

# FAKTORI UTICAJA NA PROIZVODNJU BIOGASA IZ ANAEROBNE DIGESTIJE MULJA

**dr Dejan Krčmar**

*Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet  
Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine*



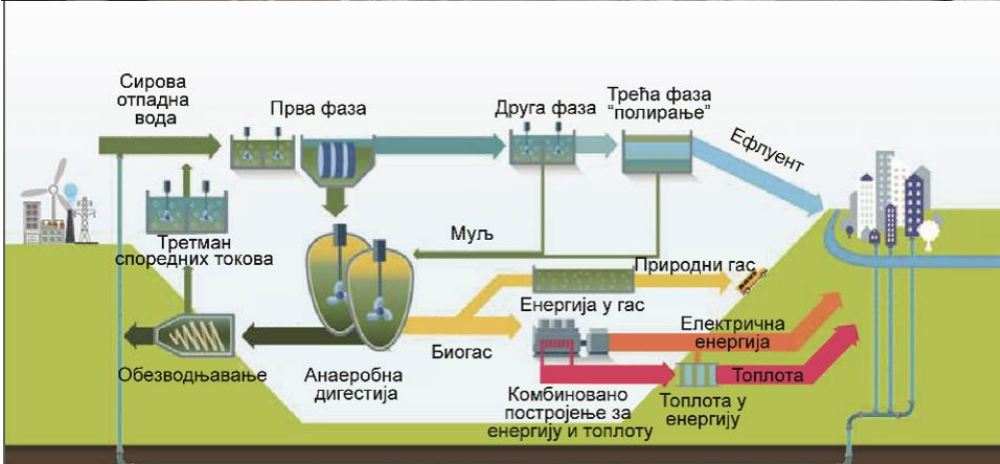
**SmartWater Summer FORUM**

18-20. Septembar 2024. Novi Sad



- Klimatske promene predstavljaju jedan od **najvećih izazova današnjice**

- **Tretman otpadnih voda** danas zahteva **fundamentalno drugačiji pristup** u odnosu na tradicionalni



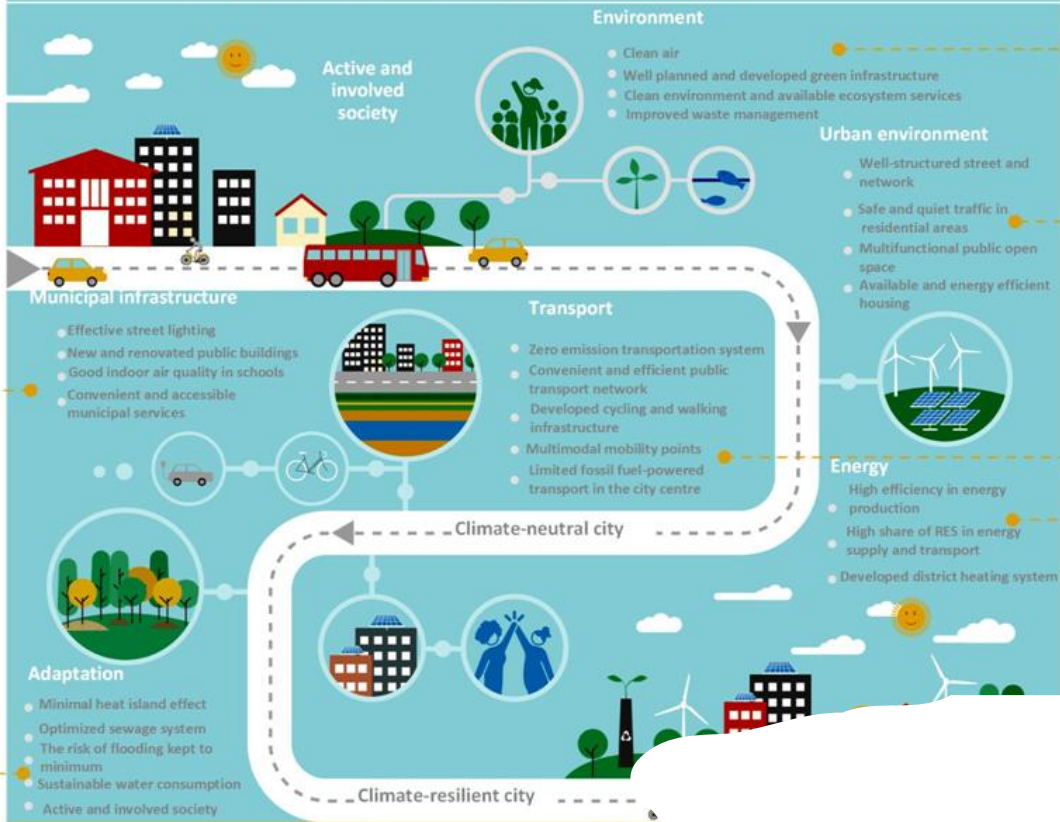
- U PPOV se prepoznaju i koriste resursi poput hranljivih materija, energije i same vode za poljoprivredu, industriju i piće.

- **Energetski samoodrživa postrojenja** za prečišćavanje otpadnih voda postaju sve značajnija kako bi se smanjili operativni troškovi, potrošnja energije i postigla neutralnost ugljenika

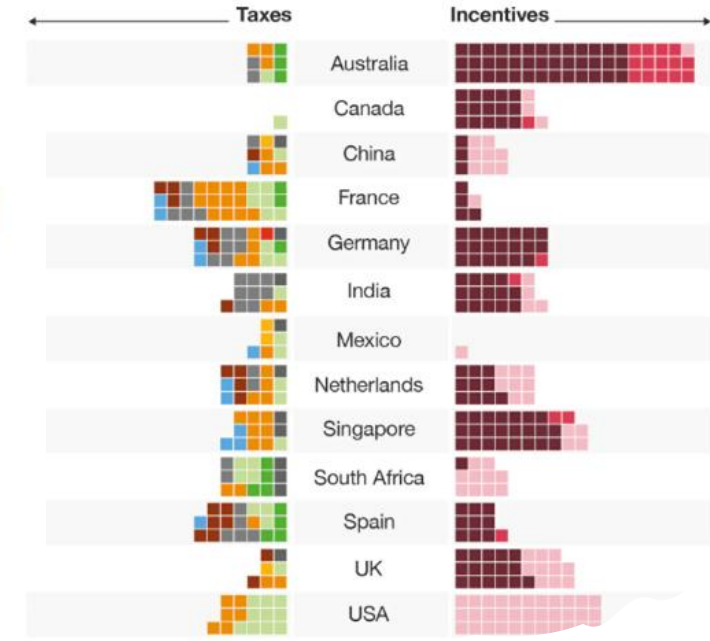


- **Otpadne vode** su ključna komponenta **neksusa voda-energija**.

