Bioreaktorska odlagališta

Pejić, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

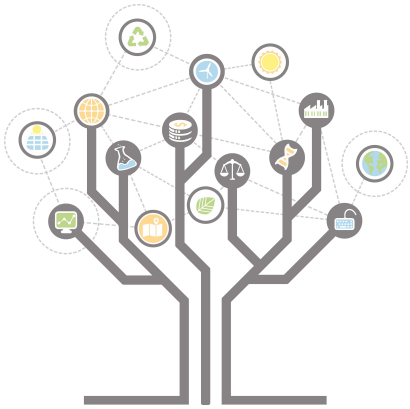
2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:967955

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Bioreaktorska odlagališta

Pejić, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:967955

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-11-02**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Marija Pejić

BIOREAKTORSKA ODLAGALIŠTA

DIPLOMSKI RAD

Varaždin, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

BIOREAKTORSKA ODLAGALIŠTA

KANDIDAT:

Marija Pejić

MENTOR

Doc.dr.sc. Igor Petrović

Varaždin, 2017.

Zahvala

Zahvaljujem se mentoru Doc.dr.sc. Igoru Petrović na iskazanom povjerenju, vodstvu, korisnim diskusijama tijekom izrade ovog rada te strpljenju i vremenu koje je odvojio za moje upite.

Također, zahvaljujem svim profesorima i asistentima Geotehničkog fakulteta na ugodnom boravku i stečenom znanju.

Na kraju, posebnu zahvalnost iskazujem cijeloj svojoj obitelji na ukazanom povjerenju, strpljenju i savjetovanju u svim trenucima tijekom studija.

Hvala svima!

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

BIOREAKTORSKA ODLAGALIŠTA

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc. dr. sc. Igora Petrovića.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, _____

_____

(Ime i prezime)

_____

(OIB)

_____

(Vlastoručni potpis)

Sažetak:

Pejić Marija , BIOREAKTORSKA ODLAGALIŠTA

Jedan od glavnih problema zaštite okoliša suvremenog društva je kontinuirani porast nastajanja otpada, a njegovo odlaganje na odlagalištima postaje sve opasnije i sve manje ekonomično. Rješavanje problema otpada prepoznato je kao jedan od najvećih prioriteta smanjenja onečišćenja okoliša. S toga je u mnogim zemljama održivo upravljanje otpadom, koje podrazumijeva i sprječavanje njegovog nastanka i smanjenje novih količina, postao glavni politički prioritet. Zato je i Republika Hrvatska, kao članica Europske unije, obvezna razvijati strategije kojima se količina otpada treba znatno smanjiti. Donedavna praksa nekontroliranog odlaganja otpada danas više nije prihvatljiva, pa se pristupa alternativnim rješenjima kao što su bioreaktorska odlagališta otpada. U odnosu na konvencionalna odlagališta, u bioreaktorskim odlagalištima se održavanjem optimalne vlažnosti odlagališta poboljšava mikrobiološka razgradnja organskog otpada, smanjuje se toksičnost otpada, te se postiže povećanje raspoloživog volumena odlagališta i do 30%. Također, u bioreaktorskim odlagalištima otpada nastaju i značajne količine plina koji se zatim može koristiti kao energent, zato se nikako ne smije zanemariti vrijednost otpada jer on nije i ne mora postati smeće, ali se njegovim odbacivanjem i odlaganjem na odlagališta bespovratno gube dragocjene sirovine i potencijalna energija.

Ključne riječi: bioreaktorsko odlagalište, bioplin, recirkulacija procjedne vode

Sadržaj

1. UVOD 1

2. MBO POSTROJENJE ZA OBRADU KOMUNALNOG OTPADA – PRETHODNA OBRADA OTPADA 2

..... 4

3. BIOREAKTORSKO ODLAGALIŠTE OTPADA 6

3.1. Aerobna razgradnja otpada 7

3.2. Anaerobna razgradnja otpada 8

3.3. Podjela bioreaktorskih odlagališta 9

3.4. Osnovni dijelovi bioreaktorskog odlagališta 12

3.5. Faze rada bioreaktorskog odlagališta 14

3.6. Prednosti i nedostaci bioreaktorskih odlagališta u odnosu na konvencionalna odlagališta 14

4. SASTAV I KOMPONENTE OTPADA U BIOREAKTORSKOM ODLAGALIŠTU 16

5. IZRAČUN BILANCE VLAGE U BIOREAKTORSKOM ODLAGALIŠTU OTPADA 20

5.1. Metoda bilance vode 21

5.1.1. Metoda A: Pojednostavljena jednadžba 22

5.1.2. Metoda B: Složeniji izračun 24

6. ZAKLJUČAK 29

Popis literature 30

Popis slika 33

Popis tablica 33

Popis priloga 33

1. UVOD

Otpad je jedan od ključnih problema moderne civilizacije i neizbježna posljedica čovjekova načina života zbog čega je započela i veća kontrola, ali i razvoj tehnika i tehnologija izgradnje odlagališta otpada. Danas se odlagališta grade po vrlo strogim tehničkim standardima i uz nove materijale, kojima se otpad gotovo potpuno izolira od okoliša. Sprječava se prodiranje procjednih voda u okolno tlo i podzemne vode, a plinovite emisije se kontroliraju.

Suvremena odlagališta izgrađena su od raznih brtvenih prirodnih i sintetskih materijala, s ciljem da se odloženi otpad potpuno izolira od biosfere i na taj način štiti zdravlje ljudi i okoliš. Međutim dugoročno gledano dolazi do narušavanja integriteta gornjeg brtvenog sloja što će omogućiti prodor vlage/vode u odloženi otpad, a to će potaknuti privremeno zaustavljene fizikalne, kemijske i biološke reakcije, te će se ponovno pojaviti procjedne vode i odlagališni plinovi. Nakon dugogodišnjih iskustava s odlagalištima i svjesni njihovih ograničenja i nedostataka, istraživači su na osnovi iskustava i eksperimenata razvili novi pristup, tzv. bioreaktorska odlagališta *(Anić Vučinić i sur. 2012)*.

Bioreaktorsko odlagalište je sustav u kojim se optimizacijom pojedinih parametra kao što su uvjeti odlaganja i/ili kontrolirani dodatak vode, stimulira sinergističko djelovanje postojećeg mikrobiološkog sustava, te se na taj način omogućava bolja kontrola odvijanja mikrobioloških procesa i ubrzavanje pojedine faze mikrobiološke razgradnje uz ostvarivanje brže stabilizacije odlagališta.

Bioreaktorska odlagališta su zamišljena, projektirana, izgrađena, održavana, vođena i korištena na način kojim se osigurava ubrzani proces razgradnje organskih tvari u odloženom otpadu. Osnovni razlozi zbog kojih se grade ovakva odlagališta su očekivana povećana produkcija odlagališnog plina, brža stabilizacija i inertizacija odloženog otpada te ušteda odlagališnog prostora. Svjetska iskustva upućuju na činjenicu da ne postoje standardizirana rješenja za odlagališta na koja se odlaže prethodno obrađeni komunalni otpada. Primjena bioreaktorskih odlagališta na koja se odlaže prethodno obrađeni komunalni otpad je još uvijek u fazi razvoja i proučavanja *(Herenda 2010).*

2. MBO POSTROJENJE ZA OBRADU KOMUNALNOG OTPADA – PRETHODNA OBRADA OTPADA

Koncept mehaničko-biološke obrade otpada razvio se u EU kao posljedica težnje smanjenja utjecaja odlaganja neobrađenog biorazgradivog otpada na okoliš, odnosno kao jedna o mogućnosti zadovoljavanja EU direktive za odlaganje otpada. Nakon obrade komunalnog otpada u MBO postrojenju odabrane tehnologije, kao produkti obrade dobivaju se gorivo iz otpada (GIO), korisni materijali za daljnju oporabu te biološki obrađena frakcija pogodna za odlaganje na kontrolirano bioreaktorsko odlagalište pri čemu se proizvodi bioplin a zatim i električna energija *(Đurđević 2015).*

Mehaničko-biološka obrada otpada (MBO) temelji se na mehaničkoj pripremi ulazne količine otpada i biološkoj obradi biorazgradivog dijela komunalnog otpada. Kao osnovni ulazni parametri za odabir tehnologije obrade komunalnog otpada, potrebno je poznavati obuhvatnost organiziranim odvozom, raspodjelu količina otpada tijekom godine, učinkovitost izdvojenog skupljanja otpada i naročito sastav otpada *(Skoko 2010).*

Proces mehaničko-biološke obrade komunalnog otpada u MBO postrojenju sastoji se glavnih operativnih faza, opisanih kako slijedi:

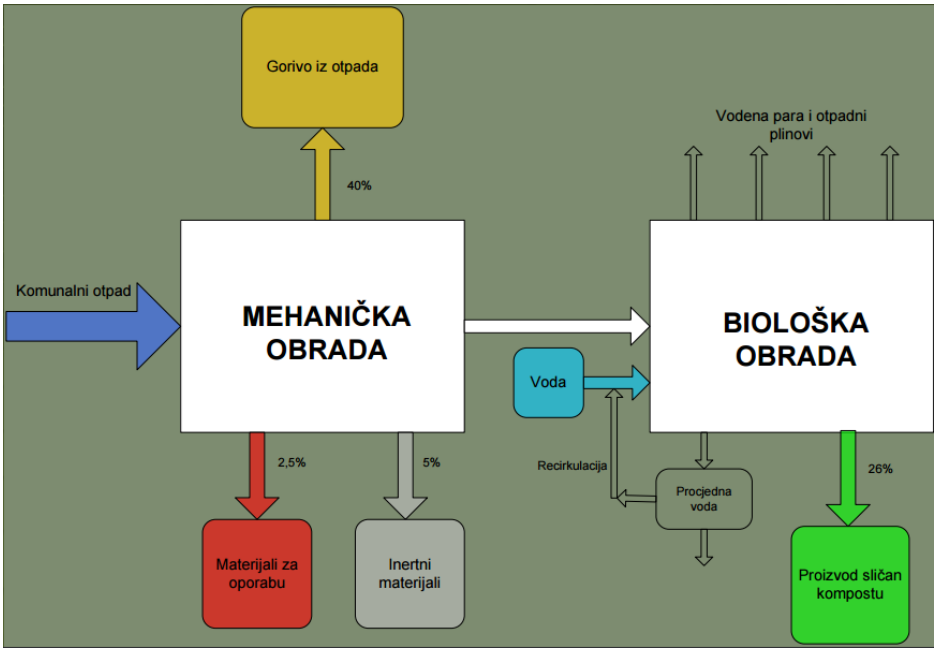
- **Prijem komunalnog otpada na obradu -** izravan istovar komunalnog otpada iz kamiona-smećara kroz vrata hale u prihvatnu jamu MBO postrojenja.
- **Mehanička predobrada komunalnog otpada -** u cilju selekcije otpada prema veličini u rotacijskom situ postrojenja za predobradu, u kojemu nastaju dvije osnovne frakcije otpada:
  (a) otpad dimenzija većih od 150 mm, koji se odvozi transporterima u namjensku prihvatnu jamu i
  (b) otpad dimenzija manjih od 150 mm, koji se – zajedno s teškom frakcijom krupnog otpada – skladišti u namjenskoj jami, a prije upućivanja u tehnološki sustav za biološku obradu.
- **Biološka obrada (biosušenje) otpada** dimenzija manjih od 150 mm odvija se u dijelu postrojenja predviđenog za biosušenje (visokomehanizirani šaržni aerobni reaktor). Ovdje se otpad zadržava 12-15 dana, kako bi se omogućilo odvijanje procesa aerobne biološke obrade, tj. biološke degradacije (aerobne razgradnje) lako biorazgradivog materijala (Majcen 2012).
- **Mahanička rafinacija** (NIR, zračni separatori, eddy current, magneti).

Što se tiče hidrauličkih svojstava otpada i odgovarajućeg poroziteta, utvrđeno je da se hidraulička vodljivost neobrađenog komunalnog otpada kreće u rasponu od 10^{-3} do 10^{-6} cm/s te se mijenja u vremenu kako se smanjuje koeficijent pora, a time se postupno smanjuje i učinkovitost recirkulacije. Prosječna hidraulička vodljivost MBO otpada iznosi 10^{-9} cm/s *(Petrović 2016).*

Razvijen je veliki broj varijanti MBO postrojenja s velikim razlikama u tehničkoj opremljenosti i uvjetima rada. Ovaj proces se zasniva na konceptu kombiniranja mehaničke (M) i biološke (B) obrade(O) otpada.

