

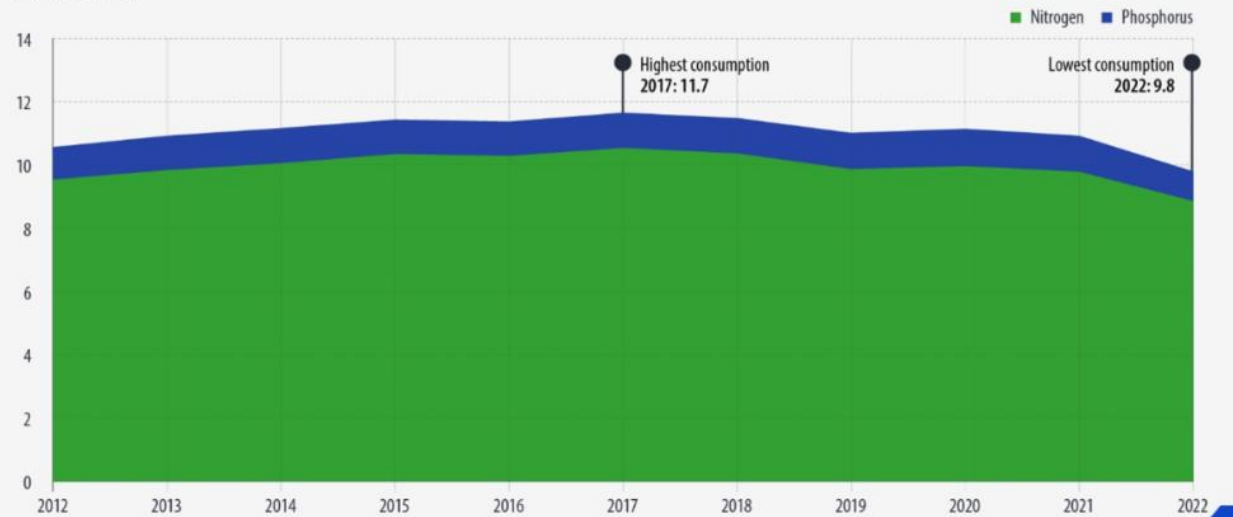
# Predviđeni materijalni bilans sadržaja nutrijenata u mulju na budućim postrojenjima za tretman otpadnih voda u RS

Đurđa Kerkez

18-20. Septembar 2024. Novi Sad

## Mineral fertiliser consumption in agriculture in the EU, 2012-2022

(million tonnes)



Estimates for the period 2020-2022 made for the purposes of this publication.

eurostat



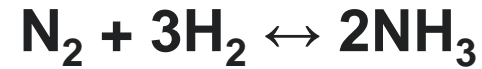
**EU 9,8 mil t/god**

**RS 400 000 t/god**

**35% sopstvena  
proizvodnja**



## Haber–Bosch proces



1-2 % globalne  
potrošnje energije



## Fosfatne rude

Kritična sirovina

Đubriva sadže teške  
metale i radioaktivne  
elemente

Smanjenje  
„unosa“

Poboljšanje  
efikasnosti  
upotrebe

Unapređenje  
cirkularnosti kroz  
rekuperaciju  
nutrijenata



- Tradicionalna linearna ekonomija zasnivala se na vađenju prirodnih resursa, proizvodnji proizvoda za određenu namenu i njegovom korišćenju i eventualnom odlaganju.
- Danas je oskudica različitih resursa sve očiglednija, a vremenom se razvio koncept cirkularne ekonomije (CE).

## OTPADNE VODE → RESURS

- Navodnjavanje otpadnim vodama bogatim nutrijentima i iskorišćavanje mulja (organska materija, nutrijenti) na obradivim površinama jedna je od prvih praksi korišćenja vrednih resursa iz otpadnih voda, koja se danas dovodi u okvire cirkularne ekonomije.
- Takođe, u novije vreme to je proizvodnja biogasa i oporavak energije iz mulja.

10.4\*10<sup>6</sup>  
t/god

## Trenutne najzastupljenije prakse upravljanja muljem u EU su:

- **Upotreba u poljoprivredi: upotreba kao đubrivo na oranicama i pašnjacima (27%).**

Ova metoda je dominantna u Bugarskoj, Hrvatskoj, Češkoj, Danskoj, Irskoj, Litvaniji, Norveškoj, Španiji i Švedskoj.

- **Kompostiranje i druge upotrebe: upotreba otpadnog mulja nakon mešanja sa drugim organskim materijalom i kompostiranja, zatim upotreba za parkove i bašte (21%).**

Ova metoda je dominantna na Kipru, u Estoniji, Francuskoj, Mađarskoj, Luksemburgu i Slovačkoj.

- **Spaljivanje: direktno spaljivanje ili ko-insineracija (23%).**

Ova metoda je dominantna u Austriji, Belgiji, Nemačkoj, Grčkoj, Holandiji, Švajcarskoj i Turskoj.

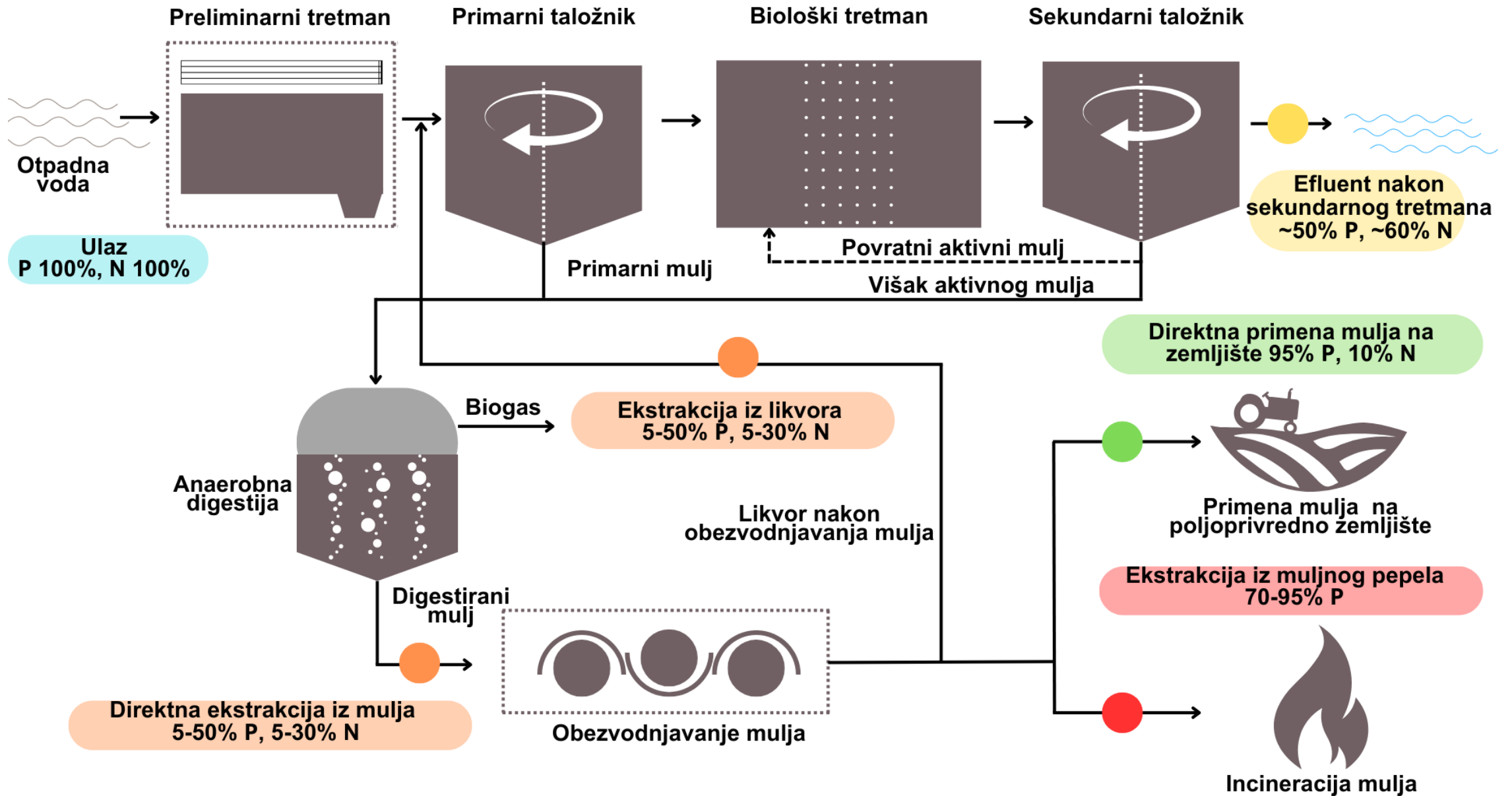
- **Odlaganje na deponije (8%).**

Ova metoda je dominantna na Malti i u Rumuniji.

- **Drugi načini odlaganja (20%).**

Italija, Letonija, Poljska, Portugal i Slovenija odlažu otpad na drugačiji način. Podaci o ovim praksama su ograničeni na javnost.

# Lokacije za rekuperaciju nutrijenata na PPOV i opcije za njihovu dalju upotrebu



U Programu razvoja cirkularne ekonomije u Republici Srbiji za period 2022-2024. godine navodi se da „u sadašnjem stanju nije moguće ostvariti cirkularnost u korišćenju voda u značajnoj meri“.

Ova izjava proizilazi iz činjenice da veliki broj PPOV radi sa efikasnošću daleko ispod projektovane i da neka od ovih postrojenja nisu u funkciji.

Prvi korak u implementaciji CE u ovom sektoru je **metodološko planiranje i projektovanje** u fazi sanacije postojećih i izgradnje novih objekata kako bi se identifikovala i primenila najodrživija rešenja u ovom kontekstu.