# Riga: Climate-Neutral City

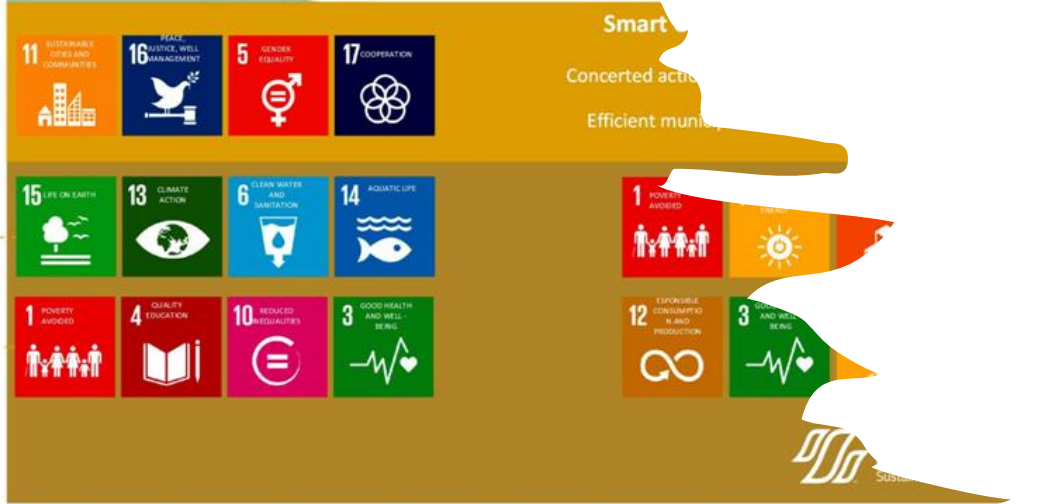


- Selected countries
- Carbon / emissions taxes
  - Environmental / ecological taxes
  - Environmental excise duties
  - Fuel taxes
  - Mobility / transport taxes
  - Taxes on natural resources
  - Other taxes
  - Renewable energy taxes
  - Waste taxes
  - Water taxes
  - Cash grants
  - Soft loans
  - Tax incentives



SECAP (Strategic Energy and Climate Action Plan)

ESG (Environmental, Social, and Governance)



**Kapacitet PPOV je 20.000 ES**

Specifična potrošnja energije trebalo da se kreće između **20 i 45 kWh po ES godišnje**.

**SPECIFIČNA GODIŠNJA POTROŠNJA: 735.5 MWh**

**UKUPNA GODIŠNJA EMISIJA CO2 (na osnovu utroška energije za PPOV): 558.96 t**

**Povratna energija** iz anaerobnog tretmana može se proceniti na **5.077 kJ/m<sup>3</sup>**, što je ekvivalentno **0,49 kWh/m<sup>3</sup>** električne energije (efikasnost konverzije hemijske u električnu energiju 35%).

**PRORAČUN POVRATA ENERGIJE:**

$20.000 \times 0.15 \text{ m}^3 \times 0.49 \text{ kWh/m}^3 = 1470 \text{ kWh na dan tj. } 536.5 \text{ MWh}$

**SMANJENJE GODIŠNJE EMISIJE CO2: 407.74 t**

Povećanje stope proizvodnje biogasa moguće je primenom novih tehnologija može **dovesti do energetske samoodrživog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV)**. To znači da ovaj PPOV može da generiše 100% ili više svojih energetske potreba samo iz energije ugrađene u vodu i otpad koji tretira bez spoljne energetske dopreme.



**SMANJENJE GODIŠNJE EMISIJE CO2: 100%**

## Jedna od ključnih komponenti za povećanje ponovne upotrebe resursa u PPOV je mulj

**Mulj** je bogat organskim sadržajem, azotom (N) i fosforom (P), ima i značajnu energiju (15–20 MJ/kg za suvi mulj) - **resurs za produkciju energije** i recikliranje hranljivih materija kroz strategiju cirkularne ekonomije

**Anaerobna digestija** je jedan od **najprimenjevijih postupaka sa aktivnim muljem** u kome se organski supstrat prevodi u **biogas** i suspenziju bogatu hranjivim materijama.

Dobijeni **biogas** se često koristi za **proizvodnju energije** (toplote i/ili struje) za korišćenje u samom PPOV postrojenju

Uvođenje anaerobnih tretmana i korišćenje biogasa može pomoći u  **smanjenju ugljeničnog otiska PPOV**, ali je **važno kontrolisati emisije metana** i **optimizovati upravljanje muljem** kako bi se postigli optimalni rezultati u smanjenju emisije gasova sa efektom staklene bašte.



# Фактори који утичу на производњу биогаса

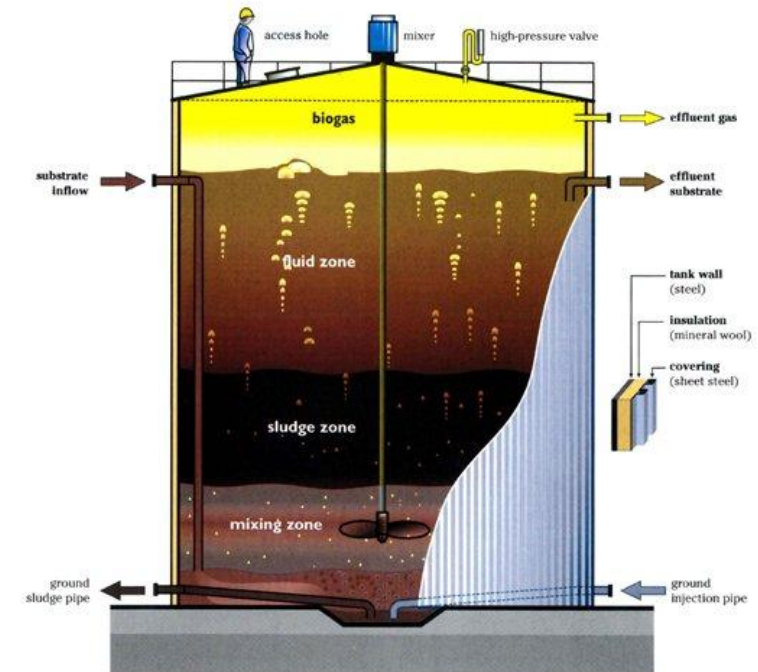
Optimizacije kontrolnih parametara (osnovni faktori):

- ✓ sastav i varijacije prisutnih organskih jedinjenja;
- ✓ dostupnost nutrijenata (N, P, mikronutrijenti);
- ✓ optimalni odnos C/N za proizvodnju biogasa (npr. u jednoj fazi je 15:25)
- ✓ puferski kapacitet - pH;
- ✓ temperatura i varijacija temperature u reaktoru;
- ✓ prisustvo alternativnih elektron akceptora ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , itd.);
- ✓ rizik od formiranja penastog sloja i/ili flotirajućeg sloja;
- ✓ prisustvo toksičnih supstanci.



