

Odstranjevanje neprijetnih vonjav iz odpadnega zraka

Izvleček

Pri kompostiranju, čiščenju odpadne vode, vzreji živali, v kanalizaciji in pri proizvodnji bioplina stalno ali občasno potekajo anaerobni procesi, pri katerih ob prisotnosti žveplovih in dušikovih spojin nastajajo tudi vodikov sulfid, amonijak, merkaptani in/ali amini. Te spojine imajo že v majhnih koncentracijah zelo neprijeten vonj in so zato neprijetne za okolico, poleg tega pa so pri določeni koncentraciji tudi nevarne za zdravje ljudi in živali. Običajno jih odstranjujemo s pralniki zraka, biofiltri in/ali kemijskimi filtri. Izbira je odvisna od pretoka zraka in koncentracije snovi v njem. Namen raziskave je izdelava modela, ki omogoča izračun najbolj optimalnega načina čiščenja zraka za odstranjevanje spojin z zelo neprijetnim vonjem (merkaptani). V prispevku je predstavljen model za čiščenje zraka z biološkim in kemijskim filtrom. Model omogoča izračun ekonomsko najbolj ustreznega načina čiščenja. Na podlagi raziskave je ugotovljeno, da je za zelo visoko stopnjo čiščenja (> 99 %) pri nizkih koncentracijah onesnaževalcev najustreznejši kemijski filter, pri višjih koncentracijah pa kombinacija biofiltra in kemijskega filtra. Zaključujemo, da smo razvili učinkovit in uporaben model, ki omogoča optimizacijo v procesu sprejemanja odločitev na področju odstranjevanja neprijetnih vonjav iz odpadnega zraka.

Ključne besede: neprijetne vonjave, čiščenje odpadnega zraka, sistem za podporo odločanju

Removing odors from waste air

Summary

At composting, waste-water treatment, livestock farming, in the sewer systems and at biogas production there are anaerobic processes taking place all or most of the time. When sulphur and nitrogen compounds are present, compounds such as hydrogen sulphide, ammonium, mercaptans and/or amines are being formed during these processes. The odors of these compounds are highly unpleasant, even at low concentrations. These odors are unpleasant for the residents of the surrounding area and above a certain concentration they are also harmful for the health of humans and animals. Usually the odors are removed by wet scrubbers, biofilters and/or chemical filters. The selection depends on air flow and the concentration of the compound in the air. The aim of the research is to create a model which enables a calculation of the most optimal process for removing the compounds (mercaptans) with very intensive odor from air. The article presents a model of air cleaning by biological and chemical filters. The model enables a calculation of the economically most efficient way of odors removal. Based on the research it was determined that for the highest cleaning level (>99 %) at low odors concentrations the use of a chemical filter is most the appropriate. At higher concentrations a combination of biofilter and chemical filter proved to be the optimal selection. In conclusion: an effective and useful model was developed, which allows decision making process and optimization of the removing odors from waste air.

Key words: odor, waste air cleaning, decision support system

1 Uvod

Odstranjevanje neprijetnih vonjav je velik izziv. Vonj je najmanj raziskan izmed vseh petih čutil, in naprave, ki bi direktno lahko merile vonjave, ne obstajajo. Mogoče jih je oceniti z »umetnimi nosovi« ali z oceno na podlagi koncentracij določenih snovi z intenzivnim vonjem. V našem vsakdanjem življenju vonj igra pomembno vlogo, saj lahko služi kot stimulacija, npr. apetita ali kot opozorilo. Vonjave lahko tudi bistveno vplivajo na razpoloženje ljudi. Ljudje določen vonj povezujejo s preteklimi izkušnjami in iz teh izkušenj interpretirajo vonj kot prijeten, neprijeten ali nevtralen.

