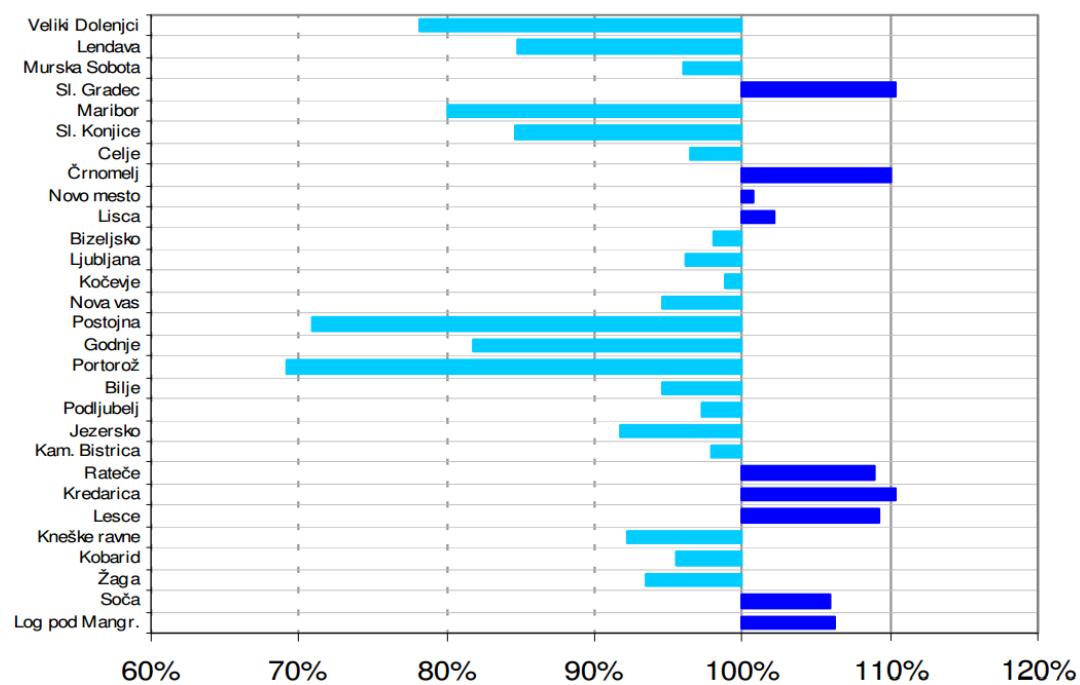
Slika 5: Graf prikazuje vodnatost rek v Sloveniji med sušnim obdobje 2011/2012 in dolgoletno povprečje vodnatosti rek (Vir: Strojan, 2010).

Sušna obdobja ob pomanjkanju padavin kažejo na podnebne spremembe, ki so v preteklih letih že imele vpliv na življenje ljudi. Zelo pomemljivi so ob tem podatki prikazani na grafu na sliki 6, ki prikazujejo izrazite spremembe v količini mesečnih padavin na nekaterih območjih v Sloveniji. Na grafu na sliki 7 pa je dobro vidno odstopanje letne količine padavin v nekaterih večjih krajih po Sloveniji v sušnem letu 2012 (ARSO, 2014).

Agencija republike Slovenije za okolje je pripravila Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja v obdobju od leta 2009 do 2015, ki predvideva tudi nabor ukrepov za varovanje in izboljšanje stanja voda na področju Slovenije.



Slika 6: Odstopanja izmerjene mesečne količine padavin v letu 2012 od dolgoletne povprečne mesečne količine padavin (Vir: ARSO, 2014).



Slika 7: Graf prikazuje odstopanje letne količine padavin v letu 2012 od dolgoletnega povprečja v nekaterih večjih krajih po Sloveniji (Vir: ARSO, 2014).

Podnebne spremembe, ki vodijo v pomanjkanje pitne vode silijo k prilagajanju celotno družbo. Kot učinkovit pristop se kažejo principi trajnostnega ravnanja z vodo. Trajnostno ravnanje z vodo vsebuje tri elemente: zmanjševanje potrebe po vodi, rabo obnovljivih virov vode in učinkovito ravnanje z vodo.

Čiščenje (remediacija) odpadne vode je pomembno iz več vidikov: zmanjšanje porabe pitne vode (iz vodovodne napeljave), izpuščanje čistejše vode v okolje in ponovna uporaba remediirane odpadne vode. Slednje je bistvenega pomena za področja, kjer zaradi geografskih razlogov ali naravnih katastrof primanjkuje pitne vode.

Velike čistilne naprave, dolga kanalizacijska omrežja in draga črpališča so za majhne kraje in občine, posebno tiste z razpršeno poselitvijo, finančno nedosegljive. Na takšnih območjih se kot trajnostna alternativa kaže izgradnja malih čistilnih naprav (v nadaljevanju MČN) in sicer takšnih, ki bodo vodo obravnavale kot obnovljivi vir.

4. Postopek čiščenja odpadne vode iz gospodinjstev na mali biološki čistilni napravi

4.1. Izhodišče

V Sloveniji se je v obdobju zadnjih desetih let število čistilnih naprav več kot podvojilo. Povečuje se tako količina odpadne vode iz gospodinjstev, ki konča v čistilnih napravah, kot tudi stopnja njenega čiščenja. Posledično se kaže tudi potreba po natančnejšem pravnem urejanju področja ravnana z odpadno vodo in blatom, kot produktoma čistilnih naprav. Na tem področju je Vlada Republike Slovenije v letu 2010 v več uredbah za predmetno področje implementirala področne evropske direktive, ki so sicer v veljavi že več let. Evropska komisija je t.i. Sewage Sludge Directive sprejela pred 20 leti, v postopku odločanja pa je neno revidirano. Tem namenom je Komisija pričela z izvajanjem študije, da bi zbrala informacije o okoljskih, ekonomskih, socialnih in zdravstvenih vplivih sedanjih praks ravnana z blatom iz čistilnih naprav.

Odpadne vode (odplake), ki izvirajo iz vasi, naselij in mest in se na koncu izlivajo v reke, jezera in morja, prenašajo veliko količino škodljivih snovi, zato jih je potrebno prečistiti. Čiščenje vode poteka v velikih oziroma centralnih čistilnih napravah, na katere se priklapljajo večji objekti in kanalizacije in malih čistilnih napravah, ki služijo za enodružinske hiše ali manjše industrijske objekte. Male čistilne naprave so uporabne tudi povsod tam kjer ni izvedene skupne kanalizacije. Čiščenje odpadnih vključuje fizikalne, kemične in biološke procese za odstranitev kontaminantov. Cilj je proizvajati okolju varne tekočine in trdne odpadke (obdelano blato). Obdelano blato mora biti primerno za odstranjevanje ali ponovno uporabo, običajno kot gnojilo na kmetiji. Z uporabo napredne tehnologije je sedaj mogoče, da odplake ponovno uporabimo, odpadne vode pa prečistimo v pitno vodo.

4.2. Male čistilne naprave

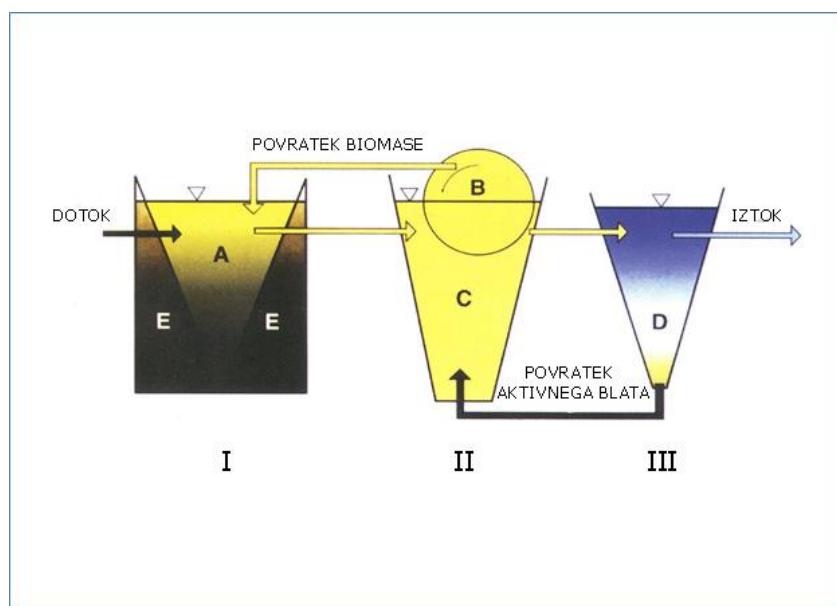
Male čistilne naprave so namenjene prečiščevanju odpadnih vod enodružinskih hiš, skupine hiš ali manjših industrijskih objektov, oziroma povsod tam kjer ni izvedene skupne kanalizacije. Zakonodaja nalaga, da se morajo vsa gospodinjstva, priključiti na centralno čistilno napravo. Kjer to ni mogoče, lahko odpadne vode zbirajo v nepretočni, triprekatni greznici ali biološki čistilni napravi ustrezne velikosti. Za že narejene greznice je zadnji rok sanacije leta 2017. Naprave posnemajo delovanje mikroorganizmov, ki tudi v naravnem okolju razgrajujejo nečistoče, ki se v obliki skoncentrirane biomase v obliki blata se usedajo na dno, očiščena voda pa odteka v okolje. Odstranjevanje blata je eden glavnih stroškov obratovanja male čistilne naprave, zato so čistilne naprave z kompostiranjem, kjer namesto odvečnega blata nastaja kakovosten kompost, postale zelo zaželene.

4.2.1. Primer male čistilne naprave

Mala biološka čistilna naprava (MBČN) je sestavljena iz sledečih stopnj:

- I: mehanske pred-čistilne stopnje
- II: biološke stopnje precejjalnika
- III: naknadne mehanske čistilne stopnje

Shematski prikaz delovanja MBČN projektirane za 200 populacijskih enot (PE), ki smo jo uporabili pri razvoju postopkov čiščenja z nZVI je predstavljen na sliki 8.



Slika 8: Shematski prikaz delovanja MBČN, projektirane za 200 PE.

Čiščenje odpadne vode poteka v kombinaciji z delovanjem aerobnih in anaerobnih bakterij. V pred-čistilni stopnji poteka mehansko čiščenje. Hitrost dotoka odpadne vode se v tej stopnji zmanjša v takšni meri, da se težji delci usedejo na dno (E) in se tam nabirajo kot blato, plavajoče snovi pa se nabirajo v bližini površine vode (A). Raztopljene snovi so razporejene po celotnem prostoru mehanske pred čistilne stopnje (I). Mehansko očiščena odpadna voda doteka v biološko stopnjo (C), v kateri se vrta biorotor (B). Biorotor je sestavljen iz votlega bobna napolnjenega s kroglicami (Slika 9), poganja pa ga črpalka na električni pogon.



Slika 9: Primer areacijskega sistema v mali biološki čistilni napravi na Hruševem.

V prekatu za odstranjevanje blata potekajo biološki procesi presnove, pri katerem sodelujejo aerobne bakterije, ki potrebujejo za svoje razmnoževanje kisik in hrano. Z vrtenjem biorotorja se odpadna voda v prekatu (C) prezračuje in se bogata s kisikom vrača v prekat (A). Na ta način dobijo bakterije kisik. Hrano pa dobijo bakterije iz organske snovi in amoniakalnega dušika (NH_4^+) ter mineralov prisotnih v odpadni vodi, ki priteka na MBČN. V naknadni mehanski čistilni stopnji (III) se voda umiri in

preostanek aktivnega blata usede na dno (D) od koder se vrača nazaj v biološko stopnjo (II). Očiščena voda pa se preko iztoka odvaja v površinske vodotoke.

S kombinacijo usedanja in delovanja bakterij se voda v večji meri očisti amoniakalnega dušika, ki ga bakterije pretvorijo v nitrat (delno tudi v nitrit). Bakterije presnavljajo tudi mineralne in organske snovi, ki se usedejo in adsorbirajo v odpadno blato (E).

Odpadno blato je potrebno redno odvažati. Za nemoteno mikrobiološko delovanje mora na dnu ostati določena množina blata, ki zagotavlja, da bakterijska združba nemoteno presnavlja odpadno vodo iz dotoka na MBČN.

4.3. Obdelava blata

Blato iz bioloških čistilnih naprav je potrebno obdelati ali odstraniti na varen in učinkovit način. Namen predelave je zmanjšati količino organskih snovi in uničiti bolezni, ki jih povzročajo mikroorganizmi, ki so prisotni v trdem stanju. Postopki za obdelavo blata so razdeljeni na take, ki zmanjšujejo volumen blata (zgoščevanje, dehidracija, sušenje) in postopke za razgradnjo blata (aerobna stabilizacija, kompostiranje, anaerobna stabilizacija).

Upravljavec čistilne naprave mora zagotoviti, da se biološko razgradljivi odpadki (blato) predajo v obdelavo takoj po prevzemu ali pa se skladiščijo tako, da ni škodljivih vplivov na okolje in zaposlene. Zabojniki in posode ter vozila za prevoz blata, kakor tudi vsi deli in območja naprave, se morajo redno čistiti in razkuževati, opravljati pa se morajo tudi higienski pregledi. Obvezno je tudi vzorčenje in ugotavljanje kakovosti blata. Veliko je blata iz komercialnih in industrijskih področij, ki so onesnažena s strupenimi snovmi, ki lahko povzročijo, da blato ni primerno za nadaljnjo uporabo in ga je v tem primeru potrebno sežgati ali kako drugače odstraniti. Sežiganje blata je pogosta praksa, čeprav povzroča škodljive izpuste v zrak. Zahteva se, da blato gori nizkokalorično in tako izpari odpadno vodo. Sežiganje je ena od zadnjih izbir pri obdelavi blata, saj s stališča skrbi za okolje povzroča dvojno škodo:

- Izničijo se vse hranljive snovi, ki bi jih okolje lahko koristilo in

- investicijski in vzdrževalni stroški sežigalnic so zelo visoki, saj potrebujemo veliko energije in tudi plini, ki pri tem nastajajo, potrebujejo dodatno obdelavo.

Operativni program razvoja okoljske in prometne infrastrukture za obdobje 2007–2020 navaja, da trenutno nobena izmed čistilnih naprav nima izgrajenega objekta za odstranjevanje blat čistilnih naprav, prav tako pa v zdajšnji kakovosti ne ustreza predpisom za odlaganje v tla in ker ima Slovenija velik del ozemlja razglašen za vodovarstveno območje ali območje Nature 2000 oz. za posebno varstveno območje in je zato nujno potrebno urediti ravnanje z blatom iz čistilnih naprav. Operativni program odvajanja in čiščenja komunalnih odpadnih in padavinskih voda določa, da se blato iz čistilnih naprav, kjer tudi ni možnosti za vnos blata v tla, sežiga. Med prednostna območja za sežig blata čistilnih naprav so uvrščena urbana območja, kjer ni drugih možnosti za uporabo blata.

5. Zakonodaja v Republiki Sloveniji glede umeščanja malih čistilnih naprav

Mala komunalna čistilna naprava je naprava za čiščenje komunalne odpadne vode z zmogljivostjo čiščenja, manjšo od 2000 PE, v kateri se komunalna odpadna voda zaradi njenega čiščenja obdeluje z biološko razgradnjo na naslednji način:

- s prezračevanjem v naravnih ali prezračevalnih lagunah v skladu s standardom SIST EN 12255-5,
- v bioloških reaktorjih s postopkom z aktivnim blatom v skladu s standardom SIST EN 12255-6,
- v bioloških reaktorjih s pritrjeno biomaso v skladu s standardom SIST EN 12255-7,
- z naravnim prezračevanjem s pomočjo rastlin v rastlinski čistilni napravi z vertikalnim tokom.

Za malo komunalno čistilno napravo z zmogljivostjo čiščenja do 50 populacijskih ekvivalentov (v nadaljevanju mala komunalna čistilna naprava z zmogljivostjo čiščenja do 50 PE) se šteje tudi naprava za čiščenje komunalne odpadne vode, ki je izdelana v skladu s standardi od SIST EN 12566-1 do SIST EN 12566-5 in iz katere se v skladu s temi standardi odvaja očiščena odpadna voda neposredno v površinsko vodo preko filtrirne naprave za predčiščeno komunalno odpadno vodo ali posredno v podzemno vodo preko sistema za infiltracijo v tla (Uradni list RS, št. 98/07, 30/10).

Postopek pridobitve gradbenega dovoljenja za izgradnjo male čistilne naprave se razlikuje glede na velikost MČN: MČN s kapaciteto do 50 PE se smatra kot gradbeni proizvod. To področje ureja Zakon o gradbenih proizvodih (Ur.l. RS, št. 52/00, 110/02, 82/13) in podzakonski akti.

MČN kapacitete večje od 50 PE je gradbeni objekt za katerega je potrebno pridobiti gradbeno dovoljenje.