## Mogućnosti primene odabranih tehnologija u kontekstu cirkularne ekonomije, Republika Srbija

**Samo 10% funkcionalnih PPOV**

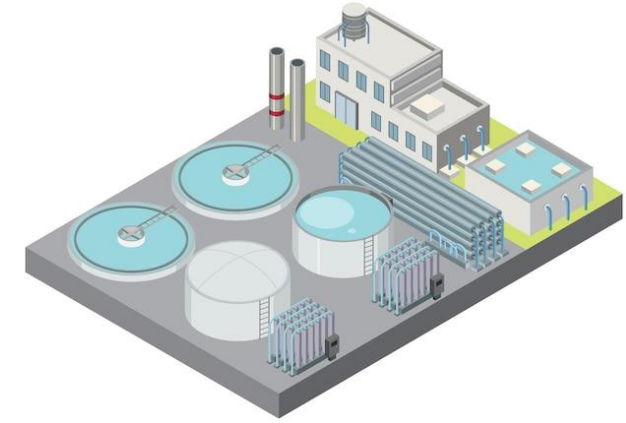
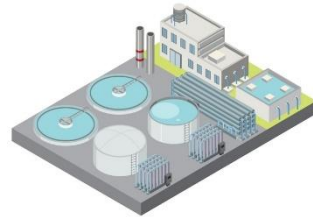
**Pogramom upravljanja muljem u Republici Srbiji za period 2023-2032** godine definisane su tehnologije prečišćavanja otpadnih voda i metode tretmana i odlaganja mulja prema očekivanom kapacitetu samog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda.

Prema Specifičnom planu za primenu **Direktive 91/271/EC** o prečišćavanju komunalnih otpadnih voda u Republici Srbiji biće u funkciji **359** postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, podeljenih prema kapacitetu u tri kategorije.

**15 000 tSM/god >>>> 135 000 tSM/god**



# Pregled planiranih tehnologija tretmana otpadnih voda i digestije mulja u Republici Srbiji



2 000-10 000 ES

10 000-100 000 ES

> 100 000 ES

1 500 000 ES

**274**

**74**

**11**

**PPOV Veliko Selo**

Konvencionalni postupak produžene aeracije, sekvencijalni šaržni reaktor (SBR) sa produženom aeracijom, ili biodisk sa primarnim taložnikom i odvojenom anaerobnom digestijom u psihrofilnim uslovima (12-15°C).

Proces aktivnog mulja sa biološkim uklanjanjem nutrijenata i u zavisnosti od kapaciteta aerobnom ili anaerobnom stabilizacijom mulja.

Konvencionalni proces aktivnog mulja sa biološkim uklanjanjem nutrijenata i anaerobnom digestijom mulja.

Tehnološki savremeno rešenje, bazirano na principima optimizacije proizvodnje biogasa (mezofilna anaerobna digestija ugušćenog mulja (gravitaciono ugušćenog primarnog i mehanički ugušćenog viška aktivnog mulja), proces hidrotermalne karbonizacije).

Produžena aeracija sa simultanom stabilizacijom mulja ili odvojenom aerobnom stabilizacijom.

≤ 50 000 ES

≤ 100 000 ES

≤ 150 000 ES

≤ 250 000 ES



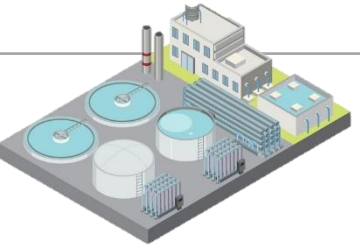
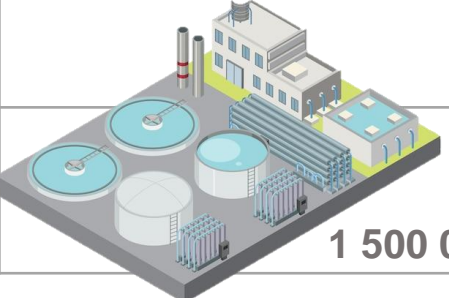
Jednostepena anaerobna digestija sa kogeneracijom gde god je to isplativo.

Jednostepena anaerobna digestija sa kogeneracijom.

Jednostepena anaerobna digestija sa dezintegracijom mulja i kombinovanim uređajem za proizvodnju toplotne i električne energije i hlađenje (CHP).

Visoko efikasna anaerobna digestija sa dezintegracijom mulja i CHP (hlađenje, grejanje i električna energija).

Visoko efikasna anaerobna digestija sa dezintegracijom mulja i CHP (hlađenje, grejanje i električna energija).

Postrojenja za tretman otpadnih voda	Dodatni tretman mulja	Odlaganje u centre za tretman mulja/Regionalne centre za upravljanje muljem	Konačno odlaganje
 <p>2 000-10 000 ES</p>	<p>Humifikacija na tršćanim poljima;</p> <p>Skladištenje za servisno obezvodnjavanje.</p>	<p>Humus nakon 10 godina.</p> <p>Muljni kolač</p>	<p>Primena na zemljište</p> <p>Transport do centra za tretman mulja.</p>
 <p>10 000-100 000 ES</p>	<p>≤ 50 000</p> <p>Obezvodnjavanje mulja; solarno sušenje.</p> <p>≤ 100 000</p> <p>Solarno sušenje ili termičko sušenje; Obezvodnjavanje mulja.</p>	<p>Transport granula ili muljnog kolača</p> <p>Transport granula ili muljnog kolača</p>	<p>Primena na zemljište</p> <p>Odlaganje na monodeponije</p> <p>Transport do centra za tretman mulja.</p> <p>Odlaganje na monodeponije</p> <p>Transport do centra za tretman mulja.</p>
 <p>&gt; 100 000 ES</p>	<p>≤ 150 000</p> <p>Solarno sušenje ili termičko sušenje; Obezvodnjavanje mulja.</p> <p>≤ 250 000</p> <p>Termičko sušenje.</p>	<p>Transport granula ili muljnog kolača</p> <p>Transport granula</p>	<p>Odlaganje na monodeponije ili transport u Regionalni centar za upravljanje muljem na spaljivanje (monoinsineracija).</p> <p>Odlaganje na monodeponije ili transport do regionalnog centra za upravljanje muljem na monoinsineraciju.</p>
 <p>1 500 000 ES</p>	<p>≥ 250 000</p> <p>Monoinsineracija</p>	<p>Transport granula</p>	<p>Odlaganje na monodeponije</p>

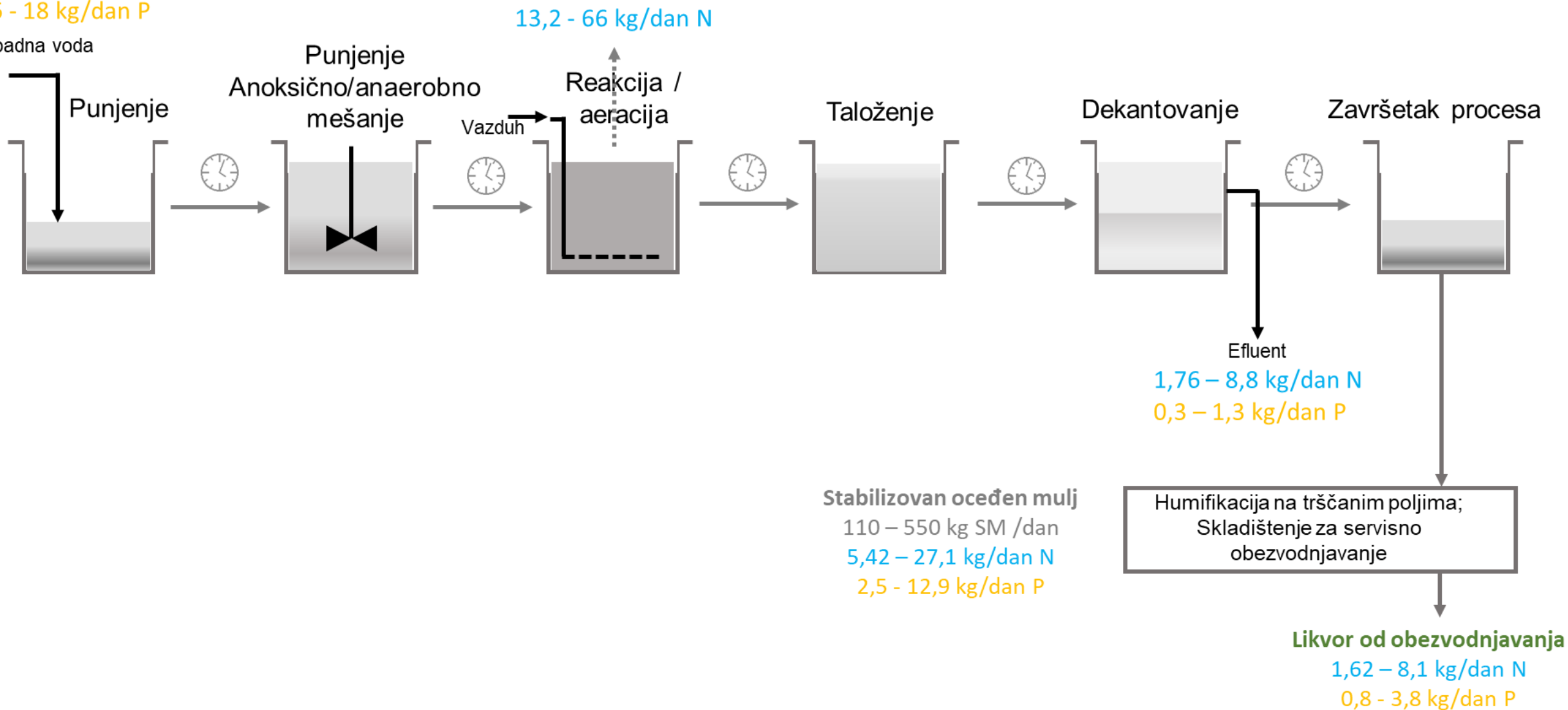
# Materijalni bilans fosfora i azota za postrojenja kapaciteta 2.000 - 10.000 ES