V zadnjem desetletju se intenzivno povečuje skrb za čisto okolje, kar je vidno tako po zavesti ljudi (zahteve po čistejšem zraku, ločevanje odpadkov) kot tudi vse strožji zakonodaji glede izpustov v okolje. Ekološka zavest je temelj, na katerem je možno ustvariti pogoje za rešitev ekološke krize (Vuk, 2000), zakonodaja pa na tem področju spodbuja k ekološkemu ravnanju tudi manj osveščene ljudi.

Za naložbe, ki omogočajo varovanje okolja, veljajo enake ekonomske zakonitosti, kot za vse druge vrste naložb. Pomembni dejavniki pri izvedbi naložb so: zakonodaja, donosnost in stopnja tveganja. Ekološke investicije podjetja običajno obravnavajo le kot strošek in se ne zavedajo koristi, ki so lahko ekonomske ali neekonomske narave. Po eni strani si tako zmanjšajo prispevke za obremenjevanje okolja, po drugi strani pa povečujejo zadovoljstvo zaposlenih, okoliških prebivalcev in tudi kupcev njihovih izdelkov.

Najpogostejše investicije v varovanje okolja so (Vuk, 2000):

- Investicije v čistilne naprave
- Investicije v filtrirne naprave
- Investicije za gospodarjenje z odpadki.

Ravnanje s trdnimi in tekočimi odpadki je relativno enostavno, saj se lahko shranijo in naknadno obdelajo (nevtralizacija, koagulacija, razstrupljanje, nevtralizacija, filtracija, sežig in podobno). Pri snoveh v plinastem stanju pa je glavni problem shranjevanje plina, saj zajema veliko prostornino in bi ga bi bilo v ta namen potrebno stiskati. Stikanje zraka je energetsko potraten proces in z ekonomskega vidika običajno ne omogoča rentabilnega delovanja.

Odpadne pline, ki imajo neprijetne vonjave, je ekonomsko zahtevno očistiti iz dveh razlogov. Prvi je ta, da imajo snovi, ki povzročajo neprijeten vonj, običajno močan neprijeten vonj že v zelo nizki koncentraciji. Tako ima, na primer, amonijak mejo zaznave 0,037 ppm, vodikov sulfid 0,0047 ppm, propil merkaptan pa kar 0,000075 ppm (citirati avtorja poglavja oz. knjige, 2004). Iz teh podatkov sledi, da je za odstranitev vonja iz zraka potrebna visoka stopnja čiščenja. Drugi razlog je, da je za odstranitev snovi, ki povzročajo neprijeten vonj, potreben določen kontaktni čas med plinom in filtrirno maso. Za večjo učinkovitost je potreben daljši kontaktni čas, zato so naprave za odstranjevanje neprijetnih vonjav razmeroma velike in drage.

Cena odstranjevanja onesnaževalcev iz zraka je odvisna od vrste onesnaževalca, njihove koncentracije, ter posledično od njihovega vonja in škodljivega vpliva na okolje. Cena čiščenja se določi na podlagi vhodnih podatkov in to so: pretok zraka, koncentracija onesnaževalcev, stopnja in načina čiščenja. Med najbolj pogoste neprijetne vonjave sodijo vodikov sulfid, merkaptani, amini in amonijak. Ti nastajajo pri anaerobnih procesih v kanalizaciji, čistilnih napravah, v sortirnicah in deponijah odpadkov, pri vzreji živali, pri pridobivanju bioplina in pri kompostiranju.

Za odstranjevanje neprijetnih vonjav iz odpadnega zraka se najpogosteje uporablja biofiltre in kemijske filtre, ki ne potrebujejo večjega nadzora nad obratovanjem. Pralniki se uporabljajo v industrijskih procesih, kjer gre za odstranjevanje večjih količin onesnaževalcev.