Varijantna rješenja zahvata:

1. Postrojenje za MBO s aerobnom obradom biorazgradivog dijela otpada i proizvodnjom proizvoda sličnog kompostu (Slika 1) *(Skoko 2010).*



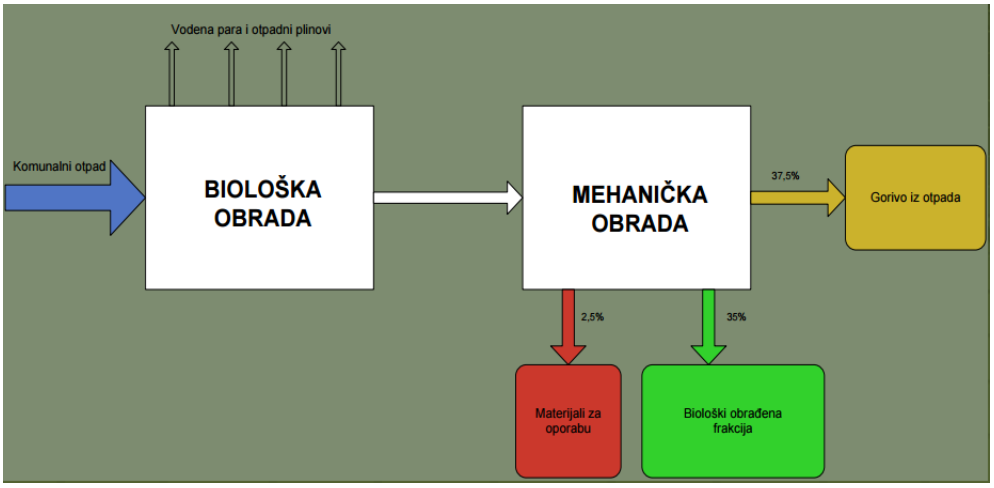
Slika 1. Okvirna masena bilanca postrojenja za MBO s aerobnom obradom biorazgradivog dijela otpada *(Skoko 2010)*

2. Postrojenje za MBO s biosušenjem (Slika 2.)

Kao jedan od najprihvatljivijih tipova MBO otpada je MBO postrojenje sa biosušenjem, izdvajanjem gorivih komponenata i obradom ostatne biorazgradive frakcije u odlagalištima.

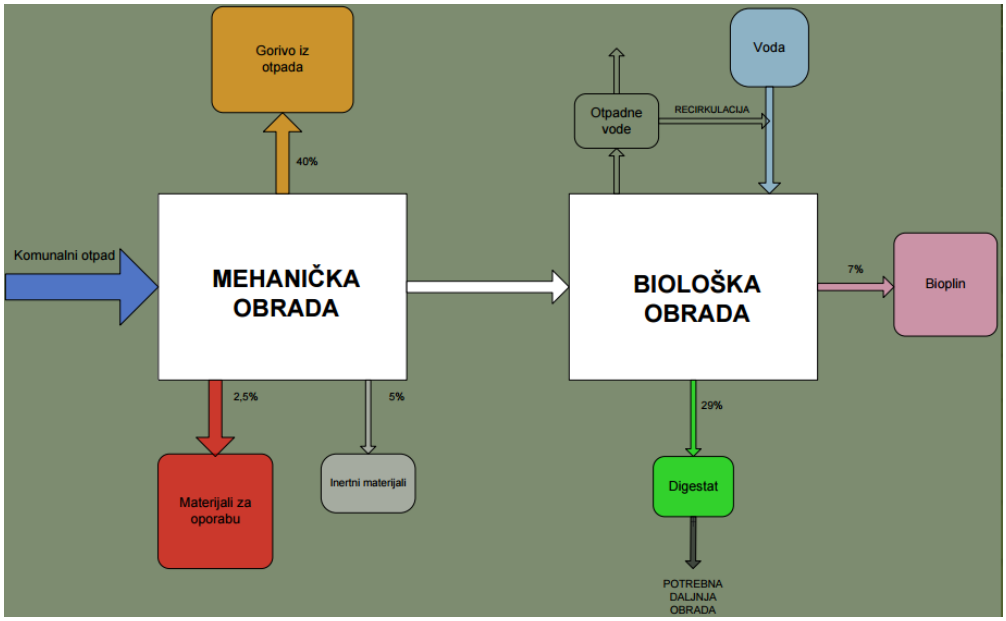
Razlozi za odabir ovog koncepta su:

- dobivanje kvalitetnog zamjenskog goriva visoke energetske vrijednosti koje je pogodno za upotrebu u cementarama i ostalim industrijskim pećima
- proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije
- relativno prihvatljiv iznos početne investicije u postrojenje
- prihvatljiva cijena obrade komunalnog otpada *(Đurđević 2015).*



Slika 2. Okvirna masena bilanca postrojenja za MBO s aerobnom obradom biorazgradivog dijela otpada – biosušenje *(Skoko 2010)*

3. Postrojenje za MBO s anaerobnom obradom biorazgradivog dijela otpada (Slika 3.)



Slika 3. Okvirna masena bilanca postrojenja za MBO s anaerobnom obradom biorazgradivog dijela otpada *(Skoko 2010)*

4. Hibridno postrojenje za MBO s biosušenjem i suhom fermentacijom
5. Postrojenje za povrat materijala sa sortirnicom otpada.

U nacrtu novog *Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske 2015. – 2021.*, koji se planira usvojiti za sljedećih šest godina ipak se ne spominje bioreaktorsko odlagalište uz MBO postrojenja, već odlaganje stabilata *(Milanović 2015).* Unatoč tome što najnoviji Plan gospodarenja otpadom ne prepoznaje bioreaktorska odlagališta u RH djeluje nekoliko MBO postrojenja s ostatnim otpadom pogodnim za odlaganje na bioreaktrosko odlagalište. Stoga je i dalje važno poznavati način funkcioniranja bioreaktorskog odlagališta.

Za vrijeme punjenja bioreaktorskog odlagališta ne odvija se proces metanogene razgradnje, već se on ciljano aktivira dodatkom vode kada se odlagalište napuni i izvede pokrovni brtveni sloj i prateća infrastruktura za prikupljanje plina.

Prosječno razdoblje iskorištavanja bioplina je oko pet godina, nakon čega je organska tvar iz otpada u potpunosti razgrađena i ostaje na odlagalištu. Krajnji rezultat je potpuno energetsko iskorištenje otpada i značajno smanjenje potrebnih površina za konačno odlaganje *(Kovačić 2008).*

<u>MBO tehnologija s bioreaktorskim odlagalištem koristi se zbog:</u>

- 20-30% dobro razgradivog ostatnog dijela otpada koji se odlaže na bioreaktorskom odlagalištu,
- proizvodnje goriva iz otpada (GIO) visoke kalorične vrijednosti (pogodne za upotrebu u cementarama),
- proizvodnje električne energije iz biorazgradivog ostatka obrade,
- odnosa investicijskih troškova i troškova obrade *(Majcen 2012).*

3. BIOREAKTORSKO ODLAGALIŠTE OTPADA

Suvremena odlagališta izgrađena su od raznih brtvenih prirodnih i sintetskih materijala, s ciljem da se odloženi otpad potpuno izolira od biosfere i na taj način štiti zdravlje ljudi i okoliš. Međutim dugoročno dolazi do narušavanja integriteta gornjeg brtvenog sloja što će omogućiti prodor vlage/vode u odloženi otpad. To će potaknuti privremeno zaustavljene fizikalne, kemijske i biološke reakcije, te će se ponovno pojaviti procjedne vode i odlagališni plinovi.

Nakon dugogodišnjih iskustava s odlagalištima istraživači su na osnovi iskustava i eksperimenata razvili novi pristup, tzv. bioreaktorska odlagališta. Bioreaktorsko odlagalište je sustav u kojem se optimizacijom pojedinih parametra kao što su uvjeti odlaganja i/ili kontrolirani dodatak vode, stimulira sinergističko djelovanje postojećeg mikrobiološkog sustava.

Na taj se način omogućava bolja kontrola odvijanja mikrobioloških procesa i ubrzavanje pojedine faze mikrobiološke razgradnje uz ostvarivanje brže stabilizacije odlagališta.

Na bioreaktorskom odlagalištu razgradnju biorazgradive komponente moguće je, u odnosu na konvencionalna odlagališta, znatno ubrzati te time skratiti vrijeme potrebno da otpad postane inertan. Takvo odlagalište mora imati mogućnost sakupljanja plinova nastalih u metanogenoj fazi razgradnje otpada.

Sakupljeni plinovi (uglavnom metan) koriste se za proizvodnju električne energije. Ako količine nastalog plina nisu dovoljne za racionalnu proizvodnju toplinske i/ili električne energije treba ga spaljivati u kontroliranim uvjetima na baklji plinsko-crpne stanice *(Anić Vučinić i sur. 2012).*

U usporedbi s običnim ("suhim") odlagalištem, bioreaktor može stvarati odlagališni plin ranije i u većoj količini. Osim toga stvaranje odlagališnog plina traje kraće zbog toga što njegovo generiranje tijekom vremena slabi budući da se ubrzanim postupkom razgradnje smanjuje količina otpada. Zbog toga se pokazuje da se u bioreaktoru stvara više odlagališnog plina za vrijeme aktivnog rada odlagališta nego u slučaju običnog odlagališta *(Kovačić 2008).*

3.1. Aerobna razgradnja otpada

Aerobna razgradnja (kompostiranje) je proces razgradnje organskih sastojaka otpada (hrane) pomoću mikro-organizama u okruženju zraka (kisika). Konačni produkt je kompost koji se sastoji iz minerala i humusa (kompleksnih organskih tvari).

Utjecajni procesni parametri aerobne razgradnje su:

1. Temperatura

Temperature se klasificiraju u tri temperaturne zone: psihrofilnu temperaturnu zonu (ispod 25 ^oC), mezofilnu zonu (25 – 45 ^oC) i termofilnu zonu (45 – 70 ^oC) (Tablica 1.) (*Al Seadi T. i sur 2008).* Optimalno je termofilično područje jer se u njemu postižu dezinfekcijski uvjeti komposta. Ako je kompost izložen temperauri > 55 ^oC kroz dva tjedna, postižu se dezinfekcijski uvjeti s efektima kao kod temperature > 70 ^oC tijekom jednoga sata.

Tablica 1. Temperatura i duljina trajanja procesa *(Al Seadi T. i sur 2008).*

Temperaturna zona	**Procesne temperature**	**Minimalno vrijeme trajanja procesa**
Psihrofilno	< 20 ^oC	70 do 80 dana
Mezofilno	30 do 42 ^oC	30 do 40 dana
Termfilno	43 do 55 ^oC	15 do 20 dana

2. Vlaga

Za mikrobiološki proces nužna je voda (vlaga). Optimalni uvjeti su kod vlage 50 do 60 %. Kod vlage veće od 60%, smanjuje se prodor kisika, snižava se temperatura, proces se usporava, uvjeti se približavaju anaerobnim, razvijaju se neugodni mirisi.

3. Kisik

Kisik je nužan za proces aerobne bio-razgradnje. Ako je sadržaj kisika <10 % (vol.), kompostiranje se prekida. Optimalni uvjeti su kod koncentracije O_2 od 15 do 20% (vol.)

4. Omjer «C/N»

Ugljik (C) je nužan za energiju procesa. Dušik (N) je nužan za hranu mikroorganizama u procesu. Optimalni uvjeti su kod C/N = 30.

5. pH vrijednost

Optimalni uvjeti su kod pH 6 do 8.

6. Biokemijski sastav i struktura

Biokemijski sastav i struktura tvari bitno utječu na proces bio-razgradnje u aerobnim uvjetima. Neke tvari su lakše a neke teže bio-razgradive.

Struktura tvari utječe na kontaktnu površinu na kojoj se zadržavaju mikroorganizmi, te na zadržavanje vlage i kisika. *(Prelec, Z. 2010).*

3.2. Anaerobna razgradnja otpada

Anaerobna razgradnja (digestija) je biokemijski proces u kojem se kompleksni organski spojevi razgrađuju djelovanjem različitih vrsta bakterija u anaerobnim uvjetima (bez prisustva kisika). Kod bioplinskih postrojenja, rezultati procesa su *bioplin* i *digestat.* Bioplin je gorivi plin koji se primarno sastoji od metana i ugljikovog dioksida.

Digestat je procesirani ostatak supstrata, nastao tijekom proizvodnje bioplina. Tijekom proizvodnje bioplina nastaje vrlo malo topline u usporedbi s aerobnim razgradnjom (uz prisutnost kisika) ili kompostiranjem. Energija koja se nalazi kemijskim vezama supstrata oslobađa se u obliku metana.

Proces nastanka bioplina rezultat je niza povezanih procesnih koraka tijekom kojih se inicijalni supstrat razlaže na sve jednostavnije spojeve, sve do nastanka bioplina. U pojedinim fazama proizvodnje bioplina djeluju specifične grupe mikroorganizma.

Četiri faze anaerobne digestije:

1. HIDROLIZA

Hidroliza je prva faza anaerobne digestije tijekom koje se organska tvar razlaže na manje jedinice. Brzina cjelokupnog procesa razgradnje određena je brzinom odvijanja najsporije reakcije u lancu.

2. ACIDOGENEZA

U fazi acidogeneze proizvodi hidrolize se uz pomoć acidogenih bakterija (fermentacije) transformiraju u metanogene spojeve.

3. ACETOGENEZA

Tijekom acetogeneze se proizvodi fermentacije koji se ne mogu metanogenim bakterijama direktno transformirati u metan pretvaraju u metanogene spojeve.

Nastanak vodika povećava parcijalni tlak vodika u digestoru, što se može smatrati otpadnim proizvodom acetogeneze. Procesi acetogeneze i metanogeneze uglavnom se odvijaju paralelno.