Drugi faktori (tehnološki/procesni) koji mogu uticati na **efikasnost**, **proizvodnju biogasa**, prinos metana i **smanjivanje troškova odlaganja** digestovanog mulja:

- proces kodigestije;
- tehnika predtretmana;
- biološka metanizacija vodonika (BHM)

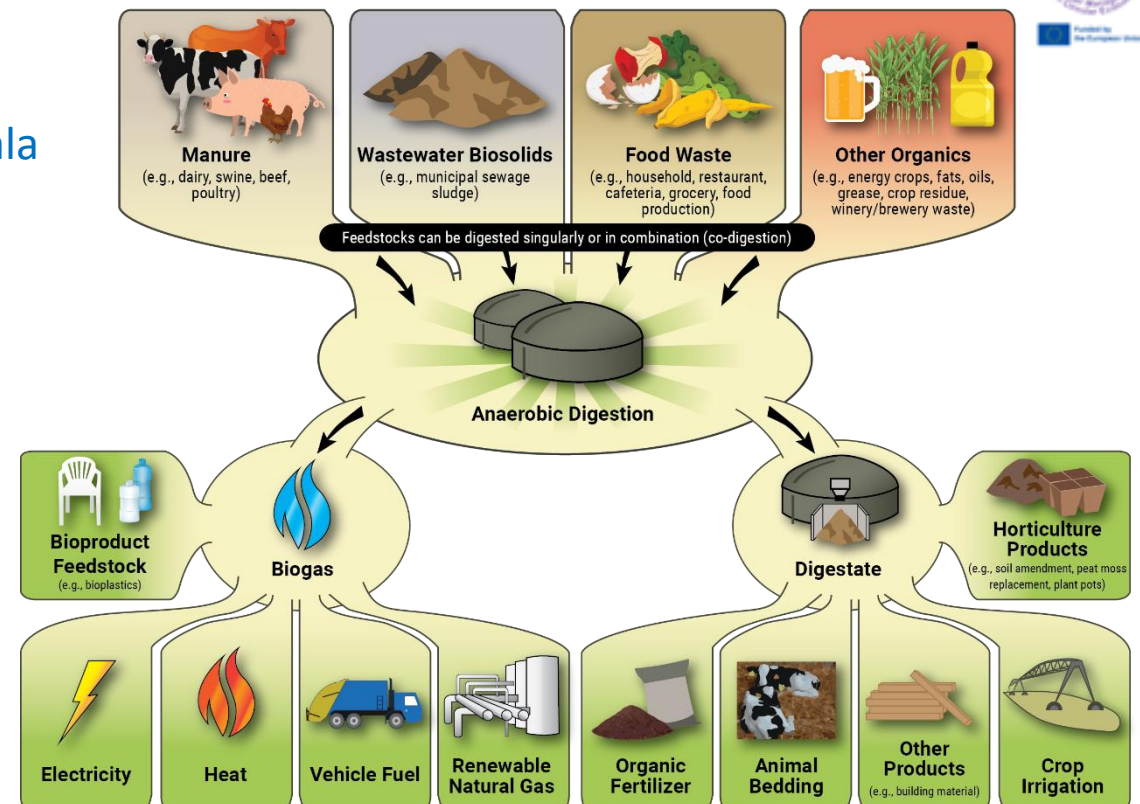


# Kodigestija

- ✓ mešaju dve ili više sirovina - kada je C/N odnos sirovine nizak
- ✓ kanalizacioni, komunalni otpadni mulj karakteriše relativno mala razgradljivost i nizak C/N odnos

Pogodne sirovine koje se mogu kombinovati sa otpadnim muljem uključuju:

- ✓ masti, ulja i masnoće,
- ✓ ostatke hrane i otpad,
- ✓ otpad od prerade hrane/pića/mlečnih proizvoda,
- ✓ organski deo komunalnog otpada,
- ✓ poljoprivredne ostatke, stajnjak,
- ✓ nusproizvode biogoriva i dr.



Kodigestija može povećati proizvodnju biogasa od 25% do 400% u poređenju sa digestijom sa jednom sirovinom

Prosečna proizvodnja biogasa uzimajući u obzir samo mulj je između 0,9 i 1,1 m<sup>3</sup>/dan/m<sup>3</sup> zapremine digestora, dok sa kodigestijom može biti oko 2,5–4,0 m<sup>3</sup>/dan/m<sup>3</sup>

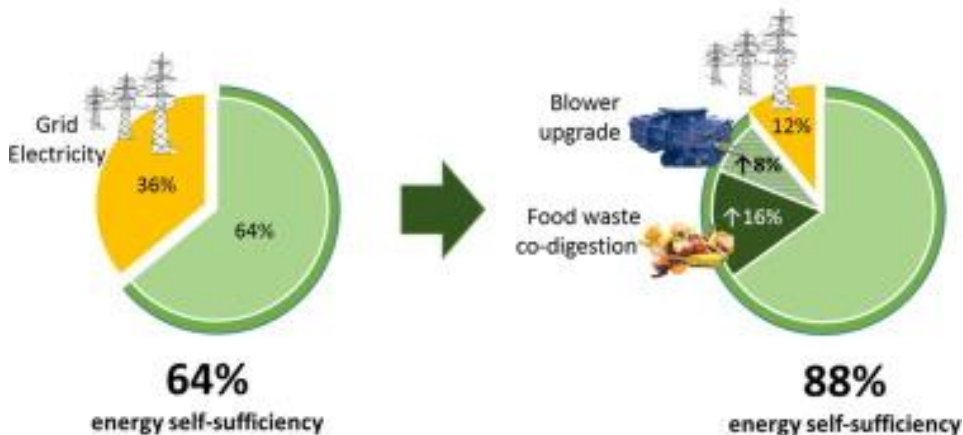


- Predloženo mnogo strategija za poboljšanje energetske samoodrživosti u WWTP, sprovedeno je malo studija slučaja.

