

Zbornik 29. mednarodne multikonference
INFORMACIJSKA DRUŽBA – IS 2026
Zvezek D

Proceedings of the 29th International Multiconference
INFORMATION SOCIETY – IS 2026
Volume D

Miti in resnice o varovanju okolja
Myths and Truths about Environmental Protection

Uredniki / Editors

Rafael Mihalič, Tomaž Kržin, Erik Margan

<http://is.ijs.si>

6. Oktober 2026 / 6 October 2026
Ljubljana, Slovenia

Uredniki:

Rafael Mihalič

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Tomaž Ogrin

Oddelek za anorgansko kemijo in tehnologijo, Institut Jožef Stefan, Ljubljana

Erik Margan

Oddelek za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev, Institut Jožef Stefan, Ljubljana

Založnik: Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana

Priprava zbornika: Mitja Lasič, Vesna Lasič

Oblikovanje naslovnice: Vesna Lasič

Dostop do e-publikacije:

<https://library.ijs.si/Stacks/Proceedings/InformationSociety>

Ljubljana, oktober 2026

Informacijska družba

ISSN 2630-371X



PREDGOVOR MULTIKONFERENCI INFORMACIJSKA DRUŽBA 2026

29. mednarodna multikonferenca *Informacijska družba* se odvija v času izjemne rasti umetne inteligence, njenih aplikacij in vplivov na človeštvo. Vsako leto bolj vstopamo v novo dobo, v kateri generativna umetna inteligenca ter drugi inovativni pristopi oblikujejo poti k superinteligenci in singularnosti, ki bosta krojili prihodnost človeške civilizacije. Naša konferenca je tako hkrati tradicionalna znanstvena in akademsko odprta, pa tudi inkubator novih, pogumnih idej in pogledov.

Letošnja konferenca poleg umetne inteligence vključuje tudi razprave o perečih temah današnjega časa: ohranjanje okolja, demografski izzivi, zdravstvo in preobrazba družbenih struktur. Razvoj UI ponuja rešitve za številne sodobne izzive, kar poudarja pomen sodelovanja med raziskovalci, strokovnjaki in odločevalci pri oblikovanju trajnostnih strategij. Zavedamo se, da živimo v obdobju velikih sprememb, ko je ključno, da z inovativnimi pristopi in poglobljenim znanjem ustvarimo informacijsko družbo, ki bo varna, vključujoča in trajnostna.

V okviru multikonference smo letos združili dvanajst vsebinsko raznolikih srečanj, ki odražajo širino in globino informacijskih ved: od umetne inteligence v zdravstvu, demografskih in družinskih analiz, digitalne preobrazbe zdravstvene nege ter digitalne vključenosti v informacijski družbi, do raziskav na področju kognitivne znanosti, zdrave dolgoživosti ter vzgoje in izobraževanja v informacijski družbi. Pridružujejo se konference o legendah računalništva in informatike, prenosu tehnologij, mitih in resnicah o varovanju okolja, odkrivanju znanja in podatkovnih skladiščih ter seveda Slovenska konferenca o umetni inteligenci.

Poleg referatov bodo okrogle mize in delavnice omogočile poglobljeno izmenjavo mnenj, ki bo pomembno prispevala k oblikovanju prihodnje informacijske družbe. »Legende računalništva in informatike« predstavljajo domači »Hall of Fame« za izjemne posameznike s tega področja. Še naprej bomo spodbujali raziskovanje in razvoj, odličnost in sodelovanje; razširjeni referati bodo objavljeni v reviji *Informatica*, s podporo dolgoletne tradicije in v sodelovanju z akademskimi institucijami ter strokovnimi združenji, kot so ACM Slovenija, SLAIS, Slovensko društvo Informatika in Inženirska akademija Slovenije.

Vsako leto izberemo najbolj izstopajoče dosežke. Letos je nagrado *Michie-Turing* za izjemen življenjski prispevek k razvoju in promociji informacijske družbe prejel **Denis Trček**, priznanje za raziskovalni dosežek leta pa **Jure Leskovec**. »Informacijsko limono« za najmanj primerno informacijsko storitev je prejel informacijski sistem za dolgotrajno oskrbo. »Informacijsko jagodo« za najboljši sistem ali storitev v letih 2025/2026 pa je prejela elektronska osebna izkaznica. Iskrene čestitke vsem nagrajencem!

Naša vizija ostaja jasna: prepoznati, izkoristiti in oblikovati priložnosti, ki jih prinaša digitalna preobrazba, ter ustvariti informacijsko družbo, ki koristi vsem njenim članom. Vsem sodelujočim se zahvaljujemo za njihov prispevek — veseli nas, da bomo skupaj oblikovali dosežke, ki bodo krojili usodo Slovenije in sveta.

Mojca Ciglarič, predsednica programskega odbora
Matjaž Gams, predsednik organizacijskega odbora

FOREWORD TO THE MULTICONFERENCE INFORMATION SOCIETY 2026

The 29th International Multiconference *Information Society* takes place at a time of remarkable growth in artificial intelligence, its applications, and its impact on humanity. Each year we move further into a new era in which generative artificial intelligence and other innovative approaches are opening paths toward superintelligence and the singularity — two developments that will shape the future of human civilization. Our conference is at once a traditional scientific meeting, an academically open forum, and an incubator of new and bold ideas.

In addition to artificial intelligence, this year's conference also addresses pressing issues of our time: environmental protection, demographic challenges, healthcare, and the transformation of social structures. The development of AI offers solutions to many contemporary challenges and underscores the need for collaboration among researchers, professionals, and policymakers in shaping sustainable strategies. We are aware that we live in a period of profound change, when innovative approaches and deep knowledge are essential if we are to build an information society that is safe, inclusive, and sustainable.

This year's multiconference brings together twelve thematically diverse meetings that reflect the breadth and depth of the information sciences. They range from artificial intelligence in healthcare, demographic and family studies, the digital transformation of nursing, and digital inclusion in the information society, to research in cognitive science, healthy longevity, and education in the information society. They are joined by conferences on the Legends of Computing and Informatics, technology transfer, myths and truths of environmental protection, knowledge discovery and data warehouses, and, of course, the Slovenian Conference on Artificial Intelligence.

Alongside the papers, round tables and workshops will enable an in-depth exchange of views that will contribute substantially to shaping the future information society. *Legends of Computing and Informatics* serves as a national Hall of Fame for outstanding individuals in the field. We will continue to foster research and development, excellence, and collaboration. Extended papers will be published in the journal *Informatica*, building on a long-standing tradition and on cooperation with academic institutions and professional associations, including ACM Slovenia, SLAIS, the Slovenian Society Informatika, and the Slovenian Academy of Engineering.

Each year we single out the most distinctive achievements. This year the *Michie–Turing Award* for an outstanding lifetime contribution to the development and promotion of the information society was presented to **Denis Trček**, and the Award for Research Achievement of the Year to **Jure Leskovec**. The “Information Lemon” for the least appropriate information service went to the long-term care information system. The “Information Strawberry” for the best system or service in 2025/2026 went to the electronic identity card. Our warmest congratulations to all the award winners.

Our vision remains clear: to recognize, use, and shape the opportunities of digital transformation, and to create an information society that benefits all of its members. We thank all participants for their contributions. We look forward to shaping, together, achievements that will determine the fate of Slovenia and of the world.

Mojca Ciglarič, Chair of the Program Committee
Matjaž Gams, Chair of the Organizing Committee

KONFERENČNI ODBORI

CONFERENCE COMMITTEES

International Programme Committee

Vladimir Bajic, South Africa
Heiner Benking, Germany
Se Woo Cheon, South Korea
Howie Firth, UK
Olga Fomichova, Russia
Vladimir Fomichov, Russia
Vesna Hljuz Dobric, Croatia
Alfred Inselberg, Israel
Jay Liebowitz, USA
Huan Liu, Singapore
Henz Martin, Germany
Marcin Paprzycki, USA
Claude Sammut, Australia
Jiri Wiedermann, Czech Republic
Xindong Wu, USA
Yiming Ye, USA
Ning Zhong, USA
Wray Buntine, Australia
Bezalel Gavish, USA
Gal A. Kaminka, Israel
Mike Bain, Australia
Michela Milano, Italy
Derong Liu, Chicago, USA
Toby Walsh, Australia
Sergio Campos-Cordobes, Spain
Shabnam Farahmand, Finland
Sergio Crovella, Italy

Organizing Committee

Matjaž Gams, chair
Mitja Luštrek
Lana Zemljak
Vesna Koricki
Mitja Lasič
Blaž Mahnič

Programme Committee

Mojca Ciglarich, chair
Bojan Orel,
Franc Solina,
Viljan Mahnič,
Cene Bavec,
Tomaž Kalin,
Jozsef Györkös,
Tadej Bajd
Jaroslav Berce
Mojca Bernik
Marko Bohanec
Ivan Bratko
Andrej Brodnik
Dušan Caf
Saša Divjak
Tomaž Erjavec
Bogdan Filipič
Andrej Gams
Matjaž Gams
Mitja Luštrek
Marko Grobelnik
Nikola Guid

Marjan Heričko
Borka Jerman Blažič Džonova
Gorazd Kandus
Urban Kordeš
Marjan Krisper
Andrej Kuščer
Jadran Lenarčič
Borut Likar
Janez Malačič
Olga Markič
Dunja Mladenich
Franc Novak
Vladislav Rajkovič
Grega Repovš
Ivan Rozman
Niko Schlamberger
Gašper Slapničar
Stanko Strmčnik
Jurij Šilc
Jurij Tasič
Denis Trček
Andrej Ule

Boštjan Vilfan
Baldomir Zajc
Blaž Zupan
Boris Žemva
Leon Žlajpah
Niko Zimic
Rok Piltaver
Toma Strle
Tine Kolenik
Franci Pivec
Uroš Rajkovič
Borut Batagelj
Tomaž Ogrin
Bojan Blažica
Matjaž Kljun
Robert Blatnik
Erik Dovgan
Špela Stres
Anton Gradišek
Borut Trpin
Anka Slana Ozimič

KAZALO / TABLE OF CONTENTS

<i>Miti in resnice o varovanju okolja / Myths and Truths about Environmental Protection</i>	1
PREDGOVOR / FOREWORD	3
PROGRAMSKI ODBORI / PROGRAMME COMMITTEES	5
"Baterije – »Deus ex Machina« za evropski energetske prehod ali še ena črna luknja za tuj denar" / Mihalič Rafael	7
Hrup vetrnih elektrarn / Ogrin Tomaž	12
Od centralizirane k razpršeni energetiki: razpršena hramba energije kot temelj energetske demokracije / Valenčič Matjaž	18
Simulation-Based Techno-Economic Analysis of Household Solar Panels and Battery Storage in Slovenia / Stopar Julija, Gams Matjaž	22
Okoljski učinek na enem kvadratnem kilometru: primerjava tehnologij za Slovenijo / Gams Matjaž	26
Kolikšen je delež naravnega CO ₂ v ozračju? / Margan Erik	31
Visokoradioaktivni odpadki - prezrt razvojni problem? / Valenčič Matjaž	35
Od varstva narave k celostnemu upravljanju kulturne krajine / Perne Teos	39
Zeleni prehod brez kmeta ni zelen / Tomažič Branko	46
Sonaravni materiali za trajnostni razvoj in varno prihodnost človeštva / Pohleven Franc	48
Systemic Resilience of Drinking Water Supply After the 2026 Drought: Myths, Truths, and the Road to a Digital Twin / Kozelj Daniel	49
Truths and Myths about Hay Meadow Management and Biodiversity in History / Zwitter Žiga	50
Climate Change: Observations, Attribution, Sensitivity, and the Solar-Climate Link / Shaviv Nir	51
Cultural Landscapes and Biodiversity: Historical Management and the Making of European Nature. / Agnoletti Mauro	52
Clearing up some misconceptions about the DoE Report / McKittrick Ross	53
<i>Indeks avtorjev / Author index</i>	55

Zbornik 29. mednarodne multikonference
INFORMACIJSKA DRUŽBA – IS 2026
Zvezek D

Proceedings of the 29th International Multiconference
INFORMATION SOCIETY – IS 2026
Volume D

Miti in resnice o varovanju okolja
Myths and Truths about Environmental Protection

Uredniki / Editors

Rafael Mihalič, Tomaž Kržin, Erik Margan

<http://is.ijs.si>

6. Oktober 2026 / 6 October 2026
Ljubljana, Slovenia

PREDGOVOR

Člani uredniškega odbora z zadovoljstvom ugotavljamo, da je srečanje od skromnih začetkov pred leti pridobilo na teži in odmevnosti. Letos nas posebej častita gostovanje predsednika Komisije Državnega sveta Republike Slovenije za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano g. Branka Tomažiča ter prisotnost vabljenih predavateljev:

- prof. dr. Nir Shaviv, Racah Institute of Physics, Hebrejska univerza v Jeruzalemu, Izrael;
- prof. dr. Mauro Agnoletti, direktor Unescove katedre "Paesaggi del patrimonio agricolo", Università di Firenze, Italija;
- prof. dr. Franc Pohleven, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani;
- izr. prof. dr. Žiga Zwitter, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani.
- prof. dr. Rossom McKitrick, profesor ekonomije na Univerzi v Guelphu v Kanadi.

Varovanje okolja je v zadnjih desetletjih postalo osrednje znanstveno in politično vprašanje. Zbrali se nismo zato, ker bi imeli vse odgovore, temveč zato, ker smo prepoznali odprta vprašanja, ki jih je treba pretresti argumentirano in v podrobnostih.

Z znanstvenega stališča ni sprejemljivo prepričanje, da je znanost o okolju »končana«. Znanost ni nikoli končana. Vsako soglasje je začasno, dokler ga ne zamenja boljša razlaga ali novo odkritje.

S političnega stališča potrebujejo odločitve trdno znanstveno oporo, če naj bodo učinkovite, koristne in sprejete ne le kot nujnost, ampak kot smiselna dolgoročna razvojna usmeritev.

S temi izhodišči oddajamo zbornik v razpravo.

Uredniški odbor konferenc

Rafael Mihalič

Erik Margan

Tomaž Ogrin

FOREWORD

A warm welcome to the Conference on Myths and Truths of Environmental Protection, a section of the 29th International Multiconference *Information Society* at the Jožef Stefan Institute.

The members of the Editorial Board are pleased that the conference has gained momentum and weight since its modest beginnings some years ago. This year we are honoured by the presence of Mr Branko Tomažič, President of the Commission for Agriculture, Forestry and Food of the National Council of the Republic of Slovenia, and by our invited contributors:

- Prof. Dr. Nir Shaviv, Racah Institute of Physics, The Hebrew University of Jerusalem, Israel;
- Prof. Dr. Mauro Agnoletti, Director of the UNESCO Chair *Paesaggi del patrimonio agricolo*, Università di Firenze, Italy;
- Prof. Dr. Franc Pohleven, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, Slovenia;
- Assoc. Prof. Dr. Žiga Zwitter, Faculty of Arts, University of Ljubljana, Slovenia.
- Prof. Dr. Ross McKittrick, Professor of Economics at the University of Guelph, Canada.

Over recent decades environmental protection has become a central issue in both science and politics. We have gathered here not because we hold all the relevant answers, but because we have identified open questions that deserve detailed discussion.

From a scientific point of view, the popular claim that “the science is settled” is not acceptable. Science is never settled. Any consensus is temporary until a better explanation or a new discovery takes its place.

From a political point of view, decisions need firm scientific support if they are to be implemented efficiently and usefully, and accepted not merely as a necessity but as a sensible long-term development strategy.

With these premises in mind, we present the proceedings for discussion.

Rafael Mihalič
Erik Margan
Tomaž Ogrin

PROGRAMSKI ODBOR / PROGRAMME COMMITTEE

Rafael Mihalič, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Tomaž Ogrin, Oddelek za anorgansko kemijo in tehnologijo, Institut Jožef Stefan, Ljubljana

Erik Margan, Oddelek za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev, Institut Jožef Stefan, Ljubljana

Baterije – »Deus ex Machina« za evropski energetski prehod ali še ena črna luknja za tuj denar

Batteries – "Deus ex Machina" for European Energy Transition or Another Black Hole of Other People's Money

Rafael Mihalič

UL, Fakulteta za elektrotehniko

Tržaška 25

Ljubljana, Slovenija

rafael.mihalic@fe.uni-lj.si

POVZETEK

Tudi najbolj vnetim zagovornikom tako imenovanega energetskega prehoda postaja jasno, da samo z dodajanjem tako imenovanih neogljčnih virov v elektroenergetski sistem (EES) tega prehoda zaradi tehnično-fizikalnih zakonitosti obratovanja EES ni mogoče doseči. Rešitev bi lahko bili shranjevalniki električne energije. Prispevek obravnava vprašanje koliko dodatnih sončnih (SE) in vetrnih elektrarn (VE) in koliko Li-ionskih baterijskih hranilnikov (BESS) bi potrebovali, da bi "razogljčili" obstoječi EES oz. koliko, če bi udeležili zaveze evropske politike po popolnem razogljčenju družbe. Analiza temelji na urnih podatkih za leto 2025 za Nemčijo in Slovenijo ter predpostavlja skrajni scenarij, v katerem se proizvodnja iz fosilnih elektrarn in uvoz električne energije v celoti nadomestita s SE in VE, presežki in primanjkljaji energije pa se uravnavajo izključno z baterijskimi hranilniki.

Izračuni kažejo, da bi bilo treba proizvodnjo SE in VE povečati približno na 2,1-kratnik sedanje vrednosti v Nemčiji oziroma na 4,1-kratnik v Sloveniji. Za sezonsko izravnavanje proizvodnje in porabe bi bilo potrebnih približno 33 TWh BESS v Nemčiji in 2,2 TWh v Sloveniji. Če bi elektrificirali še promet, ogrevanje in druge sektorje, bi se potrebne kapacitete povečale na približno 102 TWh oziroma 22 TWh.

Če te vrednosti primerjamo z obstoječim stanjem sistemskih hranilnikov, svetovno proizvodnjo Li – ionskih baterij, ocenimo stroške in dodamo še okoljske omejitve, postane očitno, da ta pot zaenkrat ni izvedljiva.

Poudariti velja, da gre za poenostavljen in namenoma konservativen scenarij, katerega cilj ni napoved prihodnjega razvoja, temveč določitev velikostnega reda potrebnih BESS, če se želimo povsem "razogljčiti" in hkrati biti povsem samozadostni. Prispevek zato predstavlja izhodišče za nadaljnjo strokovno razpravo o realnih možnostih baterijskega shranjevanja v prihodnjih EES.

ABSTRACT

Even the strongest advocates of the so-called energy transition are increasingly recognizing that simply adding low-

carbon generation sources to an electric power system (EPS) is, due to the fundamental technical and physical constraints governing power system operation, insufficient to achieve the desired transition. Electricity energy storage systems (ESS) are often proposed as a possible solution.

This paper investigates the amount of additional solar photovoltaic (PV) and wind power (WP) generation, together with lithium-ion battery energy storage systems (BESS), that would be required to decarbonize the existing EPS, as well as the capacities needed to fulfil the European Union's long-term objective of complete societal decarbonization. The analysis is based on hourly electricity production and consumption data for Germany and Slovenia for the year 2025. It considers an extreme scenario in which all fossil-fuel generation and electricity imports are replaced by PV and WP generation, while all short-term and seasonal energy imbalances are compensated exclusively by BESS.

The results indicate that PV and WP would have to increase to approximately 2.1 times the current level in Germany and 4.1 times the current level in Slovenia. Seasonal balancing alone would require approximately 33 TWh of BESS capacity in Germany and 2.2 TWh in Slovenia. If transport, heating and other energy-consuming sectors were fully electrified, the required storage capacities would increase to approximately 102 TWh and 22 TWh, respectively.

When these requirements are compared with the currently installed BESS capacity, the annual global production of Li-ion batteries, the associated investment costs, and the environmental and spatial constraints, it becomes evident that such an approach is, at present, not practically feasible.

It should be emphasized that this study is based on a simplified and intentionally conservative scenario. Its purpose is not to predict the future development of EPS, but rather to estimate the order of magnitude of the BESS capacities that would be required to achieve complete decarbonization while maintaining full energy self-sufficiency. The paper is therefore intended as a starting point for further professional discussion on the realistic role of BESS in future EPS.

KLJUČNE BESEDE

Elektroenergetski sistem, energetski prehod, sistemski shranjevalniki električne energije, baterijski sistemi

KEYWORDS

Electric power system, Energy transition, System electricity storage, Battery systems sources

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

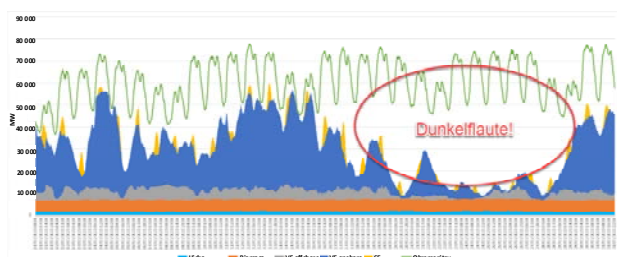
Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia

© 2026 Copyright held by the owner/author(s).

<https://doi.org/???>

1 UVOD

Če smo še pred nekaj leti, lahko trdili, da se veliki večini ljudi "niti ne sanja" o principih delovanja elektroenergetskega sistema – EES (Pravzaprav, zakaj bi se jim pa moralo?!), je danes ozaveščenost o tem vendarle nekoliko višja. Kdor se vsaj malo zanima za tehniko je tako ali drugače prišel do informacije, da je glaven problem tako imenovanega "zelenega prehoda" (ali "energetske tranzicije", "brezogljične energetike", "net zero", "Energiewende"... in kar je še bombastičnih izrazov za "reševanje sveta" pred kugo 21. stoletja, se pravi človeških izpustov CO₂) neskladje med proizvedeno oz. porabljeno električno energijo. Vzrok za to je dejstvo, da je EES izjemno učinkovit prenašalec električne energije med proizvajalci le-te in porabniki, a skoraj brez sposobnosti njenega shranjevanja. Časovno okno, v katerem se morata v EES pritekajoča in iz njega iztekajoča energija uskladiti (bilanca mora biti 0) se v klasičnih EES, taki so pa dandanes še vedno praktično vsi javni EES, meri v sekundah. Dokler so v EES prevladovali "klasični" viri (velika večina katerih je temeljila na toplotnih strojih na goriva in ki so seveda izpuščali CO₂, ker so pač energijo pretvarjali iz eksotermne reakcije (spajanja) med kisikom in ogljikom v CO₂), to ni bil problem, ker so se ti viri porabi sproti prilagajali. Z večanjem deleža tako imenovanih obnovljivih virov energije (OVE) s stohastično proizvodnjo, v veliki večini gre za sončne (SE) in vetrne elektrarne (VE), in posledičnem manjšanju "klasičnih" elektrarn, se je sposobnost EES, da se prilagaja porabi drastično zmanjšala [1, 2, 3]. Pravzaprav je postalo to ena glavnih ovir pri nadaljnjem prehodu iz "klasičnih" EES v novodobne "brezogljične" ("zeleno", "sonaravne", "okoljsko vzdržne") EES.



Slika 1: Proizvodnja OVE in obremenitev, Nemčija, januar 2023 [4]

Enostavno in logično sklepanje nas hitro privede do ideje, da to oviro lahko premagamo, če EES pomagamo vzdrževati energijsko bilanco s shranjevalniki električne energije, ki so sposobni hitro odreagirati takrat, ko se EES srečuje bodisi s pomanjkanjem električne energije ali njenimi presežki, ki jih ne more sam izravnati s "klasičnimi" viri. Obstaja vrsta tehničnih rešitev od uveljavljenih, recimo črpalne hidroelektrarne, do eksotičnih, kot npr. gravitacijski shranjevalniki energije različnih izvedb. V zadnjem času se zaradi, recimo temu, kvantnega preskoka v razvoju električnih vozil, vse bolj uveljavljajo elektrokemični shranjevalniki električne energije, po domače baterije ali akumulatorji. Najbolj uveljavljena tehnologija je tehnologija Li – ionskih akumulatorjev, čeprav obstaja množica drugih, tem bolj ali manj ekonomsko konkurenčnih in načinu uporabe prilagojenih rešitev. Kdor to spremlja bo ugotovil, da se tako – rekoč vsak dan pojavljajo novice o novih "prebojih" in "idealnih" baterijah. Počakajmo zaenkrat, kaj bo iz tega in se osredotočimo na obstoječe tehnologije.

V luči problemov z obratovanjem EES z velikim deležem stohastične proizvodnje je postal pojem "shranjevalniki električne energije" v očeh javnosti (in dobrega dela politike) čudežna rešitev, tako rekoč "Deus ex machina", ki bo podobno,

kot zamah s čarobno palico, čedalje pogostejše probleme pri obratovanju EES z velikim deležem stohastičnih OVE, na mah rešil.

V prispevku skušamo na podlagi obstoječega stanja in na podlagi predvidevanj, temelječih na zavezujočih dokumentih EU, analizirati pesimističen scenarij obratovanja Nemškega in Slovenskega EES samostojno (neodvisnost je drug tak pojem, ki je zelo priljubljen pri snovalcih prihodnosti energetske politike). Pri tem predpostavljamo prehod na brezogljično proizvodnjo električne energije in podporo obratovanja EES z elektrokemičnimi shranjevalniki energije. Nadalje upoštevamo tudi povečanje porabe zaradi elektrifikacije prometa, ogrevanja (toplotne črpalke) in vseh gospodarskih dejavnosti ter družbenega in zasebnega življenja. Osnovno vprašanje, ki si ga zastavljamo pa je; koliko hranilnikov (akumulatorskih baterij) pa potrebujemo in koliko bi to stalo. Gre za zelo grobo oceno in skrajni scenarij, ki prav gotovo ne bo uresničen, in ki ga nihče pri "zdravi pameti" niti ne bi skušal uresničiti. Dobimo pa neko osnovno izhodišče in red velikosti, da sploh lahko z nekim občutkom primerjamo ostale rešitve in "rešitve".

2 Izhodišča

Seveda nas na tem mestu najbolj zanimajo razmere v Sloveniji, vendar Slovenija ni najboljši primer, ker je po eni strani zelo majhna država in ustrezno temu njen EES, po drugi strani pa je izjemno dobro povezana s sosednjimi EES. Zato smo hkrati s Slovenijo obravnavali tudi Nemčijo, kot evropsko državo z največjim EES, velikim deležem nenapovedljive proizvodnje in jasnimi političnimi zavezami (zapisanimi delno v ustavo, delno v zakonodajo - Zakonu o varstvu podnebja - Bundes-Klimaschutzgesetz!), da se bo razogljčila (točneje; da bo "ogljčno nevtralna" do 2045).