4. METANOGENEZA

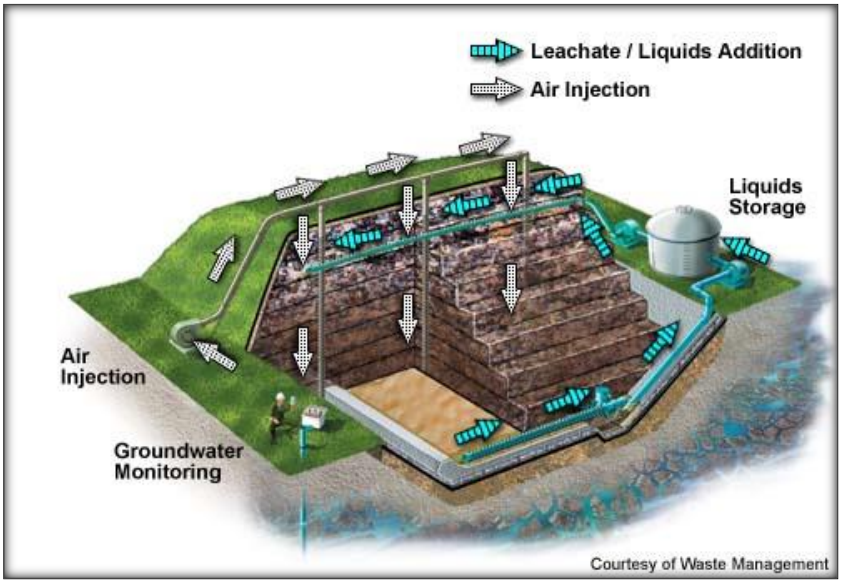
Metanogeneza je ključni korak u cijelom procesu anaerobne razgradnje, jer predstavlja najsporiju biokemijsku reakciju u proizvodnji bioplina. Metanogeneza uvelike ovisi o uvjetima rada, odnosno uvjetima medija. Na uspješnost metanogeneze utječe niz čimbenika kao što su sastav sirovine, stupanj dopune digestora, temperatura i pH vrijednost supstrata.

3.3. Podjela bioreaktorskih odlagališta

Bioreaktorska odlagališta se prema uvjetima u kojima se razgradnja otpada odvija dijele na *(Petrović 2006):*

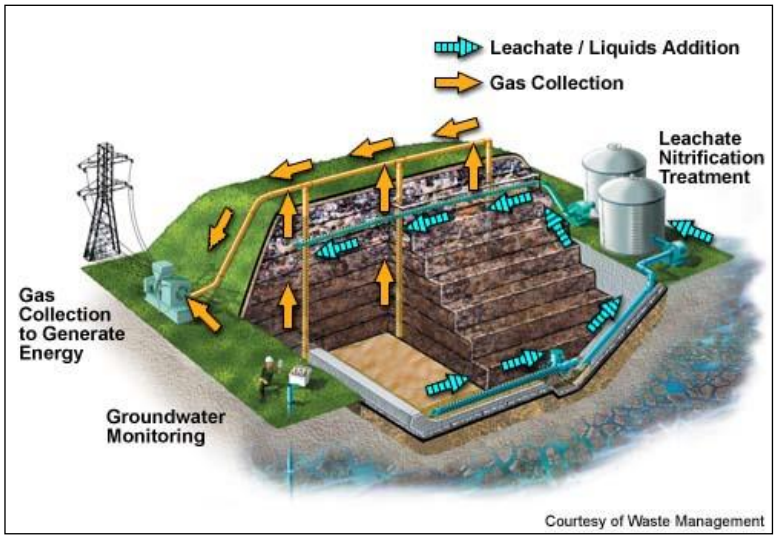
1. **Aerobna bioreaktorska odlagališta** – Iz donjeg sloja odlagališta se procjedna voda prikuplja i dovodi do spremnika za pohranu i pročišćavanje procjedne vode. Zatim se dovodi do gornjeg sloja odlagališta i opet recirkulira u tijelo odlagališta, na kontrolirani način. Istovremeno se i zrak bogat kisikom utiskuje u tijelo odlagališta, pomoću vertikalnih ili horizontalnih zdenaca, u svrhu pojačanja bakterijskih aktivnosti i ubrzanja razgradnje otpada.

Ovi uvjeti odgovaraju uvjetima u procesu kompostiranja. Aerobna razgradnja rezultira stvaranjem ugljičnog dioksida i vode (Slika 4.) *(Repa 2003).*



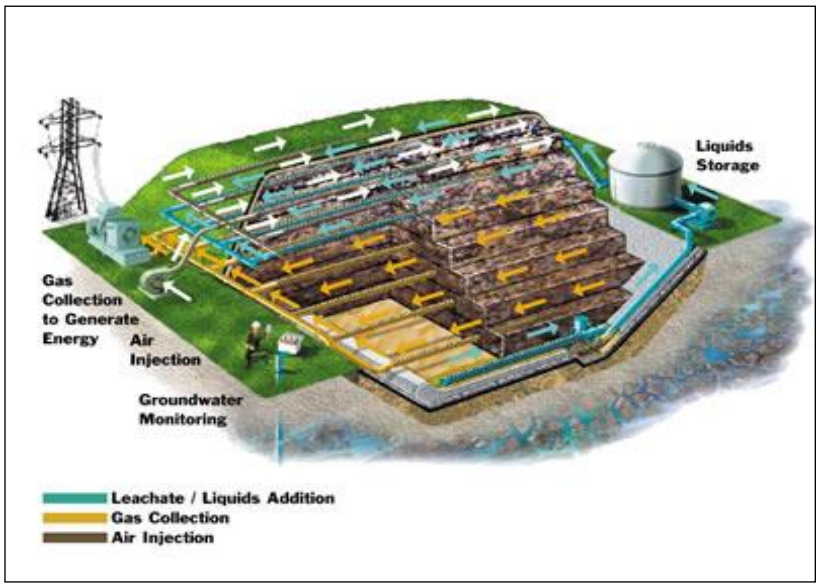
Slika 4. Aerobno bioreaktorsko odlagalište *(Repa 2003)*

2. **Anaerobna bioreaktorska odlagališta** – Kod ove vrste recirkulaciju procjedne vode ne prati utiskivanje zraka, budući da se žele postići anaerobni uvjeti. Biološka razgradnja djelovanjem anaerobnih bakterija odvija se bez prisustva kisika. Stabilizacija otpada od takvog tipa odlagališta odvija se mnogo brže za razliku od konvencionalnih suhih odlagališta. Aerobna razgradnja rezultira stvaranjem metana i ugljičnog dioksida koji omogućuju proizvodnju električne energije (Slika 5.) *(Repa 2003).*



Slika 5. Anaerobno bioreaktorsko odlagalište *(Repa 2003)*

3. **Hibridna (aerobno-anaerobna)** - Biološka razgradnja se najprije odvija u aerobnim, a zatim u anaerobnim uvjetima. Aerobni uvjeti su uglavnom prisutni u svježem otpadu u gornjim slojevima odlagališta, dok se anaerobni uvjeti postižu u donjim dijelovima odlagališta, odnosno u starijem otpadu (Slika 6.) *(Kovačić 2008).*



Slika 6. Hibridno bioreaktorsko odlagalište *(Repa 2003)*

Specifičnosti pojedinog tipa bioreaktorskog odlagališta dane su u tablici 2.

Tablica 2. Karakteristike bioreaktorskih odlagališta prema uvjetima razgradnje

Tip	Način biorazgradnje otpada	Princip funkcioniranja odlagališta
Aerobni	Biorazgradnja potpomognuta zrakom obogaćenim kisikom	Kroz vertikalne i horizontalne bunare injektira se zrak kako bi se pospješila razgradnja otpada aerobnim mikroorganizmima. Nusprodukti su ugljikov(IV) oksid i voda (slika 1)
Anaerobni	Odvijanje biorazgradnje bez prisustva zraka, tj. kisika	Anaerobni mikroorganizmi pospješuju razgradnju otpada. Nusprodukti su metan i ugljikov(IV) oksid (slika 2)
Hibridni	Najprije biorazgradnja u aerobnim uvjetima, a zatim u anaerobnim	Aerobna razgradnja se prvenstveno odvija u svježem otpadu dok se anaerobna faza odvija u dubljim slojevima tijela odlagališta, odnosno u starijem otpadu.

Da bi odlagalište funkcioniralo kao bioreaktor potrebno je ispuniti dva osnovna uvjeta:

1. vlažnost otpada mora biti bliska zemljišnom kapacitetu
2. pH vrijednost se mora održavati na približno 7 (neutralno).

„Zemljišni kapacitet“ definiran je kao rezidualna volumetrijska vlažnost otpada ostvarena nakon dužeg perioda dreniranja uslijed gravitacije. Kada otpad ima vlažnost blisku „zemljišnom kapacitetu“ razgradnja otpada odvija se u optimalnim uvjetima. Drugim riječima, zemljišni kapacitet je ciljana volumetrijska vlažnost otpada za postizanje optimalne razgradnje. Ovo je također vrlo bitan parametar pri definiranju režima recirkulacije filtrata na odlagalištu.

„Zemljišni kapacitet“ funkcija je raspada otpada, starosti, gustoće, poroziteta, geostatskog pritiska te zbijenosti otpada. Vrijednost „zemljišnog kapaciteta“ za otpad kreće se u granicama od 34 do 65%. Kisele i lužnate sredine znatno utječu na količinu proizvedenog metana u anaerobnim uvjetima.

Optimalni pH raspon za većinu anaerobnih bakterija kreće se u granicama od 6,7 do 7,5. Unutar optimalnog raspona mikroorganizmi koji proizvode metan rastu velikom brzinom čime je proizvodnja metana maksimalizirana. Na ovaj način biostabilizacija otpada postiže se nakon 5 godina, odnosno za velika odlagališta otpada taj period se kreće u rasponu od 10 do 20 godina *(Petrović 2006)*.

3.4. Osnovni dijelovi bioreaktorskog odlagališta

1. Temeljni brtveni sloj

Priprema terena za postavljanje ovog sloja sastoji se od čišćenja i poravnavanja terena. Na tako pripremljen teren postavlja se donji brtveni sloj koji se sastoji od:

- Izravnavajući sloj (u slučaju potrebe)
- Brtveni sloj gline 1 m, $k=10^{-9}$ m/s
- HDPE (High Densitiy Polyethylene) folija debljine 2,5 mm
- Zaštitni geotekstil
- Drenažni sloj za procjedne vode debljine 50 cm
- Filtarsko sloj od jednolikog pijeska, debljine 25 cm

2. Sustav odvodnje procjednih voda

Plohe bioreaktorskog odlagališta izvode se sa poprečnim i uzdužnim nagibom (3%). Drenažni sloj od šljunka unutar temeljnog brtvenog sloja, ima potrebna hidraulička svojstva za kvalitetnu odvodnju. U taj sloj postavlja se perforirana HDPE cijev promjera 315 mm.

Obzirom da su plohe razgraničene unutarnjim razdjelnim nasipom, vode se odvode sa svake plohe zasebno. Oko cijelog odlagališta izgrađuje se vanjski obodni nasip. Procjedna voda odvodi se do bazena za prikupljanje procjednih voda.

3. Sustav odvodnje oborinskih voda

Odvodnja oborinskih voda izvodi se sustavom vodonepropusnih betonskih obodnih kanala koji se nalaze oko tijela odlagališta. Oborinska voda odvodi se iz kanala do spremnika za prikupljanje oborinskih voda, odakle se ispušta u kanal, ili koristi za različite potrebe Centra.

4. Sustav otplinjavanja

Sustav za otplinjavanje bioreaktorskih odlagališnih ploha čine vertikalni plinski bunari s cjevovodima koji su spojeni na postrojenje za iskorištavanje bioplina. Na vrhu bunara se postavljaju plinske glave za trajno otplinjavanje koje se povezuju spojnim plinovodom do postrojenja za iskorištavanje plina.

5. Sustav za dovod vode

Sustav za dovod vode u bioreaktorsko odlagalište sastoji se od dovodnog cjevovoda s horizontalnim i vertikalnim drenažnim cijevima. Horizontalne drenažne cijevi postavljaju se paralelno u sekcijama s odlaganjem biološki obrađene frakcije.

6. Pokrovni brtveni sloj

Nakon popunjavanja predviđenih gabarita jedne plohe bioreaktorskog odlagališta (modula), slijedi zatvaranje modula privremenim i trajnim pokrovnim brtvenim sustavom koji se sastoji od:

- Izravnavajućeg sloja prekrivnog materijala
- Drenažnog sloja za plinove debljine min 30 cm
- Brtveni sloj gline 0,5 m, $k=10^{-9}$ m/s
- Geomreža
- Drenažnog sloja za vanjske oborinske vode debljine min 50 cm

- Rekultivirajućeg završnog sloja debljine min 100 cm
- Ozelenjavanje (trava + nisko raslinje).

3.5. Faze rada bioreaktorskog odlagališta

1. Faza punjenja ćelije bioreaktora

Punjenje ćelije (jedan od sektora bioreaktora) traje cca. 5 godina i za to vrijeme postavljaju se unutarnje mreže za kaptiranje (hvatanje) bioplina i cirkulaciju vode. Ćelija se zatvara usporedno s punjenjem i završava postavljanjem polietilenske folije visoke čvrstoće

2. Faza početka procesa

Masa odloženog bioprosušenog otpada aktivira se pomoću tehnološke vode tako da se dobije vlažnost barem 45%, koliko je potrebno da se započne biološki anaerobni fermentacijski proces uz optimalne kinetičke parametre.

3. Faza kaptiranja bioplina

U svakoj ćeliji proizvede se bioplin koji se hvata pomoću mreža za kaptažu i šalje na sagorijevanje u motore koji proizvode električnu energiju. U ovoj fazi dolazi do smanjenja ukupne količine prisutnih organskih tvari, što se očituje u smanjenju mase bioreaktorskog odlagališta. Predviđa se postupan gubitak mase od ukupno 30%.