### Studija slučaja u punoj skali na WWTP Grüneck

- ✓ **Povećanje energetske samoodrživosti za 24%** (sa 64% na 88%) smanjenjem potrošnje energije kroz **unapređenje aeracije** (povećanje **od 8%**) i povećanjem proizvodnje energije kroz **kodigestiju hrane** (povećanje **od 16%**).
- ✓ Kodigestija hrane sa **dodatnih 20% organskog opterećenja** izazvala je neke **manje negativne posledice** (smanjenu mogućnost dehidratacije, fluktuaciju kvaliteta biogasa i nakupljanje čvrstih materija).
- **Instaliran je solarni sušač** za upravljanje povećanom proizvodnjom stabilisanog mulja koji je proizašao iz kodigestije.
- **Sušač je smanjio troškove transporta stabilisanog mulja za 30%**, uz **min. povećanje ukupne energije** postrojenja (**ispod 2%**).
- ✓ Periodi **povraćaja investicije** za postrojenje **za kodigestiju** bili su **10 meseci**.
- ✓ **Solarni sušač** - period povraćaja od **30 godina**.

### Improved WWTP energy self-sufficiency



Applied Energy  
Volume 242, 15 May 2019, Pages 797-808



Successful strategies for increasing energy self-sufficiency at Grüneck wastewater treatment plant in Germany by food waste co-digestion and improved aeration

C. Macintosh <sup>a</sup>, S. Astals <sup>a</sup>, C. Sembera <sup>b</sup>, A. Ertl <sup>c</sup>, J.E. Drewes <sup>b</sup>, P.D. Jensen <sup>a</sup>, K. Koch <sup>b</sup>  

### KARAKTERIZACIJA BIOHEMIJSKIH PARAMETARA I SINERGIJSKIH EFEKATA KODIGESTIJE PRIMARNOG MULJA I OTPADA OD HRANE

Ivan Bogdanović<sup>1</sup>, dipl. maš. inž., dr Nikola Rakić<sup>2</sup>, mas. inž. maš.  
<sup>1</sup>JKP "Vodovod i kanalizacija", Kralja Aleksandra 1 Karadorđevića 48, Kragujevac  
<sup>2</sup>Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, Kragujevac  
ivan.bogdanovic72@gmail.com

#### Rezime

Šaržni eksperimenti koji se fokusiraju na ravnotežu hemijske potrošnje kiseonika izgledaju kao prikladan metod za dokazivanje sinergijskih efekata kodigestije. Odnos mešanja od 1/3 primarnog mulja/otpada od hrane (zapreminska osnova) pokazao je najveći učinak dostižući proizvodnju biogasa od 618,7 mL/g VS. Sinerijski višak je premašio vrednost ulazne hemijske potrošnje kiseonika dobijene sabiranjem vrednosti za pojedinačne komponente i iznosio je 7,1%, 12,8% i 17% ulazne vrednosti za kodigestije pri odnosu primarnog mulja i ostataka hrane 3/1, 1/1 i 1/3, respektivno. Testovima je uočena skoro neutralna pH vrednost. Iako je zapremina dodatog otpada od hrane bila relativno mala, najviše je doprinela ukupnoj proizvodnji biogasa. Ključne reči: primarni mulj, otpad od hrane, kodigestija, sinergija



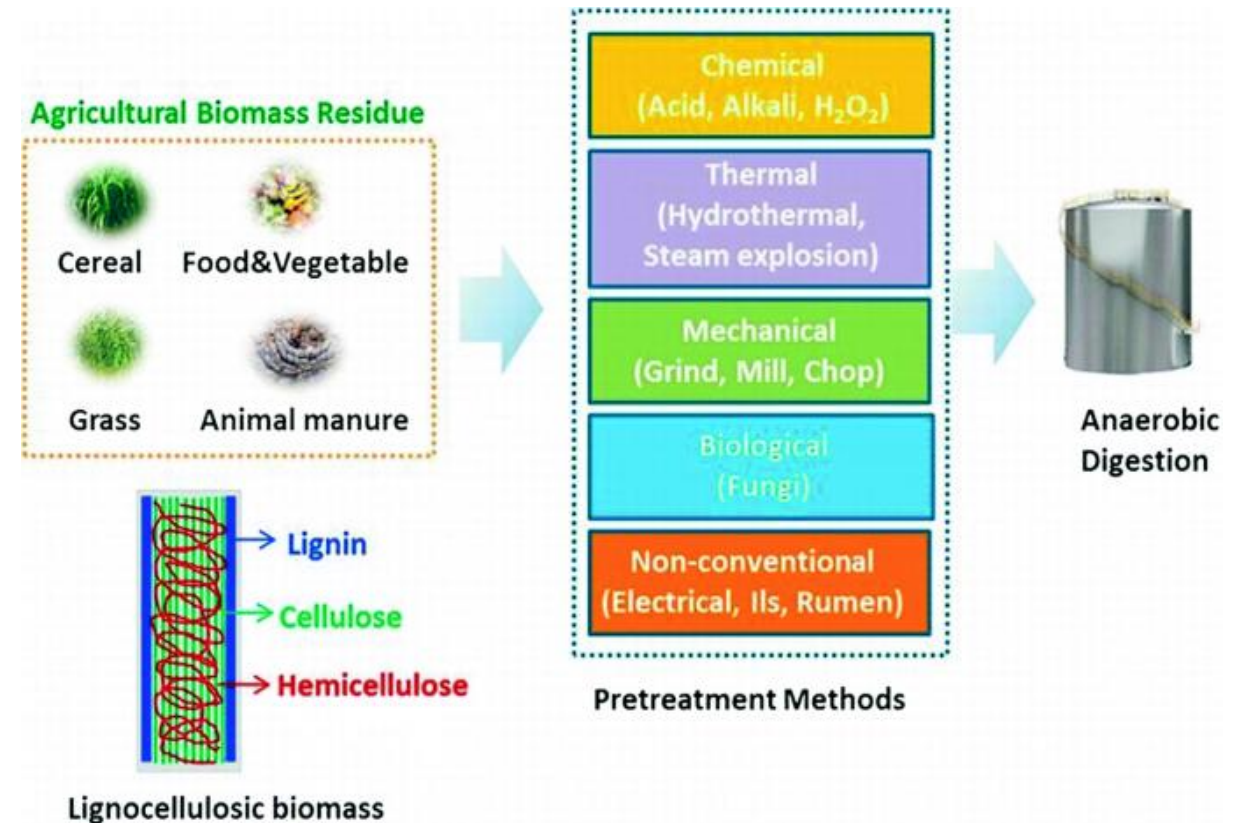
# Tehnike predtretmana

Cilj **povećanje biodegradabilnosti** i **rastvorljivosti sirovine**, **ubrzanje procesa** anaerobne digestije, izbegavanje potencijalnih problema u procesu čišćenja i rada,  **smanjenje zapremine i težine mulja**, smanjenje čvrstih materija i obezbeđivanje biosolida višeg kvaliteta.