Krovni zakon, ki ureja področje graditve objektov, je **Zakon o graditvi objektov** (Ur.l. RS, št. [110/2002](#), spremembe Ur.l. RS, št. [97/2003](#) Odl.US: U-I-152/00-23, [41/2004](#)-ZVO-1, [45/2004](#), [47/2004](#), [62/2004](#) Odl.US: U-I-1/03-15, [102/2004](#)-UPB1 ([14/2005](#) popr.), [92/2005](#)-ZJC-B, [93/2005](#)-ZVMS, [111/2005](#) Odl.US: U-I-150/04-19, [120/2006](#) Odl.US: U-I-286/04-46, [126/2007](#), [57/2009](#) Skl.US: U-I-165/09-8, [108/2009](#), [61/2010](#)-ZRud-1 ([62/2010](#) popr.), [20/2011](#) Odl.US: U-I-165/09-34, [57/2012](#)). Ta zakon ureja pogoje za graditev vseh objektov, določa bistvene zahteve in njihovo izpolnjevanje glede lastnosti objektov, predpisuje način in pogoje za opravljanje dejavnosti, ki so v

zvezi z graditvijo objektov, ureja organizacijo in delovno področje dveh poklicnih zbornic, ureja inšpekcijsko nadzorstvo, določa sankcije za prekrške, ki so v zvezi z graditvijo objektov, ter ureja druga vprašanja, povezana z graditvijo objektov. Graditev objekta po tem zakonu obsega projektiranje, gradnjo in vzdrževanje objekta. Podzakonski predpisi, ki vplivajo na načrtovanje in gradnjo MČN so:

- [Uredba o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje](#) (Uradni list RS št. 18/13, 24/13 in 26/13), ki določa, da je MČN je glede na zahtevnost gradnje manj zahteven objekt (<50 000 PE), v kolikor ni obvezna presoja vplivov na okolje;
- Uredba o klasifikaciji vrst objektov in objektih državnega pomena (Uradni list RS, št. [109/11](#)), ki MČN glede na CC-SI-Struktura razvršča med gradbene inženirske objekte, Cevovodi, komunikacijska omrežja in energetski vodi, 22232 Čistilne naprave;
- Uredba o območju za določitev strank v postopku izdaje gradbenega dovoljenja (Uradni list RS, št. [37/08](#));
- Pravilnik o projektni dokumentaciji (Uradni list RS, št. [55/08](#)), ki določa podrobnejšo vsebino projektne dokumentacije za zahtevne in manj zahtevne objekte, način njene izdelave in vrste načrtov, ki jo sestavljajo in se uporabljajo za posamezne vrste stavb in gradbenih inženirskih objektov, glede na namen njene uporabe, obliko in vsebino povzetka revizijskega poročila ter vsebino povzetka podatkov o nameravani gradnji;
- [Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov](#) (Ur.I. RS, št. [101/2005](#)) določa zahteve, s katerimi se zagotovita mehanska odpornost in stabilnost objektov ves čas njihove življenjske dobe in katerih cilj je omejiti ogrožanje ljudi, živali in premoženja v objektih ter v njihovi neposredni okolini;
- Odredba o seznamu standardov, ob uporabi katerih se domneva skladnost z zahtevami Pravilnika o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov (Uradni list RS št. [8/11](#)).

Na načrtovanje MČN vplivata še naslednja zakona : **Zakon o varstvu okolja** (Uradni list RS, št. [41/04](#), [20/06](#), [39/06](#), [70/08](#), [108/09](#), 48/12, 57/12) in **Zakon o vodah** (Uradni list RS, št. 67/02, 110/02-ZGO-1, 2/04, 41/04-ZVO-1).

Zakon o varstvu okolja ureja varovanje okolja pred obremenjevanjem kot temeljni pogoj za trajnostni razvoj in v tem okviru določa temeljna načela varstva okolja, ukrepe varstva okolja, spremljanje stanja okolja in informacije o okolju, ekonomski in finančne instrumente varstva okolja, javne službe varstva okolja in druga z varstvom okolja povezana vprašanja (1. člen ZVO–1). Ta zakon določa primere, ko je za poseg v okolje potrebno pridobiti okoljevarstveno soglasje ali dovoljenje (15.člen).

Podzakonski predpisi na podlagi Zakona o varstvu okolja na področju varstva voda so razvrščeni po področjih:

1. ukrepi varstva okolja, ki jih je potrebno upoštevati pri načrtovanju:
2. spremljanje stanja okolja,
3. javne službe varstva okolja,
4. okoljske dajatve.

Pri načrtovanju in umeščanju v prostor so pomembne uredbe, ki jih določa področje pod točko a):

- Uredba o emisiji snovi pri odvajjanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav (Uradni list RS, št. 98/07, 30/10);

Ta uredba določa posebne zahteve v zvezi z emisijo snovi pri odvajjanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav in sicer: mejne vrednosti parametrov odpadne vode, posebne ukrepe v zvezi z odvajanjem odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav glede na občutljivost vodnega okolja in posebne zahteve v zvezi z nadzorom obratovanja malih komunalnih čistilnih naprav in izvajanjem prvih meritev ter obratovalnega monitoringa emisij malih komunalnih čistilnih naprav.

- Uredba o emisiji snovi pri odvajjanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav (Uradni list RS, št. 45/07, 63/09, 105/10);

Uredba določa v skladu z Direktivo Sveta o čiščenju komunalne odpadne vode posebne zahteve v zvezi z emisijo snovi pri odvajjanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav, in sicer:

- o mejne vrednosti parametrov odpadne vode,
 - o posebne ukrepe v zvezi z odvajanjem odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav glede na občutljivost vodnega okolja in
 - o posebne zahteve v zvezi z nadzorom obratovanja komunalnih čistilnih naprav in izvajanjem prvih meritev in obratovalnega monitoringa emisij komunalnih čistilnih naprav.
-
- Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajjanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 47/05, 45/07, 79/09, 64/12).

Ta uredba v zvezi z zmanjševanjem onesnaževanja okolja zaradi emisije snovi in emisije toplove, ki nastajata pri odvajjanju komunalne, industrijske in padavinske odpadne vode ter njihovih mešanic v vode, določa mejne vrednosti emisije snovi in toplove, vrednotenje emisije snovi in toplove, ukrepe preprečevanja emisije snovi in toplove pri odvajjanju odpadnih voda, ukrepe zmanjševanja emisije snovi in toplove pri odvajjanju odpadnih voda, druge ukrepe zmanjševanja emisije snovi, pogoje za odvajanje odpadnih voda in obveznosti investorjev in upravljavcev naprav, ki se nanašajo na pridobitev okoljevarstvenega dovoljenja in obratovanje naprave (1. člen).

Zakon o vodah ureja upravljanje z morjem, celinskimi in podzemnimi vodami, ter vodnimi in priobalnimi zemljišči. Upravljanje obsega varstvo voda, urejanje voda in odločanje o rabi voda. Z gradnjo (če je ta na lokaciji ob vodotoku) oz. iztokom iz čistilne naprave se posega na področje voda, na načrtovanje in umeščanje v prostor

vpliva Pravilnik o vsebini vlog za pridobitev projektnih pogojev in pogojev za druge posege v prostor ter o vsebini vloge za izdajo vodnega soglasja (*Uradni list RS*, št. [25/09](#)).

Na področje načrtovanja ČN vplivata še Zakon o prostorskem načrtovanju (Uradni list RS, št. 33/07), ki ureja prostorsko načrtovanje kot del urejanja prostora, in Zakon o lokalni samoupravi (ZLS-UPB2 Uradni list RS, št. 94/07). Ta ureja občine kot temeljne samoupravne lokalne skupnosti, ki mora zadovoljevati potrebe in interese svojih prebivalcev, med drugim komunalno opremljenost, ki zajema tudi odvajanje in čiščenje odpadnih vod (13. člen).

Za male komunalne čistilne naprave z zmogljivostjo manj kot 2000 populacijskih enot (PE), je torej bistveno upoštevati mejne vrednosti iz Uredbe o emisiji snovi pri odvajjanju odpadnih vod iz malih komunalnih čistilnih naprav (Uradni list št. 98/07, Uradni list št. 30/10). Navedena uredba navaja mejne vrednosti samo za parametra KPK (150 mg/L O₂) in BPK5 (30 mg/L O₂). Za ravnanje z odpadno vodo se uporablja splošna Uredba o emisiji snovi in toplice pri odvajjanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list št. 64/12).

Ob rednem vzdrževanju MBČN voda na iztoku pri izpustu v površinske vodotoke ne obremenjuje okolja. Kljub vsemu pa voda, ki izteka iz MBČN brez dodatnega čiščenja ni primerna za uporabo v druge namene. Če želimo doseči kakovost vode, ki ustreza predpisom slovenske zakonodaje, moramo vodo ustrezno očistiti.

Zahteve, ki jih mora izpolnjevati pitna voda z namenom varovanja zdravja ljudi pred škodljivimi učinki zaradi kakršnegakoli onesnaženja pitne vode, predpisuje Pravilnik o pitni vodi (Uradni list št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06 in 25/09). Nabor parametrov in mejne vrednosti so določene v Prilogi I navedenega pravilnika.

Ključen korak, da se vode iz MBČN ne bo spuščalo nazaj v površinski vodotok, ampak bo ta lahko koristno uporabljena za sekundarne namene, je v dodatnem čiščenju s pomočjo inovativne tehnologije z nanodelci ničivalentnega železa. Po tem procesu je možno vodo porabnikom pripeljati preko povratne zanke.

6. Nanodelci nič valentnega železa za čiščenje onesnaženih vod

Zaradi naraščajočega števila prebivalstva je okolje vse bolj obremenjeno. Raziskovalci intenzivno iščejo primerne in ekonomsko sprejemljive načine remediacije kontaminiranih zemeljin, odpadnih vod in podtalnice. Učinkovitost remediacije je odvisna od tehnološkega postopka čiščenja, vrste onesnažila in stopnje onesnaženja in hidrogeokemjiskih parametrov (Mueller in Nowack, 2010). V zadnjem desetletju opažamo porast remediacij na osnovi in-situ tehnologij (Karn et al., 2009; Parbs in Birke, 2005).

V literaturi je opisanih več načinov *in-situ* remediacije z nanodelci. Nanodelci imajo v primerjavi z enakimi materiali, ki nimajo nano značaja (velikost delcev v mikrometrskem območju) veliko večjo reaktivnost in specifično površino, kar omogoča učinkovito remediacijo (Theron et al., 2008; Zhang, 2003; Hua et al., 2012). V zadnjem času se pri nanoremediacijah onesnaženih zemeljin in podtalnice najpogosteje uporablajo nanodelci ničvalentnega železa (nZVI) (Karn et al., 2009). Razlog za pogosto uporabo nZVI je učinkovito odstranjevanje onesnažil z adsorpcijo in ko-precipitacijo z železovimi hidroksidi (korozijskimi produkti ničvalentnega železa) ter razgradnje onesnažil z zelo učinkovito redukcijo z ničvalentnim železom, ki se pri tem oksidira v železo (II) in železo (III) (Noubactep, 2009).

Ko nZVI uporabimo pri in-situ remediaciji je potrebno upoštevati, da so disperzije nZVI nestabilne in da delci hitro aglomerirajo (Phenrat et al., 2007; Kim et al., 2010). Da bi povečali njihovo koloidno stabilnost, so preučili različne načine (Phenrat et al., 2007), med katerimi je najpogosteje v rabi površinska modifikacija nZVI (Frost et al., 2010; Wang in Zhang, 1997; Li et al., 2011a; Lin et al., 2010). Pri remediaciji pa je potrebno upoštevati, da s površinsko modifikacijo nZVI izgubljajo na reaktivnosti.

Nanodelci se uspešno uporabljajo za remediacijo onesnaženih zemeljin in voda z dvovalentnimi in trivalentnimi ioni kovin kot na primer: Cr, Pb, As, Cu, Cd, Ni, in Zn (Kržišnik et al., 2013; Ponder et al., 2000; Kanel et al., 2005) in šestvalentnega Cr (Li et al., 2011b; Ponder et al., 2001; Němeček et al., 2013).

Delci nZVI lahko razgradijo tudi vrsto kloriranih in nekatera druga organska onesnažila (shematko prikazano na sliki 10) na osnovi redukcije (O'Carroll et al., 2013; Zhang et al., 2009), razgradnje na osnovi Fentonske reakcije (Noradoun et al., 2005; Gyliené et al., 2008), poteka pa tudi adsorpcija, ki organska onesnažila

odstrani iz raztopine (Choi et al., 2009). Za posamezno organsko onesnažilo je potrebno poiskati ustrezen način odstranjevanja, ki je odvisen od vrste onesnažila in pH pri katerem remediacijo izvajamo. Pri remediaciji organskih onesnažil je posebej pomembno preveriti, kateri razgradnji produkti nastanejo, saj so hčerinske spojine potencialno lahko celo bolj strupene od starševskih.



Slika 10: Shematski prikaz procesov imobilizacije težkih kovin in razgradnje organskih kontaminatov na površini nZVI (povzeto po O'Carroll et al., 2013).

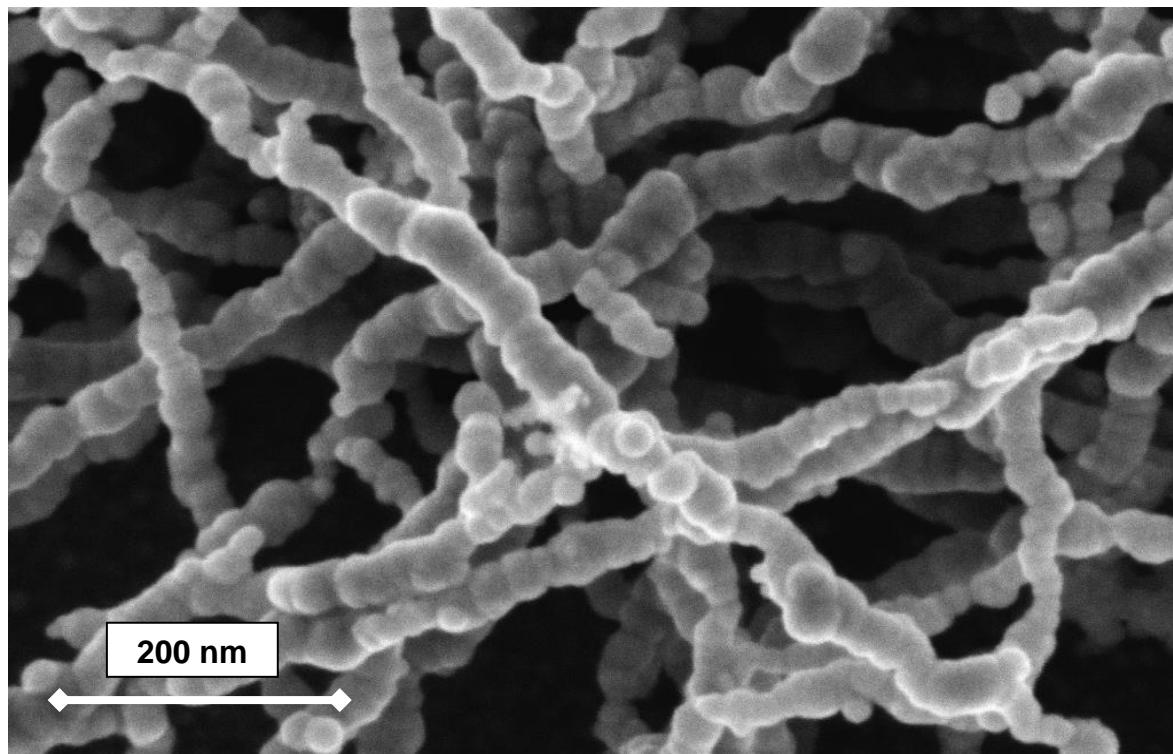
Delci nZVI učinkovito uničijo tudi različne bakterije in mikroorganizme in jih zato lahko uporabimo tudi za dezinficirajo vode (Li et al., 2010; Chen et al., 2012).

Antimikrobnlo delovanje nZVI temelji na tvorbi reaktivnih kisikovih spojin (RKS). Ti povzročijo oksidativni stres v bakterijah, kar vodi v celično smrt (Ševcú et al., 2011). Pri reakciji Fe(0) s kisikom ali vodo se železo reducira do Fe(II), ti ioni pa tvorijo reaktivne kisikove spojine (RKS). Povišane vrednosti RKS v celicah povzročajo oksidativni stres, ki se kaže v peroksidaciji lipidov (razgradnja in slabša selektivna prepustnost membran), oksidaciji proteinov (navzkrižna povezava proteinov s hidrofobnimi vezmi zmanjša aktivnost encimov in mitohondrijev) ter v mutacijah DNK (Ševcú et al., 2011). RKS so tudi naravni produkt fotosinteze, zato so organizmi razvili različne načine za obrambo, kot so vezava železovih ionov v komplekse, popravljalne encime in antioksidatne (Ševcú et al., 2011). Antimikrobnlo delovanje

nZVI so že testirali na različnih organizmih: *Alcaligenes eutrophus*, *Escherichia coli* (Chen et al, 2011) in *Pseudomonas fluorescens*, kjer so je izkazalo za uspešno (Ševcú et al., 2011). Časi inkubacije, velikost delcev in koncentracija so se med študijami razlikovale, zato je za primerjavo antimikrobnega delovanja glede na vrsto mikroba premalo podatkov.

Němeček in sodelavci (2013) so preučevali *in-situ* remediacijo Cr(VI) z nZVI v onesnaženi podtalnici in poleg učinkovite remediacije Cr(VI) s testi strupenosti z *V. fischeri* pokazali, da nanoremediacija z nZVI nima strupenih učinkov na podtalnico saj nZVI po uporabi zelo hitro izgubijo nano značaj.