U svrhu potpunog eliminiranja organskih ostataka i konačnog stabiliziranja odlagališta, provodi se aeracija dijela bioreaktorskog odlagališta na kojem je iscrpljen bioplin. Tim egzotermnim procesom omogućava se i dodatno uklanjanje vode koja se koristila prilikom proizvodnje bioplina, čime se procjenjuje dodatno smanjenje mase za daljnjih 2%.

3.6. Prednosti i nedostaci bioreaktorskih odlagališta u odnosu na konvencionalna odlagališta

Za razliku od klasičnih (suhih) odlagališta, u bioreaktorskim odlagalištima se održavanjem optimalne vlažnosti otpada poboljšava mikrobiološka razgradnja organskog otpada. Ovakvim pristupom postiže se ubrzana razgradnja organskog otpada.

To znači da se u slučaju biorektorskog odlagališta vremensko trajanje spomenutih procesa može mjeriti u godinama, umjesto u desetljećima, kao što je slučaj kod konvencionalnih odlagališta.

Također, bioreaktorska odlagališta se smatraju manje toksičnim, a potrebna su i manja financijska ulaganja za obradu procjedne vode, u odnosu na konvencionalna odlagališta. Naime, samom recirkulacijom otpadne vode postiže se ušteda.

Osim toga, dovođenje dodatne kapljevine (neopasni kapljeviti otpad) s neke druge lokacije, također indirektno pridonosi smanjenju troškova drugog onečišćivača. Nakon zatvaranja bioreaktorskih odlagališta gotovo da i nije potrebno dugoročno održavanje, niti praćenje emisija u okoliš, kao što je slučaj kod uobičajenih sanitarnih odlagališta, čime ovi troškovi postaju doista minimalni *(Anić Vučinić i sur. 2012).*

Također, velika prednost bioreaktorskih odlagališta je potpuno energetsko iskorištenje otpada i značajno smanjenje potrebnih površina za konačno odlaganje. U usporedbi s običnim ("suhim") odlagalištem, bioreaktor može stvarati plin ranije i u većoj količini. Osim toga proces stvaranja odlagališnog plina traje kraće zbog toga što se njegovo nastajanje tijekom vremena smanjuje budući da se ubrzanim postupkom razgradnje smanjuje količina otpada. Uz to, u biorektoru se stvara više odlagališnog plina za vrijeme aktivnog rada odlagališta nego u slučaju običnog odlagališta. Pored toga, stvaranje odlagališnog plina omogućava ostvarivanje dobiti od aktivnog otplinjavanja u ranijoj fazi korištenja odlagališta.

Što se tiče mogućih nedostataka bioreaktorskih odlagališta, u odnosu na ona konvencionalna, za uspostavu bioreaktorskog sustava potrebno je osigurati: održavanje optimalne temperature potrebne za rast mikoorganizama, stabilnost pokosa i kemijsku kompatibilnost brtvenih slojeva što iziskuje veća početna ulaganja.

Djelatnici zaposleni na bioreaktorskom odlagalištu trebaju biti posebno osposobljeni budući da su za vrijeme aktivnog rada odlagališta neophodne dodatne kontrole praćenja stanja i u skladu s tim eventualne korekcije tehnološkog postupka.

Zbog brzog procesa razgradnje organske tvari smanjuje se masa odlagališta te dolazi do slijeganja tijela odlagališta od 20-40%. Već u prvih 10-ak dana nakon odlaganja dolazi do 10% slijeganja. Brzina i postotak slijeganja uvelike ovisi o sastavu otpada. Ove parametre potrebno je uzeti u obzir pri projektiranju tijela odlagališta.

U literaturi nije eksplicitno definiran niti preporučen način projektiranja unutarnje infrastrukture s ciljem osiguravanja stabilnosti tijela odlagališta kao i cjelovitosti infrastrukture (vertikalna i horizontalna drenaža) već je za svaku vrstu otpada koja se odlaže ove parametre poželjno odrediti zasebno *(Anić Vučinić i sur. 2012).*

4. SASTAV I KOMPONENTE OTPADA U BIOREAKTORSKOM ODLAGALIŠTU

Ulazna komponenta otpada koji će se odlagati na bioreaktorsko odlagalište predstavlja osnovu za dimenzioniranje sustava (Slika 7.). Neophodno je dobro analizirati i kvalitetno definirati količine otpada i sastav otpada s čime su povezane sve buduće aktivnosti na odlagalištu *(Herenda i Tomašić 2010).*



Slika 7. Sastav otpada u bioreaktorskom odlagalištu

U posljednjih tridesetak godina provedena su brojna istraživanja u svrhu utvrđivanja ključnih parametara koji utječu na stabilizaciju odlagališta. Iz tablice 3 vidljivo je da na razgradnju otpada odnosno stabilizaciju odlagališta najviše utječu: vlaga, pH, temperatura i prisustvo hranjivih tvari. Sadržaj vode/vlaga i pH su ipak najznačajniji parametri.

U praksi se konstantnom recirkulacijom procjednih voda postiže ujednačena temperatura kroz tijelo odlagališta u rasponu od 20-30 ºC.

Dosadašnja istraživanja su pokazala da teški metali i neki organski spojevi (klorirani ugljikovodici) samo ako su prisutni u visokim koncentracijama mogu donekle usporiti biološke procese.

Budući da te tvari nisu prisutne u komunalnom otpadu, utjecaj tog parametra se može potpuno zanemariti *(Anić Vučinić i sur. 2012).*

Tablica 3. Parametri razgradnje otpada u bioreaktorskom odlagalištu *(Anić Vučinić i sur. 2012.)*

Parametri	**Optimalno područje**
Vlaga	55 – 75%
pH	6,5 – 7,5
Temperatura	32 – 38 ºC
Gustoća	800 – 1000 kg/m^3
Hranjiva tvar	Uglavnom zadovoljavajuća osim na pojedinim mjestima gdje je nedostatna zbog heterogenosti
Inhibitori	Koncentracija kationa koja uzrokuje umjerenu/ozbiljnu inhibiciju (mg/dm^3)
	Natrij 3500 – 5500
	Kalij 2500 – 4500
	Kalcij 2500 – 4500
	Magnezij 1500 – 3000
	Amonij (ukupni) 1500 – 3000
	Teški metali: nemaju značajan utjecaj Organske tvari: inhibitorni učinak samo ako su prisutne u većim koncentracijama

Na navedene ključne parametre procesa stabilizacije otpada može se utjecati primjenom tehnika koje poboljšavaju odvijanje bioloških procesa u otpadu. To su tzv. tehnike poboljšavanja.

Najčešće korištena tehnika poboljšavanja kojom se povećava sadržaj vlage, redistribuiraju mikroorganizmi i hranjive tvari u otpadu zbog lokalnog razrjeđenja visokih koncentracija inhibitornih tvari je dodavanje i recirkulacija kapljevine.

Ostale tehnike poboljšavanja koje se koriste u manjoj mjeri su usitnjavanje otpada, selekcija/kontrola otpada, dodavanje pufera i mulja. Kako bi usitnjavanje otpada bilo učinkovito treba ga kombinirati s drugim tehnikama poboljšavanja stabilizacije otpada kao što je npr. recirkulacija kapljevine. Nadalje, usitnjavanje otpada je intenzivna i skupa tehnika. Dodavanjem pufera u svrhu održavanja neutralnog pH medija je važno zbog toga što niže pH vrijednosti mogu zaustaviti aktivnost metanogenih mikroorganizama. Dodatak materijala kao što je sirovi kanalizacijski mulj ili pak mulj nastao na postrojenju za obradu otpadnih voda osigurava dodatnu vlažnost otpada, mikroorganizama i hranjivih tvari a istovremeno djeluje kao pufer koji održava neutralnu pH vrijednost sustava. Vrlo malo se zna o učinku različitih vrsta muljeva kao što je septički mulj ili otpad iz klaonica na proces stabilizacije otpada. Kako bilo, praktična primjena ovih materijala ovisi o zakonskoj regulativi. Sve navedene tehnike imaju pozitivan učinak na proces stabilizacije otpada. Sve njih treba kombinirati s recirkulacijom kapljevine kako bi bile učinkovite.

Visoki pH sustava može zaustaviti metabolizam metanogenih bakterija i nastanak bioplina. Istraživanja su pokazala da recirkulacija pri većim brzinama protoka poboljšava proces stabilizacije otpada. Naime, kroz dulje vremensko razdoblje postoji rizik akumulacije mikroorganizama i hranjivih tvari u pojedinim područjima tj. na dnu tijela odlagališta što dovodi do neujednačenosti uvjeta potrebnih za rad mikroorganizama te njihovog odumiranja u cijelom sustavu. Recirkulacija procjedne vode različite starosti ima pozitivan učinak na proces razgradnje otpada. Dodavanje starije procjedne vode u svježi otpad dovodi vrlo brzo do stvaranja metanogenih uvjeta.

Drugi faktor koji utječe na homogenu raspodjelu procjedne vode su preferencijalni putevi tečenja u kojima kapljevina pokušava slijediti odgovarajuće kanale pri čemu zaostaju pojedina suha područja unutar mase otpada, što smanjuje ukupnu brzinu stabilizacije otpada.

Modifikacija hidrauličkih svojstava otpada npr. miješanjem s različitim materijalima može poboljšati homogenu raspodjelu kapljevine, međutim u većem mjerilu taj je pristup zbog tehničkih i ekonomskih zahtjeva neopravdan.

Odabir pogodne metode uvođenja procjedne vode u sustav odlagališta, koja osigurava konstantnu i homogenu raspodjelu procjedne vode je ključan parametar za uspješnu primjenu tehniku poboljšavanja u svrhu postizanja stabilnog otpadnog ostatka, tzv. konačne kvalitete odlaganja (Final Sorage Quality – FSQ).

Smatra se da je otpadni ostatak na odlagalištu postigao konačnu kvalitetu odlaganja onda kad su svojstva ostatka slična onima od okoliša u kojem se nalaze (npr. materijal sličan kamenu) ili kad je taj materijal postao čvrst, nereaktivan i prisutan u oksidirajućem obliku te je slabo topljiv u vodi. To znači da takvo odlagalište dugoročno neće zahtijevati održavanje i praćenje kao što je obično potrebno kod uobičajenih sanitarnih odlagališta.

Niti jedno zakonodavstvo, niti zakonski akt, uključujući tu i Direktivu o odlagalištima ne definira eksplicitno kriterije koji su karakteristični za končanu kvalitetu odlaganja, kao niti vremensko razdoblje u kojem treba postići te kriterije. Unatoč tome, neki znanstvenici su pokušali definirati kriterije (Tablica 4.) konačne kvalitete odlaganja ostatnog otpada koji omogućavaju sigurno zatvaranje odlagališta *(Anić Vučinić i sur. 2012).*

Tablica 4. Predložene karakteristike stabiliziranog otpada za sigurno zatvaranje odlagališta *(Anić Vučinić i sur.2012)*

PARAMETAR	**OPSEG**
Potencijal biološke proizvodnje metana	0,05 – 0,15 m^3 ch_4 t^{-1} otpada
Udio hlapljivih tvari	18 – 19 % suhog otpada
Biloška potrošnja kisika/Kemijska potrošnja kisika	0,1 – 0,25
SO_4^{2-}/cl^-	< 0,05
Celuloza/lignin	0,1 – 0,2
Fizičke karakteristike	Mulj tamne boje

5. IZRAČUN BILANCE VLAGE U BIOREAKTORSKOM ODLAGALIŠTU OTPADA

Svrha izračuna bilance mase je procjena sadržaj vlage u masi otpada na bioreaktorskom odlagalištu otpada. Prosječan sadržaj vlage u otpadu u području u kojem je dodana tekućina mora biti najmanje 40% (težinski) za odlagalište ili dio odlagališta koji se smatra bioreaktorskim. Ovdje su predstavljeni primjeri izračuna bilance mase temeljene na masi vlažnog otpada. Mogu se izvesti i kompleksniji izračuni bilance masa koristeći modele koji uzimaju u obzir dodatne faktore kao što su površinska otjecanja, vrsta pokrova odlagališta kojom se reducira količina oborina koja ulazi u otpadnu masu, te mehanizme gubitka vode kao što je evapotranspiracija.

U ovom radu prikazana su dva primjera izračuna bilance masa, jednostavnija (A) i kompleksnija (B) metoda. Međutim, voditelji odlagališta mogu koristiti i druge metode za izračun i karakterizaciju njihovog odlagališta. Mnoga odlagališta možda već imaju izvedene izračune vlage, a oni se mogu korisititi uz pretpostavku da je postupak prikladno dokumentiran i reprezentativan trenutnim uvjetima na odlagalištu *(Amy, A. et al. 2003).*

Druga moguća metoda za uspostavu bioreaktora uključuje uzorkovanje vlažnog sadržaja na više lokacija unutar samog bioreaktora, te vođenje statističkih izračuna da bi se odredio prosječni postotak vlage. Međutim, pokazalo se da je u većini slučajeva, metoda bilance masa je adekvatna za utvrđivanje sadržaja vlage.

Treća metoda je hidrološka procjena performansi odlagališta (HELP - The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance). To je napredniji model koji se može koristiti kao alternativa metodi bilance vode. Međutim, HELP model je baziran na volumetrijskom udjelu vlage u otpadu.

5.1. Metoda bilance vode

Metoda bilance vode predstavlja primjer izračuna koji se koristiti za modeliranje bilance vlage unutar bioreaktorskog odlagališta. Postupak samog izračuna relativno je jednostavan. Ova metoda je izvorno bila namjenjena za utvrđivanje evapotranspiracije iz tla, a nakon toga je prilagođena za uvjete na odlagalištu. Metoda uključuje jednostavniji postupak (A) i složeniji postupak (B).