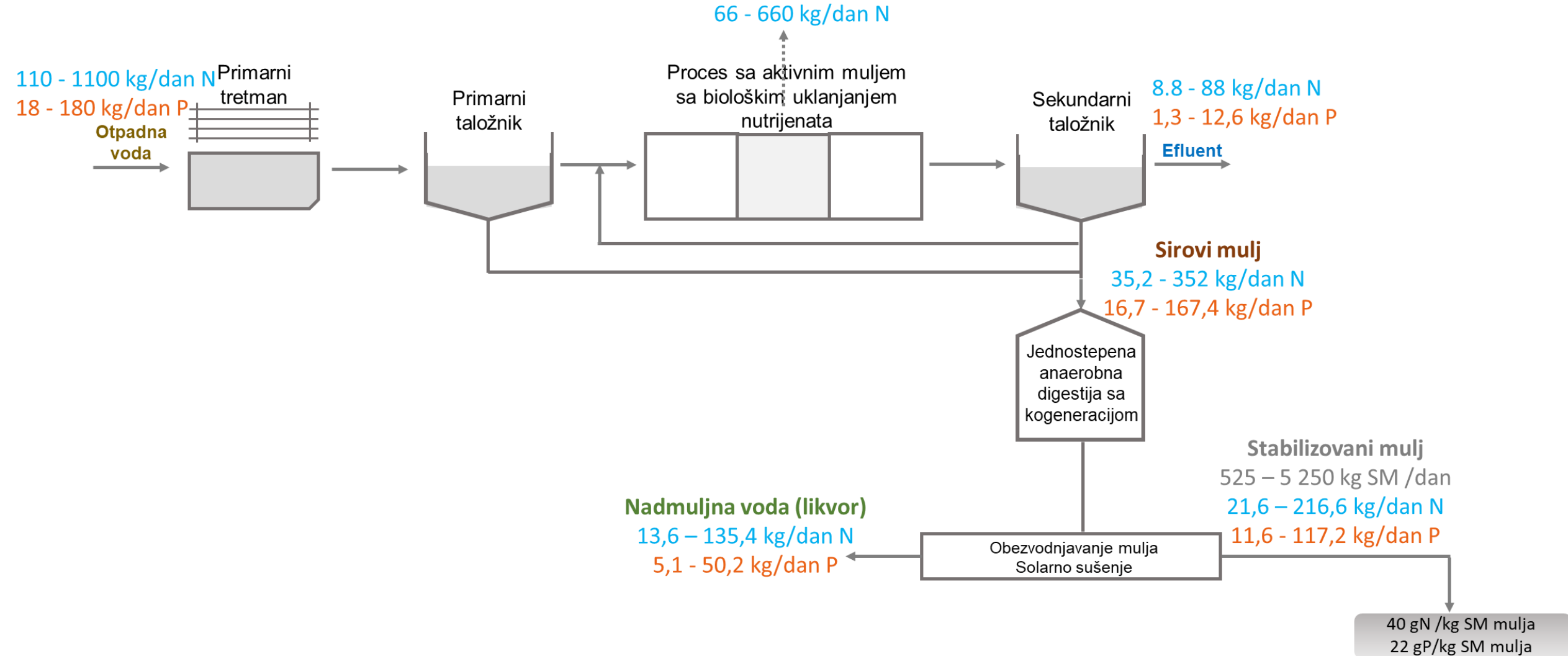
22 - 110 kg/dan N

3,6 - 18 kg/dan P

Otpadna voda



# Materijalni bilans fosfora i azota za postrojenja kapaciteta 10,000 - 100,000 ES





Količina nutrijenata koja će se naći u stabilizovanom mulju u određenom procentu zavisi od **načina stabilizacije mulja**, odnosno da li je aerobni ili anaerobni.

Prema planu, najveći broj ES će biti pokriven anaerobnim tretmanom.

**Stabilizovani mulj sadrži približno 1-6% azota i fosfora po jedinici suve mase.**

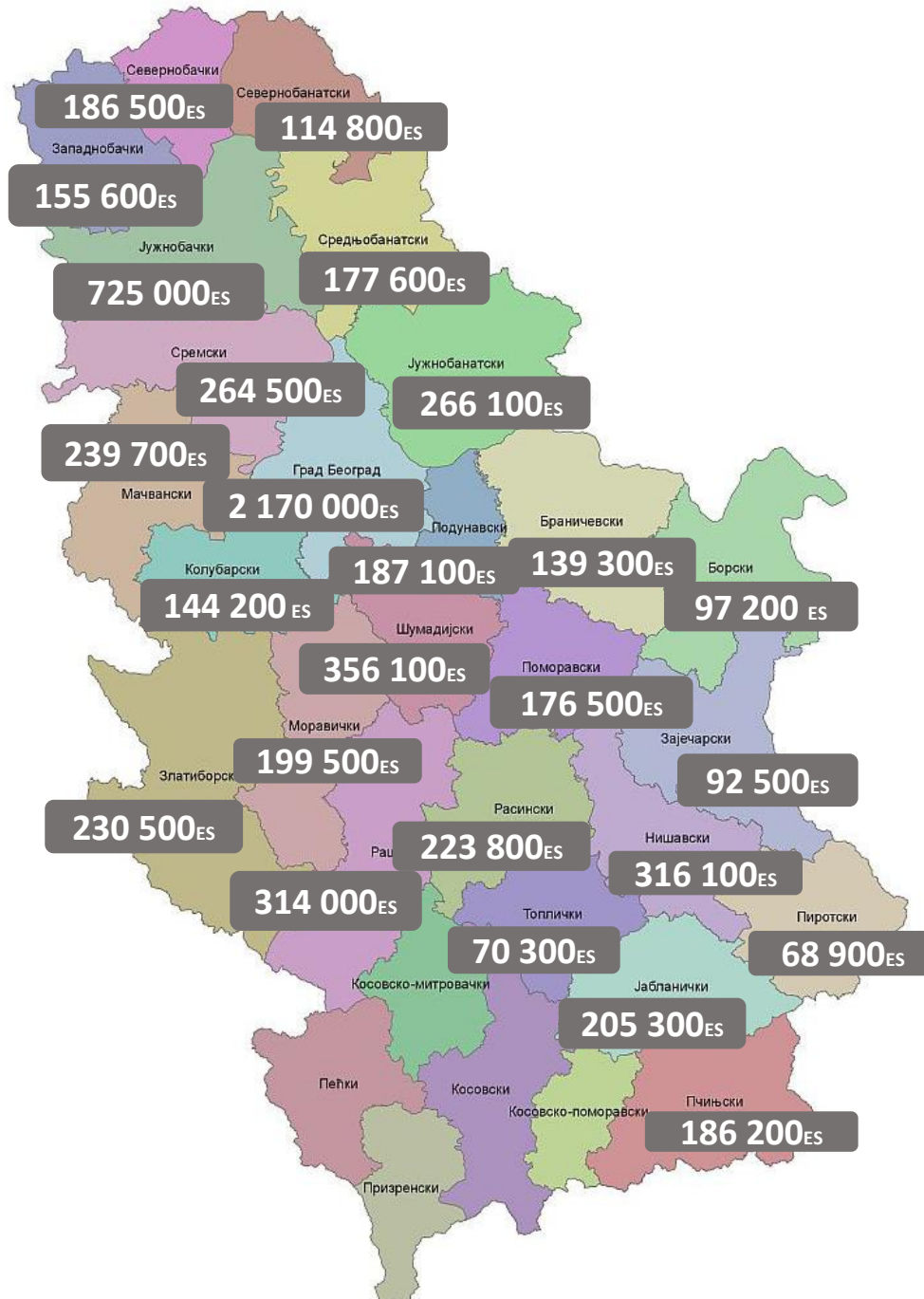
U skladu sa ovim podacima predviđena je proizvodnja suve materije mulja, potencijalni sadržaj azota i fosfora (izračunati prema prosečnoj vrednosti procenta hranljivih materija u mulju).

**Procenat fosfora u mulju može se dodatno povećati uključivanjem hemijskog taloženja, pri čemu je uobičajena praksa dodavanje prvenstveno gvožđe hlorida ili drugih soli.**