Študije poročajo, da je nZVI podvržen dvema procesoma, ki zmanjšujeta njihovo učinkovitost: aglomeracija (Slika 11) in pasivizacija.

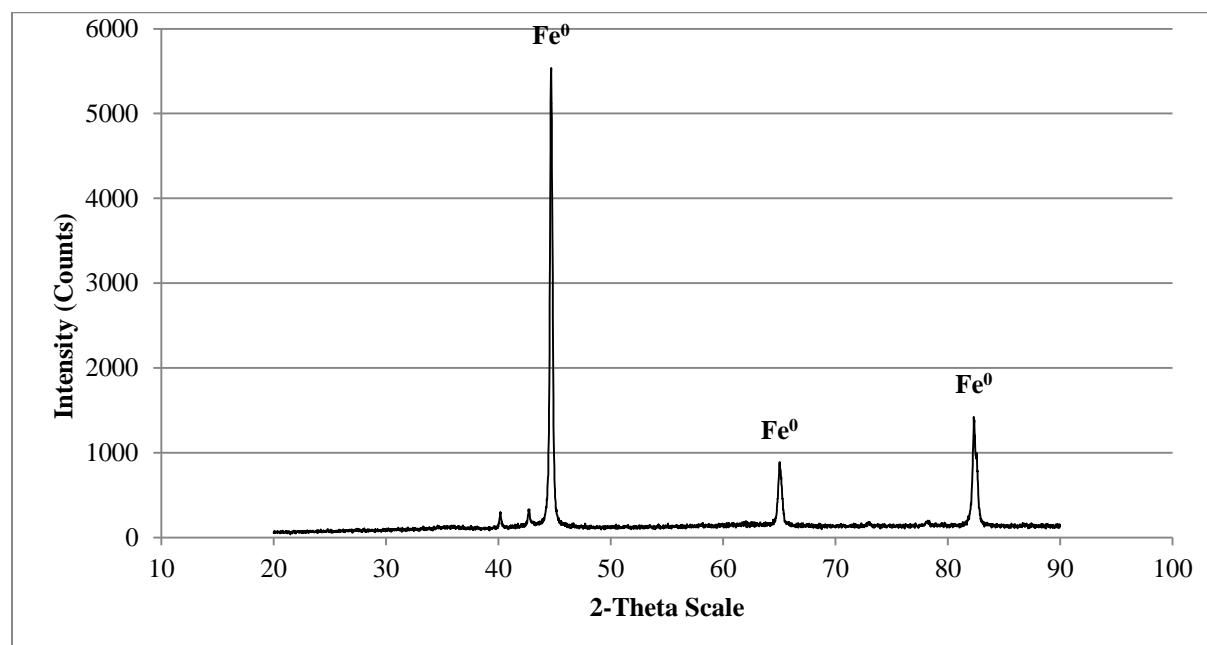


Slika 11: Verige aglomeriranih nanodelcev nič valentnega železa pod vrstičnim elektronskim mikroskopom.

Pri aglomeraciji kot rečeno iz nanodelcev nastanejo večji skupki (mikrodelci), kar zmanjša njihovo mobilnost v vodi in specifično površino. Oksidacija nZVI vodi do tvorbe plašča iz Fe(II) in Fe(III), kar povzroči pasivizacijo in s tem zmanjšano reaktivnosti. Bardos in sodelavci (2011) navajajo, da pasiviran nZVI ne izkazujejo

celične toksičnosti. Tako se nZVI med remediacijo dosežejo mikrometrsko velikosti in s tem varnejšo obliko delcev.

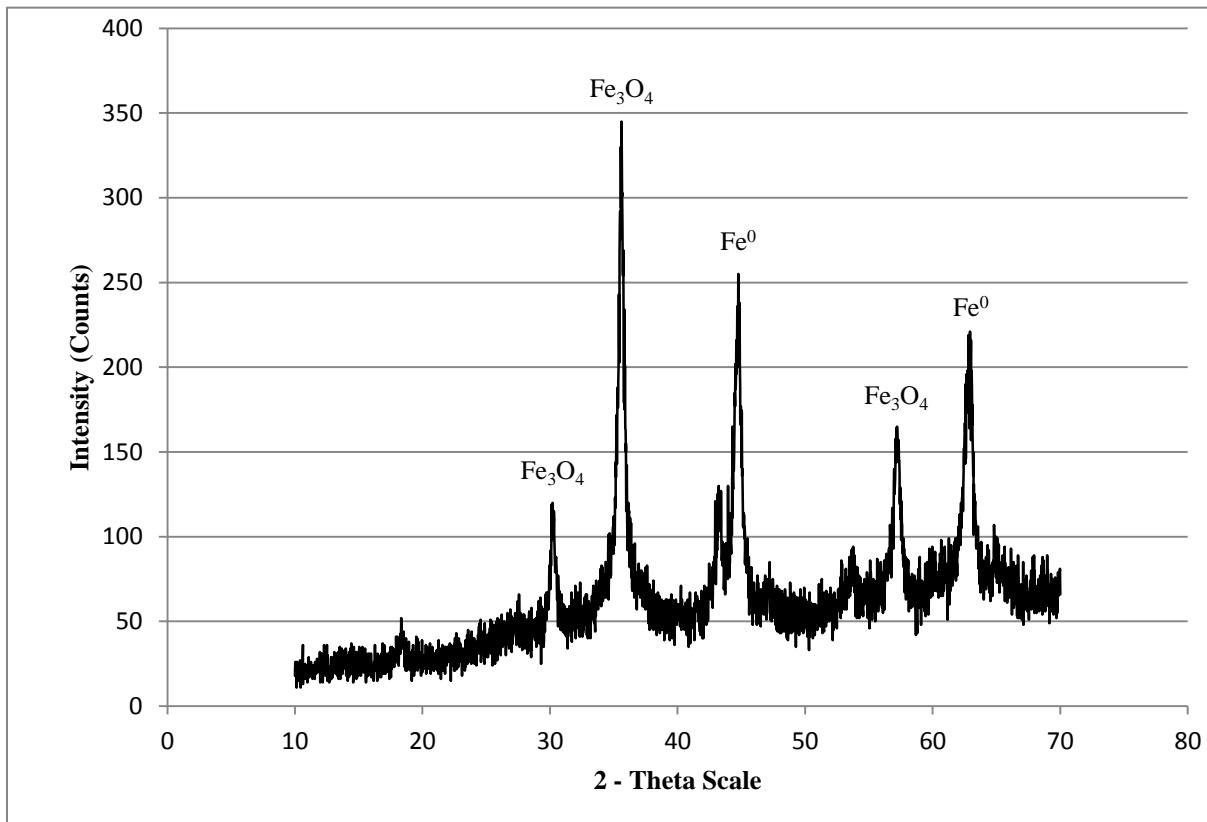
Sinteza nZVI je relativno enostavna, kar še dodatno povečuje njihovo uporabo (Deliyanni et al., 2004). Obstaja več sinteznih poti, s katerimi lahko pripravimo nanodelce velike 5 do 100 nm. Najenostavejši postopek je redukcija FeCl_3 z NaBH_4 , pri katerem nastaja elementarno železo, H_2 in borova kislina (Wang in Zhang, 1997). Industrijski sintezni postopek temelji na redukciji nanodelcev železovih oksidov s pomočjo plinastega vodika, pri visokih temperaturah (do 600 °C) in ob visokih tlakih (Crane in Scott, 2012). Od vrste sintezne poti je odvisna tudi sestava in reaktivnost nZVI. Nanodelci sintetizirani po industrijskem postopku imajo kristalinično jedro elementarnega železa. To je zelo dobro vidno na difraktogramu rentgenske praškovne difrakcije (XRD analiza) teh delcev, kjer so vrhovi kristaliničnega železa zelo intenzivni in visoki (Slika 12).



Slika 12: Difraktogram XRD analize komercialno dostopnih nZVI.

Tisti sintetizirani z nukleacijo reduciranega železa iz raztopine s pomočjo NaBH_4 so bolj reaktivni in manj obstojni v suspenziji. Njihovo jedro tvori manj kristalinična oblika elementarnega železa, kot je na primer vidno na difraktogramu XRD analize teh delcev (Slika 13). V tem primeru so vrhovi, ki predstavljajo kristalinično obliko

elementarnega železa manj intenzivni. Prisotni pa so tudi vrhovi, ki nakazujejo prisotnost mineralov železovih oksidov (na primer magnetita).



Slika 13: Difraktogram XRD analize nZVI sintetiziranih v laboratoriju z metodo redukcije z NaBH_4 .

nZVI je komercialno dostopen (npr. NANO IRON (Češka) in Chengdu Nuclear 857 New Materials Co. (Kitajska). Pri geografsko najbližjem ponudniku se cene pričnejo pri 120 EUR/kg.

6.1. Dobre prakse uporabe železovih nanodelcev za remediacijo vod

Mnenje o uporabi nZVI je v primerjavi z ostalimi vrstami nanomaterialov, glede njihovih možnih negativnih učinkov na bioto in okolje, najbolj pozitivno (Karn et al., 2009; Tratnyek in Johnson, 2006; Deliyanni et al., 2004). Železo je namreč element, ki ga organizmi potrebujejo za svoje nemoteno delovanje.

nZVI so za remediacijo podzemne vode uporabili že na različnih krajih v ZDA in Evropi (predvsem na Češkem, v Nemčiji in v Italiji) (Mueller et al., 2012). Obseg

remediacije z nZVI je večji v ZDA, saj naj bi bili evropski regulatorni organi manj naklonjeni novim pristopom zaradi previdnostnega vidika (Mueller et al., 2012).

Primerov uporaba nZVI za potrebe remediacije vode je, kljub velikemu potencialu teh nanodelcev, zelo malo. Primeri pa so redko natančneje opisani, kot na primer v dokumentu projekta EURODEMO (European Platform for Demonstration of Efficient Soil and Groundwater Remediation; Project no. (GOCE) 003985) za naslovom **State-of-the-art report and inventory on already demonstrated innovative remediation technologies**. V besdilu je opisani 8 primerov uporabe nZVI za remediacijo podzemnih voda in onesnaženih zemljin. Vsi primeri uporabe (evidentirani od leta 1999 do leta 2002) so bili izvedeni na področju Kanade in Združenih Držav Amerike (ZDA). V vseh osmih opisanih primerih so bili delci uporabljeni za razgradnjo organskih onesnažil (na primer: polikloriranih bifenilov, lahko-hlapnih organskih onesnažil) z namenom izboljšanja kvalitete podzemnih vodonosnikov.

Mueller in sodelavci so leta 2012 evidentirali 15 primerov uporabe nZVI, ki pa so bili večinoma izvedeni na pilotni ravni. Kar osem primerov je bilo evidentiranih na Češkem, pet v Nemčiji in po en v Italiji in na Slovaškem. V vseh primerih so bili nZVI uporabljeni za remediacijo podzemnih vodonosnikov onesnaženih z organskimi kontaminanti (Mueller et al., 2012). Najbolj zanimiva sta dva primera remediacije, ki so jih opisali Mueller in sodelavci (2012):

- V Bornheimu, Nemčija so 14 let čistili podzemno vodo s kombinacijo nZVI in mikrodelcev nič-valentnega železa. Ocenujejo, da bi morali z remediacijo nadaljevati še 50 let, da bi odstranili vse onesnažila.
- V letu 2008 so začeli z remediacijo podzemne vode v Horičah (Češka), ki je bila onesnažena s halogeniranimi ogljikovodiki s koncentracijami do 70 mg/L. Z nZVI so uspešno zmanjšali onesnaženje podzemne vode.

Edini večji ponudnik nZVI v Evropi je podjetje Nanoiron s.r.o., ki ima na svoji spletni strani prikazanih več primerov uspešne uporabe svojih nZVI. Primeri uporabe so skoraj izključno za potrebe remediacije podzemnih voda. Poudariti želimo naslednje:

- Na Češkem (Kara Trutnov) so nič valentne nanodelce železa (nZVI) proizvajalca Nanoiron uporabili za remediacijo podzemne vode, onesnažene s kloriranimi eteni in šest-valentnim kromom. (Vir:
http://www.nanoiron.cz/images/stories/2012_presentation.pdf, dostop 27.5.2015.,
http://www.nanoiron.cz/images/stories/pilot_study_cz_kara.pdf, dostop:
27.5.2015).

- Leta 2004 so v bližini kraja Kutna Hora na Češkem izvedli remediacijo podzemne vode onesnažene s kloriranimi ogljikovodiki. (Vir: http://www.nanotechproject.org/inventories/remediation_map/data/, dostop: 27.5.2015).
- Prav tako leta 2004 so uspešno zmanjšali z ogljikovodiki onesnažene terase okoli struge Labe na Češkem. (Vir: http://www.nanotechproject.org/inventories/remediation_map/data/, dostop: 27.5.2015).
- Leta 2005 so dosegli 20-50% znižanje koncentracij kloriranimi ogljikovodiki v podzemni vodi po enim mesecu v kraju Biella, Italija. (Vir: http://www.nanotechproject.org/inventories/remediation_map/data/, dostop: 27.5.2015).
- Leta 2005 so na vojaškem področju v Lakehurstu, ZDA dosegli 74% znižanje onesnaženosti vode in zemljine s kloriranimi ogljikovodiki. (Vir: http://www.nanotechproject.org/inventories/remediation_map/data/, dostop: 27.5.2015).
- V Passicu, ZDA so z nZVI v šestih mesecih za 90-100% zmanjšali onesnaženost podzemne vode s kloriranimi ogljikovodiki. (Vir: http://www.nanotechproject.org/inventories/remediation_map/data/, dostop: 27.5.2015).
- Leta 2005 so v Ontariu, Kanada očistili podzemno vodo onesnaženo s kloriranimi ogljikovodiki z uporabo nZVI. (Vir: http://www.nanotechproject.org/inventories/remediation_map/data/, dostop: 27.5.2015).
- V Rochesterju, ZDA so leta 2004 z nZVI dosegli 10-kratno znižanje onesnaženosti podzemne vode v skali s kloriranimi ogljikovodiki. (Vir: http://www.nanotechproject.org/inventories/remediation_map/data/, dostop: 27.5.2015).

V znanstveni literaturi je znanih več primerov uspešne uporabe nZVI za čiščenje odpadnih voda (glej na primer Hansso et al., 2012, Diao in Yao, 2009, Hua et al., 2012). Večina raziskovalcev pa poudarja da je cena nZVI na trgu za enkrat še previsoka. To onemogoča splošno uporabo na realnih sistemih za čiščenje vode, kjer bi dokazano povečali učinkovitost čiščenja na okolju prijazen način (Crane in Scott, 2012).

7. Organsko blato iz čistilnih naprav

Pri čiščenju odpadnih voda v čistilnih napravah kot stranski proizvod nastaja odpadno organsko blato, ki pa se zelo razlikuje glede na uporabljeno tehnologijo čiščenja ter stopnje in vrste onesnaženja. Ta raznovrstnost materiala vpliva na njegovo uporabnost, zato se je treba od primera do primera odločiti, na kakšen način je blato možno in smiselno uporabiti.

Količine odpadnega blata, ki se pri teh postopkih kopičijo, so v svetovnem merilu zelo velike, zato je ravnanje z blatom že dalj časa eden izmed perečih problemov.

Obstajajo določeni postopki, kako ravnati z nakopičenim blatom.

V procesu predelave se lahko blato stabilizira, zgošča, suši ali sežge (http://www.unep.or.jp/ietc/publications/freshwater/sb_summary/10.asp).

Izraz stabilizacija pomeni zmanjšanje biokemijske potrebe po kisiku, ki je v svežem blatu izredno visoka. Poteka lahko pod aerobnimi ali anaerobnimi pogoji, pri zadnji možnosti se sprošča tudi plin, ki ga lahko uporabimo kot energent (<http://www.suez-environnement.com/water/business-lines/sludge-treatment-recovery>). Na tej stopnji ima lahko blato še vedno zelo visoko vsebnost vode, zato ga je treba zgoščati in sušiti. Da lahko z njim ravnamo kot s trdno snovjo, mora vsebovati manj kot 80 % vode (<http://www.suez-environnement.com/water/business-lines/sludge-treatment-recovery/>), za nadaljnjo uporabo pa je primernejše, če je ima še manj, saj se tako zmanjšata njegova masa in volumen. Kot rezultat sušenja nastanejo peleti iz blata (angl. sewage sludge pellets) (Monzo et al., 2004).

Postopki anaerobne razgradnje s pomočjo rastlin, so okoljsko najbolj prijazni. Vendar je razgradnja počasna in ta postopek torej ni primeren za večje količine blata. Čeprav je za to potrebne veliko energije je skrajni primer ravnanja z blatom sežig v sežigalnici, ki je okoljsko najbolj obremenjujoč postopek in tudi cenovno običajno najdražji. Pri tem poleg izpušnih plinov, ki jih je treba nadzorovati, nastane tudi pepel (angl. sewage sludge ash). Ta ima v primerjavi s peleti, v katerih je več kot 50 % organskih snovi, mnogo večji delež anorganskih snovi (Monzo et al., 2004; Jamshidi et al., 2012).