Kot ilustracijo za osnovno idejo pri vsem skupaj si vzemimo Sliko 1, ki prikazuje proizvodnjo OVE (površine različnih barv; siva in modra na primer VE na morju oziroma na kopnem, rumena SE) in potek moči porabe (zeleno krivuljo) za izbrani mesec v Nemčiji. Ker je zaradi odštetega deleža uvoza (izvoza) in proizvodnje premogovnih in plinskih termoelektrom proizvodnja očitno manjša od porabe (površina proizvodnje OVE ne pokrije površine pod zeleno krivuljo), to uskladimo tako, da predpostavimo povečanje proizvodnje SE in VE tako, da se površina proizvodnje OVE in površina pod zeleno krivuljo (poraba) izenačita, razliko med njima pa v vsakem trenutku kompenziramo s pomočjo hranilnikov električne energije. Povečanje VE in SE predpostavimo na način, da ostane razmerje med njima enako.

Na Sliki 1 je ilustrativno predstavljen časovni okvir enega meseca, dejanske izračune pa smo izvedli za leto 2025 od 1. januarja do 31. decembra.

Podatki, ki smo jih uporabili pri izračunu so uradni urni podatki upravljalcev elektroenergetskih omrežij oz. njihovega združenja entso-e [5, 6, 7]. Za Slovenijo smo v njeni bilanci proizvodnje upoštevali le polovico proizvodnje NEK, drugo polovico pa smo prekvalificirali v uvoz. Ne glede na to, da je NEK v Sloveniji, omenjena polovica proizvodnje preprosto ni naša, in če jo hočemo porabiti, jo moramo odkupiti od njenega lastnika, enako kot vsako drugo "uvoženo" elektriko.

Izvedeni izračuni za omenjeno obdobje enega leta pokažejo za Nemčijo naslednje številke.

- | | |
|--|--------------|
| • Proizvodnja SE in VE: | ca. 210 TWh. |
| • "Fosilna" proizvodnja in uvoz/izvoz: | ca. 240 TWh. |
| • Ostalo (JE, HE, biomasa ...): | ca. 50 TWh. |
| • Poraba (vsota vseh): | ca. 500 TWh. |

Za Slovenijo pa pridemo do naslednjih vrednosti:

- proizvodnja SE in VE: ca. 1,5 TWh,
- "fosilna" proizvodnja in uvoz/izvoz, če štejemo proizvodnjo polovice NEK kot uvoz: ca. 4,6 TWh,
- Ostalo (JE, HE, biomasa ...): ca. 7,2 TWh
- Poraba (vsota vseh): ca. 13,3 TWh

3 Analiza

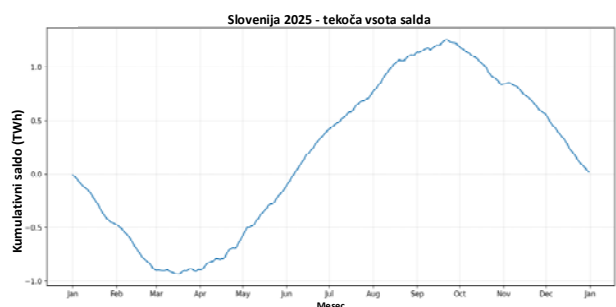
Izkaže se, da bi za zagotovitev energetske bilance morali ob zaustavitvi vseh "ogljinih" elektrarn in samostojnosti oskrbe ter ob nespremenjeni proizvodnji biomase, hidro, drugih OVE in črpalnih HE v Nemčiji povečati obstoječo količino SE in VE približno na **2,1** kratnik obstoječe.

V Sloveniji pa je ta zahtevani faktor proizvodnje SE in VE ob upoštevanju samo polovice proizvodnje NEK približno **4,1** kratnik obstoječe.

Seveda gre pri tem izračunu za letno bilanco, nič pa nam ne pove o sprotnih presežkih in primanjkljajih proizvodnje glede na porabo. V Sloveniji imamo VE zanemarljivo malo, zato se omenjen presežek in primanjkljaj gibljeta v skladu s proizvodnjo SE. To pa pomeni, da bo pozimi velik primanjkljaj, poleti pa velik presežek energije SE, ki bi jo bilo treba uskladiščiti. Če naredimo tekočo bilanco skozi vse leto, dobimo naslednja grafa za Nemčijo oz. Slovenijo.



Slika 2: Tekoči saldo med hipotetično proizvodnjo SE in VE ter porabo za Nemčijo v 2025



Slika 3: Tekoči saldo med hipotetično proizvodnjo SE in VE ter porabo za Slovenijo v 2025

Ker smo proizvodnjo VE in SE povečali glede na zahtevo, da izravnata saldo proizvodnje in porabe ob odsotnosti "ogljinih" virov in uvoza oz. izvoza, krivulji seveda začneta z vrednostjo nič 1. januarja in na tej vrednosti tudi končata 31. decembra. Zaloga, ki bi jo potrebovali v shranjevalnikih električne energije predstavlja razliko med najnižjo točko (recimo, da bi bili takrat zalogovniki prazni) in najvišjo točko, ko bi bili povsem napolnjeni.

- Za Nemčijo to znaša: ca. 33 TWh,
- za Slovenijo pa: ca. 2,2 TWh.

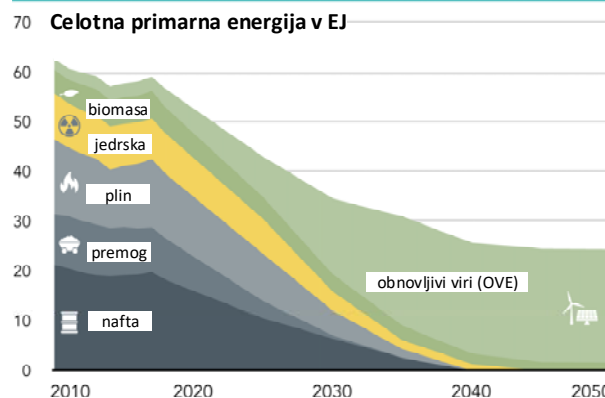
Kot zanimivost; največjo razliko med proizvodnjo in porabo bi ob definiranih predpostavkah v Sloveniji zabeležili 2. maja ob 12. uri, in sicer ca. 3500 MW (presežek), kar je krepko več od konične porabe Slovenije in več kot dvakratnik njene povprečne porabe.

Ob vsem skupaj nismo upoštevali izgub pri ciklu polnjenje-praznjenje baterij, ki, upoštevajoč tudi izgube konverterjev, znaša okrog 10 % [8]. Razen tega pri sezonskem shranjevanju, recimo za reda 6 mesecev ali več tudi samopraznjenje Li – ionskih baterij ni več zanemarljivo in skupaj z ostalimi potrebnimi podpornimi sistemi sistemskih baterij znaša reda 10% [9, 10].

Do tod vse lepo in prav, vendar; vse do sedaj navedene številke veljajo za leto 2025 in samo nadomestitev "ogljinih" elektrarn in uvoza s SE in VE. Kaj pa vse ostalo (promet, ogrevanje, industrija ...)? Glede na [11] bo po predvidenem političnem programu "razogljičenja" v EU leta 2050, ali celo 2045 v Nemčiji vse samo še na elektriko. Pustimo ob strani to, ali se bo potreba po rabi energije povečala ali zmanjšala in si predstavljamo, da bo vse enako, kot velja za obravnavano leto 2025, le da bo vse, kar sedaj "obratuje" na fosilna goriva, takrat na elektriko.

EU27 – OSKRBA S PRIMARNO ENERGIJO

PAC (Paris Agreement Compatible) scenarij



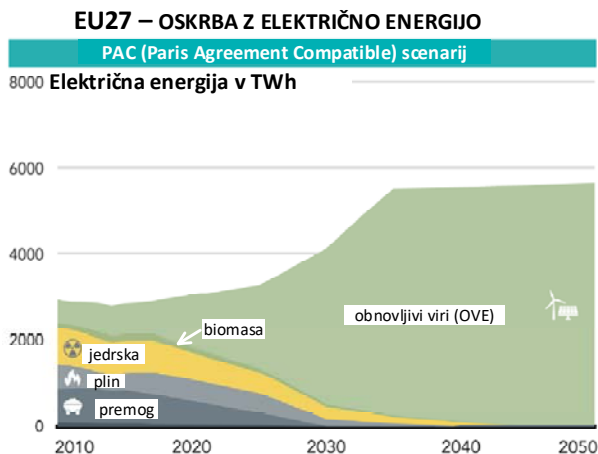
Slika 4: Predlagana poraba energentov EU27 [11]

Hkrati predpostavimo, da je učinkovitost električnih strojev oz. naprav bistveno večja, kot učinkovitost toplotnih strojev oz. naprav. Vzemimo neko tipično vrednost, t. j. faktor 3. Konkretno; električni motor je reda 3 x učinkovitejši od motorja na notranje izgorevanje, toplotna črpalka ima povprečno grelni število v naših razmerah okrog 3, torej porabi vsaj 3 x manj energije v obliki elektrike, kakor bi je rabili z uporabo fosilnih goriv. Nekateri se bodo v to številko obregnili, vendar bi težko rekli, da bi bila v realnosti za povprečje vseh dejavnosti dosti drugačna.

Naslednje dejstvo, ki ga moramo upoštevati je, da v končni rabi energije predstavlja elektrika nekje med 22 (svet) in 30 % (Slovenija 28 %). Vzemimo zaradi lažjega računanja kar 25 %. Torej bomo ob popolnem razogljičenju morali 75 % "ogljine" energije zamenjati s 3 x učinkovitejšo električno, kar nam da 25 %, torej ravno toliko, kolikor znaša sedaj. Z drugimi besedami, s sončnimi in vetrnimi elektrarnami bi morali podvojiti celotno proizvodnjo električne energije iz leta 2025.

Ob tako razmišljanje se lahko marsikdo obregne, češ, do takrat bo kup ostalih virov in ne bo treba samo SE in VE. Če sem nekoliko ciničen na tak komentar lahko odgovorim samo z: "Aja?! Do leta 2045 je manj, kot 20 let, daljnovid Maribor - Dunaj in Beričevo – Krško so gradili (načrtovali, umeščali v prostor ...) vsakega 30 let, za HE Mokrice še vedno niso v zemljo

zapičili prve lopate (spomnimo: koncesijska pogodba, s katero je država podelila pravico za izkoriščanje vodnega potenciala in s tem uradno zagnala investicijske aktivnosti je bila podpisana leta 2002, dokončana pa naj bi bila 2018), Finci so gradili njihovo elektrarno z EPR reaktorjem 17 let (+ meni neznan let načrtovanja in umeščanja v prostor), da ne omenjam raznih cvetk tipa predor Markovec (od načrtovanja do odprtja je trajalo skoraj 30 let) ali "šestpasovnica" do Domžal." Pa tudi Nemcem ne gre veliko bolje. Njihov koncept Ultragrid sicer napreduje, a bolj po polzevo in po 15 letih je še vedno precej daleč od dokončanja.



Slika 5: Očitno smo bili pri naših predpostavkah hudo optimistični [11]

Ob omenjenih predpostavkah bi torej Nemčija potrebovala še ca. 500 TWh, Slovenija pa še ca. 13.3 TWh energije iz SE in VE. Če proporcionalno predhodnemu izračunu povečamo potrebne kapacitete hranilnikov dobimo približno:

- za Nemčijo: $(1 + 500/240) * 33 \text{ TWh} \approx 102 \text{ TWh}$,
- za Slovenijo: $(1 + 13,3/1,5) * 2,2 \text{ TWh} \approx 22 \text{ TWh}$.

Seveda so dobljene vrednosti nerealne (in "exorbitantne"), vendar ob pogledu na Sliko 5 vsa zadeva precej dobro sovpadajo. Ne glede na vse verjamemo, da kot rečeno, te številke predstavljajo neko izhodišče za razmišljanje in primerjavo. V nadaljevanju si pogledjmo, kaj to pravzaprav pomeni.

4 Kaj dobljene številke povejo

Oglejmo si najprej nekaj osnovnih podatkov o stanju na področju hranilnikov električne energije.

Po trenutno dostopnih podatkih [AI, 12] je količina obstoječih hranilnikov električne energije v EES (velikih in majhnih) predstavljena v Tabela 1, in sicer za svet, EU, Nemčijo in Slovenijo. Ob tem velja poudariti, da so številke pridobljene z AI in lahko nekoliko varirajo glede na oblikovanje zastavljenega vprašanja in glede na to, koliko "tečnarimo" s podvprašanji.

Tabela 1: Obstoječi baterijski hranilniki v EES (ocena).

Območje	Energija stacionarnih baterij [GWh]	Letna poraba elektrike [TWh]	Čas napajanja pri povprečni porabi [minute]
Svet	≈ 700–800	≈ 31 000	≈ 11
EU-27	≈ 77	≈ 2 700	≈ 15
Nemčija	≈ 22	≈ 510	≈ 23
Slovenija	≈ 0,1	≈ 14	≈ 4

Glede na izvedene izračune, bi torej za izravnavanje bilance leta 2025 (33 TWh za Nemčijo in 2,2 TWh za Slovenijo) potrebovali:

- za Nemčijo 1500 – kratnik,
- za Slovenijo 22 000 - kratnik obstoječega stanja.

Te številke pa postanejo še bolj bizarne če jih izračunamo za "popolno razogljčenje" (102 TWh za Nemčijo in 22 TWh za Slovenijo), in sicer:

- za Nemčijo 4600 – kratnik in
- za Slovenijo 220 000 - kratnik obstoječega stanja.

V preteklosti se je veliko govorilo tudi o baterijah električnih vozil (EV), kot o možnih sistemskih shranjevalnikih, zato si pogledjmo vse skupaj v širšem kontekstu. Ker je velika večina sodobnih baterij izvedena z LI-ionsko tehnologijo (več kot 90 %) pogledjmo, kakšna je njihova svetovna proizvodnja. S pomočjo AI in IEA (International Energy Agency) dobimo za leto 2025 naslednje številke:

Tabela 2: Ocena svetovne proizvodnje Li-ionskih baterij (2025)

Uporaba	Ocenjena proizvodnja
Električni avtomobili	≈ 1 250 GWh
Sistemske baterije (BESS, hišne, industrijske)	≈ 250–300 GWh
Prenosni računalniki	≈ 45 GWh
Mobilni telefoni	≈ 25 GWh
Tablice	≈ 8 GWh
Električna kolesa, skiroji, motorji	≈ 70 GWh
Električno orodje	≈ 35 GWh
Droni, medicinske naprave, UPS, ostalo	≈ 40 GWh
SKUPAJ	≈ 1750 GWh

Kar za obravnavane primere predstavlja za izravnavanje bilance leta 2025 za:

- Nemčijo ca. 19 – kratnik svetovne letne proizvodnje,
- Slovenijo ca. 1,3 - kratnik svetovne letne proizvodnje.

Oziroma pri "popolnem razogljčenju" za:

- Nemčijo ca. 60 – kratnik svetovne letne proizvodnje,
- za Slovenijo 13 – kratnik svetovne letne proizvodnje.

Trenutna cena večjih sistemskih baterijskih hranilnikov se giblje nekje [AI, 13] od 115 do 160 € na kWh. Če zaokrožimo ceno navzdol na 100 €/kWh, bi za obravnavane primere to zneslo v letu 2025 za:

- Nemčijo ca. 3 300 milijard € (0,7 x letni BDP),
- Slovenijo ca. 220 milijard € (3,1 x letni BDP).

Oziroma pri "popolnem razogljčenju":

- Nemčijo ca. 10 200 milijard € (2,3 x BDP 2025),
- za Slovenijo 2 200 milijard € (31 x BDP 2025).

Pri tem gre za celoten BDP in ne proračun države. Ob predpostavki 20-letne življenjske dobe hranilnikov bi torej ob popolnem razogljčenju in ob zelo poenostavljenem izračunu v Nemčiji potrebovali samo za baterije vsako leto ca. 12 % BDP, v Sloveniji pa celo 155 % BDP (z drugimi besedami; niti blizu teoretične zmožnosti). Samo za primerjavo, Nemčija glede na Statistični urad Nemčije (destatis.de) porabi skupaj za izobraževanje ter raziskave in razvoj ca 8% BDP, Slovenija pa glede na Statistični urad RS ca 7,2 %.

Kot zanimivost ocenimo, koliko bi to letno "čez palec" stalo vsakega Slovenca (vsakega!!! od otroka v vrtcu do babice v domu za starejše) pri "milejši" varianti za prvi scenarij. Glede na predpostavke torej:

$[(3,1 / 20 \text{ let}) * 70 \cdot 10^9 \text{ €}] / 2 \cdot 10^6 \text{ ljudi} \approx 5500 \text{ €} / \text{človeka},$

oziroma skoraj 2000 € na mesec za štiričlansko družino. O drugi varianti ("popolnem razogljčenju") sploh nima smisla razmišljati.

Ker bi bilo potrebno vse te baterije umestiti v prostor, si oglejmo še potrebne površine, ki ob takih potrebah postanejo nezanemarljiv faktor tudi na nacionalni ravni. Analiza obstoječih projektov s pomočjo AI nam da naslednje rezultate zbrane v naslednji tabeli

Tabela 3: Ocena potrebne površine za sistemske baterije (BESS)

Primer	Površina za 1 TWh
Sam tloris sodobnih baterijskih kontejnerjev	$\approx 2,4 \text{ km}^2$
Zelo kompaktna industrijska postavitve	$\approx 5\text{--}10 \text{ km}^2$
Realističen velik BESS z razmiki in elektroopremo	$\approx 10\text{--}30 \text{ km}^2$
Prostorsko manj optimizirani projekti	lahko $50\text{--}100 \text{ km}^2$

Privzemimo, da potrebujemo $20 \text{ km}^2/\text{TWh}$. Glede na zahteve logistike in požarne varnosti (ki jo pri obstoječih baterijah velja zelo resno upoštevati) je ta ocena verjetno optimistična. Po tej logiki bi torej rabili za izravnavanje bilance leta 2025 naslednje površine za:

- Nemčijo ca. 660 km^2 površine,
- Slovenijo ca. 44 km^2 površine.

Oziroma pri "popolnem razogljčenju" za:

- Nemčijo ca. 2000 km^2 površine,
- za Slovenijo 440 km^2 površine.

Za predstavo navedimo, da merita Bohinjsko in Blejsko jezero skupaj ca. $4,6 \text{ km}^2$, umetno jezero pred predvideno hidroelektrarno Mokrice (tudi zaradi katerega je projekt "na čakanju" že lepo število let) ca. 2 km^2 , celotna Slovenska infrastruktura avtocest med 35 in 40 km^2 (od tega asfalt približno polovico), celotno področje znotraj ljubljanske obvoznice ca. 70 km^2 , celotno Prekmurje pa ca. 950 km^2 .

Ali si kdo lahko predstavlja postopek umeščanja v prostor vsega tega ob pregovorno hitri slovenski birokraciji in do onemoglosti zapletenih birokratskih postopkih?!

5 Sklep

Zavedamo se, da so predpostavke in uporabljena metodologija pri analizi zastavljenega problema ekonomsko-tehnično gledano povsem neuresničljivi. Po drugi strani pa smo sledili političnim zavezam evropskih in nekaterih slovenskih politikov ali uradnikov, zahtevam tako imenovane "civilne družbe", raznih okoljskih in "okoljskih" društev itd. Ravno iz omenjenih krogov je namreč v zadnjem času (sedaj ko je postalo tudi vrabcu na veji jasno, da samo dodajanje tako imenovanih OVE ad infinitum v EES preprosto ne gre - na kar smo sicer strokovnjaki brez uspeha opozarjali že pred desetletji in za kar sploh ni potrebno biti posebno "pameten") slišati, da bodo pa elektrokemični shranjevalniki (po domače baterije) probleme rešili, in da bomo pač elektriko iz OVE shranjevali, ko je bo preveč in jo porabljali, ko je bo premalo. V principu preprosto. In smo si rekli: "Zakaj pa ne, naredimo natančno to za obstoječe stanje in z dejanskimi podatki ter isto logiko prenesimo na od politike obljubljeno prihodnje stanje, ki ga opisujemo s terminom "popolno razogljčenje"."

Brez kakršnekoli posebne razprave lahko na podlagi dobljenih rezultatov za obstoječe stanje, še bolj pa za omenjeno

"popolno razogljčenje" ugotovimo, da gre za tehnično, ekonomsko in okoljsko povsem iluzorno idejo. Čeprav se problema nihče pri "zdravi pameti" ne bi lotil na tak način (kar seveda ne pomeni, da predhodno omenjeni promotorji "popolnega razogljčenja" tega vseeno ne bi zagovarjali), pa rezultati vendarle dajo neko realno izhodišče za razmišljanje. Res je, da lahko elektriko uvažamo ali izvažamo, a kje je potem opevana samozadostnost? Res je, da se bodo baterije verjetno še pocenile, vendar prostora ni več veliko, saj zraven sodijo tudi druge stvari od transformatorjev, konverterjev, zaščite, druge energetske infrastrukture, ki se definitivno ne bo opazno cenila. Res je, da se bo verjetno energijska gostota baterij povečala in s tem potreben prostor za baterije zmanjšal, vendar to ob upoštevanju ostalih prostorskih potreb zaradi zagotavljanja dostopnosti in varnosti predstavlja precej zanemarljiv delež.

Če povzamemo; možnih upravičenih in manj upravičenih pripomb in kritik na izvedbo študije je lahko zelo veliko. V naprej pa lahko dobršnemu delu teh odgovorimo z vprašanjem: "Kako bi pa naj sicer izračunali potrebno količino baterijskih hranilnikov ob zagotavljanju popolne avtonomije in ukinutve vseh "ogljčenih" virov energije?" Na nivoju države je to, kakor smo videli, povsem neuresničljivo. Se bodo pa prav gotovo ideje o "energetsko brezogljčni avtonomiji" pojavile na nivoju manjših področij (regij, vasi ...). Za take "mikro – primere" je ideja uresničljiva; seveda za tuj denar. Kot znanstveni poskus ali preizkus izvedljivosti morda to niti ni tako slabo. Je pa, preden se sploh začnemo o tem pogovarjati, smiselno izvesti izračun "čez palec", kot ga predstavljamo v prispevku.

REFERENCE

Za pridobivanje nekaterih podatkov smo uporabili AI (konkretno; profesionalno verzijo ChatGPT). Ta sicer navaja iz katerih virov je zbrala podatke, vendar je teh toliko, da jih nismo shranjevali. Kjer je bilo to možno smo rezultate preverili na "kredibilnih" spletnih straneh ali v dostopni literaturi, zato verjamemo, da so dovolj kredibilni za potrebe predstavljene preproste študije. Nenazadnje se nekatere številke spreminjajo iz dneva v dan in podatke lahko le ocenimo.

- [1] Življenje in tehnika : revija za poljudno tehniko, znanost in amaterstvo. nov. 2021, letn. 72 [št.] 11, str. 20
- [2] Življenje in tehnika : revija za poljudno tehniko, znanost in amaterstvo. Maj in junij 2025, letn. 76 [št.] 5 in 6, str. 30 oz. 20
- [3] MIHALIČ, Rafael Energetika za vsakogar in za vse ostale, Tehniška založba Slovenije, 2020 ([Ljubljana] : Schwarz print). - 157 str. ISBN 978-961-251-413-6
- [4] <https://www.ise.fraunhofer.de/de/>
- [5] <https://transparency.entsoe.eu/>
- [6] <https://smard.de>
- [7] <https://www.eles.si/prevzem-in-proizvodnja>
- [8] Mongird et al., Energy Storage Technology and Cost Characterization Report (NREL, 2020), IRENA, Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030 (2017)
- [9] https://www.sandia.gov/app/uploads/sites/82/2021/10/Willard_ES_Integration_Roundtable_10-28.pdf
- [10] <https://www.dnv.com/publications/the-promise-of-seasonal-storage-172201/>
- [11] Climate Analytics, 1.5°C Pathways for Europe: Achieving the highest plausible climate ambition, https://climateanalytics.org/media/1-5pathwaysforeurope_2.pdf
- [12] Jun Liu, Jie Xiao, Jihui Yang, Wei Wang, Yuyan Shao, Ping Liu, M. Stanley Whittingham The TWh challenge: Next generation batteries for energy storage and electric vehicles Next Energy, Volume 1, Issue 1, March 2023, 100015.
- [13] BloombergNEF, PRESS RELEASE Lithium-Ion Battery Pack Prices Fall to \$108 Per Kilowatt-Hour, Despite Rising Metal Prices: BloombergNEF,

Hrup vetrnih elektrarn

Wind Turbine Noise

mag. Tomaž Ogrin, univ. dipl. inž. kem. tehnol.

tomaz.ogrin@ijs.si

POVZETEK

Hrup vetrnih elektrarn (vetrnic, VE), ki se še vedno pospešeno gradijo na kopnem in na morju, je poseben. Sestavlja ga slišni del, nizkofrekvenčni del pod 200 Hz, infrazvok pod 20 Hz ter še posebno zdravju nevaren pulzirajoč infrazvok.

Znanstveni dokazi za omenjeni hrup so znani že od leta 1985 (dr. Kelley et al., po naročilu NASA).

V vsem času do danes se hrup vetrnih elektrarn ni hotel ali smel zajeti v pravne predpise, iz političnih razlogov (ovira gradnji VE) in ob pritisku industrije vetrnic (subvencije), kljub zahtevam civilnih iniciativ širom po svetu in v Sloveniji.

V zadnjem času se dolgoletni napor javnosti vendarle odražajo v pozitivnem odzivu evropske politike, ki sicer ustvarja neverjetno količino predpisov (direktiv), hrupa vetrnic pa doslej ni hotela pravno opredeliti. Več evropskih poslancev je že vzpodbudilo razpravo v EU parlamentu, kar omenjamo v prispevku.

V prispevku so omenjeni tudi znanstveni dokazi s pomočjo člankov in predstavitev znanstvenikov za zdravju škodljiv hrup vetrnih elektrarn. Poudarjena je predvsem zahteva, da se ta hrup pravilno in v celoti tudi meri. Dokler se ne znebimo političnega ignoriranja nizkofrekvenčnega hrupa in infrazvoka s tem, da predpisi zahtevajo merjenje zgolj s filtrom A v dBA, bodo investitorji še naprej zatrjevali, da je hrup v dovoljenih mejah in da lahko gradijo vetrnice vsega nekaj sto metrov od naselij. Pokazalo se je, da tudi danska uredba, menda ena boljših, ne zajame celotnega hrupa vetrnih elektrarn, saj še vedno uporablja filter A.

Značilno za tako politiko je tudi neupoštevanje zahtev varuha človekovih pravic, da se nizkofrekvenčni hrup pravno opredeli v predpisu.