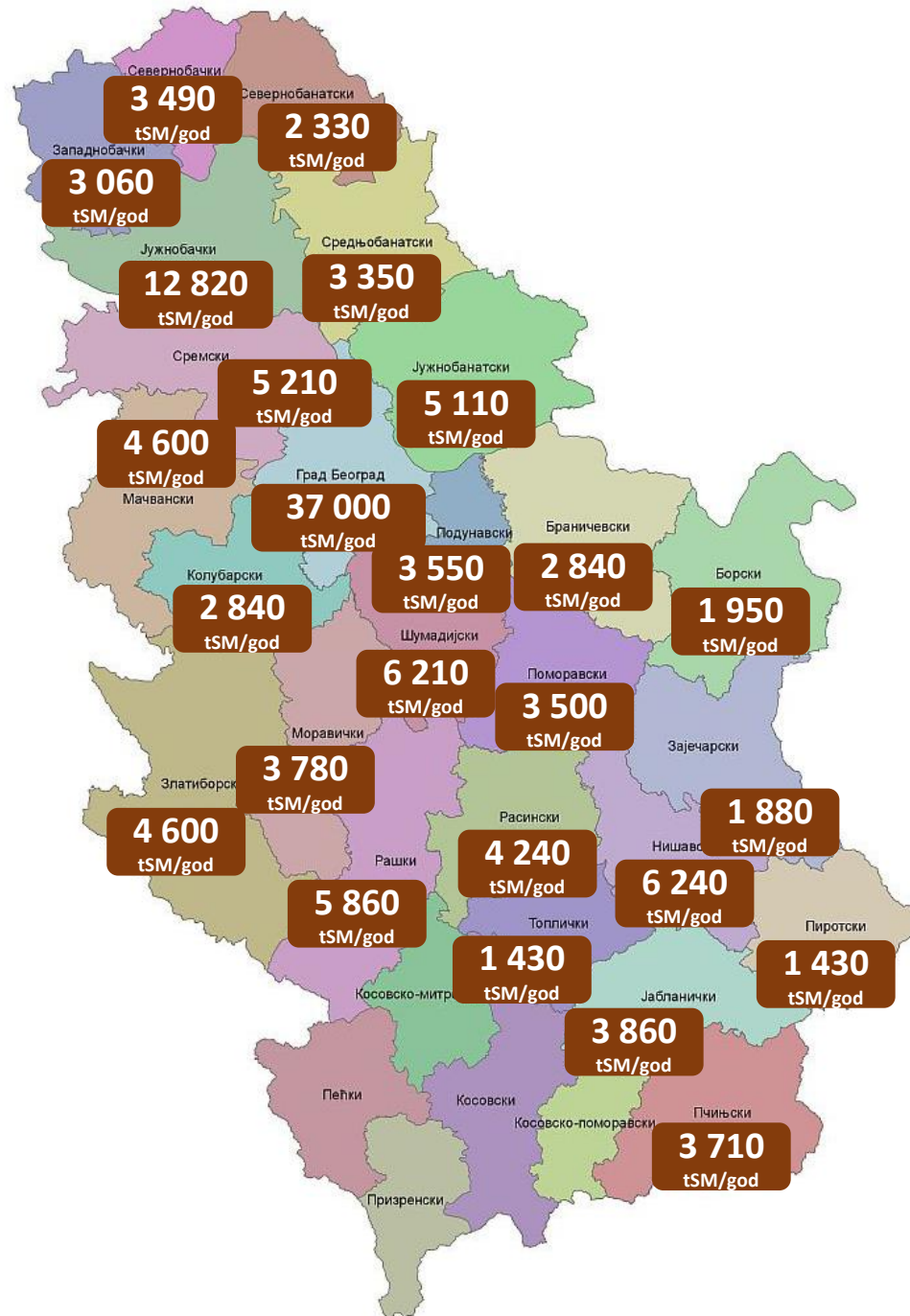
U tehnološkoj šemi, dopuna se može izvršiti na više lokacija.

Ovaj postupak se obično izvodi ako procenat uklanjanja fosfora u liniji vode biološkim putem nije dovoljno efikasan.

**Godišnja proizvodnja suve materije mulja i predviđeni  
sadržaj nutrijenata (izražen u tonama suve materije  
godišnje) po administrativnom okrugu**



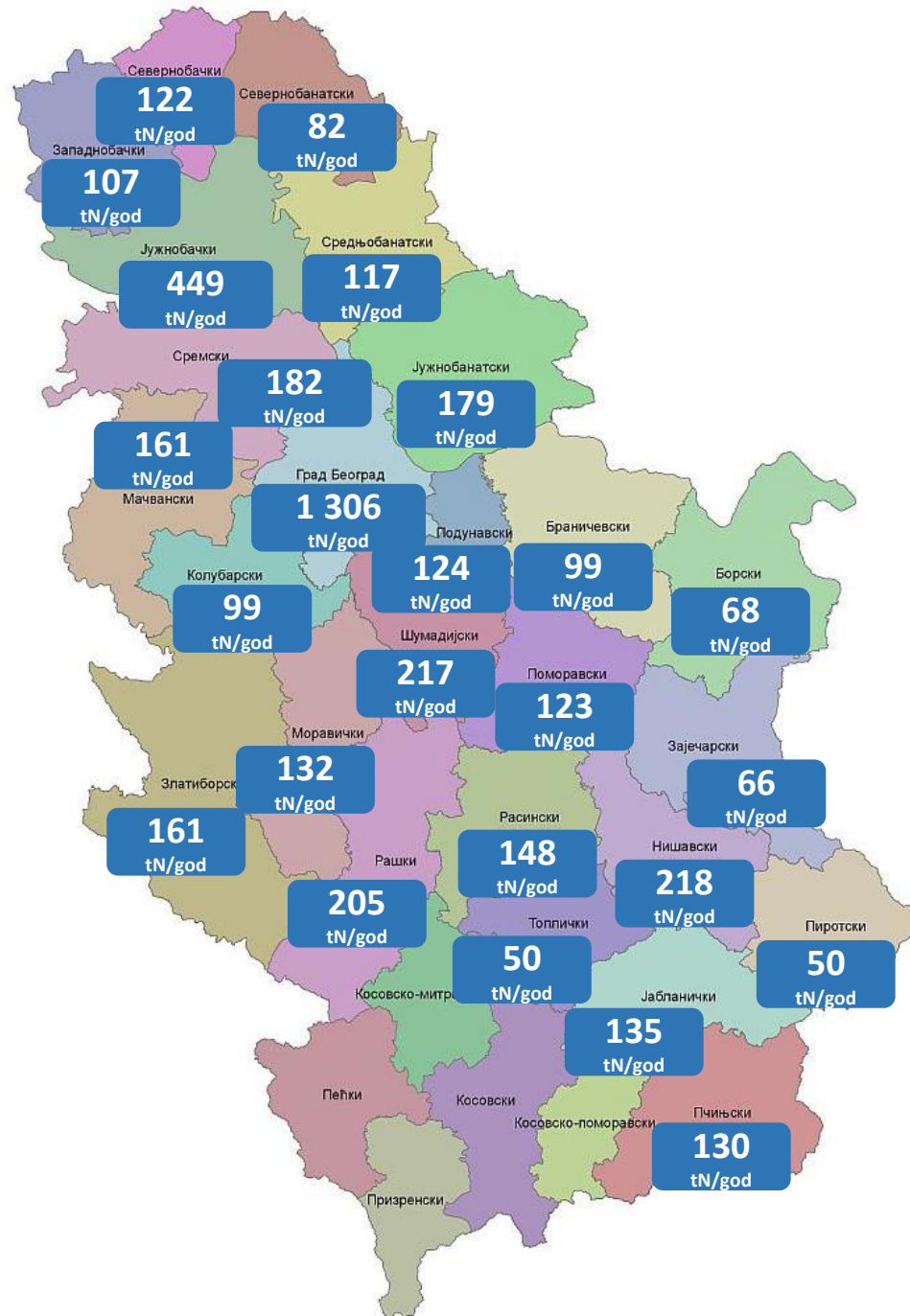
**7 307 300**  
ES



**135 190**  
tSM/god

**7 307 300**  
ES

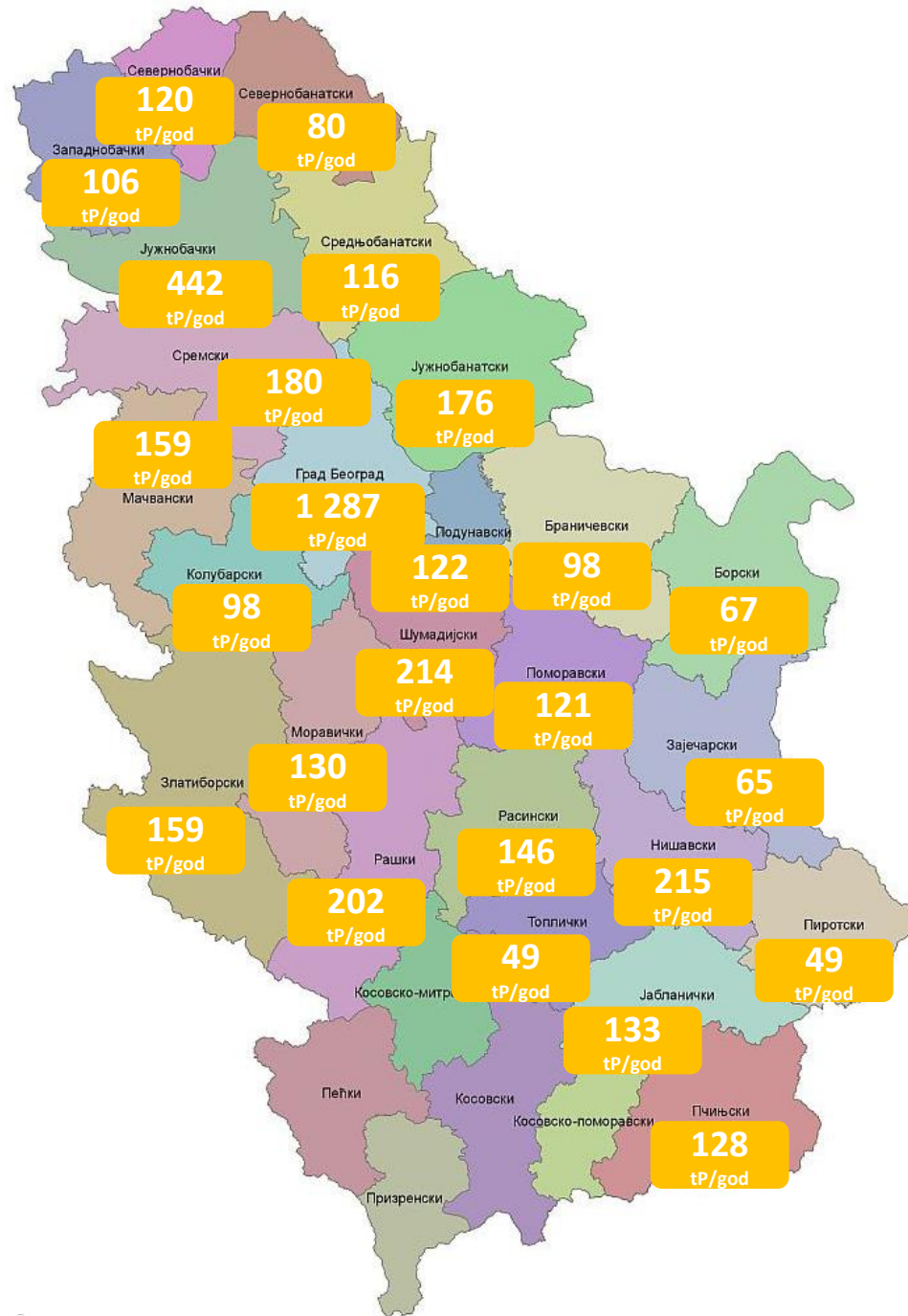




135 190  
tSM/god

4 732  
tN/god

7 307 300  
ES



135 190  
tSM/god

4 732  
tN/god

4 664  
tP/god

7 307 300  
ES

Procenjene vrednosti su važne za sagledavanje mogućnosti i potreba primene mulja u poljoprivredne svrhe.