Ubrzavanjem procesa organske razgradnje, pretretmani mogu **povećati stopu organskog opterećenja** (OLR) i **smanjiti hidrauličko vreme zadržavanja** (HRT) u digestoru, što može rezultirati **većom efikasnošću procesa**.

Nekoliko vrsta pretretman metoda koje se mogu primeniti na otpadni mulj. Mogu se klasifikovati u različite grupe na osnovu njihovih operativnih principa:

- biološke,
- hemijske,
- mehaničke i
- termalne



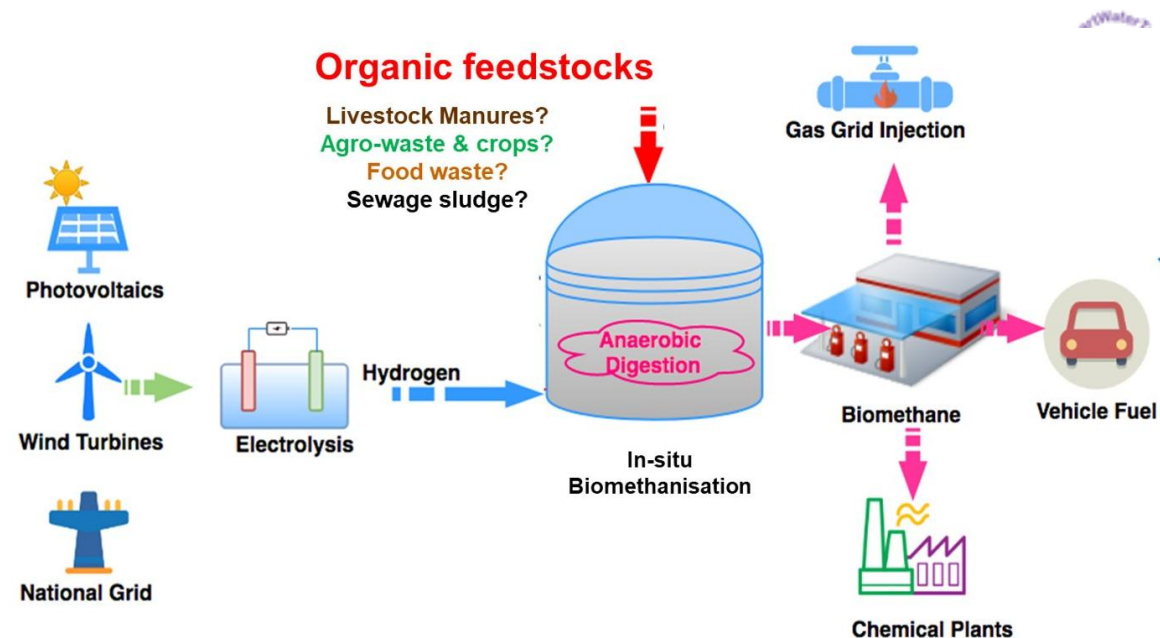
# Biološka metanizacija vodonika - BHM

Proces konverzije koji **generiše metan i vodu** iz **ugljen-dioksida i vodonika** koristeći organizme metanogeneze unutar bioreaktora u anaerobnim uslovima.

BHM se može sprovoditi na dva načina: **in situ** ili **ex situ**.

In situ - **vodonik** se **direktno ubrizgava** u anaerobni digestor, koji reaguje sa ugljen-dioksidom iz biogasa i generiše metan.

**Anaerobna digestija** kanalizacionog mulja i **proces metanizacije** se odvijaju u **jedinstvenom reaktoru**. U ovoj opciji, tradicionalni sistem za nadogradnju biogasa može biti smanjen, a kapitalni troškovi mogu biti uštedeđeni u poređenju sa ex situ metodom.



Ex situ proces - se odvija u **odvojenom digestoru** gde ugljen-dioksid i vodonik reaguju kako bi proizveli metan i vodenu paru.

Obe metode **mogu zahtevati visoke količine energije**, posebno zbog potrebe za poboljšanjem rastvorljivosti vodonika radi efikasnog uzimanja od strane vodonikotrofnih metanogenih arheja.

## Kako BHM doprinosi proizvodnji metana?

- 1. Povećanje efikasnosti metanizacije:** U standardnom procesu **anaerobne digestije mulja**, **biogas** sadrži **oko 50-75% metana**, a ostatak je ugljen-dioksid. **BHM** omogućava **konverziju CO<sub>2</sub> u dodatni metan** putem reakcije s vodonikom, čime se **povećava sadržaj metana** u ukupnoj količini gasa.
- 2. Smanjenje emisije CO<sub>2</sub>:** Korišćenjem CO<sub>2</sub> u biogasu za proizvodnju metana, smanjuje se emisija ugljen-dioksida, čime se postrojenje čini ekološki prihvatljivijim.
- 3. Povećana proizvodnja energije:** **Veći sadržaj metana** u gasu rezultira **većom energetsom vrednošću biogasa**. Ovaj čistiji metan se može efikasnije koristiti za proizvodnju električne energije ili toplotne energije, što **poboljšava ekonomsku isplativost PPOV-a**.
- 4. Kombinacija sa obnovljivim izvorima energije:** **Vodonik** koji se koristi u BHM može poticati **iz obnovljivih izvora energije** (npr. elektroliza vode korišćenjem solarne ili vetroenergije), čime se čitav proces čini održivijim i ekološki prihvatljivijim.

### Značaj za PPOV:

- Primena **BHM tehnologije** može **povećati količinu metana** koja se dobija iz mulja, omogućavajući **veće iskorišćenje mulja** za proizvodnju energije i **smanjenje emisija gasova sa efektom staklene bašte**.
- To čini ovaj **proces izuzetno atraktivnim** za postrojenja koja žele da postignu **veću energetska efikasnost i održivost**.

