

SUŠENJE MULJEV V VAKUUMSKEM REAKTORJU
SLUDGE DRYING IN A VACUUM REACTOR

**dr. Janez EKART¹, prof. dr. Riko ŠAFARIČ¹, doc. dr. Janez KRAMBERGER¹, izr.
prof. dr. Andrej ŠORGO¹, doc. dr. Suzana ŽILIČ-FIŠER¹, dr. Božidar BRATINA¹,
Vilijana BRUMEC¹, Jure FIŠER²,
mag. Tadej KROŠLIN²**

Gorenje Surovina d.o.o., Vita Kraigherja 10, 2000 Maribor
surovina@surovina.com

Univerza v Mariboru, Slomškov trg 15, 2000 Maribor
info@um.si

POVZETEK

V skladu z veljavno zakonodajo RS po 15. juliju 2009 ni več dovoljeno odlagati neobdelanih muljev iz komunalnih čistilnih naprav na odlagališča nenevarnih odpadkov. Zaradi tega je bilo potrebno razviti tehnologije in procese, ki omogočajo njihovo izrabo v industriji ali kmetijstvu.

Izhodišča razvojno raziskovalnega projekta sušenja komunalnih in/ali industrijskih muljev iz čistilnih naprav za odpadne vode so bila določena s predpostavko, da je mulj surovina ali energent, ki ga je mogoče ob ustrezni obdelavi koristno uporabiti kot gnojilo, surovino za kompostiranje, gradbeni material, zemljino ali kot alternativno gorivo. Med najpogosteje uporabljanimi procesi priprave za nadaljnjo ali končno uporabo je sušenje. V prispevku je predstavljen koncept hipobarične sušilne komore, ki omogoča sušenje industrijskih in komunalnih muljev do 10% ali manj suhe mase.

Upoštevana so bila izhodišča, da sušenje mulja do stopnje sušenja v razponu 48-80% suhe snovi ni priporočljivo zaradi neugodnih fizikalnih lastnosti (lepljiva faza). Zato so bila upoštevana področja sušenja mulja 30-48% suhe snovi za namen uporabe v kmetijstvu in 80 – 97% suhe snovi za namen uporabe kot gorivo ali gradbeni material.

Rezultati eksperimentalnega dela projekta so pokazali, da je možno tehnologijo sušenja muljev v vakuumu uporabiti za stabilizirane in nestabilizirane mulje.

Raziskovalni rezultati projekta, ki temeljijo na sinergiji uspešnega sodelovanja znanosti in industrije (Univerza v Mariboru in Gorenje Surovina d.o.o. Maribor) lahko v prihodnosti prispevajo k družbenem razvoju v smeri bolj kakovostnega in učinkovitega obdelovanja odpadkov.

Ključne besede: mulj, vakuum, kapilarna voda, celična voda, suha snov

SUMMARY

In accordance with the valited legislation in Republic of Slovenia after July, 15th 2009 it is not allowed any more to dispose the untreated sludge from waste water treatment plants on the landfill of waste. Therefore it was necessary to develop technologies and processes, which enable their use in industry or in agriculture.

Background for research and development of the project for drying the municipal and / or industrial sludge from waste water treatment facilities have been established with the assumption that the sludge could be used with the appropriate treatment as fertilizer, raw material for composting, building materials, soil, or as an alternative fuel. Among the most

commonly used processes of preparation for further or finally use drying. This paper presents the concept of hypobaric drying chamber, which allows the drying of industrial and municipal sludge to 10% or less dry mass.

The starting point of the sludge drying are included that a level in the range of 48-80% dry matter is not recommended due to unfavorable physical properties (sticky phase). Therefore, have been considered range sludge drying 30-48% dry matter for the purpose of use in agriculture and 80-97% dry matter for the purpose of use as a alternative fuel or construction material.

The results of the experimental part of the project have shown that the technology of sludge drying in a vacuum could be used for the stabilized and non-stabilized sludges.

Results of the research project which are based on the succesfull cooperation between industry and science (Gorenje Surovina and University of Maribor) can contribute towards future development of society in the field of efficient waste management.