Imajući u vidu heterogenost u korišćenju zemljišta u Republici Srbiji, podaci su obrađeni po okruzima.

Nakon utvrđivanja potreba biljnih kultura za azotom i fosforom (na taj način se postiže neposredno korišćenje organske materije mulja uz azot i fosfor), može se proceniti potencijal korišćenja mulja u ove svrhe, odnosno u kojoj meri je data potrebe bi bile zadovoljene.

Ovo je dalje veoma važna informacija za PPOV, sadašnje i buduće vlasnike mulja.

Zabrinutost proizilazi iz mogućnosti prisustva različitih teško razgradljivih i potencijalno toksičnih organskih komponenti kao i toksičnih metala.

Ali ove rizike treba sagledati racionalno u odnosu na karakteristike otpadnih voda koje ulaze u postrojenje, kao i kroz efikasnost i vrstu primenjenih tehnologija na postrojenju, što je usko povezano sa kvalitetom izdvojenog mulja.

Kontrolom korisnika kanalizacionog sistema i optimizacijom rada PPOV, ovi rizici se mogu svesti na minimum.



**ПОПИС**  
ПОЉОПРИВРЕДЕ 2023.



Procena mogućnosti upotrebe mulja na  
poljoprivrednim površinama u Republici Srbiji



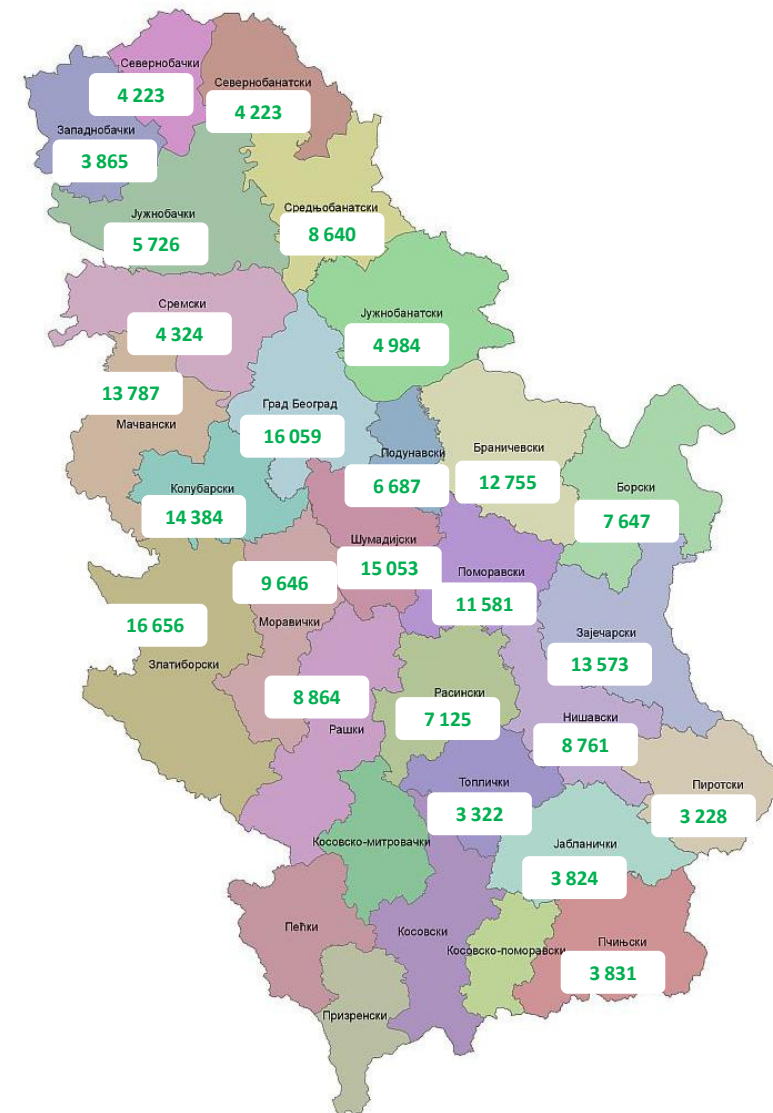
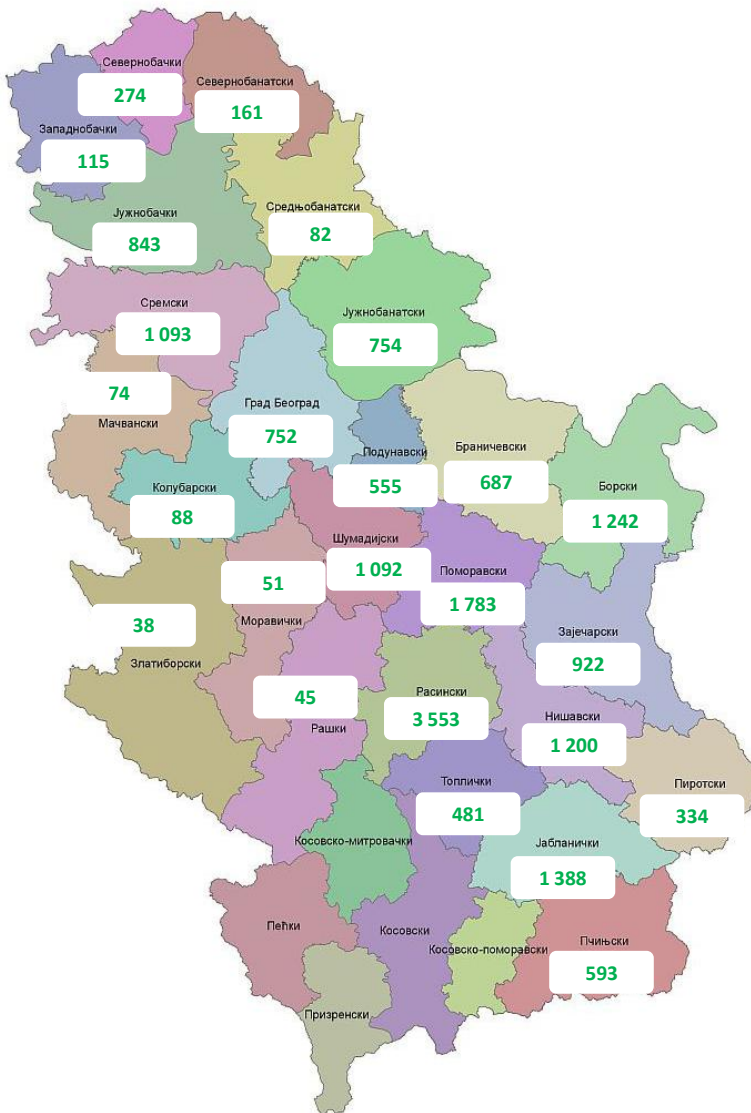
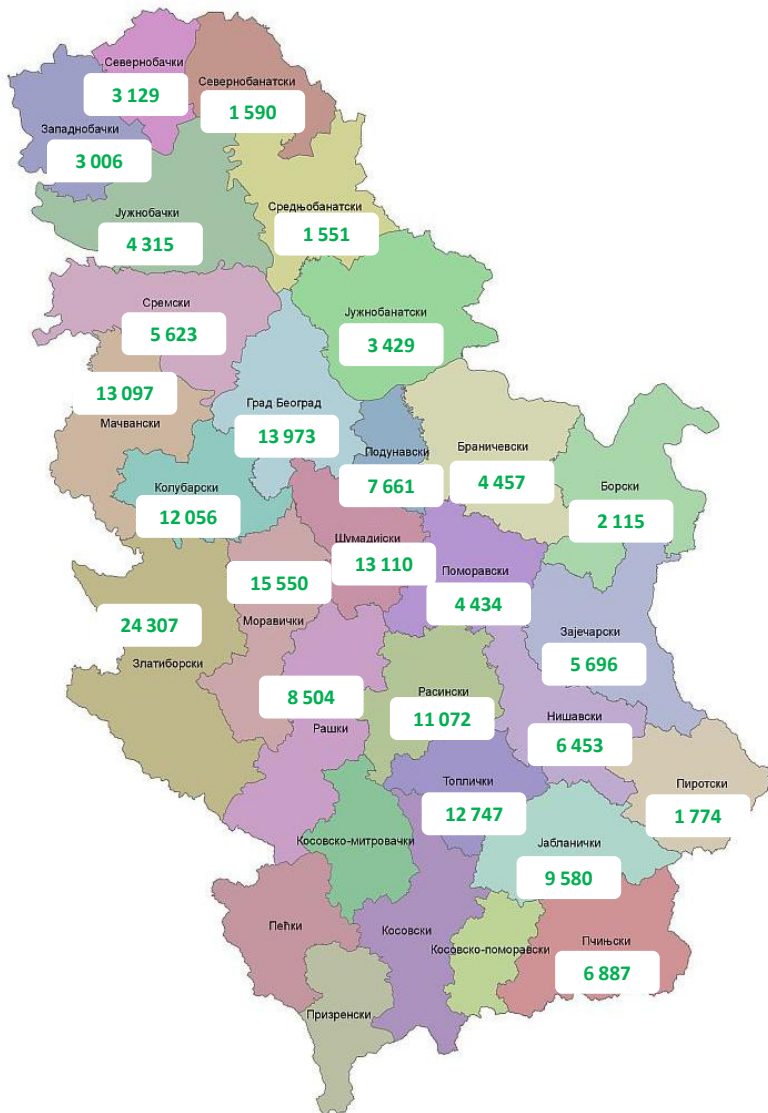
196 129 ha

