

# Pomurska Obzorja

Izdajatelj Pomurska akademsko znanstvena unija

Matej Babič: ANALIZA TOPOGRAFIJE ROBOTSKO LASERSKO KALJENIH MATERIALOV S POMOČJO STROJNEGA UČENJA - David Neubauer, Mirjana Perkovič-Benedik: KONOPLJA V MEDICINI: OTROŠKA NEVROLOGIJA - Željko Perdija, Stanislav Grosu, Dušan Nolimal, Silvija Zeman, Walter Chingwaru, Marko Šetinc, Tanja Bagar: SPOZNAVANJE BIOKEMIJSKIH TEMELJEV ENDOKANABINOIDNEGA SISTEMA - Špela Gorički: RAZŠIRJENOST, EVOLUCIJA IN RAZNOLIKOST POPULACIJ ČLOVEŠKE RIBICE (PROTEUS ANGUINUS) - Diana Gregor Svetec, Klemen Možina: PAPIR IZDELAN IZ JAPONSKEGA DRESNIKA - Stanko Kapun: PRILAGAJANJE PRIDELAVE POLJŠČIN IN KRMNIH KOŠENIN PODNEBNIM SPREMAMBAM NA OBMOČJU POMURJA - Florian Margan: ELEKTRO VS. AVTOMOBILI Z NOTRANJIM IZGOREVANJEM - KAJ POKAŽE PRIHODNOST V EU? - Rafael Mihalič: ENERGETSKIMI VIRI Z NIZKIM EROEI - PERSPEKTIVE IN MOŽNOSTI - Uroš Tkalec, Tadej Emeršič: STRUKTURIRANJE TOKA ANIZOTROPNE TEKOČINE Z LASERSKO PINCETO - Matej Babič: ANALIZA TOPOGRAFIJE ROBOTSKO LASERSKO KALJENIH MATERIALOV S POMOČJO STROJNEGA UČENJA - David Neubauer, Mirjana Perkovič-Benedik: KONOPLJA V MEDICINI: OTROŠKA NEVROLOGIJA - Željko Perdija, Stanislav Grosu, Dušan Nolimal, Silvija Zeman, Walter Chingwaru, Marko Šetinc, Tanja Bagar: SPOZNAVANJE BIOKEMIJSKIH TEMELJEV ENDOKANABINOIDNEGA SISTEMA - Špela Gorički: RAZŠIRJENOST, EVOLUCIJA IN RAZNOLIKOST POPULACIJ ČLOVEŠKE RIBICE (PROTEUS ANGUINUS) - Diana Gregor Svetec, Klemen Možina: PAPIR IZDELAN IZ JAPONSKEGA DRESNIKA - Stanko Kapun: PRILAGAJANJE PRIDELAVE POLJŠČIN IN KRMNIH KOŠENIN PODNEBNIM SPREMAMBAM NA OBMOČJU POMURJA - Florian Margan: ELEKTRO VS. AVTOMOBILI Z NOTRANJIM IZGOREVANJEM - KAJ POKAŽE PRIHODNOST V EU? - Rafael Mihalič: ENERGETSKIMI VIRI Z NIZKIM EROEI - PERSPEKTIVE IN MOŽNOSTI - Uroš Tkalec, Tadej Emeršič: STRUKTURIRANJE TOKA ANIZOTROPNE TEKOČINE Z LASERSKO PINCETO - Matej Babič: ANALIZA TOPOGRAFIJE ROBOTSKO LASERSKO KALJENIH MATERIALOV S POMOČJO STROJNEGA UČENJA - David Neubauer, Mirjana Perkovič-Benedik: KONOPLJA V MEDICINI: OTROŠKA NEVROLOGIJA - Željko Perdija, Stanislav Grosu, Dušan Nolimal, Silvija Zeman, Walter Chingwaru, Marko Šetinc, Tanja Bagar: SPOZNAVANJE BIOKEMIJSKIH TEMELJEV ENDOKANABINOIDNEGA SISTEMA - Špela Gorički: RAZŠIRJENOST, EVOLUCIJA IN RAZNOLIKOST POPULACIJ ČLOVEŠKE RIBICE (PROTEUS ANGUINUS) - Diana Gregor Svetec, Klemen Možina: PAPIR IZDELAN IZ JAPONSKEGA DRESNIKA - Stanko Kapun: PRILAGAJANJE PRIDELAVE POLJŠČIN IN KRMNIH KOŠENIN PODNEBNIM SPREMAMBAM NA OBMOČJU POMURJA - Florian Margan: ELEKTRO VS. AVTOMOBILI Z NOTRANJIM IZGOREVANJEM - KAJ POKAŽE PRIHODNOST V EU? - Rafael Mihalič: ENERGETSKIMI VIRI Z NIZKIM EROEI - PERSPEKTIVE IN MOŽNOSTI - Uroš Tkalec, Tadej Emeršič: STRUKTURIRANJE TOKA ANIZOTROPNE TEKOČINE Z LASERSKO PINCETO - Matej Babič: ANALIZA TOPOGRAFIJE ROBOTSKO LASERSKO KALJENIH MATERIALOV S POMOČJO STROJNEGA UČENJA -

# Pomurska obzorja

Letnik 7, leto 2020, številka 12 | ISSN 2350-6113



Murska Sobota, 2020

IMPRESUM	3
UVODNIK	3

## MEDICINA

---

- SPOZNAVANJE BIOKEMIJSKIH TEMELJEV ENDOKANABINOIDNEGA SISTEMA **4**  
*Željko Perdija, Stanislav Grosu, Dušan Nolimal, Silvija Zeman, Walter Chingwaru, Marko Šetinc, Tanja Bagar*
- KONOPLJA V MEDICINI: otroška nevrologija **13**  
*David Neubauer, Mirjana Perkovič-Benedik*

## NARAVOSLOVJE

---

- RAZŠIRJENOST, EVOLUCIJA IN RAZNOLIKOST POPULACIJ ČLOVEŠKE RIBICE (PROTEUS ANGUINUS) **18**  
*Špela Gorički*
- STRUKTURIRANJE TOKA ANIZOTROPNE TEKOČINE Z LASERSKO PINCETO **24**  
*Uroš Tkalec, Tadej Emeršič*

## BIOTEHNIKA

---

- PRILAGAJANJE PRIDELAVE POLJŠČIN IN KRMNIH KOŠENIN PODNEBNIM SPREMEMBAM NA OBMOČJU POMURJA **28**  
*Stanko Kapun*

## TEHNIKA

---

- ELEKTRO vs. AVTOMOBILI Z NOTRANJIM IZGOREVANJEM – KAJ POKAŽE PRIHODNOST V EU? **31**  
*Dr. Florian Margan*
- ENERGETSKI VIRI Z NIZKIM EROEI – PERSPEKTIVE IN MOŽNOSTI **36**  
*Rafael Mihalič*
- PAPIR IZDELAN IZ JAPONSKEGA DRESNIKA **44**  
*Diana Gregor Svetec, Klemen Možina*

## Impresum

Internet:  
http://www.pazu.si

e-mail:  
pazu@pazu.si

ISSN 2350-6113

Naslov publikacije:  
POMURSKA OBZORJA

Letnik	Leto	Številka
7	2020	12

Izdajatelj:  
Združenje Pomurska akademsko  
znanstvena unija

Uredništvo:  
*Odgovorni urednik*  
pom. akad. dr. Mitja Slavinec

*Glavni urednik*  
pom. akad. dr. Milan Svetec

*Tehnični urednik*  
Zoran Wolf

Uredniški svet:  
pom. akad. dr. Damir Josipovič  
pom. akad. dr. Albina Nečak Lük  
pom. akad. dr. Vesna Kondrič Horvat  
pom. akad. dr. Darja Senčur-Peček  
pom. akad. dr. Mitja Lainščak  
pom. akad. dr. Mirjam Sepesy Maučec  
pom. akad. dr. Rafael Mihalič  
akad. pom. akad. dr. Igor Emri

Oblikovanje naslovnice:  
prof. dr. Tilen Žbona

Fotografija na naslovnici:  
Expanso  
Foto: Razvojni center Murska Sobota

Tisk:  
Tiskarna aiP Praprotnik d.o.o.  
Tavčarjeva ulica 14, Černelavci

Naslov izdajatelja in uredništva:  
PAZU – Uredništvo revije Pomurska obzorja  
Lendavska ulica 5a, 9000 Murska Sobota

Datum natisa:  
Maj 2020

Naklada:  
200 izvodov

Revija Pomurska obzorja izhaja dvakrat letno.

Revija je brezplačna.

## Uvodnik

Pred nami je 12. številka, sedmega letnika Pomurskih obzorij. Ta številka je namenjena tematiki na področju medicine, naravoslovja in tehnike. Osnova člankov so predavanja na letni konferenci PAZU, občasno pa zaide med članke, ki jih lahko preberemo tudi kakšen članek izven tega okvira. Tokrat objavljamo osem člankov, po dva iz medicine in tehnike, tri s področja naravoslovja in enega s področja biotehnike.

Članka s področja medicine se oba dotikata konoplje in njene uporabe, predvsem v medicini. Na področju naravoslovja lahko preberemo članek Špele Gorički, ki razkriva nekatere manj znane skrivnosti človeške ribice, Diana Gregor Svetec s sodelavci se posveča papirju, ki ga lahko izdelamo iz japonskega dresnika in tako smotrno izkoristimo rastlino, ki jo običajno smatramo kot plevel, Uroš Tkalec in Tadej Emeršič pa predstavita načine strukturiranja toka anizotropne tekočine z lasersko pinceto. Deli teh raziskav so bili objavljeni v znanstvenih revijah najvišjega ranga. Na področju biotehnike nam Stanko Kapun razkrije načine prilagajanja pridelave poljščin in krmnih košenin podnebnim spremembam na območju Pomurja. V okviru tehnike Florian Margan poda predvidevanja na trgu avtomobilov, predvsem gre za primerjavo prihodnosti avtomobilov z notranjim izgorevanjem nasproti avtomobilom, ki jih poganjajo električni motorji. Pri tem se razprava omeji na območje Evropske unije. V članku z naslovom »Energetski viri z nizkim EROEI – perspektive in možnosti« nam Rafael Mihalič predstavi ozadje EROEI (razmerje med pridobljeno in v njeno pridobivanje vloženo energijo) in ne tako bleščečo prihodnost na področju energetike, če bomo slepo sledili modernim trendom »zelenih energetskih virov« in se ne ozirali na nevarnosti, ki se lahko pojavijo, če se ne opravi poglobljena razprava in izdela strategija kako pokriti energetske potrebe in istočasno zasledovati ohranjanje okolja.

Verjamem, da bodo članki naleteli na zainteresirane bralce in razkrili vsaj nekaj novega in zanimivega za vsakogar, ki bo to izdajo Pomurskih obzorij vzel v roke.

pom. akad. dr. Milan Svetec,  
glavni urednik

Željko Perdija<sup>1,2</sup>, Stanislav Grosu<sup>1,3</sup>, Dušan Nolim<sup>1</sup>, Silvija Zeman<sup>4</sup>,  
Walter Chingwaru<sup>1,4</sup>, Marko Šetinc<sup>1,5</sup>, Tanja Bagar<sup>1,5\*</sup>

# Spoznavanje biokemijskih temeljev endokanabinoidnega sistema

## POVZETEK

Odkritje endokanabinoidnega sistema (ECS) je bilo temeljnega pomena ne le pri razumevanju učinkov rastlinskih kanabinoidov, ampak je vodilo tudi do precej širšega biokemijskega delovanja našega telesa in odprlo velike terapevtske potencialne. Fitokanabinoidi in tudi sintetični kanabinoidi delujejo preko našega endokanabinoidnega sistema in razumevanje osnovne biokemije tega ključnega signalnega sistema omogoča vpogled v koristne in terapevtske učinke teh molekul. Na voljo je veliko raziskovalnih in znanstvenih člankov na temo kanabinoidov, ECS ter njihove vloge in vpliva na zdravje in potek bolezni. Številni podatki so tudi zbrani iz epidemioloških raziskav in iz Life science laboratorijev in vsi ti podatki dajejo bolnikom in zdravstvenim delavcem dobre osnove za uporabo kanabinoidov v medicini. Toda razumevanje biokemije ECS ter vloge tega signalnega sistema v človeški fiziologiji je ključ do pravilne uporabe teh močnih molekul.

**Ključne besede:** biokemija, receptorji, endokanabinoidni sistem, kanabinoidi.

## 1. Introduction

From a biochemical perspective human beings are very complicated. If we look only at one basic unit of life- the cell – biochemistry is already rather complex at this level. Cells are not just simple building blocks, unconscious and static as bricks in a wall. Cells can detect what's going on around them, and they can respond in real-time to cues from their neighboring cells and environment. At any moment, cells are sending and receiving millions of messages in the form of chemical signaling molecules and at any given moment there are over 10.000 biochemical reactions taking place inside each cell. All of these are coordinated and tightly regulated. Energy is reasonably used only for vital processes. But in our human biochemistry a single cell is not an individual unit of life, but rather a part of a tissue, an organ or a physiological system. So for a cell to be able to

function as a part of a whole system, it is vital for the cell to communicate with its environment. A cell is divided from its surroundings by a semipermeable membrane, a lipid bilayer with embedded proteins. The basic function of the cell membrane is to protect the cell from its surroundings. The cell membrane controls the movement of substances in and out of cells. In this way, it is selectively permeable to ions and organic molecules. In addition, cell membranes are involved in a variety of cellular processes such as cell adhesion, ion conductivity and cell signaling.

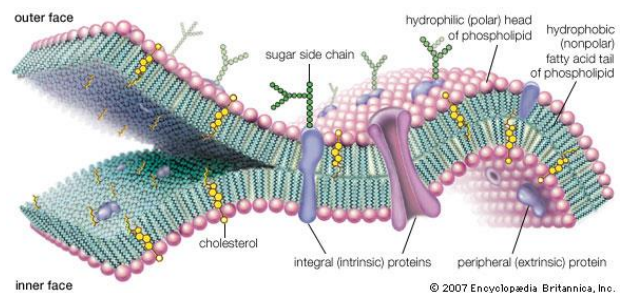


Figure 1: structure of the cellular membrane (source: <https://www.britannica.com/science/cell-membrane>)

Cellular communication is vital for all multicellular organisms and the more complex and evolved organisms are the higher is the importance of cellular communications. The basic setup needed for cellular communication or signaling is similar as in all communications. We need to know what message we want to send (a signaling molecule) and to who we want to send it to (who has the right receptors or antennas). Cells typically communicate using chemical signals. These are different types of molecules (cannabinoids are just one of many) produced by a sending cell and released into the extracellular space. There, they can float – like messages in a bottle – over to neighboring cells or into circulation.

<sup>1</sup> ICANNA - Mednarodni inštitut za kanabinoide

<sup>2</sup> CIIM plus - Center za interno in interventno medicino

<sup>3</sup> University of Medicine and Pharmacy Nicolae Testemițanu Chisinau

<sup>4</sup> Bindura University of Science Education Zimbabwe

<sup>5</sup> Alma Mater Europaea – ECM

E-Mail: [tanja.bagar@institut-icanna.com](mailto:tanja.bagar@institut-icanna.com)

\* Avtor za korespondenco; Tel.: +386 (0)70 873 529

Not all cells can “hear” a particular chemical message. In order to detect a signal a cell must have the right receptor for that signal. When a signaling molecule binds to its receptor a shift takes place triggering a change inside the cell. Signaling molecules are often called ligands, a general term for molecules that bind specifically to other molecules (such as receptors).

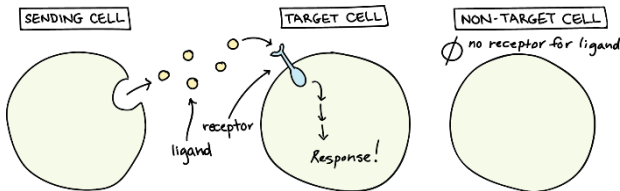


Figure 2: Schematic representation of cell signaling (source: <https://www.khanacademy.org>)

A signaling molecule and receptor recognize each other based on a unique 3D molecular structure. In essence a receptor will bind a molecule if its structure fits the receptors binding site in a very similar way as a key fits a keyhole. If it's a match the doors will open and if not, nothing will happen. If a signaling molecule and a receptor are a match, a cascade of downstream reactions will take place, ultimately, leading to a change in the cell, such as alteration in the expression of a gene or even the induction of a new process, such as cell division, apoptosis... Such communication not only enables the cells to respond to changes in the extracellular environment, adapt to these changes and thrive but also exchange signals between cells, tissues, organs, and whole body.

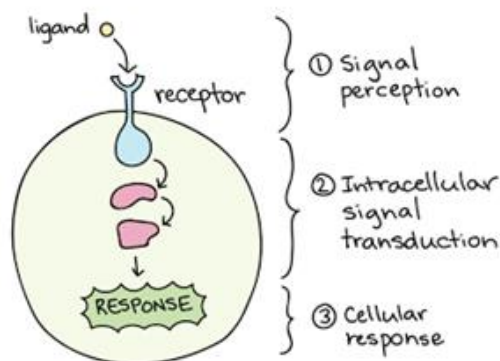


Figure 3: schematic representation of signal transduction (<https://www.khanacademy.org>)

Different types of cells have different set of receptors. And the cells are very economical in this sense, each cell expresses on its surface only the types of receptors that are very vital for their survival and only in the numbers that are needed. In cellular biochemistry there is not a molecule or a reaction too much, all of its function is highly optimized and adjusted according to the environment, stimuli and needs. Each specific cell type in our body has a specific set of receptors, the types and density of the receptors can change during the life of a cell, depending on the conditions a cell is exposed to.

In 1988, more than 4 decades after the first plant cannabinoid was discovered (CBD) and its structures elucidated, the first cannabinoid receptor was found. The existence of cannabinoid receptors puzzled scientists. More so after it was found that these receptors were very abundant on the membranes

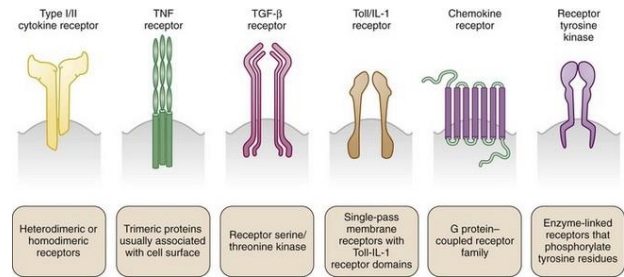


Figure 4: 3D structure of different types of receptors (source: Iain B. McInnes <https://musculoskeletalkey.com/cytokines/>)

of our cells. It did not make much sense that our bodies would be so sensitive and fine-tuned to these molecules, since there is only little chance that we might encounter and consume cannabis in our lifetimes. Another 20 years passed before the discovery of endocannabinoids, cannabinoids that are produced by human bodies, and not only by human, all vertebrates produce endocannabinoids. This was a major discovery that led to intense research into the role and functioning of this signaling system.

So in a way our endocannabinoid system is comparable to our hormonal system or our neurotransmitter system, although it is much more than that. The endocannabinoid system seems to be the enhanced version of an ancestral intercellular communication system that has been passed on evolution since plants appeared on the planet earth.

## 2. The biochemistry of the endocannabinoid system

All that we now know about cellular signaling, is true for the endocannabinoid system. We have cannabinoid receptors and ligands (cannabinoids). Taking into consideration that the research field of cannabinoids and endocannabinoid system is rather new and that the research was and is held back by legislation hurdles, we now know for sure is that we have at least 3 cannabinoid receptors: CB1, CB2 and CB3 (formerly known as the GPR55). There are several endocannabinoids know thus far, the best studied are the N-arachidonylethanolamide or anandamide and 2-arachidonoylglycerol or 2-AG (analogs to plant derived THC and CBD). For the production and the degradation of endocannabinoids we need enzymes that are pivotal for the optimal functioning of the endocannabinoids system. So the endocannabinoid system is composed of receptors, endocannabinoids and involved enzymes.

Cannabinoids are essentially messenger molecules, their role is to send signals, convey a message and the underlying biochemistry of the functioning of endocannabinoid system is similar as for majority of signaling systems (described in previous chapter).

The endocannabinoids anandamide and 2-AG are released upon demand from cell membrane-embedded phospholipid precursors. The primary biosynthetic enzyme of AEA is N-acyl-phosphatidylethanolamine phospholipase D (NAPE-PLD). 2-AG is biosynthesized by two isoforms of diacylglycerol lipase, DAGL $\alpha$  and DAGL $\beta$ . AEA and 2-AG work in a homeostatic fashion, thus they are broken down after they activate CB1 or CB2. AEA is catabolized primarily by fatty acid amide

hydrolase 1 (FAAH1), and 2-AG is catabolized by monoacylglycerol lipase (MAGL), and, to a lesser extent,  $\alpha$ , $\beta$ -hydrolase-6 (ABHD-6), cyclooxygenase 2 (COX2), and FAAH1. So cannabinoids are not molecules to circulate in our system and be present in high concentration, rather they are synthesized where and when they are needed and then degraded. In this respect they differ from hormones for example. Their low physiological concentration was one of the reasons why it took researchers so long to prove the existence of endocannabinoids.

There is another specificity to the mode of action of cannabinoids. They are retrograde messengers, sending the signal from the postsynaptic cell to the presynaptic. Cannabinoids are released from depolarized postsynaptic neurons presumably in a calcium-dependent manner and act retrogradely onto presynaptic cannabinoid receptors to suppress neurotransmitter release. So cannabinoids modulate neuronal excitability by inhibiting synaptic transmission. So these endogenously synthesized cannabinoids, but also phytocannabinoids and synthetic analogs appear to act as retrograde signalling agents, reducing synaptic inputs onto the stimulated neuron in a highly selective and restricted manner. This being one of the reasons why cannabinoid receptors were found later than for example opioid receptors. Just as a comparison the major active ingredient of opium was discovered in 1799 and in 1973 the receptor, whereas THC as the active ingredient of cannabis was discovered in 1964 and the receptor in 1988.

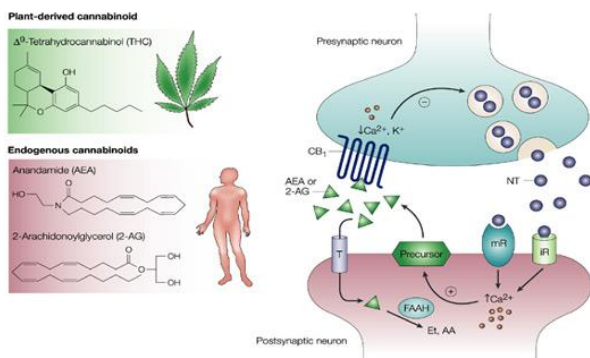


Figure 5: Schematic representation of the endocannabinoid system (ECS) (source: <https://www.nature.com/articles/nrc3247>)

## 2.2 Cannabinoids receptors

Now let's have a closer look at the cannabinoid receptors. What all three cannabinoid receptors have in common is that they are all G-protein coupled transmembrane receptors (GPCR). When a ligand (cannabinoid) binds to the GPCR it causes a conformational change in the receptor, which allows it to act as a guanine nucleotide exchange factor. The GPCR can then activate an associated G protein by exchanging the GDP bound to the G protein for a GTP. The G protein's  $\alpha$  subunit, together with the bound GTP, can then dissociate from the  $\beta$  and  $\gamma$  subunits to further affect intracellular signaling proteins or target functional proteins directly depending on the  $\alpha$  subunit type. GPCRs are an important drug target and approximately 34% of all Food and Drug Administration (FDA) approved drugs target this family of proteins.

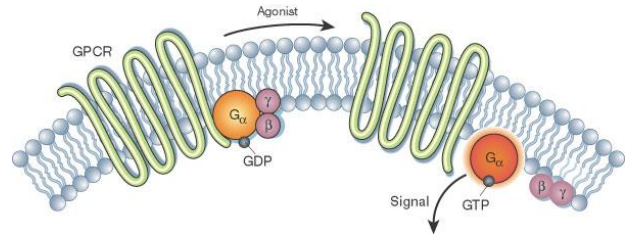


Figure 6: The structure of G coupled receptors or GPR's and their activation by agonist (source: <http://gpcr.utep.edu/background>)

So basically a part of the receptor is on the outside of the cell, facing the extracellular space (the environment) sensing changes in the concentration of cannabinoids, and a part of the receptor is on the inside of the cell (conveying the message on what is going on outside). All three receptors cross the membrane 7 times and are coupled with a G-protein that sends the signal towards the cell nucleus. Thereby enabling the cell to respond to changes in its environment. Through a complex biochemical cascade the message is sent to the nucleus and changes in gene expression take place and enable cell response. What kind of a response a cell will give depends on many factors, including cell type, the chemistry of the cannabinoids, concentration of cannabinoid molecules, presence of other molecules and also the number or density of cannabinoid receptors on the cell surface. To fully understand the physiological roles the endocannabinoid system has in our body, we have to take a look at where anatomically we have cannabinoid receptors, so what organs or tissues can hear the message cannabinoids are sending.

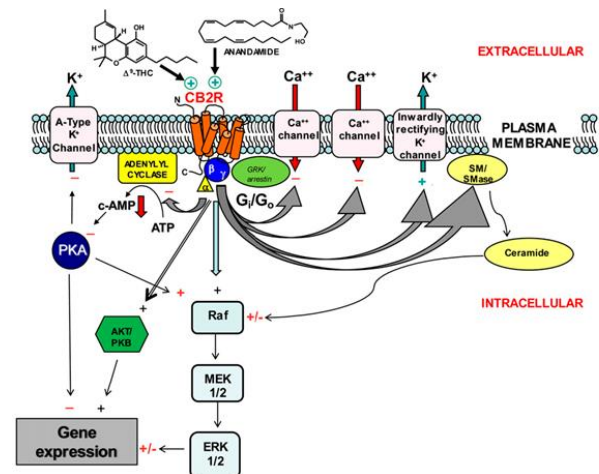


Figure 7: Activation of the cannabinoid receptors and following intracellular signaling (source: [https://www.researchgate.net/figure/Activation-of-CB-2-receptors-by-natural-or-synthetic-ligands-favors-a-range-of-receptor\\_fig1\\_264631508](https://www.researchgate.net/figure/Activation-of-CB-2-receptors-by-natural-or-synthetic-ligands-favors-a-range-of-receptor_fig1_264631508))

The CB1 receptor is one of the most abundant G protein-coupled receptors (GPCRs) in the central nervous system and is found in particularly high levels in the neocortex, hippocampus, basal ganglia, cerebellum and brainstem. They are less expressed in the amygdala, hypothalamus, nucleus accumbens, thalamus, periaqueductal grey matter and the spinal cord, as well as in other brain areas, mainly in the telencephalon and diencephalon. CB1 receptors are also expressed in several peripheral organs. Thus, they are present in adipocytes, liver,

lungs, smooth muscle, gastrointestinal tract, pancreatic β -cells, vascular endothelium, reproductive organs, immune system, sensorial peripheral nerves and sympathetic nerves. There are very few CB1 receptors in the brain stem, in the centers that regulate breathing and cardiovascular functions. This is one of the reasons cannabinoids have a very good safety profile, since their overdose does not adversely affect these brain centers. Attesting to this is also the fact that up to date there has not been a single proven case of death due to overdose with cannabis.

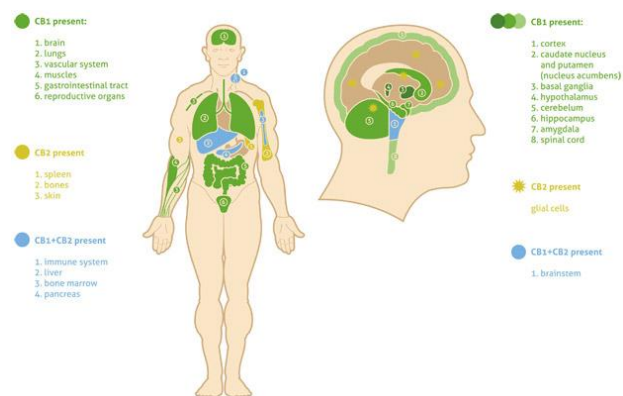


Figure 8: Distribution of the cannabinoid receptors CB1 and CB2 in the body (source: <https://www.fundacion-canna.es/en/endocannabinoid-system>)

The distribution of CB2 receptors is quite different, the highest density is found on the periphery in the immune system cells, such as macrophages, neutrophils, monocytes, B-lymphocytes, T-lymphocytes and microglial cells. Recently, CB2 receptor expression has also been shown in skin nerve fibers and keratinocytes, bone cells such as osteoblasts, osteocytes and osteoclasts, liver and somatostatin secreting cells in the pancreas. The presence of CB2 receptors has also been demonstrated at the CNS, in astrocytes, microglial cells and brainstem neurons. There is evidence of CB2 also on the surface of neurons. Recent evidences suggest that the CB2 receptor mediates emotional behaviours, such as schizophrenia, anxiety, depression, memory and nociception, supporting the presence of neuronal CB2 receptors or the involvement of glial cells in emotional behaviors.

CB3 receptor or GPR 55 is a general cell signaling receptor, its specific physiological role is unclear, because mice with a target deletion of the GPR55 gene show no specific phenotype. GPR55 is widely expressed in the testis, spleen and brain, especially in the cerebellum. It is expressed in the gastrointestinal tract, especially jejunum and ileum. Osteoblasts and osteoclasts express GPR55 and this has been shown to regulate bone cell function. GPR 55 has a list of ligand, only one class of them being cannabinoids.

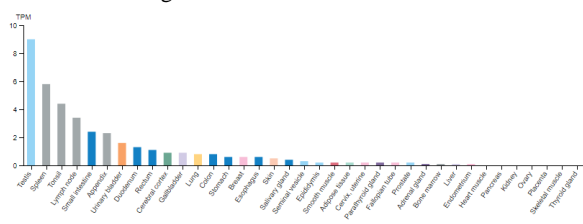


Figure 9: Distribution of the GPR55 or CB3 receptor in the human tissues (source: <https://www.proteinatlas.org/ENSG00000135898-GPR55/tissue>)

Already from the distribution of the three receptors in our body, we can see that the effects of cannabinoids that bind the CB1 or CB2 or CB3 will be very different. Taking into account that we now know that cannabinoids on top of having clear binding affinities to cannabinoid receptors, also have some degree of affinity to other types of receptor and also receptor independent effects, it is a complex mode of action. Much more complex then we usually see in pharmaceutical medication, where there is a known specific target and highly predictable effect.

So at the baseline the endocannabinoid system is defined as the ensemble of the two cannabinoid receptors; their two most studied endogenous ligands, the endocannabinoids N-arachidonylethanolamine (anandamide) and 2-arachidonylethanolamine (2-AG); and the enzymes responsible for endocannabinoid metabolism (the primary 5: NAPE-PLD, the two DAGLs, FAAH, and MAGL). However, anandamide and 2-AG, and also the phytocannabinoids, have more molecular targets than just cannabinoid receptors. Furthermore, the endocannabinoids, like most other lipid mediators, have more than just one set of biosynthetic and degrading pathways and enzymes, which they often share with “endocannabinoid-like” mediators that may or may not interact with the same proteins as phytocannabinoids. In some cases, these degrading pathways and enzymes lead to molecules that are not inactive and instead interact with other receptors. Finally, some of the metabolic enzymes may also participate in the chemical modification of molecules that have very little to do with endocannabinoid and cannabinoid targets.

So the classic definition of the ECS has expanded with the discovery of secondary receptors, ligands, and ligand metabolic enzymes. For example, AEA, 2-AG, N-arachidonyl glycine (NAGly) and the phytocannabinoids Δ9-tetrahydrocannabinol (THC) and cannabidiol (CBD) may also serve, to different extents, as ligands at GPR55, GPR18, GPR119, and several transient receptor potential ion channels (e.g., TRPV1, TRPV2, TRPA1, TRPM8). The effects of AEA and 2-AG can be enhanced by “entourage compounds” that inhibit their hydrolysis via substrate competition, and thereby prolong their action. Entourage compounds include N-palmitylethanolamide (PEA), N-oleoylethanolamide (SEA), and cis-9-octadecenoamide (OEA, oleamide).

### 2.3. Endocannabinoidome

This narrow definition of the ECS presented a few semantic problems:

1) of the > 80 cannabinoids naturally found in cannabis (with different relative composition depending on the cannabis variety), only THC and its less abundant Δ9-tetrahydrocannabinol (THCV), are capable of binding with high affinity to CB1R and CB2R (with agonist and antagonist activity for THC and THCV, respectively); hence, these 2 receptors should not be defined as “cannabinoid” receptors, but rather as THC/THCV receptors

2) as a consequence, “endocannabinoids” should not be the endogenous ligands of CB1R and CB2R, but rather the ligands of all those “cannabinoid receptors” that uniquely and



selectively bind to cannabinoids in general (thus, anandamide and 2-AG might not be the only endocannabinoids); and

3) again, as a consequence, “endocannabinoid enzymes” would not only be NAPE-PLD, the two DAGLs, FAAH, and MAGL, but also other enzymes responsible for the biosynthesis and inactivation of the other mediators to be eventually included in the list of the endocannabinoids.