7.1. Možnosti uporabe blata iz čistilnih naprav

Obstajajo primeri uporabe odpadnega blata v različne namene, predvsem industrijske in kmetijske. Tovrstna uporaba ima že razmeroma dolgo tradicijo. V kmetijstvu se odpadno blato uporablja kot gnojilo saj je bogato s fosforjem, ki je glavna sestavina gnojil. Zato se ustrezeno obdelano blato lahko odlaga na kmetijske površine. Poleg visoke vsebnosti fosforja, ima blato tudi druge koristne vplive na prst: ima pozitiven vpliv na pH, delež organskih snovi, poroznost, sposobnost kationske izmenjave, zadrževanje vlage. (Lederer in Rechberger, 2010).

V gradbeni industriji se blato uporablja kot nadomestni material pri proizvodnji cementa (Braguglia et al, 2012; Murray et al., 2008), ter kot nadomestna surovina za proizvodnjo opeke (njen delež v opeki znaša 10 do 40 utežnih odstotkov) (Murray et al., 2008; Liew et al., 2004). V gradbeništву se je do sedaj uporabljal predvsem pepel (ostanek blata po sežigu), in sicer kot dodatek v proizvodnji različnih gradbenih materialov, kot so beton, malte, opeke, asfalt, topotno-izolacijski material ali pa kot stabilizator tal (Tantawy et al. 2012).

Pri uporabi v kmetijstvu mora blato ustrezati določenim zahtevam glede vsebnosti težkih kovin in patogenih bakterij. Za dosego teh standardov so običajno potrebni določeni tehnološki postopki. Vsebnost težkih kovin pa ni problematična pri uporabi v cementni industriji, saj so težke kovine v cementnih izdelkih imobilizirane, oziroma se ne morejo izluževati.

Zgodovinsko gledano, se je večina odpadnega blata odloženega v zadnjem stoletju skurila v sežigalnicah, ali pa je bilo odloženo na deponijah in celo v morju. Slednje ni več dovoljeno, saj je v nasprotju z evropsko direktivo sprejeto leta 1998 in 2005 (Hospido et al., 2005; Hospido et al., 2010).

Kot primer lahko navedemo, kako uporabljajo odpadno blato na Japonskem. Tu reciklirajo 70 % odpadnega blata iz čistilnih naprav. 45 % ga uporabijo v cementni industriji (velika večina v obliki pepela), 34 % v gradbeni industriji za cementne kompozite (tudi v obliki pepela), 20 % se ga kompostira in 1 % se ga uporabi kot nadomestno gorivo (Nakakubo et al., 2012).

7.2. Uporaba blata iz čistilnih naprav v gradbeništvu

V gradbeništvu obtaja več vrst uporabe blata iz čistilnih naprav.

7.2.1. Uporaba blata pri proizvodnji cementa

Monzo s sodelavci (2004) in Kynlc (2008) poročajo o uporabi peletov iz blata pri proizvodnji cementa. Poleg apna in gline dodajo v mlin približno 10 % peletov. Ker imajo ti visoko vsebnost železovega oksida, ga cementu ni treba dodajati iz drugih virov. Za ta namen uporabe mora biti blato dovolj suho (manj kot 15 % vlažnosti (Kyncl, 2008)). Lahko se ga suši med mletjem, s posebnimi sušilniki (fluid bed dryers) ali pa se ga pomeša s suhim materialom. Cement z dodanimi peleti iz blata ima ob prilagojeni dozaciji ostalih sestavin zelo podobno vsebnost oksidov kot referenčni cement (tabela 1).

Tabela 1: Kemijska sestava surovega materiala za proizvodnjo cementnega klinkerja (vir: Monzo et al., 2004).

Oksid	Referenčni cement	Cement z dodanimi peleti iz blata
SiO ₂	13,6	13,2
Al ₂ O ₃	3,6	3,3
Fe ₂ O ₃	2,4	2,3
CaO	42,4	41,5
MgO	1,4	1,6
SO ₃	0,2	0,2
K ₂ O	0,9	0,7

7.2.2. Uporaba blata v betonih in maltah

V literaturi smo zasledili več poročil o uporabi peletov ali pepela iz blata v betonu in maltah. V mešanicah uporabijo od 8 do 130 kg peletov (Alqedra et al., 2011). Večinoma te proizvode obravnavajo kot dodatke cementu in navajajo njihovo količino v % mase cementa.

Peleti oziroma pepel iz blata so zelo absorptivni (Alqedra et al., 2011), razlikujejo pa se po vsebnosti vode. Peleti z višjo vsebnostjo vode lahko zmanjšujejo potrebo po vodi v cementnih proizvodih (Yague et al., 2013), v večini primerov pa zaradi svoje visoke absorptivnosti pri isti količini vode zmanjšujejo posred mešanice. Dodatek

pepela iz blata zmanjšuje začetni in končni čas vezanja cementa (Monzo et al., 2004).

Beton oziroma malta z dodanimi proizvodi iz blata ima praviloma nižjo tlačno trdnost. Jamshidi s sodelavci (2011) v betonu s 108 kg peletov izmeri 25 %, v betonu z 72 kg peletov pa 12 % zmanjšanje tlačne trdnosti v primerjavi z referenčnim betonom. Isti avtor v delu (Jamshidi et al., 2012) za beton 72 kg pepela navaja 22 % zmanjšanje tlačne trdnosti v primerjavi z referenčnim betonom. Alqedra s sodelavci (2011) za beton s 130 kg blata z nižjo vsebnostjo organskih snovi (11 – 13 %, blato se je dalj časa sušilo na soncu) navaja 14 % zmanjšanje tlačne trdnosti, Yague s sodelavci (2004) pa navaja, da ima beton z zgolj 29 kg dodanega blata le eno tretjino trdnosti referenčnega betona. Vidimo torej, da je pestrost dobljenih rezultatov velika in je verjetno odvisna od vrste in kakovosti predelanega blata.

Vzporedno s tlačno trdnostjo betonov z dodanim blatom se znižuje tudi njegova upogibna trdnost (Monzo et al., 2004).

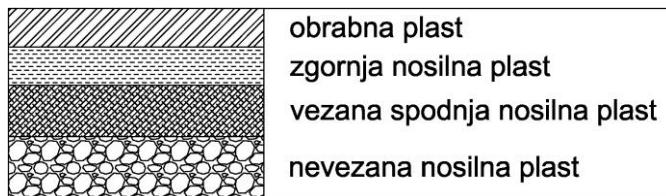
Yague s sodelavci (2004) poroča o povečani globini karbonatizacije za betone z dodanim blatom. Testiral je tudi odpornost preizkušancev na mokro – suhe cikle, pri čemer je preizkušance namakal v pitni vodi, morski vodi in v 5 % raztopini kalijevega sulfata. Preizkušanci z dodanim blatom so dosegali rezultate primerljive z referenčnimi preizkušanci.

Blato iz čistilnih naprav ima lahko prekoračeno vrednost težkih kovin v izlužku, zato je pomembno vedeti, ali se te kovine vežejo v cementno matrico in se ne morejo več izluževati v okoliško vodo. Yague s sodelavci (2013) je preizkušal več malt z in brez blata in ugotovil, da so vse kovine najmanj 70 % vezane v cementno matrico, tako da z okoljskega vidika uporaba takega betona ni problematična.

7.2.3. Uporaba blata v cestogradnji

Če želimo porabiti čim več odpadnega materiala, ga želimo vključiti v proizvod, ki se uporablja v čim večjih količinah. Poleg masivnega betona, ki ga srečamo predvsem pri gradnji hidroelektrarn in večjih temeljev, je največja poraba kompozitnih materialov v cestogradnji. Na sliki 14 je prerez skozi voziščno konstrukcijo. Blato iz

čistilne naprave bi lahko uporabili kot agregat v vsakem izmed slojev, pri tem pa mora zmes agregata izpolnjevati kriterije, navedene v tabeli 2.



Slika 14: Prerez voziščne konstrukcije.

Tabela 2: Zahtevane lastnosti kamnitega materiala za plasti v voziščni konstrukciji.

Lastnost	Nevezana nosilna plast [10]	Vezana spodnja nosilna plast [11]	Zgornja nosilna plast [12], [13]	Obrabna plast [13]
Odpornost zrn proti drobljenju - na cestah z zelo težko in težko prometno obremenitvijo - na cestah s srednjo in lahko prometno obremenitvijo	LA ₃₀ LA ₃₅	LA ₃₀ LA ₄₀	LA ₃₀ LA ₃₀	LA ₂₀ LA ₂₅
Odpornost zrn proti učinkom zmrzovanja	NS ₅	MS ₂₅	MS ₂₅	MS ₁₈
Vsebnost slabo oblikovanih zrn	SI ₂₀	SI ₄₀		
Delež zrn velikosti do 0,063 mm	f ₅	f ₁₅		

Nevezana nosilna plast je mešanica agregata predpisane zrnavostne sestave, ki ima omejeno vsebnost organskih delcev. Vezana spodnja nosilna plast je lahko cementna stabilizacija, kar je zmes praviloma najmanj 50 kg/m³ cementa in agregata. Zgornja nosilna in obrabna plast je lahko beton, ki mora glede na prometno obremenitev ceste zadostiti zahtevam glede tlačne trdnosti, navedenim v tabeli 3.

Tabela 3: Zahteve glede trdnosti za beton voziščne konstrukcije.

Prometna obremenitev	Razred tlačne trdnosti	Natezna trdnost [MPa]	
		upogibna	cepilna
Lahka in srednja	C25/30	4,0	2,4
Težka	C30/37	5,0	3,0
Zelo in izredno težka	C35/45	5,5	3,3

7.3. LCA analize, ki so bile objavljene s področja uporabe odpadnega blata

Murray in sodelavci (2008) so s pomočjo LCA analize primerjali različne postopke ravnjanja z odpadnim blatom iz čistilnih naprav. Ti postopki so mehansko izsuševanje (»dewatering«), stabilizacija (trije načini stabilizacije: z apnom, anaerobna razgradnja, aerobna razgradnja) in tri končne možnosti: kompostiranje ali sušenje ali sežiganje. Z uporabo LCA analize so preučili devet kombinacij ravnjanja z odpadnim blatom (Tabela 4), namen je bil, da bi ugotovili katera kombinacija postopkov predstavlja manjšo in katera večjo obremenitev za okolje. Za vse postopke so ugotavljali izpuste, ki se sproščajo v okolje (Tabela 5). Na podlagi teh podatkov so potrdili, da je anaerobna razgradnja okoljsko najbolj prijazen proces. Ta postopek predvsem pomembno prispeva k zmanjšanju SO_2 in CO izpustov. Toplotno izsuševanje v kombinaciji z anaerobno razgradnjo izkazuje manjšo obremenitev za okolje kot zgolj toplotno izsuševanje. Pline, ki se sproščajo pri razgradnji, se uporabi kot delni nadomestek goriva, potrebnega za toplotno izsuševanje. Najslabše okoljske karakteristike izkazuje sežiganje odpadnega blata v sežigalnici (Tabela 4).

Tabela 4: Devet različnih postopkov ravnjanja z odpadnim blatom. Povzeto po Murray in sodelavci 2008.

treatment scenario	end-product	destination
dewatering	sludge cake, 20% DS, no mass change	landfill
dewatering → lime stabilization	sludge cake, 30% DS, mass increase 15%/DT	agriculture, cement manufacturing
mesophilic anaerobic digestion → dewatering	sludge cake, 20% DS, mass decrease 29%/DT	agriculture
aerobic digestion → dewatering	sludge cake, 20% DS, mass decrease 29%/DT	agriculture
dewatering → heat drying → composting	finished compost, 57% DS, mass increase 32%/DT	agriculture
dewatering → heat drying	sludge cake, 36% DS, no mass change	cement manufacturing
mesophilic anaerobic digestion → dewatering → heat drying	sludge cake, 43% DS, mass decrease 29%/DT	cement manufacturing
aerobic digestion → dewatering → heat drying	sludge cake, 43% DS, mass decrease 29%/DT	cement manufacturing
dewatering → fluidized bed combustion (incineration)	ash, mass reduction 70%/DT	cement, clay brick manufacturing

Tabela 5: Emisije, ki se sproščajo pri različnih postopkih obdelave odpadnega blata. Povzeto po Murray in sodelavci 2008.

	lime dewatering	lime stabilization	anaerobic digestion (no lime)	anaerobic digestion (lime)	aerobic digestion	heat drying/ compost	heat drying	anaerobic digestion (no lime)/heat drying	aerobic digestion/ heat drying	FBC incineration (NG)	FBC incineration (coal)
SO ₂ (kg)	0.1	0.3	-6.1	-6.0	4.9	0.5	0.1	-2.7	4.9	-6.9	45
CO (kg)	0.1	1.2	-2.0	-1.6	2.5	0.3	0.3	-0.4	2.5	-3.0	29
NO _x (kg)	0.1	0.2	0.1	0.2	0.7	1.2	1.5	1.8	1.9	-0.9	5
VOC (kg)	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PM ₁₀ (kg)	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
GWE (kg CO ₂)	1.2×10^1	5.5×10^2	-2.8×10^2	-5.7×10^1	2.1×10^2	2.6×10^2	3.4×10^2	-1.2×10^2	2.1×10^2	2.1×10^3	3.0×10^3
electricity ^b (kWh)	1.9×10^1	8.1×10^1	-9.2×10^2	-8.9×10^2	7.3×10^2	7.0×10^1	1.9×10^1	-4.0×10^2	7.6×10^2	-1.0×10^3	-1.0×10^3
fuel ^c (MJ)	9.2×10^1	3.5×10^3	6.5×10^1	1.5×10^3	6.5×10^1	4.3×10^3	5.9×10^3	3.3×10^1	4.8×10^3	2.3×10^4	2.3×10^4

^a Values are for the treatment of 1 DT of sludge and include mechanical dewatering to 20% DS with a belt filter press.
^b Values account for potential resource recovery from anaerobic digestion first used to cover heat drying fuel demand and remainder as electricity, detailed in Supporting Information Table S31. ^c Values for incineration account for energy recovery used to offset electricity, detailed in Supporting Information Table S31.

Za vse postopke obdelave so prikazali tudi stroške (Tabela 6). Upoštevani so enkratni stroški (npr. povezani z opremo), operativni stroški (energija in zahtevane surovine za vsak določen proces obdelave) in stroški transporta. Vrednost energije proizvedene v sistemu so odšteli od končne porabe energije (pri določenem procesu obdelave).

Tabela 6: Stroški, povezani z obdelavo odpadnega blata z različnimi postopki. Stroški so mišljeni kot dnevna obdelava 84 ton suhega odpadnega blata. Povzeto po Murray in sodelavci 2008.

	capital cost (\$)	operation PV (\$)	transportation PV ^b (\$)	total direct cost (\$)	total cost including external cost (\$)
dewatering	10,000,000	13,000,000	1,500,000	25,000,000	25,000,000
lime stabilization	14,000,000	18,000,000	450,000	32,000,000	35,000,000
anaerobic digestion (no lime)	47,000,000	-11,000,000	410,000	36,000,000	31,000,000
anaerobic digestion (lime)	47,000,000	-9,600,000	420,000	39,000,000	35,000,000
aerobic digestion	47,000,000	27,000,000	410,000	75,000,000	80,000,000
heat drying/compost	32,000,000	59,000,000	310,000	91,000,000	93,000,000
heat drying	21,000,000	27,000,000	320,000	48,000,000	50,000,000
anaerobic /heat drying	56,000,000	1,500,000	270,000	58,000,000	56,000,000
heat drying/aerobic	56,000,000	43,000,000	270,000	100,000,000	105,000,000
FBC incineration (natural gas)	94,000,000	87,000,000	35,000	180,000,000	190,000,000
FBC incineration (coal)	94,000,000	6,000,000	35,000	100,000,000	150,000,000

^a Costs are reported in present value, adjusted to 2006 prices, assuming a 6% discount rate and 20 year time horizon.
^b Transportation is assumed to be 25 km from the treatment plant to the point of end use.

7.3.1. Nadomeščanje konvencionalnega gnojila z odpadnim blatom

Večina LCA študij se posveča uporabi blata za potrebe kmetijstva, kjer blato služi kot nadomestek umetnega gnojila. Odpadno blato je obogateno z ogljikom, nitrati in fosfati, zato se lahko uporablja kot popolni nadomestek umetnih gnojil – to se pravi da njegova uporaba v celoti nadomesti proizvodnjo fosfatnega ali nitratnega gnojila (Murray et al., 2008, Hong in Li, 2011). Z uporabo odpadnega blata kot gnojila torej preprečimo izkoriščanje naravnih surovin (kamnine obogatene s fosfati in nitrati) in emisije, ki so vezane na rudarjenje teh kamnin, transport in proizvodnjo umetnih gnojil (Murray et al., 2008).

Murray in sodelavci (2008) so na primeru iz Kitajske preučevali, kakšne so okoljske prednosti uporabe blata namesto umetnih gnojil v kmetijstvu. Uporabili so LCA analizo. Najprej so ugotavljali vsebnost hranil v konvencionalnem umetnem gnojilu (170 kg hranil na tono proizvedenega gnojila) in vsebnost hranil v blatu (7 kg hranil na tono blata). Na podlagi tega podatka so ugotovili, da z uporabo odpadnega blata namesto konvencionalnega gnojila prihranijo 4 % naravnih surovin in emisij – pri čemer je funkcionalna enota 1 tona gnojila.