Pred namestitvijo naprave za odstranjevanje onesnaževalcev iz zraka je smiselno preveriti možnosti za izboljšavo »proizvodnega« procesa, kar lahko bistveno zmanjša potrebno velikost naprav za odstranjevanje onesnaževalcev. Biofiltri so zanimivi z vidika, da omogočajo biološko razgradnjo onesnaževalcev s pomočjo biomase, pri čemer se biomasa ne izrablja, zato je življenjska doba takih filtrov 4-6 let (navedite citat). So pa ti filtri manj učinkoviti in zahtevajo več prostora. Kemijski filtri so v primerjavi z biofiltri učinkovitejši in zato manjši, a pri njih je potrebna pogostejša menjava polnila zaradi njegove izrabe (navedite citat). V raziskavah se pri čiščenju zraka raziskovalci pogosto osredotočijo zgolj na tehnični problem čiščenja s posameznim načinom čiščenja (Liua in Ma, 2011; Park et al. 2009; Rehman et al. 2009, Rapplert in Müller, 2005; Elkanzi, 2009), medtem ko v prispevku obravnavamo sistem kombinacije biofiltra in kemijskega filtra.

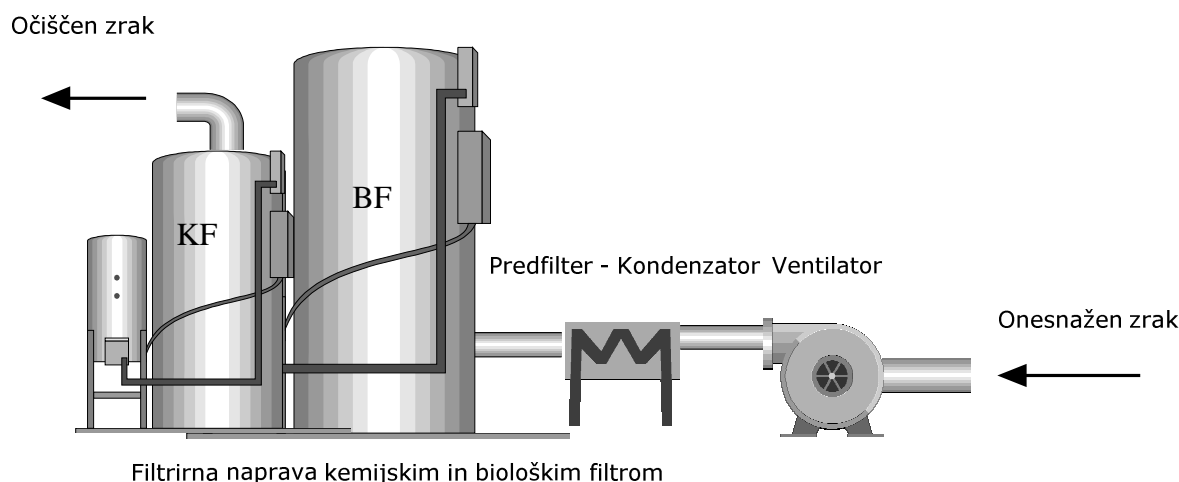
2 Opis modela in metodologija

Za dimenzioniranje filtrirnih naprav je potrebno izvesti meritve odpadnega zraka. Te so lahko olfaktometrične ali merjenje koncentracije posameznih onesnaževalcev. Olfaktometrične meritve nam povejo, kako močan vonj je v zraku. Ta podatek je uporaben pri določevanju kako moteč je vonj, ne pa za sam proces čiščenja, kjer je potrebno vedeti kakšne vrste in koncentracije onesnaževalcev so v zraku. Zato v prispevku sicer govorimo o vonjavah, a operiramo s koncentracijami onesnaževalcev. Za izračun optimalnih naprav za odstranjevanje onesnaževalcev iz zraka je najbolj smiselno izdelati model. Model je predstava stvarnosti. Ni sicer popolna slika procesa, ki se dogaja v realnosti, a vsebuje za namen dimenzioniranja pomembne informacije ter parametre, ki so pomembni za preučevanje sistema. Preučevanje modela je običajno precej enostavnejše od preučevanja stvarnosti, saj vanj vključimo le stvari, ki so za nas uporabne. Za preučevanje vplivov posameznih komponent lahko uporabimo različne modele, ki omogočajo lažje in pravilnejše odločanje o izbiri naprave, ter vrsti in količini polnil. Modeli filtrov so popisani s kemijskimi enačbami in enačbami snovnega prenosa. Pri tem so določeni parametri pridobljeni iz literature, določeni pa so bili določeni eksperimentalno.