Although this broader view would seem like the natural “evolution” of the definition of the “endocannabinoid system”, things are likely to be even more complicated. First, endocannabinoids, and also cannabinoids, have more molecular targets than just CB1, CB2, CB3 and thermo-TRPs, and these receptors appear to extend also to proteins that are targeted by other endogenous and exogenous substances. Furthermore, anandamide and 2-AG, like most other lipid mediators, have more than just 1 set of biosynthetic and degrading pathways and enzymes each which they often share with “endocannabinoid-like” mediators that may or may not be part of the extended definition of “endocannabinoids” provided above, that is, they may or may not interact with the same proteins to which non-THC cannabinoids bind. In some cases, these degrading pathways and enzymes lead to molecules, such as the prostamides and prostaglandin-glycerol esters which are not inactive but instead interact with other receptors, that is, these enzymes are “degrading” for endocannabinoids and “biosynthetic” for other mediators. Finally, some of these enzymes may also have additional completely different functions, for example participate in the chemical modification of molecules that have very little to do with endocannabinoid and cannabinoid targets.

As a result of the above reasoning, some authors now use an extended definition of the endocannabinoid system, such the “enlarged endocannabinoid system”. For the sake of clarity a new term was introduced the “endocannabinoidome” and represents the ensemble of endocannabinoids, endocannabinoid-like mediators, and their several receptors and metabolic enzymes.

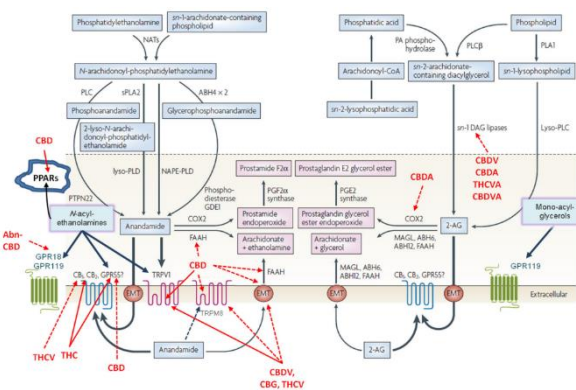


Figure 10: The endocannabinoidome (source: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Endocannabinoid-System-and-its-Modulation-by-Marzo-Piscitelli/a5b336dc28cb961a9375d03b57e10c1ff37241de>)

### 3. The physiological role of the ECS

So all in all the role of the endocannabinoids system is very complex. It affects the majority of the systems in our bodies and the cannabinoid receptors are expressed (in different density) on

majority of cell types. So describing what exactly it does, is not an easy task, as it regulates the biochemistry of vast majority of 37 trillion cells in our body. Research has shown that the endocannabinoids system functions as an SOS mechanism that is activated whenever our bodies are out of balance for whatever reason. So example it is activated when we suffer from a physical injury, when we encounter pathologic microbes and also when we feel emotional pain or are under stress.

It seems that the ECS serves as a general protective mechanism, starting at the cellular level, proceeding to the tissues, organs, body and our general well-being. The ECS’s salient homeostatic roles have been summarized as, “relax, eat, sleep, forget, and protect”. It is known to modulate embryological development, neural plasticity, neuroprotection, immunity and inflammation, apoptosis and carcinogenesis, pain and emotional memory, and most importantly from the viewpoint of recent drug development: hunger, feeding, and metabolism. It is well worth noting that human breast milk contains significant amounts of endocannabinoids (less of AEA and high levels of 2-AG). The oral administration of endocannabinoids produces calming properties. Experiments with suckling models in mice showed that when newborn mice are fed the CB1 antagonist (SR141716A), they stop suckling and die. So the disruption of the ECS in the first 24 hours after birth seems to be lethal.

Albeit the cells seem like very dynamic structures, with many 1000 biochemical reactions happening simultaneously, all the parameters are very tightly regulated. From temperature, to osmotic pressure, pH level, redox potential, concentration of ions, nutrients, enzymes... So it’s a dynamic structure, but within strict limits. For example when the intracellular pH value changes by 0,1 pH unit many cellular processes are activated to return the value to optimum. This a termed cellular homeostasis. This is the tendency of cells or organisms to auto-regulate and maintain their internal environment in a stable state. The stable condition is the condition of optimal functioning for the organism. It is brought about by a natural resistance to change in the optimal conditions and homeostasis or equilibrium is maintained by many regulatory mechanisms, some general (like the ECS) and some very specific.

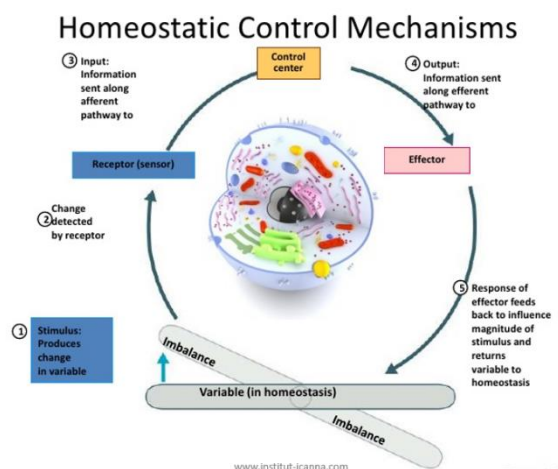


Figure 11: The cycle of homeostatic control mechanisms (source: <https://antaology.wordpress.com/2012/10/08/what-is-homeostasis/>)

So starting from a cellular level, the ECS is a protective mechanism that is turned on, like a SOS mechanism, when the cellular homeostasis is out of balance. It is like the first line of defense to go off, activating all other mechanisms needed to return to homeostasis as soon as possible.

Living in today's modern society is giving many challenges to our endocannabinoids system and leading to exhaustion of the supply of endocannabinoids. If we take a look at one ordinary day, getting up, getting ourselves and kids ready for work and school, all in a time stress, being in traffic, responsible and stressful jobs, challenging relationships, toxic environment, contaminated food, water and air...it is obvious that in one ordinary day our ECS is facing more challenges than it would in a month or longer even 100 years ago. If our endocannabinoid system is constantly challenged over a longer period of time, this vital SOS mechanism starts to dysfunction. It can dysfunction either not producing endocannabinoids when we need them, or producing endocannabinoids when we do not need them. This is usually one of the first steps in the development of chronic disease, the first dominoe dice in a complex dominoe structure to fall, leading to symptoms and disease development. And in such cases, where the ECS is malfunctioning, use implementation of exogenous cannabinoids can be very beneficial.

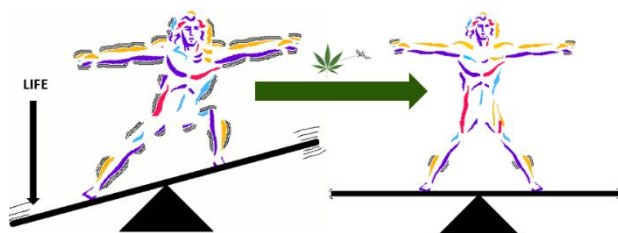


Figure 12: Representation of homeostatic mechanism and the role of cannabinoids (source: Institute ICANNA)

Some emerging literature documents the "ECS deficiency syndrome" as an etiology in migraine, fibromyalgia, irritable bowel syndrome, psychological disorders, and other conditions. The theory of clinical endocannabinoid deficiency (CED) was presented in 2001. The theory of CED was based on the concept that many brain disorders are associated with neurotransmitter deficiencies, affecting acetylcholine in Alzheimer's disease, dopamine in parkinsonian syndromes, serotonin and norepinephrine in depression, and that a comparable deficiency in endocannabinoid levels might be manifest similarly in certain disorders that display predictable clinical features as sequelae of this deficiency.

All humans possess an underlying endocannabinoid tone that reflects of levels of anandamide (AEA) and 2-arachidonoylglycerol (2-AG), the centrally acting endocannabinoids, their synthesis, catabolism, and the relative density of cannabinoid receptors in the brain. If endocannabinoid function were decreased, it follows that a lowered pain threshold would be operative, along with derangements of digestion, mood, and sleep among the almost universal physiological systems subserved by the endocannabinoid system. The CED theory also posits that such

deficiencies could arise due to genetic or congenital reasons or be acquired due to intercurrent injury or disease that consequently produces characteristic pathophysiological syndromes with particular symptomatology. The greatest evidence for CED is present for migraine, fibromyalgia, and irritable bowel syndrome (IBS).

Other diseases are also associated with suboptimal functioning of the ECS, Fride speculated that a dysfunctional ECS in infants contributes to "failure to thrive" syndrome. Hill and Gorzalka hypothesized that deficient ECS signaling could be involved in the pathogenesis of depressive illnesses. In human studies ECS deficiencies have been implicated in uncompensated schizophrenia, migraine, multiple sclerosis, Huntington's, uncompensated Parkinson's, irritable bowel syndrome, uncompensated anorexia, and chronic motion sickness.

## Conclusions

There is a large body of evidence that the endocannabinoids regulate mood, emotion, motivation, memory, pleasure perception, appetite, metabolism and more. The connection between cannabinoids and health/disease has long been empirically and scientifically established. Once we understand the functioning and the role of the unique system in our bodies, we need to employ action to nourish and support the function of this system and start with cannabinoid intervention in situations where it is evident that the ECS is no longer performing its protective function. It is high time for medicine worldwide to catch up with research findings and patient's demands and harness the effects of cannabinoids to support or restore the cellular biochemical homeostasis, which serves as the cornerstone of health.

## References:

1. ABRAHAMOV A, ABRAHAMOV A, MECOULAM R. AN EFFICIENT NEW CANNABINOID ANTIEMETIC IN PEDIATRIC ONCOLOGY. *LIFE SCI* 1995;56(23-24):2097-102.
2. ADAMS R. MARIHUANA. HARVEY LECTURES 1941-1942; 37: 168-197.
3. ALGER BE, KIM J. SUPPLY AND DEMAND FOR ENDOCANNABINOIDS. *TRENDS NEUROSCI.* 2011 JUN;34(6):304-15.
4. ANDONIAN DO, SEAMAN SR, JOSEPHSON EB. PROFOUND HYPOTENSION AND BRADYCARDIA IN THE SETTING OF SYNTHETIC CANNABINOID INTOXICATION - A CASE SERIES. *AM J EMERG MED.* 2017;35(6):940.
5. ANISMAN H, MERALI Z, HAYLEY S. 2008. NEUROTRANSMITTER, PEPTIDE AND CYTOKINE PROCESSES IN RELATION TO DEPRESSIVE DISORDER: COMORBIDITY BETWEEN DEPRESSION AND NEURODEGENERATIVE DISORDERS. *PROGRESS IN NEUROBIOLOGY.* 85(1): 1-74
6. APPENDINO G, GIBBONS S, GIANA A, PAGANI A, GRASSI G, STAVRI M, SMITH E, RAHMAN MM. ANTIBACTERIAL CANNABINOIDS FROM CANNABIS SATIVA: A STRUCTURE-ACTIVITY STUDY. *J NAT PROD.* 2008;71(8):1427-30.
7. BACKES M. CANNABIS PHARMACY: THE PRACTICAL GUIDE TO MEDICAL MARIJUANA PAPERBACK 2014
8. BERRIDGE KC, KRINGELBACH ML. BUILDING A NEUROSCIENCE OF PLEASURE AND WELL-BEING. *PSYCHOL WELL BEING.* 2011 OCT 24;1(1):1-3.

9. BEST AR, REGEHR WG. SEROTONIN EVOKES ENDOCANNABINOID RELEASE AND RETROGRADELY SUPPRESSES EXCITATORY SYNAPSES. *J NEUROSCI*. 2008 JUN 18;28(25):6508-15.
10. BLESCHING U. THE CANNABIS HEALTH INDEX. 2105. NORTH ATLANTIC BOOKS, BARKELEY, CALIFORNIA.
11. BOLOGNINI D, ROCK EM, CLUNY NL, CASCIO MG, LIMEBEER CL, DUNCAN M, STOTT CG, JAVID FA, PARKER LA, PERTWEE RG. CANNABIDIOLIC ACID PREVENTS VOMITING IN SUNCUS MURINUS AND NAUSEA-INDUCED BEHAVIOUR IN RATS BY ENHANCING 5-HT1A RECEPTOR ACTIVATION. *BR J PHARMACOL* 2013; 168(6): 1456–1470.
12. BONSOR K, GERBIS N. HOW MARIJUANA WORKS. DOSTOPNO: [HTTPS://SCIENCE.HOWSTUFFWORKS.COM/MARIJUANA3.HT M](https://science.howstuffworks.com/marijuana3.htm)
13. BORGWARDT SJ, ALLEN P, BHATTACHARYYA S, FUSAR-POLI P, CRIPPA JA, SEAL ML, FRACCARO V, ATAKAN Z, MARTIN-SANTOS R, O'CARROLL C, RUBIA K, MCGUIRE PK. NEURAL BASIS OF DELTA-9-TETRAHYDROCANNABINOL AND CANNABIDIOL: EFFECTS DURING RESPONSE INHIBITION. *BIOL PSYCHIATRY*. 2008 DEC 1;64(11):966-73.
14. BORRELLI F, FASOLINO I, ROMANO B, CAPASSO R, MAIELLO F, COPPOLA D, ORLANDO P, BATTISTA G, PAGANO E, DI MARZO V, IZZO AA. BENEFICIAL EFFECT OF THE NON-PSYCHOTROPIC PLANT CANNABINOID CANNABIGEROL ON EXPERIMENTAL INFLAMMATORY BOWEL DISEASE. *BIOCHEM PHARMACOL*. 2013;1;85(9): 1306-16.
15. BORRELLI F, PAGANO E, ROMANO B, PANZERA S, MAIELLO F, COPPOLA D, DE PETROCELLIS L, BUONO L, ORLANDO P, IZZO AA. COLON CARCINOGENESIS IS INHIBITED BY THE TRPM8 ANTAGONIST CANNABIGEROL, A CANNABIS-DERIVED NON-PSYCHOTROPIC CANNABINOID. *CARCINOGENESIS* 2014;35(12): 2787-97.
16. CARLINI EA, CUNHA JM: HYPNOTIC AND ANTIEPILEPTIC EFFECTS OF CANNABIDIOL. *J CLIN PHARMACOL* 1981;21:417S–427S.
17. CASAJUANA C, LÓPEZ-PELAYO H, BALCELLS MM, COLOM J, GUAL A. PSYCHOACTIVE CONSTITUENTS OF CANNABIS AND THEIR CLINICAL IMPLICATIONS: A SYSTEMATIC REVIEW.. *ADICCIONES*. 2017 JUL 14;0(0):858.
18. CONSROE P, KENNEDY K, SCHRAM K. ASSAY OF PLASMA CANNABIDIOL BY CAPILLARY GAS CHROMATOGRAPHY/ION TRAP MASS SPEC- TROSCOPY FOLLOWING HIGH-DOSE REPEATED DAILY ORAL ADMINISTRATION IN HUMANS. *PHARMACOL. BIOCHEM. BEHAV.* 1991;40: 517-522.
19. CROXFORD JL, YAMAMURA T. CANNABINOIDS AND THE IMMUNE SYSTEM: POTENTIAL FOR THE TREATMENT OF INFLAMMATORY DISEASES? *JOURNAL OF NEUROIMMUNOLOGY* 2005;166(1-2),3-18.
20. CUNHA JM, CARLINI EA, PEREIRA AE, PIMENTEL C, GAGLIARDI R, ET AL.: CHRONIC ADMINISTRATION OF CANNABIDIOL TO HEALTHY VOLUNTEERS AND EPILEPTIC PATIENTS. *PHARMACOLOGY* 1980;21:175–185.
21. DANIA M, GUINDON J, LAMBERT C, BEAULIEU P (2007) THE LOCAL ANTINOCICEPTIVE EFFECTS OF PARACETAMOL IN NEUROPATHIC PAIN ARE MEDIATED BY CANNABINOID RECEPTORS. *EUROPEAN JOURNAL OF PHARMACOLOGY* 573: 214–215.
22. DI FRANCESCO A, FALCONI A, DI GERMANIO C, MICIONI DI BONAVENTURA MV, COSTA A, CARAMUTA S, DEL CARLO M, COMPAGNONE D, DAINESI E, CIFANI C, MACCARRONE M, D'ADDARIO C. 2015. EXTRAVIRGIN OLIVE OIL UP-REGULATES CB1 RUMOR SUPPRESSOR GENE IN HUMAN COLON CANCER CELLS AND IN RAT COLON VIA EPIGENETIC MECHANISMS. *JOURNAL OF NUTRITIONAL BIOCHEMISTRY*. 26(3): 250-258.
23. FERNANDEZ-EGEA E, VERTES PE, FLINT SM, TURNER L, MUSTAFA S, HATTON A, SMITH KGC, LYONS PA, BULLMORE ET. 2016. PERIPHERAL IMMUNE CELL POPULATIONS ASSOCIATED WITH COGNITIVE DEFICITS AND NEGATIVE SYMPTOMS OF TREATMENT-RESISTANT SCHIZOPHRENIA. *PLOS ONE*. [HTTP://DX.DOI.ORG/10.1371/JOURNAL.PONE.0155631](http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0155631)
24. FERRE S, GOLDBERG SR, LLUIS C, FRANCO R. 2009. LOOKING FOR THE ROLE OF CANNABINOID RECEPTOR HETEROMERS IN STRIATAL FUNCTION. *NEUROPHARMACOLOGY*. 56(SUPPL 1): 226-234
25. FROST L, MOSTOFKY E, ROSENBLUM JI, MUKAMAL KJ, MITTLEMAN MA. MARIJUANA USE AND LONG-TERM MORTALITY AMONG SURVIVORS OF ACUTE MYOCARDIAL INFARCTION. *AM HEART J*. 2013 FEB;165(2):170-5.
26. GAONI Y, MECHOULAM R. ISOLATION, STRUCTURE AND PARTIAL SYNTHESIS OF AN ACTIVE CONSTITUENT OF HASHISH. *J. AMER. CHEM. SOC.* 1964; 86: 1646–1647.
27. GEZ E, BIRAN S, FUKS Z, EDELSTEIN E, LANDER N, MECHOULAM R. A MARIHUANA COMPONENT FOR NAUSEA AND VOMITING INDUCED BY CHEMO- AND RADIOTHERAPY. *HAREFUAH* 1983;105(10):306-8.
28. GROTENHERMEN F, RUSSO E, ZUARDI AW. EVEN HIGH DOSES OF ORAL CANNABIDOL DO NOT CAUSE THC-LIKE EFFECTS IN HUMANS: COMMENT ON MERRICK ET AL. *CANNABIS AND CANNABINOID RESEARCH* 2016;1(1):102-112; *CANNABIS CANNABINOID RES.* 2017 JAN 1;2(1):1-4.
29. HAMPSON AJ, GRIMALDI M, AXELROD J, WINK D. 1998. CANNABIDIOL AND (-)DELTA9-TETRAHYDROCANNABINOL ARE NEUROPROTECTIVE ANTIOXIDANTS.
30. HANUŠ LO, MEYER SM, MUÑOZ E, TAGLIALATELA-SCAFATI O, APPENDINO G. PHYTOCANNABINOIDS: A UNIFIED CRITICAL INVENTORY. *NAT PROD REP.* 2016 NOV 23;33(12):1357-1392. REVIEW.
31. HARVEY DJ, MARTIN BR, PATON WDM. IDENTIFICATION AND MEASUREMENT OF CANNABINOIDS AND THEIR IN VIVO METABOLITES IN LIVER BY GAS CHROMATOGRAPHY-MASS SPECTROMETRY. IN: NAHAS GG, PATON WDM (EDS) *MARIJUANA: BIOLOGICAL EFFECTS*. PERGAMON PRESS, OXFORD, 1979: 45–62.
32. IFFLAND K, GROTENHERMEN F. AN UPDATE ON SAFETY AND SIDE EFFECTS OF CANNABIDIOL: A REVIEW OF CLINICAL DATA AND RELEVANT ANIMAL STUDIES. *CANNABIS CANNABINOID RES.* 2017 JUN 1;2(1):139-154.
33. LAPRAIRIE RB, BAGHER AM, KELLY ME, DENOVA-WRIGHT EM. CANNABIDIOL IS A NEGATIVE ALLO- STERIC MODULATOR OF THE CANNABINOID CB1 RECEPTOR. *BR. J. PHARMACOL.* 2015;172:4790–4805.
34. LEE AM, SMOKE SIGNALS: A SOCIAL HISTORY OF MARIJUANA - MEDICAL, RECREATIONAL AND SCIENTIFIC. SCRIBNER 2012.
35. MARTIN-SANTOS R, CRIPPA JA, BATALLA A, BHATTACHARYYA S, ATAKAN Z, BORGWARDT S, ALLEN P, SEAL M, LANGOHR K, FARRÉ M, ZUARDI AW, MCGUIRE PK. ACUTE EFFECTS OF A SINGLE, ORAL DOSE OF D9-TETRAHYDROCANNABINOL (THC) AND CANNABIDIOL (CBD) ADMINISTRATION IN HEALTHY VOLUNTEERS. *CURR. PHARM. DES.* 2012;18: 4966–4979.
36. MATSUNAGA M1, ISOWA T2, YAMAKAWA K3, FUKUYAMA S4, SHINODA J4, YAMADA J4, OHIRA H3. GENETIC VARIATIONS IN THE HUMAN CANNABINOID RECEPTOR GENE ARE ASSOCIATED WITH HAPPINESS. *PLOS ONE*. 2014 APR 1;9(4).

37. MCPARTLAND JM, DUNCAN M, DI MARZO V, PERTWEE RG. ARE CANNABIDIOL AND DELTA-9 TETRAHYDROCANNABIVARIN NEGATIVE MODULATORS OF THE ENDO-CANNABINOID SYSTEM? A SYSTEMATIC REVIEW. *BR. J. PHARMA-COL.* 2015; 172: 737-753.
38. MCPARTLAND JM, GUY GW, DI MARZO V. CARE AND FEEDING OF THE ENDOCANNABINOID SYSTEM: A SYSTEMATIC REVIEW OF POTENTIAL CLINICAL INTERVENTIONS THAT UPREGULATE THE ENDOCANNABINOID SYSTEM. *PLOS ONE.* 2014 MAR 12;9(3).
39. MECOULAM R, BEN-SHABAT S, HANUS L, LIGUMSKY M, KAMINSKI NE, SCHATZ AR, GOPHER A, ALMOG S, MARTIN BR, COMPTON DR, ET AL. IDENTIFICATION OF AN ENDOGENOUS 2-MONOGLYCERIDE, PRESENT IN CANINE GUT, THAT BINDS TO CANNABINOID RECEPTORS. *BIOCHEM. PHARMACOL.* 1995; 50: 83-90.
40. MECOULAM R1. PLANT CANNABINOIDS: A NEGLECTED PHARMACOLOGICAL TREASURE TROVE. *BR J PHARMACOL.* 2005 DEC;146(7):913-5. DI MARZO V, PISCITELLI F. THE ENDOCANNABINOID SYSTEM AND ITS MODULATION BY PHYTOCANNABINOIDS. *NEUROTHERAPEUTICS.* 2015 OCT;12(4):692-8. DOI: 10.1007/S13311-015-0374-6. REVIEW.
41. MERRICK J, LANE B, SEBREE T, YAKSH T, O'NEILL C, BANKS SL. IDENTIFICATION OF PSYCHOACTIVE DEGRADANTS OF CANNABIDIOL IN SIMULATED GASTRIC AND PHYSIOLOGICAL FLUID. *CANNABIS CANNABINOID RES.* 2016;1: 102-112.
42. MICHAEL POLLAN. THE BOTANY OF DESIRE: A PLANT'S-EYE VIEW OF THE WORLD, RANDOM HOUSE TRADE PAPERBACKS, 2002
43. MORALES P, HURST DP, REGGIO PH. MOLECULAR TARGETS OF THE PHYTOCANNABINOIDS: A COMPLEX PICTURE. *PROG CHEM ORG NAT PROD.* 2017;103:103-131. DOI: 10.1007/978-3-319-45541-9\_4. REVIEW.
44. NICHOLSON AN, TURNER C, STONE BM, ROBSON PJ. EFFECT OF DELTA-9-TETRAHYDRO-CANNABINOL AND CANNABIDIOL ON NOCTURNAL SLEEP AND EARLY-MORNING BEHAVIOR IN YOUNG ADULTS. *J. CLIN.PSYCHOPHARMACOL* 2004;24,305-313.
45. O'CONNELL BK, GLOSS D, DEVINSKY O. CANNABINOIDS IN TREATMENT-RESISTANT EPILEPSY: A REVIEW. *EPILEPSY BEHAV.* 2017 MAY;70(Pt B):341-348.
46. PACHER P, BÁTKAI S, KUNOS G. CARDIOVASCULAR PHARMACOLOGY OF CANNABINOIDS. *HANDB EXP PHARMACOL.* 2005;(168):599-625.
47. PACHER P, MECOULAM R. 2011. IS LIPID SIGNALING THROUGH CANNABINOID 2 RECEPTORS PART OF A PROTECTIVE SYSTEM? *PRO LIPID RES.* 50(2): 193-211.
48. PACHER P, STEFFENS S, HASKÓ G, SCHINDLER TH, KUNOS G. CARDIOVASCULAR EFFECTS OF MARIJUANA AND SYNTHETIC CANNABINOIDS: THE GOOD, THE BAD, AND THE UGLY. *NAT REV CARDIOL* 2017;14.
49. PANIKASHVILI D, SHEIN NA, MECOULAM R, TREMBOVLER V, KOHEN R, ALEXANDROVICH A, SHOHAMIE. 2006. *NEUROBIOLOGY OF DISEASE.* 22: 257-264.
50. PEREZ-REYES M. PHARMACODYNAMICS OF CERTAIN DRUGS OF ABUSE. IN: BARNETT G, CHIANG CN (EDS) *PHARMACOKINETICS AND PHARMACODYNAMICS OF PSYCHOACTIVE DRUGS.* BIOMEDICAL PUBLICATIONS 1985, FOSTER CITY, PP 287-310.
51. PERTWEE RG. PHARMACOLOGY OF CANNABINOID CB1 AND CB2 RECEPTORS. *PHARMACOL THER* 1997; 74:129-180.
52. PISANTI S, MALFITANO AM, CIAGLIA E, LAMBERTI A, RANIERI R, CUOMO G, ABATE M, FAGGIANA G, PROTO MC, FIORE D, LAEZZA C, BIFULCO M. CANNABIDIOL: STATE OF THE ART AND NEW CHALLENGES FOR THERAPEUTIC APPLICATIONS. *PHARMACOL THER.* 2017 JUL;175:133-150.
53. RANDALL MD, HARRIS D, KENDALL DA, RALEVIC V. CARDIOVASCULAR EFFECTS OF CANNABINOIDS. *PHARMACOL THER.* 2002;95:191-202.
54. RHEE MH, VOGEL Z, BARG J, BAYEWITCH M, LEVY R, HANUS L, BREUER A, MECOULAM R. CANNABINOL DERIVATIVES: BINDING TO CANNABINOID RECEPTORS AND INHIBITION OF ADENYLYLCYCLASE. *J MED CHEM.* 1997;40:3228-33.
55. RUIZ-VALDEPEÑAS L, MARTÍNEZ-ORGADO JA, BENITO C, MILLÁN A, TOLÓN RM, ROMERO J. CANNABIDIOL REDUCES LIPOPOLYSACCHARIDE-INDUCED VASCULAR CHANGES AND INFLAMMATION IN THE MOUSE BRAIN: AN INTRAVITAL MICROSCOPY STUDY. *J NEUROINFLAMMATION* 2011;18;8(1):5.
56. RUSSO EB. CANNABIDIOL CLAIMS AND MISCONCEPTIONS. *TRENDS PHARMACOL SCI.* 2017 MAR;38(3):198-201. EPUB 2017 JAN 12. ERRATUM IN: *TRENDS PHARMACOL SCI.* 2017 MAY;38(5):499.
57. RUSSO EB. CLINICAL ENDOCANNABINOID DEFICIENCY (CECD): CAN THIS CONCEPT EXPLAIN THERAPEUTIC BENEFITS OF CANNABIS IN MIGRAINE, FIBROMYALGIA, IRRITABLE BOWEL SYNDROME AND OTHER TREATMENT-RESISTANT CONDITIONS? *NEURO ENDOCRINOL LETT.* 2004 FEB-APR;25(1-2):31-9.
58. RUSSO EB. TAMING THC: POTENTIAL CANNABIS SYNERGY AND PHYTOCANNABINOID-TERPENOID ENTOURAGE EFFECTS. *BR J PHARMACOL.* 2011 AUG;163(7):1344-64.
59. RUSSO, E.B. CURRENT THERAPEUTIC CANNABIS CONTRO- VERSIES AND CLINICAL TRIAL DESIGN ISSUES. *FRONT. PHARMACOL.* 2016;7: 309.
60. SCHRIEKS IC, RIPKEN D, STAFLEU A, WITKAMP RF, HENDRIKS HF. EFFECTS OF MOOD INDUCTIONS BY MEAL AMBIANCE AND MODERATE ALCOHOL CONSUMPTION ON ENDOCANNABINOIDS AND N-ACYLETHANOLAMINES IN HUMANS: A RANDOMIZED CROSSOVER TRIAL. *PLOS ONE.* 2015 MAY 11;10(5):E0126421.
61. SCHULTZ, S. 2010. CAN AUTISM BE TRIGGERED BY ACETAMINOPHEN ACTIVATION OF THE ENDOCANNABINOID SYSTEM? *NEUROBIOLOGIAE EXPERIMENTALIS.* 70:227-231.
62. SHINJO N, DI MARZO V. THE EFFECT OF CANNABICHROMENE ON ADULT NEURAL STEM/PROGENITOR CELLS. *NEUROCHEMISTRY INTERNATIONAL* 2013;63(5):432-437.
63. STANLEY CP, HIND WH, O'SULLIVAN SE. IS THE CARDIOVASCULAR SYSTEM A THERAPEUTIC TARGET FOR CANNABIDIOL? *BR J CLIN PHARMACOL.* 2013;75(2):313-22.
64. SYLANTYEVA S, JENSEN TP, ROSS RA, RUSAKOV DA. CANNABINOID- AND LYSOPHOSPHATIDYLINOSITOL-SENSITIVE RECEPTOR GPR55 BOOSTS NEUROTRANSMITTER RELEASE AT CENTRAL SYNAPSES. 2013. *PROC NATL ACAD SCI U S A.* 110(13):5193-8.
65. TAKEDA S, MISAWA K, YAMAMOTO I, WATANABE K. CANNABIDIOLIC ACID AS A SELECTIVE CYCLOOXYGENASE-2 INHIBITORY COMPONENT IN CANNABIS. *DRUG METABOLISM AND DISPOSITION* 2008; 36 (9):1917-192.
66. TAKEDA S, MISAWA K, YAMAMOTO I, WATANABE K. CANNABIDIOLIC ACID AS A SELECTIVE CYCLOOXYGENASE-2 INHIBITORY COMPONENT IN CANNABIS. *DRUG METABOLISM AND DISPOSITION* 2008; 36 (9): 1917-1921.
67. TAKEDA S, OKAJIMA S, MIYOSHI H, YOSHIDA K, OKAMOTO Y, OKADA T, AMAMOTO T, WATANABE K, OMIECINSKI CJ, ARAMAKI H. CANNABIDIOLIC ACID, A MAJOR CANNABINOID IN FIBER-TYPE CANNABIS, IS AN

INHIBITOR OF MDA-MB-231 BREAST CANCER CELL MIGRATION. TOXICOL LETT 2012; 214(3): 314-319.

68. TODD A. R. HASHISH. EXPERIENTIA 1946; 2: 55-60.

69. TURNER SE, WILLIAMS CM, IVERSEN L, WHALLEY BJ. MOLECULAR PHARMACOLOGY OF PHYTOCANNABINOIDS. PROG CHEM ORG NAT PROD. 2017;103:61-101. DOI: 10.1007/978-3-319-45541-9\_3. REVIEW.

70. VINALS X, MORENO E, LANFUMEY L, CORDOMI A, PASTOR A, DE LA TORRE R, GASPERINI P, NAVARRO G, HOWELL LA, PARDO L, LLUIS C, CANELA EI, MCCORMICK PJ, MALDONADO R, ROBLEDO P. 2015. COGNITIVE IMPAIRMENT INDUCED BY DELTA9-TETRAHYDROCANNABINOL OCCURS THROUGH HETEROMERS BETWEEN CANNABINOID CB1 AND SEROTONIN 5-HT2A RECEPTORS. PLOS BIOLOGY. [HTTP://DX.DOI.ORG/10.1371/JOURNAL.PBIO.1002194](http://dx.doi.org/10.1371/JOURNAL.PBIO.1002194)

71. WANG W, SUN D, PAN B, ROBERTS CJ, SUN X, HILLARD CJ, LIU QS. DEFICIENCY IN ENDOCANNABINOID SIGNALING IN THE NUCLEUS ACCUMBENS INDUCED BY CHRONIC UNPREDICTABLE STRESS. NEUROPSYCHOPHARMACOLOGY. 2010 OCT;35(11):2249-61.

72. WHEAL AJ, CIPRIANO M, FOWLER CJ, RANDALL MD, O'SULLIVAN SE. CANNABIDIOL IMPROVES VASORELAXATION IN ZUCKER DIABETIC FATTY RATS THROUGH CYCLOOXYGENASE ACTIVATION. J PHARMACOL EXP THER 2014;351(2):457-66.

73. Y DAVID L., DEWITT. COX-2-SELECTIVE INHIBITORS: THE NEW SUPER ASPIRINS. MOLECULAR PHARMACOLOGY 1999; 55 (4): 625-631.