Postupak A je pojednostavljena jednadžba koja uključuje samo faktore koji najznačajnije utječu na prosječni sadržaj vlage u otpadnoj masi. Pojednostavljena jednadžba uzima za pretpostavku da sve oborine koje padaju direktno na površinu odlagališta doprinose vlažnosti otpadne mase.

Primarni faktori koji se posebno uzimaju u obzir u pojednostavljenoj jednadžbi su:

- Vlaga zaprimljenog otpada,
- Oborine (samo one oborine koje padaju direktno na površinu odlagališta; uz pretpostavku da se sva površinska otjecanja s okolnih područja odstranjuju oko površine odlagališta),
- Dodavanje tekućine (recirkulacijom procjednih voda itd.),
- Nastanak procjednih voda.

Ukoliko je voditelj odlagališta zadovoljan rezultatima jednadžbe po metodi A, tada nisu potrebni daljnji izračuni. Međutim, ako je potrebna daljnja analiza, tada voditelji odlagališta mogu nastaviti s metodom B koja uključuje više parametara.

Ovaj složeniji postupak uzima u obzir sva četiri čimbenika uključenih u postupak A kao i dodatna četiri elementa:

- Vlaga zadržana na površini odlagališta ili pokrovnog materijala,
- Površinsko otjecanje,
- Površinsko isparavanje,
- Evapotranspiracija *(Amy, A. et al. 2003).*

Detaljan opis svakog koraka objašnjen je u odjeljcima 5.1.1 i 5.1.2. Koraci su objašnjeni na primjeru čije vrijednosti su prikazane na priloženim prilozima te u tablicama tijekom tumačenja koraka.

Vrijednosti su preuzete iz članka *Amy, A. et al. (2003) Example Moisture Mass Balance Calculations for Bioreactor Landfills,* te su kao takve izračene u anglosaksonskim mjerama, a u tablici 5 je prikazana konverzija anglosaksonskih mjerenih jedinica u SI mjerni sustav.

5.1.1. Metoda A: Pojednostavljena jednadžba

Sadržaj vlage u masi otpada na bioreaktorskom odlagalištu može se procijeniti pomoću sljedeće pojednostavljene jednadžbe:

$$PMC = \frac{(L_0 \cdot M) + P + LA - LCH}{M} \cdot 100 \quad (1)$$

Gdje je:

PMC: Procijenjeni sadržaj vlage u masi otpada (%-tni udio vlage na temelju mase vlažnog otpada)

L_0: Vlažnost ulazne mase otpada (kg vode po kg-u ukupne zaprimljene mase otpada)

M: Ukupna masa otpada u bioreaktorskoj ćeliji zaprimljena kao osnova (kg ukupne zaprimljene mase otpada)

P: Ukupna količina oborina (kg ukupnih oborina)

LA: Ukupna količina tekućina dodanih masi otpada, uključujući i recirkulirajuće procjedne vode (kg ukupne tekućine)

LCH: Ukupna količina sakupljene procjedne vode (kg ukupne procjedne vode)

Kad se koristi metoda A, upravitelj odlagališta mora voditi evidenciju podataka i pretpostavki koje se koriste da bi se odredile vrijednosti L_0, M, P, LA i LCH za bioreaktorsko odlagalište.

L_0: Prema (*Tchobanoglous i sur 1993*) većina MSW odlagališta u SAD-u ima udio vlage od 15 do 40 %, uobičajeno 25 %. Udio vlage kod MSW odlagališta primarno ovisi o sastavu otpada, godišnjem dobu, vlazi i vremenskim uvjetima okoline. Ovdje treba naglasiti da se ove vrijednosti odnosne na neobrađeni komunalni otpad te da bi u bioreaktorskom „MBO“ odlagalištu ova vrijednost mogla biti znatno viša.

Npr., udio vlage 100 kg zaprimljenog vlažnog otpada može se procijeniti kao:

[(100 kg – d)/100 kg]

Gdje je d ukupna suha masa komponenti krutog otpada u kilogramima unutar 100 kg vlažnog zaprimljenog otpada.

M: Da bi se izračunala ukupna masa otpada, potrebni su ulazni podaci o zaprimljenim količinama otpada

P: Ukupna količina oborinskih voda u inčima može se procijeniti iz mjerenja oborina na odlagalištu ili iz podataka obližnjih metereoloških stanica. Pretvaranje količine oborina iz inča u kilograme vlage vrši se pomoću sljedeće jednadžbe:

Ukupna količina oborina (P) = (ukupna količina oborina u inčima)*(1 ft/12 in)*(ft^2 površina bioreaktorskog odlagališta)*(1 gal/0.134 ft^3)*(3.78 kg/gal vode)

LA: Ukupna količina dodane tekućine može se procijeniti trenutnim mjerenjima na biorektorskom odlagalištu koja se provode za operativne svrhe i svrhe projektiranja. Npr., ako se kod zatvorenog tipa bioreaktora s horizontalnim jarcima koristi mjerač protoka za mjerenje količine procjednih voda, tada se zapisi mjerača protoka mogu iskoristiti za procjenu ukupne količine dodane tekućine (npr., konvertiranje mjesečnog protoka u kilograme procjedne tekućine na mjesec te zbrajanje mjesečnih očitanja da bi se dobila ukupna količina dodane tekućine).

Metode dodavanja tekućine razlikuju se od jednog do drugog biorekatorskog odlagališta, a prema tome i metode mjerenja. Preporuča se da svaki upravitelj vrši izračun prema metodi koja je najprikladnija za njegovo odlagalište.

LCH: Slično kao i dodavanje tekućine, ukupna količina proizvedenih procjednih voda može se procijeniti koristeći evidenciju zapisa sakupljenih procjenih voda. Npr., ako bioreaktorsko odlagalište koristi mjerač protoka za mjerenje količine procjedne vode proizvedene ili sakupljene, tada se zapisi mjerača mogu upotrijebiti da se procijeni ukupna količina generirane procjedne vode (npr., konvertiranje ukupnog mjesečnog protoka u kilograme procjedne tekućine na mjesec te zbrajanje mjesečnih očitanja da bi se dobila ukupna količina procjedne tekućine).

Vrijednost za procjednu vodu u jednadžbi 1 uključuje procjenu vodu koja cirkulira kao i bilo koji suvišak koji se može tretirati ili odložiti na bilo koji drugi način.
Preporuča se da svaki upravitelj vrši izračun ukupnih procjednih voda prema metodi koja je najprikladnija za njegov sustav odvodnje procjednih voda *(Amy, A. et al. 2003).*

5.1.2. Metoda B: Složeniji izračun

Za izračun po postupku B metode bilance vode potrebni su sljedeći ulazni parametri:

- Prosječne mjesečne temperature u stupnjevima Fahrenheitovim (ºF),
- Geografska širina područja,
- Prosječna mjesečna količina oborina u inčima,
- Površinski uvjeti odlagališta
- Vrsta tla i vegetacije završnog pokrovnog sloja (ako ga ima)

Koraci za izračun vlažnosti otpada prema naprednoj metodi bilance vode (Metoda B):

Koraci 1-5: Određivanje potencijala za evapotranspiraciju

1. Prikupljanje podataka za prosječnu mjesečnu temperaturu *(T)* u stupnjevima Fahrenheitovim *(ºF)* u području oko bioreaktorskog odlagališta.

2. Koristeći mjesečne temperature, odrediti mjesečni indeks topline *(h)* za svaki mjesec. Za mjesece gdje je temperatura manja od 32 ºF, *h* postaviti na nulu. Na kraju, sumirati mjesečne indekse topline da bi se dobio godišnji indeks topline *(H)* (Prilog 1).

3. Uz pomoć podataka o mjesečnim temperaturama i godišnjem indeksu topline (H), naći neprilagođeni potencijal evapotranspiracije (I) (UPET - Unadjusted Potential Evapotranspiration*)* za svaki mjesec (Prilog 2).

4. Korištenjem geografske širine mjesta gdje se nalazi bioreaktorsko odlagalište otpada potrebno je naći mjesečni korekcijski faktor trajanja sunčeve svjetlosti *(r)* (Prilog 3).

5. Pomnožiti mjesečni *UPET* s mjesečnim *r*-om da bi se utvrdio prilagođeni potencijal evapotranspiracije (APET - Adjusted Potential Evapotranspiration) za svaki mjesec.

Koraci 6-9: Određivanje količine oborina koje su se infiltrirale u bioreaktorsko odlagalište

6. Utvrditi prosječnu mjesečnu količinu oborina *(P)* u inčima vode za bioreaktorsko odlagalište za svaki mjesec.

7. Utvrditi odgovarajući koeficijent otjecanja *(C_{ro})* da bi se izračunalo površinsko otjecanje za svaki mjesec (Tablica 5).

Tablica 5. Prikaz koeficijenta otjecanja

POVRŠINSKI UVJETI	KOEFICIJENT OTJECANJA
PJESKOVITO TLO, RAVNO, 2%	0,05 – 0,10
PJESKOVITO TLO, PROSJEČNO STRMO, 2 – 7%	0,10 – 0,15
PJESKOVITO TLO, STRMO, 7%	0,15 – 0,20
TVRDO TLO, RAVNO, 2%	0,13 – 0,17
TVRDO TLO, PROSJEČNO STRMO, 2 – 7%	0,18 – 0,22
TVRDO TLO, STRMO, 7%	0,25 – 0,35

8. Pomnožiti prosječnu mjesečnu količinu oborina (P) s koeficijentom otjecanja (Cro) da bi se dobilo otjecanje *(RO)* za svaki mjesec u inčima vode.

9. Oduzeti mjesečni *P* od mjesečnog *RO* da bi se dobila mjesečna infiltracija *(I)* u inčima vode.

Koraci 10-13: Izračun skladištenja vlage u pokrovnom materijalu odlagališta

10. Oduzeti mjesečni *I* od mjesečnog *PET* da bi se odredila vlaga koja je raspoloživa za skladištenje na površini odlagališta *(I – PET)* u inčima vode.

11. Za mjesece s negativnom *(I – PET)* vrijednosti treba dodati *(I – PET)* vrijednost prethodnog mjeseca tekućem mjesecu da bi se izračunao kumulativni gubitak vode *(ACCWL)*.

Sumiranje započeti sa nula akumuliranog gubitka vode za posljednji mjesec s pozitivnom *(I – PET)* vrijednosti.

12. Odrediti mjesečnu pohranu vlage u tlo *(ST)* u inčima vode za površinu odlagališta slijedeći korake navedene ispod:

a. Odrediti početni *ST* za određeni tip i dubinu tla (Prilog 4).

b. Dodijeliti početnu vrijednost *ST* mjesecima koji imaju pozitivnu *(I – PET)* vrijednost prije mjeseci koji imaju negativnu *(I – PET)* vrijednost.

c. Odrediti *ST* za svaki naredni mjesec koji ima negativnu *(I – PET)* vrijednost. Korisiti mjesečne vrijednosti *ACCWL* da bi dobili ST (Prilog 5).

d. Za mjesece koji slijede i imaju *(I – PET)* vrijednost veću ili jednaku 0, treba dodati *(I – PET)* vrijednost *ST* vrijednosti za prethodni mjesec. Treba paziti da se ne prijeđe vrijednost kapaciteta tla (npr. udio vode u tlu na temelju suhe težie tla). Unijeti kapacitet tla za mjesečni iznos skladištenja vlage ako zbroj ne prelazi iznos vrijednosti za kapacitet tla *ST*.

13. Izračunati promjenu *ST-a (ΔST)* za svaki mjesec u inčima vode tako da se oduzme *ST* vrijednost za protekli mjesec od *ST* vrijednosti tekućeg mjeseca.

Koraci 14 – 16: Izračun stvarne evapotranspiracije i procjeđivanja u otpadnu masu bioreaktorskog odlagališta

14. Izračunati stvarnu evapotranspiraciju (AET) slijedeći korake navedene u nastavku:

a. Za (vlažne) mjesece kada je *(I – PET)* vrijednost veća ili jednaka 0, *AET* vrijednost jednaka je *PET* vrijednosti.

b. Za (suhe) mjesece kada je *(I – PET)* vrijednost manja od 0, tj.negativna, za izračun *AET-a* treba koristiti sljedeću jednadžbu:

$$AET = PET + ((I - PET) -)\Delta ST).$$

Ova jednadžba pokazuje da je iznos evapotranspiracije jednak iznosu potencijalne evapotranspiracije plus višak od infiltracije koji bi se inače pridodao skladištenju vlage u tlo, plus prethodno pohranjena vlaga u tlo.

15. Izračunati mjesečno procjeđivanje (PERC) kao što slijedi:

a. Za (vlažne) mjesece kada je *(I – PET)* vrijednost veća ili jednaka 0, koristiti sljedeću jednadžbu:

$$PERC = ((I - PET) -)\Delta ST)$$

b. Za (suhe) mjesece kada je *(I – PET)* vrijednost manja od 0, tj.negativna, *PERC* je jednak 0.

16. Kao provjeru za korake 7 – 15, izračunati mjesečnu količinu oborina *(P)* u inčima vode kako bi bili sigurni da se poklapa sa iznosom izračunatim u koraku 6. Izračunati prema sljedećoj jednadžbi:

$$P = PERC + AET + \Delta ST + RO$$

Korak 17: Procjena sadržaja vlage u masi otpada bioreaktorskog odlagališta

Pretvoriti *PERC* iz inča u kilograme vode po kilogramu otpada (npr. [PERC (in) * (1 ft/12 in) * (ft^2 površina bioreaktorskog odlagališta) * (1 gal/0.134 ft^3) * (3.78 kg/gal vode)] / (ukupna masa otpada u bioreaktorskog odlagalištu u kg)).