V model sta vključena tako biološki kot kemijski filter. Model za biološki filter je bil izdelan za primer, ko je v njem polnilo iz celuloznih vlaken, ki ima v primerjavi z običajno biomaso približno 2,5-krat večjo učinkovitost. Vhodni podatki v modelu so: koncentracija onesnaževalcev, pretok zraka, temperatura, vlaga in zračni tlak. Model je narejen za 4 onesnaževalce in sicer: vodikov sulfid, merkaptane, amonijak in amine. Vhodni podatek je bila zahtevana učinkovitost čiščenja ter podatek o tem, kolikšen delež onesnaževalca odstrani biofilter in kolikšen delež kemijski filter. Poleg tega se vnese podatek, koliko ur letno filter obratuje.

Na podlagi modela določimo/izračunamo dimenzije biofiltra in kemijskega filtra, količino onesnaževalca, ki ga na leto odstrani posamezni filter, hitrost plina in zadrževalni čas plina v posameznem filtru. Poleg tega se izračuna tudi cena čiščenja s posameznim filtrom.

V primeru, da kombiniramo oba filtra, je najbolj primerno najprej postaviti biofilter, ki je običajno večji in manj učinkovit, a se v njem mikroorganizmi, ki razgrajujejo onesnaževalce, ne porabljajo. Na kemijskem filtru proces čiščenja poteka hitreje (kemijska reakcija, ki poteče na polnilu, je bistveno hitrejša od razgradnje snovi z mikroorganizmi), a deluje le do izrabe polnila. Primer sistema je prikazan na Sliki 1. V primeru, da kombiniramo oba filtra, tak filter imenujemo hibridni filter.



Slika 1: Sistem za čiščenje zraka, v kombinaciji biofilter in kemijski filter. (Šetinc, 2012)

Ocenjeni so zadrževalni časi za biofilter, ki omogočajo določeno učinkovitost filtra. Ti časi znašajo od 72 sekund za 99,9 % učinkovitost čiščenja pa do 4 sekunde za 22 % učinkovitost čiščenja. Biofilter se ob normalni uporabi ne zasiti, saj mikroorganizmi onesnaževalce razgradijo. Cena bioloških polnil znaša od 2-4 EUR/L. Izračun je izdelan za polnila, izdelana iz celuloznih vlaken in aktivirana z mikroorganizmi. Kemijski filter ob pravilnem dimenzioniranju omogoča več kot 99 % učinkovitost, a se nasiti, ko se izrabijo aktivne snovi na filtru. Cena kemijskih polnil znaša od 8-12 EUR/L (Šetinc, 2012).

3 Izračun

V prispevku »Sistem za podporo odločanju pri izbiri procesov za odstranjevanje neprijetnega vonja iz odpadnega zraka« (Šetinc, 2012) je opisan primer za odstranjevanje vodikovega sulfida, kjer je bilo ugotovljeno, da je pri nizkih koncentracijah vodikovega sulfida najprimernejši kemijski filter (pod 10 ppm), pri visokih (nad 200 ppm) biofilter, v vmesnem delu pa kombinacija obeh.

V Tabeli 1 je prikazana meja zaznave za vodikov sulfid in propil merkaptan

Tabela 1: Meja zaznave za vodikov sulfid in propil merkaptan.