74. YOSHIDA H, USAMI N, OHISHI Y, WATANABE K, YAMAMOTO I, YOSHIMURA H. SYNTHESIS AND PHARMACOLOGICAL EFFECTS IN MICE OF HALOGENATED CANNABINOL DERIVATIVES. CHEMICAL & PHARMACEUTICAL BULLETIN 1995; 43(2),335-7.

75. YOUNTS TJ, CASTILLO PE. ENDOGENOUS CANNABINOID SIGNALING AT INHIBITORY INTERNEURONS. CURR OPIN NEUROBIOL. 2014 JUN;26:42-50.

76. ZYGMUNT PM, ANDERSSON DA, HOGESTATT ED. 9-TETRAHYDROCANNABINOL AND CANNABINOL ACTIVATE CAPSAICIN-SENSITIVE SENSORY NERVES VIA A CB1 AND CB2 CANNABINOID RECEPTOR-INDEPENDENT MECHANISM. THE JOURNAL OF NEUROSCIENCE, 2002,22:4720-4727.

David Neubauer<sup>1</sup>, Mirjana Perkovič-Benedik<sup>2\*</sup>

# KONOPLJA V MEDICINI: otroška nevrologija

## POVZETEK

Epilepsija (sinonim tudi božjast) prizadene približno en odstotek prebivalstva po vsem svetu. Otroška epilepsija, ki se pojavi pred tretjim letom starosti in ima trdovratne epileptične napade (napadi odporni na različna protiepileptična zdravila – PEZ), je lahko v mnogih primerih povezana z zmanjšanim inteligenčnim količnikom v poznejšem otroškem in mladostniškem obdobju (1). Taka epilepsija ne botruje zgolj zmanjšanju kognitivnih funkcij pač pa tudi pogostim vedenjskim in psihiatričnim motnjam, ki se lahko pokažejo šele v mladostniškem obdobju (2,3). Zato so v tem zgodnjem in tako ranljivem obdobju otroštva (sprva zlasti glede gibalnega razvoja samega, nato pa predvsem razvoja socialnih in mentalnih veščin) tako pomembni zgodnja prepoznavna, pravilno ukrepanje in zdravljenje epileptičnih napadov, ki so odporni na različna PEZ (farmakorezistentni). Končni cilje celotne obravnave otroške epilepsije mora zato vselej biti popolna odsotnost epileptičnih napadov, oziroma čim boljša kontrola epileptičnih napadov, pri čemer pa nas tudi tedaj, ko kot otroški nevrologi menimo, da je možnost ozdravitve majhna, takšno stališče ne sme privedi do tega, da ne poskusimo uporabiti prav vse načine zdravljenja, ki so danes na voljo (3-5).

Ključne besede: epilepsija, konoplja, kanabnoidi

## Uvod

V zdravljenju trdovratne epilepsije pri otrocih so vedno prva izbira zdravljenja protiepileptična zdravila (PEZ), za njihovo uporabo pa obstajajo jasne smernice. PEZ običajno razvrščamo po skupinah – kot zdravila prve izbire, alternativna zdravila prve izbire in dopolnilna zdravila (za zdravljenje v kombinaciji). Na koncu takšnih smernic so ponavadi navodila, katere postopke moramo opraviti, kadar tudi kombinirano zdravljenje ni učinkovito ali ga otrok ne prenaša (6). V kolikor otrok ni kandidat za kirurgijo epilepsije, se takrat ponavadi poslužimo t.i. nefarmakoloških in drugih pristopov in postopkov, od katerih so nekateri znani že stoletja ali so celo iz bibličnih časov, kot so ketogena dieta in druge podobne diete, uporaba različnih mineralov (na primer magnezija) in živilskih dopolnil (kot sta na

primer vitamin B6 – piridoksin in folinična kislina) ter v zadnjem času tudi različne vrste kanabinoidov (zlasti tistih iz naravne medicinske konoplje) in nekaterih iz njih izdelanih sintetičnih snovi - predvsem kanabidiola (7). Kar zadeva zelišča ocenjujejo, da kar ena od petih oseb v Združenih državah Amerike uporablja zeliščna dopolnila ali zdravilne učinkovine, pri otrocih pa se uporabljajo nekoliko redkeje (8). Za uporabo slednjih in njihovo učinkovitost še ni trdnih znanstvenih dokazov. V zadnjih nekaj letih je bilo veliko raziskav posvečenih kanabidiolu (CBD), ki je glavna ne-psihoaktivna sestavina konoplje (*Cannabis sativa*), ki so jo že stoletja uporabljali pri vseh mogočih tegobah, od zdravljenja anoreksičnosti in drugih psihosomatskih bolezni do lajšanja različnih bolečin, zlasti kroničnih, in kot učinkovito sredstvo proti navzeji in bruhanju ter seveda tudi proti različnim vrstam napadov krčev pri osebah z epilepsijo (9). Možne učinke zdravljenja s CBD so preučevali tudi v raziskavah o zdravljenju določenih psihiatričnih bolezni, kakršni sta anksioznost in shizofrenija in izsledki so potrdili dobre rezultate (10).

Rastlina sicer vsebuje več kot 80 fitokanabinoidov, o njihovih zdravilnih učinkih pa ne vemo kaj dosti, razen za dve učinkovini, in sicer psihoaktivni tetrahidrokanabinol (THC) in CBD. V zadnjih nekaj letih je bilo veliko zanimanja javnosti o učinkovitosti neprečiščene medicinske konoplje, ki vsebuje visoko razmerje teh dveh sestavin (CBD:THC), za zdravljenje epilepsij pri otrocih, še zlasti za zdravljenje trdovratnih otroških epilepsij in/ali t.i. epileptičnih encefalopatij, kot sta sindroma Dravet in Lennox-Gastaut (4,5,7,11-15).

1 prof. dr. David Neubauer, dr. med., specialist pediatrije in specialist otroške nevrologije

2 asist.dr. Mirjana Perkovič-Benedik, dr. med., specialistka pediatrije in specialistka otroške nevrologije

1,2 Univerzitetni klinični center Ljubljana, Pediatrična klinika, Klinični oddelek za otroško, mladostniško in razvojno nevrologijo, Bohoričeva 20, 1000 Ljubljana

E-Mails: david.neubauer@mf.uni-lj.si

\* Avtor za korespondenco; david.neubauer@mf.uni-lj.si, mirjana.perkovicbenedik@kclj.si

### 1.1. Šarlotina mreža, kanabidiol in drugi kanabinoidi v zdravljenju na zdravila odporne otroških epilepsij

Šarlota (Charlotte Figi) je majhna deklica, ki ima genetsko dokazan epileptični sindrom – sindrom Dravet, ki je huda oblika zgodnje epileptične encefalopatije. Že kot trimesečna dojenčica je imela pogoste epileptične napade, tako ob vročini kot tudi brez nje (5). Do petega leta starosti je prejela celo vrsto PEZ, in sicer osem različnih zdravil prve izbire in kombinacije z dopolnilnimi zdravili, poskusili so tudi s ketogeno dieto, a brez pravega uspeha. Šarlota je zato začela dodatno umsko in gibalno propadati, saj je večasih imela tudi do 300 napadov na dan (op. avt. različni viri navajajo različno eni 300/dan ali 300 na teden).

Ko je nekoč mati naključno izvedela, da je v Kaliforniji (ZDA) enemu od staršev otrok s hudo obliko epilepsije uspelo pozdraviti napade pri svojem otroku s konopljo, je kljub svarilom, da bi tak način zdravljenja utegnil Šarloti bolj škodovati kot koristiti, poiskala brata Stanley v Koloradu, ki sta gojila konopljo v medicinske namene. Obljubila sta ji, da bosta vzgojila tako vrsto konoplje, ki ne bo vsebovala veliko psihoaktivne substance (THC), ampak pretežno ne-psihoaktivni CBD, in kmalu zatem sta sporočila, da imata proizvod iz konoplje, ki vsebuje manj kot 0,3% THC. Ko je mati od tima epileptologov, ki so obravnavali njeno hčer, dobila zeleno luč, je začela Šarloti dajati nizke odmerke ekstrakta te rastline pod jezik. Zgodilo se je, kar so kasneje opisovali kot čudež - v naslednjem tednu Šarlota ni imela niti enega napada. Kasneje je sicer še imela kakšen napad, vendar ima sedaj zgolj dva do tri napade ponoči. Še pomembnejše pa je to, da je Šarlota postala spet bolj podobna sama sebi, manj ima avtističnega vedenja, lahko se sama hrani in pije ter ponoči mirno spi (5). Brata Stanley sta nato ustanovila nevladno, neprofitno organizacijo in nudita pomoč tudi drugim staršem, ki imajo otroke s t.i. katastrofalnimi epilepsijami. V letu 2014 so na tak način zdravili že 200 otrok, saj se mnoge družine prav zaradi dostopnosti tega zdravljenja priseljujejo v državo Kolorado. Tako je nastala Šarlotina mreža – poimenovana po Šarloti pa tudi po njeni najljubši otroški knjižnici, ki govori o pajkovki Šarloti in pujsku Wilburu ter sedaj tudi po tej posebni vrsti konoplje, z bogato vsebnostjo CBD oziroma visokim razmerjem CBD/THC.

Kasneje je nevrolog Devinsky s svojo skupino na New York University's Comprehensive Epilepsy Center v ZDA začel klinično raziskavo s preparatom, ki so ga poimenovali Epidiolex, sintetičnim zdravilom z visoko vsebnostjo CBD, ki ga je izdelala farmacevtska družba (15). Skupaj z drugimi manjšimi študijami so ugotovili, da je varnost uporabe CBD pri človeku zelo visoka in da je toleranca odlična. Nobenih stranskih učinkov, ki bi vplivali na osrednje živčevje, ni bilo niti pri odmerjanju do 1500 mg dnevno (15,16). Glede dolgotrajne uporabe nimamo veliko podatkov, vendar pa obstaja podatek, da so nabiximole (v katerem je razmerje CBD:THC 1:1), ki je dovoljen za uporabo v mnogih evropskih državah, uporabljali veliko let brez večjih stranskih učinkov (17). Določili so tudi najmanjši učinkovit odmerek, ki naj bi bil za otroke 3 mg/kg/dan, in najvišjega, ki naj bi bil 12 - 17 mg/kg/dan (18-20).

#### 1.2. Učinkovitost in neželeni učinki

Študija z odprtim koncem Orinskega in sod. o uporabi čistega CBD je dokazala, da so uspeli občutno (pomembno)

zmanjšati število napadov pri majhnih bolnikih (11). Poleg tega so ugotovili tudi ustrezen profil varnosti za bolnike s hudimi, trdovratnimi epilepsijami, saj je moralo samo pet bolnikov (3%) od 162 zdravljenje prekiniti zaradi nezaželenih učinkov. Učinkovitost CBD je torej videti zelo obetavna, vendar avtorji navajajo, da bodo potrebne nadaljnje študije. Tudi kar zadeva uporabo CBD pri drugih stanjih, sta se naravna konoplja in CBD izkazala za učinkovita, zlasti kot zdravilo proti bruhanju in slabosti, kot analgetik in za zmanjšanje intraokularnega tlaka (21). Isti avtor tudi navaja, da je medicinska konoplja varna kar zadeva morebitno prekoračitev odmerka, so pa lahko ob tem prisotni nekateri neželeni učinki, kot so nerodnost pri hoji in gibih, omotičnost in vrtoglavica, suha usta in hitro bitje srca. Tudi on poudarja potrebo po nadaljnjih raziskavah, s katerim bi ugotovili, kateri je najprimernejši odmerek in kakšen je najboljši način oziroma oblika dajanja konoplje. V neki drugi raziskavi, ki so jo opravili z vprašalnikom staršem na Facebooku, ki so se tam zbrali za izmenjavo mnenj glede učinkovitosti medicinske konoplje za zdravljenje njihovih otrok s trdovratnimi epilepsijami, je na 24 vprašanj odgovarjalo 150 staršev (22). Z raziskavo so ugotovili, da je bilo povprečno število pred tem porabljenih PEZ brez pravega učinka kar 12, medtem ko je po uporabi medicinske konoplje z visoko vsebnostjo CBD prišlo v 84% do zmanjšanja števila napadov (pri 42% otrok do več kot 80% zmanjšanja), pri 11% pa je prišlo do popolnega prenehanja napadov (22). Poleg tega so starši navedli tudi dodatne pozitivne učinke (podobno kot tudi pri naši skupini – glej spodaj), in sicer večjo pozornost/čujječnost, boljše razpoloženje in izboljšanje spanja. Med stranskimi učinki sta bila zaspanost in utrujenost. Podobna študija, ki so jo objavili lani in ki je vključevala predvsem starše otrok z dvema najhujšima epileptičnima sindromoma (sindromom infantilnih spazmov in sindromom Lennox-Gastaut), je pokazala, da je medicinska konoplja z visoko vsebnostjo CBD zelo učinkovita. Na vprašalnik je odgovarjalo 117 staršev, ki so navedli 85% zmanjšanje števila napadov, od teh je bilo 14% otrok povsem brez napadov (23). Med stranskimi učinki so starši navedli zgolj zvečan apetit (?pozitiven učinek pri večini takih otrok), ponovno pa so navedli pozitivne učinke: izboljšanje spanja pri 53% otrok, boljše pozornost pri 71% in izboljšanje vedenjskega stanja pri 63% otrok (23).

### 1.3. Kanabinoidi pri drugih stanjih v otroški nevrologiji

#### 1.3.1. Obporodna hipoksija

Obporodna hipoksija imenujemo vrsto stanj, ki se dogajajo tik pred porodom, med njim in takoj po njem in škodljivo vplivajo na razvoj možganov. Glavni vzrok je sicer pomanjkanje kisika, ki ga zelo pogosto spremlja tudi prešibek pretok krvi v možganih, vendar so posledice hujše, ker se ob tem sprošča veliko število razvijajočim se možganom zelo škodljivih snovi. Najškodljivejši vplivi, proti katerim se skušamo boriti, so oksidacijski stres, nevroinflamacija in toksičnost nekaterih snovi, ki vdoro v celico. Endokanabinoidni sistem je endogeni nevromodulacijski sistem, ki deluje na veliko funkcij osrednjega in perifernega živčevja. Prav modulacija endokanabinoidnega sistema se je izkazala za zelo učinkovito nevroprotektivno strategijo za preprečevanje (ali vsaj za zmanjševanje) neonatalne poškodbe možganov na možganskih modelih (24). Pogostost obporodne hipoksije je 2-3/1000 živorojenih otrok, kar pomeni, da v Sloveniji vsako leto prizadene 40 - 60 otrok. Danes je edini

uspešen način zdravljenja takojšnja (znotraj šestih ur po rojstvu) hipotermija. Pri nas uporabljamo ohlajevanje celotnega telesa (na temperaturo 33 do 34 stopinj celzija) in ta postopek uporabljamo od leta 2006 (25). Tudi v takih primerih so kanabinoidi obetavni kot t. i. nevroprotektivne snovi, saj delujejo kot zaviralci vdora kalcijevih jonov v celico, kar je eden od glavnih mehanizmov poškodbe možganskih celic. Poleg tega delujejo kot antioksidanti in kot protivnetne snovi ter pospešujejo mielinizacijo (26). Dokazano je tudi, da se pri obporodni hipoksiji in pri drugih poškodbah možganov povečajo ravni telesu lastnih endokannabinoidov. Zanimivo pa je, da kanabinoidi delujejo nevroprotektivno tudi, če jih uporabimo še 12 ur po hipoksični poškodbi možganov pri novorojenčkih (15).

### 1.3.2. Psihotična stanja

Dokazali so, da imajo kanabinoidi in še zlasti CBD antipsihotični način delovanja (27). Pri prostovoljcih so dokazali, da CBD lahko zavre psihotične simptome, ki nastanejo ob uživanju THC. V primerjalni študiji med CBD in standardnimi protipsihotičnimi zdravili se je izkazalo, da je bil CBD boljši, ker je bolj izboljšal negativne simptome, poleg tega pa je imel manj stranskih učinkov, zlasti ekstrapiramidnih znakov. Še več, najnovije študije dokazujejo tudi izboljšanje kognitivnih funkcij po uživanju CBD (15). Zelo dober je tudi za zdravljenje bipolarnih motenj pri mladostnikih in mladostnicah (28).

### 1.3.3. Zasvojenost

Ugotovili so, da CBD ne povzroča nobene zasvojenosti, celo nasprotno, deluje proti vedenjskim vzorcem zasvojenosti zaradi zdravil, heroina in THC. Sedaj potekajo raziskave o možnostih zdravljenja človeške zasvojenosti s THC.

### 1.3.4. Spastičnost in distonija pri neurodegenerativnih boleznih

Kanabinoidi (z nizko vsebnostjo THC) so se izkazali za uspešne pri zdravljenju številnih simptomov in znakov, ki jih s seboj prinašajo neurodegenerativne bolezni v otroštvu. Nizki odmerki THC (od 0,04 do 0,09 mg/kg telesne teže) zmanjšajo spastičnost in distonijo, povečajo zanimanje za okolico, imajo protikonvulzivni učinek in izboljšajo pomnenje ter razmišljanje (13,29).

### 1.3.5. Tiki in Gilles de la Tourette

Mnogi mladostniki, mladostnice in mlade odrasle osebe so poročali o izboljšanju simptomov pri bolezni Gilles de la Tourette in pri drugih trdovratnih tikih. Kot je znano, se ti nehotni gibovi v prednajstniškem obdobju najprej poslabšajo, nato dosežejo vrhunec v najstniškem obdobju in se nato v odraslosti stabilizirajo. Pri odraslih osebah s tiki je THC priporočeno zdravljenje, kadar zdravila prvega reda ne pomagajo (30).

## 1.4. Endokannabinoidni sistem pri otrocih

Klasični endokannabinoidni sistem vključuje kanabinoidne receptorje CB1 in CB2, ligande in presnovne encime. Vse več je poročil o tem, da obstajajo znaki in simptomi t.i. pomanjkanja v endokannabinoidnem sistemu, kar povzroča migreno, fibromialgijo, sindrom razdražljivega črevesa in mnoge

psihiatrične motnje – vse to so stanja, ki se začenejo v mladostniškem obdobju (31). Poznano je, da gre pri otrocih z avtizmom za t.i. disregulacijo imunskega sistema, endokannabinoidni sistem pa je ključni urejevalec imunosti preko receptorjev CB2, kar se izraža zlasti na makrofagih. Pri otrocih z avtizmom so potrdili spremembe na makrofagnem sistemu in na tistih makrofagih, ki so odvisni od zadostne količine vitamina D v telesu. Zato znanstveniki menijo, da se bo verjetno kmalu izkazalo, da imajo kanabinoidni receptorji tipa CB2 možen terapevtski učinek v obravnavi otrok z avtizmom (32).

## 2. Rezultati in diskusija

Z zdravljenjem s kanabidiolom (CBD), ne-psihotropno substanco v konoplji, smo začeli v začetku leta 2015, in sicer smo uvozili v ta namen sintetični produkt družbe Bionorica. Klinična študija (ki ima odobritev Komisije za medicinsko etiko) sicer nima primerjalne skupine, vendar je njen poglavitni namen določiti pogostnost epileptičnih napadov med uvajanjem CBD in po njegovi uvedbi v primerjavi s pogostnostjo epileptičnih napadov pred vstopom v raziskavo, določiti tisti odmerek CBD, ki ga bodo otroci dobro prenašali in bo učinkovit (vsaj 50% zmanjšanje pogostnosti epileptičnih napadov) ter spremljanje morebitnih nezaželenih učinkov.

Do sedaj smo na ta način zdravili 21 otrok s trdovratno epilepsijo (kar pomeni, da epileptični napadi niso prenehali po uporabi vsaj > dveh protiepileptičnih zdravil) in dva otroka, katerih starši so se zaradi možnih stranskih učinkov PEZ raje odločili najprej poskusiti s CBD – tabela 1. Na podlagi prvih rezultatov (23 otrok, od katerih za tri še nimamo podatka) lahko rečemo, da so učinki dobri ali celo zelo dobri; pri sedmih otrocih po uvedbi CBD ni bilo več napadov (35%), pri štirih je prišlo do več kot 90% izboljšanja (20%) in pri naslednjih štirih do več kot 50% izboljšanja (20%). To torej pomeni, da je bil CBD uspešen vsaj z več kot 50% izboljšanjem pri kar 75% otrok. V treh primerih ni bilo učinka in smo CBD ukinili (15%), v dveh primerih je bil učinek manj kot 50%, vendar so starši prosili, da bi še nekaj časa vztrajali z zdravljenjem, ker je prišlo pri enem do izboljšanja vedenjskih funkcij (kar so starši navedli še pri 13 drugih, torej pri kar 65%), pri drugem pa je bil v začetku uporabljen previsok odmerek (20 mg/kg/dan) – to je bil tudi edini primer, ko smo zabeležili pomembne stranske učinke, ki pa so po zmanjšanju odmerka izginili (Tabela 1).

Ker nismo imeli primerjalne skupine, smo ocenili za primerno, da sledimo tudi otrokom, pri katerih so nam starši povedali, da so začeli z zdravljenjem z medicinsko konopljo (to je bil v večini primerov preparat v obliki olja ali smole, ki prav tako vsebuje visoke količine CBD, v nizkem razmerju pa vsebuje tudi delta - hidrokanabinol (THC) - pri nas se razmerja CBD/THC v medicinski konoplji gibljejo med 20:1 in 15:1, pri treh otrocih iz Makedonije, pa smo pri dveh uspeli analizirati sestavine, pri enem pa ne. (Tabela 2) Od deset otrok je prišlo do popolne ukinitve napadov pri sedmih (70%), pri enem ni bilo učinka, pri dveh pa je bil učinek manj kot 50% (20%). Prav tako so starši pri mnogih otrocih navajali boljše sodelovanje, boljše vedenjske in kognitivne funkcije in boljše motoriko (manj spastičnosti).

Tudi v tej skupini imamo okoli 20 otrok, ki jim sledimo, in rezultati so kar zadeva zmanjšanje števila epileptičnih napadov zelo podobni. Dodatno pa so starši nekaterih otrok navajali, da je prišlo tudi do bolj umirjene vedenjske slike, da imajo otroci



boljše spanje, boljši apetit in da so se jim, kot pri sintetičnem CBD, izboljšale kognitivne in motorične funkcije.

Pripravljamo se na študijo, v kateri bi eni skupini dajali najprej 6 tednov sintetični CBD, drugi pa kombinacijo CBD/THC naravne konoplje, po 6 tednih pa bi zdravili skupinama zamenjali - to bi nam gotovo omogočilo priti do novih spoznanj (morda tudi znanstvenih ugotovitev) o lastnostih ene in druge učinkovine.

Pripomniti moramo, da imamo zaenkrat te skromne izkušnje zgolj na področju zdravljenja epilepsij, čeprav je že kar nekaj časa znano, da je CBD, zlasti pa visoko razmerje CBD/THC učinkovito zdravilo tudi za zdravljenje drugih simptomov in znakov v otroški nevrologiji - spastičnosti, tikov, pomanjkanja pozornosti in nekaterih psihosomatskih bolezni (fibromialgije, glavobolov, itd).

Na koncu pa še nekaj - ne politika ne mediji se niso negativno odzivali na uporabo konoplje v medicini (slednji so vedno zelo pripravljeni poročati o uporabi sintetičnega in naravnega CBD), kar pa zadeva stroko in celo lastne kolege in kolegice pa smo žal ugotavljali, da je bilo v začetku ogromno nasprotovanja - že zdravljenje s CBD (ki ne vsebuje ničesar psihotropnega) se jim je kljub pozitivnemu mnenju Komisije za medicinsko etiko zdela izrazito etično vprašljiva, češ "sedaj boste pa otroke zastupljali s hašišem".

Napetost je bila zelo velika in nobeno strokovno navajanje o razlikah med medicinsko konopljo in t.i. rekreativno konopljo jih ni moglo prepričati (zdi se, da mnogi in mnoge izmed teh, ki takemu zdravljenju nasprotujejo, še danes pravzaprav ne vedo v čem je razlika (!), da ne govorimo o tem, da verjetno še nikoli niso slišali za endokanabinoidni sistem) - nekoliko so se "omehčali/omehčale" šele, ko so zaznali dejanske uspehe in zadovoljstvo staršev in nekatere/nekateri sedaj CBD že tudi same/sami predpisujejo.

Sicer pa je nedavna anketa, ki so jo opravili v reviji *Epilepsia* potrdila, da v različnih skupinah intervjuvancev (zdravniki specialisti, laiki - pacienti in javnost - splošni zdravniki, raziskovalci in medicinske sestre) obstajajo zelo velika razhajanja mnenj glede uporabe medicinske konoplje in kanabidiola (33). Prav specialisti (nevrologi in epileptologi) so bili glede mnenja o pozitivni učinkovitosti konoplje (varna in učinkovita) v primerjavi z laično javnostjo in drugimi zdravstvenimi delavci (splošni zdravniki, medicinske sestre) in znanstveniki v manjšini. Da je dovolj varna in učinkovita jih je menilo le 34% oz. 28% od tistih iz prve skupine, medtem ko je laična javnost menila, da je varna v 96% in učinkovita v 95%, celo splošni zdravniki in znanstveniki so menili, da je varna v 70% in učinkovita v 71%. Samo 48% nevrologov in epileptologov bi priporočilo njeno uporabo, v primerjavi z 98% javnosti in 83% splošnih zdravnikov, medicinskih sester in znanstvenikov (33).

### 3. Zaključki

Kot je razvidno iz zgoraj napisanega obstajajo še vedno precejšnja razhajanja glede uporabe kanabidiola, še posebej pa kanabinoidov in medicinske konoplje (z visokim razmerjem CBD/THC) za zdravljenje epilepsij in drugih nevroloških stanj pri otrocih in mladini (34). Zanimivo je tudi, da je največji odpor do tovrstnega zdravljenja prav med specialisti (nevrologi, epileptologi), medtem ko splošni zdravniki, raziskovalci, zlasti pa bolniki sami in javnost tovrstno zdravljenje odobravajo in menijo, da je zelo učinkovito. Glede na povedano obstajajo

določeni dokazi, da je majhen odstotek psihoaktivne snovi (THC) zdravilne in ne povzroča konvulzivnih stranskih učinkov ali zasvojenosti. To bi lahko medicinsko konopljo postavilo ob bok sintetičnih kanabinoidov, čeprav moramo vedeti, da obstaja pri medicinski konoplji še dodaten učinek - t.i. učinek "entourage", kar pomeni, da je kombinacija kanabinoidov v rastlini tista, ki je lahko učinkovita in je prav gotovo za večino stanj, ki jih danes zdravimo bolj učinkovita od njene posamezne sestavine (35). Preparati medicinske konoplje bi zatorej lahko danes predstavljali možnost za "compassionate use" pri hudih nevroloških težavah otrok in mladine. Morda se v danih okoliščinah laže odločimo predvsem za uporabo pri tistih otrocih, kjer s standardnimi postopki ne dosežemo želenega učinka, vsekakor pa se ob vse številnejših raziskavah na tem področju in kakovostnih kliničnih študijah o uporabnosti in učinkovitosti, rabi kanabinoidov in medicinske konoplje obeta občutna širitev.

### Literatura

1. Berg, A.T.; Zelko, F.A.; Levy, S.R., et al. Age at onset of epilepsy, pharmacoresistance, and cognitive outcome: a prospective cohort study. *Neurology* 2012;79:1384-1391.
2. Devinsky, O.; Vickery, B.G.; Cramer, J., et al. Development of quality of life in epilepsy inventory. *Epilepsia* 1995;36:1089-1104.
3. Donner, E.J. Opportunity gained, opportunity lost: treating pharmacoresistant epilepsy in children. *Epilepsia* 2013;54(SupplS2):16-18.
4. Cilio, M.R.; Thiele, E.A.; Devinsky, O. The case for assessing cannabidiol in epilepsy. *Epilepsia* 2014;55:787-790.
5. Maa, E.; Figi, P. The case of medical marijuana in epilepsy. *Epilepsia* 2014;55:783-786.
6. <https://www.nice.org.uk/guidance/cg137/chapter/guidance> (dne: 14. februarja 2016)
7. Sharp, G.B.; Samanta, D.; Willis, E. Options for pharmacoresistant epilepsy in children: when medications don't work. *Pediatr Ann* 2015;44:e43-e48.
8. Bent, S. Herbal medicine in the United States: review of efficacy, safety and regulation: grand rounds at University of California, San Francisco Medical Center. *J Gen Intern Med* 2008;23:854-859.
9. Russo, E.B. History of cannabis and its preparation in saga, science and sobriquet. *Chem Biodivers* 2007;4:1614-1648.
10. Zuardi, A.; Crippa, J.; Hallak, J., et al. Possible therapeutic uses of cannabidiol in anxiety disorders and schizophrenia. *Braz J Med Biol Res* 2006;39:421-9.
11. Devinsky, O., Marsh, E., Friedman, D., et al. Cannabidiol in patients with treatment-resistant epilepsy: an open-label interventional trial. *Lancet Neurol* 2015; doi: 10.1016/S1474-4422(15)00379-8. [Epub ahead of print]
12. Cortesi, M.; Fusar-Poli, P. Potential therapeutic effects of cannabidiol in children with pharmacoresistant epilepsy. *Med Hypotheses* 2007;68:920-921.
13. Dan, B. Cannabinoids in paediatric neurology. Editorial. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2015;57:984.

14. Press, C.A.; Knupp, K.G.; Chapman, K.E. Parental reporting of response to oral cannabis extracts for treatment of refractory epilepsy. *Epilepsy & Behavior* 2015;45:49-52.
15. Devinsky, O.; Cilio, M.R.; Cross, H., et al. Cannabidiol: Pharmacology and potential therapeutic role in epilepsy and other neuropsychiatric disorders. *Epilepsia* 2014;55:791-802.
16. Bergamaschi, M.M.; Queiroz, R.H.C.; Zuardi, A.W., et al. *Curr Drug Saf* 2011;6:237-249.
17. Koppel, B.S.; Brust, J.C.M.; Fife, T., et al. Systematic review: efficacy and safety of medical marijuana in selected neurologic disorders: report of the Guideline Development Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology* 2014;82:1556-63.
18. Izquierdo, I.; Tannhauser, M. The effect of cannabidiol on maximal electroshock seizures in rats. *J Pharm* 1973;25: 916-917.
19. Cheser, G.; Jackson, D.; Mallor, R. Interaction of delta-9tetrahydrocannabinol and cannabidiol with phenobarbitone in protecting mice from electrically induced convulsions. *Journ Pharm and Pharmacol* 1975;27:608-609.
20. Jones, N.; Hill, A.; Smith, I., et al. Cannabidiol displays antiepileptiform and antiseizure properties in vitro and in vivo. *Journ Pharmacol Exper Therap* 2010; 332:569-577.
21. Robson, P. Therapeutic aspects of cannabis and anabinoids. *BJP* 2001;178:107-115.
22. Porter, B.E.; Jacobson, C. Report of a parent survey of cannabidiol-enriched cannabis use in pediatric treatment-resistant epilepsy. *Epilepsy & Behavior* 2013;29:574-7.
23. Hussain, S.A.; Zhou, R.; Jacobson, C., et al. Perceived efficacy of cannabidiol-enriched cannabis extracts for treatment of pediatric epilepsy: A potential role for infantile spasms and Lennox-Gastaut syndrome. *Epilepsy & Behavior* 2015;47:138-41.
24. Fernandez-Lopez, D.; Lizasoain, I.; Moro, M.A., et al. Cannabinoids: Well-suited candidates for the treatment of perinatal brain injury. *Brain Sci* 2013;3:1043-1059.
25. Škofljanec, A.; Derganc, M.; Paro Panjan, D.; Osredkar, D.; Kodrič, J.; Neubauer, D. Seven years experience with therapeutic hypothermia in PICU. V: KORNHAUSER-CERAR, Lilijana (ur.), LUČOVNIK, Miha (ur.). Programme & book of abstracts. Ljubljana: Združenje za perinatalno medicino pri Slovenskem zdravniškem društvu, 2013, str. 63-64.
26. Martinez-Orgado, J.; Fernandez-Lopez, D.; Lizasoain, I., et al. The seek of neuroprotection: introducing cannabinoids. *Recent Pat CNS Drug Discov* 2007;2:131-139.
27. Leweke, F.M.; Piomelli, D.; Pahlisch, F., et al. Cannabidiol enhances anandamide signaling and alleviates psychotic symptoms of schizophrenia. *Transl Pyschiatry* 2012;2:e94.
28. Ashton, A.; Moore, A.; Gallagher, P., et al. Canabinoids in bipolar affective disorder: a review and discussion of their therapeutic potential. *J Psychopharmacol* 2005;19:293-300.
29. Lorenz, R. On the application of cannabis in paediatrics and epileptology. *Neuroendocrinol Lett* 2004;25:40-44.
30. Müller-Vahl, K.R. Treatment of Tourette syndrome with cannabinoids. *Behavioural Neurology* 2013;27:119-124.
31. McPartland, J.M.; Guy, G.W.; Di Marzo, V. Care and feeding of the endocannabinoid system: A systematic review of potential clinical interventions that upregulate the endocannabinoid system. *Plos One* 2014;9:1-21.
32. Siniscalco, D.; Bradstreet, J.J.; Cirillo, A., et al. The in vitro effects of endocannabinoid system transcriptomics, receptro formation, and cell activity of autism-derived macrophages. *Journal of Neuroinflammation* 2014;11:78-89.
33. Mathern, G.W.; Beninsig, L.; Nehlig, A. Fewer specialists support using medical marijuana and CBD in treating epilepsy patients compared with other medical professionals and patients: result of Epilepsia's survey. *Epilepsia* 2015;56:1-6.
34. Mathern, G.; Nehlig, A.; Sperling, M. Cannabidiol and medical marijuana for the treatment of epilepsy. *Epilepsia* 2014;55:781-2.
35. Sanchez-Ramos, J. The entourage effect of the phytocannabinoids. *Ann Neurol* 2015 ;77:1083

Špela Gorički<sup>1</sup>

# Razširjenost, evolucija in raznolikost populacij človeške ribice (*Proteus anguinus*)

## POVZETEK

Sorodstveni odnosi med populacijami človeške ribice so bili dolgo neznanka. Njeno evlucijsko zgodovino smo ugotavljali s filogenetsko analizo zaporedij mitohondrijskih genov. Z uporabo molekulske ure smo približno ocenili čase ločitev evlucijskih linij. Cepitve med tremi največjimi kladi, iz (1) Istre, (2) Slovenije in (3) osrednjih Dinaridov ter Dalmacije in Hercegovine so se po naših ocenah zgodile pred približno 7,2–16 milijoni let. Klada (2) in (3) sta naprej deljena. Edinstvena pigmentirana rasa človeške ribice iz Bele krajine je del jugovzhodnoslovenskega klada. Glede na recipročno monofilijo geografsko ali hidrografsko ločenih kladov in visoke genetske razdalje, ki dosejajo ali presegajo genetske razdalje med sestrskimi vrstami drugih dvoživk, smo identificirali več domnevno samostojnih evlucijskih linij, oziroma različnih vrst človeške ribice. Tudi pigmentirana človeška ribica verjetno predstavlja samostojno vrsto kljub temu, da smo pri tej populaciji zaznali precejšnjo genetsko podobnost s sorodnimi belimi človeškimi ribicami. Z inovativno metodo detekcije okoljske DNA (eDNA) v podzemni vodi smo namreč ugotovili, da se areala črne in bele človeške ribice v Beli krajini stikata. Ker pa doslej njunih križancev nismo zaznali ne z genetskimi ne z morfološkimi metodami, domnevamo, da sta populaciji reproduktivno izolirani, kar ustreza klasičnemu biološkemu konceptu vrste. Metodo okoljske DNA človeške ribice smo uspešno uporabili tudi v izvirih Črne Gore, zunaj doslej znanega območja njene razširjenosti, kar predstavlja prvo rabo te metode na kateri koli jamski živali na svetu.