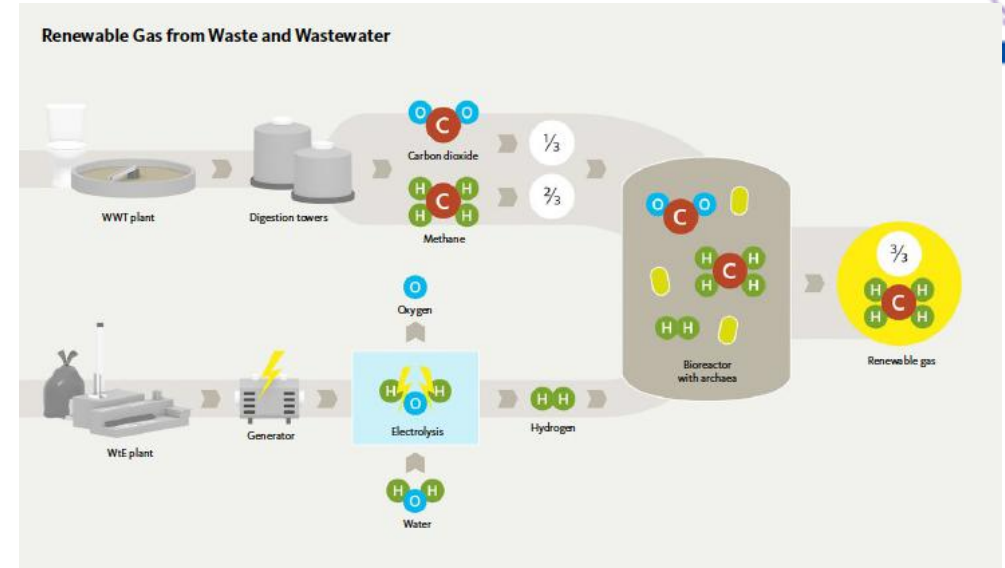
**Prva industrijska elektrana** za pretvaranje **energije u gas na bazi metanacije** na komercijalnom nivou u Evropi izgrađena je na postrojenju za preradu otpadnih voda u Dietikonu u Švajcarskoj u **aprilu 2022. godine**.

Postrojenje ima kapacitet da obradi 200 m<sup>3</sup>/h sirovog biogasa (iz mulja za otpadne vode) i uključuje uređaj za poboljšanje biometana.

Elektrolizer snage 2,5 MW može generisati oko 450 m<sup>3</sup>/h vodonika **koristeći obnovljivu energiju iz postrojenja za spaljivanje otpada** blizu postrojenja za preradu otpadnih voda.

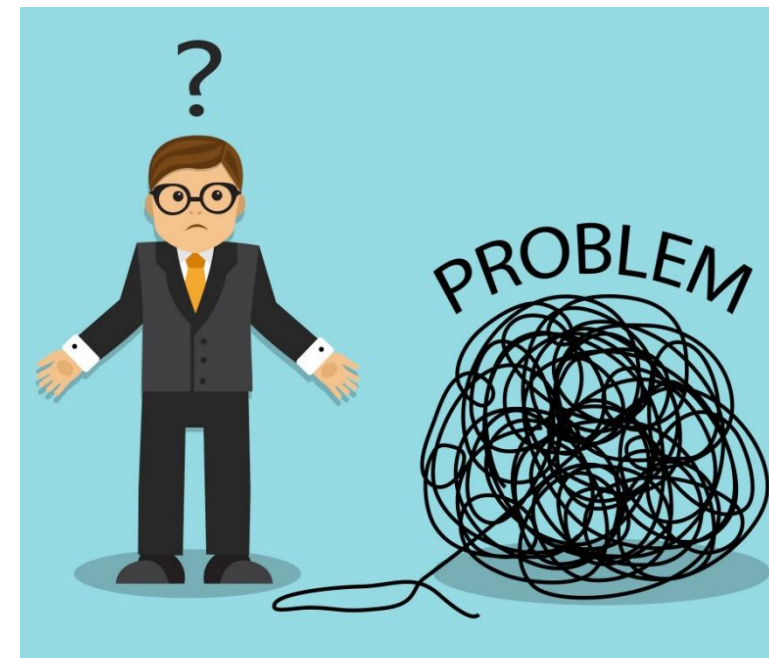
Vodonik i ugljen-dioksid se uvode u mešani reaktor kako bi se proizveo metan, koji će biti prečišćen radi uklanjanja nečistoća pre nego što se ubrizga u lokalnu gasnu mrežu.

Količina  **smanjenja emisija ugljen-dioksida** je ekvivalentna **približno 2000 domaćinstava**.



Projekat izgradnje komunalne (kanalizacione) infrastrukture i infrastrukture za odlaganje komunalnog čvrstog otpada u Republici Srbiji sa radnim nazivom „Čista Srbija” za čije sprovođenje je nadležno Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture.

Broj stanovnika koji je obuhvaćen ovim programom je oko dva i po miliona u **69 jedinica lokalne samouprave**. Izgrađićemo preko **5.206.679,31 m kanalizacione mreže** a broj postrojenja je skoro polovina od potrebnih **za celu Srbiju (165 PPOV)**.



## УРЕДБУ

о начину и поступку управљања муљем из постројења за пречишћавање комуналних отпадних вода

"Службени гласник РС", број 103 од 21. новембра 2023.

Члан 12.

Дозвољено је коришћење највише 1,2 t суве материје муља по хектару земљишта годишње.

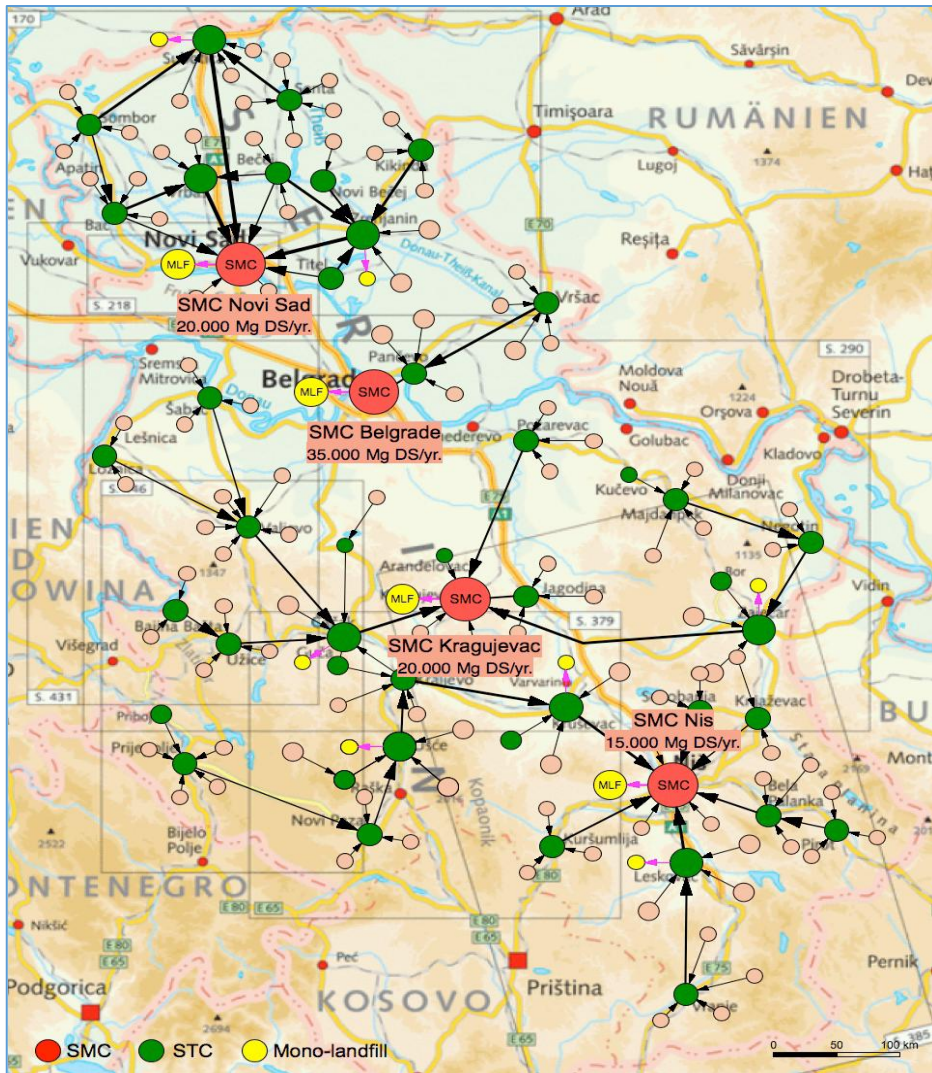
Količina mulja je 13.008 kg/dan.