Key words: sludge, vacuum, capillary water, cellular water, dry matter

1. UVOD

V Sloveniji je nastal zaradi nastanka povečanih količin mulja kot posledica sprejete EU Direktive Sveta z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode (91/271/EGS) (UL št. 135 z dne 30. 5. 1991, Uredb v RS in noveliranega Operativnega programa odvajanja in čiščenja odpadnih komunalnih vod (obdobje 2005 – 2017) od oktobra 2010 pereč okoljski problem, kako ravnati z nastalimi mulji. V skladu z veljavno zakonodajo RS po 15. juliju 2009 ni več dovoljeno odlagati neobdelanih muljev iz komunalnih čistilnih naprav na odlagališča nenevarnih odpadkov.

Med najpogosteje uporabljanimi procesi priprave za nadaljnjo ali končno uporabo je sušenje. V prispevku je predstavljen koncept hipobarične sušilne komore, ki omogoča sušenje industrijskih in komunalnih muljev do 10% ali manj suhe mase.

2. TEHNOLOGIJA SUŠENJA MULJEV V VAKUUMU

Razpoložljive tehnologije sušenja različnih surovin oziroma materialov zahtevajo različne tipe sušilnikov, ki uporabljajo za sušenje bodisi zrak, neposredni vir toplote, posredni vir toplote, in to pri atmosferskem tlaku ali v vakuumu. V uporabi so sušilniki različnih velikosti, oblik in variant, na voljo pa ni univerzalnega sušilnika, ki bi lahko ekonomično opravljal vse zahtevane oz. potrebne operacije za vse vrste surovin oziroma materialov, zato vsak obravnavan material zahteva svoj tip sušilnika. Med številnimi možnimi principi sušenja opisujemo sušenje muljev v vakuumu pri nizkih temperaturah.

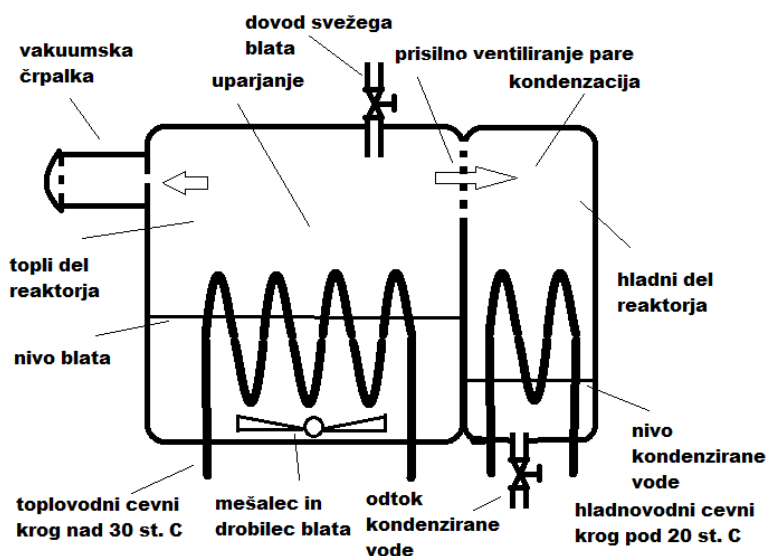
S sušenjem muljev v vakuumski procesni enoti pri nizkih temperaturah smo želeli doseči sledeče učinke:

- izločiti absorbirano vodo in na ta način zmanjšati maso in volumen mulja,
- povečati delež suhe snovi za primer uporabe kot alternativno gorivo oziroma uporabe v kmetijstvu,
- stabilizirati in higienizirati mulj zaradi popolnega uničenja patogenih organizmov.