Onesnaževalec	Formula	Meja zaznave (ppm)
Vodikov sulfid	H ₂ S	0,00047
Propil merkaptan	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -SH	0,000075

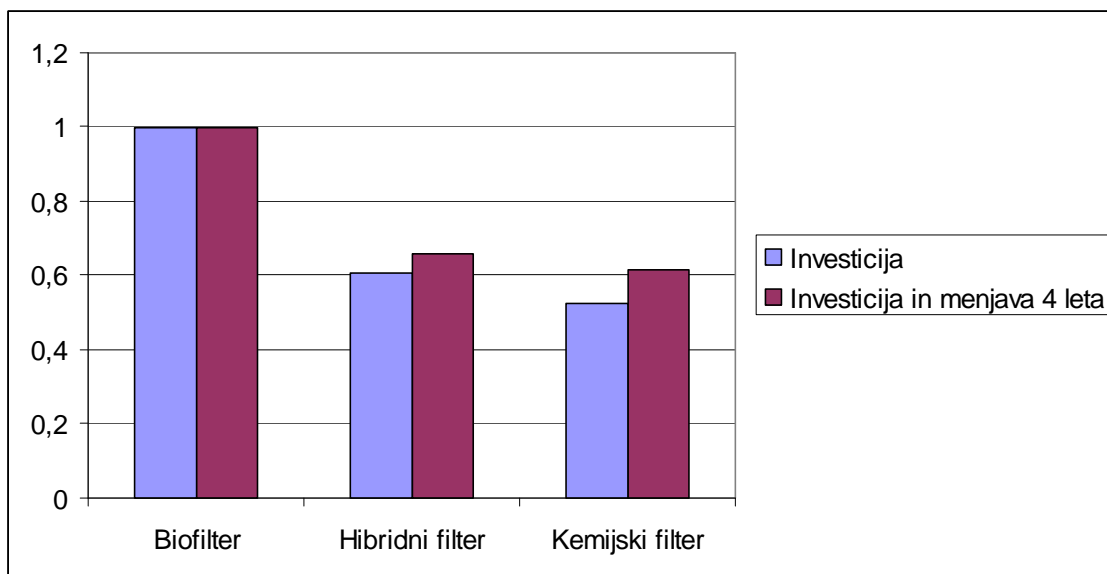
Če privzamemo, da je intenziteta vonja posamezne snovi premo sorazmerna meji zaznave, ugotovimo, da je v primerjavi z vodikovim sulfidom za zaznavo potrebna okrog 6-krat manjša koncentracija propil merkaptana. Za enako stopnjo odstranitve vonja je torej potrebna 6-krat večja učinkovitost čiščenja. To pomeni, da stopnjo čiščenja povečamo tako, da je na izstopu iz filtra 6-krat manjša koncentracija onesnaževalcev.

Cene za 6-krat bolj učinkovito čiščenje smo izračunali na 3 načine, in sicer za biofilter, za hibridni filter in za kemijski filter. Hibridni filter je sestavljen iz biofiltra in kemijskega filtra, pri čemer vsak odstrani približno polovico onesnaževalcev. Izračuni so narejeni pri dveh vstopnih koncentracijah, in sicer pri 10 ppm in 50 ppm. Stroški investicije predstavljajo ceno naprave in ceno polnila. Strošek za 4 letno delovanje vključuje tudi menjavo polnila v

kemijskem filtru. Stroški investicije in menjave polnila so bili izračunani na podlagi modela, ki poleg cene izračuna tudi dimenzije filtra oz. filtrov. Za lažjo primerjavo med posameznimi sistemi so cene stroškov normirane na ceno biofiltra za vsak primer posebej.