88.500 ES

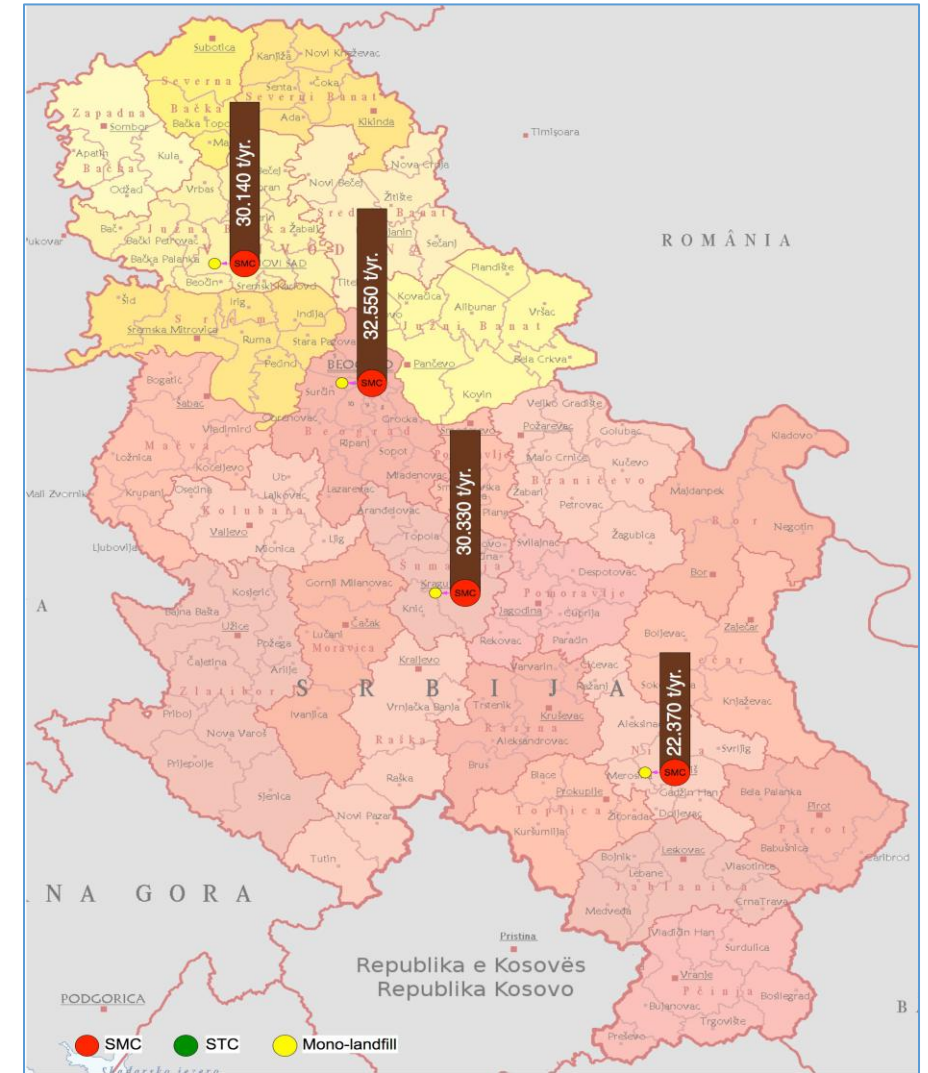
Mulj, nastao tretmanom otpadnih voda, se nakon obezvodnjavanja i ugušnjavanja odlaže na deponiju (odnosno na lokaciju koju [redacted] odredi) ili se predaje ovlašćenom operateru za upravljanje otpadom na dalje postupanje u skladu sa zakonskom regulativom (Zakon o upravljanju otpadom i Pravilnik o odlaganju otpada na deponije).

# Problem mulja sa PPOV?

## Predloženi regionalni Centri za upravljanje muljem u Srbiji



- područje grada Beograda
- Autonomna Pokrajina Vojvodina
- Šumadija i zapadna Srbija
- Južna i Istočna Srbija



Procena ukupne proizvodnje mulja po regionima

Mitrović nam je rekao da do prečistača trenutno dolazi u proseku **oko 7.000 kubnih metara otpadnih voda, što je oko 24 odsto ukupnog kapaciteta** postrojenja i ističe da bi nova priključenja na

"Sada imamo situaciju na terenu da se linija vode završava, a linija mulja ne. Jednostavno, prečistač ne može kvalitetno da se završi, a da i linija vode i linija mulja ne funkcionišu u skladu sa projektom i drugim kriterijumima", naglašava Puzović.