**Ključne besede:** človeška ribica, evolucija, eDNA, Dinarski kras.

Voda v prevotljenem apnencu nudi domovanje številnim specializiranim živim bitjem. Zagotovo najbolj znamenita prebivalca kraških podzemnih voda je človeška ribica. To je edina v Evropi živeča dvoživka (sorodnica pupkov, močeradov, žab in krastač), ki je prilagojena življenju v podzemlju. Od njenega uradnega znanstvenega poimenovanja pred 251 leti (Laurenti, 1768) do danes so človeško ribico opazili na skoraj 300 nahajališčih – ponavadi v jamah in izviri – vzdolž Dinarskega krasa med Sočo v Italiji in Trebišnjico v Hercegovini. Izčrpen pregled 250 let raziskav človeške ribice podaja Aljančič (2019).

Vendar kraške vode niso povezane v neprekinjen podzemni splet, ampak zaradi netopnih kamninskih zaplat deloma tečejo po površju. Skozi geološko zgodovino se je območje današnjega Dinarskega krasa predvsem zaradi tektonskih premikov in klimatskih dejavnikov zelo spreminjalo, in to se dogaja še danes. Tudi nadzemni in podzemni vodni preplet se stalno spreminjata: ponekod se prej ločene vode sčasoma ali nenadno zlijejo, drugje spet presahnejo. Takšne hidrografske spremembe lahko prekinejo stik med prej prostorsko povezanimi osebki iste vrste. Vsaka od teh populacij se posled spreminja in razvija povsem

ločeno od drugih. Če so povezave med populacijami prekinjene dovolj dolgo, se iz prej enotne vrste lahko razvije več novih. Osebki tako nastalih različnih vrst se ob morebitnem ponovnem stiku navzkrižno razmnožujejo le zares izjemoma.

Evlucijska zgodovina vsakega organizma se odraža v njegovih dednih lastnostih (morfologiji, vedenju, zaporedju DNA itd.). Pri preučevanju in klasifikaciji takih vrst, katerih razmnoževanja v naravi ni mogoče opazovati, laboratorijski poskusi pa bi trajali predolgo, si zato pomagamo z analiziranjem njihovih dednih lastnosti. Velika podobnost dveh ali več osebkov v neki lastnosti je lahko odraz njihovega bližnjega sorodstva in nedavnega skupnega prednika ali pa, nasprotno, podobnih življenjskih pogojev, v katerih so se izmed nekoč različnih nesorodnih pojavnih oblik ohranile le take z določenimi lastnostmi. V primerjavi z genetskimi znaki je lahko vpliv okolja na morfološke lastnosti izrazitejši in pogostejši. Pod vplivom enako usmerjene selekcije lahko prihaja do konvergenca, to je do podobnih izpeljanih morfoloških stanj, ki izvirajo iz med seboj različnih predniških stanj (vendar konvergenca niso nujno adaptivnega značaja). Ta pojav nas torej lahko zavede v prepričanju, da so si med seboj podobni organizmi tudi neposredno sorodni, kar pa ni nujno res. Tudi pri človeški ribici je povsem mogoče, da populacije, ki naseljujejo med seboj ločena porečja, ali ki so med seboj oddaljene nekaj

<sup>1</sup> Scriptorium biologorum – Biološka pisarna, znanstvene raziskave in razvoj, d.o.o., Ulica Nikole Tesla 6, 9000 Murska Sobota, e-mail: goricki.spela@gmail.com

sto kilometrov, pravzaprav sorodstveno niso tako tesno povezane, kot domnevamo glede na njihov podoben izgled.

Kot kaže, nas je človeška ribica glede tega vprašanja dolgo časa slepila, in sicer vsaj odkar je Leopold Fitzinger leta 1850 pod rodovnim imenom *Hypochthon* na osnovi morfoloških razlik med tedaj znanimi populacijami človeško ribico razdelil na sedem vrst. Sodobniki Fitzingerjeve členitve niso sprejeli. Ob tem je treba tudi poudariti, da se je v sredini 19. stoletja človeštvo šele začelo zavedati dolgega Zemljinega obstoja in počasnega geološkega in klimatskega spreminjanja zemeljskega površja (1830), niso vedeli za tektonske premike zemeljske skorje (sredina 20. stoletja) in niso poznali ne evolucije (Darwinova knjiga o izvoru vrst je izšla 1859) ne principov dedovanja (Mendlove ugotovitve objavljene 1865, vendar povsem neznane do začetka 20. stoletja) in ne DNA (prvič so jo izolirali 1869, kot nosilko dednega zapisa pa identificirali šele 1943). Verjeli so, da so tako vrste kot tudi višje biološke skupine fiksne, produkt enkratnega nastanka nekoč v preteklosti. Medtem ko Fitzingerjeve ugotovitve niso bile statistično ovrednotene (začetek biometrije sega v zgodnje 20. stoletje), pa v nobeni od novejših analiz raziskovalci na osnovi morfologije niso uspeli zbrati dovolj trdnih dokazov, da bi človeško ribico lahko razdelili na več vrst.

Odkritje črne človeške ribice v Beli krajini leta 1986 (Aljančič in sod., 1986) je sprožilo serijo multivariatnih biometričnih obdelav te in belih človeških ribic iz različnih koncev areala (območja razširjenosti; Sket in Arntzen, 1994; Grillitsch in Tiedemann, 1994; Arntzen in Sket, 1997; Ivanović in sod., 2013). Domnevamo, da je črna človeška ribica, ki po svojem izgledu izrazito odstopa od drugih populacij, podobna izumrlemu skupnemu predniku človeških ribic iz evolucijske preteklosti, ko te še niso naselile podzemlja in postale troglomorfne. Na osnovi izrazitih razlik v morfologiji sta Boris Sket in Jan Arntzen leta 1994 razdelila človeško ribico na dve podvrsti: *Proteus anguinus anguinus* (bela človeška ribica) in *Proteus anguinus parkelj* (črna človeška ribica). Ta delitev je v veljavi še danes.

Omenjeno analizo je spremljala opredelitev ozko sorodnih encimov (alocimov) v nekaterih slovenskih populacijah, s pomočjo katere sta raziskovalca skušala ugotoviti genetsko strukturo vrste. V primerjavi vzorcev podobnosti alocimov in morfologije sta prvič pri človeški ribici nakazala, da so nekatere hidrografske izolirane populacije, ki so si v splošnih troglomorfnih znakih med seboj zelo podobne, genetsko pravzaprav precej različne. Verjetno je bil genski pretok med temi populacijami prekinjen že v površinskih vodah, pred vselitvijo v podzemlje, morfološka podobnost pa bi lahko bila rezultat konvergentne evolucije.

Problematico znotrajvrstnih odnosov, kjer so morfološke razlike večinoma zelo majhne, lahko bolj zanesljivo razjasnimo z uporabo molekularnih znakov. Ena od molekularno genetskih metod, ki nam to omogoča, je analiza informacij v zaporedju mitohondrijske DNA (mtDNA). MtDNA je v primerjavi z jedrnim geni klonalno dedovana po materini liniji in je zato brez

rekombinacij, a ima visoko stopnjo mutabilnosti (pojavljanja mutacij). Zaradi hitre evolucije določenih delov mitohondrijskega genoma in enostarševskega dedovanja lahko za ugotavljanje sorodstvenih odnosov na ravni populacij uporabimo mtDNA v kombinaciji z metodami, ki temeljijo na filogenetskih konceptih. Pri tem upoštevamo le značilnosti, za katere ugotovimo, da so izpeljane (apomorfije), za izvorna stanja (pleziomorfije) pa velja, da ne nosijo v te namene nobene uporabne informacije. Na ta način sva s Petrom Trontljem na Oddelku za biologijo Univerze v Ljubljani pred nekaj leti preučevala sorodstvene odnose med populacijami človeške ribice s celotnega območja njene takrat znane razširjenosti (Gorički, 2006; Gorički in Trontelj, 2006; Trontelj in sod., 2007; Trontelj in sod., 2009). V ta namen sva zbrala podatke o zaporedju nekaj manj kot četrt dolžine mtDNA pri skoraj 180 primerkih človeške ribice.

Z analizami mtDNA sva potrdila in nadgradila, kar so nakazali že alocimi: izračunala sva, da so nekatere populacije človeške ribice med seboj ločene že več milijonov let (Slika 1); domnevamo, da so podzemlje naselile ločeno in neodvisno ena od druge. Bazalna ločitev na tri klade (Istra, Slovenija-Italija in Dalmacija-Hercegovina-Bosanska Krajina) bi se naj po naših ocenah bila zgodila pred približno 16 do 8,8 milijoni let. Vzrok cepitve teh linij bi lahko bile miocenske morske transgresije, ki bi predniku teh kladov predstavljale migracijsko bariero. Vse od karpatske do zgodnje-badenijske (17,3–14 milij. let) transgresije naj bi namreč morje pokrivalo območje osrednje Slovenije (Rögl, 1998), Istra pa bi lahko bila ločena od kontinenta. Zadnja miocenska morska transgresija naj bi po Paveliču (2002) to območje poplavlila pred 13,4 milijoni let. Tako v slovenskem kot v južnodinarskem kladu je po naših približnih ocenah do nadaljnih cepitev prišlo pred 5,4–4,2 milijonoma let. Cepitve med liško, bosansko in dalmatinsko-hercegovsko skupino bi se lahko bile zgodile v dokaj kratkih časovnih presledkih ali celo istočasno. Časi ločitev teh treh glavnih evolucijskih linij s tega območja sovpadajo z domnevnim obstojem nepovezanih jezer v mesiniju, pribl. 6 do 5,5 milijonov let nazaj (Prelogović in sod., 1975), v katerih bi se te linije lahko ločile. Konec miocena naj bi tudi v južni Sloveniji tektonska aktivnost povzročila nastanek ločenih jezerskih kotanj (Prelogović in sod., 1975), kjer bi lahko prišlo do diferenciacije prednikov današnjega jugovzhodnega (Stična, Dolenjska, Bela krajina) in jugozahodnega (Pivka, Ljublanica, Kras) klada. Stiška linija naj bi se od drugih populacij jugovzhodne Slovenije ločila pred vsaj približno 3,6–2,9 milijoni let, to pa sega že v obdobje, ko so se v severnem delu Dinarskega krasa postopoma formirale prve vodne jame primerne za naselitev jamskih vrst, ki jih poznamo danes (Mihevc, 2007). Znotraj omenjenih samostojnih evolucijskih linij človeške ribice se nadaljnja, novejša genetska členitev v veliki meri, a ne povsem, ujema z današnjo hidrografske razmejitvijo njihovih arealov. V primerih odstopanj genetski podatki morda nakazujejo na njihovo nepopolno hidrografske razmejitve (Habič, 1989) in obstoječ genski pretok ali neodvisne poti kolonizacije dveh porečij iz homogene izvorne populacije (ohranitev predniških alelov), nasprotno pa ponekod v hidrografske povezanih območjih verjetno prihaja do izolacije z razdaljo. Veliko slabše pa je ujemanje genetske strukture z

morfologijo (in torej tudi s Fitzingerjevo členitvijo na vrste), čeprav je nekatere od teh skupin vendarle možno dokaj dobro razlikovati na osnovi zapletene kombinacije znakov, kot so število in razporeditev zob, število repnih vretenc in drugih.

Če stopnje divergence med imenovanimi sestrskimi kladi človeške ribice primerjamo z razlikami v zaporedju mtDNA nekaterih sestrskih vrst repatih dvoživk, ugotovimo, da bi te populacije lahko predstavljale različne vrste, te pa so združene morda celo v različne rodove. Analiza mitohondrijskega genoma pa ima nekaj pomanjkljivosti, zato je, kot je tudi sicer normativ v znanosti, treba te ugotovitve preveriti še z dodatnimi, neodvisnimi pristopi. Danes so na voljo laboratorijske in bioinformacijske tehnologije, ki omogočajo analizo veliko večjega segmenta genskega zapisa, vključno z jedrno DNA, ki pa je pri človeški ribici izredno velika in zapletena (njena skupna dolžina je skoraj 50 Gbp, kar je 15-krat več od človeškega genoma in je eden največjih genomov katerega koli organizma na Zemlji). Ta problem je nedavno uspešno zaobšla mednarodna skupina raziskovalcev (Vörös in sod., 2019) z analizo jedrnih mikrosatelitnih lokusov, to je kratkih ponavljajočih se zaporedij DNA, pri katerih primerjamo število zaporednih ponovitev med osebkami in med populacijami. S to metodo so analizirali vzorce iz treh geografskih območij na Hrvaškem (Istra, Lika in Dalmacija) ter potrdili globoko genetsko členjenost človeške ribice, ki smo jo ugotovili v analizah mtDNA. Zelo razveseljav je tudi podatek, da se ocena časa bazalne cepitve na osnovi analize mikrosatelitov (18,2-7,2 milij. let) povsem ujema z našo oceno na osnovi mtDNA. Upamo, da bodo rezultati analiz preostalih populacij tudi kmalu na voljo.

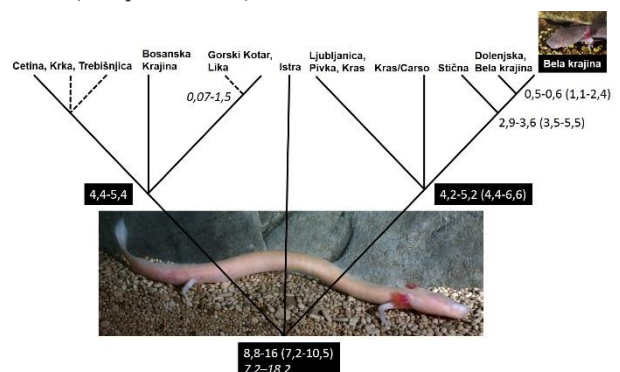
Če si sedaj podrobneje ogledamo najmlajše cepitve evolucijskega drevesa človeške ribice, je najbolj nenavaden položaj črne rase iz Bele krajine. Cepitev črne in bele oblike dolenjskobelokranjske genetske skupine bi se lahko po ocenah hitrosti evolucije mtDNA bila zgodila šele pred kake 500.000 leti, čeprav je možno, da sega celo do 2,4 milijona let nazaj. Starejša, predpleistocenska datacija se ujema z domnevnim začetkom zakrasevanja na tem območju (Radinja, 1972). Začetek zakrasevanja bi lahko vodil do genetske izolacije črne in bele belokranjske populacije zaradi morebitnega časovno in prostorsko ločenega vseljevanja v podzemlje (Sket in Arntzen, 1994). Kljub vsem dosedanjim raziskavam črne človeške ribice (Bizjak-Mali in Sket, 2019) pa še vedno ne znamo razložiti, zakaj in kako je črna človeška ribica ohranila svojo predniško obliko, saj je po načinu življenja povsem troglobiontska (vezana na podzemlje), tako kot vse njene bele sorodnice. V tem smislu si veliko obetamo od primerjalnih analiz genoma in transkriptoma (funkcionalnih molekul RNA) različnih populacij.

Ugotovitev, da tudi ta izjemno redka in na videz zelo posebna človeška ribica predstavlja samostojno vrsto velja kljub temu, da smo pri tej populaciji zaznali precejšnjo genetsko podobnost s sorodnimi belimi človeškimi ribicami. Pot do tega odkritja se nam je odprla leta 2008, ko so varstveni biologi prvič uspešno uporabili forenzično metodo detekcije DNA v okolju pri recentnem (danes živečem) vodnem vretenčarju, invazivni volovski žabi (Ficetola in sod., 2008).

Leta 2012 smo na pobudo Gregorja Aljančiča iz Jamskega laboratorija Tular v Kranju začeli razvijati metodo detekcije DNA človeške ribice, ki jo ta, kjer je navzoča, oddaja v okolje (Aljančič in sod., 2014a,b; Stanković in sod., 2016; Gorički in sod., 2016, 2017). Pri tem smo veliko dela opravili prostovoljno. Metoda je še posebej primerna ravno za ugotavljanje razširjenosti vrst, ki so zelo redke ali živijo v človeku nedostopnem podzemlju. Na ta način je kolega David Stanković s sodelavci v vzorcih jamske in izvirske vode v Črni Gori nakazal na možnost, da človeška ribica naseljuje tudi kraško podzemlje te države. Potrditev DNA človeške ribice v izvirih Črne Gore, torej možnost obstoja povsem neznanih populacij zunaj doslej znanega območja razširjenosti, predstavlja prvo rabo metode detekcije okoljske DNA (eDNA) na kateri koli jamski živali na svetu. Opogumljeni s tem uspehom smo analizirali še ducat izvirov, vodnjakov in vodnih jam v Beli krajini ter ugotovili, da se areala črnih in belih človeških ribic tam stikata. To pomeni, da osebkami črne in bele populacije preko občasnih podzemnih hidrografskih povezav (Habič in sod., 1990) potencialno prihajajo v stik drug z drugim. Ker pa doslej njihovih križancev nismo zaznali ne z genetskimi ne z morfološkimimi metodami, domnevamo, da sta populaciji reproduktivno izolirani, kar ustreza klasičnemu biološkemu konceptu vrste.

S temi pionirskimi raziskavami v svetovnem merilu (Culver in Pipan, 2019) smo, upamo, dostojno obeležili 250-to obletnico znanstvenega opisa človeške ribice (1768) in hkrati 30-to obletnico odkritja črne človeške ribice (1986). Slovenija v svetu velja za zibelko speleobiologije (jamske biologije): človeška ribica iz Slovenije je bila prva znanstveno opisana jamska žival na svetu. Tehnologija eDNA, ki jo v lastnem podjetju v sodelovanju s partnerskimi podjetji in inštituti razvijam še naprej (Gorički in sod., 2018), omogoča decentralizacijo raziskav človeške ribice in enakovredno vključitev nekraškega Pomurja v mednarodni znanstveni ugled Slovenije na področju speleobiologije. Naše analize pomembno prispevajo k izboljšanju razumevanja poteka evolucijskih dogodkov na Dinarskem krasu in današnje razširjenosti človeške ribice, žal pa se jih še vedno ustrezno ne upošteva pri njenem varstvu in ohranjanju njenega habitata.

Uvodni del tega prispevka je objavljen na <https://www.e-stiticna.si/narava/cloveska-ribica/>: Posebnosti človeške ribice iz Stične (dr. Špela Gorički)



Slika 1: Rekonstrukcija sorodstvenih odnosov med populacijami človeške ribice in približne ocene časa ločitev linij (v milijonih let) na osnovi molekulske ure mitohondrijske DNA (Gorički, 2004; Gorički, 2006) in mikrosatelitnih lokusov jedrne DNA (Vörös, 2019; v kurzivu). Cepitve izpisane na črni podlagi so se najverjetneje zgodile v površinskih vodah, pred vselitvijo v podzemlje, ko je človeška ribica izgledala podobno kot današnja pigmentirana populacija iz Bele krajine (zgoraj desno). Vse ostale danes znane populacije človeške ribice so troglomorfne (depigmentirane in slepe). S črtkano črto je označena manj izrazita ali zanesljiva genetska diferenciacija. Foto: Gregor Aljančič, Jamski Laboratorij Tular, Kranj

#### Viri

Aljančič G., Năpăruș-Aljančič M., Stanković D., Pavičević M., Gorički Š., Kuntner M. in Merzlyakov L. 2014a. A survey of the distribution of *Proteus anguinus* by environmental DNA sampling. CEPP Final Project Completion Report, Kranj: Society for Cave Biology, 30 str.

Aljančič, G., Gorički, Š., Năpăruș, M., Stanković, D. in Kuntner, M. 2014b. Endangered *Proteus*: combining DNA and GIS analyses for its conservation. V: P. Sackl, R. Durst, D. Kotrošan in B. Stumberger (ur.), Dinaric Karst Poljes - Floods for Life. Radolfzell: EuroNatur, 70-75.

Aljančič, G. 2019. History of research on *Proteus anguinus* Laurenti 1768 in Slovenia. *Folia Biologica et Geologica* 60, 39-69.

Aljančič, M., Habič, P. in Mihevc, A. 1986. Črni močeril iz Bele krajine. *Naše jame* 28, 39-44.

Arntzen, J. W. in Sket, B. 1997. Morphometric analysis of black and white European cave salamanders, *Proteus anguinus*. *Journal of Zoology (London)* 241, 699-707.

Bizjak-Mali, L. in Sket, B. 2019. History and biology of the »black proteus« (*Proteus anguinus* parkelj Sket & Arntzen 1994; Amphibia: Proteidae): a review. *Folia Biologica et Geologica* 60, 5-37.

Culver D. C., in Pipan T. 2019. The biology of caves and other subterranean habitats. Oxford: Oxford University Press, 301 str.

Ficetola, G.F, Miaud, C., Pompanon, F. and Taberlet, P. 2008. Species detection using environmental DNA from water samples. *Biology Letters* 4, 423-425.

Fitzinger, L. 1850. Über den *Proteus anguinus* der Autoren. *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften* 5, 291-303.

Laurenti, J. N. 1768. Specimen medicum, exhibens synopsis reptilium emendatam cum experimentis circa venena et antidota reptilium Austriacorum. Viennæ: Trattner, 214 str.

Gorički, Š. 2004. Ugotavljanje genetske diferenciacije močerila (*Proteus anguinus*) z analizo zaporedij mitohondrijske DNA. Magistrsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 63 str.

Gorički, Š. 2006. Filogeografska in morfološka analiza populacij močerila (*Proteus anguinus*). Doktorska disertacija, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 76 str.

Gorički, Š. in Trontelj, P. 2006. Structure and evolution of the mitochondrial control region and flanking sequences in the European cave salamander *Proteus anguinus*. *Gene* 378, 31-41.

Gorički, Š., Stanković, D., Năpăruș-Aljančič, M., Snoj, A., Kuntner, M., Gredar, T., Vodnik, L. in Aljančič, G. 2016. Searching for the black *Proteus* with the help of eDNA. *Natura Sloveniae* 18, 57-58.

Gorički, Š., Stanković, D., Snoj, A., Kuntner, M., Jeffery, W. R., Trontelj, P., Pavičević, M., Grizelj, Z., Năpăruș-Aljančič, M. and Aljančič, G. 2017. Environmental DNA in subterranean biology: range extension and taxonomic implications for *Proteus*. *Scientific Reports* 7, 45054.

Gorički Š., Presetnik P., Prosenc-Zmrzljak U., Gredar T., Blatnik M., Kogovšek B., Koit O., Mayaud C., Strah S., Jalžić B., Aljančič G., Štebih, D., Hudoklin A. in Košir R. 2018. Development of eDNA methods for monitoring two stygobiotic species of the Dinaric Karst, *Proteus anguinus* and *Congerina jalzici*, using digital PCR. *Natura Sloveniae* 20, 47-50.

Grillitsch, H. in Tiedemann, F. 1994. Die Grottenolm-Typen Leopold FITZINGERs (Caudata: Proteidae: Proteus). *Herpetozoa* 7, 139-148.

Habič, P. 1989. Kraška bifurkacija Pivke na jadransko črnomoškem razvodju. *Acta Carsologica* 18, 233-264.

Habič, P., Kogovšek, J., Bricelj, M. & Zupan, M. 1990. Izviri Dobličice in njihovo širše kraško zaledje. *Acta Carsologica* 19, 5-100.

Ivanović, A., Aljančič, G. & Arntzen, J.W., 2013: Skull shape differentiation of black and white olms (*Proteus anguinus anguinus* and *Proteus a. parkelj*): an exploratory analysis with micro-CT scanning. *Contributions to Zoology* 82, 107-114.

Mihevc, A. 2007. The age of Karst relief in west Slovenia. *Time in Karst (Postojna)*, 35-44.

Pavelić, D. 2002. The south-western boundary of Central Paratethys. *Geologia Croatica* 55, 83-92.

Prelogović, E., Arsovski, M., Kranjec, V., Radulović, V., Sikošek, B. in Soklič, S. 1975. Paleogeografska evolucija teritorije Jugoslavije od terciara do danas. *Acta seismologica iugoslavica* 2-3, 7-11.

Radinja, D. 1972. Zakrasevanje v Sloveniji v luči celotnega morfo-genetskega razvoja. Geografski zbornik 13, 199-242.

Rögl, F., 1998. Palaeogeographic considerations for Mediterranean and Paratethys seaways (Oligocene to Miocene). Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien 99A, 279-310.

Sket, B. in Arntzen, J. W. 1994. A black, non-trogomorphic amphibian from the karst of Slovenia: *Proteus anguinus parkelj* n. ssp. (Urodela: Proteidae). Contributions to Zoology 64, 33-53.

Stanković, D., Gorički, Š., Năpăruș-Aljančić, M., Snoj, A., Kuntner, M. in Aljančić, G. 2016. Application of environmental DNA for detection of *Proteus*. Natura Sloveniae 18, 55-56.

Trontelj, P., Gorički, Š., Polak, S., Verovnik, R., Zakšek, V. in Sket, B. 2007. Age estimates for some subterranean taxa and lineages in the Dinaric Karst. Acta Carsologica 36, 183-189.

Trontelj, P., Douady, C. J., Fišer, C., Gibert, J., Gorički, Š., Lefébure, T., Sket, B. in Zakšek, V. 2009. A molecular test for cryptic diversity in ground water: how large are the ranges of macro-stygobionts? Freshwater Biology 54, 727-744.

Vörös, J., Ursenbacher, S. in Jelić, D. 2019. Population genetic analyses using 10 new polymorphic microsatellite loci confirms genetic subdivision within the Olm, *Proteus anguinus*. Journal of Heredity 110, 211-218.

Uroš Tkalec <sup>1,2,3\*</sup> in Tadej Emeršič <sup>1\*</sup>

# Strukturiranje toka anizotropne tekočine z lasersko pinceto

## POVZETEK

V prispevku so predstavljene aktualne raziskave na področju mikrofluidike tekočih kristalov, ki se v zadnjem času povezujejo z optotermično manipulacijo. Tokovne režime nematskega tekočega kristala raziskujemo v kanalčkih s pravokotnim površinskim sidranjem in ugotovljamo (meta)stabilnost posameznih orientacijskih stanj v odvisnosti od hitrosti toka. Uporaba laserske pincete nam omogoča kontrolirano tvorjenje mikroskopskih domen s polarnim redom, ki jih lahko transportiramo in prilagajamo z reguliranjem pretoka. Dinamika fazne meje, ki jo določa topološka defektna zanka, je izjemno občutljiva na gradiente v molekularnem in hitrostnem polju in zato zanimiva za senzorske aplikacije.

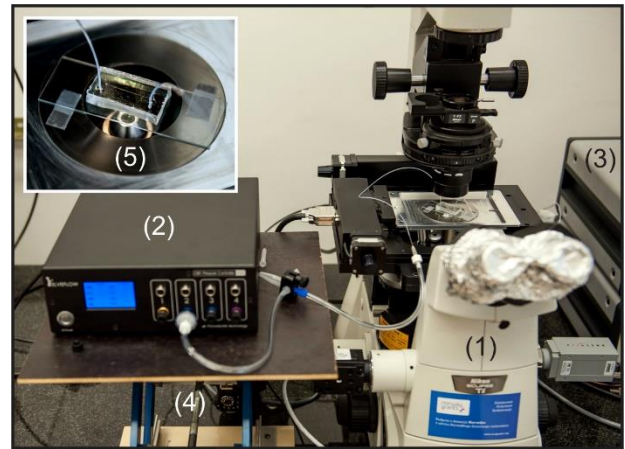
**Ključne besede:** mikrofluidika; tekoči kristali; laserska pinceta; topološki defekti

## 1. Uvod

Mikrofluidika kompleksnih tekočin je hitro razvijajoče se področje znanosti, ki obravnava dinamične pojave, fazne prehode, sortiranje in enkapsulacijo delcev na mikroskopskem nivoju ter uporabo teh pristopov v biomedicini, fiziki in znanosti o materialih [1,2]. Mlada veja mikrofluidike se ukvarja s tekočimi kristali – olju podobnimi anizotropnimi tekočinami, ki jih zaradi izjemnih optičnih lastnosti največkrat uporabljamo v LCD zaslonih in prikazovalnikih. Zadnja leta so nematski tekoči kristali – običajno jih tvorijo paličaste molekule, ki se zlahka uredijo vzdolž izbrane smeri, imenovane direktor – vzbudili pozornost tudi zaradi neobičajnih reoloških lastnosti [3]. Na mezoskali kažejo nematiki učinkovit elastičen odziv na deformacije direktorja, močna pa je tudi sklopitev z materialnim tokom, ki lahko vodi do kompleksnih prostorskih in dinamičnih vzorcev v direktorskem in hitrostnem polju. Raziskovalci so pokazali, da lahko s hitrim preklapljanjem direktorja v mikrofluidičnem kanalčku dosežemo hitrejšo modulacijo prepuščene svetlobe kot v tankih celicah z električnim poljem [4]. Ugotovili so tudi, da različne hitrosti toka nematika v takšnih kanalčkih vodijo do specifičnih orientacijskih stanj, ki lahko oblikujejo asimetrične tokovne profile [5]. Obenem se je izkazalo, da so hidrodinamične zastojne točke v stikih kanalčkov povezane z nastankom topoloških defektov, ki zaradi sprememb elastičnosti v svoji okolici še dodatno vplivajo na specifično obnašanje toka nematskih tekočin [6]. Vsa navedena odkritja na tem področju so nas zato spodbudila k nadaljnjemu raziskovanju

nematodinamike v mikrofluidičnem okolju in odkrivanju novih pojavov, ki jih v našem laboratoriju lahko proučujemo v kombinaciji z lasersko pinceto.

## 2. Opis problema



Slika 1: Raziskovalna oprema za proučevanje in strukturiranje hidrodinamičnih tokov nematskega tekočega kristala v mikrofluidičnem okolju. Pri delu uporabljamo: (1) polarizacijski optični mikroskop, (2) mikrokontroler tlaka za izjemno natančno regulacijo pretokov tekočin, (3) lasersko pinceto in (4) digitalni fotoaparata za zajemanje video posnetkov. Insert (5) prikazuje vzorčni kanalček s tekočim kristalom 5CB na mikroskopu.