Uporaba blata kot nadomestek umetnega gnojila je najbolj smiselna z vidika zmanjšanja porabe električne, fosilnih goriv in posledično z vidika preprečevanja izpustov v okolje. Murray in sodelavci (2008) so ugotovili, da ima uporaba blata v kmetijstvu več okoljskih koristi, kot uporaba blata v cementni industriji. Prepreči se več izpustov, ki imajo negativen vpliv na okolje in zdravje ljudi (Tabela 7). Predpogoj za uporabo blata v kmetijstvu pa je, da ustrezta standardom glede vsebnosti težkih kovin in patogenih bakterij.

Suh in Rousseaux (2002) sta na osnovi LCA analize potrdila, da je uporaba odpadnega blata za namene kmetijstva (kot gnojilo) z okoljskega vidika veliko bolj prijazna možnost kot odlaganje blata ali njegov sežig. Njun primer se nanaša na Francijo.

Tabela 7: Uporaba odpadnega blata bodisi kot gnojila v kmetijstvu, nadomestnega materiala v cementni proizvodnji in proizvodnji opek doprinese k zmanjšanju izpustov v okolje, vezanih na proizvodnjo omenjenih surovin. Tabela prikazuje za koliko se zmanjšajo izpusti v določeni industrijski panogi, če uporabimo odpadno blato. Povzeto po Murray in sodelavci 2008.

	offset w/sludge applied as fertilizer	offset w/heat dried sludge used in portland cement	offset w/digested and heat dried sludge used in portland cement	offset w/ash used in portland cement	offset w/ash used in clay brick
SO ₂ (kg)	-2.0×10^3	-6.8×10^3	-2.4×10^3	-4.6×10^1	-1.4×10^0
CO (kg)	-8.4×10^3	-4.2×10^3	-2.0×10^3	-8.3×10^2	-1.8×10^2
NO _x (kg)	-1.3×10^3	-9.7×10^2	-3.9×10^2	-8.5×10^1	-1.4×10^1
VOC (kg)	-1.5×10^3	-7.1×10^1	-7.1×10^1	-7.1×10^1	-1.4×10^1
PM ₁₀ (kg)	-4.5×10^2	-1.0×10^1	-1.0×10^1	-1.0×10^1	-2.8×10^{-1}
GWE (kg CO ₂)	-2.4×10^6	-4.4×10^5	-2.3×10^5	-1.2×10^5	-2.7×10^3
electricity ^b (kWh)	-5.9×10^8	-2.2×10^3	-2.2×10^3	-2.2×10^3	0
fuel (MJ)	-4.8×10^7	-3.4×10^{6d}	-1.2×10^{6d}	-9.4×10^4	-1.9×10^4

^a Values assume 1 t sludge production in Chengdu (30 660 DT raw sewage sludge, 21 769 DT digested sludge, or 9198 t incineration ash) substituted for raw materials in conventional manufacturing processes. ^b Conversion from MJ to kWh assumes 38% efficiency. ^c Added fuel offset assumes a lower heating value of 10.5 MJ/kg dry sludge at 36% DS, a starting sludge temperature of 16 °C, and a kiln efficiency of 75%. ^d Added fuel offset assumes a lower heating value of 7.5 MJ/kg dry sludge at 43% DS.

7.3.2. Nadomeščanje cementa z odpadnim blatom

Proizvodnja cementa je eden izmed tistih industrijskih procesov, ki najbolj prispevajo k izpustom toplogrednih plinov v ozračje, torej ima potencialno velik vpliv na globalno segrevanje ozračja.

Hong in Li (2011) sta prikazala možnost uporabe odpadnega blata iz čistilnih naprav kot vhodno surovino za proizvodnjo cementa. V LCA analizi sta primerjala proizvodnjo portlandskega cementa (na konvencionalen način) in proizvodnjo cementa, kjer se kot vhodna surovina dodaja tudi blato iz čistilnih naprav (med drugim kot delni nadomestek premoga - kuriva).

Uporaba blata v proizvodnji cementa ima pomemben vpliv na drastično zmanjšanje izpustov v okolje, zatorej njegova uporaba pripomore k manjšim okoljskim obremenitvam med alternativnim procesom proizvodnje cementa. Uporaba odpadnega blata pa ima na Kitajskem primeru tudi drug pozitiven pomen. Blato tu odlagajo na ustreznih deponijah in z njegovo uporabo v industriji se razbremeni problematika odlaganja, ki ima tudi velik vpliv na okolje (emisije, potreba po prostoru).

Uporaba blata kot surovine za proizvodnjo cementa izraža pozitiven vpliv na številne okoljske kazalce kot so ogljični odtis (ozioroma globalno segrevanje ozračja, ki ga povzročajo predvsem izpusti ogljikovega dioksida in metana), zakislevanje (povezano s SO_x izpusti, ki povzročajo predvsem kisel dež), evtrofikacija (vnos hrani v okolje, kar npr. v vodnih ekosistemih povzroča pretirano rast fitoplanktona in porabo kisika

ter s tem posledično pogin drugih organizmov), rast ozonske luknje, toksičnost. Zmanjša se potreba po mineralnih surovinah in po neobnovljivih virih energije (Tabela 8).

Tabela 8: Vpliv proizvodnje cementa na okoljske obremenitve. Prikazan je vpliv konvencionalne proizvodnje cementa in proizvodnje cementa, kjer se uporablja kot vhodna surovinu tudi odpadno blato. Povzeto po Hong in Li, 2011.

IMPACT 2002+ mid-point results.

Impact category	Unit	Cement	
		With sludge	Without sludge
Carcinogens	kg C ₂ H ₃ Cl eq	1.60	1.20
Non-carcinogens	kg C ₂ H ₃ Cl eq	12.64	11.32
Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0.29	0.39
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	1.13×10^3	1.24×10^3
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2.73×10^{-6}	2.89×10^{-6}
Respiratory organics	kg C ₂ H ₄ eq	2.31×10^{-2}	2.45×10^{-2}
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	1.61×10^5	1.80×10^5
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	4.27×10^4	4.71×10^4
Terrestrial acid/nutri	kg SO ₂ eq	7.67	12.60
Land occupation	m ² org.arable	0.76	0.79
Aquatic acidification	kg SO ₂ eq	1.26	1.83
Aquatic eutrophication	kg PO ₄ P-lim	0.17	0.19
Global warming	kg CO ₂ eq	846.43	899.35
Non-renewable energy	MJ primary	3.07×10^3	3.41×10^3
Mineral extraction	MJ surplus	4.34	4.68

Podobno raziskavo so opravili tudi Valderrama in sodelavci (2013). Tudi oni so potrdili, da uporaba blata v proizvodnji cementa vpliva na zmanjšanje toplogrednih izpustov (manjši ogljični odtis). Uporaba blata pa nima izrazitejšega vpliva na izboljšave glede toksičnosti proizvodnje (vpliv na zdravje ljudi) in glede izkoriščanja naravnih surovin.

Murray in sodelavci (2008) so v svoji LCA študiji primerjali uporabo odpadnega blata in pepela (ki ostane pri sežigu odpadnega blata) kot dve alternativni vhodnih surovini pri proizvodnji cementa. Suho odpadno blato se zažge v sežigalnici in pepel se nato uporabi kot vhodni material v cementni industriji. Pepel ima visoko vsebnost CaO, SiO₂, Al₂O₃ in Fe₂O₃, torej gre za kemične spojine, ki se nahajajo v apnenu, glini in železovi rudi. Prednost uporabe blata ali pepela (ki ostane pri sežigu odpadnega blata) kot vhodnih surovin v proizvodnji cementa je, da se zmanjša potreba po

rudarjenju v kamnolomih (apnenec), kar je povezano z znatnimi emisijami in izkoriščanjem naravnih surovin (Tabela 8).

7.3.3. Uporaba odpadnega blata v opekarski industriji

Kot nadomestni material pri proizvodnji opek se lahko uporablja neposredno suho odpadno blato (obdelano z ustreznimi postopki – Tabela 1), ali pa pepel, kot ostanek sežiga odpadnega blata. V literaturi obstajajo podatki o LCA analizah le za tiste opeke, v katere se je vgrajeval pepel. Murray in sodelavci (2008) so s pomočjo LCA analize primerjali uporabo pepela v proizvodnji cementa in proizvodnji opek. Kot je razvidno tudi iz tabele 4, je uporaba pepela z okoljskega vidika bolj smiselna pri proizvodnji opeke, kot pa cementa. Absolutno gledano, ima pepel (produkt sežiganja odpadnega blata) kot nadomestni material večji vpliv na zmanjšanje emisij v opekarski industriji, kot v industriji cementa.

7.3.4. Finančna primerjava

Finančno primerjavo (tako imenovano Life Cycle Cost Analysis) različnih možnosti uporabe odpadnega blata so delali Hong in sodelavci (2009). Primerjali so uporabo blata za kmetijske in za gradbene namene. S finančnega vidika je uporaba blata kot gnojila bolj ustrezena. V nasprotju s prej omenjenimi raziskavami, pa je njihova študija pokazala, da ima uporaba odpadnega blata v kmetijstvu (kot gnojilo) večje okoljske vplive kot uporaba v gradbene namene. Vendar niso natančno obrazložili, kateri so ti gradbeni nameni in katere postopke so vključili v LCA analizo.

7.4. Blato iz male biološke čistilne naprave z dodatno nanoremediacijo po načrtu projekta RusaLCA

Upravljavec male čistilne naprave (MČN) z dodano fazo nanoremediacijskega čiščenja vode je tudi povzročitelj odpadka iz nanoremediacijske faze čiščenja vode – odpadka pod klasifikacijsko številko 19 09 99 – Drugi tovrstni odpadki iz priprave pitne in tehnološke vode. Navedeni odpadek mora upravljavec MČN oddati v obdelavo (predelavo ali odstranjevanje) pooblaščenemu obdelovalcu tovrstnih

odpadkov, ki ima za obdelavo teh odpadkov pridobljeno okoljevarstveno dovoljenje za obdelavo odpadkov po Zakonu o varstvu okolja in Uredbi o odpadkih.

Vsakršna nadaljnja koristna uporaba takega odpadka (uporaba npr. za razne namene v gradbeništvu) mora vsebovati tudi fazo predelave odpadkov po Uredbi o odpadkih, za izvajanje katere mora izvajalec predelave (npr. v gradbeni kompozit) imeti pridobljeno okoljevarstveno dovoljenje za predelavo odpadkov po postopku R5 z recikliranjem. Le tak predelovalec lahko povzročitelju odpadka (upravljavcu MČN) izda evidenčni list za ravnanje z odpadki, s katerim upravljavec male čistilne naprave dokazuje, da je oddal nastali odpadek v procesu nanoremediacijskega čiščenja v obdelavo pooblaščenemu obdelovalcu.

Ker dodajanje blata v beton zmanjšuje njegovo trdnost, priporočajo njegovo uporabo predvsem kot beton nižje trdnosti (Yague et al., 2004), kot masivni beton (Jamshidi et al., 2011), kot beton za voziščne konstrukcije (Monzo et al., 2004). ali kot beton za nosilno plast betonskih tlakovcev (Alqedra et al., 2011).

Po analogiji se pričakuje, da bo tudi blato, ki bo nastalo v mali biološki čistilni napravi dopolnjeni z nanoremediacijo, možno uporabiti v gradbeništvu. Usedlina iz nanoremediacijskega bazena bo za razliko od običajnih blat poleg organske komponente in polutantov vsebovala tudi železove hidrokside (ali že omenimo zeolite, aktivno oglje...?). Predvidevamo, da bo usedlina primerna za uporabo v cementnih kompozitih.

8. Študije o ponovni uporabi vode očiščene na čistilni napravi

Ponovna uporaba očiščene vode je zaželena predvsem v krajih, ki jih pesti pomanjkanje vode. Z uporabo sodobnih, dodatnih (terciarnih) tehnik čiščenja vode pa je ponovna uporaba smiselna tudi drugod, saj ne gre le za varčevanje z vodo, pač pa lahko tudi za varčevanje z energijo. Tudi vodovodna voda gre čez določene postopke čiščenja in če to vodo nadomestimo z vodo iz čistilnih naprav, smatramo da se del energije prihrani. Pri čemer mora biti terciarno čiščenje odpadne vode v vodo, ki je primerna za ponovno uporabo, energetsko manj zahtevno kot obdelava vode za pitje (voda v vodovodnem omrežju).

Prečiščena voda se uporablja predvsem za potrebe namakanja v kmetijstvu in pa tudi za vodo-oskrbo.

Ozturk in sodelavci (2011) so preučevali možnost uporabe odpadne vode, ki gre preko postopkov v čistilni napravi, za potrebe namakanja v kmetijstvu. Voda iz turških čistilnih naprav je v primerjavi z vodovodno vodo obogatena s hranili (fosfor, natrij, kalij) in kot tako potencialno zelo ustrezna za namakanje. Vendar niso uporabili LCA analize.

Zhang in sodelavci (2010) so z LCA analizo primerjali proizvodnjo očiščene odpadne vode in pripravo vodovodne vode iz naravnih virov. Primer se nanaša na Kitajsko. Ocenili so, da proizvodnja enega kubičnega metra vodovodne vode zahteva 4440 kJ energije. Upoštevajoč življensko dobo čistilne naprave so izračunali, da za terciarno čiščenje vode porabijo 1042.82×10^9 kJ energije. Če to vodo uporabijo v kmetijstvu namesto vode iz vodovodnega sistema, potem pri vodovodni vodi prihranijo 1672.6×10^9 kJ energije. Razlika je torej 629.8×10^9 kJ, ki govori v prid terciarnemu čiščenju vode za njeno ponovno uporabo.

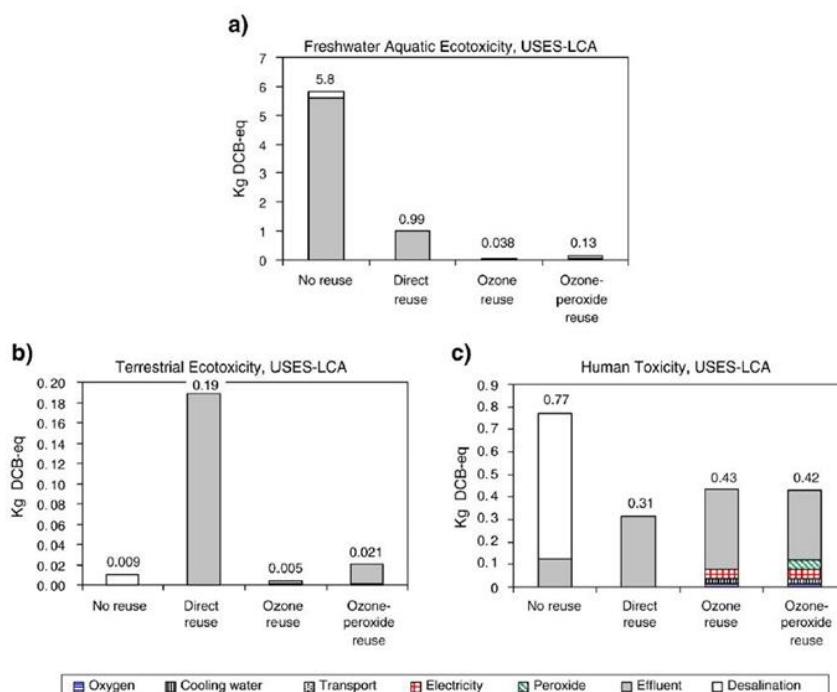
Če pri čiščenju odpadne vode v vodo primerno za ponovno uporabo upoštevajo tako terciarno, kot tudi sekundarno čiščenje, potem so energetske zahteve približno enake, kot energetske zahteve za proizvodnjo vodovodne vode.

Munoz in sodelavci (2009) so izvedli LCA raziskavo s katero so ugotavljali okoljske vplive, ki nastanejo z uporabo odpadne vode iz čistilne naprave za potrebe namakanja v kmetijstvu. Primerjali so štiri različne scenarije: (1) Odpadna voda iz

čistilne naprave ne gre v terciarno čiščenje in nadaljnjo uporabo, temveč se jo spusti nazaj v vodotok. Za namakanje se uporablja morska voda, ki gre pred tem čez postopek razsoljevanja, (2) Odpadno vodo se uporabi za namakanje, ne da bi šla skozi postopke terciarnega čiščenja, (3) Odpadno vodo se uporabi za namakanje, pred tem pa se jo očisti tudi s terciarnimi postopki čiščenja – z ozonom, (4) Odpadno vodo se uporabi za namakanje, pred tem pa se jo očisti tudi s terciarnimi postopki čiščenja – z ozonom v kombinaciji z vodikovim peroksidom.

Ugotavljalci so vpliv na toksičnost in vpliv na ogljični odtis (globalno segrevanje ozračja).

Vpliv na toksičnost površinskih voda je pričakovano največji, če se odpadno vodo neposredno spusti v vodotok (Slika 15). V primeru uporabe odpadne vode v kmetijstvu (brez terciarnega čiščenja, scenarij 2), je vpliv na toksičnost površinskih voda šestkrat manjši. Polutanti se s tem vežejo v prst, le manjši del jih doseže podzemno vodo (transport s poniklo vodo). S tem je situacija ravno nasprotna glede vpliva na toksičnost prsti. V prvem scenariju (očiščena odpadna voda gre v vodotok, namakanje poteka z vodo, kjer ni kemijskih polutantov) ni vpliva na toksičnost prsti. Odpadna voda, ki ja šla skozi ustreerne postopke terciarnega čiščenja (scenarija 3 in 4) ima majhen vpliv na toksičnost vode in toksičnost prsti (slika 15).