Zatim, procijeniti potencijal sadržaja vlage u masi otpada, na temelju mjesečne mase vlažnog otpada, pomoću sljedeće jednadžbe:

$$PMC = L_o + PERC + LA - LCH \qquad (2)$$

Gdje je:

PMC: Procjenjeni potencijal sadržaja vlage u masi otpada (kg vlage/kg otpada).

L_0: Prosječna količina vlage u početnoj količini otpada pridodana svakom mjesecu (kg vlage/kg otpada).

PERC: Mjesečno procjeđivanje (kg vlage/kg otpada).

LA: Količina tekućina koje se dodaju otpadu svakog mjeseca, uključujući i recirkuliranje procjedne vode (kg tekućine/kg otpada)

LCH: Količina nastale procjedne vode svakog mjeseca (kg procjedne vode/kg otpada)

L_0, LA i LCH treba odrediti slično proceduri u Metodi A. Razlika jednadžbe 1 i 2 je ta da L_0, LA i LCH mjesečne vrijednosti po kg otpada u jednadžbi 2, nisu ukupne vrijednosti. *(Amy, A. et al. 2003).*

Primjer izračuna prema metodi B za grad Varaždin

	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Temperatura (°F)	31,1	34,7	42,26	51,26	59,72	66,02	68,9	67,28	59,9	50,72	41,9	31,1
Temperatura (°C)	-0,5	1,5	5,7	10,7	15,4	18,9	20,5	19,6	15,5	10,4	5,5	-0,5
Indeks topline (H)	0	0,11	1,23	3,18	5,28	7,78	8,19	7,82	5,40	3,08	1,10	0
UPET (in)	0	0,01	0,03	0,06	0,09	0,12	0,13	0,13	0,09	0,06	0,03	0
r	23,7	24,0	30,6	33,9	38,7	39,0	39,6	36,3	31,2	28,2	23,7	22,2
22.PET (in)	0	0,24	0,92	2,03	3,48	4,68	5,15	4,72	2,81	1,69	0,71	0
P	1,91	1,86	1,91	2,32	3,07	3,5	2,98	3,1	3,09	2,5	3,16	2,43
CRO	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
RO (in)	0,28	0,27	0,28	0,35	0,46	0,53	0,45	0,46	0,46	0,37	0,47	0,36
Infiltracija (I)	1,63	1,59	1,63	1,97	2,61	2,97	2,63	2,64	2,63	2,13	2,69	2,07
I – PET (in)	1,63	1,35	0,71	-0,06	-0,87	-1,71	-2,62	-2,08	-0,18	0,44	1,98	2,07
ACCWL				-0,06	-0,93	-2,64	-5,26	-7,34	-7,52			
Kapacitet vlažnosti tla (in)	4,0											
ST(in)	4,0	4,0	4,0	1,97	2,55	2,04	1,1	0,6	0,5	0,5	0,49	4,0
ΔST (in)	0	0	-2,03	0,58	-0,51	-0,94	-0,5	-0,1	0	-0,01	3,51	0
AET (in)	0	0,24	0,92	1,39	3,12	3,91	3,03	2,74	2,63	1,69	0,71	0
PERC (in)	1,63	1,35	2,74	0	0	0	0	0	0	0,45	-0,7	1,98

6. ZAKLJUČAK

U razvijenom svijetu bioreaktorska odlagališta svakako ne predstavljaju novi koncept. Istraživanja vezana uz bioreaktorska odlagališta počela su još 60-ih godina prošlog stoljeća. Ipak, tek u posljednjem desetljeću pristupilo se istraživanjima s ciljem kreiranja standarda i preporuka za projektiranje bioreaktorskih odlagališta.

Na osnovu prethodnih iskustava i rezultata nedavnih istraživanja u pojedinim europskim državama, bioreaktorsko odlagalište je uvršteno kao alternativna komponenta odlagališta neopasnog otpada u europsko zakonodavstvo. Prilikom korištenja stranih iskustava u projektiranju i održavanju takvih odlagališta, važno je napomenuti da je u Republici Hrvatskoj bioreaktorsko odlagalište predviđeno kao jedan od preporučenih elemenata budućih centara za gospodarenje otpadom, dok američko zakonodavstvo definira bioreaktorsko odlagalište kao novu i inovativnu varijantu odlagališta komunalnog otpada.

Kroz postojeću praksu odlaganja otpada, pokazalo se da odlaganje otpada u zatvorenom sustavu, poput konvencionalnog odlagališta, nije optimalno rješenje jer uz ostale nedostatke, nerazgrađeni otpad predstavlja rizik po okoliš. Stoga, bioreaktorsko odlagalište predstavlja alternativu u rješavanju problematike odlaganja otpada. Premda je u konačnici bioreaktorsko odlagalište isplativije u odnosu na konvencionalno, javljaju se veći inicijalni troškovi zbog složenih tehničkih rješenja, kako u fazi izgradnje, tako i u razdoblju rada odlagališta

Planiranje anaerobnog bioreaktorskog odlagališta predstavlja složeniji problem, poglavito u pogledu projektiranja i održavanja. Složenost problema dodatno pojačava činjenica da se radi o odlagalištu s prethodno obrađenim komunalnim otpadom u kojem se nalazi manje od 35% biorazgradivog materijala, što predstavlja vrlo slab potencijal za proizvodnju odlagališnog plina, odnosno električne i toplinske energije. S druge strane se nalaze vrlo visoke prepreke u vidu ekonomske i financijske koristi te složenog održavanja i kontrole sustava. Zbog toga je neophodno pažljivo planirati te pri tome obuhvatiti sve navedene parametre, koristeći se sličnim europskim i svjetskim iskustvima u projektiranju kako aerobnih tako i anaerobnih bioreaktorskih odlagališta na koja se odlaže prethodno obrađeni komunalni otpad.

Popis literature

Al Seadi T. i sur (2008). *Priručnik za bioplin*. BiG > East projekt. Intelligent Energy for Europe

Amy, A. et al. (2003). *Example Moisture Mass Balance Calculations for Bioreactor Landfills.* Environmental Protection Agency (EPA), 456 /R-03-007, pp. 3 – 10.

Anić Vučinić, A.; Vujević, D.; Petrović I. (2012). *Bioreaktorska odlagališta.* Znanstveno stručni skup gospodarenje otpadom. Varaždin. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet.

Čuljak, P. (2.12.2010.) *Bioplin iz komunalnog otpada - sufinanciranje europskim predpristupnim fondovima.* Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost, str. 6 – 8

Đurđević, D. (2015) *Energetsko iskorištavanje otpada.* Diplomski rad. Zagreb. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

Giannis, A. et al (2008). *Monitoring operational and leachate characteristics of an aerobic simulated landfill bioreactor SD*. Waste Management 28, pp. 1346–1354

Herenda, M.; Tomašić, K. (2.12.2010.) *Primjer održivosti bioreaktorskog odlagališta komunalnog otpada.* [Online]. Dostupno na: http://gospodarenje-otpadom.yolasite.com/resources/MARIN%20HERENDA.pdf [29.3.2017.]

IPZ Uniprojekt TERRA (21.7.2010). *Prijedlog nacrta Plana gospodarenja otpadom GRADA KARLOVCA za razdoblje do 2015. godine.* [Online]. Dostupno na: http://www.karlovac.hr/UserDocsImages/dokumenti/clanci/PGO-Karlovac-konacni.pdf [26.5.2017.]

Kovačić, D. (2008). *Bioreaktorsko odlagalište - novi element cjelovitog sustava gospodarenja otpadom.* Hrvatska znanstvena bibliografija, str. 5 – 11.

Majcen, I. (2012). *Prednosti i nedostaci bioreaktorskih odlagališta otpada*. Diplomski rad. Varaždin. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet

Milanović, Z. (27.11.2015.) *Bioreaktorsko odlagalište i NOVI Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada.* [Online]. Dostupno: http://www.zastitaokolisa.dashofer.hr/33/bioreaktorsko-odlagaliste-i-novi-pravilnik-o-nacinima-i-uvjetima-odlaganja-otpada-uniqueidRCViWTptZHKQ8B-Rvq6NR0pcKeky4cLQ/ [10.04.2017.]

Piškornica d.o.o. (?) *Kontrolirano bioreaktorsko odlagalište.* [Online]. Dostupno: http://www.rcgo-piskornica.hr/defaultcont.asp?id=12&n=3 [26.4.2017.]

Petrović, I. (2006). *Bioreaktorska odlagališta otpada.* Zbornik radova. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin

Petrovic, I. (2016) Mini-review of the geotechnical parameters of municipal solid waste: Mechanical and biological pre-treated versus raw untreated waste. // Waste Management and Research, 34 (2016), 9; 840-850, DOI:10.1177/0734242X16649684

Prelec, Z. (19.11.2010). *Postupci obrade i zbrinjavanja otpada.* [Online]. Dostupno na: http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/Inzenjerstvo_zastite_okolisa/10.pdf [30.3.2017.]

Repa, E. W. (2003). *Bioreactor landfills: a viable technology*. NSWMA Research Bulletin 03-02

Ribić, B.; Sinčić, D. (2010). *Proizvodnja bioplina iz organskog dijela komunalnog otpada u gradu zagrebu.* Zagrebački Holding, Podružnica Čistoća , str. 4 - 11

Samokovlija Dragičević, J. (2011). *Održivost bioreaktorskog odlagališta komunalnog otpada. GRAĐEVINAR 63 9/10, str. 899 - 902*

Skoko, D.; Mulabdić, M.; Fundurulja, D. (2.12.2010). *Osvrt na koncepte mbo i biološkog reaktora za odlagalište otpada.* [Online]. Dostupno na: http://gospodarenje-otpadom.yolasite.com/resources/fundurulja.pdf [29.3.2017.]

Suna Erses, A.; T. Onay T.; Yenigun O.; (2007). *Comparison of aerobic and anaerobic degradation of municipal solid waste in bioreactor landfills SD*. Bioresource Technology 99, pp. 5418–5426

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A., *Integrated Solid Waste Management*, McGraw-Hill, 1993

Themelis, Nickolas J. (srpanj – kolovoz 2003). *An overview of the global waste-to-energy industry.* [Online]. Dostupno: http://www.seas.columbia.edu/earth/papers/global_waste_to_energy.html [26.4.2017.]

Thronthwaite, C.W. and Mather, J.R. (1957). *Instruction and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*, Publication in Climatology, 10(3), 185 – 311, Drexel Institute of Technology, Centernon, NY

Znidarčić, D. i sur. (2006). *Savjetovanje "Tehnologije zbrinjavanja otpada"*. Zbornik radova. Zagreb. Akademija tehničkih znanosti Hrvatske.

Popis slika

Slika 1. Okvirna masena bilanca postrojenja za MBO s aerobnom obradom biorazgradivog dijela otpada

Slika 2. Okvirna masena bilanca postrojenja za MBO s aerobnom obradom biorazgradivog dijela otpada – biosušenje

Slika 3. Okvirna masena bilanca postrojenja za MBO s anaerobnom obradom biorazgradivog dijela otpada

Slika 4. Aerobno bioreaktorsko odlagalište

Slika 5. Anaerobno bioreaktorsko odlagalište

Slika 6. Hibridno bioreaktorsko odlagalište

Slika 7. Sastav otpada u bioreaktorskom odlagalištu

Popis tablica

Tablica 1. Temperatura i duljina trajanja procesa

Tablica 2. Karakteristike bioreaktorskih odlagališta prema uvjetima razgradnje

Tablica 3. Parametri razgradnje otpada u bioreaktorskom odlagalištu

Tablica 4. Predložene karakteristike stabiliziranog otpada za sigurno zatvaranje odlagališta

Tablica 5. Prikaz koeficijenta otjecanja

Popis priloga

Prilog 1. Mjesečne vrijednosti indeksa topline koje odgovaraju srednjim mjesečnim temperaturama

Prilog 2. Dnevni potencijal evapotransipracije za različite mjesečne temperature i različite vrijednosti infiltracije

Prilog 3. Prosječno mjesečno trajanje sunčeve svjetlosti na sjevernoj hemisferi

Prilog 4. Vodni kapacitet za određene kombinacije tla i vegetacije

Prilog 5. Vrijednosti zadržavanja vlage u tlu za različite iznose potencijala evapotranspiracije

Prilog 6. Konverzija anglosaksonskih mjernih jedinica u SI mjerni sustav

Prilog 1. Mjesečne vrijednosti indeksa topline koje odgovaraju srednjim mjesečnim temperaturama