Raziskave tekočih kristalov so močno povezane s študijami topoloških defektov, to je majhnih območij v molekularnem direktorskem polju, v katerih urejenost oziroma smer povprečne orientacije molekul ni dobro določena. Topološki defekti običajno nastanejo med faznim prehodom ali zaradi konfliktov v orientacijah molekul, ki jih vsiljujejo okoliške površine in geometrijsko kompleksnejše ograditve. Ker je obstoj defektov v tekočem, elastičnem mediju zaradi visokih energijskih zahtev običajno zelo kratek oziroma povezan s pripenjanjem na površine zaradi topoloških omejitev, predstavlja manipulacija

1 Inštitut za biofiziko, Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana

2 Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru, Koroška cesta 160, 2000 Maribor

3 Odsek za fiziko trdne snovi, Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana

e-mail: uros.tkalec@mf.uni-lj.si

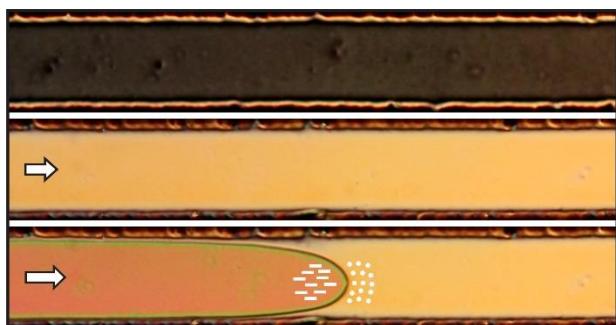
\*Avtor za korespondenco; Tel.: +386-1-543-7612



defektnih zank na daljši časovni in večji prostorski skali precejšen izziv [7]. Ena izmed možnosti za doseg tega cilja je hkratna uporaba različnih zunanjih polj, ki po eni strani zagotovijo dovolj kontrolirano tvorbo defektov, njihovo dinamično manipulacijo v ograjenem območju in nadzorovan transport v mehansko in temperaturno stabiliziranem mediju. Takšne dolgožive defektne zanke bi lahko bile uporabne za enkapsulacijo molekul in nadzorovan potek kemijskih reakcij ali kot aktivni optični mikroelementi, ki se hitro odzivajo na spremembe fizikalnih parametrov v svoji okolici.

### 3. Eksperimentalni pristop

V laboratoriju smo strukturo prehoda v toku nematika ter tvorbo, dinamiko in manipulacijo defektnih zank z laserskim snopom proučevali v ravnih mikrofluidičnih kanalčkih s pravokotnim sidranjem molekul na površini (slika 1). Kanalčki so narejeni po postopkih mehke litografije, iz prozornega polimera PDMS in objektnega stekla s tanko prevodno plastjo [8]. Napolnjeni so z enokomponentnim nematskim tekočim kristalom 5CB, ki v mirovanju zaradi pravokotne orientacije molekul glede na stene in polarizator ne prepušča svetlobe (slika 2, zgoraj). Dinamiko toka v kanalčkih opazujemo s polarizacijskim optičnim mikroskopom in digitalnim fotoaparatom, sam pretok pa je natančno reguliran s piezoelektričnim mikrokontrolerjem tlaka (slika 1). Pri majhnih pretokih se direktorsko polje nematika le elastično upogne v smeri toka, kar optično zaznamo kot spreminjanje barv med prekrizanimi polarizatorjema (slika 2, sredina).



Slika 2: Statika in dinamika tekočega kristala 5CB v mikrofluidičnem kanalčku, posneta med prekrizanimi polarizatorjema na optičnem mikroskopu. V stacionarnem stanju so molekule 5CB poravnane pravokotno na spodnjo in zgornjo površino kanalčka, zato skoraj ne prepuščajo svetlobe (zgoraj). V šibkem toku se direktorsko polje nagne v smeri toka, kar opazimo v spremembi interferenčnih barv (sredina). Pri močnejših pretokih pride do preklopa navpično urejenega stanja v s tokom poravnano (pobeglo) stanje nematika (spodaj), ki ga vedno spremlja nastanek defektne linije, ki ločuje obe orientacijski ureditvi.

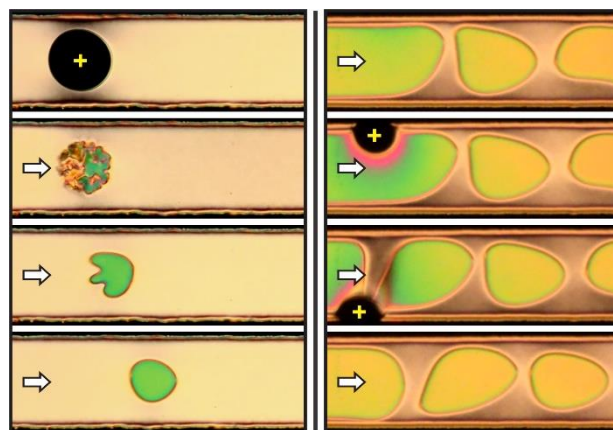
Večji gradienti hitrosti povzročajo hidrodinamski navor na nematsko ureditev, zato se pri močnih tokovih skozi kanalček direktor v glavnem poravnava v smeri toka (slika 2, spodaj). Tak nezvezni strukturni prehod spremlja nastanek defektne linije, ki razmeji območji z različnima orientacijama molekul. Eksperimentalni prikaz in teoretično razlago teh stanj smo že pred časom opisali v izvornem znanstvenem članku [5], tokrat pa se osredotočamo na lokalno vzbuditev takšnega »pobeglega« stanja z optično pinceto.

### 4. Rezultati

Za tvorbo defektov v toku tekočega kristala smo uporabljali lasersko pinceto, ki z močnim laserskim snopom (cca. 200 mW

na vzorcu) lokalno segreje nematik nad temperaturo prehoda v izotropno fazo. Pod polarizacijskim mikroskopom opazimo to »taljenje« v obliki črnega kroga, ki se po izklopu laserskega snopa hipoma preoblikuje v gručo defektov, le-ta pa zaradi toka v celoti ne izgine, temveč se pretvori v domeno z drugače poravnanim direktorskim poljem (slika 3, levo). Na ta način torej lokalno zmotimo homogeno poravnano tekočo nematik in mu vsilimo metastabilno stanje, ki se zaradi prisotnosti hidrodinamskega toka obdrži v obliki domene s polarnim redom, ki jo omejuje defektna zanka.

Govorimo o t.i. domeni s pobeglo strukturo znotraj pravokotno poravnane nematske ograditve, ki lahko obstane nad kritično vrednostjo hitrosti toka [8]. Stabilnost takih domen je pogojena tudi s kritičnim radijem, ki je odvisen od elastičnosti materiala, viskoznosti, hitrosti toka in linijske napetosti defektne zanke.



Slika 3: Tvorjenje nematskih domen s pobeglo strukturo v mikrokanalčku s stacionarnim pretokom in uporabo laserske pincete. Nematsko fazo lokalno segreje in hipoma ohladimo po izklopu laserskega snopa, kar povzroči kondenzacijo defektov in formiranje domene, ki potuje s tokom (levo). Večje območje pobegle strukture lahko elegantno »razrežemo« na manjše kose s prižganim laserjem, ki se nadzorovano premika prečno na smer toka (desno). S tako manipulacijo dosežemo nadzor nad obliko in velikostjo domen.

V mikrofluidičnem okolju lahko proste, plavajoče nematske domene nadzorovano krmilimo s prilagajanjem pretoka. V šibkem toku je njihov življenjski čas omejen na nekaj sekund, v moduliranem toku pa se lahko podaljšuje v nedogled, saj s tokom poravnano direktorsko polje sledi smeri in jakosti zunanjih sil, ki ga vzdržujejo v energijsko ugodnem stanju. Ugotovili smo, da lahko takšnim domenam spreminjamo velikost bodisi s prilagajanjem hitrosti toka bodisi z laserskim snopom, ki zlahka tali fazno mejo in na tak način segmentira veliko domeno v več manjših (slika 3, desno). Domene s pobeglo strukturo preživijo tudi hitre menjave smeri toka, saj se direktorsko polje obrača v ravnini kanalčka in pri tem generira dodatne točkovne defekte, povezane s solitoni, ki se hitro anihilirajo ob ograjajočih površinah [8].

### 5. Zaključek

V članku sva predstavila osnove strukturiranja neravnovesnih nematskih tekočin z mikrofluidičnimi tokovi in laserskimi pulzi. Prikazana metoda ponuja izjemne možnosti za natančno in kontrolirano oblikovanje mikroskopskih defektnih struktur v toku kompleksnih tekočin, saj je njihov odziv na

zunanje motnje sklopljen z viskoelastičnimi in reološkimi lastnostmi materialov. Rezultati eksperimentov, numeričnih simulacij in teoretičnega modela, predstavljeni v originalnem članku [8], odpirajo nove možnosti raziskav neravnesne dinamike v aktivnih snoveh in bioloških sistemih z nematskim redom ter obenem omogočajo uporabo predlaganih konceptov za selektivno enkapsulacijo dispergiranih molekul v laminarnem tokovnem režimu.

### Zahvala

Zahvaljujeva se kolegom in sodelavcem, ki so prispevali k nastajanju in objavi članka [8], ter Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS), ki je v okviru programa P1-0055 in projekta L1-8135 finančno podprla najina prizadevanja in aktivnosti.

### Literatura

[1] N.-T. Nguyen, S. T. Wereley, *Fundamentals and Applications of Microfluidics* (Artech House, Boston, 2002).

[2] E. K. Sackmann, A. L. Fulton, D. J. Beebe, *Nature* 507, 181 (2014).

[3] R. G. Larson, *The Structure and Rheology of Complex Fluids* (Oxford Univ. Press, Oxford, 1999).

[4] J. G. Cuennet, A. E. Vasdekis, L. De Sio, D. Psaltis, *Nature Photon.* 5, 234 (2011).

[5] A. Sengupta, U. Tkalec, M. Ravnik, J. M. Yeomans, C. Bahr, S. Herminghaus, *Phys. Rev. Lett.* 110, 048303 (2013).

[6] L. Giomi, Ž. Kos, M. Ravnik, A. Sengupta, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 114, E5771 (2017).

[7] X. Wang, D. S. Miller, E. Bukusoglu, J. J. de Pablo, N. L. Abbott, *Nature Mater.* 15, 106 (2016).

[8] T. Emeršič, R. Zhang, Ž. Kos, S. Čopar, N. Osterman, J. J. de Pablo, U. Tkalec, *Sci. Adv.*, 5, eaav4283 (2019).

Stanko Kapun

# Prilagajanje pridelave poljščin in krmnih košenin podnebnim spremembam na območju Pomurja

Posledice podnebnih sprememb niso vidne samo na kmetijski pridelavi, ampak jih občutimo vsi, ki živimo na območju Pomurja. Kažejo se v občasnih sušnih obdobjih, s pomanjkanjem pitne vode, poplavih, v močnih nalih s močnim vetrom, točo in s spomladanskimi pozebami. Podnebne spremembe torej postajajo sektorski problem države, ki se vedno bolj odraža na kmetijstvu, gospodarstvu, v zdravju ljudi, oskrbi s pitno vodo, katerh se bo morala lotiti in reševati država. Po statističnih podatkih podnebne spremembe zahtevajo na svetu več življenj na leto, kot trenutne vojne, potresi, migracije ljudi, ki so delno tudi povezane s spreminjanjem podnebja. V kmetijski stroko si prizadevamo, da bi posledice čim bolj umilili, zato svetujemo različne strokovne pristope k racionalni rabi vode pri pridelavi in s tehnologijami obdelave tal želimo čim bolj zmanjšati v vegetacijski sezoni izhlapevanje vode iz tal. Na področju kmetijstva ugotavljamo, če želimo v prihodnje omiliti posledice kmetijskih suš, bomo morali skupaj z državo aktivno pristopiti k izvajanju naslednjih nalog:

1. Zadržati meteorno vodo na območju pojava padavin,
2. Urediti vodno zračni režim v tleh,
3. Uvesti konzervirajočo obdelavo tal,
4. Intruducirati vrste gojenih rastlin v kolobar glede na TK in aktivno izvesti rajonizacijo pridelave,
5. Namakanje,
6. V selekcijskih postopkih uvesti metode za vzgojo sort z nizkim TK.

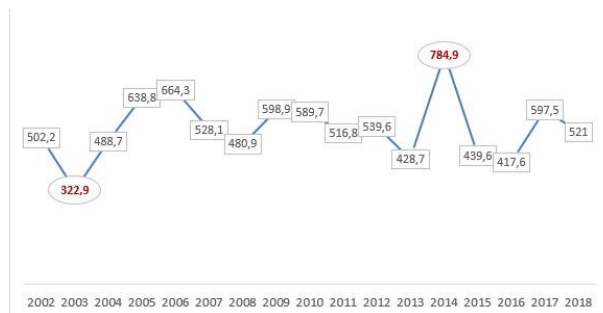
## Klima na območju Pomurja

Podnebje na regionalnem nivoju Slovenije je zelo raznoliko, prav tako tudi porazdelitev padavin. Kmetijske suše se pojavljajo v Pomurju najpogosteje v vegetacijskem obdobju, in sicer v Prekmurju. Na tem območju beležimo ekstremne in dolgo časa trajajoče primanjkljaje vode. V dolgoletnem obdobju 1961-2002 v Murski Soboti beležimo deficit 23-krat, ki je večji od 50 mm vode in traja več kot 100 dni zaporedoma. Najhujših šest je bilo v Pomurju beleženih v letih 1968, 1971, 1983, 1992, 1993 in 2000 leta (www.arso.gov.si). Zaskrbljujoče je, da se intenzivnost kmetijskih suš po letu 90. prejšnjega stoletja stopnjuje. Kmetijska suša povzroča izjemno gospodarsko škodo, ki je po letu 1990 v Sloveniji sedemkrat (do leta 2013) dosegla prag naravne nesreče. Skladno z Zakonom o odpravi posledic naravnih nesreč doseže suša razsežnosti naravne nesreče, ko ocenjena neposredna škoda preseže 0,3 promila načrtovanih

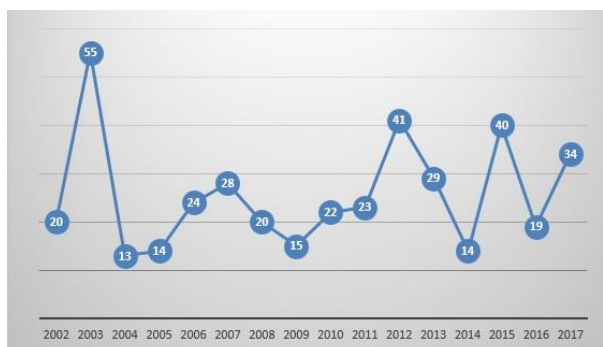
prihodkov državnega proračuna. Celoletna količina padavin na območju Pomurja v povprečju ni nižja od dolgoletnih količin padavin, ki dosegajo vrednost med 514 (2003) in 1092 l m<sup>2</sup> (2014) ampak so vedno bolj neenakomerno porazdeljene, še zlasti v času vegetacije. Padavine dosegajo vrednosti med 323 (2003) do 785 (2014) l m<sup>2</sup>.



VIR: ARSO 2018

Graf 1: Letna količina padavin v l m<sup>2</sup> med leti 2002 in 2017.

VIR: ARSO 2018

Graf 2: Količina padavin v l m<sup>2</sup> v vegetaciji (april-september) med leti 2002 do 2018.

VIR: ARSO 2018

Graf 3: Število dni s temperaturami zraka nad 30°C med leti 2002 in 2017.

### **1 Zadržati meteorno vodo na območju pojava padavin**

Vsako leto se Pomurje sooča z velikim odtokom meteorne vode. Glede nato, ker nam vsako leto odteče veliko meteorne vode, jo bo potrebno v prihodnje zadržati na območju kjer pade v obliki padavin. Potrebno bo izkoristiti obstoječe v preteklosti izkopane melioracijske kanale in jih napolniti z vodo in z vodo bo potrebno napolniti razbremenilni kanal Ledava-Mura. V preteklosti smo na območju Pomurja zgradili tudi štiri zadrževalnike (Krašči, Bukovnica, Gajševci, Berkovci-Bolehnečici), ki sicer imajo pomembne funkcije pri zadrževanju vode, vendar so nekateri izmed njih že precej zamuljeni. Zadržano vodo bi koristili v času suš za namakanje. Za potrebe namakanja posegati v podtalno vodo je nesmiselno, ker imamo dovolj na razpolago meteorne vode. Podtalno-pitno vodo moramo hraniti za potrebe prebivalstva. Z zadrževanjem vode bomo neposredno vplivali na višji nivo podtalne vode, ustvarjali pa bomo tudi mikroklimatske pogoje za razvoj termičnih neviht, ki so bile v preteklosti za območje Pomurja v času vegetacije pomemben vir padavin.

### **2 Urediti vodno zračni režim v tleh**

Razmerje makro in mikro por v tleh je tesno povezano s teksturno sestavo tal, ki je v tesni povezavi s sposobnostjo zadrževanja vode v tleh. Na osnovi razmerja teksturnih elementov (delež gline, peska in melja) v tleh delimo tla na težka in lahka tla. V Pomurju se pogosto pojavljajo hidromorfna tla. Pseudogleji in gleji se prepletajo z distričnimi rjavimi tlemi na nekarbonatnih nanosih reke Mure. Tla, ki imajo v teksturni sestavi več kot 15 % gline jih uvrščamo med težja tla. Razmerje med makro in mikro porami je v korist slednjih na težjih tleh. Težka tla se težje ogrejejo, kar je predvsem pomembno v spomladanskem času in težje ohladijo. Zaradi več mikro por so tla boljše oskrbljena z vodo, saj se meteorna-padavinska voda težje odceja v globlje plasti, zaradi večje specifične vezivne sposobnosti pa se voda veže, kot filmski sloj na glinene delce. Po mikro porah se s pomočjo fizikalnih sil dviga podtalna voda, zato so tla, ki so sestavljena iz pretežno glinasto meljaste teksture bolj odporna na sušne razmere. Manjko padavin v času vegetacije nima pretirano negativnih posledic na rast rastlin. Ob obilnejših padavinah so težja tla precej časa prenasočena s vodo, predvsem tiste površine, kjer primanjkuje v tleh humusa. Humus je, kot produkt razgradnje organske snovi v tleh dober izmenjevalec zraka med tlemi in atmosfero, preko makro por je tudi dober infiltrator za meteorno vodo, v mikro porah pa veže vodo, ki je neprecenljive vrednosti v tleh ob manjku padavin. Tla, ki imajo v teksturni sestavi tal manj, kot 12 % gline, jih prištevamo med lahka tla. V teksturni sestavi poleg gline vsebujejo več proda, grušča in peska. Zaradi slabe akumulativne sposobnosti so bolj podvržene sušnim razmeram. Ocenjujemo, da imamo to vrstnih tal na območju Pomurja cca. 7000 ha. To so tla, v katerih moramo izboljšati vezivno sposobnost vode in jih bomo tudi v prihodnje namakali. Vezivno sposobnost je mogoče izboljšati le s povečevanjem humusa v tleh preko gnojenja z organskimi gnojili. K njim prištevamo organska gnojila živalskega izvora in organska gnojila rastlinskega izvora. Sprstenina ali blaga oblika humusa, ki nastane ob razgradnji organske snovi ob prisotnosti baz (najpomembnejša baza je Ca

2+) ima največjo vezivno sposobnost vezanja ionov v tleh in vode, saj ima veliko specifično površino. Gre za tako imenovana lahka tla, ki imajo zelo neugodno razmerje med mikro in makro porami. Slednjih je večji delež, zato po njih hitro ponikne meteorna voda v globlje plasti tal. Prav tako pesek nima absorpcijskih sposobnosti akumuliranja vode, kot ima to sposobnost glina in humus v tleh. Glina in humus v medlamirnih prostorih zadržujeta vodo, ki jo lahko s pridom koristijo rastline pri rasti. Torej na lažjih tleh lahko akumulativno sposobnost za vodo izboljšamo samo z večjim vnosom organske snovi v tla. Le-to pa je mogoče povečati preko gnojenja z živinskimi gnojili, z žetvenimi ostanki žit in koruze in preko strniščnih dosevkov. V okviru KOPOP sta ukrepa POZ VOD\_POD in POZ VOD-NEP dobra in ju kmetje s pridom vključujejo v prakso. Oljna redkev, bela gorjušica in še nekatere druge strniščne vrste tvorijo v zelo kratkem času obilo zelinja, ki lahko pripomorejo k obogatitvi tal s humusom.

### **3 Uvesti konzervirajočo obdelavo tal**

Tla so tri fazni sistem in so sestavljena iz trdne, plinaste in tekoče faze. Trdni del tal predstavljajo prepereli deli litosfere in organska snov, ki se pod vplivom fizikalnih, bioloških in kemičnih procesov spreminja v prst v kateri se ukoreninijo rastline. Plinasto fazo v tleh predstavlja zrak ter tekočo fazo predstavlja voda v tleh. Razmerje slednjih dveh faz je v tesni povezavi od razmerja teksturnih elementov, ki sestavljajo tla. Posebno mesto bomo morali nameniti obdelavi tal. Z neprimerno obdelavo lahko preko izhlapevanja izgubimo preveč vode iz tal. Naorana njivska površina še zlasti v poletnih mesecih prepuščena sončni pripeki je zelo ranljiva, saj je kapilarni sistem vzpostavljen do površine in že ob rahlem vetru je hiter prehod molekul vode v prtalno plast. Striženja vetra ob tleh dobesedno sesa vodo iz tal. S Thornthwaite-ovo metodo vodne bilance smo izračunali, da lahko doseže evapotranspiracija tudi do 4 l/dan izhlapele vode na m<sup>2</sup> v poletnih mesecih. Kmete moramo naučiti tehnologij obdelave njivskih površin s katerimi izgubimo čim manj vode s izhlapevanjem, predvsem v spomladanskem in še zlasti v poletnem obdobju, ko so vročinski vali najmočnejši. Zapiranje rali ter s tem prekinjanje mikropor, uravnavanje pH vrednosti v tleh, dobra oskrba s hranilnimi snovmi so najpomembnejši ukrepi pri obvladovanju evaporacije iz tal in evapotranspiracije.

### **4 Intruducirati vrste gojenih rastlin v kolobar glede na TK in aktivno izvesti rajonizacijo pridelave**

Na področju kmetijstva bomo morali vključiti v kolobar vrste, ki rabijo za rast manj vode. Torej bomo imeli v prihodnosti opravka z vrstami in njenimi sortimenti, ki imajo nižji transpiracijski koeficient (TK). Transpiracijski koeficient nam pove, koliko vode je potrebno za prirast enega kilograma suhe snovi. Največ tradicionalno uveljavljeni gojenih vrst na območju Pomurja dosega vrednost TK med 600 in 900. To pomeni, da vrste, ki dosegajo te vrednosti, rabijo za prirast enega kilograma suhe snovi med 600 in 900 l vode. Torej gre za zelo potratne vrste z vodo. V tem trenutku pa bo preko sortno ekoloških poizkusov potrebno najti sortimente vrst, ki uspešno uspevajo z

manjšimi količinami vode. Torej bomo morali dati še večji povdarek rajonizaciji pridelave gojenih vrst. Z izborom vrst z nižjim TK lahko doprinesemo k racionalnejši rabi vode pri pridelavi.

## **5 Namakanje**

Na območju Pomurja posedujemo cca. 7000 ha njivskih površin, ki rabijo namakanje. To so predvsem plitva tla, tako na desnem kakor tudi levem bregu reke Mure. Zagotoviti bo potrebno vodo. Le te ne primanjkuje, saj je vsako minuto po reki Muri odteče na Hrvaško precej kubikov. Le s pametnim dogovorom in s interdisciplinarnim odnosom bomo brez škode zagotovili cca 3 promile letnega pretoka vode iz reke Mure, ki bi jo rabili za namakanje poljščin na prodnatih tleh.

## **6 V selekcijskih postopkih uvesti metode za vzgojo sort z nizkim TK**

Selekcionerje čaka kar zahtevna naloga. S selekcijskimi postopki bo potrebno vzgojiti sortimente, ki bodo imeli minimalne TK, s močnim koreninskim sistemom, dobro sposobnostjo reguliranja rabe vode z zapiranjem listnih rež. Ponavadi imajo tudi tile sortimenti manjše število listnih rež na mm<sup>2</sup> od potratnejših sortimentov za vodo.

Selekcionerji pa se bodo morali tudi soočiti z žlahtnenjen sort na večje pridelke na enoto površine. Zmanjševanje obdelovalnih površin v svetu zaradi širitve infrastrukture bo zahtevalo rodovitnejše sortimente, če bomo želeli imeti pokrito bilanco po hrani. Stroko čaka težko delo. Rezultati ne bodo prišli čez noč, ampak je selekcija dolgotrajni postopek, predno prideš do uporabnih rezultatov.

Literatura je na voljo pri avtorju.

Dr. Stanko Kapun, KGZS Zavod MS, Štefana Kovača 40, 9000 Murska Sobota, stanko.kapun@gov.si.

Dr. Florian Margan

# ELEKTRO vs. AVTOMOBILI Z NOTRANJIM IZGOREVANJEM – KAJ POKAŽE PRIHODNOST V EU?

## POVZETEK

Na evropskih trgih se prodaja vedno več osebnih avtomobilov, prav tako se tudi proizvaja več avtomobilov in uvoz avtomobilov do Evrope raste. Ta rast prodaje avtomobilov nepretrgoma raste že zadnja tri leta. V letu 2016 se je medletna prodaja avtomobilov v EU povečala za 5,8 %. Kakšno pa je stanje s prodajo elektroavtomobilov? Elektroavtomobile v Evropi skoraj nihče ne kupuje in avtomobilski koncerni dajejo le zlomek svojih investicij do razvoja. Zakaj se potem avtomobilski koncerni tako hvalijo z elektroavtomobili? V letu 2016 je bil delež prodanih elektroavtomobilov v ZDA le neceli 0,2-% in v Evropi 2-%. Realnost? Je za to odgovorno dizelsko gorivo? Ali EU?

**Ključne besede:** Elektroavtomobili, avto na dizelsko gorivo, trg avtomobilov, dioksini, litijevi akumulatorji.

## 1. UVOD

Poudaril bi rad, da je avtomobilski industrija izredno pomembna za EU. Letno ustvari cca. 4 % EU DBP. V proizvodnji in nanjo navezujoče službe zaposluje cca. 12 milijonov delavcev EU in so zelo pomemben privatni investitor, ki v veliki meri investira v razvoj in znanje. [1]

Matthias Müller (direktor VW Group) je oznanil, da bodo do leta 2030 investirali v razvoj elektroavtomobilov t. i. RoadmapE (mapa električne bodočnosti) 20 mrd €. Če ta znesek razdelimo na 12 mesecev, dobimo, da bodo letno investirali samo 1,66 mrd €! V letu 2016 je koncern VW investiral v razvoj in vedo novih avtomobilov 11,5 mrd €. Na razvoj elektroavtomobilov odpade cca. 15 % vseh investicijskih sredstev. Vprašanje pa je, kje konča ostalih 85 % investicijskih sredstev. Realno konča to v investicijah, ki imajo večjo prihodnost, oziroma pri avtomobilih, ki jih ljudje kupujejo. [2]. Müller je izjavil na Avtosalonu v Frankfurtu (X/2017), da bodo dizelsko gorivo še naprej podpirali, vendar ne v malih modelih, temveč v večjih, ter bodo nadalje investirali v nove generacije dizlov in to v letih 2019 in 2020. [3]

Ljudje niso zblazneli in to koncern VW dobro ve, saj bo zadovoljen, če v prihodnosti proda vsaj nekaj procentov proizvodnje avtomobilov z električnim pogonom. To bo zanj uspeh. In zakaj potem investirati vanje, katera prihodnost ni tako rožnata, kot si misli EK. Marketing je ena zadeva in to so samo besede, realnost pa je povsem druga. V primeru, da ne pride do pomembnega preloma na področju konstrukcije akumulatorjev, proizvodnje električne energije, polnilnih mest in časa polnjenja, pozabimo na leto 2030, celo bi lahko rekli na leto 2040 ali kdaj? Tudi Norveška se danes obrača od elektroavtomobila z ozirom na probleme in uvaja davek na elektroavtomobil v višini nad 7.000 € (nad 2 t) [4].

Zanimivo je, da BMW o vsem tem molči, saj je v končni fazi investiral milijarde evrov v razvoj elektroavtomobilov. Menim, da današnji svet vse bolj spominja na virtualno resničnost v smislu »saj EU je rekla, da bodo avtomobili električni, pa čeprav

ne bodo, bomo o tem tako govorili, kajti to je "cool".« Po aferi Dieselgate se samo preklinja in tako vsak reče naglas le to, kar želi slišati EU.

Na vprašanje, kakšna bo prihodnost avtomobilov na dizelska goriva, odgovarja Johannes Reifnath (direktor divizije strateškega planiranja Mercedes Benz). Govori, da bodo avtomobili na dizelsko gorivo še nadalje obstajali. Na osnovi predpostavke bodo v letu 2025 ponudili 25 % elektroavtomobilov in 75 % avtomobilov na klasični pogon (bencin, nafta).[5]

Sergio Marchionne (šef skupine Fiat Chrysler) trdi, da električnih avtomobilov trenutno ni mogoče proizvajati z dobičkom. Meni, da bi se morali proizvajalci zaradi velikih stroškov, ki jih trenutno predstavlja proizvodnja električnih avtomobilov, osredotočiti na hibride in počakati na padec cen električnih vozil. Vprašanje je, kako bi zmanjšali razlike v tehnologijah, ki bi omogočile znižanje cen komponent ter definirale primerne končne cene. Morda bi bilo treba ubrati neko srednjo pot s kombinacijo notranjega zgorevanja in elektrifikacije, ki bi omogočala vsaj minimalne donose za ohranitev kontinuitete prodaje avtomobilov [6].

Zaključimo lahko z dejstvom, da avtomobili na dizelsko gorivo v bližnji prihodnosti še ne bodo tako hitro izumrli. Električni avtomobili so dragi in niso tako zanimivi za kupce, razen v primeru, da država da za nakup velike bonuse. Poleg tega manjka infrastruktura, primanjkuje čiste elektrike, negotovost nabijanja, vprašanje baterij itd. Za kratke razdalje je električni avto dober, za daljše (dopust) pa temu več ni tako.

## 2. KAKO POMEMBNE SO EMISIJE CO<sub>2</sub>

Električni avto ima sicer ničelne lokalne emisije, vendar je njegov prevoz čist le tako, kot je čista proizvodnja elektrike, ki jo uporabimo za nabijanje njegovega akumulatorja. V primeru, da proizvajamo čisto elektriko iz OZE, lahko rečemo, da je elektroavtomobil čist, saj nima emisijskih vplivov, emisije so ničelne. Vendar tako na Češkem kot tudi v nekaterih ostalih

državah EU ni popolnoma čiste elektrike. Na primer Češka je v vseh elektrarnah v letu 2016 proizvedla 26.028 tist. CO<sub>2</sub>. Elektrike se je proizvedlo 56.630 TWh. Enostavno izračunamo, že na 1 kWh elektrike pripada 0,459 kg emisij CO<sub>2</sub>. [2].

Moderni avtomobili na dizelsko gorivo producirajo na osnovi avtomobilskih podatkov cca. 100 g CO<sub>2</sub>/km, večina več. Na primer BMW 1 116i producira 126–116 g CO<sub>2</sub>/km, Škoda Fabia 1.0 MPI 144 g in Škoda Superb 1,8 TSI pa 132 g CO<sub>2</sub>/km. Dalje ugotovimo, da BMW 1 116i na vsakih 100 km producira 12,6 kg CO<sub>2</sub>. Seveda je to odvisno tudi od same vožnje, hitrosti, profila gum itd. V tabeli si pogledjmo, kakšna je poraba energije, če primerjamo elektroavtomobila NISSAN Leaf in TESLA model S.

Tabela: Primer porabe energije električnega avta v Češki republiki v kWh/100 km

	NISSAN LEAF	TESLA model S
Ekonomska vožnja brez ogrevanja in klime	15,0 kWh/100 km	18,1 kWh/100 km
Normalna vožnja brez ogrevanja in klime	18,5 kWh/100 km	20,5 kWh/100 km
Normalna vožnja z ogrevanjem – toplota okoli nule	22,9 kWh/100 km	22,5 kWh/100 km
Normalna vožnja z ogrevanjem – toplota -15 °C do -20 °C	30,5 kWh/100 km	28,4 kWh/100 km
Prevoženih km	68.000 km	134.000 km
Poraba energije električnega avta (EA)	12.500 kWh	27.350 kWh
Prebrano z energije EA na 100 km	18,3 kWh/100 km	20,5 kWh/100 km

Vir: ZET, cz, 2017

Podajam najbolj pogoste cene elektrike, ki jih uporabljamo v družinskih hišah. Cene so brez mesečnih pavšalov (voda, kanalizacija, smeti ...), katere tako ali tako plačamo. Upoštevamo le lastno energijo. Cena k 1.1.2017 (v CZ) – visoka tarifna st. = 0,12 €c /kWh – nizka tarifna st. = 0,07€c /kWh. Elektroavtomobil porabi približno 1,35 - 1,48 €/100 km !! Vendar v primeru zvišanja cen elektrike, kot je bilo to v letu 2008/09, ko je elektrika stala več kot 180 €/MWh (na Base loudu – ne na Peak loudu), bodo stroški popolnoma drugačni. O tem žal za zdaj še nobeden ne razmišlja.

Povprečna poraba električne energije elektroavtomobilov se giba med 13 in 20 kWh na 100 km. Pri manjših elektroavtomobilih, kot je Test Nissan Leaf ali BMW i3, se povprečna poraba električne energije giba okrog 15 kWh, pri večjih in težjih, kot je Tesla model S, pa okrog 20 kWh. Zanimivo je, da je razlika med malim in velikim luksuznim avtom izredno majhna, cca. ¼. BMW 1 116i (1,5 TwinPower Turbo, 80 kW porabi 116 g CO<sub>2</sub>/100 km ali 5,2 l/100 km), medtem ko pa Nissan Leaf in Audi RS7 (4.0 TFSI, 412 kW porabita 221 g CO<sub>2</sub>/km oziroma 9,5 l/100 km), kar je višja poraba v primerjavi z avtomobilom Tesla model S.