4. Rezultati

Rezultati izračunov na podlagi modela kažejo, da je pri nizki koncentraciji onesnaževalca najprimernejši kemijski filter. Na Sliki 2 je prikazan primer izračuna pri vstopni koncentraciji 10 ppm merkaptanov in pretoku zraka skozi filter 1500 m³/h

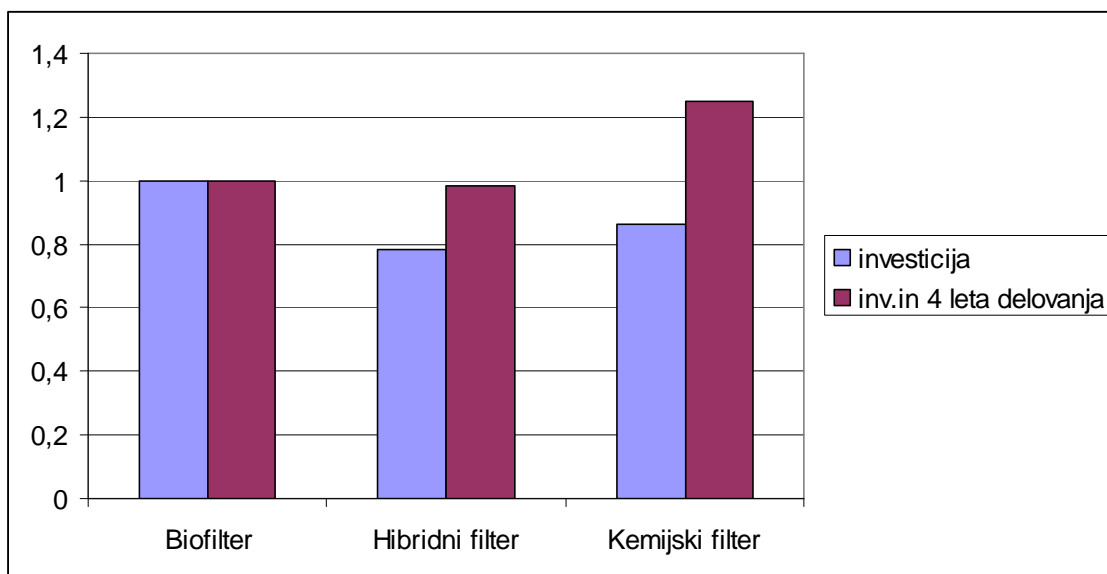


Slika 2: Normirana investicijska cena za posamezne filtre pri vstopni koncentraciji 10 ppm

Iz Slike 2 je razvidno, da je za nizke koncentracije merkaptanov (10 ppm) najprimernejši kemijski filter. Cena investicije v tem primeru znaša okrog 55 % cene investicije v biofilter. Poleg tega stroški zamenjave polnila v 4 letnem delovanju le malenkost presežejo okrog 60 % stroškov biofiltra. Hibridni filter je primerljiv, pri čemer so tako investicijski stroški, kot stroški investicije skupaj z menjavo polnila za okrog 5 % višji kot pri kemijskem filtru.

V takem primeru, ko sta ceni dveh filtrov primerljivi, se odločimo na podlagi ostalih dejavnikov, kot prostor, kjer bo filter postavljen in glede na nihanje onesnaženja. Pri enakomernem onesnaženju je smiselno uporabiti hibridni filter, ker omogoča podaljšanje delovanja celotnega sistema preden je potrebna zamenjava kemijskega polnila, v primeru pa da koncentracije nihajo, je smiselno uporabiti kemijski filter in s tem preprečiti morebitna uhajanja ob ekstremnih konicah.

Pri nekoliko višji koncentraciji 50 ppm, kot je razvidno iz Slike 3, je optimalno uporabiti hibridni filter, saj je cenovno ugodnejši z vidika začetnih stroškov investicije, kot tudi z vidika menjave polnila v kemijskem filtru v času 4 letnega delovanja. Kemijski filter je z vidika investicije primerljiv s ceno hibridnega filtra in znaša okrog 80 % cene biofiltra. Kemijski filter glede na biofilter skupaj z menjavo polnil v 4 letih delovanja ceno preseže njegovo ceno za okrog 25- %.