Slika 15: Primerjava štirih scenarijev glede na njihov vpliv na toksičnost (Povzeto po Munoz et al.2009).

Razlike so precej manjše glede vpliva na zdravje ljudi. Največji vpliv ima scenarij 1, najmanjšega pa scenarij 2. Razlike med scenariji 2, 3 in 4 so majhne in so odvisne tudi od uporabe materialov za sekundarno čiščenje in porabe energije. Vpliv na ogljični odtis je neposredno povezan z materiali, ki se uporabljajo pri štirih scenarijih in od porabe energije. Z vidika izpustov, ki vplivajo na ogljični odtis je scenarij 2 najbolj ugoden, saj ni terciarnega čiščenja (manj energije se porabi) in ta scenarij ne zahteva nobenega nadomestnega procesa v primerjavi s prvim scenarijem (namakanje z morsko vodo, ki je bila obdelana s postopki razsoljevanja).

9. Tehnologije povratnih zank v Evropi

Tehnologija zaprte povratne zanke se uporablja v različnih aplikacijah po vsem svetu, npr. za ogrevanje, hlajenje, čiščenje bazenske in akvarijske vode. Povratna zanka se vedno pogosteje uporablja za varčevanje s pitno vodo. Veliko vode v gospodinjstvih se namreč porabi med čakanjem na vročo vodo, sploh če je grelnik vode nameščen daleč od mesta odjema. S povratno zanko vroča voda kroži po sistemu, tako da je bližje porabniku, ko jo ta potrebuje (Vir: <http://www.redytemp.com/hot-water-recirculator-how-it-works.htm>, dostop 28.5.2015).

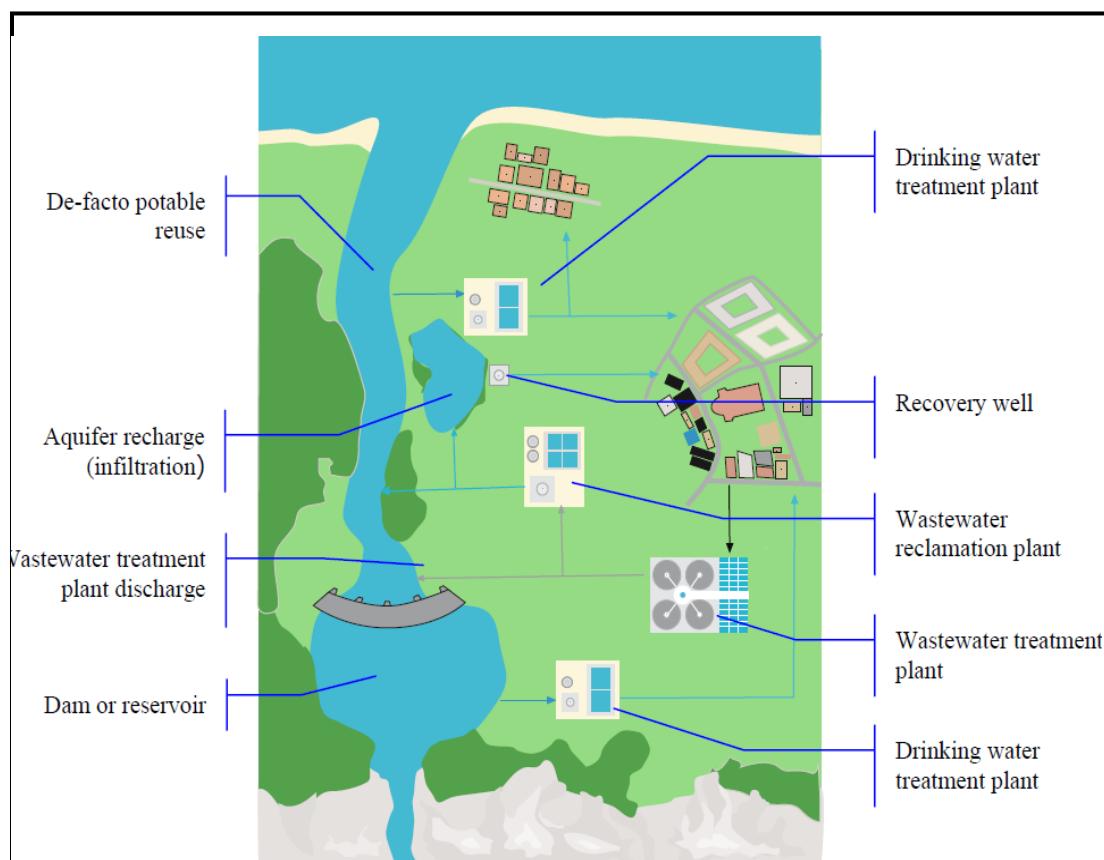
Zelo aktualen primer vračanja vode porabnikom preko povratne zanke predstavlja sistem recikliranja komunalnih odpadnih voda v San Diegu (Združene Države Amerike). V tem primeru vodo najprej očistijo, da je primerna za izpuste v ocean. Z bolj naprednimi, biološkimi, kemičnimi in fizikalnimi metodami čiščenja jo v naslednji stopnji očistijo, da je primerna za uporabo v industriji. V tretji stopnji naprednega čiščenja pa jo za nekaj časa prečrpajo v podzemni vodonosnik, kjer se dokončno in naravno očisti nato pa jo izčrpajo in vrnejo porabnikom. V San Diegu tako v vodovodni vodi očiščena voda nadomešča del celotnega volumna pitne vode (Cho, 2011). Ta primer povratne zanke predstavlja posredno ponovno uporabo vode za pitje (angl. indirect potable reuse). Primer posredne ponovne uporabe očiščene vode je predstavljen tudi na sliki 16 (EUWI, Mediterranean Wastewater Reuse Report, 2007)

V okviru projekta LIFE+ RusaLCA pa je predvidena neposredna ponovna uporaba, kjer je voda očiščena v sistemih čistilne naprave na iztoku že primerna za ponovno uporabo.

Študija narejena leta 2005 je potrdila, da uporaba očiščene vode (ki ne zadosti vsem strogim kriterijem za pitno vodo) za zalivanje ne povzroča bolezni povezanih s patogenimi organizmi ali kemikalijami. Tveganje se pri uporabi takšne očiščene vode ne razlikuje bistveno od tveganja pri uporabi pitne vode iz vodovodnega omrežja (spletna stran: http://en.wikipedia.org/wiki/Reclaimed_water, dostop 28.5.2015). Zaradi tveganja, da lahko očiščena voda kljub vsemu povzroči zdravstvene težave pri ljudeh (ob zaužitju), je njena ponovna uporaba možna za sekundarne potrebe. To pa zahteva izgradnjo ločene infrastrukture – sekundarnih vodovodnih sistemov, da ne pride do mešanja s pitno vodo.

V nadaljevanje je v predstavljenih nekaj ključnih študij in primerov, ki sicer redko neposredno opisujejo delovanje povratnih zank, poudarjajo pa pomen slednjih v sistemih ponovne uporabe očiščene vode.

Poročilo EU Water Initiative z naslovom Mediterranean Wastewater Reuse Report (2007) ne opisuje neposredno delovanja sistemov povratnih zank. Pojasnjuje pa potrebo po takšnih sistemih v državah (predvsem države iz območja Mediterana) z visokim in srednje visokim indeksom stresa zaradi možnega pomanjkanja pitne vodne (ti. »Water Stress Index«). Poročilo navaja, da so v kontekstu ponovne uporabe očiščene vode sistemi remediacije odpadnih voda neločljivo povezani s sistemi povratnih zank. Slednje omogočajo učinkovito porabo očiščene vode, ki tako nadomešča porabo dragocenih virov pitne vode na območju Mediterana. Pomen povratnih zank se kaže predvsem v tem, da lahko očiščeno vodo pripeljejo neposredno do porabnikov, kjer se takšna voda največkrat uporablja za namene kmetovanja oziroma za splošne urbane potrebe (pod pogojem, da dosega določene standarde čistosti).



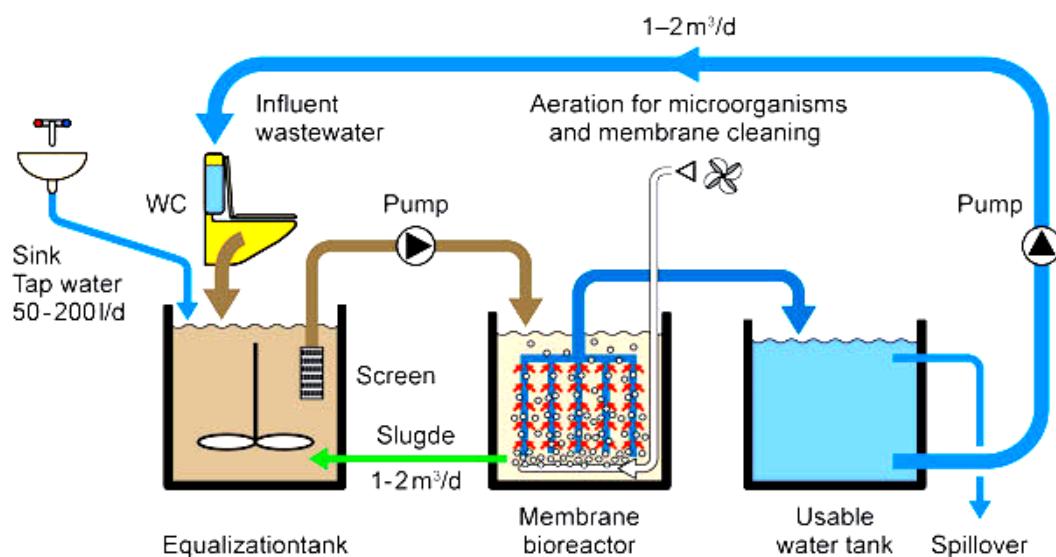
Slika 16: Shema de-facto indirektne ponovne uporabe očiščene vode (EUWI, 2007).

»EU Water Initiative« je v okviru »Joint Mediterranean EUWI/WFD Process« v istem poročilu (Mediterranean Wastewater Reuse Report, 2007) v prilogi B opisala 16 primerov čiščenja in ponovne uporabe voda na območju Mediterana. Iz poročil je moč razbrati, da tehnologija in učinkovitost čiščenja v veliki meri vplivata na obliko povratne zanke in ponovno uporabo očiščene vode. Poraba očiščene vode za sekundarne potrebe pa je v večini primerov nadomeščala porabo pitne vode oziroma je bila uporabljena v sušnih obdobjih (ob pomanjkanju vode). V nekaj specifičnih primerih je uporaba očiščene vode s pomočjo sistemov delno odprte zanke pripomogla k ohranjanju okolja na primer mokrišč (Costa Brava – Španija) ali pri preprečevanju zasoljevanja zemlje zaradi vdora morske vode (Flandrija – Belgija). Poseben primer povratne zanke je opisan v primeru Berlina, kjer je delno očiščena voda vrnjena v vodonosnike preko vodnjakov, kjer se infiltrira in očisti. Čista je nato izčrpana na drugem mestu v vodonosniku in uporabljena neposredno v vodovodnem sistemu (EUWI, 2007).

Podoben dokument z naslovom »Optimising water reuse in the EU – Final report«(2015) je pripravila projektna skupina BIO by Deloitte (BIO) in ICF International and Cranfield University. V njem opisujejo dobre prakse čiščenja in ponovne uporabe očiščene vode v Veliki Britaniji, Španiji, na Portugalskem, Malti, v Italiji, Grčiji, Nemčiji, Franciji, na Finskem, Danskem in Cipru. Opisujejo pa tudi zakonodajo, ki to omogoča in mejne parametre.

Dober primer neposredne ponovne uporabe očiščene vode s pomočjo povratne zanke opisuje proizvajalec talnih oblog Interface. Slednji je v enem izmed svojih obratov uredil zaprto zanko za ponovno uporabo vode pri postopkih pridobivanja plinskega energenta. V 18 letih je s tem zmanjšal porabo vode za 95% (spletna stran: http://www.interfaceflor.co.uk/web/about_us/media_centre_landing_page/press_releases/press-Interface-Europe-reaches-sustainability-milestones-achieving-90-carbon-reduction-, dostop 28.5.2015.).

Vzorčni primer neposredne uporabe očiščene vode za sekundarne potrebe je tudi gorska koča Hohtälli v švicarskih Alpah (spletna stran: <http://environmentalresearchweb.org/cws/article/news/26980>, dostop 28.5.2015). Tam očiščeno vodo izkoriščajo za izplakovanje sanitarij. Dotok očiščene vode pa je preko sekundarnega vodovoda izpeljan neposredno iz čistilne naprave (Slika 17).



Slika 17: primer sistema povratne zanke iz gorske koče Hohtälli, Švica (Vir: <http://environmentalresearchweb.org/cws/article/news/26980>).

Poleg zgoraj opisanih primerov smo zasledili še veliko opisov ponovne uporabe očiščene predvsem v industriji. Iz poročil EUWI (2007) in Optimising water reuse in the EU – Final report»(2015) pa je bilo mogoče razbrati, da je primerov povratnih zank z neposredno ponovno uporabo očiščene vode v gospodinjstvih v Evropi zelo malo. Očiščena voda je v največ primerih preko povratnih zank pripeljana do ciljnih večjih porabnikov (na primer industrija ali kmetijstvo).

10. Odvajanje in čiščenje odpadnih voda v občini Šentrupet

10.1. Obstojeca infrastruktura

Na območju občine Šentrupert ni komunalnih čistilnih naprav. Z gradnjo novih individualnih hiš so bili lastniki primorani glede na veljavno zakonodajo vgraditi individualne male čistilne naprave. Teh je po trenutnih podatkih (Komunala Trebnje, maj 2013) 16.

Zgrajena sta kanalizacijska sistema za odpadno vodo v Škrlevem in delu Šentruperta (Poštaje), ki še nista v obratovanju. Gradnja sanitarno kanalizacije trenutno poteka še v strnjem delu vasi Draga.

10.2. Operativni plan odvajanja in čiščenja odpadne vode v občini Šentrupert

Občina Šentrupert ne leži na občutljivem območju, gostota prebivalcev je majhna. Na celotnem območju sta tako po kriterijih nacionalnega programa odvajanja in čiščenja odpadnih voda evidentirani dve aglomeraciji: Šentrupert in Slovenska vas. Na teh območjih je bila gostota prebivalcev dovolj velika, da je lokalna skupnost zavezana za izgradnjo javne kanalizacije in čistilne naprave.

Vsa ostala območja niso upravičena do javnih sistemov odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode.

10.2.1. Aglomeracija Slovenska vas

Aglomeracija Slovenska vas (Slika 18) spada v območja poselitve, ki so obremenjena med 50 in 2000 PE ter z gostoto obremenjenosti več kot 20 PE/ha, ter z več kot 10 PE/ha na območjih s posebnimi zahtevami.

To območje mora biti opremljeno z javno kanalizacijo in zagotovljenim ustreznim čiščenjem komunalne odpadne vode do **31. decembra 2015.**

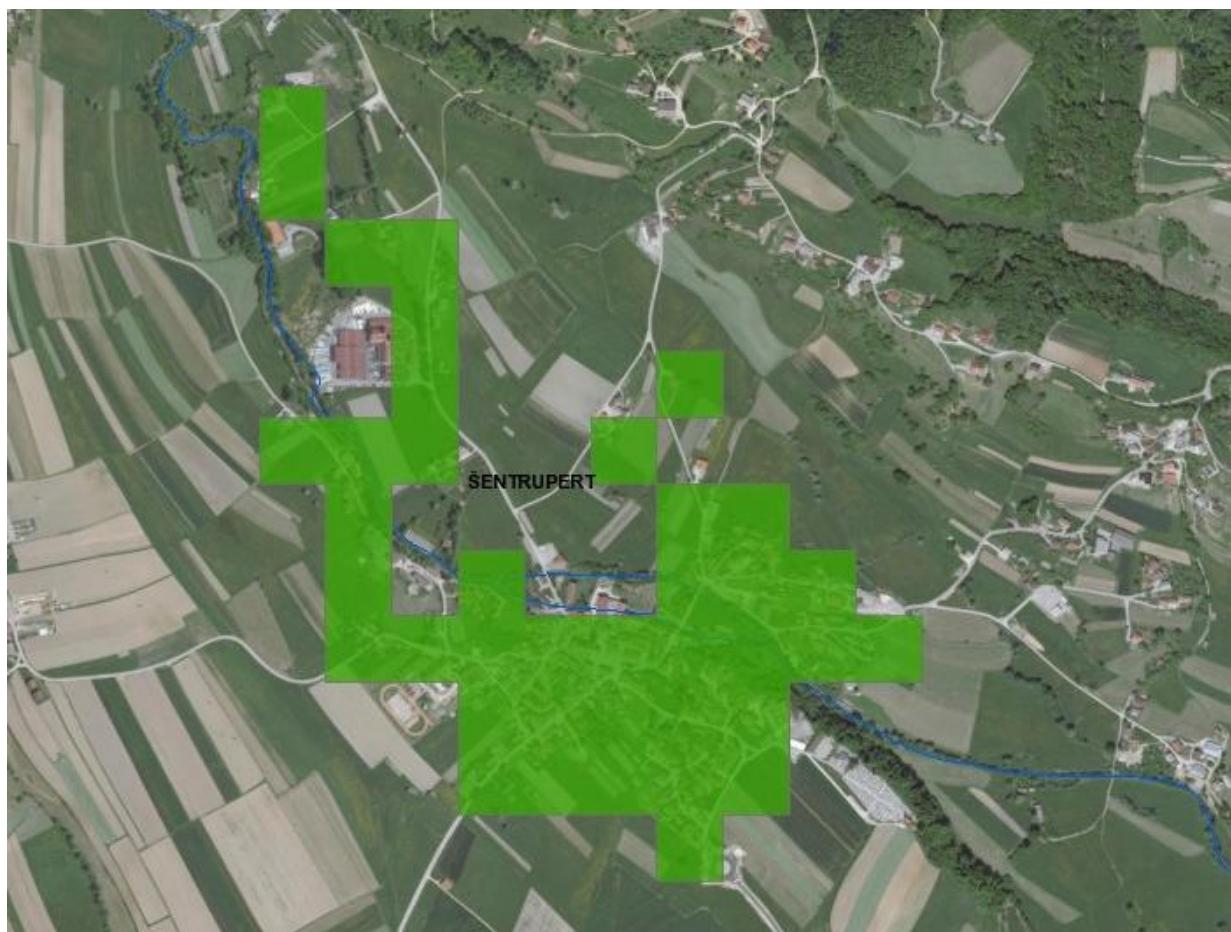


Slika 18: Območje aglomeracije Slovenska vas.