## 2.1 KRATKA PREDSTAVITEV ZA POPOLNEJŠO RAZUMEVANJE NEKATERIH POMEMBNIH EMISIJ, KI JIH SPROŠČAJO AVTOMOBILI.

**DUŠIKOV OXID (NO<sub>x</sub>)** v minimalnih količinah ne predstavlja velikega problema. Vendar pri večji koncentraciji, ki uhajajo iz

goriva (nafta, bencin) in biomase, povzročata kislo deževje in ima negativni vpliv na vegetacijo. Problem je pri motornih vozilih, ki spuščajo v ozračje min. 75 % navedenih oksidov.

**OGLJIKOV MONOKSID (CO)** povzročata v atmosferi zviševanje koncentracije metana<sup>7</sup> in zelo škodljivega fotokemičnega smoga. V sočasnosti je vmesni člen verige, na koncu katere pride v ogljikov dioksid. Izpuščanje teh plinov v mestnem prometu – transportu predstavlja kar 75 %.

**OGLJIKOV DIOKSID (CO<sub>2</sub>)** je najbolj pomemben toplogredni plin. Na osnovi izgorevanja fosilnih goriv ostaja cca. 85 % te produkcije/količine. Delež prometa v proizvodnji CO<sub>2</sub> je doslej le 15-odstotni, vendar se skupno število avtomobilov na svetu stalno povečuje in kot rezultat tega vidimo globalno povečanje deleža celotne proizvodnje. Povečanje tega oksida v zraku se na splošno šteje za glavni razlog za učinek tople grede oziroma globalnega segrevanja.

Priporočam natančnejšo seznanitev o tem, kakšno negativno vlogo imajo navedeni plini v avtomobilskem svetu in to na naslednjih vebovih strankah, kajti prostor, ki ga imam na voljo, mi žal ne dopušča večje seznanitve z navedeno problematiko, in sicer so to nekateri naslednji viri [7–20].

Učinkovitost električnega avtomobila je že 90-%, zato ni pričakovati, da se bo proizvodnja CO<sub>2</sub> močno zmanjšala. Inovacije pri proizvodnji akumulatorjev lahko prinesejo nekaj izboljšav, vendar verjetno ne bodo dosegle takšnega uspeha, da bi se spopadli z inovativnimi trendi motorjev z notranjim zgorevanjem. Danes se na trgu pojavljajo tako imenovani "zeleni avtomobili", ki med porabo kombinirajo manj kot 4l/100 km in ta poraba se še vedno zmanjšuje. V zvezi s tem se zdi, da je avtomobilska industrija, osredotočena na motorje z notranjim zgorevanjem, še vedno zelo obetavna in lahko v prihodnosti upočasni proizvodnjo električnih avtomobilov, kar je razvidno iz izjav vrhovnih predstavnikov avtomobilske industrije Grupe VW, BMW, Mercedes Benz in Fiat.

V državah, kjer se električna energija proizvaja skoraj izključno iz neobnovljivih virov, kot je Kitajska, bo električno vozilo tudi v prihodnje popolnoma neučinkovito. Ali ni električni avtomobil še slep način za odpravo človeških napak? Politiki in avtomobilski proizvajalci sami rešujejo električna vozila in v tem vidijo rešitve, vendar se ne zavedajo, da bi življenjski cikel električnega avtomobila v nekaterih delih Evrope v smislu emisij CO<sub>2</sub> lahko povzročil večjo škodo kot konvencionalni avtomobil z motorjem z notranjim zgorevanjem. Dejstvo je, da se emisije CO<sub>2</sub> zaradi proizvodnje električne energije močno razlikujejo glede na vrsto elektrarne – razlika je v tem, ali gre za premog, jedrsko elektrarno, hidroelektrarno, vetrno elektrarno ali sončno elektrarno. In vsaka država seveda uporablja različne vire za proizvodnjo električne energije.

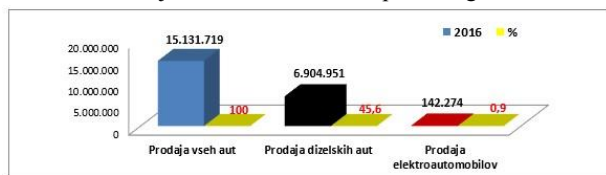
Resnica je, da nastaja na svetu s človeško dejavnostjo le 3,5 % CO<sub>2</sub>, od teh 3,5 % pri izpustu CO<sub>2</sub> v proizvodnji in prometu osebnih avtomobilov znaša približno 5,5 %. **Tako je celoten vpliv proizvodnje in delovanja osebnih avtomobilov na izpust CO<sub>2</sub> na svetu približno 0,2-%, kar je zanemarljivo, skoraj nič proti tem največjim, ki spuščajo v ozračje CO<sub>2</sub>. To so oceani z 41,5 %, vegetacija na zemlji s 27 %, zemlja kot taka 27 % in biomasa, ki je prisotna z 1 %.**

Proizvajalci in prodajalci avtomobilov bodo od leta 2020 s strani EU kaznovani v primeru prekoračitve CO<sub>2</sub> za 1 g in to s celotno prodajo določene znamke v navedenem letu proizvodnje po novih pogojih, kar naj bi privedlo k večjemu zniževanju izpustov CO<sub>2</sub> v atmosfero [21]. Na primer: če se preseže pri prodanih vozilih CO<sub>2</sub> za 1 g, bodo določene znamke avtomobilov v letu 2020 pri proizvodnji enega milijona avtomobilov plačale letno kazen, in sicer za 1g CO<sub>2</sub> x 95 € x 1,0 mio avtomobilov = 95,0 mio €! Proizvajalci sami ne želijo plačati kazni, saj je seveda zanje bolj učinkovito, da vlagajo v nove tehnologije in njihovo upravljanje, poleg tega pa še ni povsem jasno, za kaj in kako bo ta denar EU porabila. Danes je situacija v EU tako zapletena, da obstajajo v različnih državah različni sistemi bonusov, ki niso sistemsko izračunani, saj ne vemo natančno, ali plača to kupec ali proizvajalec ali oba. Ni enotnega davčnega sistema v EU glede upravljanja emisij CO<sub>2</sub> – najpogostejši so uvozniki, registracija, letni davki ali njihove kombinacije.

### 3. PRODAJA AVTOMOBILOV NA ELEKTRIČNI IN DIZELSKI POGON V ZDA IN EU (v 2016 letu)

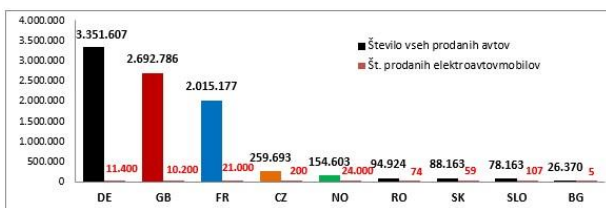
Na evropskem trgu (EU + Islandija, Lihtenštajn, Norveška in Švica) je bilo v letu 2016 prodanih 15.131.719 novih avtomobilov, kar je 6,5 % več kot v letu 2015 (14.202.273 avtomobilov). Edini evropski trgi, ki so medletno upadli, so bili trgi v Švici (-2,0 %) in na Nizozemskem (-14,7 %). Večina novih avtomobilov je bila prodanih v Nemčiji (3.351.607 avtomobilov), Češka je bila z 259.693 avtomobili na 12. mestu in recimo Slovenija s prodanimi 78.163 avtomobili na 22. mestu.

Graf št. 1: Prodaja avtomobilov na evropskem trgu leta 2016



Vir: LMC Automotive, 2017, EV Sales, 2017

Graf št. 2: Število vseh prodanih avtomobilov, tudi električnih, v nekaterih državah EU v letu 2016

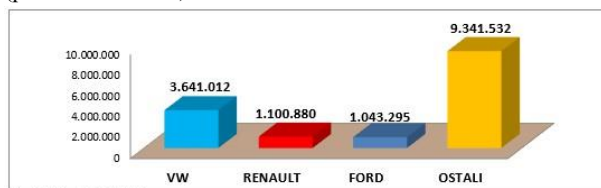


Vir: e15 cz/byznys, 2017, ACEA in MMC, X/2017

Najuspešnejšo prodajo je imel Volkswagen, ki je kljub emisijskemu škandalu prodal 1.720.829 avtomobilov, kar je le za 0,4 % manj kot leta 2015. Skupaj, kot koncern, je ta nemški proizvajalec avtomobilov predstavljal 11,4-% delež, čeprav je imel v letu 2015 le 12,2-% delež. Skupina VW je tako v 2016 letu prodala 3.641.012 avtomobilov, kar je za 3,3 % več kot leta 2015.

To predstavlja 24,1-% tržni delež. Češka s 663.230 prodanimi avtomobili (Škoda) se v Evropi uvršča na 10. mesto. [2]

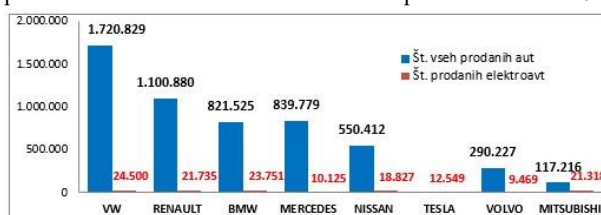
Graf št. 3: Prodaja nekaterih avtomobilov v letu 2016 v Evropi (po značkah firm)



Vir: EV Sales, 2017, ACEA

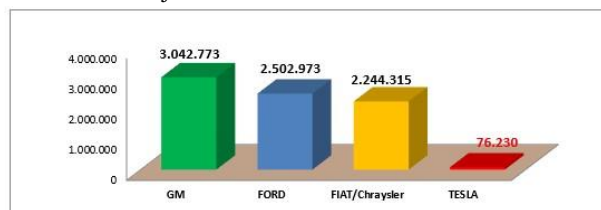
V aprilu leta 2016 je bil skoraj vsak drugi avto v Evropi prodan na naftni motor, vendar po podatkih »JATO Dynamics« je delež naftnih avtomobilov na evropskem trgu le še 46-% [23]. Delež teh prodanih avtomobilov na trgu pada predvsem v Nemčiji, kjer je bilo v letu 2016 prodanih le še 45,8 %. [24]

Graf št. 4: Število vseh prodanih avtomobilov, tudi električnih, po tovarniških značkah v Evropi v letu 2016



Vir: EV Sales, 2017

Graf št. 5: Prodaja avtomobilov v letu 2016 v ZDA



Vir: GM Authority/Ford Authority/PR Newswire/Tesla/Market insider  
TESLA cca: 0,97 % vseh prodanih avtov v ZDA!

Električni avtomobili so danes dragi, nepraktični in med drugim je v ospredju tudi problematika akumulatorjev. V vseh drugih pogledih imajo svoje prednosti in niso zanemarljivi. Akumulatorji so dragi, imajo omejeno življenjsko dobo in jih je težko reciklirati, imajo zelo nizko energijsko gostoto in jih ni enostavno polniti hitro in učinkovito, ne glede na potrebe avtomobila [25–26]. Tehnično pa le imajo električni avtomobili prednosti, kot na primer:

- Točilnost: elektroavtomobil ima 0 vrtljajev, medtem ko ima turbo dizel 1.800 vrtljajev.
- Ni zapletenega menjalnika: pravzaprav zadostuje samo en enakomeren prestavni in diferencialni diferencial za hitrost vožnje 160 km/h.
- Natančnejši nadzor nad obvladanjem "plina" s pritiskom na pedal za plin je takojšen in vedno enak, odvisno od nastavitve elektronike.
- Manjše zaviranje, daljša zavorna doba in zaviranje z motorjem, zavorna ploščica serije zdrži celo 644.000 km.
- Variabilnost shranjevanja baterij: v velikem avtomobilu lahko nekje postavite baterijo pred zadnjo os ali pred središčem avtomobila, da dosežete dobro porazdelitev teže. Ali pa lahko naredite ta paket – namestite baterijo pod tla v avtomobilu, kot to naredi Tesla.



### 3.1 STA ZA ELEKTROAVTOMOBILE PROBLEMATIČNI SUROVINI LITIJ IN KOBALT?

Čeprav je približno polovica letne proizvodnje kobalta porabljena v avtomobilski industriji, proizvajalci skušajo zmanjšati količino, ki jo potrebujejo. Težko bo, saj kobalt poveča zmogljivost in stabilnost celic in v enem električnem avtomobilu lahko najdete do 10 kg kobalta. V zadnjem letu (2016) se je cena kobalta na londonskem kovinskem trgu močno povečala – od 26.200 \$/t na več kot 56.500 \$. Naraščajoča cena ni glavni problem. Kobalta preprosto ni dovolj. Odpiranje novega rudnika kobalta traja več kot deset let, preden se pridobljena surovina lahko uporabi za proizvodnjo novih akumulatorjev. Kot je opozoril Financial Times, sedanji rudniki kobalta ne bodo mogli zadovoljiti povpraševanja Tesle in drugih avtomobilskih tovarn, predvsem povečanja prihodnje prodaje na Kitajskem in evropskem trgu v naslednjih petih letih.

Po napovedih UBS se bo za osem let na celem svetu prodalo čez 14 milijonov elektroavtomobilov. In kobalt lahko postane kovina, ki se lahko popolnoma izčrpa. Medtem ko so pri drugih surovinah omejitvene proizvodne zmogljivosti, gre pri kobaltu za količinski problem, je dejala banka po opravljeni analizi meseca maja tega leta. Če bi hipotetično gledano celoten svet prešel samo na elektroavtomobile, bi se po mnenju UBS morala produkcija kobalta povečati za več kot 1.900 %, kar je nemogoče. V letu 2016 je bilo povpraševanje po kobaltu v višini 100.000 t. Od te količine konča 50 % v akumulatorjih za avtomobile, v mobilnih telefonih, prenosnih računalnikih in digitalnih fotoaparatih. Približno 60 % kobalta se trenutno prideluje v Demokratični republiki Kongo. In cena 56.500 \$/t je cena kobalta na svetovnih trgih, v letu 2016 pa je bila 26.200 \$ [27–28].

Povpraševanje po kobaltu se je povečalo predvsem pri dobaviteljnih kitajskih avtomobilov, ki so v zadnjem času začeli uporabljati litij-ionsko baterijo s kobaltom. Do leta 2025 se bo njihovo povpraševanje podvojilo. Podobne načrte ima tudi Elon Musk, ki je v začetku leta začel s proizvodnjo akumulatorjev v gigatovarni v Nevadi. Februarja 2017 je povpraševanje preseglo razpoložljivo količino kobalta za 900 ton in bi se v naslednjih petih letih povečalo za 20 %.

Toshiba je leta 2008 pokazala svoj poseben SCiB akumulator, ki je zelo trpežen in hiter. Toda še vedno ni bilo to, kar bi želeli. Druga generacija že uporablja novo tehnologijo, kjer anoda predstavlja poseben material iz titanovega oksida in niobija. Te zamenjajo klasične ogljikove anode, ki jih najdemo v tipičnih Li-On akumulatorjih. Izboljšanje je več. Kakorkoli že, njihovi povzetki dopolnjujejo skupno 32 kWh, kar je dovolj, da dosežemo daljavo s standardnim električnim avtomobilom 320 km, vendar glavne funkcije še nihče nima in je ta, da napolni akumulator v samo šestih minutah! Mnogi ljudje, ki razumejo elektromobilnost in električno energijo, še vedno opozarjajo in se sprašujejo, kako dolgo bo trajalo, če je temperatura okolja nizka. Da ni problem, zagotavlja Toyota, čas nabijanja je podaljšan – 10 minut. A kakšna je življenjska doba akumulatorja? Toshiba zagotavlja, da je po 5.000 ciklusih polnjenja akumulatorja le-ta izkazal izgubo zmogljivosti nekaj manj kot 10 % [28].

### 4. ZAKLJUČEK

Bruselj (EU) ne razume evolucijskih trendov, ne zna se prilagoditi spontanim spremembam in v glavnem ne ve, kako izkoristiti priložnosti, ki jih ponujajo inovacije, digitalne tehnologije, robotika, novi svet znanja in de-globalizacija, ki je pred vrati. EU preveč eksperimentira in to ni pot do prihodnosti. In največje vprašanje je, ali ima strokovni kader v Bruslju dovolj znanja in izkušenj?

EU porabi na tisoče in tisoče predpisov, ki jih moramo sprejeti, in celoten pravni sistem je nenehno v gibanju. S tem ko se sprejema čim več pravnih predpisov, ki so bili že ničkolikokrat nesmiselni, se poslabšujejo nekatere tradicije. EU poskuša z vsemi sredstvi spremeniti zgodovinske strukture z nečim novim. To zelo dobro vidimo na primeru, ki sem ga opisal s prepovedjo motorjev z notranjim zgorevanjem, kjer zahteva EU s predpisi na tem področju, t. j. do leta 2030 nemudoma zamenjati motorje z notranjim zgorevanjem z elektroavtomobili. To ne da nobenega smisla, saj s tem preprečuje inovativno dejavnost na daljšem razvoju dizelskih motorjev in se ne zaveda, da bo pri uvajanju elektroavtomobilov na trg (pri polnjenju, akumulatorjih, ceni, surovine, itd.) prišlo do velikih težav. Še sreča, da predstavniki koncerna VW, BMW, Mercedes in Fiata vidijo v perspektivi daljši razvoj avtomobilov na notranje zgorevanje in s tem tudi na dizelski pogon, saj so jih v Evropi leta 2016 končno prodali več kot 6,9 mio, električnih nekaj več kot 142.000! Tudi A. Merkel je izjavila: «Wir brauchen den diesel» (ADAC, IX/2017).

Menim, da današnji svet vse bolj spominja na virtualno resničnost v smislu »saj EU je rekla, da bodo avtomobili električni, pa čeprav ne bodo, bomo o tem tako govorili, kajti to je "cool".« Trdim, da avtomobili z notranjim zgorevanjem (nafta, bencin, alternativa) niso rekli zadnje besede in imajo ob električnih avtomobilih tudi perspektivo v prihodnosti. Pomemben za razumevanje je primer Norveške!

### 5. UPORABLJENI VIRI:

[1] Hana Bartušková, (2017), Prodej aut v EU v roce 2016: elektromobilů se prodalo celkem o 18,9 % více, Finance, <https://www.finance.cz/483674-trh-s-osobnimi-automobily-v-roce-2016/>,

[2] [http://www.autoforum.cz/zajimavosti/elektromobily-nejsou-nikde-a-pro-vyrobce-nejsou-prioritou-proc-to-nikdo-neprizna/?utm\\_source=www.seznam.cz&utm\\_medium=sekce-z-internetu](http://www.autoforum.cz/zajimavosti/elektromobily-nejsou-nikde-a-pro-vyrobce-nejsou-prioritou-proc-to-nikdo-neprizna/?utm_source=www.seznam.cz&utm_medium=sekce-z-internetu),

Petr Prokopec, (2017), Elektromobily nejsou nikde, Auto Forum, 8.10.2017

[3] [http://www.autoforum.cz/zajimavosti/smrt-dieselu-zapomente-na-to-sef-vw-bez-obalu-rekl-co-se-skutecne-chysta/?utm\\_source=www.seznam.cz&utm\\_medium=sekce-z-internetu](http://www.autoforum.cz/zajimavosti/smrt-dieselu-zapomente-na-to-sef-vw-bez-obalu-rekl-co-se-skutecne-chysta/?utm_source=www.seznam.cz&utm_medium=sekce-z-internetu), 11.10.2017

[4] <https://www.novinky.cz/auto/452069-norsko-po-podpore-elektromobilu-zavede-dan-z-tesly.html> 17.10.2017

[5] Expert mercedesu: spalovací motory neřekly poslední slovo, 9.10.2017

<https://www.novinky.cz/auto/451298-expert-mercedesu-spalovaci-motory-nerekly-posledni-slovo.html>

- [6] Sergio Marchionne o električnih avtomobilih: Električnih avtomobilov trenutno ni mogoče proizvajati z dobičkom, 13. oktober 2017, New York - MMC RTV SLO  
<http://www.rtvlo.si/zabava/avtomobilnost/novice/elektricnih-avtomobilov-trenutno-ni-mogoce-proizvajati-z-dobickom/435026>
- [7] FAUSTINI, A., RAPP, R., FORASTIERE, F., 2014. Nitrogen dioxide and mortality: review and meta-analysis of long-term studies. *Eur. Respir. J.* 44, 744-753.
- [8] US EPA, 2015. Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen - Health Criteria (Second External Review Draft), EPA/600/R-14/006.  
<http://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=288043>  
[Accessed February 2016]. United States Environmental Protection Agency, Washington DC.
- [9] EEA, 2015. Air quality in Europe - 2015 report. EEA (European Environment Agency), Copenhagen. See also Premature deaths attributable to fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>), ozone (O<sub>3</sub>) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) exposure in 2012 in 40 European countries and the EU 28, online at <https://www.eea.europa.eu/media/newsreleases/many-europeans-still-exposed-to-airpollution-2015/premature-deaths-attributable-to-air-pollution>
- [10] MAMAKOS A., MARTINI G. (2011): Particle Number Emissions During Regeneration of DPFequipped Light Duty Diesel Vehicles. European Commission Joint Research Center publication no. JRC 64870, EUR 24853 EN ISBN 978-92-79-20483-8.
- [11] MAYER, A., CZERWINSKI, J., PÉTERMANN, J., WYSER, M. et al., "Reliability of DPFSystems: Experience with 6000 Applications of the Swiss Retrofit Fleet," SAE Technical Paper 2004-01-0076, 2004, doi:10.4271/2004-01-0076.
- [12] OLSEN, D.B., KOHLS, M., ARNEY, G., 2010. Impact of oxidation catalysts on exhaust NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ratio from lean-burn natural gas engines. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 60, 867–874. doi:10.3155/1047-3289.60.7.867
- [13] CARSLAW, D.C., 2005. Evidence of an increasing NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> emissions ratio from road traffic emissions. *Atmos. Environ.* 39. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.06.023
- [14] JEON, J., LEE, J.T., PARK, S., 2016. Nitrogen Compounds (NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and NH<sub>3</sub>) in NO<sub>x</sub> Emissions from Commercial EURO VI Type Heavy-Duty Diesel Engines with a Urea-Selective 178 Catalytic Reduction System. *Energy and Fuels* 30, 6828–6834. doi:10.1021/acs.energyfuels.6b01331
- [15] FRANCO, V., SÁNCHEZ, F.P., GERMAN, J., MOCK, P., 2014. Real-word exhaust emissions from modern diesel cars a meta-analysis of PEMS emissions data from EU (EURO 6) and US (TIER 2 BIN 5/ULEV II) diesel passenger cars. ICCT Int. Counc. Clean Transp.
- [16] WEISS, M., et al., 2012. Will Euro 6 reduce the NO<sub>x</sub> emissions of new diesel cars? - Insights from on-road tests with portable Emissions Measurement Systems (PEMS). *Atmos. Environ.* 62, 657–665. doi:10.1016/j.atmosenv.2012.08.056
- [17] YANG, L., FRANCO, V., MOCK, P., KOLKE, R., ZHANG, S., WU, Y., GERMAN, J., 2015. Experimental Assessment of NO<sub>x</sub> Emissions from 73 Euro 6 Diesel Passenger Cars. *Environ. Sci. Technol.* 49, 14409–14415. doi:10.1021/acs.est.5b04242
- [18] MEINEL, H.; JUST, Th. Measurement of NO<sub>x</sub> exhaust emissions by a new NDUV analyzer. In: AIAA, Aerospace Sciences Meeting, 1976.
- [19] VOJTISEK-LOM, M. AND ALLSOP, J., "Development Of Heavy-Duty Diesel Portable, On-Board Mass Exhaust Emissions Monitoring System With NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> And Qualitative PM Capabilities," SAE Technical Paper 2001-01-3641, 2001, doi:10.4271/2001-01-3641
- [20] MENDOZA-VILLAFUERTE, P., et al. NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and PN real driving emissions from a Euro VI heavy-duty vehicle. Impact of regulatory on-road test conditions on emissions. *Science of The Total Environment*, 2017, 609: 546-555.
- [21] Martin Hrdlička, (2016), „Snižování emisí osobního automobilu a legislativa“, XLVIII. International Scientific Conference of Czech and Slovak Universities' Departments and Institutions Dealing with the research of combustion engines September 11.- 12., 2017 – Klášter Hradiště nad Jizerou, Czech Republic Technical University of Liberec Department of Vehicles and Engines
- [22] Dalibor Žák, (2017), „V Evropě se v roce 2016 prodalo 15,1 milionu nových aut. jedničkou je Volkswagen“ Autobible, 18.1.2017, Veškerá data pocházejí od Evropské asociace výrobců automobilů ACEA  
<http://autobible.euro.cz/v-evrope-se-v-roce-2016-prodalo-15-1-milionu-novych-aut-jednickou-je-volkswagen/>
- [23] <http://www.denik.cz/auto/dieselova-auta-uz-nejsou-v-evrope-nejpopularejsi-jejich-prodej-klesa-20170524.html>, 10.10.2017
- [24] <https://fdrive.cz/clanky/s-prodeji-dieselu-v-evrope-to-jde-z-kopce-lide-se-boji-budoucich-zakazu-1077>  
10.10.2017, Drive.cz, Avtonews.com
- [25] [http://www.autoforum.cz/technika/toto-je-5-hlavnich-vyhod-ktere-maji-elektromobily-oproti-dnesnim-autum/?utm\\_source=www.seznam.cz&utm\\_medium=sekce-z-internetu](http://www.autoforum.cz/technika/toto-je-5-hlavnich-vyhod-ktere-maji-elektromobily-oproti-dnesnim-autum/?utm_source=www.seznam.cz&utm_medium=sekce-z-internetu), 13.10.2017, Engineering Explained
- [26] [http://www.autoforum.cz/zajimavosti/norska-elektricka-pohadka-nabira-horke-konce-takhle-to-opravdu-nepujde/?utm\\_source=www.seznam.cz&utm\\_medium=sekce-z-internetu](http://www.autoforum.cz/zajimavosti/norska-elektricka-pohadka-nabira-horke-konce-takhle-to-opravdu-nepujde/?utm_source=www.seznam.cz&utm_medium=sekce-z-internetu), 21.9.2017
- [27] <https://archiv.ihned.cz/c1-65843390-boom-elektromobilu-ohrozuje-nedostatek-kobaltu>, 14.8.2017
- [28] [http://auto.idnes.cz/elektromobil-li-ion-kobalt-cena-d30-automoto.aspx?c=A170228\\_163024\\_automoto\\_fdv](http://auto.idnes.cz/elektromobil-li-ion-kobalt-cena-d30-automoto.aspx?c=A170228_163024_automoto_fdv)
- [29] Toshiba umí dobít elektromobil s dojezdem 320 km za šest minut, 8.10.2017  
<https://www.novinky.cz/auto/451216-toshiba-umi-dobit-elektromobil-s-dojedem-320-km-za-sest-minut.htm>

Rafael Mihalič\*

# Energetski viri z nizkim EROEI – perspektive in možnosti

## POVZETEK

Demografski, ekonomski in socialni razvoj človeške družbe je bil vedno povezan z njeno zmožnostjo izrabe virov energije. Predpogoj za obstoj višjih družbenih dejavnosti, kot so na primer podpora neaktivnim članom družbe, zdravstveno varstvo, umetnost ..., pa je dostop do takih virov, ki v splošnem ne zahtevajo veliko družbene aktivnosti (danes lahko slednje izrazimo z deležem BDP, ki ga družba porabi za oskrbo z energijo, včasih ga izražamo preko EROI – Energy Returned on Investment - pridobljena energija glede na investicijo). Z drugimi besedami, energetski viri morajo imeti dovolj visok EROEI - Energy Received on Energy Invested (razmerje med pridobljeno in v njeno pridobivanje vloženo energijo), da je možen razvoj uspešne družbe. V Evropi smo sprejeli politično odločitev energetskega preobrata (Energiewende) in za to do sedaj porabili ca. 1000 milijard €. Pojavlja pa se vprašanje, kaj to pravzaprav pomeni za EROEI oskrbe z energijo in kaj za ekonomijo držav. Koliko smo Evropejci prispevali k »trajnostni« oskrbi z energijo, potem, ko smo potrošili omenjene milijarde? Ali sploh imamo dovolj sredstev in/ali virov, da bi zamenjali vsaj znaten del klasične električne proizvodnje z obnovljivimi viri? Kaj intenziven prehod na obnovljive vire energije pomeni za konkurenčnost na globalnem trgu? Nekateri avtorji ugotavljajo, da glavna dilema pravzaprav ni: obnovljivi viri energije, da ali ne, pač pa ekonomska rast ali oskrba družbe s sonaravnimi energetske viri. Ob tem se velja vprašati, kako prihodnost pa ima dežela, ki izbere »sonaravno« alternativo, pri čemer ostale države temu ne sledijo in to deželo ekonomsko povsem prehitijo. Ali je za družbo res dobro odpirati nove službe v branži obnovljive energetike, kot je pogosto slišati na promocijah »zelene energije«, upoštevajoč dejstvo, da en rudar v premogovniku oskrbi družbo s toliko energije, kot 79 zaposlenih v solarni industriji? Predstavljene dileme so med ključnimi vprašanji moderne družbe. Naivno je pričakovati, da je moč končne odgovore na te in podobna vprašanja stresti iz rokava. Je pa pomembno take dileme izpostaviti in o njih razpravljati, tem bolj, ker obstajajo številni politični poizkusi kriminalizacije zastavljanja takih vprašanj in izražanje dvomov v katastrofične scenarije raznih prerokovalcev katastrof in v njihove ideje »reševanja sveta«.

**Ključne besede:** energija; sonaravni viri; energetska politika, oskrba z energijo, EROEI

## 1. Uvod

V eni od knjig o razvoju človeških civilizacij si avtor zastavi centralno vprašanje, okrog katerega razvija svojo tezo, nekako tako: »Zakaj so Španci odpluli v Ameriko in si podjarmili tamkajšnja ljudstva, ne pa Indijanci v Evropo in si podjarmili njo?« V knjigi nato obravnava številne ključne faktorje, od možnosti razvoja poljedelstva in živinoreje do dostopnosti rudnin. Vendar menim, da je ob tem mogoče stopiti še korak nazaj in najti bolj splošen skupni imenovalac. V samem bistvu gre za energijo oz. sposobnost družbe izkoristiti energetske vire in ustvariti presežke energentov, t. j. snovi, ki jih znamo pretvarjati tako, da zagotovijo naše potrebe v najširšem smislu. Na dlani je, da je razvoj civilizacije nemogoč, če je dejavnost vseh članov družbe izključno zagotavljanje njenih energetskih potreb, npr. hrane, kurjave. Manj ljudi je sposobno oskrbeti družbo z energetske viri, potrebnimi za njeno funkcioniranje, več jih ostane »na razpolago« za višje družbene dejavnosti (in na žalost tudi, kakor kaže zgodovina, vojskovanje). Seveda ob vsem skupaj ni pomembno samo to, da imamo relativno preprost dostop do energetskih virov, predpogoj je, da sploh znamo energetske vire izkoristiti oz. imeti ustrezno infrastrukturo, ki to omogoča. Kaj nam npr. pomagajo velike zaloge torija (Th), če

zaenkrat še nimamo delujočega reaktorja za njegovo izkoriščanje.

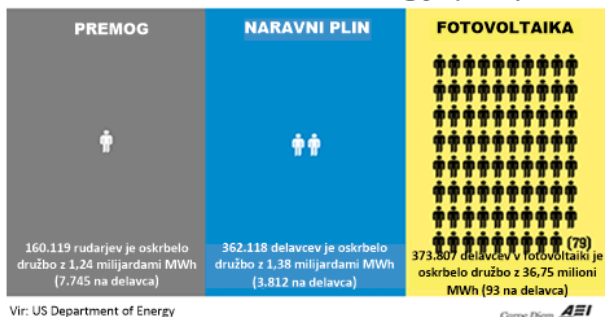
Prvi energetski »bum« sodobne dobe se je zgodil med in po drugi svetovni vojni. Razvoj motorjev na notranje izgorevanje je naredil kvantni preskok, tehnologija izkoriščanja kuriv za npr. proizvodnjo elektrike je omogočila izboljšanje izkoristka za red velikosti, iznašli so (v začetku sicer ne s tem namenom) način za izkoriščanje praktično neomejenega energetskega vira, t. j. kontrolirano cepitev atomov in postavili temelje zlivanju atomskih jeder. V bistvu je šlo za osnovo za razvoj sodobne civilizacije in kakovosti življenja (vsaj v razvitem delu sveta), ki je v zgodovini brez primere. Z ustreznim razvojem tehnologij izkoriščanja lahko s takrat razvitimi načini skoraj gotovo oskrbujemo človeško družbo s poceni energijo še stoletja. Izraz »poceni« je mišljen v smislu, da je zelo malo članov družbe za to potrebnih in ostali lahko opravljajo druge družbene dejavnosti (npr. šolstvo, znanost, skrb za neaktivne člane družbe, kultura, gradnja infrastrukture itd.), skratka dvignejo kakovost življenja.