T (°F)	**0,0**	**0,1**	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,9**
32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
33	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9
34	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
35	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28
36	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,39	0,40
37	0,41	0,42	0,43	0,44	0,46	0,47	0,48	0,50	0,51	0,52
38	0,54	0,55	0,56	0,58	0,59	0,60	0,62	0,63	0,65	0,66
39	0,68	0,70	0,71	0,73	0,74	0,76	0,77	0,79	0,80	0,82
40	0,83	0,85	0,86	0,88	0,90	0,91	0,93	0,95	0,96	0,98
41	1	1,01	1,03	1,05	1,07	1,08	1,10	1,12	1,14	1,16
42	1,17	1,19	1,21	1,23	1,24	1,26	1,28	1,30	1,32	1,33
43	1,35	1,37	1,39	1,41	1,43	1,45	1,47	1,49	1,50	1,52
44	1,54	1,56	1,58	1,60	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,72
45	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	1,85	1,87	1,89	1,91	1,93
46	1,95	1,97	2,00	2,02	2,04	2,06	2,08	2,10	2,13	2,15
47	2,17	2,19	2,21	2,23	2,26	2,28	2,30	2,32	2,34	2,37
48	2,39	2,41	2,43	2,46	2,48	2,50	2,53	2,55	2,57	2,60
49	2,62	2,64	2,67	2,69	2,71	2,74	2,76	2,79	2,81	2,84
50	2,86	2,89	2,91	2,93	2,96	2,98	3,01	3,03	3,06	3,08
51	3,11	3,13	3,16	3,18	3,21	3,23	3,25	3,28	3,30	3,33
52	3,35	3,38	3,40	3,43	3,45	3,48	3,50	3,53	3,55	3,58
53	3,6	3,63	3,65	3,68	3,71	3,73	3,76	3,79	3,81	3,84
54	3,87	3,89	3,92	3,95	3,97	4,00	4,03	4,06	4,08	4,11
55	4,14	4,16	4,19	4,22	4,25	4,27	4,30	4,33	4,35	4,38
56	4,41	4,44	4,47	4,50	4,52	4,55	4,57	4,60	4,63	4,66
57	4,69	4,72	4,75	4,77	4,80	4,83	4,86	4,89	4,92	4,95
58	4,98	5,01	5,04	5,07	5,10	5,13	5,15	5,19	5,22	5,25
59	5,28	5,31	5,34	5,37	5,40	5,43	5,46	5,49	5,52	5,55
60	5,58	5,61	5,64	5,67	5,70	5,73	5,76	5,79	5,82	5,85
61	5,88	5,91	5,94	5,97	6,00	6,03	6,06	6,10	6,13	6,16
62	6,19	6,22	6,25	6,28	6,31	6,34	6,38	6,41	6,44	6,47
63	6,50	6,53	6,56	6,59	6,62	6,66	6,69	6,72	6,75	6,79
64	6,82	7,85	6,88	6,92	6,95	6,98	7,02	7,05	7,08	7,12
65	7,15	7,18	7,22	7,25	7,28	7,32	7,35	7,38	7,42	7,45
66	7,48	7,52	7,55	7,58	7,62	7,65	7,68	7,72	7,75	7,78
67	7,82	7,85	7,89	7,92	7,95	7,99	8,02	8,05	8,09	8,12
68	8,16	8,19	8,23	8,26	8,30	8,33	8,37	8,40	8,44	8,47
69	8,51	8,54	8,57	8,61	8,64	8,68	8,71	8,75	8,78	8,82
70	8,85	8,89	8,92	8,96	8,99	9,03	9,06	9,10	9,13	9,17
71	9,2	9,24	9,27	9,31	9,34	9,38	9,42	9,45	9,49	9,53
72	9,57	9,60	9,64	9,67	9,71	9,75	9,78	9,82	9,85	9,89
73	9,93	9,97	10,01	10,04	10,08	10,12	10,15	10,19	10,22	10,26
74	10,30	10,34	10,37	10,41	10,45	10,48	10,52	10,56	10,60	10,64
75	10,67	10,71	10,75	10,78	10,82	10,86	10,89	10,93	10,97	11,01
76	11,05	11,09	11,13	11,17	11,20	11,24	11,28	11,31	11,35	11,39
77	11,43	11,47	11,51	11,54	11,58	11,623	11,66	11,70	11,74	11,76
78	11,82	11,85	11,89	11,93	11,97	12,01	12,05	12,09	12,13	12,17
79	12,21	12,25	12,29	12,33	12,37	12,41	12,45	12,49	12,53	12,57
80	12,61	12,65	12,69	12,73	12,77	12,81	12,85	12,89	12,93	12,97
81	13,01	13,05	13,09	13,13	13,17	13,21	13,25	13,29	13,33	13,37
82	13,41	13,45	13,49	13,53	13,57	13,61	13,65	13,69	13,73	13,77
83	13,81	13,85	13,89	13,94	13,98	14,02	14,06	14,10	14,14	14,18

84	14,22	14,26	14,31	14,35	14,39	14,43	14,47	14,52	14,56	14,60
85	14,64	14,69	14,73	14,77	14,81	14,85	14,90	14,94	14,98	15,02
86	15,07	15,11	15,15	15,19	15,23	15,28	15,32	15,36	15,40	15,45
87	15,49	15,53	15,58	15,62	15,66	15,71	15,75	15,79	15,84	15,88
88	15,92	15,97	16,01	16,05	16,10	16,14	16,18	16,23	16,27	16,31
89	16,36	16,40	16,44	16,49	16,53	16,57	16,62	16,66	16,70	16,75
90	16,79	16,83	16,88	16,92	16,96	17,01	17,05	17,09	17,14	17,18
91	17,23	17,27	17,32	17,36	17,41	17,45	17,49	17,54	17,58	17,63
92	17,67	17,72	17,76	17,81	17,85	17,89	17,94	17,98	18,03	18,07
93	18,12	18,16	18,21	18,25	18,30	18,34	18,39	18,43	18,48	18,52
94	18,57	18,62	18,66	18,71	18,75	18,80	18,84	18,89	18,93	18,98
95	19,03	19,07	19,12	19,16	19,21	19,25	19,30	19,34	19,39	19,44
96	19,48	19,53	19,58	19,62	19,67	19,71	19,76	19,81	19,86	19,90
97	19,95	20,00	20,04	20,09	20,14	20,18	20,23	20,28	20,32	20,37
98	20,42	20,46	20,51	50,56	20,60	20,65	20,70	20,74	20,79	20,84
99	20,88	20,93	20,98	21,03	21,08	21,13	21,17	21,22	21,27	21,32
100	21,36	21,41	21,46	21,51	21,56	21,60	21,65	21,70	21,75	21,79
101	21,84	21,89	21,94	21,99	22,03	22,08	22,13	22,18	22,23	22,29
102	22,33	22,38	22,42	22,47	22,52	22,57	22,62	22,67	22,71	22,76
103	22,81	22,86	22,91	22,96	23,00	23,05	23,10	23,15	23,20	23,25
104	23,30									

Prilog 2. Dnevni potencijal evapotransipracije za različite mjesečne temperature i različite vrijednosti infiltracije

I (25,0 – 80,0)

T(°F)	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50	52,5	55	57,5	60	62,5	65	67,5	70	72,5	75	77,5	80
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33,5	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35,5	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36,5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
37,5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0
38	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0
38,5	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0
39	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0
39,5	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

I (82,5 – 140)

T(°F)	82,5	85	87,5	90	92,5	95	97,5	100	102,5	105	107,5	110	112,5	115	117,5	120	122,5	125	127,5	130	132,5	135	137,5	140
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0
39,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0

I (25,0 – 80,0)

T(°F)	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50	52,5	55	57,5	60	62,5	65	67,5	70	72,5	75	77,5	80
40	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
40,5	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
41	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
41,5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
42	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
42,5	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
43	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
43,5	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
44	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
44,5	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
45	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
45,5	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
46	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
46,5	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
47	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
47,5	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02

I (82,5 – 140)

T(°F)	82,5	85	87,5	90	92,5	95	97,5	100	102,5	105	107,5	110	112,5	115	117,5	120	122,5	125	127,5	130	132,5	135	137,5	140
40	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40,5	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44,5	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45,5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
46,5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0
47	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0
47,5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0

I (82,5 – 140)

T(°F)	82,5	85	87,5	90	92,5	95	97,5	100	102,5	105	107,5	110	112,5	115	117,5	120	122,5	125	127,5	130	132,5	135	137,5	140
48	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
48,5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
49	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
49,5	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
50	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
50,5	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
51	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
51,5	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
52	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
52,5	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
53	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
53,5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
54	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
54,5	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
55	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
55,5	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

	I (25,0 – 80,0)																						
T(°F)	**25**	**27,5**	**30**	**32,5**	**35**	**37,5**	**40**	**42,5**	**45**	**47,5**	**50**	**52,5**	**55**	**57,5**	**60**	**62,5**	**65**	**67,5**	**70**	**72,5**	**75**	**77,5**	**80**
48,5	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
49	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
49,5	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
50	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
50,5	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
51	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
51,5	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
52	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
52,5	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
53	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
53,5	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
54	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
54,5	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
55	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
55,5	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05

I (25,0 – 80,0)

T(°F)	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50	52,5	55	57,5	60	62,5	65	67,5	70	72,5	75	77,5	80
56	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
56,5	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
57	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
57,5	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
58	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
58,5	0,11	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
59	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06
59,5	0,11	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
60	0,11	0,11	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
60,5	0,11	0,11	0,11	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
61	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
61,5	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07
62	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
62,5	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08
63	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08
63,5	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

	I (25,0 – 80,0)																						
T(°F)	**25**	**27,5**	**30**	**32,5**	**35**	**37,5**	**40**	**42,5**	**45**	**47,5**	**50**	**52,5**	**55**	**57,5**	**60**	**62,5**	**65**	**67,5**	**70**	**72,5**	**75**	**77,5**	**80**
64	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
64,5	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
65	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09
65,5	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
66	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
66,5	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10
67	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10
67,5	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
68	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
68,5	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11
69	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11
69,5	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
70	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
70,5	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12
71	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
71,5	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13

I (82,5 – 140)

T(°F)	82,5	85	87,5	90	92,5	95	97,5	100	102,5	105	107,5	110	112,5	115	117,5	120	122,5	125	127,5	130	132,5	135	137,5	140
64	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
64,5	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05
65	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
65,5	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
66	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
66,5	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06
67	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06
67,5	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
68	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
68,5	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07
69	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08
69,5	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
70	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
70,5	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09
71	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09
71,5	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10

I (25.0 – 80.0)

T(°F)	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50	52,5	55	57,5	60	62,5	65	67,5	70	72,5	75	77,5	80
72	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
72,5	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
73	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
73,5	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
74	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
74,5	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
75	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
75,5	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
76	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
76,5	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
77	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
77,5	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
78	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
78,5	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
79	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
79,5	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
80	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18

	I (82.5 – 140)																							
T(°F)	**82,5**	**85**	**87,5**	**90**	**92,5**	**95**	**97,5**	**100**	**102,5**	**105**	**107,5**	**110**	**112,5**	**115**	**117,5**	**120**	**122,5**	**125**	**127,5**	**130**	**132,5**	**135**	**137,5**	**140**
72	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10
72,5	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
73	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11
73,5	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
74	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
74,5	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
75	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
75,5	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
76	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
76,5	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
77	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
77,5	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
78	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
78,5	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
79	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
79,5	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
80	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18

Prilog 3. Prosječno mjesečno trajanje sunčeve svjetlosti na sjevernoj hemisferi

Sjeverna geografska širina	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
0	31,2	28,2	31,2	30,3	31,2	30,3	31,2	31,2	30,3	31,2	33,3	31,2
1	31,2	28,2	31,2	30,3	31,2	30,3	31,2	31,2	30,3	31,2	33,3	31,2
2	31,2	28,2	31,2	30,3	31,5	30,5	31,2	31,2	30,3	31,2	33,3	30,9
3	30,9	28,2	30,9	30,3	31,5	30,5	31,5	31,2	30,3	31,2	30,9	30,9
4	30,9	27,9	30,9	30,6	31,8	30,9	31,5	31,5	30,3	30,9	30,9	30,6
5	30,6	27,9	30,9	30,6	31,8	30,9	31,8	31,5	30,3	30,9	29,7	30,6
6	30,6	27,9	30,9	30,6	31,8	31,2	31,8	31,5	30,6	30,9	29,7	30,3
7	30,3	27,6	30,9	30,6	32,1	31,2	32,1	31,8	30,6	30,9	29,7	30,3
8	30,3	27,6	30,9	30,6	32,1	31,5	32,1	31,8	30,6	30,9	29,4	30,0
9	30,0	27,6	30,9	30,9	32,4	31,5	32,4	31,8	30,6	30,9	29,4	30,0
10	30,0	27,3	30,9	30,9	32,4	31,8	32,4	32,1	30,6	30,8	29,4	29,7
11	29,7	27,3	30,9	30,9	32,7	31,8	32,7	32,1	30,6	30,8	29,1	27,9
12	29,7	27,3	30,9	31,2	32,7	32,1	33,0	32,1	30,6	30,8	29,1	27,4
13	29,4	27,3	30,9	31,2	33,0	32,1	33,0	32,4	30,6	30,8	28,8	27,4
14	29,4	27,3	30,9	31,2	33,0	32,4	33,3	32,4	30,6	30,8	28,8	29,1
15	29,1	27,3	30,9	31,2	33,3	32,4	33,6	32,4	30,6	30,8	28,5	29,1