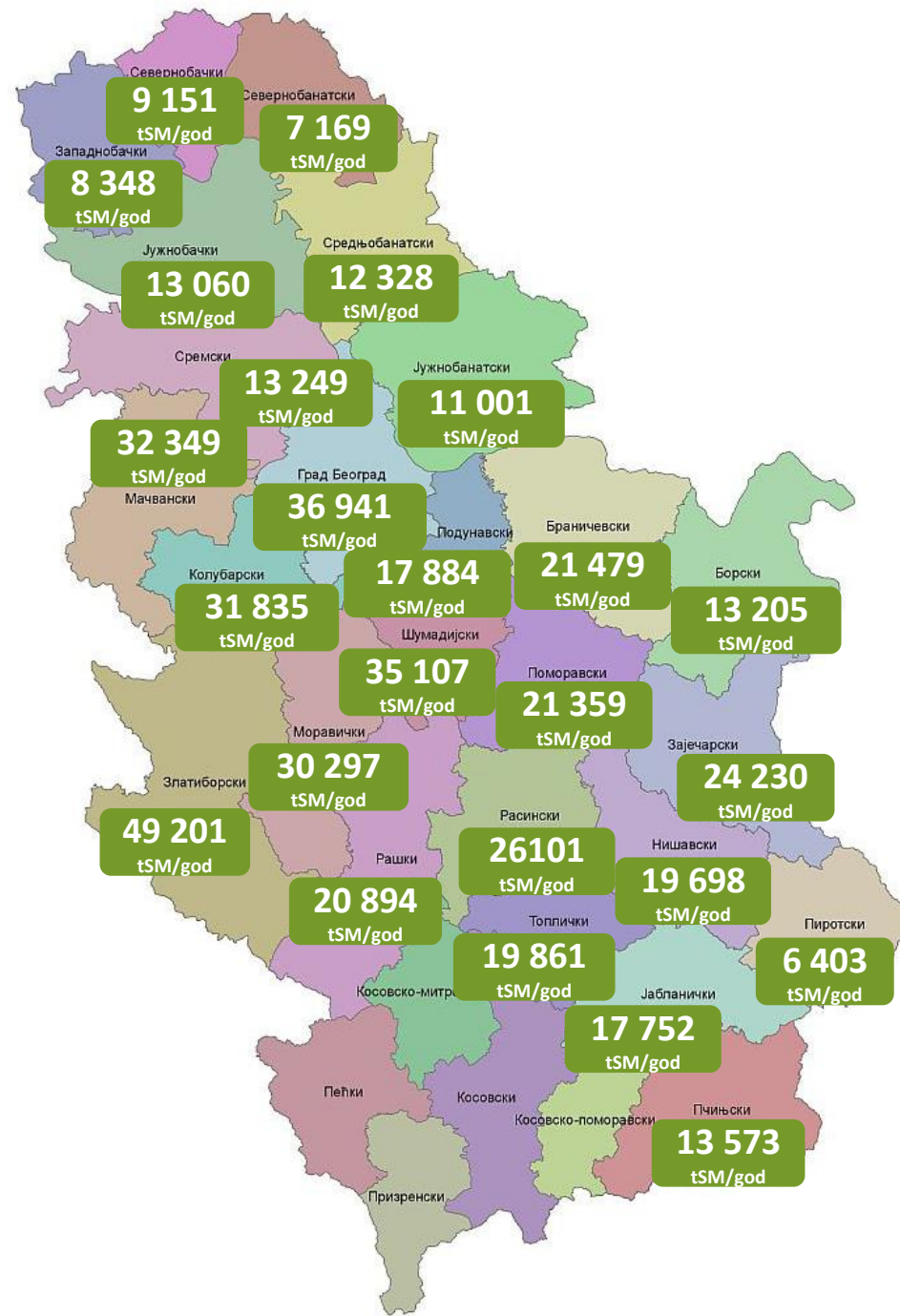
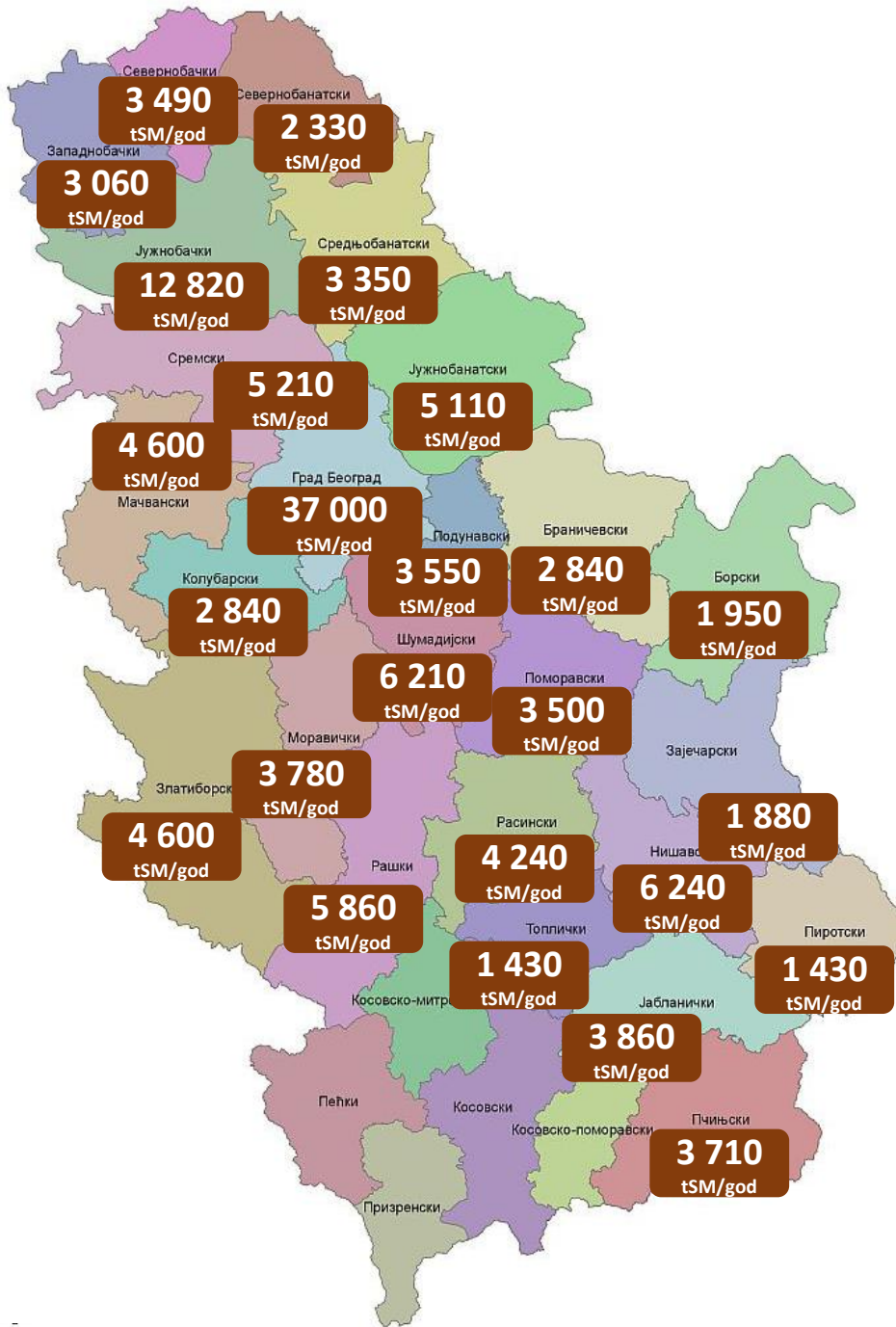