Vendar oskrba z energijo, zlasti v Evropi, ni ubrala smeri evolucije, pač pa bolj revolucije. Dogajanje najlepše parafrazira v Evropi ponarodeli izraz Energiewende, ki naj bi označeval energetski preobrat v smislu energetskega »nazaj k naravi!« Z drugimi besedami; oskrba z energijo, predvsem z električno, naj bi popolnoma spremenila paradigmo, in sicer iz t. i. klasičnih virov (beri prejšnji odstavek) v obnovljive, sonaravne, čiste, brezogljne in kar je še takih in podobnih izrazov. Gre za

Fakulteta za elektrotehniko / Tržaška 25, Ljubljana,  
E-Mails: E-Mail:rafael.mihalic@fe.uni-lj.si  
\* Avtor za korespondenco; Tel.: +386 1 4768 438

politične odločitve, ki imajo pri praktični implementaciji pogosto »resen konflikt« s fizikalnimi dejstvi in omejitvami, vendar gre praviloma karavana dalje pač v maniri: »Če je odločitev v nasprotju s fizikalnimi dejstvi, toliko slabše za dejstva.« Idej, na kak način pridobivati energijo, je nebroj, večinoma pa imajo neko skupno značilnost, in sicer, da je potrebna precejšnja investicija in energijski vložek, da idejo udejanjimo. Če npr. pridelujemo ogrščico za biodiesel je potrebno precej energije investirati bodisi direktno (seme, oranje, sejanje, škropljenje, gnojenje, žetje, transport, predelava) ali indirektno (izdelava traktorjev, priključkov, kombajnov, predelovalnic v biodiesel, materialne dobrine vseh, ki se ukvarjajo s to dejavnostjo...). Na koncu, če odštejemo omenjeno porabo energenta za pridelavo novega, bilanca ni posebno razveseljujoča. Podobno velja tudi za druge vrste obnovljivih virov. V [1] npr. navajajo, da je za oskrbo družbe z električno energijo potrebnih pri oskrbi preko sončnih celic 79 krat več ljudi, kakor, če isto energijo dobimo iz premoga. Če torej zelo na grobo špekuliramo in upoštevamo, da je v rudniku Velenje zaposlenih 1200 ljudi, in da TEŠ »pridobi« 1/3 slovenske elektrike, bi torej po tej logiki za elektroenergetsko oskrbo Slovenije s sončnimi elektrarnami potrebovali ca. 300.000 zaposlenih, kar predstavlja skoraj 40% vseh zaposlenih v RS oz. polovica vseh, ki niso zaposleni v javnem sektorju. Seveda je vse skupaj popolna utopija, če uporabimo mili izraz.

**Število delavcev potrebnih za oskrbo družbe z isto količino električne energije (2016)**



Slika 1: Primerjava potrebnih človeških virov za oskrbo družbe z isto količino energije [1]

Torej si lahko zastavimo čisto splošno vprašanje, in sicer: »Ali je mogoče oskrbovati razvito družbo z energijo s tehnologijami, ki imajo relativno nizek presežek pridobljene energije nad vloženo?« Kako to vpliva na ekonomijo družbe oz. njeno ekonomsko kompetitivnost? Ali drugače, ali je moč razvito družbo oskrbovati s tehnologijo z nizkim EROEI.

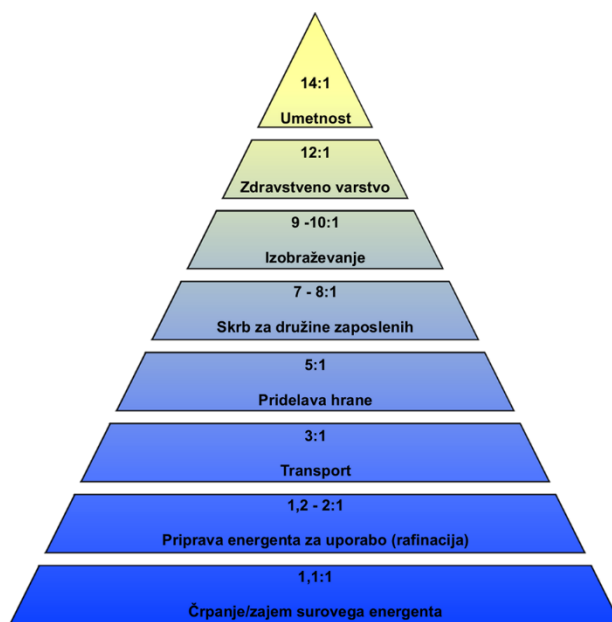
## 2. Vpliv EROEI na družbo

V strokovnih krogih indikator EROEI predstavlja začetnice za merilo, koliko energije pridobimo glede na vloženo energijo (po angleškemu "Energy Received on Energy Invested"). Predstavil ga je Charles Hall na primeru plenilca. Ta mora iz ujetega plena dobiti več energije, kot je porabi za to, da ga ulovi (EROEI mora biti nujno večji od 1), sicer plenilec pogine. Če pomislimo nekoliko širše, vidimo, da na nek način tako funkcionira celotna narava. Pri vsaki energetski pretvorbi prihaja do izgub (v končni fazi v obliki toplote). To ima za posledico, da se nobena sprememba v vesolju (kemična,

mehanska, jedrska) ne more zgoditi, če začetna energijska bilanca (recimo kinetična, kemična, jedrska ... energija snovi, ki vstopajo v proces) ne presega končne (recimo koristne energije), saj se je del vstopne energije pretvori v izgube.

Dokler je bilo človeštvo odvisno samo od sile lastnih mišic ter mišic udomačenih živali, in toplote iz izgorovanja lesa, so bile dejavnosti, ki jih je družba lahko vzdrževala, pretežno tiste za osnovno preživetje, saj je bil EROEI tehnologij za oskrbo družbe z energijo (sem prištevamo tudi hrano) nizek. Višje oblike kot izobraževanje, zdravstveno varstvo in umetnost so bile (če sploh) dostopne le majhni eliti. Pogoj za kakovost življenje, kakršno danes sprejemamo kot samoumevno, je zadostna energija z dovolj visokim EROEI, kar je človeštvo doseglo šele v 20. stoletju z množičnim izkoriščanjem fosilnih goriv, predvsem premoga in nafte.

Pogoj za obstoj višjih družbenih dejavnosti, kot sta na primer umetnost in zdravstveno varstvo, je namreč celotna piramida pod njimi, od pridobivanja energenta do splošnega izobraževanja. In ker vsak nivo družbenih dejavnosti potrebuje energijo za lastno delovanje, z višjo razvitostjo dejavnosti tudi raste razmerje med energijo, ki jo za tak nivo rabimo, in primarno pridobljeno. Višji EROEI je torej pogoj za višjo kakovost življenja. Če naj bi se civilizacija razvijala, se bo po tudi piramida višala in za funkcioniranje nadgradnje bo potrebno družbo oskrbovati z energenti z vedno višjim EROEI. Temu sicer nekateri oporekajo v smislu, da bo tehnologija omogočila razvoj z nižjo stopnjo rabe energije. Trenutno na to prav nič ne kaže in BDP družbe je v strogi korelaciji z njeno porabo energije [2].



Slika 2: Piramida EROEI: kolikšno razmerje med pridobljeno in za pridobivanje vloženo energijo je potrebno za vzdrževanje posameznih dejavnosti družbe [3]

Ilustrirajmo nekoliko predhodno razmišljanje s primerom, kaj se energetsko "izplača". Velikokrat lahko slišimo, da pri sicer fizikalno povsem nesmiselni in etično in okoljsko na moč sporni pridelavi energentov (npr. bio-diesla ali metanola iz koruze ali pšenice) res porabimo veliko energije, vendar pa, da je bojda »energetska žetev« vendarle obilnejša od porabljene energije (za metanol to sploh ni res niti na nivoju same

pridelave). Napaka oz. zavajanje pri takem razmišljanju je parcialni pogled na problem, ki zanemara nujno energetske porabo za ustvarjanje pogojev, da sploh lahko energijo v »pridelani obliki« porabimo. Samo zato, da npr. nafto predelamo (rafinerije) in njo in njene produkte transportiramo rabimo EROEI krepko čez 1, pri tem ne smemo pozabiti, da je za izdelavo rafinerij, prevoznih sredstev, poti ... bilo potrebno veliko energije. Sledi kompletna infrastruktura za distribucijo energentov (milijoni črpalk za gorivo). Ampak to še ni vse. Rabimo tudi naprave, ki nam pretvorbo energije sploh omogočajo – beri avtomobile, vlake, infrastrukturo zanje (ceste, železnice, parkirišča, mehanične delavnice, tovarne avtomobilov, železarne za material za vse to – skratka neskončen niz povezav). Pa to še vedno ni vse. V branži pridobivanja energentov, njihovega transporta, distribucije, industriji avtomobilov, pridobivanju surovin za izdelavo prevoznih sredstev itd. je zaposleno milijone ljudi. Za te ljudi je potrebno zagotoviti hrano, obleko, določen življenjski standard, za kar je tudi potrebna energija. Če povzamemo, zato da ima sploh smisel izkoriščati npr. nafto za transport ljudi in blaga mora biti EROEI njenega pridobivanja mnogo večji od 1 (glede na podrobno analizo v [3] mora biti EROEI vsaj 5), sicer imamo načrpano nafto, ampak kaj naj z njo?! V tem smislu velja razumeti piramido na Sl. 2. Z drugimi besedami; na srednji rok (recimo nekaj desetletij) ni prav nobene možnosti, da bi lahko vzdrževali doseženo stopnjo civilizacijskih pridobitev človeštva, če presedlamo na energente z nizkim faktorjem EROEI npr. enakim 5. Taka Slovenija bi sicer lahko pridelala in/ali kupila dovolj hrane za preživetje – a nič več. Z drugimi besedami, družba bi v tem primeru vlagala vso dejavnost samo še v pridobivanje in ustvarjanje pogojev za izkoriščanje energentov in hrane. Tu preprosto nobena miselna telovadba ali filozofiranje ne pomaga. Če prevedemo v preprostejši jezik, denarja za vse ostalo bi zmanjkalo, državljani bi bili obdavčeni do meje, ko bi imeli samo še za hrano in energijo, potrebno za osnovne dejavnosti. Kar se mene tiče: »Hvala za tako družbo!«

### 3. Kako se v luči EROEI »odrežejo« različni energetske viri

Kakor je moč sklepati iz predhodne razlage glede nafte in potrebnega EROEI za njeno izrabo, je določitev tega faktorja za posamezne energente oz. vire energije, ki jo znamo rabiti, izjemno zahtevna naloga, saj je v družbi »vse povezano z vsem«. Kljub temu so avtorji v preteklosti skušali izvesti izračune EROEI za različne načine pridobivanja energije. Povzemimo v nadaljevanju na kratko njihove izsledke.

#### 2.1 EROEI klasičnih virov

**Vodna energija** sodi med najstarejše in tudi energetske najučinkovitejše energetske vire. Kljub temu, da gre po vseh fizikalnih kriterijih za obnovljiv vir energije (OVE), ga poklicni okoljevarstveniki ne prištevajo med OVE. Vzroki za to so politično-špekulativne narave, a o tem drugič. Ob današnji tehnologiji dosega proizvodnja elektrike na osnovi vodnih virov EROEI reda 100:1 [4].

Energijo vode lahko izkoriščajo tudi bivačne elektrarne, z EROEI približno od 15:1 do 100:1 [5], vendar je prispevek tistih, ki že obratujejo tudi, če jim prištejemo tiste v načrtih, zanemarljiv.

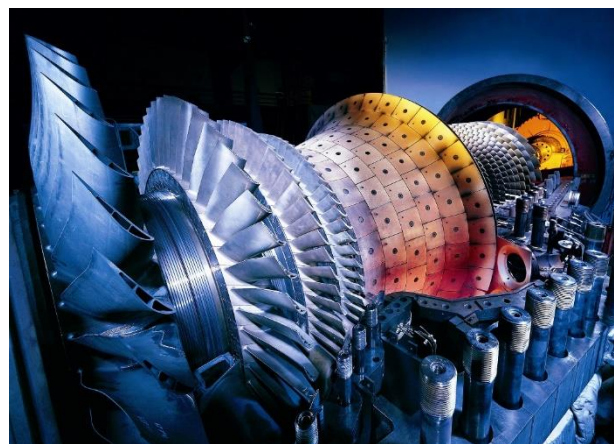
**Premog** predstavlja navkljub pravi gonji in CO<sub>2</sub> histeriji glavni energent za proizvodnjo električne energije, trenutno premogovne elektrarne globalno zagotavljajo ca. 40 % elektrike. Svetovna poraba premoga je leta 2016 znašala okrog 8 milijard ton [6]. V letih 2005 – 2015 je poraba rastla v povprečju 2,1 % [7] letno.

EROEI premoga za proizvodnjo elektrike je odvisen od tehnologije in danes sega od 27:1 na Kitajskem [8] do 80:1 v ZDA [5].

**Nafti** že desetletja napovedujejo »skorajšen konec«, prerokovalci katastrof nam slikajo prihodnost v stilu filmov, kjer nastopa kot glavni junak Mad Max. Vendar dejstva kažejo prav nasprotno. V letih 1980 – 2015 je človeška poraba surove nafte zrastle za dobrih 56 % [9], a so dokazane rezerve zrastle za kar 152 % [10]! Pa pri tem nismo upoštevali zalog v naftnih skrilavcih, kar rezerve ob današnji tehnologiji vsaj podvoji. EROEI energije naftnih derivatov je močno odvisen od sestave surove nafte, obsega črpališč, tehnologije ipd., zato segajo njegove vrednosti od 18:1 v ZDA (2006) do 45:1 v Mehiki (2009) [3].

**Naravni plin** je tako rekoč idealni vir za energetske potrebe človeštva. Pri izogrevanju oddaja samo ogljikov dioksid in vodo. Z njim je mogoče v kombiniranem ciklu proizvajati električno energijo s preko 60-odstotno učinkovitostjo. Uporabiti ga je moč za pogon motorjev z notranjim izogrevanjem, celo letal (Tu-155). Je pa manipulacija z njim nekoliko dražja, kakor z nafto. Zaloge so zelo velike, še posebno če upoštevamo še tako-rekoč nedotaknjene zaloge hidrometana, in jih merimo v stoletjih trenutne porabe.

Naravni plin danes dosega EROEI od 20:1 (Kanada) [11] do 67:1 (ZDA) [3].



Slika 3: Plinsko-parne elektrarne (na sliki »drobovje« turbine) dosegajo na pragu 60% izkoristek. Vir: Siemens

**Jedrsko energija** globalno prispeva nekaj čez 10% električne energije, vendar je njen delež v elektroenergetskem portfelju različnih držav zelo različen. Za države, ki nimajo naravnih danosti za izkoriščanje drugih virov predstavlja skoraj edino tehnično-ekonomsko smiselno možnost za stabilno samooskrbo z električno energijo. Pravzaprav uporabljajo obstoječe jedrske elektrarne (JE) precej staro tehnologijo, ki se v svojem bistvu ni spremenila že skoraj 70 let. Glede na različne vire ima taka proizvodnja energije EROEI nekje 50 – 75:1 [12]. Ponekod srečamo tudi veliko nižjo vrednost faktorja, vendar je podlaga zanj špekulativne narave – glej »Komentar« na koncu

podpoglavja. Razvoj novih tehnologij na tem področju je problematičen zaradi ekstremno ostrih varnostnih standardov in iz političnih razlogov.

Dokaz, da je tehnično gledano možno na tem področju izvesti kvantni preskok predstavljajo t. i. »hitri« reaktorji, ki bi omogočali bistveno boljšo izrabo jedrskega goriva in obratovanje z bistveno manj vzdrževanja. Taka proizvodnja energije ima potencialno EROEI > 1200 : 1 in ni znanstvena fantastika. Izkušenj je kar nekaj, vendar so veliko večina takih reaktorjev ustavili, ker v preteklosti ekonomsko/tehnično niso dosegli zadovoljivih rezultatov. Trenutno dva taka energetska reaktorja s hlajenjem na tekoči natrij obratujeta v Rusiji (BN600 in BN800), v ZDA in drugje pa že razvijajo še učinkovitejše »hitre« reaktorje s hlajenjem na tekočo sol.

**Komentar:** Avtorji (praviloma nasprotniki jedrske energije) od teh vrednosti odštejejo energijo, potrebno za popravo posledic, če bi prišlo do jedrske katastrofe širših razsežnosti. Tak pristop je zelo sporen, saj ni mogoče narediti verodostojne ocene za to in postavlja jedrsko energijo v neenakopraven položaj. Po enaki logiki lahko zmanjšamo EROEI npr. sončnih in/ali vetrnih elektrarn, za primer izbruha vulkana in nastopa globalne zime. S to razliko, da bodo v tem primeru »obnemeli« vsi OVE, v primeru okvare nuklearke pa le ena.

### 3.2 EROEI sodobnih, obnovljivih virov energije (OVE)

Postavimo ob bok klasičnim virom sedaj OVE. Ker OVE v splošnem nimajo sposobnosti klasičnih elektrarn in je njihova proizvodnja po svoji naravi stohastična in odvisna zgolj od naravnih danosti (trenutna osončenost, trenutna hitrost vetra), nudi določitev njihovega EROEI obilo priložnosti za špekulacije. Dejansko je ta odvisen od mnogih faktorjev in se lahko bistveno razlikuje za isti tip OVE. Navedimo v nadaljevanju samo najvažnejše.

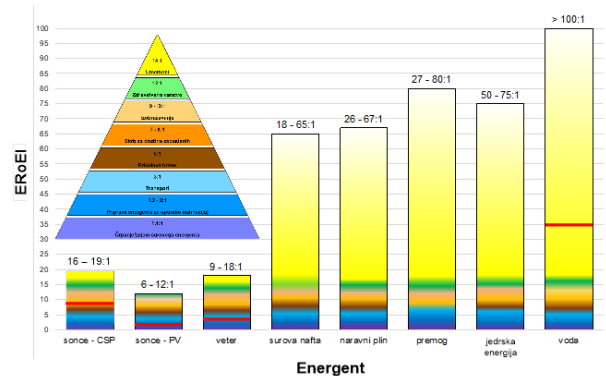
- Naravne danosti – seveda ni vseeno ali sončna elektrarna (SE) leži v Sahari ali Skandinaviji.
- Če je delež OVE v elektroenergetskem sistemu (EES) majhen, OVE v bistvu izkoriščajo njegovo inherentno rezervo in potrebni niso skoraj nobeni dodatni ukrepi v EES, EROEI takih OVE je lahko relativno visok.
- Če delež OVE preseže določen delež moči in/ali energije v EES se lahko razmere iz predhodne točke drastično spremenijo in OVE morajo dobiti funkcionalnost klasičnih elektrarn, da lahko EES funkcionira, kakor smo navajeni, t. j. da imajo porabniki na razpolago elektriko »po mili volji«.

Z drugimi besedami; potrebno je zagotoviti rezervo s klasičnimi viri, ojačati omrežje in/ali vgraditi shranjevalnike električne energije. Ti ukrepi lahko drastično poslabšajo EROEI OVE in stanejo več, kot sami OVE.

Poglejmo sedaj, kaj pravijo nekateri avtorji.

**Fotocelice** naj bi po trditvah njihovih proizvajalcev dosegale EROEI 6 – 12 : 1 [3], vendar to velja pod laboratorijskimi pogoji in brez upoštevanja energije, ki je potrebna za njihovo namestitev in priključitev v EES.

Pri promociji OVE velikokrat slišimo argumente njihovih zagovornikov, ki praviloma vsebujejo besedno zvezo »tehnični napredek«. Seveda je to res. Na primer, celice, ki so jih razvili francosko podjetje Soitec, in inštituta Fraunhofer ISE (Nemčija)



Slika 4: EROEI energentov, ki jih že uporabljamo, v primerjavi s piramido dejavnosti. Rdeča črta označuje pri virih, na proizvodnjo katerih nimamo oz. imamo omejen vpliv, EROEI upoštevajoč rezervo/akumulacijo.

ter CEA-Leti (Francija) naj bi dosegale učinkovitost 46% in najbrž lahko pričakujemo še nove znanstveno-tehnološke uspehe v tej smeri. Ampak vse to ne more dosti pomagati. Tudi, če bi dosegle 100% učinkovitost in bi jih postavili v področje z največjo osončenostjo na Zemlji, bi še vedno realno dosegale EROEI največ 8 – 8,5 in lahko zagotavljale poljedeljsko družbo, ki skrbi za neaktivne člane. Vendar pri tem še vedno ni upoštevan transport elektrike do porabnikov, ki pač živijo v manj osončenih predelih od Sahare in zaloge za ponoči. Upoštevajoč tudi potrebno skladiščenje energije avtorji v [31] navajajo številke okrog 1.6.

Ferruccio Ferronia in Robert J. Hopkirk sta vse omenjeno skušala upoštevati za področje Švice (ki je po osončenosti precej podobna Sloveniji) [14]. Ugotovila sta, da je povprečni EROEI za fotovoltaične celice na teritoriju Švice  $0,82 \pm 15\%$  : 1, torej, v svoji življenjski dobi ne proizvedejo niti toliko energije, kot jo je bilo potrebno za njihovo izdelavo, namestitev, priključitev v EES in prilagoditev EES! Kot sta avtorja zapisala v zaključku članka " ... dobave električne energije na osnovi današnjih fotovoltaičnih celic ne moremo pojmovati kot energetska vir, ampak kot ponor in **čisto energetska izguba.**"

**Vetrne elektrarne (VE)** predstavljajo največji delež vseh t.i. sodobnih OVE, globalno proizvedejo ca. 3% svetovne elektrike, v EU27 pa celo okrog 10%. Seveda vse skupaj s pomočjo zakonodaje, ki zahteva odkup njihove proizvodnje, tudi če elektrike nihče ne rabi in hidroelektrarne vodo prelivajo, na borzi pa pride do negativne cene elektrike (!!!).

V testih dosegajo vetrne elektrarne povprečni EROEI 19,8 : 1, vendar gre to visoko povprečje predvsem na račun meritev ob stalni hitrosti vetra, za katero so vetrnice načrtovane [15]. To sliko močno pokvari z zahtevo po funkcionalnosti klasičnih elektrarn. Friedrich Wagner<sup>[1]</sup> je na osnovi proizvodnje nemških OVE v letih 2010 – 2013 in 2015 izračunal, da je bilo mogoče proizvodnjo OVE (največja obremenitev = 100%) uskladiti z delovanjem EES, če dodamo 89% energije iz klasičnih elektrarn [16]. Druga pot bi bila, da bi za hranjenje odvečne energije, ki jo proizvedejo vetrne elektrarne kot najpogostejši OVE, zgradili ustrezne hranilne zmogljivosti, npr. v črpalnih elektrarnah. A to bi EROEI energije, ki jo lahko generiramo z vetrnimi elektrarnami, več kot prepolovilo. V [31] navajajo EROEI VE

okrog 16, če pa obračunamo tudi potrebne ukrepe za rezervo in/ali skladiščenje, pade ta na 3,9, kar je zelo nizko.

**Koncentrirana sončna moč** (CSP - Concentrated Solar Power) predstavlja elektrarno, ki z množico ogledal koncentriira sončno sevanje v majhno področje (tipično na stolpu ali v gorišču paraboloide), kjer segreva utekočinjeno sol ali uparja vodo. Toploto iz utekočinjene soli z izmenjevalci prenaša v vodno paro, ki poganja običajne parne turbine z generatorji. Prednost take elektrarne v primerjavi z ostalimi OVE je, da lahko višek pregrete soli shranjuje v posebej izoliranih shranjevalnikih, in jo dovaja v izmenjevalec takrat, ko sončne energije ni več dovolj ali ko naraste poraba – elektrarna CSP lahko torej v določeni meri sledi porabi elektrike v omrežju in celo proizvaja elektriko po sončnem zahodu. Slaba stran pa je, da je od izmenjevalca dalje proizvodni del tehnično enak kot v termoelektarnah in realno lahko doseže učinkovitost do 50% [17]. Elektrarne CSP so sicer lahko bolj učinkovite kot fotovoltaične celice v zelo vročih krajih, saj zmogljivosti slednjih s temperaturo (nad 21 °C) upadajo. Njihov EROEI je ne upoštevajoč problema prenosa in skladiščenja energije nekje 16 – 19 : 1 [31], če upoštevamo skladiščenje pa pade nekje na 9.

**Geotermalna energija** je sicer na videz neizčrpen vir energije, vendar je smiselnost njenega izkoriščanja močno odvisna od naravnih danosti. Z drugimi besedami, posploševanje razmer, kot so na Islandiji, ki leži na srednjeatlantskem grebenu, in že v globini 50 – 300 m pod površino naletimo na pregreto paro, ni relevantno. Drugod po svetu velja kot velik uspeh, če iz globine 1500 metrov dobimo vodo temperature 55°C. Tako pridobljeno geotermalno energijo na nizkem temperaturnem nivoju pa je mogoče izkoriščati le za ogrevanje bivalnih prostorov, pa še to večinoma le ob uporabi toplotnih črpalk, ki seveda zahtevajo električno energijo. Končni učinek (če zanemarimo stroške oz. energijo za izdelavo vrtine) je odvisen od kakovosti izmenjevalcev, a tipično ne presega EROEI 2:1, zato omembe vrednega deleža energije, ki jo potrebuje naša civilizacija, ne more prispevati.

Kot »**eksoetika**« lahko iz energetskega stališča označujemo različne ideje, kot so izkoriščanje morskih valov, izkoriščanje morskih tokov, bioplinarne na kmetijske pridelke, bioetanol, biodiesel, kurjenje odpadkov, izkoriščanje temperaturne razlike v oceanih, pa še marsikaka »šank – ideja« bi se našla. Skupno tem idejam je, da je dejanski EROEI zelo majhen, v nekaterih primerih je celo pod 1 (in torej ne proizvajajo, temveč porabljajo energijo) že na nivoju gole pridelave.

Ena takih genialnih idej je ideja biogoriv (bioetanol iz koruze in sladkornega trsa in "bio" dizelsko gorivo iz oljne palme, oljne ogrščice in soje). Zaradi ekološke in občečloveško moralne spornosti takega početja vpletimo nekoliko tudi socialni vidik. Subvencionirana pridelava biogoriv vspostavlja konkurenco med pridelavo teh poljščin za hrano in za pogon motornih vozil in s tem draži hrano [18]. Indur M. Goklany ocenjuje, da je spodbujanje proizvodnje biogoriv samo v letu 2010 povzročilo dodatnih 192.000 smrti zaradi lahkote [19]. Da o degradaciji okolja zaradi tega in hipokriziji raznih kvaziokoljevarstvenikov, ki tečnarijo za vsako drevo (ki sploh ni njihovo) in uvajajo »pasuške« za prevoz drv, zagovarjajo pa, da v tropih dobesedno »zradirajo« tisoče hektarov pragozda in postavijo plantaže oljnih palm. Pa nikomur nič!

### 3.3 Kaj pa EROEI energetskih virov bodočnost?

Ko govorim o prihodnosti si ne morem si kaj, da ne bi ob tem citiral svojega kolega Miša, ki pravi naslednje-citiram.

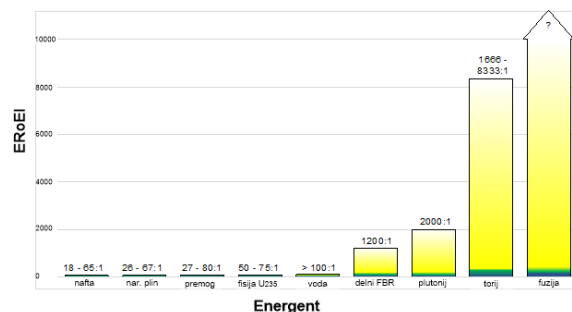
»Še enkrat se spomnimo nauka iz stave Simon-Ehrlich: človeška civilizacija je bila ob upoštevanju takrat znanih virov vedno pred propadom in vedno znova so jo "rešile" nove tehnologije [20]. Energentov, ki danes zagotavljajo preko 90 % energije za potrebe človeštva, nam vsaj še naslednjih 50 let ne bo zmanjkalo. In če v naslednjih 50 letih ne odkrijemo nič novega na področju energetike, kar bi zagotavljalo našo bodočo oskrbo, potem si pa res zaslužimo, da propademo.«

Če upoštevamo poleg stave Simon-Erlich še znamenit izrek Nielsa Bohra, da »je napovedovanje težavna reč, še posebno, če gre za prihodnost«, potem je bolj ali manj na dlani, da na osnovi današnjega znanja ne moremo znanstveno utemeljeno napovedati, koliko energije bodo naši znanjci potrebovali čez 50 let, niti, kako jo bodo znali pridobivati. A nekatere tehnologije, ki obetajo še bistveno bolj obilno preskrbo človeštva z energijo, imamo že danes, nekatere pa uspešno razvijamo.

Po drugi strani, kakor je bilo že omenjeno, verjamem, da se bo piramida človeških dejavnosti (slika 2) ob predpostavki napredka civilizacije (če to pojmuje kot višanje človeškega blagostanja za večino ljudi in sploh ni nujno dejstvo, a recimo, da upanje umre zadnje) višala in družba bo potrebovala vire z vedno višjim EROEI.

Špekulirajmo in pogledjmo nekatere tehnologije, ki sicer še niso dovolj razvite, vendar lahko na podlagi obstoječega stanja njihovega razvoja oz. znanja vsaj »kredibilno špekuliramo«.

**Hitri reaktorji** so dobili ime po dejstvu, da je povprečna hitrost nevtronov v sredici v primerjavi z obstoječimi klasičnimi (termičnimi reaktorji) bistveno višja. Vzdrževanje kontrolirane verižne reakcije je v takih razmerah bistveno bolj zapleteno, vendar ne nemogoče. Take reaktorje je možno izdelati že z obstoječo tehnologijo, vendar ekonomsko še niso opravičljivi. Njihova glavna prednost je za red ali dva velikosti boljša izraba goriva, kot v obstoječih reaktorjih, ustrezno temu manjša količina hkrati bistveno manj problematičnih odpadkov in potencialna možnost obratovanja več desetletij skoraj brez vzdrževanja. Predvidevajo, da bi imel tak način izkoriščanja urana EROEI > 2000.



Slika 5: EROEI energentov, ki jih že uporabljamo, v primerjavi z možnimi bodočimi.

**Torijevi reaktorji** so z današnjo tehnologijo po vsej verjetnosti že izvedljivi. Torija je na Zemlji 3,3-krat toliko kot urana; ob absorpciji nevtrona se pretvori v uranov izotop U233, ki ima kot gorivo podobne lastnosti kot U235, ki je »gorivo«

obstoječih, termičnih reaktorjev. Za energetske potrebe je (kolikor danes vemo) najbolj učinkovita tehnologija s tekočim torijevim fluoridom (LFTR - Liquid Fluoride Thorium Reactor), ki ni nova: prvi tak reaktor so razvili že v 1950tih letih v laboratoriju Oak Ridge v ZDA, kot možni vir energije za prvo ameriško jedrsko podmornico Nautilus [21] (a kasneje ni bila izbrana ta rešitev). Prednosti torijevih LFTR reaktorjev pred obstoječimi uranovimi bi bile med drugim:

- približno 200 krat manj nevarnih odpadkov, ki pa jih je treba hraniti le okrog 300 let, saj ni plutonija in ostalih transuranovih odpadkov,
- skoraj nemogoče je izrabljeno gorivo uporabiti za izdelavo jedrske bombe,
- velik negativni temperaturni koeficient in inherentna varnost zaradi potrebe po permanentnem odstranjevanju Xe; če tega ne počnemo se reaktor sam od sebe zaustavi,
- reaktorska posoda ni pod visokim tlakom, kar bistveno zmanjša varnostne probleme,
- v primarnem krogu ni vode in torej ni nevarnosti tvorbe vodika (problem v Fukošimi), ravno tako ni grafita, ki bi se lahko vžgal (Černobil),
- če bi razvili tehnologijo bi bili LFTR verjetno relativno poceni,
- pogostost torija v večini držav.

Danes razvijajo LFTR na Japonskem [22], na Kitajskem [23], v Avstraliji [24] ter v ZDA [25, 26] (in najbrž še kje). V odvisnosti od uporabljene tehnologije bi lahko imel LFTR EROEI od 1666 do 8333:1 [27].

Da je **fuzija** vir prihodnosti se govori, odkar pomnim. Vendar hkrati že kakih 30 let poslušam, da bo za širšo uporabo nared čez 30 let. Očitno ne gre tako enostavno, kakor so predvidevali na začetku. Kot glaven problem se je, poleg ekstremnih pogojev, ki jih zlivanje jeder zahteva, in kontroliranja reakcije, izkazalo doseganje pozitivne energetske bilance fuzijskega reaktorja.

V preteklosti je bilo kar nekaj uspešnih kontroliranih zlivanj jeder z uporabo različnih principov, vendar le za zelo kratek čas in, kot rečeno, z negativno energetsko bilanco. 21. stoletje in bistveno povečanje natančnosti pri simulaciji obnašanja plazme so prinesli novo upanje: stelaratorja Wendelstein 7-X [28] na inštitutu Max Planck v Nemčiji in HSX (Helicallly Symmetric Experiment) [29] na univerzi Wisconsin–Madison v ZDA obetata zadrževanje plazme, primerne za zlivanje jeder, za celih 30 minut! Seveda to še ni zagotovilo, da bomo že kmalu dobivali energijo iz fuzije, a res presenetljiv napredek v zadnjih letih vsaj daje upanje, da je to mogoče. O tem, kakšen bi bil EROEI take tehnologije zaenkrat ne moremo niti špekulirati.