Slika 3. Normirana investicijska cena za posamezne filtre pri vstopni koncentraciji 50 ppm

Pri primerjavi biofiltra in kemijskega filtra je investicijski strošek in strošek menjave polnila v 4 letnem obdobju primerljiv, vendar je v takem primeru smiselno vgraditi hibridni filter iz dveh razlogov. Prvi je ta, da je potrebno za investicijo okrog 20 % manj denarja. Preostanek se financira šele ob menjavi polnila. Drugi pa je ta, da kemijski del hibridnega filtra učinkoviteje preprečuje uhajanje onesnaževalcev v primeru ekstremnih konic.

5. Zaključek

V raziskavi je bil izdelan model, ki se uporablja za dimenzioniranje biofiltra, kemijskega filtra in kombiniranje obeh. Na podlagi raziskave in modela je bilo ugotovljeno, da je uporaba kemijskega filtra, biološkega filtra ali kombinacije obeh v primeru, ko je zaradi narave onesnaževalcev potrebna visoka stopnja čiščenja, odvisna predvsem od koncentracije onesnaževalcev. Rezultati modela so nam pokazali, da je pri nižjih koncentracijah (10 ppm) onesnaževalcev ekonomsko najbolj učinkovito uporabiti kemijski filter, da je cenovno ugodnejši od biofiltra. Hibridni filter je cenovno primerljiv in ima višjo ceno le za okrog 5 %. Za koncentracije 50 ppm je najprimernejša kombinacija obeh filtrov. Hibridni filter je z vidika investicije ugodnejši kot biofilter, cena za 4 letno delovanje pa je primerljiva. Pri odločanju izbora filtra z ekonomskega vidika je pomembno gledati tako investicijski strošek kot strošek za daljše časovno obdobje in včasih izbiro prilagoditi tudi glede na razpoložljiva finančna sredstva.

Nadaljnje raziskave bodo potekale v smeri optimizacije sistemov z dodatnimi oblikami čiščenja in razvoja polnil, ki bi čim manj vplivala na okolje. To se da doseči z okolju prijaznimi polnili in polnili, ki katalizirajo proces in se pri tem ne izrabljajo.

Literatura in viri

Elkanzi EM, (2009): Simulation of the Process of Biological Removal of Hydrogen Sulfide from Gas, Environmental Pollution, Proceedings of the 1st Annual Gas Processing Symposium — 10–12 January 2009, Doha, Qatar, str. 266–275.

EU Municipal Waste,(2009), (citirano 1. 3. 2012). Dostopno na naslovu: <http://www.bsi.si>.
http://www.finfacts.ie/irishfinancenews/article_1021802.shtml.

Liua J, Ma W, (2011): Odor and VOCs Removal in Wastewater Treatment Plant by a Two-stage Biofilter, Energy Procedia, Vol. 11, str. 2553 – 2560.

Park BG, Shin WS, Chung J-S, (2009): Simultaneous biofiltration of H₂S, NH₃ and toluene using cork as a packing material, Korean J. Chem. Eng., Vol. 26, No. 1, str. 79-85.

Pregrad B, Musil V, (2001): Tehnološki sistemi in integrirano varstvo okolja, Ekonomsko-poslovna fakulteta, Maribor.

Rappert S, Müller R, (2005): Assessment of municipal waste compost as a daily cover material for odour control at landfill sites, Waste Management, Vol. 135, No. 1, str. 171–177.

Rehman, ZU, Farooqi I H, Ayub S, (2009): Performance of biofilter for the removal of hydrogen sulphide odour, Int. J. Environ. Res., Vol. 3, No. 4, str. 537-544.

Science of smell, 2004, (citirano 1. 3. 2012). Dostopno na naslovu: <http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM1963A.pdf>

Šetinc M, (2012): Sistem za podporo odločanju pri izbiri procesov za odstranjevanje neprijetnega vonja iz odpadnega zraka, 31. Mednarodna konferenca o razvoju organizacijskih znanosti, 2012, Portorož, Slovenija.

Vuk D, (2000): *Uvod v ekološki management*, Založba Moderna organizacija, Kranj.