## Veolia preuzela vođenje Centralnog postrojenja za preradu otpadnih voda Vrbasa i Kule

Izvor: vrbas.net | Sreda, 05.08.2020. | 11:56 [Komentari \(0\)](#) [english](#) | [deutsch](#)



PONEDELJAK, 22.01.2024, 05:50 -> 05:51

IZVOR:  
RTS

AUTOR:  
MAŠA IVKOV



Puštena u rad nova linija za preradu mulja na prečistaču otpadnih voda u Vršcu

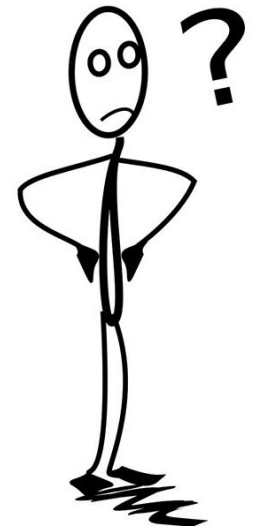
Na prečistaču otpadnih voda u Vršcu puštena je u probni rad **nova linija za preradu mulja** čime je završena modernizacija tog postrojenja. Savremeni prečistač, zajedno sa fabrikom za preradu pijače vode, Vršac svrstava među najbolje ekološke primere u zemlji.

## Ekolozi brinu: Nema ko da upravlja prečistačem u Vrbasu, nadležni – bez odgovora

VESTI | Autor: Nataša Kovačev | 03. feb 2021 19:55 > 19:56 | 18 komentara

## Vrbas od 1. januara uvodi naknadu za prečišćavanje otpadnih voda

Vrbas će od 1. januara 2022. uvesti naknadu za prečišćavanje otpadnih voda.



05-09-2024 | IMPACT

## How Paris became a 15-minute city

In his new book, 'The 15-Minute City,' Carlos Moreno explains how Paris has radically transformed—and how the proximity concept is growing globally.



# WHAT IS A 15 MINUTE CITY?





100 najvećih naftnih kompanija na svetu zaslužno za oko 70 posto svih svetskih emisija gasova sa efektom staklene bašte.

<http://www.footprintcalculator.org/>



RESULTS

Your personal Earth Overshoot Day is:

**24. Mar**

If everyone lived like you, we would need

**4.4 Earths**

Why can't I get my Footprint score within the means of one planet?

[See Details](#)

## ATTENTION – your gas guzzler kills.

We have deflated one or more of your tires.

You'll be angry, but don't take it personally. It's not you, it's your car.

We did this because driving around urban areas in your massive vehicle has huge consequences for others.

Car companies try to convince us we need massive cars. But SUVs and 4x4s are a disaster for our climate. SUVs are the second-largest cause of the global rise in carbon dioxide emissions over the past decade - more than the entire aviation industry.

The world is facing a climate emergency. According to the UN, millions of people are already dying from climate change-related causes - drought, hurricanes, floods, forced migration, starvation. So far, the impacts on you have probably been minimal. We need emergency action to reduce emissions immediately. We're taking actions into our own hands because our governments and politicians will not.

Even if you don't care about the impacts on people far away from you, there's also consequences for your neighbours. SUVs cause more air pollution than smaller cars. SUVs are more likely to kill people than normal cars in collisions. Psychological studies show SUV drivers are more likely to take risks on the road. SUVs are unnecessary, and pure vanity.

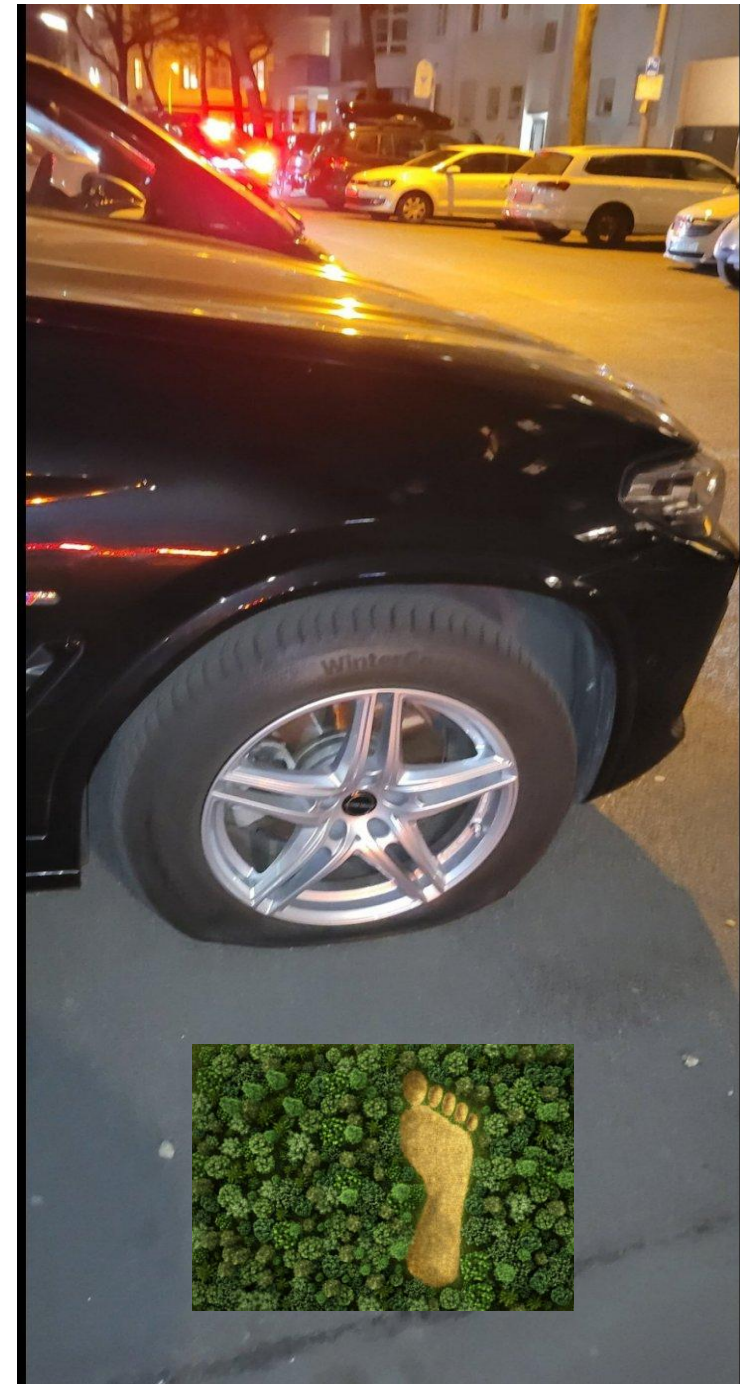
That's why we have taken this action. You will have no difficulty getting around without your gas guzzler, with walking, cycling or public transit.

(Driving a hybrid or electric? These are still polluting, dangerous and cause congestion. See more on our website)



## The Tire Extinguishers

[www.tyreextinguishers.com](http://www.tyreextinguishers.com)





**Pogledaj duboko u  
prirodu i razumećeš sve  
mnogo bolje. Albert  
Einstein**