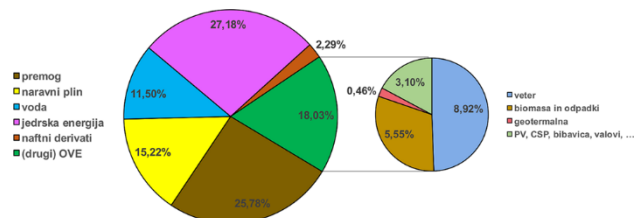
## 6. Ekonomska ocena eksperimenta »Energiewende« in kaj to pomeni za Slovenijo

Za projekt Energiewende (energetski preobrat) je do sedaj Evropa porabila približno 1000 milijard €. Samo za občutek. Če bi petmetrske avtomobile, ki stanejo vsak 50.000 € (recimo Mercedes E razreda) postavili eden drugega dotikajoč se v vrsto. Bi za ta denar kupili kolono, ki bi jo lahko ovili 2,5 krat okoli zemeljskega ekvatorja.

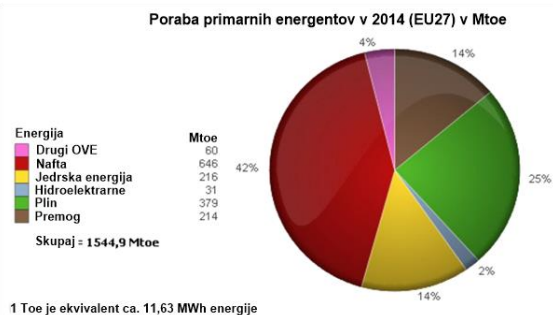


Slika 6: Cena evropskega energetskega eksperimenta.

In kaj smo s tem naredili v smislu tega, kar je bil formalni razlog za tako politiko? Ne dosti! Na kratko povedano, 18% električne energije proizvajamo v EU z OVE. Sledi velik AMPAK: ob pomoči zakonodaje, ki zahteva odkup njihove proizvodnje, tudi če elektrike nihče ne rabi in hidroelektrarne vodo prelivajo, na borzi pa pride do negativne cene elektrike. Zato je treba te procente gledati še bolj sumničavo, ker je v njih tudi energija, ki so jo zaradi regulative morale ostale elektrarne dobesedno »vreči stran.« V skupni rabi energije EU to znese 3%, če prištejemo pa še razne biodiesle in bio-metanole za goriva, dobimo 4%. Na svetovnem nivoju so te številke še ca. 3 krat manjše. Torej ca. 7% elektrike in 1% vse energije. »Zlobneži« so izračunali (z enakimi metodami, kot znamenito omejitev izpustov CO<sub>2</sub>, da se ne preseže ogrevanje planeta za 2o – seveda neumno, vendar lepo za primerjavo), da bi Nemčija z vsemi svojimi silnimi preteklimi in predvidenimi vlaganji v razogljčenje ta »prelomni trenutek« samo zamaknila za 6 mesecev (Slovenija pa dva dni). Človek se res vpraša, kako je mogoče, da take neumnosti relativno dobro izobraženi državljani EU požrejo in plačajo iz svojih žepov.



Slika 7: Osnovni energenti za proizvodnjo električne energije v EU-27 v letu 2014 (Vir: The Shift Project Data Portal)



1 Toe je ekvivalent ca. 11,63 MWh energije

Slika 8: Poraba primarnih energentov v EU-27 v letu 2014 (Vir: The Shift Project Data Portal)

Pa pogledjmo, kako bi bil/bo (vseeno upam, da ne bo) učinek »razogljčenja« Slovenije. V politično zastavljenih strategijah energetske oskrbe Slovenije bomo občasno naleteli na izraz »energetska učinkovitost«, ki pomeni, koliko energije družba porabi, da ustvari enoto bruto domačega proizvoda. Dejansko je



bolj uporabna obratna vrednost, ki pove, koliko BDP ustvarimo na 1 MWh porabljene energije. Ker naši politiki Slovenijo tako radi primerjajo z najuspešnejšimi članicami EU, naredimo tako primerjavo tudi tu. S podatki na spletu (recimo World Bank) pridemo do številke v Tabela 1 za eno leto.

Država	Poraba končne energije na preb. [MWh]	BDP na preb. [k€]	Koliko BDP ustvarimo na enoto energije [€/MWh]
Luxemburg	89,4	86,9	972
Nemčija	44,4	36,0	810
Slovenija	40,4	18,4	456

Tabela 1. Odnos med BDP in porabo energije

Nadalje moramo ugotoviti, koliko nas kot družbo stane ta energija iz katere potem skozi družbene aktivnosti v Sloveniji nastane teh 456 € BDP. Da to ugotovimo, moramo poznati katere vire uporabimo in koliko stanejo. Na spletni strani Ministrstva za infrastrukturo se nahajajo Energetske bilance Republike Slovenije, navedene energetske vire pa ovrednotimo s stroškom, ki ga ima družba s pridobitvijo te energije (lastna cena elektrike + elektroenergetsko omrežje, cena naftnih derivatov brez davka in trošarin itd.). Stroškovnemu ovrednotenju (ki ga tu ne podajam) je lahko marsikdo oporeka, glede na prepričanje in interese bodisi v eno, bodisi v drugo smer. Vendar bi hkrati kdorkoli tudi težko rekel, da niso "nekje tu" v območju realnega. Za prikaz logike dogajanja in trendov so torej povsem ustrezne. Pri teh in pri nadaljnjih izračunih gre le za oceno in kot rezultat nas zanima velikostni red in ne natančnost na odstotek. Po kalkulaciji ugotovimo, da Slovenijo stane energija, ki zagotavlja da naša družba funkcionira na taki stopnji razvoja in proizvede obstoječ BDP ca. 12,4% tega BDP. Špekulirajmo, koliko bi nas stalo, če bi želeli zamenjati najprej pol porabe elektrike z elektriko iz OVE (sončne-, vetrne-, bioplinarne - scenarij 1), nato celotno trenutno porabo (s tem, da bi bile obstoječe HE porabljene za povečanje porabe v tem času –scenarij 2), nato pa dodatno še pol naftnih derivatov (scenarij 3). Pri tem izračunu se takoj pojavi problem cene "zelene elektrike" in to je lahko predmet neskončnih debat. V nadaljevanju pač podajam neke vrednosti, ki so do OVE zelo prizanesljive. Neposredni ceni OVE je namreč treba prišteti tudi stroške za rezervo in stroške za posebne ukrepe pri reguliranju nemirne proizvodnje (večja poraba goriv klasični elektrarn in zmanjšana življenjska doba le-teh zaradi "opletanja" delovne točke ali strošek hranilnikov energije – glej predhodna razmišljanja) in posebne ukrepe v omrežju (dodatni vodi, koncept pametnih omrežij ...). Temu lahko, če želimo, prištejmo še vse druge subvencije (npr. subvencije za njivo koruze, ki jo obdelujejo s traktorjem za katerega so dobili 1/2 nakupne cene subvencionirane, iz te koruze v bioplinarni, ki je za izgradnjo dobila subvencije, proizvedemo nekaj elektrike, ki je subvencionirana. Če smo nerealno »na strani OVE« pridemo do 230€/MWh. Zlasti pri zamenjavi nafte z OVE bi bila ta številka verjetno še bistveno višja.

Rezultati za ostale scenarije in za dve izbrani državi so zbrani v Tabela 2. Seveda primerjava med državami ni ustrezna, ker imajo prvič drugačen "energijski mix" in proizvodnja OVE pri nekaterih pripomore k dvigu BDP, ker jih tam delajo (saj pri nas

OVE tudi nekaj zaposlujejo, a to je pljunek v morje). Kot rečeno, gre za občutek. Če povzamem tabelo 2, bi nas zamenjava pol elektrike (npr., ne bi izgradili TEŠ6, temveč morje vetrnic in SE) stala vsako leto denarja za okrog 4% BDP (za dober TEŠ6-vsako leto). Pri scenariju 2, bi bil ta strošek skoraj 8% (nevzdržno za vsako državo), naprej pa skoraj nima smisla razmišljati. In to so, kot rečeno - zaradi upoštevanja nizkega stroška OVE, zelo optimistične številke.

Država	% BDP za energijo	% BDP za energijo Scenarij 1	% BDP za energijo Scenarij 2	% BDP za energijo Scenarij 2
Luxemburg	5,8	7,6	9,3	13,8
Nemčija	7,0	9,1	11,2	16,6
Slovenija	12,4	16,2	19,9	29,5

Tabela 2. Odnos med BDP in porabo energije – različni scenariji »razogljičenja«

Iz Tabele 2 hkrati izhaja tudi, da pri razvitih državah številke niso tako drastične in si to nekatere iz političnih in strateških razlogov preprosto lahko privoščijo in celo kujeje dobičke. Če imajo ustrezno industrijo in/ali banke v bistvu njihovo finančno breme lahko prevalijo na »šibkejš« države, ki so se pri njih primorane zadolževati in kupovati tehnologijo.

Kakor ugotavljajo avtorji v [30] energetske preobrat v bistvu ne predstavlja alternative »zelena energija« DA ali NE, pač pa ALI »zelena energija« ALI ekonomski razvoj. Problem nastane, če neka družba izbere »sonaravno« alternativo, pri čemer ostale države temu ne sledijo in to deželo ekonomsko povsem prehitijo. Tisti, ki to lahko, deželo zapustijo (beri: mladi, izobraženi), ostali pa životarijo? Ko zmanjka denarja je tudi vseh zgodb o ekologiji v hipu konec.

## 7. Za na konec

V bistvu ni veliko za povzemanje. Dokler izkoriščamo vire, ki imajo visok EROEI si lahko privoščimo eksperimente v manjšem obsegu z viri, katerih EROEI je nižji, kot ga zahteva naša civilizacija. Pri resnem prehodu na slednje, pa bi bilo »heca« hitro konec.

Stavim, da se fanatični zagovorniki navidezno »čistih« in bojda »okolju prijaznih« energetskih virov z nizkim EROEI, še posebno pa njihovi tihi sledilci, ne zavedajo, kakšno družbeno spremembo bi predstavljalo udejanjenje njihovih zahtev po hitri popolni zamenjavi fosilnih goriv z »alternativnimi« viri. Spremembe, ki jih zahtevajo, torej takojšnje »razogljičenje« in »raznuklearjenje« globalne energetske oskrbe, bi imele za civilizacijo, kot jo poznamo, uničujoče posledice. V knjigi Propad civilizacij avtor ugotavlja, da tak scenarij sploh ni neverjeten. Analiza propada številnih kultur je pokazala, da njihovemu propadu skoraj nikoli ni botroval zgolj zunanji vzrok, in da bi se mu z racionalnim obnašanjem brez težav izognili, pa so izbrali neracionalno in v končni fazi pogubno strategijo obnašanja na religioznih temeljih (če kot religiozno označimo prepričanje, ki ga ni moč spremeniti z racionalnimi argumenti). Mnogi avtorji na podlagi obstoječih meril dokazujejo, da gre pri ideji gibanj za razogljičenja oskrbe z energijo za vsako ceno in uvedbo virov z nizkim EROEI, po vseh socioloških kazalnikih,

za religijo. Vprašati se moramo ali bomo verjeli znanstveno neutemeljenim prerokbam katastrofe in bojda nujnim ukrepom, ki izničujejo pridobitev razsvetljenstva in svobodo človeka ali razmišljali z lastno glavo in ravnali racionalno v smislu ohranitve civilizacije. Zanašati se na to, da bo namesto nas to storil kdo drug, in da Rim tudi ni propadel v enem dnevu, zagotovo ni prava pot. Rim sicer res ni propadel v enem dnevu, je pa na koncu propadel.

### Literatura

1. <http://joannenova.com.au/2017/05/one-coal-worker-or-79-solar-ones-same-electricity/>
2. MIHALIČ, Rafael, ALKALAJ, Mišo. Energija za človeštvo : kaj si želimo in potrebujemo. Življenje in tehnika : revija za poljudno tehniko, znanost in amaterstvo, ISSN 0514-017X, apr. 2017, letn. 68, št. 4, str. 20-29, ilustr
3. EROI of different fuels and the implications for society Charles A. S. Hall n, Jessica G. Lambert, Stephen B. Balogh, Energy Policy 64 (2014) 141–152
4. Cleveland,C.J., Costanza,R., Hall,C.A.S. and Kaufmann,R.(1984): Energy and the U.S. economy: A biophysical perspective. Science, 225, 890-897.
5. EROEI of electricity generation. Jamie Bull, oCoCarbon, MAY 19, 2010
6. World Energy Council – Energy Resources - Coal
7. BP Statistical Review of World Energy June 2016
8. Energy Return on Investment (EROI) of China's conventional fossil fuels: Historical and future trends. Yan Hu, Charles A.S. Hall, Jianliang Wang, Lianyong Feng, Alexandre Poisson. Energy (2013) 1-13
9. Index Mundi - World Crude Oil Consumption by Year
10. Index Mundi - World Crude Oil Reserves by Year
11. J. Freise: The EROI of conventional Canadian natural gas production. Sustainability, 3 (11) (2011), pp. 2080–2104
12. OMICS International - Energy returned on energy invested
13. New world record for solar cell efficiency at 46%. French-German cooperation confirms competitive advantage of European photovoltaic industry. Press Release 26/14, December 1, 2014; Bernin, France and Freiburg, Germany
14. Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation. Ferruccio Ferronia, Robert J. Hopkirk. Energy Policy, Volume 94, July 2016, Pages 336–344. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.034>
15. Meta-analysis of net energy return for wind power systems. Ida Kubiszewski, Cutler J. Cleveland, Peter K. Endres. Renewable Energy 35 (2010) 218–225
16. Surplus from and storage of electricity generated by intermittent sources.Friedrich Wagner, Eur. Phys. J. Plus (2016) 131: 445 DOI 10.1140/epjp/i2016-16445-3
17. Electropedia - Battery and Energy Technologies - Steam Turbine Electricity Generation Plants
18. World Bank Chief: Biofuels Boosting Food Prices; NPR, April 11, 2008
19. Could Biofuel Policies Increase Death and Disease in Developing Countries? Indur M. Goklany, Ph.D.; Journal of American Physicians and Surgeons, Volume 16, Number 1, Spring 2011
20. Tim Worstall: But Why Did Julian Simon Win The Paul Ehrlich Bet?; Forbes, 1/13/2013
21. U.S. Geological Survey Marine and Coastal Geology Program; Gas (Methane) Hydrates -- A New Frontier
22. UXC SMR Design Profile Fuji Molten Salt Reactor
23. China Details Next-Gen Nuclear Reactor Program. Richard Martin, MIT Technology Review, October 16, 2015
24. Thorium Energy Generation Pty Limited (ACN 125319726 ) Consolidated Submission to the Nuclear Fuel Cycle Royal Commission
25. Flibe Energy
26. ThorCon Power
27. Thorium EROEI. Charles Barton, The Oil Drum, April 11, 2008
28. Wendelstein 7-X
29. The Helically Symmetric eXperiment – HSX
30. <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/67422/>
31. D. Weißbach, G. Ruprecht, A. Huke, K. Czerski, S. Gottlieb, A. Hussein; Energy intensities, EROIs (energy returned on invested), and energy payback times of electricity generating power plants, Energy 52 (2013) 210-22

Diana Gregor Svetec, Klemen Možina

# Papir izdelan iz japonskega dresnika

## POVZETEK

Poleg lesnih vlaken se za izdelavo papirja lahko uporabljajo tudi vlakna enoletnih in večletnih rastlin. V prispevku je kot alternativna surovina za izdelavo papirja predstavljen japonski dresnik. Japonski dresnik je ena izmed najbolj invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst v Evropi in Sloveniji. Projekt Mestne občine Ljubljana APPLAUSE »Od škodljivih do uporabnih tujerodnih rastlin z aktivnim vključevanjem prebivalcev« naslavlja nerešena vprašanja glede ravnanja z invazivnimi tujerodnimi rastlinami v smislu pristopa brez odpadkov in krožnega gospodarstva. Ena izmed tovrstnih rešitev je, pridobivanje papirnih vlaken iz olesenelega stebela rastline. V okviru projekta je tako bil na pilotnem papirnem stroju na Inštitutu za celulozo in papir (ICP) izdelan papir, ki vsebuje 55 % vlaken japonskega dresnika, ostalo so lesna vlakna. Papirju so bile določene osnovne, površinske in mehanske lastnosti papirja, z namenom ugotoviti uporabnost tovrstnega papirja. Preliminarna raziskava je pokazala, da bi se japonski dresnik lahko uporabljal v papirni industriji za izdelavo posebnih, majn zahtevnih vrst papirjev.

**Ključne besede:** papir; japonski dresnik; projekt.

## Uvod

Veliko število rastlin predstavlja potencialne vire vlaken za izdelavo papirja: slame, trave, trstje, različna stebelna, listna in semenska vlakna iz enoletnih in večletnih rastlin. Izmed enoletnih rastlin se največ uporabljajo slame žitaric in vlaknati ostanki sladkornega trsa, sledita trstje in bambus, medtem ko so številne hitro rastoče trajnice, kot so tropske in prerijske trave ter listna vlakna tropskih rastlin, predmet številnih raziskav (1). V prispevku je kot alternativna surovina za izdelavo papirja predstavljen japonski dresnik. Japonski dresnik (*Fallopia japonica*) prikazan na sliki 1, je od dva do tri metre visok grm, trajnica z razraslimi podzemnimi koreninkami, ki lahko segajo več metrov globoko in široko. Steblo, ki spominja na steblo bambusa je votlo in kolenčasto členjeno, listi so na dnu široko ovalni in veliki od 5–15 cm (2, 3). Raste na obrežjih rek, ruderalnih rastiščih, vzdolž železniških nasipov, na gozdnih



Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta,  
OTGO, Snežniška 5, Ljubljana  
E-Mails: diana.gregor@ntf.uni-lj.si;  
klemen.mozina@ntf.uni-lj.si

Slika 1: Japonski dresnik



robovih, gozdnih jasih, robovih cest in železnic. Navadno tvori zelo goste sestoje, v katerih drugih rastlin skorajda ni. Japonski dresnik je ena izmed najbolj invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst v Evropi in Sloveniji, zato za japonski dresnik velja prepoved sajenja v okrasne in druge namene.

Projekt APPLAUSE (Alient PLLAnt SpECies □ od škodljivih do uporabnih tujerodnih rastlin z aktivnim vključevanjem prebivalcev), ki se je pričel 1. 11. 2017 in traja do 31. 10. 2020, je vreden 5.202.590 EUR, od katerih je delež sofinanciranja v višini 4.162.072 EUR s strani pobude Urban Innovative Actions (UIA), Evropskega sklada za regionalni razvoj in je usmerjen v nerešena vprašanja glede ravnanja z invazivnimi tujerodnimi rastlinami, ki se pojavljajo v urbanih okoljih in stremi k ničelni stopnji ustvarjenih odpadkov, kar je poglobljena naloga t.i. krožnega gospodarstva (4). Tujerodne rastline, kot so japonski dresnik, zlata rozga, pajasen in številne druge drevesne vrste in grmovnice ter pleveli, se pri nas trenutno kompostirajo ali sežigajo. Tekom pilotnega projekta predelave, npr. celuloznih vlaken japonskega dresnika v papir, proizvedenem na polindustrijskem nivoju papirnega stroja na ICP, se je izkazalo, da je celulozna vlakna mogoče uporabiti tudi

v druge koristne namene. Cilj pa niso izključno izdelki narejeni iz izpeljank papirja, temveč tudi razni pohištveni kosi, črke, promocijska darila, uporabnost v prehrabene in farmacevtske namene, barvila (papir in tekstil), pripravki za zatiranje škodljivcev poljščin, idr.

Sistem ravnanja z invazivnimi tujerodnimi rastlinami temelji na izobraževanju in sodelovanju s prebivalci Mestne občine Ljubljana, ki je vodilni partner konzorcija, sestavljenega iz 10 sodelujočih partnerjev (Univerza v Ljubljani □ Naravoslovnotehniška fakulteta, Biotehniška fakulteta in Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo; Kemijski inštitut; Inštitut Jožef Stefan; Inštitut za celulozo in papir; Snaga javno podjetje; Tisa; GD GISDATA; društvo Trajna; Zavod Tipa Renesansa in Center odličnosti Vesolje, znanost in tehnologije). Celotni projekt je osnovan na treh principih delovanja: Naredi sam, Predelaj z nami in Oddaj v zbirnem centru.

Prebivalcem Mestne občine Ljubljana se želi olajšati samostojno prepoznavanje invazivnih tujerodnih rastlin ter kako jih ustrezno odstraniti in doma na preprost način predelati v koristne izdelke. V kolikor tega ne želijo izvesti sami, jim je ponujena možnost obiska v centru ponovne uporabe na sedežu podjetja Snaga, kjer pridobijo vse potrebne informacije o rokovanju z invazivnimi rastlinami, bodisi osebno ali v sklopu organiziranih delavnic (5).

Projekt naslavlja širok krog deležnikov, vse od vrtecev, osnovnih in srednjih šol, fakultet, gospodinjstev, lastnikov zemljišč na katerih se tujerodne rastline nahajajo, podjetji, turistov, idr. Razširjenost invazivnih in tujerodnih rastlin se bo beležila s pomočjo nove generacije evropskih satelitov za opazovanje zemlje Sentinel-2, kjer bodo informacijsko-komunikacijsko tehnologije imele svojo vlogo, predvsem pri lažjem, hitrejšem in predvsem zaneslivejšem prepoznavanju rastlin ter posrednem in neposrednem komuniciranju z javnostjo (5).

Projekt je zastavljen tudi inovativno. Razvil se bo bolj zeleni način predpriprave vlaken za izdelavo papirja s pomočjo encimov. Tudi odpadek po predpripravi vlaken se bo predelal v vhodne surovine za industrijo, npr. vanilin, ki je vmesni produkt v proizvodnji farmacevtskih izdelkov, kozmetike in drugih finih kemikalij (5). Poiskala se bo rešitev za lesne ostanke, ki sedaj predstavljajo energent, lahko pa se jih predela tudi v druge koristne izdelke, npr. krožnike in pribor. Preverila se bo ustreznost izbranih invazivnih rastlinskih vrst za prehrano iz listov, korenin in cvetov se bodo pripravila barvila s katerimi se bo barvalo tekstilije. Iz ekstraktov se bo pripravila tiskarska barva za potisk papirja in izdelali inovativni grafični izdelki (5).

Poslovni model bo prenosljiv tudi v mednarodno okolje, pri čemer bo omogočal nova zelena delovna mesta, nova znanja in vključevanje težje zaposljivih ljudi. Z vpeljavo rokodelskih delavnic v centru ponovne rabe se bo ohranjala tradicionalna obrt, kulturna dediščina in znanje.

Invazivne rastlinske vrste so lahko bolj ali manj bogat vir celuloznih vlaken. V projektu se bo raziskala možnost njihove koristne uporabe za proizvodnjo papirja in papirnih izdelkov. Izmed nabora sedmih različnih vrst, se bo na osnovi kemijske, morfološke in mehanske analize olesenele biomase izbralo tri najprimernejše za uporabo v papirništvu. Izbrane vrste biomase se bo delignificiralo, nato pa iz pridobljenih vlaken na pilotnem

stroju izdelalo papir. Papir bo namenjen izdelavi informativnega in izobraževalnega materiala v okviru projekta ter razvoju novih tržno zanimivih izdelkov iz papirja (6).

## EKSPERIMENTALNI DEL

Papir je bil izdelan iz mešanice lesnih vlaken in japonskega dresnika, v razmerju 45 % sulfatne celuloze, sestavljene iz 60/40 listavcev/iglavcev, in 55 % japonskega dresnika. Vlakena so bila pridobljena iz stebela rastline (slika 2a) po sulfatnem postopku (slika 2b). Papir z gramaturo 90 g/m<sup>2</sup>, je bil izdelan na pilotnem papirnem stroju na Inštitutu za celulozo in papir (ICP), prikazanem na sliki 3.

a)



b)



Slika 2: Stebla japonskega dresnika a) in priprava vlaken b)

Papirju so bile določene osnovne lastnosti: gramatura (ISO 536), debelina in gostota (ISO 534), vsebnost vlage (ISO 287). Površina papirja je bila posneta z optičnim mikroskopom Leica S9i. Površinska hrapavost in poroznost sta bili določeni z zračno pretočno metodo po Bendtsnu (ISO 8791-2, ISO 5636-2). Površinska vpojnost vode je bila ocenjena s Cobb vrednostjo (ISO 535). Med optičnimi lastnostmi je bila na zgornji in spodnji strani papirja določena ISO belina (ISO 2470), stopnja rumenosti (DIN 6167), neprosojnost in transparenca (ISO 2471) ter CIELAB barvne koordinate L\*, a\*, b\*. Med mehanskimi

lastnostmi so bile določene natezne lastnosti (ISO 1924-2), razpočna trdnost (ISO 2758), trgalna trdnost (ISO 1974) in pregibna odpornost (ISO 5626).

a)



b)



Slika 3: Pilotni papirni stroj (ICP) a) in papir iz japonskega dresnika b)

## REZULTATI IN RAZPRAVA

V preglednici 1 so predstavljene osnovne lastnosti papirja. Papir je voluminozen. Nizka gostota papirja je povezana z nizko vsebnostjo polnil (pod 3 %) in širokim razponom dolžine vlaken, in s tem povezano slabšo orientiranostjo in povezanostjo v sloju papirja. Relativno visoko standardno odstopanje debeline in gostote kažeta na to, da je papir manj homogen, z višjim nihanjem debeline in gostote, kot je to pri papirjih izdelanih iz lesnih vlaken.

Preglednica 1: Osnovne lastnosti papirja: srednja vrednost s standardnim odstopanjem

	Gramatura [g/m <sup>2</sup> ]	Debelina [μm]	Gostota [kg/m <sup>3</sup> ]	Vsebnost vlage [%]
Papir	90,9 ± 2,37	157 ± 19,15	586 ± 76,91	4,73 ± 0,22

a)



b)



Slika 4: Papir iz japonskega dresnika a) in izgled površine posnet z OM b)

Preglednica 2: Površinske in optične lastnosti papirja, določene na zgornji in spodnji strani

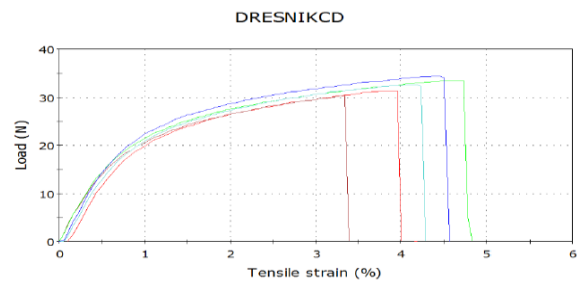
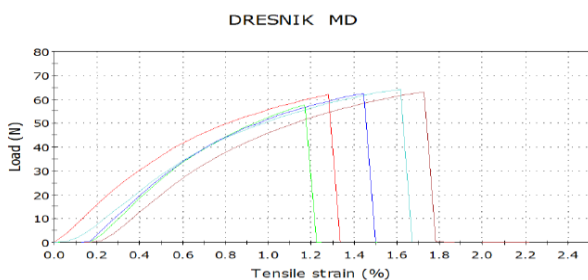
Lastnost	Zgornja stran	Spodnja stran
Površinska vpojnost vode C60 [g/m <sup>2</sup> ]	12,01	16,84
Površinska hrupavost [ml/min]	2080	1820
Prepustnost zraka [ml/min]	540	540
ISO belina [%]	39,88	39,40
Stopnja rumenosti [%]	35,70	36,04
Neprosojnost [%]	98,94	98,59
Transparenca [%]	8,51	9,62
L* / a* / b*	78,01 / 2,41 / 16,22	77,86 / 2,47 / 16,35

V preglednici 2 so predstavljene površinske in optične lastnosti papirja. Visoka površinska hrupavost in zračna prepustnost potrjujeta nizko gostoto papirja, z visoko poroznostjo in neenakomernostjo površine. Kljub veliki zračni prepustnosti in nizki gostoti je površinska vpojnost vode nizka, predvsem zaradi dodanega klejiva pri izdelavi papirja. Nizki vrednosti svetlosti in ISO beline in pozitivne vrednosti a\* in b\* barvnih koordinat kažejo na naravno rumeno barvo papirja. To potrjuje tudi relativno visoka vrednost stopnje rumenosti. Meritve na zgornji in spodnji strani papirja so pokazale edino pomembnejšo razliko le v površinski hrupavosti.

Mehanske lastnosti papirja so predstavljene v preglednici 3. Papir ima v vzdolžni (MD) smeri teka vlaken približno dvakratno vrednost v natezni pretržni sili, trdnosti in indeksu kot v prečni (CD) smeri. Še večja razlika je v modulu elastičnosti in natezni togosti, ki sta več kot tri-krat večja, medtem ko sta pretržni raztezek in natezna absorpcijska energija višja v prečni smeri. Papir ima dokaj nizko razpočno trdnost in odpornost na trganje. Razpočni in raztržni indeks sta nižja kot je to primer pri papirjih izdelanih iz samo lesnih vlaken. Papir ima tudi nizko odpornost na pregibanje, posebej še v prečni smeri teka vlaken.

Preglednica 3: Mehanske lastnosti papirja, določene v vzdolžni (MD) in prečni (CD) smeri teka vlaken

	MD	CD
Pretržna natezna sila [kN/m]	4,12	2,16
Natezni indeks [Nm/g]	45,31	23,77
Pretržna dolžina [km]	3,95	2,08
Pretržna trdnost [MPa]	26,26	13,78
Pretržni raztezek [%]	1,45	4,08
Natezna absorpcijska energija [J/m <sup>2</sup> ]	34,37	66,66
Modul elastičnosti [GPa]	3,31	1,04
Natezna togost [kN/m]	519,35	162,65
Razpočna trdnost [kPa]	166,4	
Razpočni indeks [kPa m <sup>2</sup> /g]	1,83	
Trgalna trdnost [mN]	475,8	570,1
Raztržni indeks [mN m <sup>2</sup> /g]	5,23	6,27
Pregibna odpornost [št.dv.pregibov]	344	27



Slika 5: Krivulja natezna sila / raztezek vzorca papirja določena v vzdolžni (MD) in prečni (CD) smeri teka vlaken v papirju

Na sliki 6 sta prikazana grafična izdelka izdelana na papirju iz japonskega dresnika.



Slika 6: Papirni izdelki iz japonskega dresnika

## ZAKLJUČEK

Projekt Applause naslavlja nerešena vprašanja glede ravnanja z invazivnimi tujerodnimi rastlinami v smislu pristopa brez odpadkov in krožnega gospodarstva. Ena izmed tovrstnih rešitev je, pridobivanje papirnih vlaken iz olesenelega stebela rastline.

Papir iz japonskega dresnika je voluminozen, neprosojen, hrapav, porozen, z nizko površinsko vpojnostjo, ima nizko belino, visoko stopnjo rumenosti in je svetlo rjave barve. Analiza mehanskih lastnosti papirja izdelanega iz japonskega dresnika je pokazala, da dodatek vlaken pridobljenih iz stebela japonskega dresnika poveča natezno togost, ne vpliva veliko na ostale natezne lastnosti papirja, zmanjšata pa se razpočna in trgalna trdnost ter pregibna odpornost. Raziskava je pokazala, da je uporaba japonskega dresnika kot alternativnega vira papirnih vlaken možna, papir je primeren za izdelavo posebnih, manj zahtevnih vrst papirjev.

## Literatura

1. Biermann, C.J. Handbook of pulping and papermaking. San Diego, USA: Academic Press, Inc.1996.
2. Japonski dresnik (Fallopia Japonica). Ministrstvo za okolje in prostor RS. 2018 (pridobljeno 20. 10. 2018) [http://www.mop.gov.si/si/delovna\\_podrocja/narava/invazivne\\_tujerodne\\_vrste\\_rastlin\\_in\\_zivali/rastline\\_invazivne\\_tujerodne\\_vrste/japonski\\_dresnik\\_fallopia\\_japonica/japonski\\_dresnik\\_fallopia\\_japonica/](http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/narava/invazivne_tujerodne_vrste_rastlin_in_zivali/rastline_invazivne_tujerodne_vrste/japonski_dresnik_fallopia_japonica/japonski_dresnik_fallopia_japonica/)
3. How to Identify Japanese Knotweed, Knotweed Identification Card & Pictures. Phlorum Limited. 2018 <https://www.phlorum.com/services/japanese-knotweed/domestic-knotweed-removal/> (pridobljeno 19. 10. 2018)
4. Projekt APPLAUSE. Mestna občina Ljubljana. 2017 <https://www.ljubljana.si/sl/moja-ljubljana/applause/> (pridobljeno dne 20. 10. 2018)
5. <https://www.ljubljana.si/sl/moja-ljubljana/applause/novice/projekt-mestne-obcine-ljubljana-uspesen-na-evropskem-razpisu-uia-2/> (pridobljeno dne 25. 11. 2018)
6. <https://www.ljubljana.si/sl/moja-ljubljana/applause/papiri-izdelki/> (pridobljeno dne 25. 11. 2018)

## Zahvala

Projekt APPLAUSE (UIA02-228) sofinancira Evropski sklad za regionalni razvoj.