18 201 ha



212 773 ha

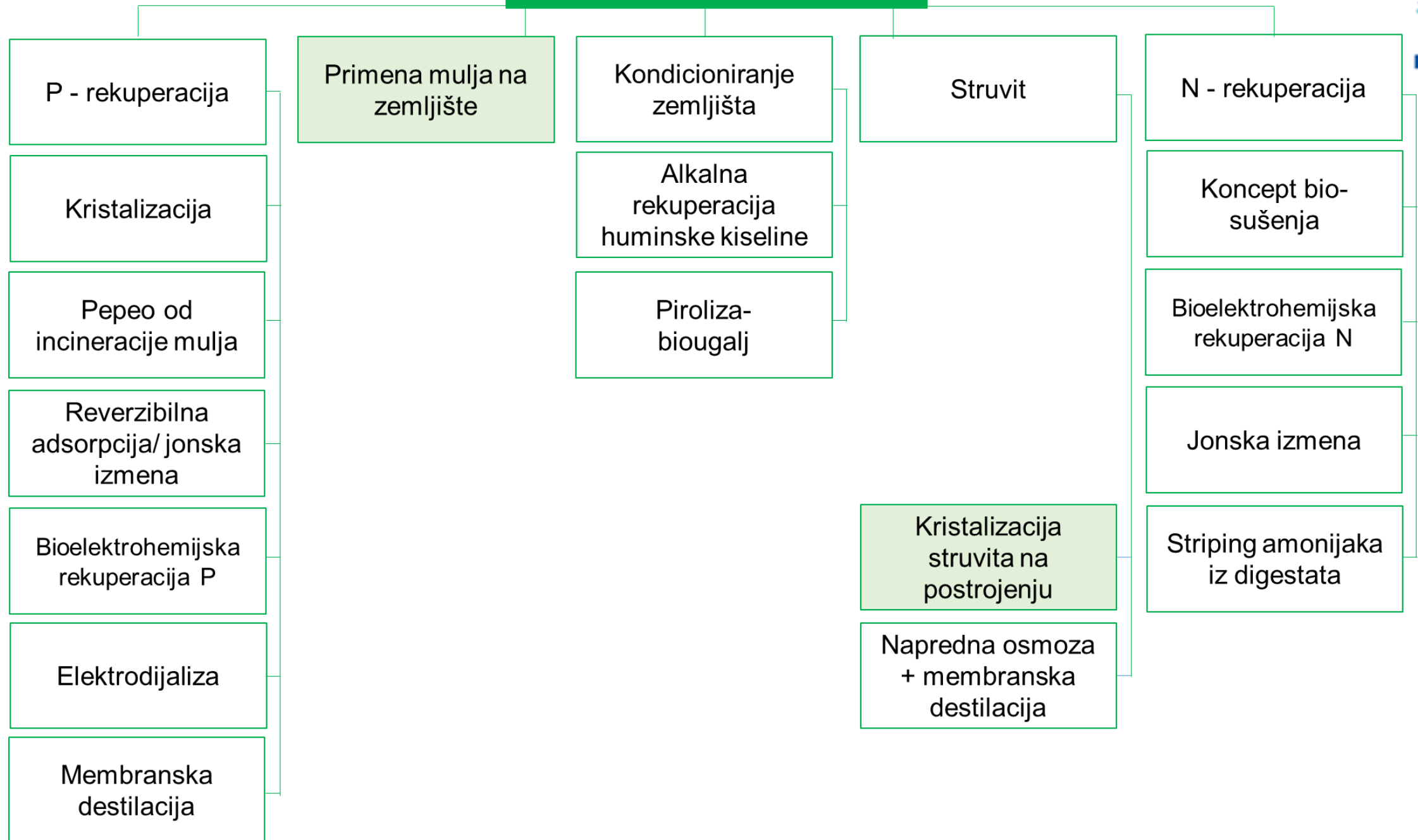




135 190  
tSM/god

512 524  
tSM/god

# REKUPERACIJA NUTRIJENATA



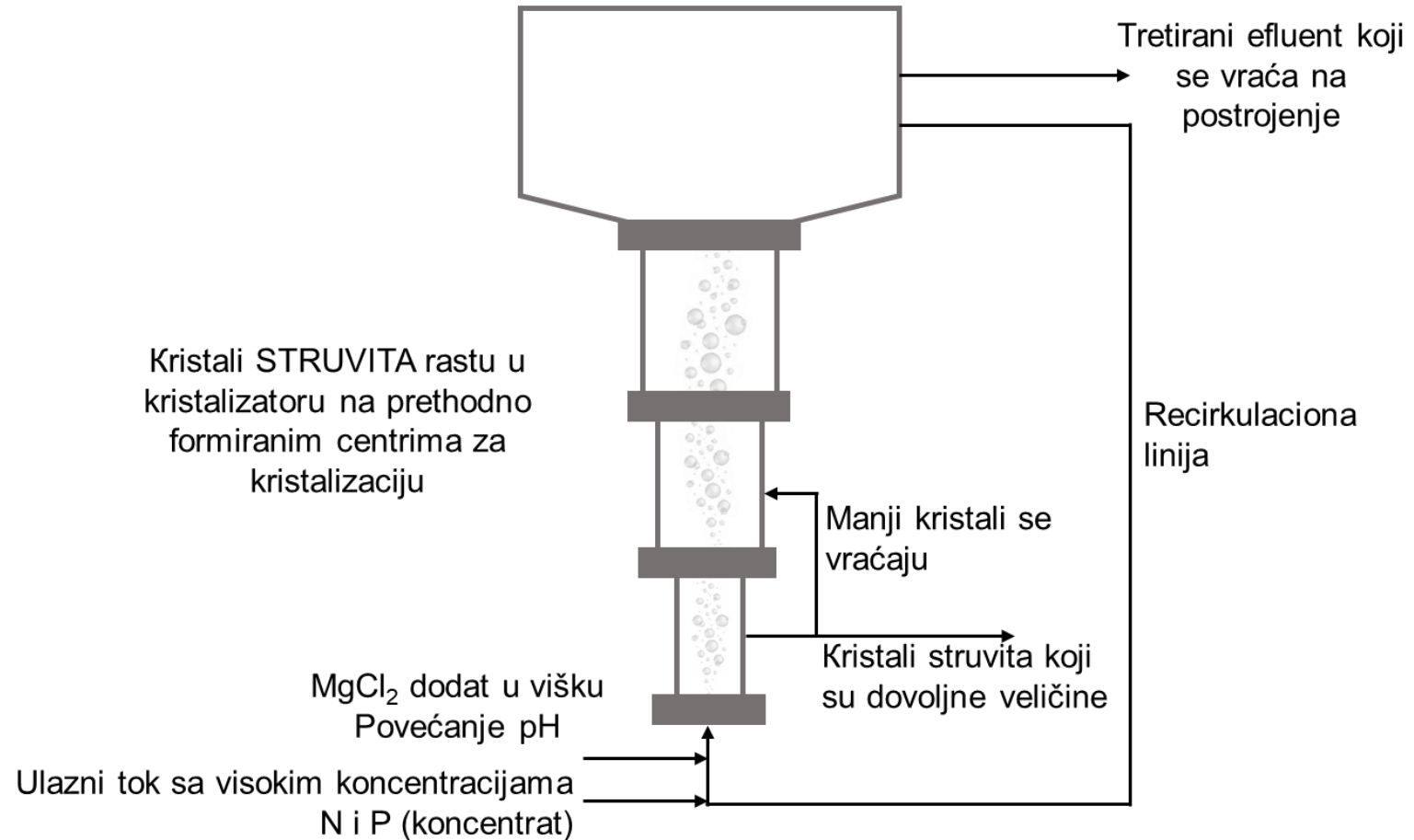
## PPOV $\geq 100\ 000$ ES

Prema materijalnom bilansu nutrijenata, značajna količina njih će biti u vodi koja nastaje nakon odvodnjavanja mulja.

Uobičajena praksa je da se ovi tokovi vrate na ulaz u postrojenje.

Sa aspekta oporavka resursa, opcija prema Programu je formiranje STRUVITA (magnezijum amonijum fosfat,  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) iz ovog toka.

Najčešće se to radi ugradnjom dodatnog reaktora, obično reaktora sa fluidizovanim slojem sa tokom na gore.

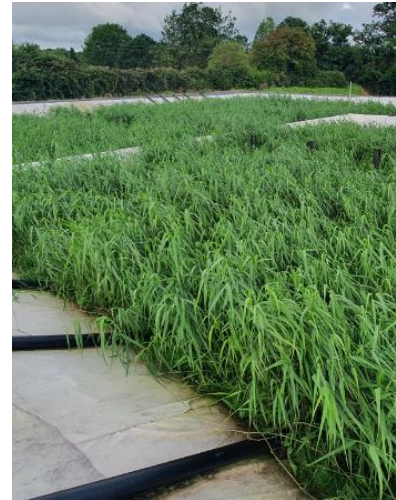




Konačno odlaganje mulja prema Programu obuhvata, pored **potencijalnog korišćenja u poljoprivredne svrhe, odlaganje na zemljištu (humifikacija na poljima trske)** i monoineraciju mulja za kasnije mogućnosti ekstrakcije fosfora.

## HUMIFIKACIJA

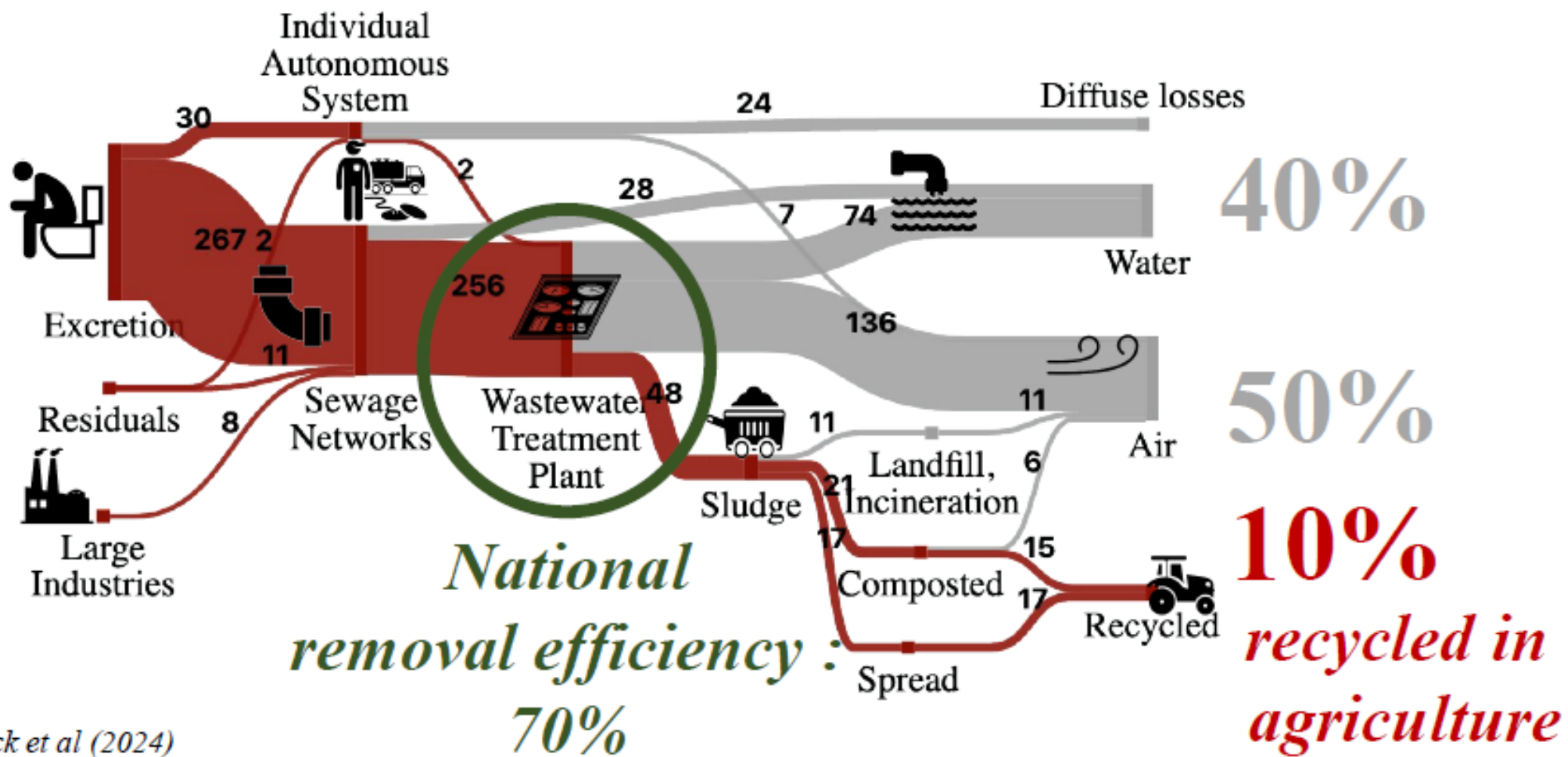
- Ova vrsta tretmana mulja je favorizovana širom sveta kako bi se smanjili troškovi odvodnjavanja mulja kako sa tehničkog aspekta tako i sa aspekta upotrebe hemikalija.
- Tokom humifikacije na poljima trske, organska materija mulja se relativno brzo mineralizuje (dani, nedelje), dok se stabilne frakcije poput poliaromatičnih ugljovodonika, lignina i dr. razlažu mnogo sporije (godine).
- Ukupna mineralizacija tokom perioda lečenja je između 10 i 27%.
- Sadržaj azota se obično smanjuje zbog mikrobioloških procesa.
- Fosfor stupa u interakciju sa gvožđem i drugim sastojcima mulja i ostaje vezan u matriksu mulja.
- Kod ovakvog tretmana mora se naglasiti da je poznavanje i pažljivo održavanje ovakvih sistema od ključnog značaja.