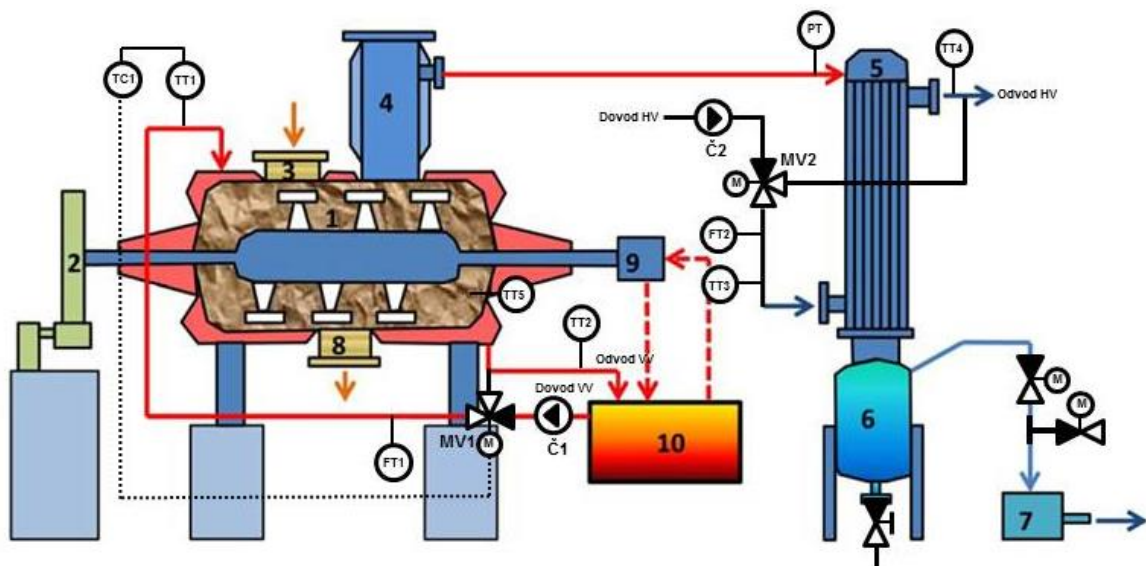
Na podlagi definiranih procesnih veličin pilotske vakuumske procesne enote (nazivni delovni volumen sušilnika, nazivna vrednost podtlaka, zmogljivost sušenja idr.) je bila izbrana optimalna konceptna varianta reaktorja. Izbrana končna varianta sušilnika obsega naslednje konstrukcijske sklope: osrednji mešalni del vakuumskega reaktorja, mešalo z nastavljivimi lopaticami, pripadajoči pokrovi z gonilom in pogonom, podstavek, filter z ohišjem, kondenzator in zbiralnik kondenzata. Za namene hlajenja/gretja sta mešalni del in kondenzator zasnovana z dvojnimi plaščem in prekati, lopatice mešala pa so zasnovane na način, da omogočajo kar se da natančno prilagoditev geometriji posode pri obratovanju.

Pilotski vakuumski reaktor ima cca. 150 l volumna v uparjalnem delu z nominalno obremenitvijo šarže 40 kg mulja. Za nadzor in regulacijo procesa sušenja so na napravi nameščeni merilniki pretokov in temperature za nadzor temperature hladne in tople vode, temperature mulja, absolutnega tlaka in teže kondenzirane vode v odcedni posodi. Sam proces je voden z industrijskim krmilnikom, s pomočjo katerega smo vodili proces in izvajali regulacijo temperature ogrevalnega/hladilnega medija, regulacijo atmosfere in podtlaka, ter mešanja mulja.

Shematski prikaz naprave in merno regulacijske opreme za vakuumsko sušenje muljev prikazujeta sliki 1 in 2.



Slika 1: Shematski prikaz naprave za vakuumsko sušenje muljev



Slika 2: Tehnološka shema merilno regulacijske opreme

Legenda:

PT – meritev tlaka na kondenzatorju

TC1 - regulacija temperature vroče vode

TT1 - meritev temperature dovodne vroče vode (VV)

MV1 - mešalni ventil vroče vode
MV2 - mešalni ventil hladne vode

TT2 - meritev temperature odvodne vroče vode

Č1 – črpalka za vročo vodo

TT3 - meritev temperature dovodne hladne vode (HV)