Meritev hrupa brez filtra A je bila izvedena tudi v Slovenji pri VE Dolenja vas. Izmerjena je bila velika prekoračitev nizkofrekvenčnega hrupa v območju infrazvoka.

Članek zaključujemo z objavo konference v okviru Evropskega parlamenta o hrupu vetrnih elektrarn in njegovem vplivu na zdravje. Znanstveno je dokazan nujen odmik vetrnic od naselij **od 5 do 10 km**.

KLJUČNE BESEDE

Vetrna elektrarna, nizkofrekvenčni hrup, infrazvok, dBA, zdravje, Evropski parlament, komisija, poslanci.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s). Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia

© 2025 Copyright held by the owner/author(s).

<https://doi.org/10.70314/is.2026.env.156>

ABSTRACT

The noise generated by wind turbines—which continue to be rapidly constructed both onshore and offshore—is distinct in nature. It comprises an audible component, a low-frequency component (below 200 Hz), infrasound (below 20 Hz), and—of particular concern for health—pulsating infrasound.

Scientific evidence regarding this type of noise has existed since 1985 (Dr. Kelley et al., commissioned by NASA).

To date, however, wind turbine noise has not been incorporated into legal regulations—either by choice or by design—due to political reasons (as it hinders construction) and pressure from the wind industry (driven by subsidies), despite demands from civic groups worldwide and in Slovenia.

Recently, long-standing public efforts have finally begun to elicit a positive response from European policymakers; while the EU generates a vast number of regulations and directives, it had previously refused to legally define wind turbine noise. Several Members of the European Parliament have initiated discussions on this matter within the European Parliament, a development highlighted in this article.

The article also cites scientific evidence—drawing on papers and presentations by experts—regarding the health risks associated with wind turbine noise. Particular emphasis is placed on the need for proper and comprehensive measurement of this noise. As long as political disregard for low-frequency noise and infrasound persists—manifested in regulations that mandate measurement solely using the A-weighting filter (dBA)—developers will continue to claim that noise levels remain within permissible limits and that wind turbines can be built just a few hundred meters from residential areas. It has become apparent that even the Danish regulation—arguably one of the better ones—fails to account for the full spectrum of wind turbine noise, as it still employs the A-weighting filter.

Such a policy is also characterized by a failure to heed the Ombudsman's calls for low-frequency noise to be legally defined within the regulations.

Noise measurements without the A-weighting filter were also conducted in Slovenia at the Dolenja vas wind power plant. Significant levels of low-frequency noise in the infrasound range were recorded.

We conclude the article by highlighting a European Parliament conference on wind turbine noise and its impact on health. It has been scientifically proven that wind turbines must be set back **5 to 10 km from settlements**.

KEYWORDS

Wind turbine, low-frequency noise, infrasound, dBA, health, European Parliament, Committee, Members of the European Parliament (MEPs)

1. UVOD

Posebnega hrupa vetrnih elektrarn (VE, vetrnice), ki je škodljiv za ljudi in živali, niso nikjer uspeli odpraviti. Prebivalstvo mu je izpostavljeno **za 20 let**, kot je najavljena življenjska doba vetrnic, potem pa vetrnice zamenjajo z novimi za nadaljnjih 20 let. Kdo naj pristane na tako usodo?

Problemатiko hrupa vetrnih elektrarn sva z dr. Deželakom, ekspertom akustike, posebej tudi za hrup vetrnic, predstavila na **IS2020/Okolje**, v sklopu širše obravnave VE z naslovom: Vetrne elektrarne niso za Slovenijo [1].

Toda še do danes slovenska politika ni bila sposobna izdelati predpisov za hrup VE in za najmanjšo dovoljeno razdaljo med VE in naselji. Tako razdaljo, da hrup VE ne škoduje zdravju in normalnemu bivanju prebivalstva.

Situacija na področju hrupa VE je absurda: če ljudje ne morejo spati, ker sosed ali gostišče povzroča prekomeren hrup (predpisi) po 22 uri, pride na klic policija ali inšpekcija. Če pa ljudje zaradi hrupa vetrnice ne morejo spati in pokličejo inšpekcijo ali policijo, pa ne ukrepajo, ker ni predpisov. **Preverjeno** pri VE Dolenja vas, KS Senožeče, občina Divača.

Priporočam ogled videov, ki so namenjeni širšemu občinstvu in zato avtorji skušajo bolj poljudno podati vsebine. Tudi vse druge povezave so namenjene širši javnosti, **predvsem pa politiki** v pomoč pri sprejemanju predpisov za hrup vetrnic.

2. Evropska komisija in hrup vetrnih elektrarn

Pričakovanja, da bo Evropska komisija objavila predpise za merjenje hrupa VE in njegove še sprejemljive meje, se niso uresničila. Pač pa je pritiskala na države članice za pospešeno gradnjo vetrnic. Tako je nastal tudi pritiskom ustrezni naš zakon, sprejet leta 2025 **Zakon o spodbujanju** rabe obnovljivih virov energije (ZSROVE-1). V njem je tudi neodgovorno postavljen visok cilj povečanja od sedanjih 25% na 33% delež OVE za leto 2030, ki sloni na strategiji razogljičenja in podnebni nevtralnosti do leta 2050 (4.člen). Nujno je potrebna takojšnja odprava teh neznansvenih zahtev politike, ki ima za posledico tudi vsiljevanje vetrnic po Sloveniji.

V letošnjem letu (2026) pa so dolgoletni napori civilne družbe več evropskih držav [25] vendarle uspeli priti do dialoga o hrupu vetrnih elektrarn na nivoju evropskega parlamenta (PETI).

3. Vprašanja Evropski komisiji o hrupu VE

Evropska poslanka iz Slovenije **Zala Černilec Tomašič** (SDS) je poslala Evropski komisiji vprašanja o hrupu VE z zahtevo po pisnem odgovoru [2].

Zaradi razčlenitve postavljenih vprašanj kasneje v prispevku, vprašanja navajamo:

Zadeva: Hrup vetrnih elektrarn, infrazvok in varovanje javnega zdravja

Nedavne razprave na ravni EU, tudi v Odboru za peticije (PETI), so opozorile na regulativne vrzeli glede emisij hrupa iz vetrnih elektrarn ter njihovih potencialnih vplivov na javno zdravje in kakovost bivanja.

Komisija je priznala, da hrup vetrnih elektrarn ni posebej urejen v zakonodaji EU in da obstoječe metodologije ne zajemajo v celoti nizkofrekvenčnega hrupa in infrazvoka.

V tem okviru:

1. Ali namerava Komisija predlagati posebna pravila ali smernice na ravni EU za hrup vetrnih elektrarn, vključno z usklajenimi metodami za merjenje, spremljanje in ocenjevanje nizkofrekvenčnega hrupa in infrazvoka?

2. Kako bo zagotovila, da bodo prihodnje posodobitve politike EU na področju hrupa ustrezno upoštevale tehnološki razvoj ter kumulativne vplive vetrnih elektrarn na prebivalce v bližini?
3. Ali bo razmislila o uvedbi minimalnih zaščitnih standardov za prizadete prebivalce, kot so obvezne akustične študije, okrepljene presoje vplivov na zdravje ali smernice za previdnostno umeščanje novih projektov?

Vloženo: 15.4.2026

4. Odgovor komisarke Jessike Roswall v imenu Evropske komisije [3]. (poudarki avtorja TO)

10.7.2026

Kot je navedeno v odgovoru na pisno vprašanje E-000019/2026, je direktiva o okoljskem hrupu (1) še vedno glavni zakonodajni instrument EU za obravnavanje čezmerne obremenitve s hrupom. Osredotoča se na prometni hrup in hrup zaradi industrijskih dejavnosti, navedenih v Prilogi I k direktivi o industrijskih emisijah (2).

Toda direktiva o industrijskih emisijah **ne zajema proizvodnje električne energije iz vetrnih turbin**. Kljub temu so projekti vetrnih elektrarn lahko predmet presoje vplivov na okolje (3). V tem primeru je treba oceniti emisije hrupa in opredeliti ukrepe za odpravo morebitnih škodljivih učinkov.

Svetovna zdravstvena organizacija (SZO) je leta 2018 pripravila smernice (4) za oblikovanje priporočil za varovanje zdravja ljudi pred izpostavljenostjo okoljskemu hrupu, ki ga povzročajo različni viri, vključno z vetrnimi turbinami. SZO je pogojno priporočila, naj zvočni hrup vetrnih turbin podnevi in ponoči ne presega stopnje 45 decibelov, da se preprečijo razdraženost in motnje spanja, zaradi pomanjkanja zadostnih znanstvenih dokazov pa ni predlagala posebnih mejnih vrednosti ali smernic v zvezi z infrazvokom.

V trenutni fazi znanstvenega razvoja in razvoja politik v zvezi s hrupom na svetovni ravni in na ravni EU je zato v ospredju še vedno **odgovornost držav članic**, da zagotovijo zaščito državljanov in državljanov pred hrupom vetrnih turbin, in sicer tako, da po potrebi in ob upoštevanju lokalnih okoliščin opredelijo in izvršujejo posebne zahteve glede hrupa, pri katerih se lahko uporabijo mejne vrednosti, ki jih priporoča SZO.

(1) Direktiva 2002/49/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 25. junija 2002 o ocenjevanju in upravljanju okoljskega hrupa (UL L 189, 18.7.2002, str. 12)

(2) Direktiva (EU) 2024/1785 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 24. aprila 2024 o spremembi Direktive 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta o industrijskih emisijah (celovito preprečevanje in nadzorovanje onesnaževanja) in Direktive Sveta 1999/31/ES o odlagališčih odpadkov (UL L, 2024/1785, 15.7.2024).

(3) V skladu z Direktivo 2011/92/EU, kakor je bila spremenjena z Direktivo 2014/52/EU. Direktiva 2014/52/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 16. aprila 2014 o spremembi Direktive 2011/92/EU o presoji vplivov nekaterih javnih in zasebnih projektov na okolje (UL L 124, 25.4.2014).

(4) <https://www.who.int/publications/i/item/9789289053563>.

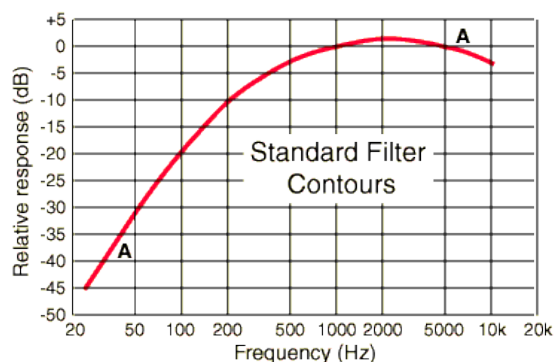
5. Uporabnost priporočil Svetovne zdravstvene organizacije (SZO/WHO) za hrup vetrnih elektrarn

EU komisija ugotavlja, da na nivoju EU ne obstajajo predpisi o hrupu VE in svetuje ob morebitni odsotnosti domačih predpisov o hrupu VE možnost uporabe priporočil SZO:

Environmental noise guidelines for the European region (2018) [4]

SZO priporočila so **neuporabna** za hrup VE. **Razlog:** uporaba enot za merjenje in podajanje hrupa VE v **dBA**. A pomeni filter, ki zmanjša nizkofrekvenčni del hrupa VE (NFH, pod 200 Hz) in ne meri infrazvoka (ki se ne sliši, so **vibracije pod 20 Hz**), ki sta oba ključna elementa hrupa VE in škodujeta zdravju. Obenem SZO ne predvideva meritev **pulzov** infrazvoka, ki nastaja, ko gre krak vetrnice mimo stebra. Vsi trije deli hrupa VE gredo tudi **skozi zaprta** okna v bivališča (velika valovna dolžina) in se lahko znotraj ojačajo zaradi **resonance** (odboj od sten). Tudi meritev tega hrupa **ni** predvidena v SZO publikaciji.

Diagram 1: filter A [1][22]



Zato se hrup VE pravilno meri v dBlin, torej **brez** filtra, lahko piše samo dB, kar meri pravo energijo hrupa, ki deluje kot vibracije na organizem. Za **dBlin** so izdelali kasneje standard IEC 61672 (2003), ki se označuje z **dBZ** (brez filtra, zero) [5].

Diagram 2: pulzi dosežejo tudi 100 dB

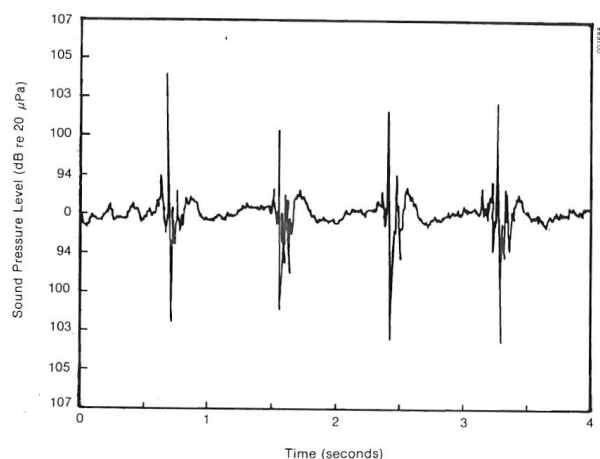


Figure 3-3. Typical Pressure-Time Plot of MOD-1 Acoustic Emissions Containing Strong Period Impulses. (Two complete rotor revolutions and four blade passages)

Diagram 2 pulzov VE je bil izmerjen že leta 1985 (Kelley et al.) [6]

Toda, na **strani 85** SZO publikacije pa le omenjajo: "Vetrne turbine lahko ustvarjajo infrazvok ali nižje frekvence zvoka kot prometni viri". In tudi: "ustvarjajo amplitudne modulacije (strokovni termin za pulze), kar je lahko vir nadpovprečne moteče moči. To ga razlikuje od hrupa iz drugih virov in ni bilo vedno ustrezno okarakterizirano. Standardne metode merjenja zvoka, najpogostejše vključno z A-uteževanjem

(strokovni izraz za filtriranje) morda ne zajamejo nizkofrekvenčnega zvoka in amplitudne modulacije, značilne za hrup vetrnih turbin".

Na kratko: SZO enostavno noče vpeljati merjenja hrupa VE in se izmika. Ali avtorji teksta SZO res ne poznajo kopice znanstvenih del, ki jasno opredeljujejo škodljiv hrup VE, vse od meritev dr. Kelleya in sodelavcev za agencijo NASA (ZDA) leta 1985? NASA je naročila študijo, ker so se prebivalci, oddaljeni do 3 km od vetrnice pritoževali nad nevzdržnim hrupom VE. Študija je dokazala tudi pulze infrazvoka, ki nastanejo, ko gre krak VE mimo stebra in celoten krak zavibrira.

Vemo sicer, da so take mednarodne publikacije pa tudi standardi vedno kompromis med državnimi politikami, industrijo, medtem, ko prebivalci niso vključeni. Kompromis se ustvarja že v tehničnih komisijah.

6. Ekspertna obravnava hrupa VE

6.1. Meritev hrupa VE Dolenja vas, občina Divača

Napačno merjenje hrupa vetrnih elektrarn v dBA je razvidno tudi iz **Diagrama 3** za VE Dolenja vas (prikazan na Mednarodnem znanstvenem posvetu: Hrup vetrnih elektrarn in mogoči vplivi na življenjsko okolje, Ljubljana, 15. januar 2020, avtor diagrama dr. Ferdinand Deželak) [14], str. 23, ki primerja merjenje s filtrom A (levo) in brez filtra (desno).

Iz levega diagrama v **Diagramu 3** je razvidno, da filter A vedno bolj zmanjšuje obstoječi hrup proti nizkim frekvencam. Na skrajni levi je oznaka frekvence 12,5 Hz (kar spada v območje infrazvoka), kjer ta filter izmeri le še 5 dBA. Pravi hrup (vibracije) vetrne elektrarne dobimo, če filter A odstranimo in na skrajni levi desnega diagrama ravno tako pri frekvenci 12,5 Hz, izmerimo dejanski hrup vetrne elektrarne, ki znaša blizu 70 dB. To pa je izredno velika **prekoračitev** znosnega hrupa in je povsem nesprejemljiva za prebivalce. Posebno se to pozna ponoči, saj ta hrup zaradi nizke frekvence (velike valovne dolžine) prodira skozi zaprta okna. V stanovanjih pa se nizkofrekvenčni hrup, katerega valovna dolžina je primerljiva z dimenzijami posameznih bivalnih prostorov lahko še ojača zaradi resonance (odbitega zvoka med stenami).

Zato bi morali meriti hrup vetrnih elektrarn tudi v **stanovanjih**. Pa še z dodatno zahtevo, da se **merijo pulzi** vibracij in ne povprečje kot sedaj predvidevajo neprimerni predpisi za druge vrste hrupa. V povprečjih se pulzne vibracije zabrišejo, čeprav so glavni vir škodljivih vplivov na zdravje.

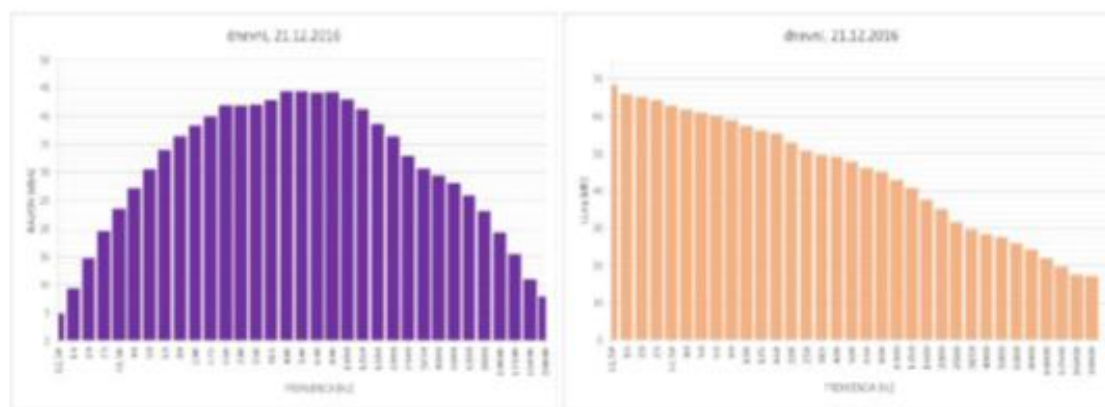
Ne smemo pozabiti, da imajo tudi naši notranji organi **lastne frekvence**. Pa pogledajmo lastne frekvence notranjih organov (v Hz – hercih, t. j. nihajih na sekundo), povprečno frekvenco in območje, ker smo pač biotsko raznovrstni: srce ~ 1 Hz (0,2 – 2 Hz), možgani ~ 10 Hz (7 – 13 Hz), pljuča in dihalni sistem ~ 5 – 40 Hz, krvni obtok 0,05 – 0,3 Hz, oči ~ 19 Hz (**UI Grog3**). Torej nam infrazvok vzbuja notranje organe, recimo tekom 20 let, kot naj bi bila življenjska doba vetrnic. Nekaj posledic najdemo v predavanju dr. Pereire.

6.2. Predavanje dr. Mariane Alves Pereire, Ljubljana, 25.5.2018, Hiša Evropske unije [7], [8]

Obravnava hrupa VE, od fizikalnih osnov naprej, merjenje brez A filtra in škodljiv vpliv na zdravje, na organizem in na bivalne razmere ter vpliv na živali. Na širjenje hrupa vplivajo tudi stanje

Diagram 3:

Na spodnji sliki levo vidimo tipičen A vrednoten spekter za večjo VE, na sliki desno pa neutežen spekter. Spekter njenega hrupa pada približno s 4 dB na oktavo.



Slika 11. A vrednotena (levo) ter neutežena (desno) spektralna analiza za dnevne meritve

atmosfere, veter, vrsta tal, krajina, vendar se v prispevku osredotoča na meritve, predpise in vpliv na zdravje. Hrup je močnejši pri VE z **večjo nazivno močjo** ter pri **večjem številu** vetrnic v skupini.

Pomembna pa je tudi **razdalja** med naselji in vetrnicami. Običajno je prekatka. V Sloveniji za **razdaljo ni predpisa**, prav tako ni uredbe za merjenje hrupa VE in njegove dovoljene meje. Ljudje so v **brezpravnem** položaju v primeru pritožb čez hrup VE. **Preverjeno** pri VE Dolenja vas, ki je 850 m od naselja.

6.3. Najnovejše ugotovitve o hrupu VE:

6.3.1. Predavanje dr. Kena Mattssona; Copenhagen 2025, iz Univerze v Uppsali, Švedska, z naslovom: "Ločevanje mitov od dejstev o hrupu vetrnih turbin".

(Separating Myth from Fact on Wind Turbine Noise). Dr. Ken Mattsson je razvil SoundSim360, znanstveni model, ki temelji na več kot 25 letih raziskav na področju širjenja zvoka in računalniške akustike.

Obenem je model **preverjal** z meritvami.

Zaključki:

- Vetrne turbine oddajajo infrazvok, ki se širi vsaj 10 km, na nivojih, za katere je dokazano, da vplivajo na ljudi.
- Lestvice dBA z utežmi (filtrom) A niso primerne za nizkofrekvenčni zvok.
- Atmosferski dejavniki in pulzirajoči hrup motnjo okrepijo.
- Varna razdalja od velikih turbin naj bi bila **5–10 km**. [9]

6.3.2. Predavanje dr. Håkana Enboma, Copenhagen 2025, z naslovom: "Infrazvok vpliva na možgane" ("Infrasound Affects the Brain." Dr. Håkan Enbom je dr. med., specialist za otorinolaringologijo in otonevrolog.

Ugotovitve:

Infrazvok vpliva na možgane neposredno skozi lobanjo in posredno skozi notranje uho. **Pulzirajoča** narava infrazvoka iz vetrnih turbin lahko vpliva na vsakogar. Zelo občutljivi ljudje bodo prizadeti že po kratki izpostavljenosti. Približno 25–30 % prebivalstva se rodi z genetsko nagnjenostjo k preobčutljivosti

Mnogi od teh imajo migrenske glavobole in z migreno povezane bolezni. Infrazvok lahko povzroči tudi razdražljivost, motnje spanja, tesnobo in depresijo. Obseg infrazvočne travme pri človeku je odvisen od zvočnega tlaka in trajanja izpostavljenosti. [10]

6.3.3. Članek dr. Ursule Marie Bellut-Staack, 2023

Neodvisna znanstvenica (Independent Scientist), Berlin, Nemčija [11]

Dr. Ursula Bellut-Staack je zdravnica in znanstvenica ter mednarodno priznana strokovnjakinja za mikrocirkulacijo.

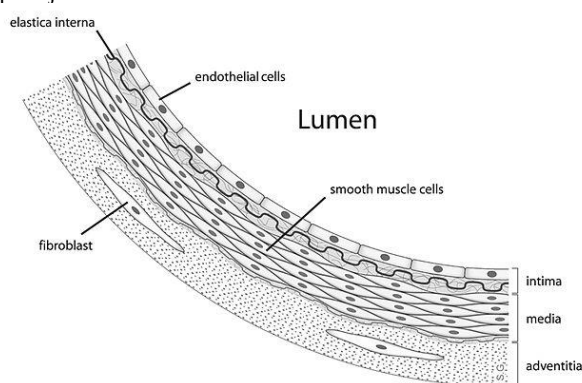
Naslov članka je: "Poškodba endotelija in motnje mikrocirkulacije pri ljudeh in živalih, izpostavljenih infrazvoku, zaradi neenakomernih mehanskih vplivov." ("Impairment of the Endothelium and Disorder of Microcirculation in Humans and Animals Exposed to Infrasound due to Irregular Mechano-Transduction").

Ugotovitve:

Infrazvok pomeni mehanske vibracije, ki negativno vplivajo na dele organizma, tudi na celični ravni in škodujejo normalnim celičnim procesom.

Dokazan je škodljiv vpliv infrazvoka na notranjo celično oblogo (endotelij) žil, predvsem kapilar in na mikrocirkulacijo..

Slika 1: Lumen je notranji prostor žile. Zunanja plast pa je epitelij.



Prebivalci, izpostavljeni hrupu, ki živijo v bližini infrastrukture, kot so **bioplinke naprave, toplotne črpalke**, blokovne **termoelektrarne** in večje industrijske **vetrne turbine** (IWT), po vsem svetu kažejo predvsem simptomatologijo, povezano z motnjami mikrocirkulacije.

Avtorica navaja z ref. (50) in (51) tudi **dr. Mariano Alves Pereiro**, ki je podobno prepoznala mikro delovanje nizkofrekvenčnega hrupa na organizem, vključno z infrazvokom. Znake bolezni, ki jih je ugotavljala pri ljudeh, je poimenovala **vibroakustična bolezen**.

Fizikalno predstavo si lahko ogledamo v predavanju dr. Pereire v poglavju 6.2.

(50) Alves-Pereira, M. and Branco, C. (2007) Vibroacoustic Disease: Biological Effects of Infrasound and Low-Frequency Noise Explained by Mechanotransduction Cellular Signalling. Progress in Biophysics and Molecular Biology, 93, 256-279. [12]

(51) Branco, C. and Alves-Pereira, M. (2015) Low Frequency Noise-Induced Pathology: Contributions Provided by the Portuguese Wind Turbine Case. Euronoise 2015, Maastricht, 31 May-3 June 2015, 2659-2661. [13]

7. Strokovna obravnava nizkofrekvenčnega hrupa v Sloveniji

Slovensko društvo za akustiko (SDA) je organiziralo dve posvetovanji:

- O hrupu vetrnih elektrarn 2020 [14]
- O hrupu obratovalne opreme – toplotne črpalke 2022 [15] [16]

8. Zahteva Varuha človekovih pravic Petra Svetine za uvrstitev nizkofrekvenčnega hrupa v predpise, 3.5.2024 [17] Uvod Varuha:

"Varuh človekovih pravic Republike Slovenije (Varuh) je v okviru obsežne obravnave problematike okoljskega hrupa s poudarkom na manku regulacije nizkofrekvenčnega hrupa (NF-hrup) ter neustavnosti Uredbe o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uredba) poleg evidentne kršitve načela pravne države, ki jo velja pripisati Vladi Republike Slovenije (vlada) in Ministrstvu za okolje, podnebje in energijo (MOPE), ugotovil tudi izjemno pomanjkljivo sodelovanje resorjev te veje oblasti. Še posebej skrb vzbujajoče je podcenjevanje Ustavnega sodišča in odsotnost sposobnosti samorefleksije MOPE, kar je povsem nerazumno in nesprejemljivo."

MOPE je ustrezni predpis obljubil do konca leta 2024, pa tega ni storil niti kasneje. **Predpisa za hrup VE nimamo.**

Predpisi o hrupu se nahajajo na strani MOP.