10.2.2. Aglomeracija Šentrupert

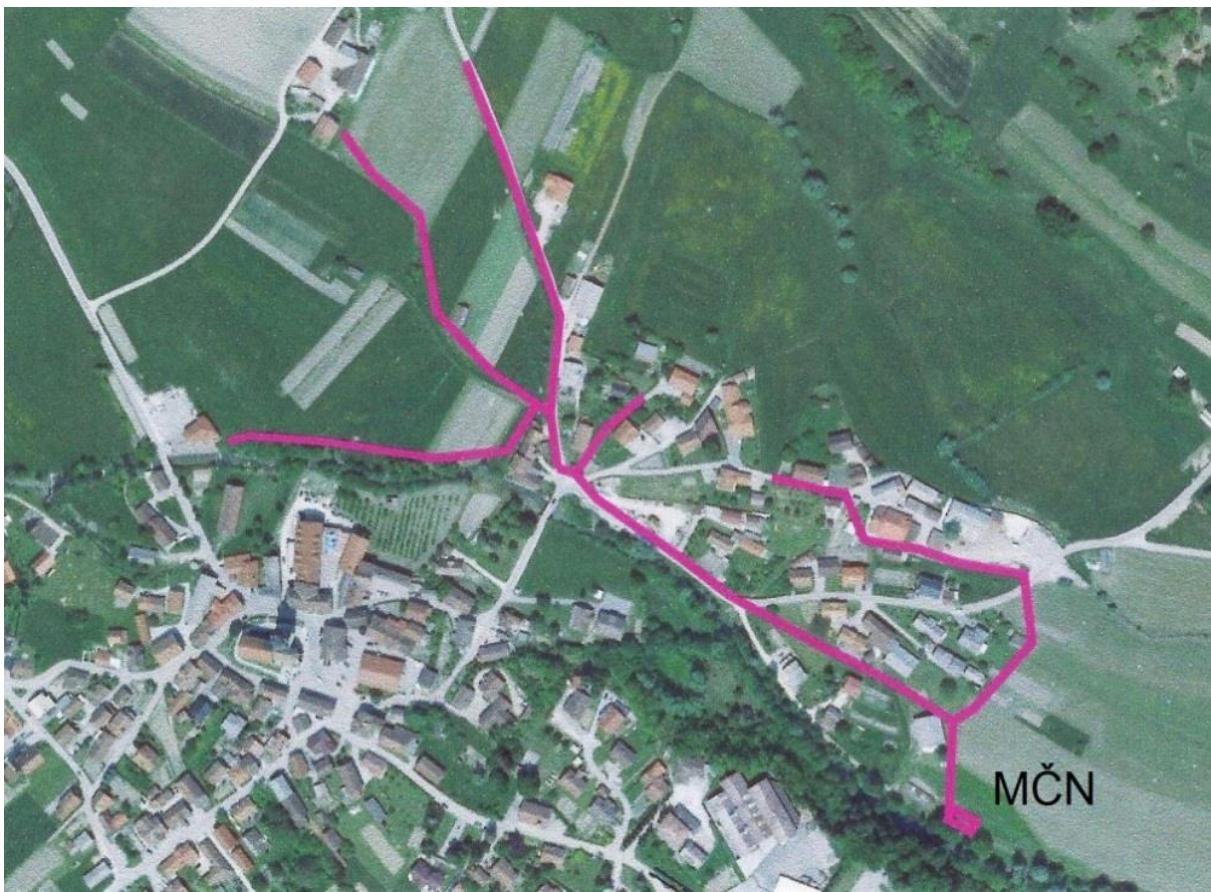
Aglomeracija Šentrupert spada (Slika 19) v območje poselitve, ki so obremenjena med 450 PE in 900 PE ter z gostoto obremenjenosti med 10 PE/ha in 20 PE/ha – DODATNI PROGRAM 2. STOPNJE.

Na poselitvenih območjih, ki so obremenjena med 450 PE in 900 PE z gostoto obremenjenosti med 10 PE/ha in 20 PE/ha, se investicije za izgradnjo javne kanalizacije z zagotovljenim ustreznim čiščenjem komunalne odpadne vode, štejejo za skladne z operativnim programom, če so tehnično-tehnološko in ekonomsko upravičene. Ciljna stopnja opremljenosti z javno kanalizacijo ni določena, temveč je odvisna od rezultatov analiz o tehnično-tehnološki in ekonomski upravičenosti. Za posamezne stavbe v delih območij poselitve iz tega poglavja, ki ne bodo opremljene z javno kanalizacijo, veljajo določila poglavja Posamezne stavbe izven zgoraj navedenih predhodnih stopenj operativnega programa tega operativnega programa. Investicije morajo biti zaključene do 31. decembra 2017.



Slika 19: Območje aglomeracije Šentrupert.

V aglomeraciji Šentrupert so se že pričela dela in sicer sistem čiščenja in odvajanja odpadne vode za območje naselja Šentrupert na levem bregu, kjer je že zgrajena sanitarna kanalizacija do lokacije MČN (Slika 20). Izgradnja MČN z dodatnim čiščenjem bo izvedena v okviru projekta RusaLCA.



Slika 20: Kanalizacijski sistem v delu Šentrupert – Poštaje.

10.2.3. Ostala območja

Vsa ostala območja spadajo po nacionalnem operativnem programu v dodatni program 7. stopnje, ki pogojuje rok za odvajanje in čiščenje odpadne vode v mali komunalni čistilni napravi za posamezne stavbe 31. december 2017.

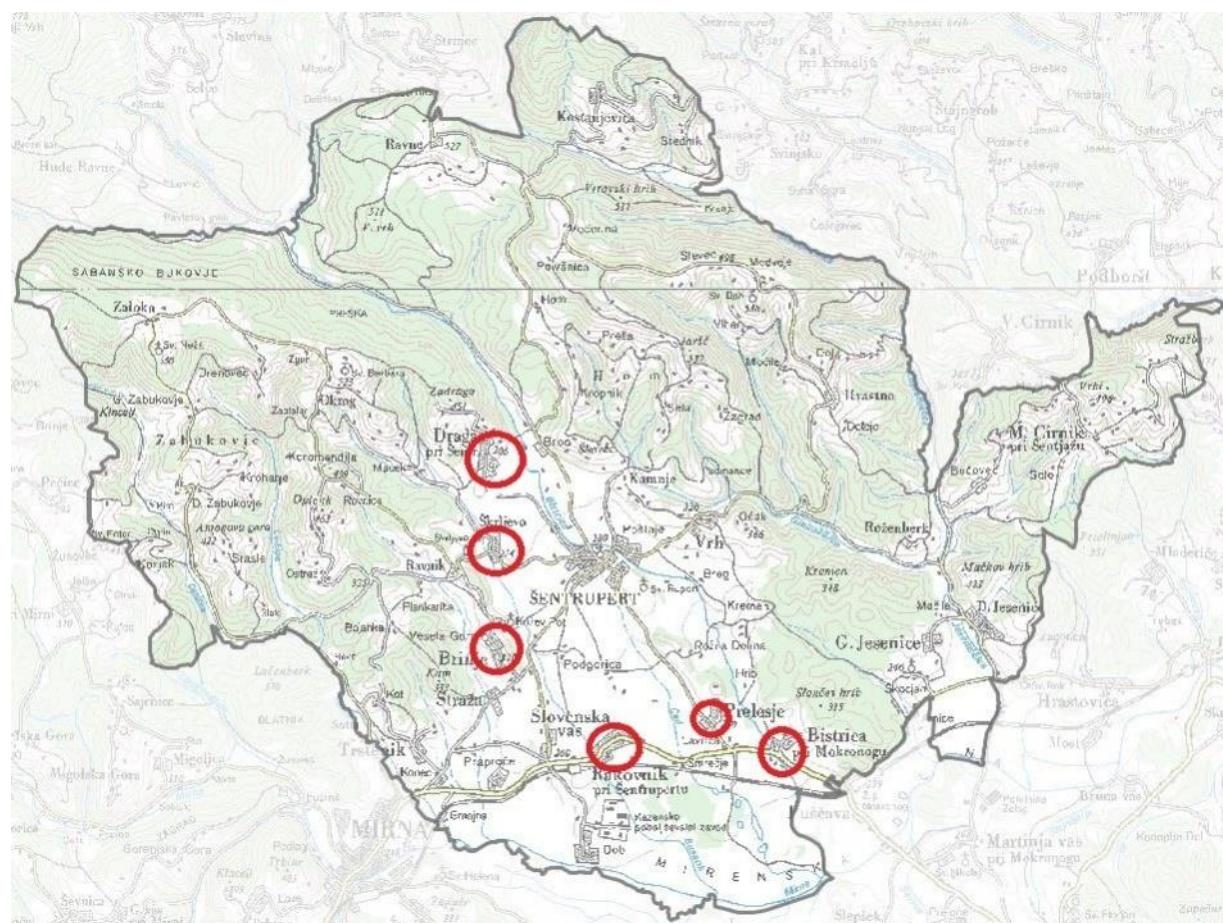
Občina Šentrupert je dolžna urediti odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode, to je izgradnja kanalizacijskega sistema in čistilne naprave, le za območji znotraj aglomeracij Slovenska vas in Šentrupert. Na ostalih območjih so prebivalci ali lastniki objektov dolžni sami urediti čiščenje komunalnih vod.

Občina Šentrupert ima težnjo k celoviti rešitvi čiščenja odpadne vode. Strjene dele naselij je smiselno povezati v en sistem odvajanja in čiščenja odpadne vode. Prednosti tega je učinkovitejše čiščenje (manjša nihanja od individualnih naprav), večji nadzor nad obratovanjem in ekonomska upravičenost; manjši investicijski strošek in predvsem manjši strošek obratovanja in vzdrževanja.

Študija odvajanja in čiščenja voda v občini Šentrupert je določila območja poselitve, kjer je glede ekonomskega in okoljskega vidika upravičena gradnja sistema odvajanja in čiščenja odpadnih vod, čeprav lokalna skupnost (občina) ni dolžna graditi javnega sistema (glede na Operativni plan čiščenja in odvajanja komunalnih vod v R Sloveniji).

Ti sistemi z MČN s kapaciteto večjo od 50 PE so (Slika 21):

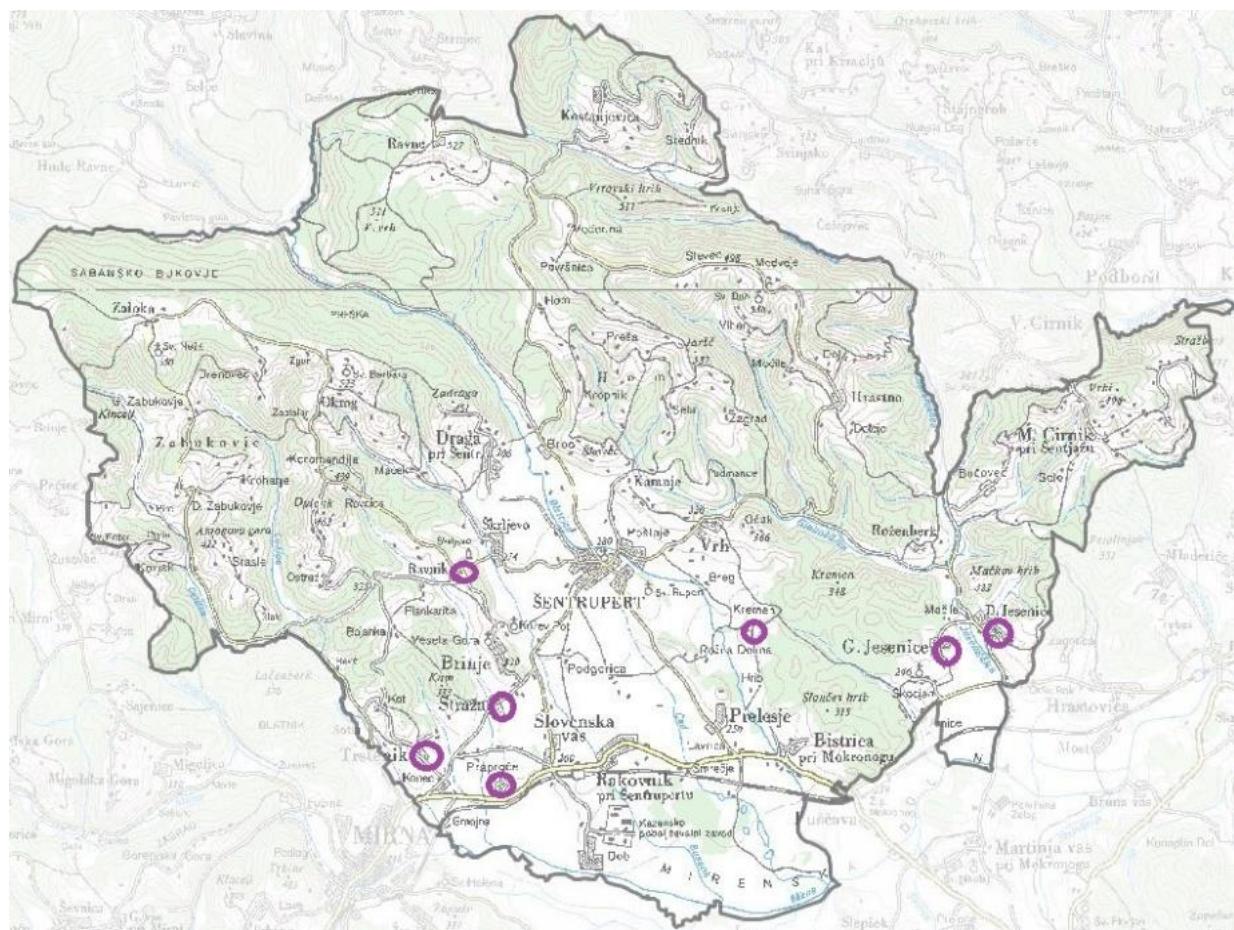
- Škrljevo
- Draga
- Bistrica in Prelesje
- Rakovnik
- Straža in Vesela gora.



Slika 21: Sistemi odvajanja in čiščenja odpadne vode v MČN > 50 PE.

Ekonomsko še upravičeni sistemi z vgradnjo MČN kapacitete 50 PE so še na območjih poselitve (Slika 22):

- Gorenje Jesenice
- Dolenje Jesenice
- Straža – Kurja Dolina
- Straža – Praproče
- Rožna dolina
- Ravnik
- Trstenik – Gorenji Konec.



Slika 22: Sistemi odvajanja in čiščenja odpadne vode v MČN > 50 PE.

V težnji po čistejšem okolju občina Šentrupert nudi pomoč prebivalcem, katerih stanovanjski objekti niso vključeni v ta območja oz. morajo sami poskrbeti za čiščenje odpadne vode, v obliki strokovnih nasvetov, v prihodnje pa tudi v obliki finančne pomoči.

10.3. Uporaba očiščene vode iz čistilne naprave v Občini Šentrupert

Glavni cilj projekta zmanjšanje porabe pitne vode do 30 % se bo zagotovil z izgradnjo povratne zanke – vodovoda do središča naselja.

Zaradi značilnosti hišnih inštalacij obstoječih objektov trenutno ni mogoča ponovna uporaba očiščene vode direktno pri uporabniku. Zato je predviden javni dostop do brezplačne vode na dveh lokacijah. Uporabniki prečiščenje vode bodo:

- lokalni prostovoljni gasilski društvi Sv. Rok in Šentrupert za polnjenje cistern (požarna voda), predvidena letna poraba najmanj 200 m³;
- okoliški prebivalci (Šentrupert in okoliške vasi) za zalivanje vrtov;
- lokalna skupnost za zalivanje okrasnih zasaditev;
- kmetovalci z namakanjem njiv;
- bližnji prebivalci, ki bi se odločili za izgradnjo sekundarnega vodovoda v svojem objektu.