Č2 – črpalka za hladno vodo

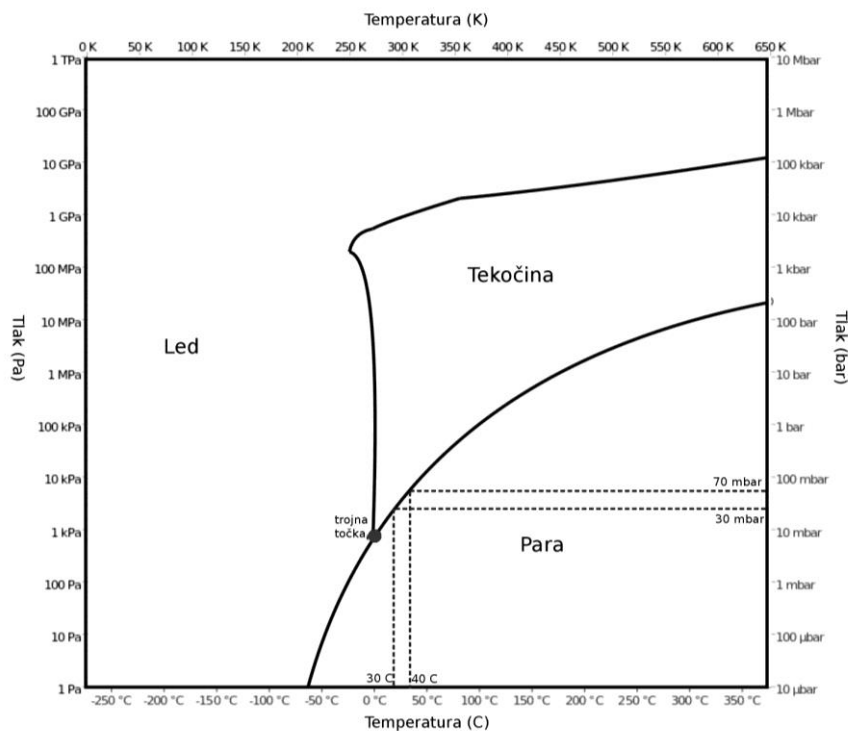
TT4 - meritev temperature odvodne hladne vode

TT5 - meritev temperature mulja v posodi

FT1 - meritev pretoka vroče vode

FT2 - meritev pretoka hladne vode

Proces sušenja bazira na nizekotemperaturnem izhlapevanju vode iz mulja med 35 °C in 40 °C. Zaradi izparevanja vode iz mulja pri izrabi nizko energijske toplote med 35 °C in 40 °C in kondenzacije izparene vode je potrebno vzdrževati absolutni tlak med 30 – 70 mbar. Pri temperaturi sušenja mulja 35 °C se tlak vzdržuje med 30 in 40 mbar. Med sušenjem mulja se odvija fazni prehod mulja iz pastoznega stanja v praškasto obliko, kjer se s postopkom ustreznega mešanja vpliva na končno obliko grud oz. granul suhega mulja. Postopek kondenzacije pare v kondenzatorju je voden z ustrezno regulacijo podtlaka, ogrevalne in hladilne temperature medija, vzdrževanje podtlaka v sušilnem prostoru pa izvajamo z vakuumsko črpalko. Tlak v postopku sušenja se spreminja zaradi presnove mikrobov, kar povzroča tvorbo različnih fermentacijskih plinov (metan, amonijak, merkaptani itd), ki onemogočajo kondenzacijo pri pogojih, kot jih določa fazni diagram za čisto nasičeno paro. Slika 3 prikazuje različna agregatna stanja v odvisnosti od tlaka in temperature.



Slika 3: Agregatna stanja v odvisnosti od temp. in tlaka

3. REZULTATI

V postopkih sušenja muljev so bili obravnavani sledeči mulji:

Tabela 1

Mulj	Stanje	Začetna vlaga (%)	Čas sušenja (h)			Dosežena stopnja vlage (%)
			kapilarna voda	celična voda	skupaj	
KČN Maribor	Stabiliziran, necentrifugiran	77,38	30	60	90	10,6
KČN Slovenska Bistrica 1	Nestabiliziran, centrifugiran	73,44	39	26	65	14,32
KČN Slovenska Bistrica 2	Nestabiliziran, centrifugiran	73,48	28	45	73	6,07
KČN Ptuj	Nestabiliziran, centrifugiran	85,75	28	37	65	12,51
IČN KZ Rače (klavniški mulj)	Nestabiliziran, centrifugiran	81,49	75	56	131	5,81
KČN	Nestabiliziran,	72,61	40	29	69	17,01

Šoštanj – Velenje (digestat bioplinarne)	centrifugiran					
Papirniški mulj	Nestabiliziran, centrifugiran	52,45	45	13	58	2,9