MOPE je naročil **analizo**: Analiza metodologije merjenja hrupa vetrnih elektrarn, izdelal LDSTA Laboratorij za delovne stroje in tehnično akustiko, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana. [18]

Naloga je bila: **ALI JE METODOLOGIJA OCENJEVANJA HRUPA VE PO DANSKI UREDBI PRIMERNA ZA IMPLEMENTACIJO V SLOVENIJO?**

Rezultat je bil **negativen**, Danska uredba uporablja dBA in ne meri pulzov, niti hrupa v stanovanjih. **Ni uporabna v Sloveniji.**

Pojasnilo: Že pri prejšnjih varuhih je bila na srečanjih izpostavljena odsotnost predpisa za hrup vetrnih elektrarn. Sprožilec tokatne zahteve Varuha pa je bila pritožba občanke

zaradi nizkofrekvenčnega hrupa zunanje enote **toplotne črpalke**. Zato je dodan tudi posvet SDA o tem.

9. Nedavne razprave na ravni EU, tudi v Odboru za peticije (PETI) – omemba, glej točko 3

Po več letih je odsotnost evropskih predpisov za hrup vetrnih elektrarn prišla do obravnave v evropskih organih, po zaslugi vztrajnosti predstavnikov civilnih iniciativ iz več evropskih držav. Za primerjavo: Evropska komisija (EK) je predpisala pritrdjevanje zamaškov na plastenke, izogibala se je pa hrupu vetrnic, ki je dokazano škodljiv za zdravje ljudi.

Odgovor, ali so znanstvene raziskave dr. Kena Mattssona in drugih dovolj, da bo EK pristopila k izdelavi ustrezne direktive za hrup VE, je na strani politike. **Minimalna razdalja 5 – 10 km** med vetrnicami in naselji v Sloveniji, ki jo je dr. Ken Mattsson znanstveno utemeljil, bi praktično izločila vse načrte z vetrnicami po hribovitih krajih, ob naši razpršeni poseljenosti. V nasprotnem bi se ljudje bili primorani **odseljevati**, kot se to dogaja po svetu.

Načrtovanje, subvencioniranje in gradnja vetrnic je tesno povezana z **razogljčenjem**, tako, da je treba hkrati v politiki razčistiti, ali je boj proti **izpustom CO2 smiseln**. Znanost je že dala odgovor, da nam vztrajanje z razogljčenjem samo škoduje, saj **ni** znanstvenih dokazov, da izpusti CO2 upravljajo s podnebji našega planeta.

Osrednji letošnji evropski dogodek o hrupu vetrnih elektrarn je bila 24. marca 2026 v okviru Evropskega parlamenta **Konferenca o javnem zdravju in infrazvoku vetrne energije v EU** (Conference on Public Health and Wind Energy Infrasound in the EU), s podnaslovom: Neslišno, a ne neškodljivo (Unheard, but not harmless). [19][20]

Opomba: Povezavi na dva snemalca istega dogodka se nekoliko razlikujeta

Konferenco je organiziral **Fernand Kartheiser**, samostojni EU poslanec iz Luksemburga. Uvodno besedo je imela EU poslanka **Virginie Joron**, Francija, iz skupine Domoljubi za Evropo (Patriots for Europe Group).

Svoje predstavitve so imeli:

- Prof. Ken Mattsson, Univerza v Uppsali, Švedska
- Dr. Ursula Bellut-Staack, zdravnica, neodvisna znanstvenica, Berlin, Nemčija
- Morvan Le Berre, odvetnik, Odvetniška zbornica, Bruselj, Belgija
- Guy Willems, višji svetovalec-okolje in skupnost, Wind Europe – the voice of the wind energy industry (<https://windeurope.org/>)

Besedo so dobili tudi prisotni iz javnosti.

Po konferenci pa je 31.3.2026 **Fernand Kartheiser** posnel še **intervju** z dr. Kenom Mattssonom: Podkast s Kenom Mattssonom: Javno zdravje in infrazvok vetrnih elektrarn v EU (Podcast with Ken Mattsson: Public Health & Wind Energy Infrasound in the EU). [21]

10. Zaključek

Onesnaževanje okolja z nizkofrekvenčnim hrupom in infrazvokom je **nujno** omejiti s predpisi. Največji onesnaževalci s tem hrupom so vetrne elektrarne, v vedno večjem številu pa se pojavljajo močnejše zunanje enote toplotnih črpalk in klima naprav ter druge industrijske naprave in stroji.

Na posvetovanjih, na primer v Državnem svetu, je že bil izpostavljen predlog dr. Ferdinanda Deželaka, specialista za tovrsten hrup, da vlada oziroma pristojno ministrstvo ustanovi strokovno skupino za pripravo ustrezne uredbe, v kateri je pripravljen sodelovati.

Četudi je v **koalicijski pogodbi** nove vlade zapisano, da vetrne elektrarne ne pridejo v poštev pri nadaljnjem uvajanju obnovljivih virov, poglavje 4. Infrastruktura in energetika, stran 12 [23] pa so tovrstni predpisi nujno potrebni v daljšem času in za vse druge industrijske stroje, ki onesnažujejo okolje s tovrstnim hrupom, ne glede na to ali bo Evropska komisija izdelala ustrezen predpis ali ne.

Evropska komisija je že prejela poziv evropske industrije vetrnih elektrarn, naj **pospeši** vgradnjo vetrnic, saj jim naročila upadajo in je izdala direktivo [24], v kateri se sklicuje med drugim na Evropski zeleni dogovor, na podnebno nevtralnost do leta 2050 in na vmesni cilj zmanjšanja izpustov TG plinov za 55% do leta 2030 glede na leto 1990.

Značilno za take projekte je, da nimajo nobenega kazalca, parametra, ki bi ga sledili pri podnebnih spremembah, koliko **je to učinkovito**. To so nestrokovno zastavljeni projekti, vključno z vetrnicami, po domače - na pamet.

V korist zdravju prebivalstva ter morskega (kiti, večji organizmi) in kopnega živalstva (dokazano bežijo od vetrnic, veliki ptiči in netopirji pa so žrtve v tisočih po svetu, tudi rejne živali zbolevajo) pa je, da se **ukinejo** vsakršne **subvencije** za vetrnice ter ponovno znanstveno presodi ali lahko zamenjajo stabilne vire elektrike.

Nujna je ukinitve razogljičenja in davka na ogljikov dioksid, ki nimata nobenih vplivov na podnebne spremembe, bi omogočila večji gospodarski razvoj in prihodek, namesto nepotrebnih stroškov, hkrati pa bi omogočila prebivalcem hribovitih območij normalno življenje, brez bojazni, da jim politika uniči življenje z vetrnicami.

Grožnje z načrti **za preko 130 vetrnic** po Sloveniji od Haloz do Primorske in Notranjske so spodbudile ljudi, da so se organizirali v Združenje civilnih iniciativ za Slovenijo brez vetrnih elektrarn.

Najhujši pritiski na ljudi z načrti vetrnic, celo z Državnim prostorskim načrtom za VE Ojstrica nad Dravogradom, so bili pretekla štiri leta. Upam, da bo ta prispevek odprl oči odločevalcem, da bodo pozabili na vetrnice.

LITERATURA

- [1] Ogrin, T., Deželak, F., 2020, Vetrne elektrarne niso za Slovenijo, Arhiv IS IJS, Okolje https://is.ijs.si/?page_id=901
- [2] Černilec Tomašič, Z., 2026, Vprašanja EU poslanke https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-10-2026-001519_SL.pdf
- [3] Rosswal, J., 2026, Pisni odgovor, EU Komisija https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-10-2026-001519-ASW_SL.html
- [4] WHO, 2018, Environmental noise guidelines for the European region <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/f53c45ba-11d3-4502-a424-c1cf49f5a053/content>
- [5] dBZ, 2003: <https://scienceinsights.org/which-frequency-weighting-should-i-use-a-c-or-z/>
- [6] Kelley, N.D., et al., 1985 <https://docs.nlr.gov/docs/legosti/old/1166.pdf>
- [7] Dr. Mariana Alves-Pereira, 2018, Loredan, D. <https://www.youtube.com/watch?v=ZXCZ3OykrfE> (angleška verzija s podnapisi)
- [8] Dr. Mariana Alves-Pereira, 2018, Loredan, D. https://www.youtube.com/watch?v=sa2_dqLDmGk (prevajano, z nagovori)
- [9] Mattsson, K., 2025, Copenhagen <https://www.youtube.com/watch?v=gpHDJPcqCQY>
- [10] Enbom, K., 2025, Copenhagen <https://www.youtube.com/watch?v=teMrW8Kd4xU>
- [11] Bellut-Staack, U.M., 2023 <https://docs.wind-watch.org/Bellut-Staack-2023.pdf>
- [12] Alves-Pereira, M. and Branco, C., 2007 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079610706000927?via%3Dihub>
- [13] Castelo Branco, A.A. et al., 2015, Euro Noise <https://docs.wind-watch.org/Euronoise2015-000602.pdf>
- [14] http://www.drustvo-akustika.si/files/2020/04/Zbornik_MEDNARODNI-ZNANSTVENI-POSVET-O-HRUPU-VETRNIH-ELEKTRARN-IN-MOZNIH-VPLIVIH-NA-ZIVLJENJSKO-OKOLJE.pdf
- [15] <https://www.drustvo-akustika.si/files/2022/12/PRISPEVKI-strokovni-posvet-o-hrupu-obratovalne-opreme-in-moznih-vplivih-na-okolje.pdf>
- [16] <https://www.drustvo-akustika.si/files/2022/12/POVZETEK-IN-UGOTOVITVE-Strokovni-posvet-o-hrupu-obratovalne-opreme-in-moznih-vplivih-na-okolje.pdf>
- [17] Varuh človekovih pravic, 2024 <https://arhiv.varuh-rs.si/obravnavane-pobude/primer/nespostovanje-pravne-drzave-in-nerazumno-zavračanje-pomoci-drugega-resorja-botrujeta-zastoji-pri-nov/>
- [18] Prezelj, J. et al., LDSTA, 2024 <https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOPE/Okolje/Hrup/Analiza-metodologije-merjenja-hrupa-vetrnih-elektrarn.pdf>
- [19] Kartheiser, F., 2026, Ali so vetrne elektrarne nevarne za zdravje ljudi? <https://www.youtube.com/watch?v=0U19dL58g1U>
- [20] Save The Moat, 2026, Profesor Ken Mattsson o hrupu vetrnih turbin, infrazvoku in zastarelem modeliranju, Evropski parlament <https://www.youtube.com/watch?v=p3n2Hl4473Y>
- [21] Kartheiser, F., 2026 <https://www.youtube.com/watch?v=BP4kCWIGJJA>
- [22] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Sound/acount.html#c2>
- [23] Koalicijska pogodba 2026-2030 <https://www.gov.si/assets/vlada/Razno/2026/Koalicijska-pogodba-za-mandat-2026-2030.pdf>
- [24] Direktiva (EU) 2023/2413 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302413
- [25] CEAW (Coordination of European Actions on Wind Turbines), 2025 <https://euwind.org/legal-actions>

Od centralizirane k razpršeni energetiki: razpršena hramba energije kot temelj energetske demokracije

From Centralized to Distributed Energy: Distributed Energy Storage as a Foundation of Energy Democracy

Matjaž Valenčič
Zveza ekoloških gibanj Slovenije – ZEG
Krško, Slovenija
matjaz.valencic@gmail.com

Povzetek

Slovenska energetika je razpeta med dva razvojna modela. Prvi je centraliziran model, v katerem energijo proizvajajo velike elektrarne, sistem pa upravljajo velike energetske družbe. Ta pristop prevladuje tudi v aktualnem NEPN⁴, ne glede na to, ali temelji na jedrski energiji ali obnovljivih virih.

Drugi model je energetska demokracija, v kateri imajo gospodinjstva, lokalne skupnosti in energetske zadrage pomembno vlogo pri proizvodnji, hranjenju in upravljanju energije. Posodobljeni NEPN že vključuje nekatere elemente tega pristopa, kot so aktivni odjemalci, energetske skupnosti, hranilniki energije in virtualne elektrarne, vendar jih še vedno obravnava predvsem kot podporo obstoječemu sistemu. Posebnost skupnostnega upravljanja energije je »energetska gmajna«³, kjer si lokalni prebivalci delijo lokalno proizvedeno obnovljivo energijo po zgledu zgodovinskih "gmajn".

Prispevek zagovarja nadaljnji razvoj energetske demokracije z množičnim uvajanjem razpršene hrambe energije, razvojem socialnih energetskega združenja, uporabo javnih streh za skupnostne projekte ter podporo domači proizvodnji baterijskih sistemov in digitalnih rešitev. Takšen pristop bi lahko povečal energetske neodvisnosti državljanov, zmanjšal odvisnost od velikih energetskega sistemov ter zmanjšal energetske revščine, odložil ali optimiziral del naložb v centralne proizvodne zmogljivosti in distribucijsko omrežje.

Dilema NEPN: "jedrsko ali obnovljivo" naj se usmeri v "centralizirano ali razpršeno".

Ključne besede

energetska demokracija; razpršena hramba energije; energetske skupnosti; energetska revščina; energetska gmajna

Abstract

Slovenia's energy sector is caught between two development models. The first is a centralized model, where energy is generated by large power plants and the system is managed by major energy corporations. This approach dominates the current NECP⁴ (National Energy and Climate Plan), regardless of whether it is based on nuclear energy or renewable sources.

The second model is energy democracy, in which households, local communities, and energy cooperatives play a significant role in energy production, storage, and management. The updated NECP already includes certain elements of this approach—such as active consumers, energy communities, energy storage systems, and virtual power plants—but it still treats them primarily as a support mechanism for the existing system. A unique feature of community energy management is the "energetska gmajna"³ (energy commons), where local residents share locally produced renewable energy, modelled after historical community-owned pastures and lands (gmajne).

This paper advocates for the further development of energy democracy through the mass deployment of distributed energy storage, the growth of social energy cooperatives, the utilization of public rooftops for community projects, and support for domestic production of battery systems and digital solutions. Such an approach could increase the energy independence of citizens, reduce reliance on large energy systems, mitigate energy poverty, and postpone or optimize a portion of investments in centralized production capacities and the distribution grid.

The core dilemma of the NECP should shift from "nuclear vs. renewable" to "centralized vs. distributed".

Optional: Keywords

Energy Democracy; Distributed Energy Storage; Energy Communities; Energy Poverty; Energetska Gmajna (Energy Commons)

1. Nujnost preobrazbe v Era3 človeštva

Obstoječi energetske in družbene sistem (Era2) je nevzdržen in vodi v ekološki ter civilizacijski kolaps. Verbruggen v knjigi "Era3 of Humanity"¹ (2025) postavi zgodovinski okvir, ki uokvirja konkretne argumente.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia

© 2025 Copyright held by the owner/author(s).

<http://doi.org/10.70314/is.2026.env.31>

Tri obdobja človeštva po Verbruggnu ¹:

- **Era1 (do okoli 1800):** Temelji na obnovljivih virih energije (les, voda, veter, mišična sila). Civilizacije so živele v sožitju z naravnimi cikli.
- **Era2 (od industrijske revolucije do danes)** temelji na fosilni in jedrski energiji. Omogočila je izjemen tehnološki napredek in rast prebivalstva, vendar ustvarila ogromno toplogrednih plinov in radioaktivnih odpadkov. Z nepovratnimi škodljivimi vplivi ogroža podnebje in človeštvo.
- **Era3 (prihodnost)** predlaga pravično in etično družbo, vendar zahteva preobrazbo. Človeštvo mora preiti na trajnostni razvoj, ki temelji izključno na obnovljivih virih energije, usklajenih z zakoni Sonca in Zemlje.

Emisije toplogrednih plinov od leta 1970 vztrajno rastejo kljub številnim konferencam, pogodbam in mehanizmom. To je **popoln neuspeh dosedanjih podnebnih politik**. Tudi slovenska politika s ponavljanjem starih vzorcev (JEK2) ne odgovarja na izzive, ampak ohranja sedanje stanje.

2. Ključne zasnove: deluzivna resnica in energetska demokracija

Deluzivna ¹ resnica (zavajajoča ali ponarejena resnica) – ideja, ki je na videz strokovno utemeljena, vendar se v praksi izkaže za neizvedljivo ali družbeno škodljivo.

Primer deluzivne resnice je sedanja ureditev evropskega trga električne energije. Cena elektrike se praviloma oblikuje po najdražjem proizvodnem viru, zato lahko elektrika iz hidroelektrarn, amortiziranih jedrskih elektrarn ali sončnih elektrarn ustvarja visoke presežne dobičke. Proizvodni stroški teh virov so pogosto bistveno nižji od tržnih cen. Razpršeni hišni hranilniki omogočajo gospodinjstvom nakup elektrike v obdobjih zelo nizkih ali celo negativnih cen ter njeno porabo v času visokih cen. Hranilnik tako ni le tehnična naprava za stabilizacijo omrežja, temveč tudi ekonomsko orodje energetske demokracije ³, saj zmanjšuje odvisnost od cenovnih nihanj na trgu.

Merila deluzivne resnice so:

- **Jedrska energija** – nepremostljive težave (radioaktivni odpadki, proliferacija ⁶, nezdružljivost z OVE, izjemni stroški).
- **Vodikovo gospodarstvo** – proizvodnja, transport in shranjevanje vodika je tehnično zahtevno in finančno nesprejemljivo; večina vodika še vedno prihaja iz fosilnih goriv. Vodikova tehnologija je obetavna le kot vmesni korak za sintetični plin, za sezonsko hrambo viškov zelene elektrike.
- **Sistem trgovanja EU z emisijami (EU ETS)** je "črpalka za denar", ki ustvarja super-dobičke za velike onesnaževalce, ne da bi dejansko zmanjševala emisije.

Hišni hranilniki, ki omogočajo nakup elektrike, ko je poceni ⁸, in uporabo ob dragih urah, zmanjšujejo energetske revščine ³. Praktična ilustracija zasnove "**super-dobičkov**" – prihodkov brez truda, ki jih ustvarjajo monopolisti na račun "ujetih strank".

Big Money: Verbruggen ¹ definira neoliberalizem kot režim, ki ga poganja "Big Money" (premožna skupina ljudi in korporacij), kot energetski fevdalizem. Ima tri glavne stebre: prevlado finančnega kapitala, deregulacijo in privatizacijo ter ideološko usmerjanje preko medijev, raziskovalnih inštitutov in politikov. Treba je vzeti oblast iz rok peščice in jo vrniti ljudem.

Energetska demokracija je politična, družbena in gospodarska zasnova, ki zagovarja idejo, da mora imeti ljudstvo (skupnosti, delavci in državljani) neposreden nadzor in lastništvo nad viri energije ter energetske infrastrukturo.

3. Vizija rešitve: prehod od spodaj navzgor

Jedro zasnove Ere3 – prehod v novo dobo, zahteva aktiven, vztrajen in organiziran pristop državljanov, ki prevzemajo nadzor nad lastnimi viri ¹. Predstavitev koncepta energetske demokracije na podlagi Verbruggnove teorije je dopolnjena s slovenskim scenarijem razpršene energetike ³. Po oceni IJS ⁷ znaša tehnični potencial sončnih elektrarn na strehah približno 27 TWh letno. Zaradi izboljšanja izkoristka fotonapetostnih modulov je današnji tehnični potencial verjetno še višji. Slovenija ima približno 860.000 gospodinjstev ⁹, od tega okoli 550.000 v individualnih stavbah ⁹. Če bi večina teh hiš dobila hranilnik zmogljivosti 20 kWh in moči 10 kW, bi nastal razpršen sistem s približno 10 GWh hranilne zmogljivosti in 5 GW regulacijske moči. Tudi če bi bilo zgolj ¼ zmogljivosti hranilnikov dostopno virtualni elektrarni, bi to **zagotavljalo 1 uro dobave elektrike ob največji konični obremenitvi** ¹⁰. Tak sistem ne nadomešča proizvodnih zmogljivosti, pomembno pa povečuje prožnost elektroenergetskega sistema in zmanjšuje konične obremenitve. Če bi država deset let spodbujala postopno vgradnjo približno 500.000 hišnih hranilnikov, bi bila skupna naložba približno 1 MRD € ⁸. Koristi za distribucijsko omrežje bi se pojavljale sproti, saj vsak hranilnik zmanjšuje lokalne konične obremenitve in povečuje lastno porabo sončne energije.

Predlog prehoda "od spodaj navzgor" v Sloveniji:

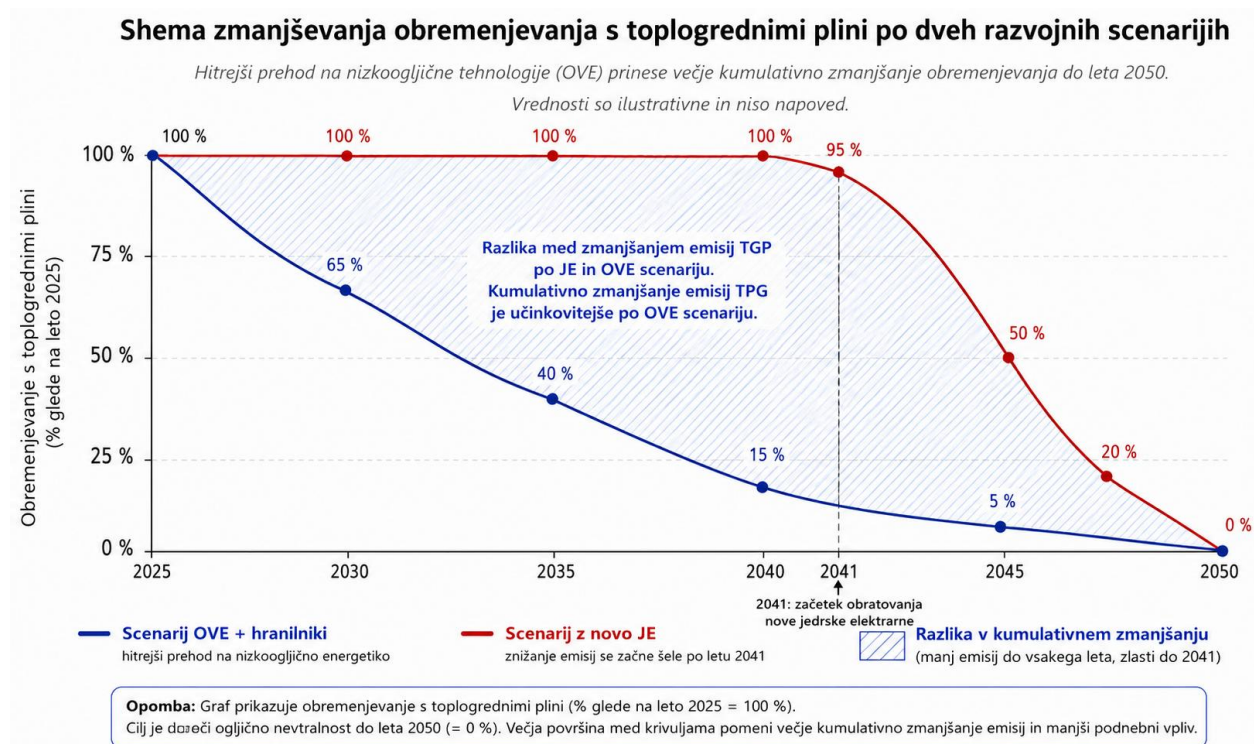
- **Neodvisni upravljavci lastne energije:** Vsako gospodinjstvo naj postane samoproizvajalec energije s hranilnikom (in sončno elektrarno, če so dani pogoji). To prinaša neposredno odpornost proti odvisnosti od omrežja.
- **Virtualna elektrarna** ³ združuje razpršene hranilnike v mrežo. Pol milijona hišnih hranilnikov, povezanih v virtualno elektrarno, bi stabiliziralo omrežje "od spodaj navzgor". To je vizija o zmanjšanju koničnih obremenitev in o odlogu dragih centraliziranih naložb.
- **Energetske zadrage in skupnosti** ¹¹: upravljanje skupnosti in lokalne, razpršene strukture, "energetska gmajna" ^{3"} –sodobna verzija skupnostne samooskrbe, kjer si sosedje delijo energijo v okviru zadrug. To neposredno izpodbija monopol velikih družb.
- **Socialna pravičnost:** socialne energetske zadrage bi energetske revnim omogočile dostop do sončnih elektrarn na javnih strehah in do hišnih hranilnikov. S tem bi izkoreninili energetske revščine in prekinili krog, kjer energetski boni le vračajo denar trgovcem.

4. Izzivi in omejitve

Slovensko omrežje bo s pravilnim vodenjem virtualnih elektrarn razbremenjeno, vendar ostaja še veliko odprtih vprašanj. Treba bo prilagoditi zakonodajo, opredeliti razmerja med sistemskim operaterjem (ELES), agregatorji in lastniki hranilnikov, financirati začetne vložke za revna gospodinjstva ter zagotoviti kibernetsko varnost.

Ključno je ločiti dva bistveno različna modela, ki zahtevata različno politiko in regulacijo.

- **Socialni hranilniki** so namenjeni zniževanju stroškov revnih gospodinjstev – ostanejo izven virtualnih elektrarn, služijo izključno lastni oskrbi in so subvencionirani s strani države.



Slika 1: JE scenarij dopušča večji ogljični odtis kot OVE. Izbrati moramo med OVE+JE ali OVE.

Vir: avtor (z uporabo orodij umetne inteligence)

- **Tržni hranilniki** prostovoljno vstopajo v virtualne elektrarne in ustvarjajo dobiček za lastnike, pri čemer imajo ti vedno možnost rezervirati delež baterije za lastne potrebe.

Če teh izzivov ne naslovimo vnaprej, tvegamo, da se razpršeni model zreducira na novo obliko koncentracije moči – namesto ljudem bo služil peščici velikih družb. Izzivi so realni, a ne nerešljivi: zakonodajo lahko prilagodimo, finančne ovire naslovimo s subvencijami in zadrugami, tehnične izzive pa rešujemo postopoma z učenjem iz tujine (Nemčija, Avstralija, Kalifornija ...).

Za delovanje virtualne elektrarne potrebujemo zanesljivo in varno povezavo med hišnimi baterijami in agregatorji. Varnost mora biti vgrajena že v same naprave, ki morajo v primeru okvar ali napadov znati delovati tudi samostojno. Pravilno izvedena digitalizacija tako ne ustvarja novih ranljivosti, ampak gradi resnično odporen energetski sistem, po priporočilih vgrajene varnosti Agencije EU za kibernetisko varnost ¹².

5. Tveganja centralizirane in jedrske poti

Kritiziramo centralizirano, kapitalsko intenzivno rešitev, ki ohranja obstoječi sistem.