Na pilotni sistem čiščenja odpadne vode bo priključenih 28 objektov s približno 87 prebivalcev. Statistično izračunana letna poraba pitne vode obravnavanega območja je cca. 3030 m³, oziroma 97,7 l/preb.*dan (Podatki o porabi vode so pridobljeni s strani Komunale Trebnje). To je manj od slovenskega povprečja (117 l/preb.*dan) oz. malo več od povprečja JV Slovenije (90,4 l/preb.*dan).

Dejanski podatki, ki so bili pridobljeni z odčitavanje števcev porabe pitne vode iz vodovodnega omrežja, pa kažejo še nižjo dnevno porabo. Ta po osebi znaša 81,3 L/preb.*dan kar je znova precej pod slovenskim povprečjem. Zanesljivost podatkov pridobljenih z meritvami je večja od tiste izračunane s statističnimi operacijami in bo uporabljena pri dimenzioniranju pilotnega sistema remediacije.

Glede na majhno porabo ocenujemo, da gre večina (90 %) odpadne vode v kanalizacijski sistem. Nekaj več 30 % iztoka iz MČN, to je cca. 2,4 m³ dnevno, bo očiščeno in na voljo za ponovno uporabo. Viški se bodo prelivali v vodotok. Dotok vode v pilotni sistem remediacije bo merjen na iztoku iz male biološke čistilne naprave. Poraba očiščene vode pa bo merjena na odjemni točkah ob zalogovniku očiščene vode.

Literatura

1. Alqedra A, Arafa M, Mattar M. Influence of low and high organic wastewater sludge on physical and mechanical properties of concrete mixes. Environ Sci Technol 2011; 4: 354-365.
2. Agencija Republike Slovenije za Okolje. Ocena stanja voda za obdobje 2006-2008 po določilih okvirne direktive o vodah. V: Vode v Sloveniji. Uhan, J., Dobnikar Tehovnik, M., Pavlič, U.(Ur.). 2010.
3. Agencija republike Slovenije za okolje. Pregled hidroloških razmer površinskih voda v Sloveniji. V: Poročilo o monitoringu za leto 2012. Kobold, M. (Ur.). 2014.
4. Bardos P, Bone B, Elliott D, Hartog N, Henstock J, Nathanael P. A Risk/Benefit Approach to the Application of Iron Nanoparticles for the Remediation of Contaminated Sites in the Environment 2011;1-111.
5. Braguglia CM, Gianico A and Mininni G. ROUTES: innovative solutions for municipal sludge treatment and management.-Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 2012; 11: 11-17.
6. Chen Q, Gao M, Li J, Shen F, Wu Y, Xu Z, Yao M. Inactivation and magnetic separation of bacteria from liquid suspensions using electrosprayed and nonelectrosprayed nZVI particles: observations and mechanisms. Environ Sci Technol 2012;46: 2360-2367.
7. Chen J, Xiu Z, Lowry GV, Alvarez PJ. Effect of natural organic matter on toxicity and reactivity of nano-scale zero-valent iron. Water Res 2011; 45: 1995–2001.
8. Cho, R. (4. April 2011). From Wastewater to Drinking Water. Prevzeto 9. March 2015 iz State of the planet: <http://blogs.ei.columbia.edu/2011/04/04/from-wastewater-to-drinking-water/>
10. Choi H, Agarwal S, AL-ABED SR. Adsorption and Simultaneous Dechlorination of PCBs on GAC/Fe/Pd: Mechanistic Aspects and Reactive Capping Barrier Concept. J. Schnoor (ed.), Environ Sci Technol 2009;43: 488-493.

11. Crane, R. A., Scott, T. B. Nanoscale zero-valent iron: Future prospect for an emerging water treatment technology. *Journal of Hazardous Materials* 2012; 11:18 – 21.
12. Deliyanni EA, Lazaridis NK, Peleka EN, Matis KA. Metals removal from aqueous solution by iron-based bonding agents. *Environ Sci Pollut Res* 2004;11:18-21.
13. BIO by Deloitte (2015) Optimising water reuse in the EU – Final report prepared for the European Commission (DG ENV), Part I. In collaboration with ICF and Cranfield University.
14. Diao, M., Yao, M. Use of zero-valent iron nanoparticles in inactivating microbes. *Water Research* 2009; 43:5243 – 5251.
15. EuroDemo (European Platform for Demonstration of Efficient Soil and Groundwater Remediation) Project no. (GOCE) 003985. Deliverable reference number: D 6-2 Title: State-of-the-art report and inventory on already demonstrated innovative remediation technologies.
16. EU Water Initiative, Mediterranean Wastewater Reuse Report, 2007. Mediterranean Wastewater Reuse Working Group (MED WWR WG)
17. Frost RL, Xi Y, He H. Synthesis, characterization of palygorskite supported zero-valent iron and its application for methylene blue adsorption. *J Colloid Interface Sci* 2010; 341: 153-61.
18. Gylienė O, Vengris T, Stončius A, Nivinskienė O. Decontamination of solutions containing EDTA using metallic iron. *J Hazard Mater* 2008; 446-51.
19. Hansson, H., Kaczala, F., Marques, M., Hogland, W. Photo-Fenton and Fenton Oxidation of Recalcitrant Industrial Wastewater Using Nanoscale Zero-Valent Iron. *International Journal of Photoenergy* 2012; doi: 10.1155/2012/531076.
20. Hong J and Li X. Environmental assessment of sewage sludge as secondary raw material in cement production – A case study in China.- *Waste management* 2011; 31: 1364-1371.
21. Hospido A., Moreira M.T., Martín M., Rigola M, Feijoo G. Environmental Evaluation of Different Treatment Processes for Sludge from Urban Wastewater, 2005.

22. Hospido A, Carballa M, Moreira MT, Omil F, Lema MJ, Feijoo G. Environmental assessment of anaerobically digested sludge reuse in agriculture: Potential impacts of emerging micropollutants.- Water Research 2010; 44/10: 3225–3233.
23. Hua M, Zhang S, Pan B, Zhang W, Lv L, Zhang Q. Heavy metal removal from water/wastewater by nanosized metal oxides: A review. J Hazard Mater 2012;211-212: 317-31.
24. Jamshidi A, Jamshidi M., Mehrdadi N, Shasavandi A, Pacheco-Torgal F. Mechanical performance of concrete with partial replacement of sand by sewage sludge ash, Materials science forum, 2012: 2730-732, 462-467.
25. Jamshidi M, Jamshidi A, Mehrdadi N. Application of sewage dry sludge in concrete mixtures, Asian journal of civil engineering 2011; 3: 365-375.
26. Kanel S, Manning B, Charlet L, Choi H. Removal of arsenic(III) from groundwater by nanoscale zero-valent iron. Environ Sci Technol 2005; 39:1291-8.
27. Karn B, Kuiken T, Otto M. Nanotechnology and in Situ Remediation: A Review of the Benefits and Potential Risks. Environ Health Perspect 2009;117:1813-31.
28. Kim H, Hong HJ, Jung J, Kim SH, Yang JW. Degradation of trichloroethylene (TCE) by nanoscale zero-valent iron (nZVI) immobilized in alginate bead. J Hazard Mater 2010; 176:1038-43.
29. Kržišnik N, Mladenovič A, Sever Škapin A, Škrlep L, Ščančar J, Milačič R. Nanoscale zero-valent iron for the removal of Zn²⁺, Zn-EDTA and Zn-citrate from aqueous solutions. Sci Total Environ 2014; 476:477.
30. Kyncl M. Opportunities for water treatment sludge reuse, GeoScience Engineering 2008; 54: 11-22.
31. Lederer J and Rechberger H. Comparative goal-oriented assessment of conventional and alternative sewage sludge treatment options.- Waste management 2010; 30: 1043-1056.
32. Liew AG, Idris A, Samad AA, Wong CHK, Jaafar MS, Baki AM. Reusability of sewage sludge in clay bricks.- Journal of Material Cycles and Waste Management 2004; 6/1: 41-47.

33. Li Y, Li T, Jin Z. Stabilization of Fe0 nanoparticles with silica fume for enhanced transport and remediation of hexavalent chromium in water and soil. *J Environ Sci* 2011a; 23: 1211-8.
34. Li Y, Jin Z, Li T, Li S. Removal of hexavalent chromium in soil and groundwater by supported nano zero-valent iron on silica fume. *Water Sci Technol* 2011b; 63: 2781-7.
35. Li Z, Greden K, Alvarez PJJ, Gregory KB, Lowry GV. Adsorbed polymer and NOM limits adhesion and toxicity of nano scale zerovalent iron to *E. coli*. *Environ Sci Technol* 2010; 44: 3462-3467.
36. Lin YH, Tseng HH, Wey MY, Lin MD. Characteristics of two types of stabilized nano zero-valent iron and transport in porous media. *Sci Total Environ* 2010; 408: 2260-67.
37. Monzo J, Paya J, Borrachero MV, Morenilla JJ, Bonilla M, Calderon P. Some strategies for reusing residues from waste water treatment plants: Preparation of binding materials, v International RILEM conference on the use of recycled materials in buildings and structures, Barcelona, 2004.
38. Mueller, N. C., Braun, J., Bruns, J., Černik, M., Rissing, P., Rickerby, D., Nowack, B. Application of nanoscale zero valent iron (NZVI) for groundwater remediation in Europe. *Environ Sci Pollut Res* 2012; 19:550 – 558.
39. Murray A, Horvath A, Nelson KL. Hybrid Life-Cycle Environmental and Cost Inventory of Sewage Sludge Treatment and End-Use Scenarios: A Case Study from China. *Environ Sci Technol* 2008; 42/9: 3163-3169.
40. Nakakubo T, Tokai A, Ohno K. Comparative assessment of technological systems for recycling sludge and food waste aimed at greenhouse gas emissions reduction and phosphorus recovery.- *Journal of Cleaner Production* 2012; 32: 157-172.
41. Munoz I., Rodriguez A., Rosal R. in Fernandez-Alba A. Life Cycle Assessment of urban wastewater reuse with ozonation as tertiary treatment.- *Sci Total Environ* 2009; 407: 1245-1256.
42. Mueller NC, and Nowack B. Nano zero valent iron – The solution for water and soil remediation? Report of the Observatory NANO. 2010; Available at www.observatorynano.eu.

43. Mueller NC, Braun J, Bruns J, Černík M, Rissing P, Rickerby D, Nowack B. Application of nanoscale zero valent iron (NZVI) for groundwater remediation in Europe. Environ. Sci. Pollut. Res. Int 2012; 19: 550-8.
44. Němeček J, Lhotský O, Cajthaml T. Nanoscale zero-valent iron application for in situ reduction of hexavalent chromium and its effects on indigenous microorganism populations. Sci Tot Environ 2013; article in press.
45. Noradoun CE, Cheng IF. EDTA Degradation Induced by Oxygen Activation in a Zerovalent Iron/Air/Water System. Environ Sci Technol 2005; 39:7158-63.
46. Noubactep C. The Suitability of Metallic Iron for Environmental Remediation. Environ. Progress Sustain Energy 2009; 29: 286-91.
47. Noubactep C, Caré S, Crane R. Nanoscale Metallic Iron for Environmental Remediation: Prospects and Limitations. Water Air Soil Pollut 2012; 223: 1363-1382.
48. O'Carroll D, Sleep B, Krol M, Boparai H, Kocur C. Nanoscale zero valent iron and bimetallic particles for contaminated site remediation. Advanc Water Resour 2013; 51:104-122.
49. Parbs A and Birke V. State-of-the-art report and inventory on already demonstrated innovative remediation technologies. EuroDemo Report D6-2. 2005; Available at <http://www.eurodemo.info/project-information-2/>.
50. Phenrat T, Saleh N, Sirk K, Tilton R, Lowry G. Aggregation and Sedimentation of Aqueous Nanoscale Zerovalent Iron Dispersions. Environ Sci Technol 2007; 41: 284-90.
51. Ponder SM, Darab JG, Mallouk T. Remediation of Cr(VI) and Pb(II) in aqueous solutions using supported, nanoscale zero-valent iron. Environ Sci Technol 2000; 4: 2564-9.
52. Ponder SM, Darab JG, Bucher J, Caulder D, Craig I, Davis L, Edelstein N, Lukens W, Nitsche H, Rao L, Shuh DK, Mallouk TE. Surface Chemistry and Electrochemistry of Supported Zerovalent Iron Nanoparticles in the Remediation of Aqueous Metal Contaminants. Chem Mater 2001; 13: 479-86.
53. Pravilnik o pitni vodi. Ur.l. RS št.19/2004, 26/2006, 92/2006 in 25/2009).
54. Pravilnik o pitni vodi. Ur.l. RS št.19/2004, - Priloga I Parametri in mejne vrednosti.

55. SIST 1026 Beton - 1. del: Specifikacija, proizvodnja in skladnost - Pravila za uporabo SIST EN 206-1, Ljubljana: Slovenski inštitut za standardizacijo, 2008.
56. SIST EN 12255: Čistilne naprave za odpadno vodo - 5. del: Lagunski postopki TC: Oskrba z vodo, odvod in čiščenje odpadne vode, Ljubljana: Slovenski inštitut za standardizacijo, 2000.
57. SIST EN 12255: Čistilne naprave za odpadno vodo – 6. del: Postopek z aktivnim blatom, Ljubljana: Slovenski inštitut za standardizacijo, 2002.
58. SIST EN 12255: Čistilne naprave za odpadno vodo – 7. del: Biološki reaktorji s pritrjeno biomaso, Ljubljana: Slovenski inštitut za standardizacijo, 2002.
59. Sludge treatment, reuse and disposal, United nations environmental programme, [Elektronski]. Available:http://www.unep.or.jp/ietc/publications/freshwater/sb_summary/10.asp p. [Poskus dostopa 12 november 2013].
60. Sludge treatment and recovery,“ Suez environnement, [Elektronski]. Available: <http://www.suez-environnement.com/water/business-lines/sludge-treatment-recovery/>. [Poskus dostopa 12 november 2013].
61. Suh YJ and Rousseaux P. An LCA of alternative wastewater sludge treatment options. Resources, Conservation and Recycling 2002; 353: 191-200.
62. Strojan, I. Sušni in poplavni pretoki rek v letu 2012. Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za hidrologijo in stanje okolje, Sektor za analize in prognoze površinskih voda. 2013.
63. Ševcú A, El-Temsah YS, Joner EJ, Černík M. Oxidative Stress Induced in Microorganisms by Zero-valent Iron Nanoparticles. Microbes Environ 2011; 26: 271–281.
64. Tantawy MA, El-Roudi AM, Abdalla EM, Abdelzaher MA. Evaluation of the Pozzolanic Activity of Sewage Sludge Ash.- Chemical Engineering 2012; 1-8.
65. Theron J, Walker JA, Cloete TE. Nanotechnology and Water Treatment: Applications and Emerging Opportunities. Critical Reviews Microbiology 2008; 34: 43-69.
66. Tratnyek PG and Johnson RL. Nanotechnologies for environmental cleanup. Nanotoday 2006; 1: 44-48.

- 67.TSC 60.200 : 2003 Nevezane nosilne in obrabne plasti, Ljubljana: Direkcija Republike Slovenije za ceste, 2003.
- 68.TSC 06.320 : 2004 Vezane spodnje nosilne plasti s hidravličnimi vezivi, Ljubljana: Direkcija Republike Slovenije za ceste, 2004.
- 69.TSC 04.420 : 2003 Vezane obrabnonosilne plasti, cementni beton, Ljubljana: Direkcija Republike Slovenije za ceste, 2003.
- 70.Uredba o emisiji snovi in topote pri odvajjanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo Ur.I. RS, št. 64/2012.
- 71.Uredba o emisiji snovi pri odvajjanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav Ur.I. RS, št. 98/2007 in spremembe 30/2010.
- 72.Valderrama C, Granados R, Cortina JL, Gasol CM, Guillem M, Josa A. Comparative LCA of sewage sludge valorisation as both fuel and raw material substitute in clinker production. Journal of cleaner production 2013; 51: 205-213.
- 73.Yague A, Valls A in Vazquez E. »Use of cement Portland mortar of stabilised dry sewage sludge in construction application«, 2002. [Elektronski]. Available: www.witpress.com. [Poskus dostopa 13 november 2013].
- 74.Yague A, Valls S in Vazquez E, Valoration addition dry sludge sewage in concrete, v International Rilem conference on use of the recycled materials in building and structures, Barcelona, 2004.
- 75.Wang CB and Zhang WX. Synthesizing Nanoscale Iron Particles for Rapid and Complete Dechlorination of TCE and PCB. Environ Sci Technol 1997; 31: 2154-56.
- 76.Zhang TC, Surampalli RJ, Ali KCK, Hu Z, Tyagi RD, Lo IMC. Nanotechnologies for Water Environment Applications. 2009; ACSE Publications, Reston Virginia.
- 77.Zhang, W.X. Nanoscale iron particles for environmental remediation: an overview. J. Nanopart. Res 2003; 5: 323-332.