**Iz perspektive cirkularne ekonomije, s obzirom da je period eksploatacije polja trske 10 godina, zaključuje se da će nutrijenti biti „zarobljeni“ u ovom periodu, odnosno nedostupni za primenu na poljoprivredno zemljište, istovremeno uz rizik smanjenja njihovog sadržaja u ovom periodu. Sa aspekta CE, neophodno je uraditi analizu troškova i koristi kako bi se adekvatno procenila odluka za ovakva rešenja.**

**CIRKULARNOST**  $\neq$  **EFIKASNOST UKLANJANJA**

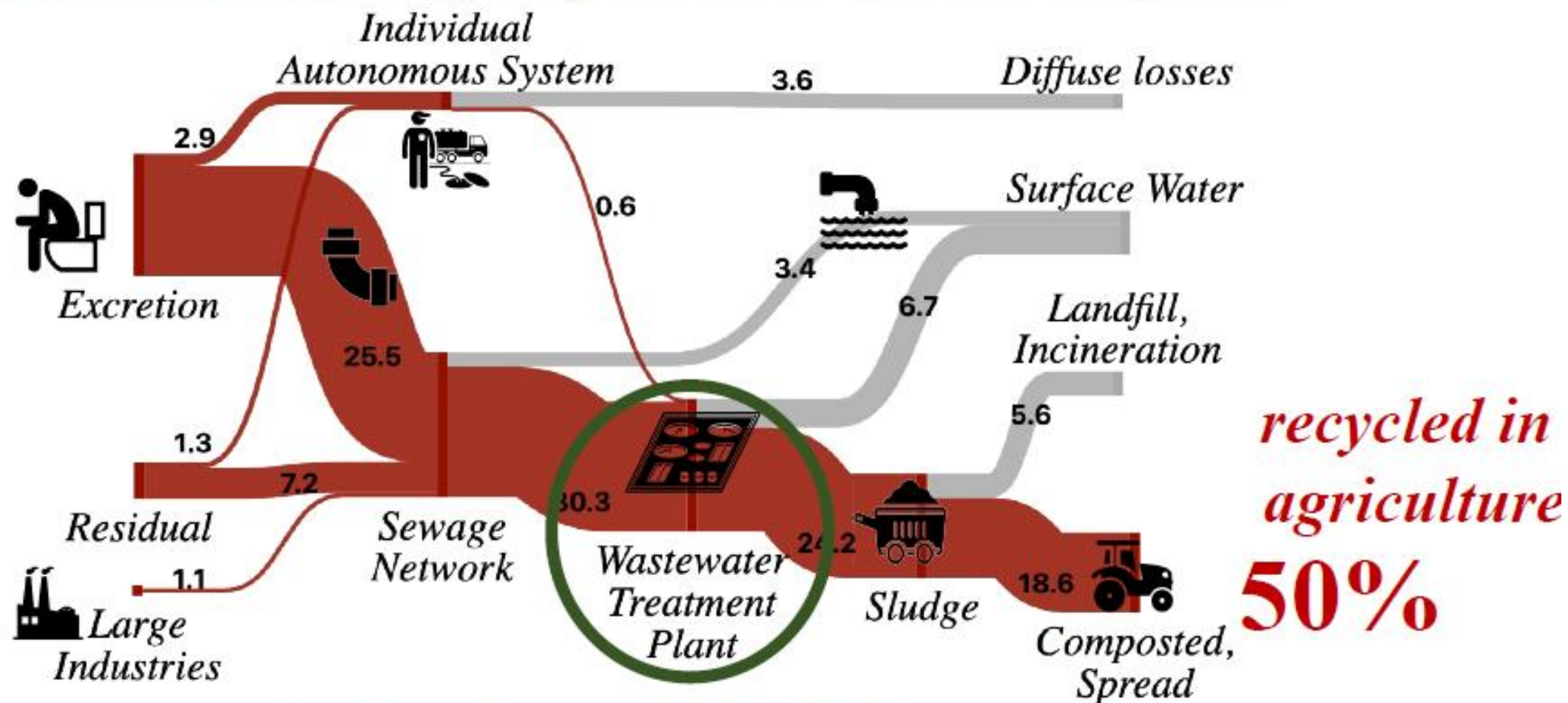
# Nitrogen budget of French sanitation system



Starck et al (2024)

**Energija**

# Phosphorus budget of French sanitation system



**National removal efficiency: 80%**

Starck et al (2023)

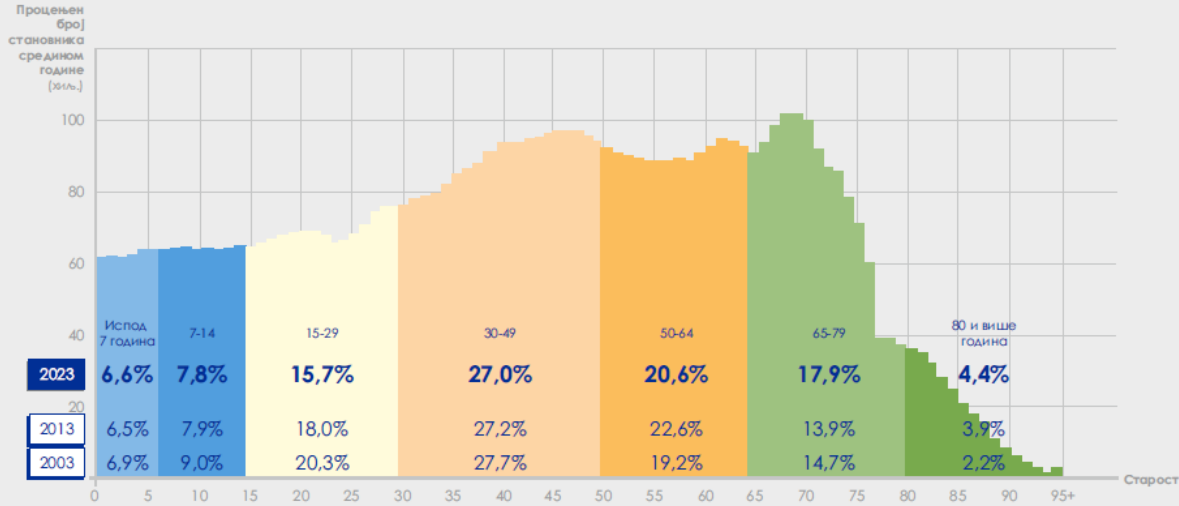


Република Србија<sup>1</sup>

# 6 605 168

Процењен број становника, 01.01.2024.

	ОЧЕКИВАНО ТРАЈАЊЕ ЖИВОТА		ПРОСЕЧНА СТАРОСТ
2023	73,9	78,7	43,9
2013	72,4	77,6	42,4
2003	69,9	75,1	40,3



	ЖИВОРОЂЕНИ	УМРАИ	ПРИРОДНИ ПРИРАСТАЈ	ЗАКЉУЧЕНИ БРАКОВИ	РАЗВЕДЕНИ БРАКОВИ	ПРОСЕЧНА СТАРОСТ МАЈКЕ ПРИ РОЂЕЊУ ПРВОГ ДЕТЕТА	СТОПА УКУПНОГ ФЕРТИЛИТЕТА	
2023	61 052	97 081	-36 029	31 670	10 175	29,0	1,61	2023
2013	65 554	100 300	-34 746	36 209	8 170	27,8	1,43	2013
2003	79 025	103 946	-24 921	41 914	7 938	25,4	1,56	2003

<sup>1</sup> Без података за АП Косово и Метохија

stat.gov.rs

Република Србија  
Републички завод за статистику



30 838  
tN/god

4 822  
tP/god

# HVALA NA PAŽNJI



[www.smartwatertwin.pmf.uns.ac.rs](http://www.smartwatertwin.pmf.uns.ac.rs)

[smartwatertwin@pmf.uns.ac.rs](mailto:smartwatertwin@pmf.uns.ac.rs)



Smart Water Twin HEProject



Funded by  
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Research Executive Agency (REA). Neither European Union nor the granting authority can be held responsible for them. Grant Agreement: Twinning for Smart Water - Thinking and Rethinking Wastewater Management in Circular Economy Frame, No 101060110.