- **Kritika jedrske energije:** JEK2 naj bi stal do 22 MRD € (z možnimi prekoračitvami), to znaša ~10.000 € na prebivalca, v kar niso vključeni stroški odlaganja visokoradioaktivnih odpadkov.

Nasprotje je **energetska gmajna** – ki omogoča večjo stopnjo samooskrbe kot centralni viri, le ceneje in hitreje.

- **JEK2** (po uradni časovnici) ne bo začel obratovati pred letom 2041, kar je prepozno za podnebne cilje. Premier Robert Golob je opozoril, da je jedrska energija del rešitve, vendar opozarja na pomen 'integrala izpustov' – ključna je hitrost zmanjševanja TGP v tem trenutku. Ker jedrski objekti zahtevajo dolgotrajno gradnjo, država ne more zgolj čakati nanje, temveč mora takoj ukrepati z razpršenimi obnovljivimi viri, da zmanjša skupne kumulativne izpuste do leta 2040. (integral obremenjevanja s TGP ⁵).
- **Ključno vprašanje:** "Če bomo do leta 2050 zgradili zanesljiv sistem iz OVE in hranilnikov, zakaj bi potrebovali še jedrsko? Za zadnjih 10 %?"
- **Kritika vodikovega gospodarstva,** vodik je primeren le kot vmesnik za proizvodnjo sintetičnega plina iz viškov OVE, za sezonsko hranjenje.
- **Kritika obstoječega cenovnega sistema:** ceno določa najdražji vir, kar prinaša izredne super-dobičke cenejšim proizvajalcem.

6. Zaključek: Izbira med peklom in rajem

"Oblikuj raj ali zdrsni v pekel." ¹ je izbira, s katero se sooča človeštvo. Konkretno: centralizirani, tvegani in dragi sistem (JEK2) ali razpršeni, domači in demokratični sistem (OVE + hranilniki + učinkovitost).

Močna sporočila:

- **Nujnost:** Podnebne spremembe so največji izziv. Čakanje na velike, počasne projekte (JEK2) je manj učinkovito ⁵.
- **Razpoložljivost rešitev:** Tehnologije za prehod v Ero3 so na voljo, cenovno dostopne in se še izboljšujejo (potencial OVE in hranilnikov ²).
- **Ovire:** Ovire postavljajo močni interesi (Big Money), ki imajo koristi od ohranjanja sedanjega sistema (energetski lobiji).
- **Rešitev:** Prehod se mora zgoditi od spodaj navzgor. Posamezniki in skupnosti morajo prevzeti nadzor nad svojo energijo (poziv k "energetski demokraciji" in "energetski gmajni").
- **Trajnost in pravičnost:** Novi sistem ne sme biti le zelen, ampak tudi pravičen. Odpraviti je treba energetske revščine in preprečiti, da bi zeleni prehod postal nov vir špekulacij.

Izbira med velikimi sistemi (deluzivna resnica, ki podaljšuje Ero2) in vizijo razpršene, domače, obnovljive energetike (ki odpira pot v Ero3) ni le tehnična ali ekonomska, temveč globoko politična in etična. Se bo država oklepala preteklosti ali bo stopila v prihodnost, kjer energija ni več orodje za nadzor ljudstva in dobiček peščice, temveč temelj za suvereno, pravično in trajnostno družbo?

Vprašanje ni, ali bomo imeli dovolj energije, ampak kdo bo imel v rokah stikalo: peščica velikih trgovcev v centralah ali svobodni državljani v svojih skupnostih?

7. Viri

1. Verbruggen, A. (2025). *Era3 of humanity: Shape paradise or slip into hell*. Mayfly Books. (prosto dostopno na spletu prek www.mayflybooks.org)
2. Valenčič, M. (2026, 3. julij). Vizija energetskega razvoja. *ZaEnSvet*. <https://zaensvet.si/vizija-energetskega-razvoja/> (Dostopno prek spletnega arhiva)
3. Valenčič, M. (2026, 28. junij). [Od energetske revščine do energetske demokracije](#). *Večer*.
4. Republika Slovenija, Ministrstvo za infrastrukturo. (2024). [Nacionalni energetski in podnebni načrt \(NEPN\)](#). Ljubljana. (Uradni strateški dokument)
5. [GOV.SI](#). (2024, 9. oktober). *Prime Minister Golob: "Nuclear energy is part of the solution to the climate crisis, not part of the problem"*.
6. Von Hippel, F., Takubo, M. in Kang, J. (2026). Plutonij: kako se je sanjsko jedrsko gorivo spremenilo v nočno moro. Ljubljana: ZaEnSvet – okoljska pismenost; Krško: Zveza ekoloških gibanj Slovenije – ZEG.
7. Institut "Jožef Stefan" (IJS). (2020). Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov v Sloveniji do leta 2050. Podnebna pot 2050.; https://www.podnebnapot2050.si/wp-content/uploads/2020/06/Deliverable_C_1_1-Part-5B-Potencial-son%C4%8Dnih-elektrarn-na-strehah-objektov-v-Sloveniji.pdf
8. Valenčič, M. (2026); Svinjsko poceni; ZaEnSvet; <https://zaensvet.si/svinjsko-poceni/> (Dostopno prek spletnega arhiva)
9. Statistični urad RS; <https://www.stat.si/statweb/Field/Index/17/47>, <https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/10265>.

10. Naš stik. (2026). Slovenija postavila nov rekord v konici odjema.; <https://www.nas-stik.si/novice/podrobnosti-novice/slovenija-postavila-nov-rekord-v-konici-odjema>
11. Evropska komisija. (2024). Energetske skupnosti (Energy Communities); https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-consumers-and-prosumers/energy-communities_en
12. ENISA. (2021). Cybersecurity Considerations for Distributed Energy Resources. European Union Agency for Cybersecurity.

Opomba: dostop do elektronskih virov avgust 2026.

Simulation-Based Techno-Economic Analysis of Household Solar Panels and Battery Storage in Slovenia

Julija Stopar
julija.stopar@ijs.si
Jožef Stefan Institute
Ljubljana, Slovenia

Matjaž Gams
matjaz.gams@ijs.si
Jožef Stefan Institute
Ljubljana, Slovenia

Abstract

This paper presents a simulation framework for estimating the economic and operational effects of residential photovoltaic (PV) panels and battery storage in Slovenia. The framework combines location-specific weather data, household demand, battery operation, grid import and export, and electricity-tariff assumptions at discrete time intervals. The analysis is organized around two main sources of variation: regional solar resource, represented by Ljubljana, Portorož, and Murska Sobota, and household electricity demand, represented by low-use and high-use archetypes. PV-only and PV-plus-battery configurations are compared using NPV, payback, self-consumption, self-sufficiency, grid-import, and export metrics. The aim is to provide a transparent techno-economic structure for examining when residential PV investment is financially and technically beneficial under Slovenian conditions.

Keywords

photovoltaics, battery storage, household energy optimization, net present value, payback, self-sufficiency, electricity tariffs, simulation

1 Introduction

Rising electricity prices, changes in tariff structures, increasing interest in distributed renewable generation, and the growing availability of residential battery systems have made household energy planning a relevant decision problem. For an individual household, however, the financial outcome of installing solar panels and battery storage depends on several interacting factors: electricity demand, PV production, seasonal irradiation, regional weather differences, investment cost, subsidies, export compensation, and battery operation. Annual PV yield alone is therefore insufficient for assessing whether an installation is technically useful or financially attractive.

This paper proposes a simulation-based decision-support model for estimating the investment performance of household PV and battery installations in Slovenia. The model compares PV-only and PV-plus-battery configurations across Ljubljana, Portorož, and Murska Sobota and across low- and high-demand archetypes. The core objective is to estimate how much grid electricity can be avoided, how much self-sufficiency can be achieved, and under which regional and economic assumptions the investment becomes financially justified. The model therefore reports both technical and financial metrics rather than treating energy autonomy and investment value as interchangeable objectives.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia

© 2026 Copyright held by the owner/author(s).

<https://doi.org/https://doi.org/10.70314/is.2026.env.60>

2 Related Work

This work is positioned at the intersection of photovoltaic performance modeling, household energy simulation, battery-storage dispatch, and techno-economic assessment. PV performance models estimate output from irradiance, solar position, roof geometry, module characteristics, and system losses. Open tools such as `pvl` provide established methods for calculating solar position, plane-of-array irradiance, and PV-system performance [1]; these concepts form the basis of the weather-to-generation pipeline used here.

A second relevant research area is PV self-consumption in buildings. Luthander et al. show that local use of PV electricity becomes increasingly important when exported energy is less valuable than electricity consumed on site [2]. Battery-storage economics are more ambiguous than PV-only economics: profitability depends strongly on electricity prices, battery cost, export remuneration, degradation, the regulatory environment, and control strategy [3, 4]. The present study applies these established concepts to Slovenian weather-station data and explicitly compares three locations and two household-demand archetypes, linking the general modeling literature to a local techno-economic question.

3 Simulation Model

3.1 Overall Structure

The simulator models electricity flows between household demand, photovoltaic generation, battery storage, and the electricity grid. At each time step, household demand is supplied first by available PV generation. Surplus PV energy is stored when battery capacity and charging limits allow, and any remaining surplus is exported. When PV production is insufficient, the battery may discharge to reduce grid imports; remaining demand is supplied from the grid. The same time step, PV conversion method, battery-dispatch rule, tariff interpretation, financial calculation, and evaluation metrics are used in every scenario. Only scenario inputs—primarily location, demand, PV size, and battery size—change, so differences between scenarios can be attributed to those inputs rather than to changes in model logic.

3.2 Time Resolution

The current implementation uses a configurable time step, with a 30-minute default matching the seasonal household-load profiles and weather-processing workflow used in this experiment. Power values are converted to interval energy using the time-step length. Slovenian power-based network billing, however, uses 15-minute maximum-demand measurements [8]. The reported results therefore represent energy balance and investment performance, but not a full simulation of peak-demand charges. This distinction is particularly relevant for batteries because potential peak-shaving value is not included.

3.3 Household Load

Household demand is generated from representative seasonal 30-minute load profiles. Each time step is assigned the corresponding seasonal time-of-day value and the resulting profile is scaled to the annual base consumption of the selected archetype. Additional technology loads are then added: heat-pump demand is concentrated in colder months, domestic hot water is represented as a recurring daily load, cooling is assigned to the warm season, and EV charging is calculated from annual driving distance and energy consumption per 100 km. The resulting profiles are reproducible scenario archetypes rather than measured smart-meter traces, so they are intended for controlled comparisons rather than household-specific prediction.

3.4 Photovoltaic Generation and Weather Data

The PV model uses location-specific weather-station data collected by the Slovenian Environment Agency. The simulation covers 1 November 2024–31 October 2025 using Ljubljana Bežigrad for Ljubljana, Portorož Airport for Portorož, and Rakičan for the Murska Sobota area. The weather pipeline parses timestamps, standardizes column names, removes duplicate timestamps, clips negative irradiance values, aligns observations to the simulation index, and interpolates internal gaps before PV conversion. Solar position and plane-of-array irradiance are calculated using the configured location and fixed roof geometry. All reported scenarios assume a south-facing roof with 35° tilt and 180° azimuth; roof geometry is therefore controlled rather than optimized across locations.

The simplified PV power model is:

$$P_{PV}(t) = P_{rated} \cdot \frac{G_{POA}(t)}{1000} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{loss}, \quad (1)$$

where P_{rated} is installed PV peak power and $G_{POA}(t)$ is plane-of-array irradiance. The scenarios use $\eta_{inv} = 0.96$, $\eta_{loss} = 1.00$, and 0.5% annual PV degradation.

3.5 Battery Model

The battery model represents usable capacity, state of charge (SOC), charge/discharge power limits, efficiency, and minimum and maximum SOC. Low-use scenarios use a 2 kWh battery with a 1 kW power limit, while high-use scenarios use an 8 kWh battery with a 4 kW limit. Both begin at 50% SOC, operate between 10% and 100%, and use a 95% efficiency parameter. No terminal SOC constraint is imposed, so the final SOC is not forced to equal the initial value. State of charge follows:

$$SOC(t+1) = SOC(t) + E_{charge}(t)\eta_c - \frac{E_{discharge}(t)}{\eta_d}, \quad (2)$$

subject to:

$$SOC_{min} \leq SOC(t) \leq SOC_{max}. \quad (3)$$

The reported cases use the same rule-based dispatch. Battery degradation is modeled at 2% per year; replacement is not included.

3.6 Electricity Tariff and Economic Model

Annual savings are calculated relative to a no-PV baseline and projected over the economic horizon. The financial model includes the retail import price, export compensation, discount and inflation rates, PV and battery CAPEX, subsidy, and technology degradation. Investment performance is reported using NPV,

Table 1: Base economic assumptions.

Parameter	Value
Import electricity price	0.18 EUR/kWh
Export compensation	30% of import price
Discount rate	4%/year
Inflation	2%/year
Project lifetime	20 years
PV cost	1200 EUR/kWp
Battery cost	700 EUR/kWh
Subsidy	25% of gross CAPEX

Table 2: ARSO 1991–2020 sunshine indicators.

Location	Sunshine (h/year)	Days without sunshine
Ljubljana Bežigrad	1928	79
Rakičan / Murska Sobota	2048	72
Portorož Airport	2396	54

lifetime cash flow, and simple and discounted payback. The time-block tariff data represent the network-tariff energy component, while the scenario economics use the full retail import-price assumption shown in Table 1. Power-based network charges and 15-minute peak-demand charges are not modeled [8]; fixed installation, operating, inverter-replacement, and battery-replacement costs are also omitted in the base case.

4 Scenario Design

4.1 Regional Scenarios

The regional comparison uses Ljubljana, Rakičan/Murska Sobota, and Portorož to span lower-, intermediate-, and higher-sunshine conditions within Slovenia. The selection is based on ARSO 1991–2020 station normals [5, 6, 7]. These indicators provide the quantitative basis for the regional scenario design while roof geometry, simulation logic, and economic assumptions remain fixed, so the comparison primarily reflects differences in the modeled solar resource.

4.2 Household Demand Archetypes

The low-use archetype represents a small, weakly electrified household with two occupants and 2500 kWh/year of base demand. It has no heat pump, EV, electric domestic-hot-water load, or active cooling. It should therefore be interpreted as a lower-demand case rather than as an estimate of the average Slovenian household.

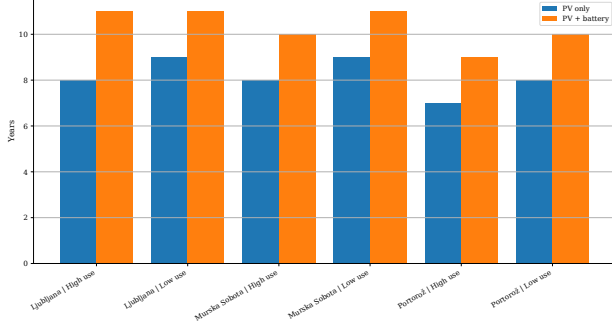
The high-use archetype represents a more electrified four-person household. It includes 5000 kWh/year of base demand, 5000 kWh/year for heat-pump operation, 1200 kWh/year for domestic hot water, 600 kWh/year for cooling, and 3400 kWh/year of EV charging, corresponding to 20,000 km/year at 17 kWh/100 km. These values are scenario assumptions, but their order of magnitude is consistent with reported household, heat-pump, and EV data [9, 10, 11, 12].

4.3 System Size and Experimental Scope

Low-use scenarios use 3 kWp PV with an optional 2 kWh battery, while high-use scenarios use 10 kWp PV with an optional 8 kWh battery. These sizes are not optimized; they are scenario assumptions chosen to avoid comparing a large PV-battery system with a household that has limited ability to use the generated electricity locally. Because household demand and PV/battery size change together, the results should be interpreted as comparisons

Table 3: Scenario results; CAPEX is net of subsidy.

Case	Import (MWh/yr)	Export (MWh/yr)	Self-cons. (%)	Self-suff. (%)	CAPEX (EUR)	NPV (EUR)	Payback (yr)
LJ low, PV	1.8	3.0	19.0	28.0	2700	1703	9
LJ low, PV+B	1.2	2.4	34.9	51.2	3750	855	11
LJ high, PV	11.1	8.8	28.3	23.7	9000	7873	8
LJ high, PV+B	9.2	6.7	45.2	37.9	13200	4201	11
MS low, PV	1.8	3.2	18.3	29.1	2700	1998	9
MS low, PV+B	1.2	2.6	33.1	52.6	3750	1112	11
MS high, PV	11.0	9.6	27.6	25.0	9000	9040	8
MS high, PV+B	8.9	7.4	44.1	39.9	13200	5358	10
PO low, PV	1.7	3.9	16.4	30.2	2700	2585	8
PO low, PV+B	1.2	3.2	29.8	54.9	3750	1658	10
PO high, PV	10.6	11.4	25.8	27.2	9000	11440	7
PO high, PV+B	8.4	9.1	40.9	43.1	13200	7595	9

**Figure 1: Payback period by location, demand level, and system type.**

between matched archetypes, not as a causal decomposition of demand and system-size effects. Fixed-size comparisons and PV- and battery-size sweeps are therefore needed to separate these effects.

5 Evaluation Metrics

The main technical metrics are grid import and export, self-consumption, and self-sufficiency. Self-consumption is the share of PV production used locally rather than exported, whereas self-sufficiency is the share of household demand supplied by PV directly or through the battery. They are reported separately because a system can have high self-consumption while still covering only a small fraction of annual demand. Financial metrics include CAPEX, simple and discounted payback, lifetime cash flow, and NPV:

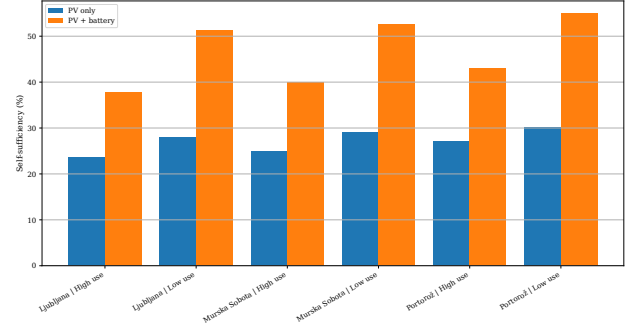
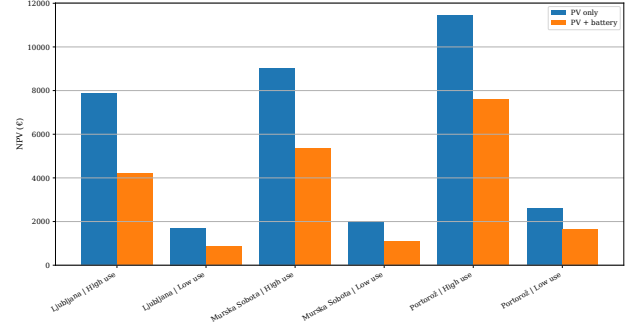
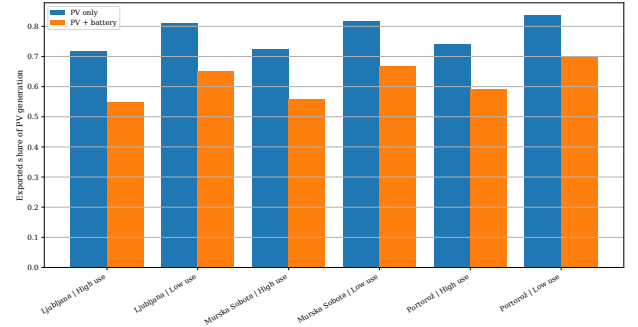
$$NPV = -I_0 + \sum_{y=1}^T \frac{CF_y}{(1+r)^y}, \quad (4)$$

where I_0 is initial investment, CF_y annual cash flow, T project lifetime, and r discount rate. A positive NPV means that discounted lifetime savings exceed the investment cost. NPV is reported alongside simple payback because payback describes when the initial investment is recovered, while NPV describes whether the investment is financially worthwhile over the full analysis horizon.

6 Results

Table 3 summarizes numerical results for the PV-only and PV-plus-battery cases. The no-PV case is simulated internally as the baseline for savings calculations but is not plotted. Figures 1–4 show the corresponding payback, self-sufficiency, NPV, and export-fraction comparisons.

The results follow the ordering suggested by the sunshine-duration indicators, with Portorož producing the highest annual PV generation and Ljubljana the lowest. The financial differences

**Figure 2: Household self-sufficiency by location, demand level, and system type.****Figure 3: NPV by location, demand level, and system type.****Figure 4: Exported PV share by location, demand level, and system type.**

are also visible in Table 3: PV-only payback ranges from 7 to 9 years, while the battery cases range from 9 to 11 years under the base assumptions. Batteries increase self-sufficiency in every scenario—for example, from 28.0% to 51.2% in the Ljubljana low-use case and from 27.2% to 43.1% in the Portorož high-use case—but reduce NPV relative to the corresponding PV-only case. Thus, greater technical autonomy does not necessarily imply greater financial value.

7 Discussion

The scenario comparison highlights two interacting determinants of residential PV economics. Solar resource determines the potential output of a given PV system, while household demand and its timing determine how much of that output can be used locally. Low-demand households export a larger share when PV production exceeds demand, which reduces the effective value of generation when export compensation is below the retail import price. More electrified households can absorb more generation locally, although higher demand does not automatically imply

better economics because system size and capital cost also increase.

The battery results illustrate the difference between technical and financial objectives. Storage consistently raises self-sufficiency by shifting daytime surplus into later demand, but this improvement does not offset the additional battery CAPEX in the reported base cases. The results should therefore be interpreted as scenario comparisons rather than universal investment recommendations. A positive NPV in one scenario does not imply that all households in the same region should install the same system; conversely, a weak battery NPV in one case does not imply that batteries are always uneconomic. Their value depends on tariff design, battery cost, subsidy level, usable capacity, degradation, export compensation, and the household's ability to shift consumption.

7.1 Limitations

Several limitations affect interpretation of the results. Weather-station measurements represent conditions at the station rather than at an exact rooftop and do not capture local shading from buildings, vegetation, terrain, or horizon effects. The PV model also omits detailed module-temperature behavior, inverter clipping, partial shading, snow cover, and soiling. Household demand profiles are archetypal rather than measured smart-meter traces.

The tariff model does not include 15-minute power charges, excess-power charges, or the potential value of battery peak shaving. In addition, household demand and system size vary together, which prevents their effects from being isolated in the current comparison. Finally, the model has not yet been validated against measured PV production, and the reported results do not include a formal sensitivity analysis over electricity price, export compensation, discount rate, technology cost, subsidy, or weather year.

7.2 Future Work

Future work should validate simulated PV production against measured data or an independent performance model for at least one location. Further experiments should use fixed-system comparisons and PV- and battery-size sweeps to separate demand from sizing effects. Extending the simulation to 15-minute resolution would support explicit power-charge and peak-shaving analysis, while economic sensitivity cases could test how robust the reported investment results are to changing prices, costs, subsidies, and weather years.

8 Conclusion

This paper presents a simulation-based framework for evaluating household photovoltaic and battery-storage investments in Slovenia. The model compares PV-only and PV-plus-battery configurations across Slovenian locations and household-demand archetypes using NPV, payback, self-consumption, self-sufficiency, export, and grid-import metrics. The scenario comparison shows that investment performance depends not only on regional irradiance but also on household electricity demand and the alignment between consumption and PV generation. Under the base assumptions, batteries improve self-sufficiency but do not necessarily improve NPV relative to the corresponding PV-only systems. These conclusions are conditional on the stated model assumptions and should be revisited after validation, explicit power-charge modeling, and broader sensitivity analysis.

References

- [1] Holmgren, W. F., Hansen, C. W., and Mikofski, M. A. 2018. pvlib python: a Python package for modeling solar energy systems. *Journal of Open Source Software*, 3(29), 884. <https://doi.org/10.21105/joss.00884>
- [2] Luthander, R., Widén, J., Nilsson, D., and Palm, J. 2015. Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. *Applied Energy*, 142, 80–94. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.028>
- [3] Hoppmann, J., Volland, J., Schmidt, T. S., and Hoffmann, V. H. 2014. The economic viability of battery storage for residential solar photovoltaic systems: A review and a simulation model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 1101–1118. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.068>
- [4] Azuatalam, D., Paridari, K., Ma, Y., Förstl, M., Chapman, A. C., and Verbič, G. 2019. Energy management of small-scale PV-battery systems: A systematic review considering practical implementation, computational requirements, quality of input data and battery degradation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 555–570. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.007>
- [5] Agencija Republike Slovenije za okolje. 2024. *Podnebne statistike 1950–2020: Ljubljana Bežigrad*. https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_location/statistike_1950_2020/normale-192-Ljubljana_Bezigrad.html
- [6] Agencija Republike Slovenije za okolje. 2024. *Podnebne statistike 1950–2020: Letališče Portorož*. https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_location/statistike_1950_2020/normale-464-Letalisce_Portoroz.html
- [7] Agencija Republike Slovenije za okolje. 2024. *Podnebne statistike 1950–2020: Rakičan*. https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_location/statistike_1950_2020/normale-355-Rakican.html
- [8] Uradni list Republike Slovenije. 2025. *Akt o spremembah in dopolnitvah Akta o metodologiji za obračunavanje omrežnine za elektrooperaterje*. <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2025-01-2723/akt-o-spremembah-in-dopolnitvah-akta-o-metodologiji-za-obračunavanje-omreznine-za-elektrooperaterje>
- [9] Schlemminger, M., Ohrdes, T., Schneider, E., and Knoop, M. 2022. Dataset on electrical single-family house and heat pump load profiles in Germany. *Scientific Data*, 9, 56. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01156-1>
- [10] Eurostat. 2026. Energy use in EU households drops for 3 years in a row. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20260610-2>
- [11] Slovenian Environment Agency. 2022. Electricity consumption in households. <https://kazalci.arso.gov.si/index.php/en/content/electricity-consumption-households>
- [12] Weiss, M., et al. 2024. Energy Consumption of Electric Vehicles in Europe. *Sustainability*. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/17/7529>

Okoljski učinek na enem kvadratnem kilometru: primerjava tehnologij za Slovenijo

Environmental impact per square kilometre: technology comparison for Slovenia

Matjaž Gams
Institut »Jožef Stefan«
Jamova 39
Ljubljana, Slovenija
matjaz.gams@ijs.si

Povzetek

Prispevek predstavi primerjalni okvir, v katerem so zemljišča in energetske tehnologije preračunani na 1 km² in eno leto v slovenskih razmerah. Stolpca O₂ in CO₂ pri biotskih površinah merita letno fotosintetsko vključitev v celotno biomaso – zrnje oziroma listje, stebila in korenine. To ni neto sprememba zaloge ogljika po žetvi ali razgradnji. Vsa biomasa je v izbrani sistemski meji obravnavana kot hrana oziroma biološki pridelek in je izločena iz energijskih enačb; energijski stolpec vsebuje samo neto elektriko. Za skupni imenovalac je uporabljena končna poraba elektrike v Sloveniji, 13,72 TWh leta 2025. Osrednji rezultati so 165,6 GWh/km² za strešno PV, 98,9 GWh/km² za SE Prapretno, 5,82 GWh/km² za veter, 50,8 GWh/km² vodne površine za HE Brežice, 3.796 GWh/km² za model premogovne elektrarne in 5.551 GWh/km² za konservativno normirano lokacijo NEK. Pšenica, koruza, travnik in gozd v enem letu vključijo v biomaso približno 2.150, 2.460, 1.830 in 2.200 t CO₂/km² ter sprostijo približno 1.560, 1.790, 1.330 in 1.600 t O₂/km². Rezultati opisujejo letne tokove, ne zanesljive moči, trajnega ponora ali tehnično razpoložljivega prostora.