Tabela prikazuje čas sušenja kapilarne in celične vode, katerih seštevki predstavljata skupni čas sušenja. Pri sušenju mulja je potrebno odstraniti kapilarno in celično (molekulsko) vodo, ki je vezana v celicah biološkega materiala, predvsem mikroorganizmov. Vodo iz celice je možno izločiti s segrevanjem mulja in s tem povišanjem notranjega parnega tlaka v celici in/ali mehanskim poškodovanjem membrane celice. Iz tega razloga je odstranjevanje celične vode, kljub razmeroma nizkemu deležu vlage mulja dokaj dolgotrajen postopek, ki je časovno enak ali celo daljši postopku odstranjevanju kapilarne vode z večjim deležem v predhodnem koraku. Posledica temu je, da je zraven porabljenega časa sušenja tudi porabljena energija sušenja na liter celične vode večja v primerjavi s porabljeno energijo sušenja na liter kapilarne vode. To pomeni, da bi bila porabljena energija na liter vode neprimerno manjša pri sušenju mulja za njegovo uporabo kot gnojilo (do 40% vlage) v primerjavi z uporabo mulja kot alternativnega goriva (do 10% vlage).

Mikrobiološke analize smo ob vsakem eksperimentu izvedli na štirih odvzemnih mestih pilotne naprave. Prva je bila mulj, ki smo ga pridobili iz različnih čistilnih naprav, druga je bila izpuh vakuumske črpalke, tretja izcedne vode ter četrta posušen mulj. Vzorce smo nacepili na kompleksno gojišče, ter izvedli kvantitativno štetje kolonij, identifikacijo pa opravili na osnovi analize 16s RNA. Ugotovili smo, da v izpuhu ni bilo prisotnih mikroorganizmov, v zelo nizkih koncentracijah so bili prisotni v kondenzirani vodi, število v sušini se je znižalo za faktor 10 do faktor 100 (praviloma z 10^6 na 10^4). Prisotne so bile le bakterije, ki so bile prisotne že v osnovnem vzorcu in so fakultativni ali obligatni anaerobi, ki pripadajo običajni talni mikrobioti. Patogenih sevov nismo zasledili, glede na vrstno sestavo sevov pa priporočamo ravnanje po drugi stopnji zaščitnih ukrepov.

5. ZAKLJUČEK

Tehnologija sušenja muljev in/ali ostanka digestata iz čistilnih naprav za odpadne vode z nizko temperaturnim režimom grelnega medija in podtlakom sušilnega prostora daje možnost energijsko učinkovite naprave, zlasti če imamo na razpolago nizkotemperaturni medij kot toploto za izparevanje vode iz mulja (primer odpadna toplota hladilne vode termoenergetskih objektov). Razviti sistem daje možnost projektiranja in izgradnje modularno zasnovane

industrijske naprave s cca 25 ton kapacitete na enoto, odvisno od količine nastalega mulja in/ali digestata na obravnavani lokaciji.

Nadaljnji razvoj sušenja muljev v vakuumu daje možnost, da lahko glede na pridobljeno energijo v procesu kondenzacije pare in ob razpoložljivi odpadni toploti, ki bi jo koristil grelni medij v procesu sušenja, dosežemo energetske samozadostnosti delovanja naprave za čiščenje odpadnih voda in v določenih primerih zraven energetske samozadostnosti same naprave za čiščenje odpadnih voda celo viške energije, ki bi jih lahko koristili kot toplotno ali električno energijo.

6. ZAHVALA

Projekt je izveden v okviru sodelovanja med podjetjem Gorenje Surovina d.o.o. in Univerzo v Mariboru, ki ga je sofinancirata Republika Slovenija in Evropska unija (EU) iz Evropskega sklada za regionalni razvoj. Sredstva so pridobljena na javnem razpisu za spodbujanje raziskovalno razvojnih projektov na problemskih območjih z visoko brezposelnostjo v letih od 2013 do 2015 – RRPO 2013.

7. LITERATURA

[1] Lastni viri

[2] Izrail S. Turovskiy, Wastewater Sludge Processing , Wiley Interscience, 2006