16	29,1	27,3	30,9	31,2	33,3	32,7	33,6	32,7	30,6	30,8	28,5	28,8
17	28,8	27,3	30,9	31,5	33,9	32,7	33,9	32,7	30,6	30,0	28,2	28,8
18	28,8	27,0	30,9	31,5	33,9	33,0	33,9	33,0	30,6	30,0	28,2	28,5
19	28,5	27,0	30,9	31,5	33,9	33,0	34,2	33,0	30,6	30,0	27,9	28,5
20	28,5	27,0	30,9	31,5	33,0	33,3	34,2	33,3	30,6	30,0	27,9	28,2
21	28,2	27,0	30,9	31,5	33,0	33,3	34,5	33,3	30,6	29,9	27,9	28,2
22	28,2	26,7	30,9	31,8	34,2	33,9	34,5	33,3	30,6	29,7	27,9	27,9
23	27,9	26,7	30,9	31,8	34,2	33,9	34,8	33,6	30,6	29,7	27,9	27,9
24	27,9	26,7	30,9	31,8	34,5	34,2	34,8	33,6	30,6	29,7	27,3	27,9
25	27,9	26,7	30,9	31,8	34,5	34,2	35,1	33,6	30,6	29,7	27,3	27,3
26	27,6	26,4	30,9	32,1	34,8	34,5	35,1	33,6	30,6	29,7	27,3	27,3
27	27,6	26,4	30,9	32,1	34,8	34,5	35,4	33,9	30,9	29,7	27,0	27,3
28	27,3	26,4	30,9	32,1	35,1	34,8	35,4	33,9	30,9	29,4	27,0	27,3
29	27,3	26,1	30,9	32,1	35,1	34,8	35,7	33,9	30,9	29,4	26,7	26,7
30	27,0	26,1	30,9	32,4	35,4	35,1	36,0	34,2	30,9	29,4	26,7	26,4
31	27,0	26,1	30,9	32,4	35,4	35,1	36,0	34,2	30,9	29,4	26,4	26,4
32	26,7	25,8	30,9	32,4	35,7	35,4	36,3	34,5	30,9	29,4	26,4	26,1
33	26,4	25,8	30,9	32,7	35,7	35,7	36,3	34,5	30,9	29,1	26,1	25,9
34	26,4	25,8	30,9	32,7	36,0	36,0	36,6	34,8	30,9	29,1	26,1	25,8
35	26,1	25,5	30,9	32,7	36,3	36,3	36,9	34,8	30,9	29,1	25,8	25,5
36	26,1	25,5	30,9	33,0	36,3	36,6	37,5	34,8	30,9	29,1	25,8	25,2

37	25,8	25,5	30,9	33,0	36,9	36,9	37,5	35,1	30,9	29,1	25,5	24,9
38	25,5	25,2	30,9	33,0	36,9	37,2	37,8	35,1	31,2	28,8	25,2	24,9
39	25,5	25,2	30,9	33,3	36,9	37,2	37,8	35,4	31,2	28,8	25,2	24,6
40	25,2	24,9	30,9	33,3	37,5	37,5	38,1	35,4	31,2	28,8	24,9	24,3
41	24,9	24,9	30,9	33,3	37,5	37,8	38,1	35,7	31,2	28,8	24,9	24,0
42	24,6	24,6	30,9	33,6	37,8	37,1	38,4	35,7	31,2	28,5	24,9	23,7
43	24,3	24,6	30,6	33,6	37,9	38,4	38,7	36,0	31,2	28,5	24,3	23,1
44	24,3	24,3	30,6	33,6	38,1	38,7	38,7	36,3	31,2	28,5	24,3	23,0
45	24,0	24,3	30,6	33,9	38,4	38,7	39,3	36,3	31,2	28,2	23,7	22,5
46	23,7	24,0	30,6	33,9	38,7	39,0	39,6	36,3	31,2	28,2	23,7	22,2
47	23,1	24,0	30,6	34,2	39,0	39,0	39,9	37,0	31,5	27,9	23,4	21,9
48	22,0	23,7	30,6	34,2	39,3	39,6	40,2	37,0	31,5	27,9	23,1	21,9
49	22,9	23,7	30,6	34,5	39,3	41,2	40,8	37,2	31,5	27,9	22,8	21,3
50	22,2	23,4	30,6	34,5	39,9	40,8	41,1	37,5	31,8	27,9	22,8	21,0

Prilog 4. Vodni kapacitet za određene kombinacije tla i vegetacije

	Razina vode		Zona korjenjenja		Vrijednosti zadržavanja vode u tlu	
Vrsta tla	mm/m	in./ft	in.	ft	mm	in.
Usijevi plitkog korijena (špinat, grašak, mrkva itd.)						
Sitni pijesak	100	1,2	0,50	1,67	50	2,0
Ilovača	150	1,8	0,50	1,67	75	3,0
Mulj	200	2,4	0,62	2,08	125	5,0
Glinena ilovača	250	3,0	0,40	1,33	100	4,0
Glina	300	3,6	0,25	0,83	75	3,0
Usijevi srednje dubokog korijena (kukuruz, pamuk, duhan)						
Sitni pijesak	100	1,2	0,75	2,50	75	3,0
Ilovača	150	1,8	1,0	3,33	150	6,0
Mulj	200	2,4	1,0	3,33	200	8,0
Glinena ilovača	250	3,0	0,80	2,67	200	8,0
Glina	300	3,6	0,50	1,67	50	6,0
Usijevi dubokog korijena (lucerna, pašnjaci)						
Sitni pijesak	100	1,2	1,0	3,33	100	4,0
Ilovača	150	1,8	1,0	3,33	150	6,0
Mulj	200	2,4	1,25	4,17	250	10,0
Glinena ilovača	250	3,0	1,0	3,33	250	10,0
Glina	300	3,6	0,67	2,22	200	8,0
Voćnjaci						
Sitni pijesak	100	1,2	1,50	5,00	150	6,0
Ilovača	150	1,8	1,67	5,55	250	10,0
Mulj	200	2,4	1,50	5,00	300	12,0
Glinena ilovača	250	3,0	1,0	3,33	250	10,0
Glina	300	3,6	0,67	2,22	200	8,0
Stara šuma						

Sitni pijesak	100	1,2	2,5	8,33	250	12,0
Ilovača	150	1,8	2,0	6,66	300	16,0
Mulj	200	2,4	2,0	6,66	400	16,0
Glinena ilovača	250	3,0	1,60	5,33	400	14,0
Glina	300	3,6	1,17	3,90	350	2,0

Prilog 5. Vrijednosti zadržavanja vlage u tlu za različite iznose potencijala evapotranspiracije

PET	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	4,00	3,99	3,98	3,97	3,96	3,95	3,94	3,93	3,92	3,91
0,1	3,90	3,89	3,88	3,87	3,86	3,85	3,84	3,83	3,82	3,81
0,2	3,80	3,79	3,78	3,77	3,76	3,75	3,74	3,73	3,72	3,71
0,3	3,70	3,69	3,68	3,67	3,66	3,65	3,64	3,63	3,62	3,62
0,4	3,61	3,60	3,59	3,58	3,57	3,56	3,55	3,54	3,54	3,53
0,5	3,52	3,51	3,50	3,49	3,48	3,47	3,46	3,46	3,45	3,44
0,6	3,43	3,42	3,41	3,40	3,39	3,38	3,38	3,37	3,36	3,35
0,7	3,34	3,33	3,32	3,31	3,30	3,30	3,29	3,28	3,27	3,26
0,8	3,26	3,25	3,24	3,23	3,23	3,22	3,21	3,20	3,19	3,19
0,9	3,18	3,17	3,16	3,16	3,15	3,14	3,13	3,12	3,12	3,11
1,0	3,10	3,09	3,09	3,08	3,07	3,06	3,05	3,05	3,04	3,03
1,1	3,02	3,02	3,01	3,00	2,99	2,98	2,98	2,97	2,96	2,95
1,2	2,94	2,94	2,93	2,92	2,91	2,90	2,90	2,89	2,88	2,87
1,3	2,86	2,86	2,85	2,84	2,83	2,82	2,82	2,81	2,80	2,79
1,4	2,79	2,78	2,77	2,76	2,75	2,75	2,74	2,73	2,73	2,72
1,5	2,72	2,71	2,70	2,70	2,69	2,68	2,68	2,67	2,66	2,66
1,6	2,65	2,64	2,64	2,63	2,62	2,62	2,61	2,60	2,60	2,59
1,7	2,58	2,58	2,57	2,57	2,56	2,55	2,54	2,54	2,53	2,52
1,8	2,51	2,51	2,50	2,49	2,49	2,48	2,48	2,47	2,47	2,46
1,9	2,45	2,45	2,44	2,43	2,43	2,42	2,41	2,40	2,40	2,39
2,0	2,39	2,38	2,38	2,37	2,36	2,36	2,35	2,35	2,34	2,34
2,1	2,33	2,33	2,32	2,32	2,31	2,30	2,29	2,29	2,28	2,28
2,2	2,27	2,27	2,26	2,25	2,25	2,24	2,24	2,23	2,22	2,22
2,3	2,21	2,21	2,20	2,19	2,19	2,18	2,18	2,17	2,16	2,16
2,4	2,15	2,15	2,14	2,14	2,13	2,13	2,12	2,12	2,11	2,11
2,5	2,10	2,10	2,09	2,09	2,08	2,08	2,07	2,07	2,06	2,06
2,6	2,05	2,05	2,04	2,04	2,03	2,03	2,02	2,02	2,01	2,01
2,7	2,00	2,00	1,99	1,99	1,98	1,98	1,97	1,97	1,96	1,96
2,8	1,95	1,95	1,94	1,94	1,93	1,93	1,92	1,89	1,91	1,91
2,9	1,90	1,90	1,89	1,89	1,88	1,88	1,87	1,87	1,86	1,86
3,0	1,85	1,85	1,84	1,84	1,83	1,83	1,82	1,82	1,81	1,81
3,1	1,80	1,80	1,79	1,79	1,78	1,78	1,78	1,77	1,77	1,76

3,2	1,76	1,75	1,74	1,74	1,73	1,73	1,72	1,72	1,71	1,71
3,3	1,71	1,70	1,69	1,69	1,69	1,69	1,68	1,68	1,67	1,67
3,4	1,67	1,66	1,65	1,65	1,65	1,65	1,64	1,64	1,63	1,63
3,5	1,63	1,62	1,61	1,61	1,61	1,61	1,60	1,60	1,59	1,59
3,6	1,59	1,58	1,57	1,57	1,57	1,57	1,56	1,56	1,55	1,55
3,7	1,55	1,54	1,53	1,53	1,53	1,53	1,52	1,52	1,51	1,51
3,8	1,51	1,50	1,49	1,49	1,49	1,49	1,48	1,48	1,47	1,47
3,9	1,47	1,46	1,45	1,45	1,45	1,45	1,44	1,44	1,43	1,43
4,0	1,43	1,42	1,41	1,41	1,41	1,41	1,40	1,40	1,40	1,39
4,1	1,39	1,39	1,38	1,38	1,38	1,37	1,37	1,37	1,36	1,36
4,2	1,36	1,35	1,35	1,35	1,34	1,34	1,34	1,33	1,33	1,33
4,3	1,32	1,32	1,31	1,31	1,31	1,31	1,30	1,30	1,30	1,29
4,4	1,29	1,29	1,28	1,28	1,28	1,28	1,27	1,27	1,27	1,26
4,5	1,26	1,26	1,25	1,25	1,25	1,25	1,24	1,24	1,24	1,23
4,6	1,23	1,23	1,22	1,22	1,22	1,22	1,21	1,21	1,21	1,20
4,7	1,20	1,20	1,19	1,19	1,19	1,19	1,18	1,18	1,18	1,17
4,8	1,17	1,17	1,16	1,16	1,16	1,16	1,15	1,15	1,15	1,14
4,9	1,14	1,14	1,13	1,13	1,13	1,13	1,12	1,12	1,12	1,11
5,0	1,11	1,11	1,10	1,10	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09	1,09
5,1	1,08	1,08	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06
5,2	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03
5,3	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00
5,4	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98
5,5	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96
5,6	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93
5,7	0,92	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90
5,8	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,88	0,88
5,9	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,86	0,86
6,0	0,86	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84
6,1	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,82	0,82
6,2	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,80	0,80	0,80
6,3	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78
6,4	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76
6,5	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74
6,6	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72	0,72
6,7	0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,70
6,8	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69	0,69	0,69	0,68	0,68

6,9	0,68	0,68	0,68	0,68	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
7,0	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,65	0,65
7,1	0,65	0,65	0,65	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63
7,2	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,62	0,62	0,62	0,61
7,3	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60	0,60	0,60	0,60
7,4	0,60	0,60	0,60	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58
7,5	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,57	0,57	0,57
7,6	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
7,7	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
7,8	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53
7,9	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52

PET	**0,00**	**0,05**
8,0	0,52	0,51
8,1	0,50	0,50
8,2	0,49	0,48
8,3	0,48	0,47
8,4	0,47	0,46
8,5	0,45	0,45
8,6	0,44	0,44
8,7	0,43	0,43
8,8	0,42	0,42
8,9	0,41	0,41
9,0	0,40	0,40
9,1	0,39	0,39
9,2	0,38	0,38
9,3	0,37	0,37
9,4	0,36	0,36
9,5	0,35	0,35
9,6	0,34	0,34
9,7	0,34	0,33
9,8	0,33	0,32
9,9	0,32	0,32
10,0	0,31	0,31

PET	**0,00**	**0,05**
10,1	0,30	0,30
10,2	0,30	0,29
10,3	0,29	0,28
10,4	0,28	0,28
10,5	0,27	0,27
10,6	0,27	0,26
10,7	0,26	0,26
10,8	0,25	0,25
10,9	0,25	0,24

Prilog 6. Konverzija anglosaksonskih mjernih jedinica u SI mjerni sustav

Anglosaksonske mjerne jedinice	**SI vrijednost**
1 stopa (ft)	30, 48 cm
1 palac (in)	2,54 cm
32 °F	0 °C
1 galon	3, 7854 l