Ključne besede: raba tal, letna biomasa, CO₂, O₂, fotovoltaika, veter, hidroenergija, premog, jedrska energija, Slovenija

Abstract

This paper audits a comparison in which land covers and electricity technologies are normalized to one square kilometre and one year under Slovenian conditions. For biotic surfaces, the O₂ and CO₂ columns report annual photosynthetic incorporation into whole-plant biomass, including grain or foliage, stems and roots; this is not the net change in carbon stocks after harvest or decomposition. Under the selected system boundary, all biomass is treated as food or biological output and excluded from the energy equations; the energy column contains net electricity only. Slovenia's 2025 final electricity consumption of 13.72 TWh is the common demand denominator. Central electricity-density results are 165.6 GWh/km² for rooftop PV, 98.9 GWh/km² for Prapretno ground-mounted PV, 5.82 GWh/km² for wind, 50.8 GWh/km² of reservoir surface for Brežice hydropower, 3,796 GWh/km² for a coal-plant model and 5,551

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia

© 2026 Copyright held by the owner/author(s).

http://doi.org/DOI_RECEIVED_AFTER_REVIEW

GWh/km² for a conservatively normalized Krško site envelope. The results describe annual flows, not firm capacity, permanent carbon storage or technically available land.

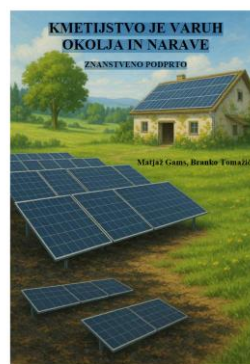
Keywords: land use, annual biomass, CO₂, O₂, photovoltaics, wind, hydropower, coal, nuclear power, Slovenia

1 Uvod

Okoljske primerjave elektrarn so navadno izražene na kilovatno uro, pri prostorskem načrtovanju pa je omejena dobrina tudi površina. Isti kvadratni kilometer je lahko njiva, gozd, streha, akumulacija ali energetska območje. Pristop »številke, ne pridevniki« [1] je zato uporaben, če so imenovalac, sistemska meja in vrsta površine zapisani izrecno.

Prispevek nadaljuje razpravo iz Bele knjige o strokovnem varovanju okolja [2] in zbornika Kmetijstvo je varuh okolja in narave (slika 1) [3]. Pri biotskih stolpcih uporablja proizvodno mejo: meri, koliko CO₂ 1 km² pšenice, koruze, travnika ali gozda v enem letu vključi v celotno biomaso – tudi v korenine – in koliko O₂ pri tem sprostijo. Gre za letni fotosintetski tok, ne za trajni neto ponor. Vsa biomasa se vodi kot hrana oziroma biološki pridelek in se ne pretvarja v električni ekvivalent. Slovenske razmere nadomestijo tuje mediane, kadar so na voljo domači podatki.

Primerjava se navezuje na raziskave prostorske gostote energetskih virov. Van Zalk in Behrens [4] sta pokazala, da se rezultati močno razlikujejo glede na definicijo neposredne in celotne površine. Ta prispevek uporablja slovenske obratovalne podatke ter ločeno prikazuje letni tok skozi biomaso in neposredno proizvodnjo elektrike.



Gams in Tomažič (ur.), 2025



Gams, 2020

Slika 1: Predhodni publikaciji, iz katerih izhaja vprašanje poenotenega in številčno preverljivega vrednotenja posegov v prostor [2, 3].

Raziskovalno vprašanje je: kakšen letni tok O₂ in CO₂ skozi biomaso ter kakšno proizvodnjo elektrike dobimo na 1 km² ob uporabi javno preverljivih slovenskih podatkov? Rezultat je nabor fizičnih kazalnikov, ne celovita lestvica »najbolj zelene« tehnologije. Analiza ne vključuje cene, časovnega profila, omrežja, hranilnikov, biotske raznovrstnosti ali družbene sprejemljivosti.

Raziskovalna naloga je bila izračunati pluse glede energije in minuse glede negativnega vpliva na okolje in iz tega dobiti končno oceno primernosti tehnologije. Slabo je, če preveč obremeni okolje in proizvede premalo energije.

2 Metoda in sistemska meja

Osnovni imenovalec je 1 km² in eno leto. V stolpcu neto elektrike so samo električne GWh, oddane po upoštevanih sistemskih izgubah oziroma povzete iz objavljene neto ali pričakovane letne

proizvodnje. Vsa biomasa pšenice, koruze, travnika in gozda je obravnavana kot hrana oziroma biološki pridelek in je izločena iz energijskih enačb. Končna poraba pri slovenskih odjemalcih je leta 2025 znašala 13.720 GWh [5]. Zahtevana površina je $A = 13.720/E$, kjer je E električna proizvodnja na km²; pri vrsticah brez elektrike je označeno ×.

Površine niso povsem iste vrste. Pri PV na strehi je imenovalec bruto površina primerne strehe, pri SE Prapretno dejansko projektno zemljišče, pri vetru celotno območje z razmiki turbin, pri HE Brežice vodna gladina, pri premogu in NEK pa eksplicitni modelni lokacijski ovoj. Zadnji stolpec je zato aritmetični ekvivalent letne energije in ne napoved izvedljivega nacionalnega scenarija. Poleg tega niso upoštevane površine rudnikov za izdelavo materialov, goriva itd. Kljub temu naj bi pokazale določene relacije.

Preglednica 1. Letni tok na 1 km² v slovenskih razmerah. Pri biotskih vrsticah negativen CO₂ pomeni vključitev v biomaso tekočega leta, pozitivni O₂ pa sproščeni kisik. Električni stolpec ne vsebuje hrane, lesa, rib, biomase ali koristne toplote.

Površina	/	O ₂ , ekv. ^a	CO ₂ v	biomasa ^a	Neto	elektrika ^b	Površina	za
Njiva s pšenico		+1 560	-2 150		0		×	
Njiva s koruzo		+1 790	-2 460		0		×	
Travnik		+1 330	-1 830		0		×	
Gozd (letni NPP)		+1 600	-2 200		0		×	
Asfalt / cesta		0	0		0		×	
PV na strehi		0	0		165,6		≈82,9	
PV na tleh (SE Prapretno)		0	0		98,9		≈138,8	
Vetrnica nad njivo		≈+1 560	≈-2 150		5,82		≈2 356	
Ravninsko jezero / HE Brežice		0	0		50,8		≈270	
Premogovna TE		-2,78 mio	+3,82 mio		3 796		≈3,61	
Jedrska - NEK (2024)		0	0		5 551		≈2,47	

^a Za njivo, travnik in gozd je prikazana letna celotna biomasa s koreninami. Uporabljeni sta stehiometriji 44/12 za CO₂/C in 32/12 za O₂/C. Pšenica (6,2 t/ha zrnja) in koruza (7,1 t/ha zrnja) temeljita na podatkih SURS za leto 2025 [6], 14-odstotni vlagi zrnja, žetvenem indeksu 0,50 in koreninah v višini 25 % nadzemne sušine. Travnik uporablja NPP 5,0 t C/ha, gozd pa NPP 6,0 t C/ha [7]. Vetrna vrstica ohrani biotsko ozadje pšenične njive. Pri premogu je prikazana neposredna poraba O₂ pri zgorevanju. ^b Samo neto elektrika; vsa biomasa je zunaj energijske enačbe. ^c $A = 13.720/E$. Neposredna ničla ni ničla v življenjskem ciklu [8].

Nacionalna osnova. Agencija za energijo za leto 2025 navaja 13.720 GWh končne porabe električne energije [5]. Ta količina je uporabljena v vseh izračunih zadnjega stolpca; ne gre za primarno energijo in ne za vsoto elektrike ter toplote.

Biotski CO₂ in O₂. Fotosintezo ogljikovega hidrata ponazori $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2$. Na 1 kg ogljika v biomaso to pomeni

3,67 kg CO₂ iz zraka in 2,67 kg O₂ v zrak. Delež ogljika v sušini je 0,44, zrnje pa je preračunano na 14 % vlage. Za pšenico dobimo 13,33 t sušine/ha (zrnje, slama in korenine) oziroma 5,87

t C/ha: približno -2.150 t CO₂/km² in +1.560 t O₂/km². Za koruzo dobimo 15,27 t sušine/ha oziroma 6,72 t C/ha: približno -2.460 t CO₂/km² in +1.790 t O₂/km².

Travnik z NPP 5,0 t C/ha da približno -1.830 t CO₂ in +1.330 t O₂ na km², gozdni letni NPP 6,0 t C/ha pa približno -2.200 t CO₂ in +1.600 t O₂ na km². To ni samodejno trajni ponor: ko se pridelek zaužije ali ko se slama, listje in korenine razgradijo, se večina ogljika vrne v ozračje. Preglednica meri letno fotosintetsko vključitev v rastlino, ne spremembe zaloge ogljika po koncu prehranjevalne oziroma razkrojne poti.

PV na strehi. ARSO za notranjost Slovenije navaja približno 1.250 kWh/m² letnega globalnega obseva [9]. Pri 70 % uporabne površine, 22 % učinkovitosti modulov in sistemskem faktorju 0,86 dobimo 165,6 GWh/km². Uporabni delež je predpostavka; evropske analize opozarjajo na senčenje, naklon, ovire, statiko in servisne poti [10].

PV na tleh. SE Prapretno je slovenski empirični primer: ocenjena letna proizvodnja 3,362 GWh na 34.000 m² pomeni 98,9 GWh/km² [11]. Ker stoji na rekultiviranem odlagališču, njen rezultat ne pomeni, da bi imel enak oportunitetni strošek park na rodovitni njivi. V stolpcu CO₂ so prikazani neposredni tokovi obratovanja, ne izdelava modulov.

Veter. V Sloveniji je bilo leta 2024 pri 3,4 MW vetrne moči proizvedenih 6,60 GWh, kar pomeni faktor izrabe 0,2216 [12]. Ob projektni gostoti 3,0 MW/km² [13] je $E = 5,82$ GWh/km²; biotska stolpca ohraniti 99,1 % njivskega ozadja. Za 13,72 TWh bi aritmetično potrebovali 2.356 km² projektnega območja. To ni trditev, da je toliko primerne, dovoljenega in omrežno dosegljivega prostora; slovenski vzorec 3,4 MW je tudi zelo majhen.

Hidro. HE Brežice ima srednjo letno proizvodnjo 161 GWh [14], vodna gladina bazena pa meri približno 317 ha oziroma 3,17 km². Gostota je zato 50,8 GWh/km² vodne površine in aritmetični ekvivalent 270 km². Rezultata ni mogoče linearno preslikati na poljubno jezero, ker energijo določajo pretok, padec in zaledje, ne sama vodna površina.

Premog. Model ohrani eksplicitni ovoj: 1 GW neto moči, 1,5 km² in faktor izrabe 0,65, zato $E = 3.796$ GWh/km². TEŠ je leta 2024 proizvedel 3.070 GWh elektrike in 273 GWh toplote ter izpustil 3.089.330 t CO₂ [15]. Konservativna dodelitev celotnega izpusta elektriki da 1,006 t CO₂/MWh; modelna vrstica zato pomeni 3,82 milijona ton CO₂ in stehiometrično 2,78 milijona ton porabljenega O₂ na km².

Jedrska elektrika. NEK je leta 2024 v omrežje oddala 5.551.248 MWh [16]. Preglednica to proizvodnjo konservativno normira na 1 km² lokacijskega ovoja, čeprav je ograjeno območje približno 20 ha. Površina za 13,72 TWh je 13.720/5.551 = 2,47 km². Koristna toplota ni prišteta; morebitna jedrska soproizvodnja bi bila ločen toplotni kazalnik.

3 Rezultati in razlaga

3.1 Zemljišča, strehe in fotovoltaika

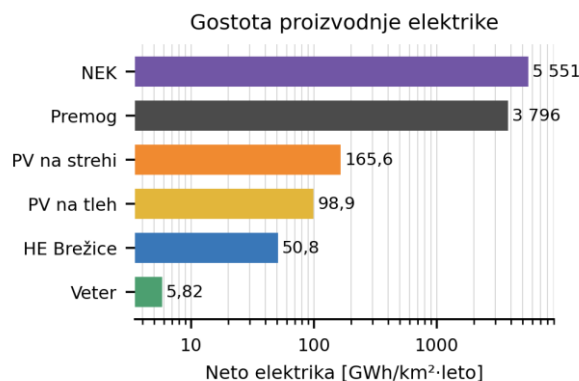
SURS je leta 2025 izmeril 6,2 t/ha pšenice in 7,1 t/ha koruze [6]. Ob upoštevanju vlage, žetvenega indeksa, korenin in deleža ogljika koruza v izbrani proizvodni meji vključi v biomaso več CO₂ kot pšenica. Travniki in gozdi sta prikazana z letnim NPP [7]. Vsi štirje rezultati so tokovi skozi biomaso in ne dokaz, da enaka količina ogljika po razgradnji trajno ostane zunaj ozračja.

Asfalt ter temna in svetla streha imajo neposredni biološki tok in elektriko enaka nič, niso pa toplotno enakovredni. Pri 1.250 GWh/km² vpadnega letnega obseva [9] asfalt z albedom 0,10 absorbira približno 1.125 GWh, temna streha z albedom 0,15 okoli 1.063 GWh, svetla streha z albedom 0,60 pa približno 500 GWh [17, 18]. To je kratkovalovni absorpcijski člen, ne neposredno izmerjeno segrevanje zraka; izhlapevanje, dolgovalovno sevanje, konvekcija in shranjevanje toplote določijo končni lokalni odziv.

Strešna PV uporablja že zgrajeno površino, vendar je 82,9 km² rezultat za bruto površino primernih streh v izbranem 70-odstotnem scenariju, ne za vse strehe v državi. Talna PV v Prapretnem zahteva približno 138,8 km² za enako letno energijo, če bi bilo mogoče njen izplen linearno ponoviti. Obe številki

izključujeta hranilnike, omrežna ozka grla in omejevanje proizvodnje.

Nič v neposrednem stolpcu CO₂ pomeni le, da med obratovanjem na lokaciji ni črpanja ali izgorevanja ogljika. Ne pomeni ničelnega življenjskega odtisa: izdelava modulov, turbin, jezov, goriva in elektrarn povzroča emisije in rabo materialov. UNECE za življenjski cikel navaja različne razpone za PV, veter, hidro, jedrsko in fosilno proizvodnjo [8]; teh številki zaradi drugačne sistemske meje ne seštevamo z neto bilanco zemljišča.



Slika 2: Neto letna elektrika na 1 km² po osrednjih slovenskih scenarijih. Logaritemska os prikazuje velikostne rede; površinske definicije se med vrsticami razlikujejo.

3.2 Veter in hidroelektrarne

Vetrnih 2.356 km² pomeni celotno projektno območje z razmiki turbin, ne 2.356 km² neprekinjeno pozidanih tal. Empirično povprečje NREL za trajno neposredno motnjo je približno 0,3 ha/MW [13]; pri 3 MW/km² je to približno 0,9 % območja, zato lahko kmetijska raba na preostalem delu večinoma ostane in ohrani fotosintetski tok. Vendar souporaba ne odpravi omejitev vetra, varstva narave, hrupa, dostopa, omrežja in nestanovitne proizvodnje.

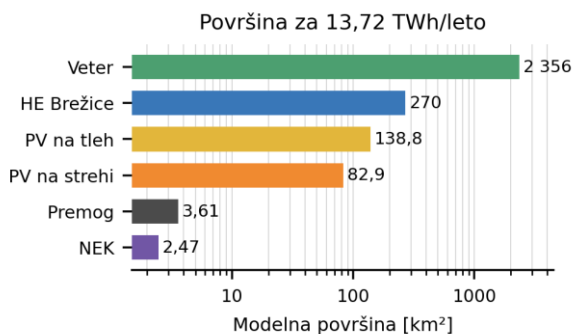
Pri HE Brežice je 270 km² zgolj količnik med slovensko porabo in proizvodnjo na vodno gladino konkretnega objekta. Nova enaka ravninska jezera niso ponovljivi moduli: ustrezni rečni odseki so omejeni, vplivi na habitate, sedimente in poplavno varnost pa so lokacijski. Zato zadnjega stolpca ni mogoče brati kot predlog za zalitje 270 km² države. Je pa potrebno omeniti, da so lahko hidroelektrarne hranilniki energije, medtem ko je sončna energije vezana na dnevno svetlobo.

3.3 Premog in jedrska energija

Premogovna vrstica pokaže nevarnost enodimenzionalne rabe prostora: visoka električna gostota sama ne pomeni ugodnega okoljskega rezultata. Modelnih 3,61 km² za letno energijo Slovenije spremljata približno 3,82 milijona ton CO₂ in 2,78 milijona ton porabljenega O₂ na vsak projektni km². Poleg tega ovoj elektrarne ne vključuje celotnega rudnika, odlagališč in dobavne verige.

NEK ima med obravnavanimi nizkoogljicnimi viri največjo letno električno gostoto in stabilnejši profil, toda preglednica ne vrednoti jedrske varnosti, ravnanja z radioaktivnimi odpadki, hlajenja, razgradnje ali dobavne verige goriva. Izračun 2,47 km² uporablja širši 1-km² ovoj na en obstoječi blok; če bi uporabili le približno 0,20 km² znotraj ograje, bi matematična gostota močno narasla, vendar tako linearno skaliranje lokacije ni načrt nove elektrarne.

Slika 2 prikazuje generirano energijo na m², slika 3 pa potrebno površino za letno potrošnjo elektrike v Sloveniji. Skala je povsod logaritemska.



Slika 3: Aritmetična površina za proizvodnjo 13,72 TWh; primernost lokacij, rezerve, hranilniki in omrežje niso vključeni.

4 Razprava

Prvič, pri soncu in vetru je odločilno, katero površino štejemo. Streha je že pozidana; Prapretno je degradirana lokacija, to je pogosto izgovor, saj bi brez težav obnovili kvaliteten površino; pri vetru je večina projektnega območja lahko hkrati kmetijska, a se precej potroši za ceste, česar nismo upoštevali. En sam stolpec km² zato potrebuje opombo o vrsti površine.

Preglednica 2. Ilustrativno število proizvodnih enot za 13,72 TWh letne elektrike in geometrijski razmik na površini Slovenije.

Enota	Letna proizvodnja	Število enot za 13,72 TWh	Geometrijski razmik ^d
Vetrnica 2,3 MW (slovenski CF 2024)	4,46 GWh	≈3 073	2,57 km
NEK (celotna elektrarna, 2024)	5,551 TWh	≈2,47	90,6 km
Polovica proizvodnje NEK	2,776 TWh	≈4,94	64,0 km
TEŠ (2024, premog)	3,070 TWh	≈4,47	67,3 km
Veriga DEM (povprečna proizvodnja)	2,800 TWh	≈4,90	64,3 km
HE Formin (srednja proizvodnja)	0,548 TWh	≈25,0	28,5 km
HE Zlatolčje (srednja proizvodnja)	0,577 TWh	≈23,8	29,2 km
PV modul 450 W (model 1,04 MWh/kW _p)	0,000468 GWh	≈29,3 mio	26,3 m
Hišna PV 10 kW (isti model)	0,0104 GWh	≈1,32 mio	124 m

^d $N = 13.720/E$ in $d = \sqrt{(20.271/N)}$, kjer je d razmik na idealizirani kvadratni mreži. Pri vetru je uporabljen slovenski faktor izrabe 2024 [12], za NEK in TEŠ podatki za leto 2024 [16, 15], za DEM pa srednje letne proizvodnje [19]. Površina Slovenije je 20.271 km² [20]. Pri PV je uporabljen enoten modelni izplen 1,04 MWh/kW_p na leto. Razmik ni merilo dejanske izvedljivosti, priključljivosti ali potrebne površine posamezne enote.

5 Omejitve in predlog za odločanje

Preglednica je pregled velikostnih redov, ne popolna presoja vplivov. Ne zajema stroškov, kakovosti zemljišča, vode, habitatov, hrupa, materialov, nesreč, odpadkov, razgradnje, uvozne odvisnosti in družbene sprejemljivosti. Biotski stolpci prikazujejo letni fotosintetski proizvodni tok, ne neto spremembe zaloge ogljika.

Za javno odločanje je primeren dvostopenjski postopek: najprej ločen prikaz fizičnih kazalnikov brez seštevanja nezdružljivih dobrin, nato lokacijska večkriterijska presoja z objavljenimi utežmi. Prednost imajo ukrepi brez dodatne zasedbe kakovostnih tal, kadar so tehnično in ekonomsko smiselni, vendar tudi ti potrebujejo presojo omrežja in življenjskega cikla.

5.1 Občutljivost ključnih predpostavk

Strešna PV je občutljiva na uporabni delež strehe. Ob istem obsevu, učinkovitosti in sistemskem faktorju bi 50-odstotni uporabni delež dal 118,3 GWh/km² in zahteval približno 116 km²; pri 70 % dobimo 165,6 GWh/km² in 82,9 km². Pri biotskih vrsticah se rezultati sorazmerno spreminjajo z donosom, žetvenim indeksom, deležem korenin in vsebnostjo ogljika; zato so prikazane vrednosti osrednji scenariji, ne univerzalne konstante.

Pri vetru je rezultat neposredno sorazmeren faktorju izrabe. Razpon CF 0,18–0,30 pri 3 MW/km² pomeni 4,73–7,88 GWh/km² in približno 2.900–1.741 km². Osrednjih 2.356 km²

Neposrednega odtisa pri eni tehnologiji ni pošteno primerjati s celotnim razmikom pri drugi.

Drugič, letna energija ni enaka zanesljivi moči. Količnik 13.720/E odgovori le, koliko površinskih enot bi v povprečnem letu ustvarilo enako število GWh. Ne odgovori, ali je elektrika na voljo ob uri največje porabe. Pri vremensko odvisnih virih so za sistemsko presojo potrebni časovne vrste, omrežje, prilagajanje odjema, hranilniki in rezervni viri.

Tretjič, letni tok CO₂ skozi biomaso in življenjski odtis elektrarne sta različni bilanci. Pšenica, koruza, travnik in gozd v preglednici 1 vključujejo CO₂ v biomaso, ker rastejo; to samo po sebi ni trajni neto ponor. PV, veter, hidro in jedrska imajo pri obratovanju neposredni CO₂ enak nič, ne pa ničelnih emisij v življenjskem ciklu [8]. Premog je visok že v neposrednem stolpcu.

Preglednica 2 pretvori isti letni imenovalac v število reprezentativnih proizvodnih enot. Zadnji stolpec je geometrijska ponazoritev in ne predlog dejanske umestitve ali tehničnega razmika. Recimo vetrnice nihče ne bi nameščal enakomerno po celi Sloveniji, ampak samo na primernih mestih. Hidroelektrarne pa zavzamejo veliko površine vsaka. Primerjava pa vseeno pokaže osnovne relacije.

temelji na dejanskem slovenskem letu 2024, vendar na zelo majhni inštalirani moči. Pri hidroenergiji je lokacijska negotovost še večja, ker razmerja med pretokom, padcem in poplavljenjo površino ni mogoče prenesti z enega objekta na vse reke.

Pri premogu sta elektrika in emisija odvisni od faktorja izrabe ter učinkovitosti; uporabljeni TEŠ-ev emisijski faktor je konservativen, ker celoten letni CO₂ pripiše elektriki, čeprav je elektrarna oddala tudi toploto. Pri NEK leto z remontom ali brez njega spremeni proizvodnjo; letno poročilo navaja približno 5,48 TWh v remontnem in 6,015 TWh v neremontnem letu [16], zato bi 1-km² ovoj pomenil približno 2,50–2,28 km² za 13,72 TWh. Daleč najpomembneje pa je, ali se izkorišča odpadno toploto in pri slovenski JEK se ne.

5.2 Neposredni odtis in projektno območje

Vsak nadaljnji izračun naj objavi oba imenovalca: celotno projektno območje in neposredno trajno spremenjeno površino. Pri vetru je razlika velika, pri talni PV in akumulaciji manjša, pri termoelektrarnah pa je treba poleg lokacije vključiti še pridobivanje goriva in odlagališča. Brez te razmejitve lahko izbira površinskega imenovalca obrne vrstni red tehnologij.

Enako velja za časovni imenovalac. Povprečno leto, sušno leto, remont in leto z malo vetra niso zamenljivi. Za načrtovanje sistema je zato ob letnih GWh treba objaviti vsaj urno proizvodnjo, razpoložljivost, omejevanje, potrebe po rezervi in posledice prenosa elektrike med regijami.

5.3 Minimalni podatkovni list projekta

Ponovljiv projektni izračun naj vsebuje: geometrijo celotnega območja in neposrednega odtisa; prejšnjo rabo tal; lokalni vir (obsev, veter, pretok in padec); neto letno ter urno proizvodnjo; faktor izrabe; neposredni CO₂; življenjske emisije po enotni metodi; spremembo zaloge ogljika v tleh in biomas; priključitev na omrežje; hranilnike ali rezervo; vodo, habitate, hrup, odpadke in razgradnjo. Za vsak podatek sta potrebna leto in vir.

5.4 Druge ugotovitve

Pri razvoju primerjave je bilo preizkušenih več preglednic z dodatnimi kazalniki. Končna oblika namenoma loči fotosintetski tok, neposredno elektriko in površino, saj bi seštevanje hrane, toplote in elektrike v eno energijsko vrednost zbrisalo sistemsko mejo. Poleg tega so bile preizkušene različne bolj kompleksne enačbe, ki zopet niso doprinesle k razumljivosti, v vsakem primeru pa je treba skoraj vsaki številki prišteti kontekst in razlago, kaj je bilo upoštevano in kaj ne.

Jedrska energija ima v izbrani površinski normalizaciji veliko gostoto elektrike. Ta rezultat je posledica lokacijskega imenovalca in ne celovita presoja tehnologije. Veter ima pri slovenskem faktorju izrabe iz leta 2024 nizko električno gostoto, vendar večino projektnega območja lahko še naprej zaseda kmetijska raba. Paneli so lahko postavljeni visoko in spodaj je uporabno zemljišče, ali pa nizko in je neuporabno.

Vpliva različnih površin na lokalno segrevanje ni mogoče zanesljivo povzeti samo z albedom. Zato biomasa ni vključena v energijsko bilanco: njen pridelek je obravnavan kot hrana oziroma biološki proizvod – izločeno iz analiz, stolpca O₂ in CO₂ pa prikazujeta le fotosintetski tok, potreben za njegov nastanek.

6 Sklep

Primerjava pokaže, da je površinsko gostoto in druge količine mogoče razlagati le ob upoštevanju konkretnih specifičnosti. Za 13,72 TWh letne elektrike dajejo osrednji scenariji približno 2,47 km² jedrskega in 3,61 km² premogovnega lokacijskega ovoja, 82,9 km² primernih streh, 138,8 km² talne PV, 270 km² vodne gladine HE Brežice in 2.356 km² vetrnega projektnega območja. To niso predlogi izvedljivega energetskega načrta, temveč aritmetični ekvivalenti letne proizvodnje.

Iz Preglednice 1 je razvidno, da biotske površine med rastjo vključujejo CO₂ v biomaso in sproščajo O₂, nežive površine pa nimajo fotosintetskega toka. To ne dokazuje trajnega neto ponora, vendar tudi ne podpira enačenja kmetijske površine z neposrednim industrijskim izpustom. Vsa biomasa ostaja zunaj energijskih enačb.

Za omejeno finalno primerjavo elektrike, zasedbe in neposrednega CO₂ uvedemo kazalnik neto elektrike na ekvivalentno enoto okoljske obremenitve:

$$I = E / (1 + \max(0, C) / 2200)$$

kjer je E letna neto elektrika na 1 km² in C neposredni neto tok CO₂ v t/km² iz preglednice 1. Imenovalce sešteje zasedbo 1 km² in pozitivni izpust, preračunan v ekvivalent km² gozdnega letnega NPP 2.200 t CO₂. Negativni fotosintetski tok imenovalca ne zmanjša; pri C ≤ 0 je I = E.

Po preglednici 1 imajo pšenica, koruza, travnik in gozd negativni fotosintetski tok CO₂, asfalt ter obratovanje PV, HE in NEK pa neposredni tok 0. Premog ima velik »pozitivni« izpust. Ker biotski tok po porabi ali razgradnji ni nujno trajen, ga kazalnik I ne uporablja kot dobropis, čeprav vsebinsko je.

Po kazalniku I je med prikazanimi proizvajalci na prvem mestu **NEK (5,551), nato strešna PV (165,6), talna PV (98,9), HE Brežice (50,8), veter (5,82) in premog (2,18)**. Kazalnik meri samo letne GWh glede na lokacijsko površino in neposredni CO₂; ne meri zanesljive moči, stroškov ali življenjskega cikla. Pri talni PV prav tako ne vrednoti oportunitetnega stroška zemljišča. Kljub temu, da so specifične pomembne pri vsaki številki, je ključni vtis te analize, da je jedrska energija najboljši kompromis med potrebno električno energijo in škodovanja okolju. Potrebno pa je omeniti, da so stroški jedrske energije večji kot pri drugih, zlasti problematični so glede velikosti investicije. Mali jedrski reaktorji so bistveno ugodnejša rešitev, tehnološko pa še niso postali utečen produkt.

Pri NEK **koristna toplota ni prišteta k elektriki**. S tem se polovico energije NEK »meče skozi okno«, oziroma še slabše – segreva ozračje, zato je samo upati, da nove jedrske tehnologije ne bodo tako implementirane.

Literatura

- [1] MacKay, D. J. C. (2009). Sustainable Energy – without the Hot Air. UIT Cambridge.
- [2] Gams, M. (ur.). (2020). Bela knjiga o strokovnem varovanju okolja. Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana.
- [3] Gams, M., Tomažič, B. (ur.). (2025). Kmetijstvo je varuh okolja in narave. Zbornik posveta Državnega sveta RS.
- [4] van Zalk, J., Behrens, P. (2018). The spatial extent of renewable and non-renewable power generation: A review and meta-analysis of power densities and their application in the U.S. Energy Policy 123, 83–91. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.08.023.
- [5] Agencija za energijo (2026). eMonitor: Poraba električne energije pri končnih odjemalcih v letu 2025. 13.720 GWh. Dostop 9. 9. 2026.
- [6] SURS (2026). Rastlinska pridelava, 2025 – končni podatki. Objavljeno 27. 3. 2026.
- [7] Chapin, F. S., Matson, P. A., Vitousek, P. M. (2011). Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer.
- [8] UNECE (2022). Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options. United Nations, Geneva.
- [9] Vertačnik, G., Bertalančič, R. (ur.). (2017). Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011, 3: Značilnosti podnebja v Sloveniji. ARSO, Ljubljana.
- [10] Kakoulaki, G., Kenny, R., Taylor, N. et al. (2026). Mapping Europe's rooftop photovoltaic potential with a building-level database. Nature Energy 11, 324–333. DOI: 10.1038/s41560-025-01947-x.
- [11] Holding Slovenske elektrarne (2026). SE Prapretno: 3,036 MW, 3.362 MWh/leto in 34.000 m². Dostop 9. 9. 2026.
- [12] Agencija za energijo (2025). Poročilo o stanju na področju energetike v Sloveniji v letu 2024; popravek preglednice 4: veter 3,4 MW in 6,60 GWh.
- [13] Denholm, P., Hand, M., Jackson, M., Ong, S. (2009). Land-Use Requirements of Modern Wind Power Plants in the United States. NREL/TP-6A2-45834. DOI: 10.2172/964608.
- [14] HESS (2026). HE Brežice – specifikacije: 47,4 MW in 161 GWh/leto; Vlada RS (2021), Zvezek 4: površina vodne gladine 317 ha.
- [15] Termoelektrarna Šoštanj (2025). Annual Report 2024: 3.070 GWh elektrike, 273 GWh toplote in 3.089.330 t CO₂.
- [16] Nuklearna elektrarna Krško (2025). Annual Report 2024: 5.551.248 MWh; NEK (2026). Long-term operation of NEK means sustainable use of space: okoli 20 ha.
- [17] García Mainieri, J. J., Sen, S., Roesler, J., Al-Qadi, I. L. (2022). Albedo Change Mechanism of Asphalt Concrete Surfaces. Transportation Research Record 2676(7). DOI: 10.1177/03611981221082567.
- [18] Ramamurthy, P., Sun, T., Rule, K., Bou-Zeid, E. (2015). The joint influence of albedo and insulation on roof performance. Energy and Buildings 102, 317–327. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.06.005.
- [19] Dravske elektrarne Maribor (2026). Elektrarne in proizvodnja ter O družbi: srednja letna proizvodnja HE Formin 548 GWh, HE Zlatoličje 577 GWh in družbe DEM 2.800 GWh. Dostop 9. 9. 2026.
- [20] Republika Slovenija (2026). About Slovenia: land surface 20.271 km². Dostop 9. 9. 2026.

How Much of the Atmospheric CO₂ is Natural?

Kolikšen je delež naravnega CO₂ v ozračju?

Erik Margan
Experimental Particle Physics Dept.
Jozef Stefan Institute
Ljubljana, Slovenia
erik.margan@ijs.si

Abstract

An analysis of the increase in concentration of atmospheric CO₂ is presented using actual mass of both natural and anthropogenic quantities, rather than the usual comparison of volumetric concentrations. The analysis is based on the ¹⁴C radioisotope decrease after 1963, used to determine the system response via natural sources and sinks of CO₂, which is in turn employed in a convolution integral with CO₂ anthropogenic emissions. This procedure offers a better way to assess the influence of anthropogenic emissions on climate change.

Keywords

CO₂ concentration increase, CO₂ emissions, climate change

Povzetek

Predstavljamo analizo povečanja vsebnosti CO₂ v ozračju ob uporabi podatkov za dejansko maso, tako za naravne kot tudi antropogene količine, namesto običajnih predstavitev v obliki volumske koncentracije. Analiza sloni na podatkih o zmanjšanju vsebnosti radioizotopa ¹⁴C v ozračju po letu 1963, kar dobro določa sistemski odziv naravnih virov in ponorov CO₂. Sistemski odziv na antropogene izpuste CO₂ določimo s konvolucijskim integralom. Ta postopek nudi boljši način za oceno vpliva antropogenih izpustov na podnebne spremembe.

Ključne besede

Povečanje vsebnosti CO₂, izpusti CO₂, podnebne spremembe

Correlations

In discussions on the necessity to prevent/mitigate climate change we are often presented with the argument that most of the increase in concentration of atmospheric CO₂ is caused by the use of fossil fuels. Natural sources (and sinks) of CO₂ are mostly disregarded, or treated as balanced in the long term, and thus of no consequence. To be able to correctly assess the influence of

anthropogenic emissions, it is necessary to compare actual **total** mass quantities.

An example of a correlation between the CO₂ concentration increase, the increase of yearly CO₂ emissions, and the increase of the global average temperature is shown in Fig.1 [1, 2, 3, 4]. While the correlation is evident, the comparison of actual quantities is rather difficult because of the different units: the emissions are expressed as mass in billion tons (Gt) per year, and the atmospheric concentration of CO₂ is expressed in volumetric parts per million (ppmv).

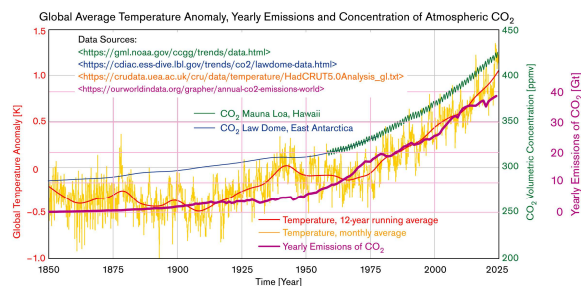


Fig.1: Comparison of atmospheric CO₂ concentration, yearly CO₂ emissions and the global average temperature anomaly. Note the different units for CO₂.

Another often encountered difficulty is when the emissions are expressed as mass of carbon only, as if only the carbon itself is the problem (carbon is generally regarded as a pollutant). But in the thermal radiation balance, by which the Earth's climate is usually determined, it is the oxygen bonds with carbon that absorb the infrared radiation (IR) from the planet's surface and the lower atmosphere strata. In particular, it is the resonance at the wavelength of 15 micrometers (with its widening by molecular rotation and kinetic energy to a band from 14 to 16 micrometers) which is the most important IR absorption process, since this band is near the center of the Earth's outgoing longwave radiation. Therefore, it does not make much sense to consider the carbon alone, except when we are interested in soot and aerosols blocking the incoming solar radiation.

A somewhat better presentation is the one found on the pages of the IPCC Assessment Reports [5], like the graph in Fig.2, which shows both the sources and sinks. However, here too the comparison is made difficult, because only the part of the emissions that remains in the atmosphere is shown, not the total amount of atmospheric CO₂.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).
Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia
© 2025 Copyright held by the owner/author(s).
<http://doi.org/10.70314/is.2026.env.148>

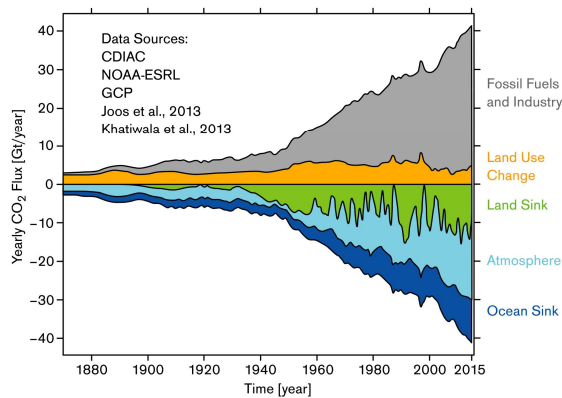


Fig.2: Comparison of sources and sinks of CO₂ (IPCC AR5). Here at least the units are all the same. Yet this represents only the natural sinks of anthropogenic emissions, no natural sources are shown.

Yearly Mass Increase Comparison

A relatively fair comparison is shown in Fig.3 (similar graphs are found also in [6, 7]). Here the anthropogenic yearly emissions are compared to the yearly increase of CO₂ concentration (the time derivative of the total concentration measured at the Mauna Loa Observatory). It is important to note that while the yearly emissions are increasing much more steeply after year 2000, (mainly owed to the fast economic development of China, India, and a few other countries), reaching about 38 Gt in 2024, the concentration increase has stabilized to some 18 Gt per year.

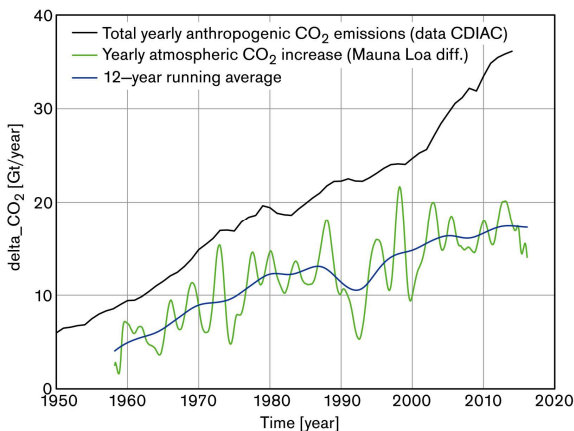


Fig.3: Comparison of yearly anthropogenic emissions with the yearly increase of CO₂ concentration. Note the different rates after year 2000.

Fig.3 is a clear demonstration that nature is not always in perfect balance and its influence cannot be ignored. In science, whenever we have a correlation or an anticorrelation between two quantities it is possible to assume that there exists some causal (either direct or a common indirect) relation. However, when we find a correlation in one period, and an anticorrelation in another it is clear that there is no causal relation, or that it is relatively weak, and some other processes dominate.

Let us now calculate the total amount of atmospheric CO₂. From the latest volumetric concentration of $q_{\text{CO}_2} = 425 \times 10^{-6}$ (Fig.1), and the total air mass being $m_{\text{air}} = 5,150,000$ billion tons (Gt), we can find the mass of CO₂ by multiplying the volumetric concentration with the total air mass and with the ratio of the molar mass of CO₂ to the average air molecule molar mass. For CO₂ the molar mass is $M_{\text{CO}_2} = 12 + 2 \times 16 = 44$. For air the relative concentration of gases must be taken into account: 78% N₂, 21% O₂ and 1% Ar. So, the average air molecule molar mass will be $M_{\text{air}} = 0.78 \times 2 \times 14 + 0.21 \times 2 \times 16 + 0.01 \times 32 = 28.88$; and then:

$$m_{\text{CO}_2} = q_{\text{CO}_2} \times m_{\text{air}} \times M_{\text{CO}_2} / M_{\text{air}} = 3,335 \text{ Gt}$$

We now have the necessary mass scale factor for Fig.1. But before redrawing it, it should be realized that the total mass of CO₂ is a cumulative value, increasing over many years from all the sources and at the same time decreasing by all the sinks. It is not correct to simply subtract the sinks from the sources and integrate the remaining quantity. The correct way to do it is via the convolution integral. But we only know exactly the anthropogenic emissions (because our economy depends on it), we do not know the dynamics of natural sources and sinks (the system response function).

Fortunately – or unfortunately – we have already performed an experiment from which the system response can be inferred. From 1945 to 1963 a large number of atomic explosions in open atmosphere has been executed, resulting in an almost doubling of the content of the radioactive carbon isotope ¹⁴C, Fig.4. This isotope is otherwise being created naturally by high energy cosmic rays colliding with ¹⁴N in the upper atmosphere. But in the 1960s it was noted that this natural level has increased [8]. In 1963 the atomic superpowers (USA, USSR, UK) signed a treaty to ban further nuclear explosions in the atmosphere (they continued to do so under ground). All other nuclear powers have later joined the treaty, last by China and France. Following the implementation of this ban, the concentration of ¹⁴C has been exponentially decreasing, though not from the nuclear decay, as it has a long half-life of some 5370 years, but because of the natural CO₂ sinks.

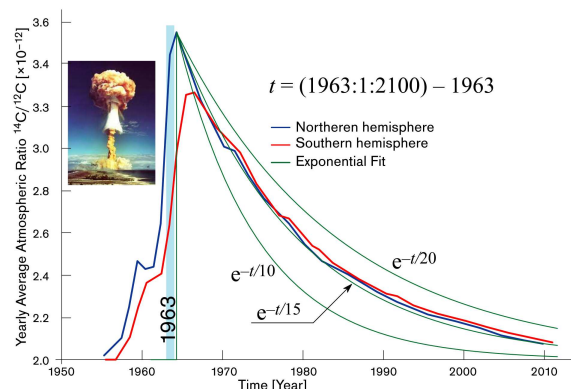


Fig.4: Yearly atmospheric ¹⁴C/¹²C ratio, induced by the nuclear explosions in the open atmosphere from 1945 to 1963, has been exponentially decreasing with a characteristic time-constant of 15 years after the signing of the 1963 treaty banning such explosions.

Convolution

The decrease of ¹⁴C in Fig.4 fits best the exponentially decreasing function with a 15-year characteristic time constant (often called ‘residence time’). The function is implemented for the time interval $t = (1963:1:2100) - 1963$, with $T = 15$ for a decrease by $1/e$:

$$h = e^{-t/T}$$

This function will then have $\tau = 48$ time-samples (0 to 47). For the system gain we will adopt the generally accepted conjecture, used also by the IPCC in their Assessment Reports, by which about 44% of emissions remains in the atmosphere for a long time, the rest being absorbed by land and oceans. Therefore:

$$h = 0.44 e^{-t/T}$$

Also, the convolution integral requires that one of the integrands is in the reverse order, so that in the process of integration the first time-samples of both functions are the first to interact. We usually reverse the order of the function with the smaller number of time samples, such as here:

$$h = h(\tau : -1 : 1)$$

The CO₂ anthropogenic emissions data can be accessed from any suitable web source, for example [9, 10], from where we use the yearly data from year 1850 to year 2024 (which at the time of writing this article was the last available year). We thus form a new time interval:

$$t = (1850:1:2024) - 1850$$

Let $E_{CO_2}(t)$ represent the downloaded anthropogenic emissions. With the new $T = 2024 - 1850 = 174$, the convolution integral is:

$$Y(t) = \int_{t=0}^T h(\tau - t) E_{CO_2}(t) dt$$

Note that we have already reversed the order of time-samples of the function h , so it is not necessary to do it again; in the expression above, we have written $h(\tau - t)$ merely to comply with the general mathematical rules.

Numerically, what the convolution does is to multiply the overlapping time-samples and cumulatively sum the result to all the previous results, then shift the time series by one and repeat the process. Note that in our case dt is equal to 1 (year), so we do not need to worry about it.

There are several well-known computer programs for numerical analysis on the market, such as Matlab™ [11], or even free of charge, such as GNU Octave™ [12]. Both these programs have a built-in convolution procedure named ‘conv’, used simply as:

$$Y = \text{conv}(h, E_{CO_2})$$

Typically, this procedure will return a result Y with a number of samples equal to the sum of samples of the integrands, in our case

175 samples of E_{CO_2} and 48 samples of h , a total of 223. However, the last 48 samples represent a decay from the last convolution sample to zero, and those samples can be omitted.

The analysis result can then be plotted against time, along with the yearly emissions and the total CO₂ mass data, Fig.5. For comparison we have also plotted the same convolution procedure using a 150 years residence time, as implied by the IPCC.

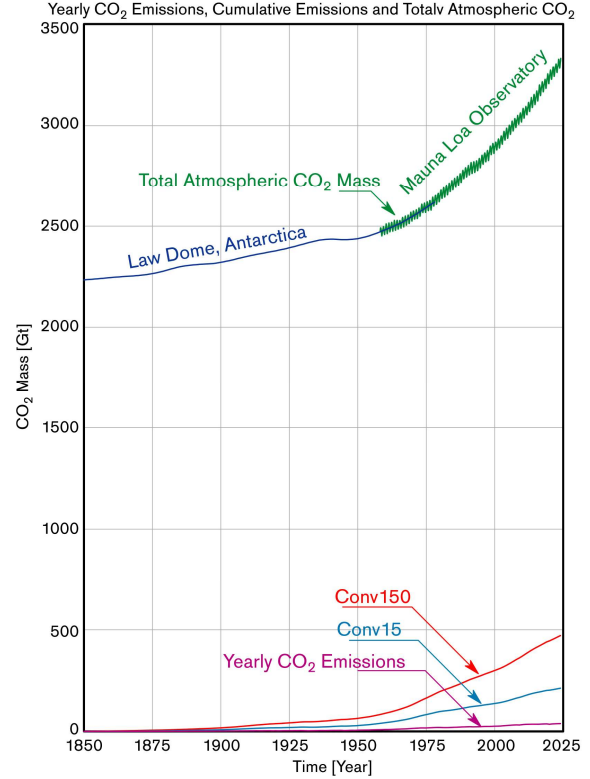


Fig.5: Comparison of yearly CO₂ emissions, the cumulative emissions calculated for a 15- and 150-year residence time, and the total atmospheric CO₂ content, all in mass units.

Results and Discussion

The results in Fig.5 in the year 2024 are: a total atmospheric mass of CO₂ is about 3300 Gt, the yearly emissions have increased to about 38 Gt, the cumulative amount with a 15-year residence time is about 216 Gt, and with a 150-year (after the IPCC) the cumulative amount is about 485 Gt. By taking the appropriate ratios we may conclude that amount of anthropogenic CO₂ in the atmosphere is not greater than about $216/3300 = 0.065$ or 6.5%. With the IPCC assumption of a 150-year residence time this would be $485/3300 = 0.0147$ or 1.47%.

It may be interesting to compare the cumulative amounts not only with the absolute quantities, but also with the relative increase of CO₂, which is shown in Fig.6. We note that the relative increase of atmospheric CO₂ from year 1850 to 2024 was about 1100 Gt. By taking the ratio of the calculated cumulative quantities to the relative increase, for the 15-year residence time we have $216/1100 = 0.196$ or 19.6%, and for the 150-year residence time

we have $485/1100 = 0.441$ or 44.1%. This means that the atmospheric CO₂ increase was mostly from natural sources, even if we allow for an unreasonably long residence time, as is assumed by the IPCC.

We can now check our results against what IPCC states in their latest Assessment Report (AR6, [13]). On page 771 we find that from the year 1960 to 2020 (60 years) the anthropogenic emissions have increased from about 15 Gt to about 40 Gt. By assuming a linear increase, we can average this to $(40-15)/2 = 12.5$ Gt/year. On the same page they further state that about 44% of emissions remain in the atmosphere long term. We then have $0.44 \times 12.5 \times 60 = 330$ Gt. Therefore, according to the IPCC the total anthropogenic CO₂ in the atmosphere is not greater than 10% ($330/3300$). And for the relative increase it would be $330/1100 = 0.30$ or 30%. This firmly disproves their claim, that most (i.e. >50%) of the CO₂ increase in the atmosphere is of anthropogenic origin [14].

We conclude that the answer to the question in the title is that the great majority of the atmospheric CO₂ is of natural origin, mostly from oceans, since the oceans contain some $37\times$ more CO₂ than the atmosphere, and the top 20 meters contain about $1.4\times$ more, because partial gas pressures must be in balance at the surface.

The oceans absorb CO₂ by about 3g/litre at 4°C, but only about 1.5 g/litre at 25°C. Since about 70% of the planet surface is covered by oceans, even a small change in temperature causes massive amounts of CO₂ being exchanged with the atmosphere.

This is evident in Fig.1, where the atmosphere content of CO₂ as measured at the Mauna Loa Observatory varies seasonally by some 6ppm each year, which is in turn only a small difference between the much larger fluxes of the Southern and Northern Hemisphere. In order to expose the trend in Fig.3, a heavy filtering (a 61-month, or 5-year, and a 145-month, or 12-year running average differential) of these variations had to be used.

We can likewise conclude that if less than 10% of atmospheric CO₂ is of anthropogenic origin, and if CO₂ does indeed cause global warming as implied by the IPCC, the humanity can also be blamed only for less than 10% of the recorded 1°C (0.8-1.3).

References / Literatura in viri podatkov

- [1] <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/data.html>
- [2] <https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/co2/lawdome-data.html>
- [3] https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/HadCRUT5.0Analysis_gl.txt
- [4] <https://ourworldindata.org/grapher/annual-co2-emissions-world>
- [5] <https://www.ipcc.ch/reports/>
- [6] IPCC AR4, Fig. TS.3, p27
- [7] IPCC AR6, Ch.5, FAQ 5.1, p771
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon-14>
- [9] The Global Carbon Project, <https://www.globalcarbonproject.org/>
- [10] Our World In Data, <https://ourworldindata.org/grapher/annual-co2-emissions-per-country>
- [11] Matlab™, <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- [12] GNU Octave, <https://octave.org/>
- [13] <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>
- [14] <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

Visokoradioaktivni odpadki - prezrt razvojni problem? High-level radioactive waste - an ignored development problem?

Matjaž Valenčič
Zveza ekoloških gibanj Slovenije-ZEG
Krško, Slovenija
matjaz.valencic@gmail.com

Povzetek

V okviru Celovite presoje vplivov na okolje (CPVO)^[3] za Nacionalni energetski in podnebni načrt (NEPN)^[3] bi morali vrednotiti dolgoročne scenarije energetske oskrbe. Namesto tega Slovenija razpravlja o prihodnosti jedrske energetike, medtem ko prihodnost visokoradioaktivnih odpadkov skoraj v celoti prezre.

Ta prispevek se naslanja na monografijo^[1] »Plutonij: Kako se je sanjsko jedrsko gorivo spremenilo v nočno moro« in odpira vprašanje, ali Slovenija visokoradioaktivne odpadke sploh obravnava kot svoj razvojni problem. Osrednja teza je, da mora vsaka jedrska država odgovoriti na dve vprašanji: kako bo proizvajala električno energijo in kako bo dolgoročno upravljala posledice njene proizvodnje. Medtem ko o prvem vprašanju v Sloveniji intenzivno razpravljamo, drugemu namenimo presenetljivo malo pozornosti. Avtor zagovarja stališče, da ravnanje z visokoradioaktivnimi odpadki presega jedrsko tehniko. Zahteva namreč interdisciplinarni pristop, ki poleg naravoslovnih in tehniških ved vključuje tudi družbenopolitične ter sociološke vidike.

Ključne besede

visokoradioaktivni odpadki, izrabljeno jedrsko gorivo, plutonij, jedrski gorivni cikel, interdisciplinarni pristop, razvojna strategija države

1. Uvod: Razprava, ki se ustavi pri reaktorju
Slovenija je pred eno najpomembnejših razvojnih odločitev po osamosvojitvi. Morebitna gradnja drugega bloka Jedrske elektrarne Krško (JEK2) bo zaznamovala energetski, gospodarski in prostorski razvoj države za več generacij. Javna razprava je zato razumljivo osredotočena na energetsko varnost, zmanjševanje emisij toplogrednih plinov, naložbene stroške in dolgoročno zanesljivost oskrbe z električno energijo.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).
Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia
© 2025 Copyright held by the owner/author(s).
<https://doi.org/10.70314/is.2026.env.30>

Abstract

Within the framework of the Strategic Environmental Assessment (SEA)^[3] for the National Energy and Climate Plan (NECP)^[3], long-term energy supply scenarios should be evaluated. Instead, Slovenia debates the future of nuclear energy while almost completely ignoring the future of high-level radioactive waste. This paper draws on the monograph^[1] "Plutonium: How Nuclear Power's Dream Fuel Became a Nightmare" and raises the question of whether Slovenia considers high-level radioactive waste as a national development issue at all. The central thesis is that every nuclear nation must answer two questions: how it will generate electricity and how it will manage the long-term consequences of that production. While the first question is intensely debated in Slovenia, the second receives surprisingly little attention. The author argues that high-level radioactive waste management extends beyond nuclear engineering. Indeed, it demands an interdisciplinary approach that incorporates socio-political and sociological aspects alongside natural sciences and engineering.

Keywords

high-level radioactive waste, spent nuclear fuel, plutonium, nuclear fuel cycle, interdisciplinary approach, national development strategy

Toda prav v tej razpravi ostaja skoraj neopažen del jedrskega gorivnega cikla, ki bo trajal bistveno dlje od življenjske dobe katere koli elektrarne. To je vprašanje izrabljenega jedrskega goriva, visokoradioaktivnih odpadkov s plutonijem. Medtem ko življenjsko dobo jedrskega objekta merimo v desetletjih, odgovornost za visokoradioaktivne odpadke sega v tisočletja, preko naše civilizacije. To ni zgolj tehnično vprašanje jedrske energetike, temveč vprašanje dolgoročne razvojne politike države. Razprava o začetku jedrskega gorivnega cikla ne more biti ločena od razprave o njegovem koncu.

Slovenija še ni odgovorila na vprašanje, ali izrabljeno jedrsko gorivo razume kot radioaktivni odpadke ali kot potencialno

surovino. Prispevek izhaja iz monografije Plutonij ^[1] in odpira vprašanje dolgoročnega upravljanja visokoradioaktivnih odpadkov.

2. Strateška odločitev o jedrskem gorivnem ciklu

Vsaka država, ki uporablja jedrsko energijo, mora prej ali slej odgovoriti na isto vprašanje: ali je izrabljeno jedrsko gorivo odpadek ali prihodnja surovina?

Na prvi pogled gre za strokovno ali celo terminološko dilemo. V resnici pa odgovor določa celotno strategijo ravnanja z izrabljenim gorivom, izbiro med odprtim in zaprtim gorivnim ciklom, dolgoročne finančne obveznosti države, raziskovalne usmeritve in ne nazadnje mednarodne varnostne obveznosti.

Slovenija visokoradioaktivnih odpadkov še vedno ne obravnava kot samostojnega razvojnega problema države. Resolucija ReNPROIG23–32 ^[2] izrabljeno gorivo opredeljuje dvojno: kot radioaktivni odpadek ali kot potencialno uporabno snov, iz katere je mogoče s predelavo ponovno pridobiti uran in plutonij za izdelavo novega jedrskega goriva. S tem odprto strateško vprašanje prelaga, namesto da bi sprejela dokončno razvojno odločitev. Prav na tej točki postane monografija Plutonij ^[1] posebej pomembna za slovenski prostor. Avtorji na podlagi več kot šestdeset let mednarodnih izkušenj analizirajo posledice strategije, ki obravnava izrabljeno gorivo kot vir plutonija za ponovno uporabo.

Njihova analiza pokaže, da se pričakovane gospodarske in tehnološke prednosti zaprtega gorivnega cikla v večini držav niso uresničile, medtem ko so vprašanja ekonomike, varnosti in neproliferacije postajala vse pomembnejša.

Slovenija se danes ne odloča le o morebitni gradnji JEK2. Odloča se tudi o dolgoročni usmeritvi celotnega jedrskega gorivnega cikla!

Odločitev bo vplivala na način ravnanja z izrabljenim gorivom, na prihodnje raziskovalne prioritete, na prostorsko načrtovanje, na javne finance in na mednarodne obveznosti države. Zato vprašanje izrabljenega goriva ni več izključno tehnično vprašanje jedrske energetike. Je razvojni problem.

Kot solastnica NEK si Slovenija s Hrvaško deli tudi odgovornost za izrabljeno gorivo.

Država, ki še ni odgovorila, ali je izrabljeno jedrsko gorivo odpadek ali surovina, še nima zaključene strategije jedrskega gorivnega

cikla. Če se razprava o JEK2 ustavi pri reaktorju, ostane nepopolna.

3. Mednarodne izkušnje o mitu zaprtega gorivnega cikla

V tem kontekstu je izid slovenskega prevoda monografije »Plutonij: Kako se je sanjsko jedrsko gorivo spremenilo v nočno moro« ^[1] pomemben strokovni dogodek.

Avtorji sodijo med vodilne strokovnjake za jedrski gorivni cikel, neproliferacijo in ravnanje z izrabljenim gorivom.

Slovenski prevod ima poseben pomen. Čeprav večina jedrskih strokovnjakov spremlja izvirno strokovno literaturo v angleščini, je dolgoročno odločanje o jedrski prihodnosti bistveno širše od jedrske fizike. Prevod je namenjen širši stroki ter politični in splošni javnosti. Omogoča obsežnejšo razpravo o delu jedrskega gorivnega cikla, ki v slovenskem prostoru doslej ni bil deležen primerljive interdisciplinarne pozornosti.

Posebna vrednost knjige ni v tem, da ponuja preproste odgovore, temveč da sistematično analizira šest desetletij izkušenj z idejo, ki je nekoč veljala za eno največjih tehnoloških obljub jedrske dobe – z uporabo plutonija kot goriva prihodnosti. Avtorji pokažejo, kako so se pričakovanja o skoraj neomejenem viru energije soočila z gospodarsko resničnostjo, tehničnimi omejitvami in varnostnimi tveganji. Vprašanja o zapiranju jedrskega gorivnega cikla, o vlogi predelave izrabljenega goriva, o ekonomiki uporabe goriva MOX, o neproliferaciji ter o dolgoročnem ravnanju z visokoradioaktivnimi odpadki, so pomembna tudi za Slovenijo. Tehnična in politična privlačnost plutonija je desetletja temeljila na viziji zaprtega jedrskega gorivnega cikla, ko izrabljeno gorivo ne postane odpadek, temveč vir. S kemično predelavo (reprocesiranjem) se iz njega izločita neporabljeni uran in novonastali plutonij, ki se nato uporabita za izdelavo novega goriva za reaktorje. Ta zasnova je obljubljala energetsko neodvisnost in drastično zmanjšanje prostornine končnih odpadkov.

Podatki, ki jih prinaša monografija Plutonij ^[1], zanikajo mit zaprtega gorivnega cikla. Države, ki so stavile na zaprti gorivni cikel (ZDA, Velika Britanija, Japonska, Kitajska, Francija, Indija in Rusija), so se oziroma se še vedno soočajo s tremi ključnimi težavami:

- **Ekonomski zlom:** Predelava izrabljenega goriva je občutno dražja in zahtevnejša od

- rudarjenja in obogatenja svežega urana. Zapiranje cikla ekonomsko ni konkurenčno.
- **Tehnični zastoj:** Tehnologija hitrih razplodnih reaktorjev, ki naj bi kurili plutonij, je ostala razvojno nestabilna, polna varnostnih tveganj in komercialno neuspešna.
 - **Varnostna tveganja (proliferacija):** Ločevanje plutonija pomeni kopičenje materiala, ki ga je mogoče uporabiti za izdelavo jedrskega orožja. To povečuje geopolitična tveganja in stroške varovanja.

Zato večina jedrskih držav prehaja na odprti gorivni cikel, kjer izrabljeno gorivo obravnavajo kot odpadki, namenjen neposrednemu trajnemu odlaganju.

Ko slovenska Resolucija ReNPROIG23–32^[2] ohranja odprti obe možnosti, s tem pravzaprav prelaga odločitve o prevzemu realnih stroškov. Če Slovenija resno razmišlja o predelavi (kar bi pomenilo pošiljanje izrabljenega goriva na predelavo v tujino), mora v svoje makroekonomske izračune všteti astronomske stroške reprocesiranja in dejstvo, da se kljub predelavi količina odpadkov, ki jih je treba odložiti v globoko odlagališče, ne zmanjša. Razprava o jedrski energiji se praviloma začne pri proizvodnji električne energije in konča precej prej, preden pride do vprašanja visokoradioaktivnih odpadkov.

Tu je izkušnje so pomembne tudi za Slovenijo, saj kažejo, da odločitev o jedrskem gorivnem ciklu ni zgolj tehnično, temveč tudi razvojno in ekonomsko vprašanje.

4. Časovna nesorazmerja in etična odgovornost

Glavni razlog, zakaj visokoradioaktivni odpadki presegajo klasično jedrsko tehniko in zahtevajo sociološko obravnavo, je časovna dimenzija. Čas obratovanja reaktorja (40 do 60 let) ali čas trajanja javnih politik (4 leta) sta zanemarljiva v primerjavi z razpolovno dobo izotopov v izrabljenem gorivu. Plutonij-239 ima razpolovno dobo 24.100 let, kar pomeni, da morajo biti ti odpadki izolirani od biosfere vsaj 241.000 let, celotno obdobje njihove nevarnosti pa se ocenjuje na milijon let. To odpira globoka sociološka in etična vprašanja medgeneracijske pravičnosti, asimetrijo koristi in bremen. Sedanja generacija porablja električno jedrsko energijo, prihodnjim generacijam (ki od te energije ne bodo imele nič) pa zapušča trajno

finančno in tehnološko breme nadzora ter končnega globokega odlaganja.

Nobena državna ali upravna struktura ne more zagotoviti trajnega nadzora, zato morajo biti globoka geološka odlagališča zasnovana na principu pasivne varnosti. To pomeni, da morajo tehnične in naravne pregrade same, brez kakršnega koli človeškega vzdrževanja ali varovanja, preprečiti uhajanje radioaktivnih snovi v okolje. Iskanje lokacije za globoko geološko odlagališče v Sloveniji ne bo propadlo zaradi pomanjkanja inženirskega znanja, temveč zaradi pomanjkanja družbenega soglasja in zaupanja. Sociologija jedrskega tveganja uči, da javnost ne zavrača tehnologije zaradi "neizobraženosti", ampak zaradi upravičenega nezaupanja v državne institucije in netransparentno vodenje dolgoročnih projektov.

O elektrarni odločamo za eno generacijo, o visokoradioaktivnih odpadkih pa odločamo za številne prihodnje generacije!

Pred nami je odločitev energetske usmeritve, ki dolgoročno vpliva na javne finance, prostorski razvoj, raziskovalno politiko, mednarodne odnose in zaupanje javnosti. To vprašanje zahteva povezovanje energetskih, okoljskih, geoloških, ekonomskih, pravnih, varnostnih, prostorskih, družboslovnih in etičnih znanj, saj nobena posamezna stroka sama ne more ponuditi celovite rešitve. Šele interdisciplinarni pristop, vključno s sodelovanjem javnosti, omogoča odgovorno oblikovanje dolgoročne strategije ravnanja z visokoradioaktivnimi odpadki.

5. Razprava: od energetskega projekta do nacionalne strategije

Pomembno je razlikovati med energetskim projektom in nacionalno strategijo. Gradnja jedrskega objekta je infrastrukturni projekt z določeno uporabno dobo.

Ravnanje z izrabljenim gorivom in visokoradioaktivnimi odpadki pa pomeni obveznost, ki bistveno presega uporabno dobo elektrarne, gospodarske cikle in politične mandate. Odgovornost države se ne konča z zaključkom obratovanja elektrarne, temveč se tedaj šele začne njeno najzahtevnejše obdobje. Vključuje usklajevanje znanstvenih spoznanj, gospodarskih zmožnosti, pravnih ureditev, mednarodnih obveznosti in družbenega soglasja. Zato se vse bolj uveljavlja spoznanje, da je uspešnost jedrskega programa odvisna tudi od

kakovosti strategije ravnanja z njegovimi posledicami.

Vprašanje visokoradioaktivnih odpadkov v Sloveniji bi morali obravnavati kot samostojno področje razvojnega načrtovanja, kar pa ne pomeni spremembe odnosa do jedrske energetike, temveč njeno celovitejšo obravnavo, proizvodnjo energije ter dolgoročno ravnanje z izrabljenim gorivom.

Če se razprava o JEK2 ustavi pri reaktorju, ostane nepopolna.

6. Sklep

Treba je razlikovati med energetske projektom in nacionalno razvojno strategijo. Za celovito razpravo o jedrski prihodnosti Slovenije ne zadošča zgolj razprava o proizvodnji električne energije. Enako pozornost moramo nameniti tudi zadnjemu delu jedrskega gorivnega cikla. Prav tam se namreč odloča, ali bo jedrska politika države dolgoročno vzdržna.

Osnovno etično vprašanje ni, ali današnja družba prelaga odlaganje radioaktivnih odpadkov na naslednje generacije, ampak ali to prelaga na odgovoren način – torej s finančnim skladom, z znanstvenim znanjem in z načrtom, ki bo prihodnjim generacijam omogočil varno upravljanje tega neprostovoljnega bremena. Dokler vprašanje visokoradioaktivnih odpadkov ne postane samostojna tema razvojne politike, bo

razprava o prihodnosti jedrske energetike ostala nepopolna.

7. Ključna misel

Brez odločitve o usodi izrabljenega goriva Slovenija nima zaključene jedrske strategije.

Viri:

[1] F. von Hippel, M. Takubo, in J. Kang, Plutonij: kako se je sanjsko jedrsko gorivo spremenilo v nočno moro, prevod Ž. Malovrh. Ljubljana: ZaEnSvet - okoljska pismenost; Krško: Zveza ekoloških gibanj Slovenije - ZEG, 2026.

[2] Državni zbor Republike Slovenije, "Resolucija o nacionalnem programu ravnanja z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom za obdobje 2023–2032 (ReNPROIG23–32)," Uradni list RS, št. 14/24, 2024. Dostopno: <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=RESO142>

[3] Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo, "Posodobljeni Celoviti nacionalni energetski in podnebni načrt Republike Slovenije (NEPN 2024)," Vlada Republike Slovenije, Ljubljana, 2024. Dostopno: <https://www.energetika-portal.si/dokumenti/strateski-razvojni-dokumenti/nacionalni-energetski-in-podnebni-nact-2024/>

Od varstva narave k celostnemu upravljanju kulturne krajine

From Nature Conservation to Integrated Management of Cultural Landscapes

Teos Perne

Neodvisni raziskovalec,
predsednik Društva lastnikov
gozdov Gorenjske
Mojstrana, Slovenija
teos.perne@gmail.com

Povzetek

Upravljanje kulturne krajine v Evropi, zlasti v Sloveniji, ustvarja trajen sistemski konflikt med nosilci sektorskih varstvenih interesov ter prebivalci in lastniki zemljišč, ki kot nosilci gospodarjenja kulturno krajino vzdržujejo in so od nje eksistenčno odvisni. Posledice konflikta se kažejo tudi v degradaciji prostora. Analiza geneze upravljanja podeželske krajine pokaže, da konflikt izhaja iz konceptualne predpostavke, ki se je uveljavila ob prenosu modela nadzora onesnaževanja na varstvo narave: kmetijska in gozdarska dejavnost sta bili pretežno obravnavani kot pritisk, ki ga je treba zmanjševati, čeprav sta v kulturni krajini pogosto ustvarili prav tiste habitatne in krajinske vrednote, ki so postale predmet varstva. Naravovarstvena inventarizacija habitatov, uporabljena pri oblikovanju omrežja Natura 2000, je nato postala podlaga za prostorske režime in omejevanje lastnine, ne da bi sistematično ugotavljala zgodovinski nastanek evidentiranega stanja, njegovo odvisnost od človekovega dela in dejanske vzroke morebitnega poslabšanja. Hkrati je specialistična presoja posameznih naravovarstvenih vrednot pridobila odločilen vpliv na upravljanje kulturne krajine kot povezanega ekološkega, proizvodnega, demografskega in lastninskega sistema. Analiza alpskih travnišč, zgodovinskega razvoja slovenske krajine in razvojne strukture gospodarjenih gozdov razkriva dvojni kontraproduktivni učinek takšne ureditve: pasivizacija zmanjšuje gospodarsko vzdržnost in demografsko vitalnost podeželja, antropogeno pogojeni habitati pa z izgubo košnje, paše, nege in pomlajevanja izgubljajo svojo konstitutivno podlago. Prispevek zato razlikuje med ugotovitvijo prisotnosti habitata ter vzročno, upravljavsko in lastninskopravno podlago oblastnega ukrepa. Na podlagi Evropske konvencije o krajini, prava Evropske unije in sodne prakse predlaga reformo upravljanja prostora, ki temelji na razlikovanju med naravno in kulturno krajino ter razmejitvi štirih funkcij prostorskega odločanja: demokratičnega določanja prioritete, specialističnega ugotavljanja dejstev, neodvisne teritorialne integracije in pravno preverljive oblastne odločitve.

Ukrepi morajo temeljiti na prostorsko določeni vzročni diagnozi, primerjavi alternativ, sodelovanju nosilcev gospodarjenja, presoji kumulativnih lastninskih in proizvodnih bremen ter preverljivih rezultatih. Osnutek Nacionalnega načrta za obnovo narave je obravnavan kot primer prenosa opisanih metodoloških in institucionalnih pomanjkljivosti na upravljanje znatnega dela slovenskega ozemlja.

Ključne besede

kulturna krajina, pasivizacija, obnova narave, vzročna diagnoza, aktivno gospodarjenje, lastninska pravica, Slovenija

Abstract

The management of cultural landscapes in Europe, particularly in Slovenia, generates a persistent systemic conflict between those advancing sector-specific conservation interests and residents, landowners and other land managers who maintain these landscapes and depend on them for their livelihoods. The consequences of this conflict are also reflected in landscape degradation. An analysis of the historical development of rural landscape governance shows that the conflict originates in a conceptual assumption that emerged when the pollution-control model was extended to nature conservation: agricultural and forestry activities were predominantly regarded as pressures to be reduced, although they had often created the very habitat and landscape values subsequently designated for protection. Habitat inventories used in establishing the Natura 2000 network subsequently became the basis for land-use regimes and restrictions on property rights without systematically establishing the historical origins of the recorded conditions, their dependence on human labor, or the actual causes of their potential deterioration. At the same time, specialist assessments of individual conservation values acquired a decisive influence over the governance of cultural landscapes as interconnected ecological, productive, demographic and property systems. An analysis of Alpine grasslands, the historical development of Slovenian landscapes and the developmental structure of managed forests reveals a dual counterproductive effect of this arrangement: passivization of land management undermines the economic viability and demographic vitality of rural areas, while anthropogenically conditioned habitats lose their constitutive basis through the decline of mowing, grazing, silvicultural tending and forest regeneration. The paper therefore distinguishes between establishing the presence of a habitat and providing the causal, management-related and property-law basis required for a regulatory measure. Drawing on the

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia

© 2025 Copyright held by the owner/author(s).

<https://doi.org/10.70314/is.2026.env.146>

European Landscape Convention, European Union law and relevant case law, it proposes a reform of spatial governance based on distinguishing between natural and cultural landscapes and separating four functions of spatial decision-making: the democratic determination of priorities, specialist fact-finding, independent territorial integration and legally reviewable decisions by public authorities. Measures must be based on spatially specific causal diagnosis, comparison of alternatives, participation by land managers, assessment of cumulative burdens on property rights and productive capacity, and verifiable outcomes. The draft National Nature Restoration Plan is examined as an example of how these methodological and institutional shortcomings are extended to the governance of a substantial proportion of Slovenia's territory.

Keywords

cultural landscape, passivization, nature restoration, causal diagnosis, active management, property rights, Slovenia

1 Uvod: kaj je predmet upravljanja

Poglavitno vprašanje je, zakaj prihaja do konfliktov pri upravljanju in rabi neurbanega prostora ter zakaj se v njih kot oškodovani razumejo tako nosilci sektorskih varstvenih interesov kakor nosilci gospodarjenja. Slovenska okoljska ureditev je, kakor drugod po Evropi, nastala kot odgovor na resnične zgodovinske potrebe. Od sedemdesetih let 20. stoletja so industrijsko onesnaževanje, degradirane vode, odpadki in druge negativne zunanje posledice zahtevali stroge standarde sanacije, specialistične institucije in učinkovita pooblastila države. Takšna ekološka korekcija je bila upravičena in večinoma uspešna. Njena institucionalna logika pa se je pozneje razširila od nadzorovanja dokazljivega onesnaževanja na ohranjanje biotske raznovrstnosti in od tod na upravljanje celotnega podeželskega prostora. Kmetijska in gozdarska dejavnost sta bili v tem prenosu pretežno postavljeni na stran pritiska oziroma potencialnega povzročitelja škode, omejitve dejavnosti pa na stran varstva celotnega prostora. Prav ta predpostavka je izvor sistemskega konflikta v kulturni krajini.

Zgrešeno konceptualno izhodišče sprva niti ni bilo razpoznano in je do izraza prišlo šele postopoma. Prehod od odpravljanja onesnaževanja k varstvu biotske raznovrstnosti sam po sebi namreč ni terjalo zmanjševanja dejavnosti človeka v prostoru. To se je zgodilo postopoma. Najprej je EU v osemdesetih letih vzpostavila program CORINE, kot evropski informacijski sistem za primerljiv popis stanja okolja in naravnih virov. Njegov projekt biotopov je vzpostavil skupno tipologijo območij, pomembnih za varstvo narave, ki je pozneje pomembno prispevala k oblikovanju omrežja Natura 2000. CORINE je pri tem razlikoval med redkimi naravnimi oziroma skoraj naravnimi združbami in razširjenimi polnaravnimi združbami, ki so nastale skozi dolgotrajno ekstenzivno človekovo rabo [1]. Tudi Habitatna direktiva (92/43/EGS) je v pojem »naravnih habitatov« zavestno vključila povsem naravne in polnaravne habitate (točka (b) 1. člena) ter v tretji uvodni izjavi opozorila, da ohranjanje biotske raznovrstnosti ponekod zahteva ohranjanje ali celo spodbujanje človekovih dejavnosti [2].

Konflikt v prostoru je nastal pri pretvorbi habitatne direktive v podatkovni in upravljavski sistem, saj so bila iz vzpostavljanja naravovarstvenega sistema izključena ključna vprašanja geneze habitatov, njihove odvisnosti od gospodarjenja in posledic predvidenih režimov za nosilce gospodarjenja. Prvotni popis stanja »narave« je tako zahteval opredelitev tipa, površine, reprezentativnosti, strukture, funkcij in možnosti obnove, ne pa sistematične ugotovitve njegove geneze, dejavnosti, ki ga je ustvarila, ter režima, potrebnega za njegovo dolgoročno vzdrževanje. Košnja, paša, gozdarstvo in druge oblike gospodarjenja v kulturni krajini so bile metodološko uvrščene med »vplive« na habitat, čeprav je bilo njihov vpliv mogoče označiti tudi kot pozitiven. Nastala je pomembna asimetrija: stanje je postalo predmet sistematičnega popisa, vzročna zveza med stanjem in gospodarjenjem pa ne. Pri antropogeno pogojenem habitatu je bila dejavnost, ki je njegov konstitutivni proces, podatkovno postavljena zunaj habitatov kot vpliv nanj. Izraz polnaraven je razliko dodatno zabil: opisuje zgodovinsko antropogeno pogojeno združbo, vendar brez poznavanja njenega izvora ustvarja predstavo o »skoraj naravi«, katere izboljšanje naj bi praviloma zahtevalo zmanjševanje človekove dejavnosti [3].

Sistem inventarizacije se je pozneje uporabil kot podlaga za normiranje prostora, ne da bi bila vzročna diagnoza, potrebna za izbiro ukrepa, enako sistematično izdelana. Sodišče EU je v zadevi First Corporate Shipping (C-371/98) odločilo, da se pri izboru in določitvi meja območij, predlaganih za omrežje Natura 2000, gospodarske, socialne in kulturne zahteve ter regionalne in lokalne značilnosti ne upoštevajo [4]. Ekološka merila so lahko zadostna za inventurno prepoznavanje in predlaganje območja, ne odgovorijo pa še na vprašanja geneze habitatov, primerne režima njegovega vzdrževanja, sorazmernosti konkretnega ukrepa in razporeditve njegovih bremen. Tudi upoštevanje gospodarskih, socialnih in kulturnih zahtev iz tretjega odstavka 2. člena Direktive samo po sebi ne nadomešča empirične vzročne diagnoze. Konflikt nastane, kadar se inventurni podatek brez te vmesne presoje pretvori v oblastni režim, ki omejuje košnjo, pašo ali gozdarstvo ter tako hkrati zmanjšuje gospodarsko vitalnost prostora in spodkopava procese, od katerih je evidentirani habitat odvisen.

Poleg vsebinskega problema pri normiranju prostora obstaja tudi problem kompetenc. Kulturna krajina je povezan ekološki, proizvodni, družbeni, zgodovinski in lastninski sistem. Njeno stanje ni posledica enega samega vpliva, temveč medsebojnega delovanja košnje, paše, gozdarstva, poselitve, infrastrukture, upravljanja voda, lastništva, razpoložljivega dela in naravne sukcesije. Institucije, vzpostavljene za varstvo posameznih naravnih vrednot, so s širitvijo varstvenih režimov postopoma dobile tudi dejanski položaj upravljalca zelenega stanja takšnega kompleksnega sistema. S tem je specialistična kompetenca za ugotavljanje stanja in ogroženosti posameznih vrst, habitatov ali naravnih procesov prerasla v pristojnost za določanje prioritet in ukrepov v prostoru, čeprav ti zahtevajo hkratno presojo ekoloških, proizvodnih, socialnih, gospodarskih in lastninskih posledic. Problem zato ni pomanjkanje specialističnega znanja, temveč njegova uporaba zunaj meja vprašanja, na katerega lahko posamezna stroka kompetentno odgovori.

V nadaljevanju so razvite tri povezane teze. Prvič, izvorni konflikt izhaja iz prenosa logike onesnaževalec–obremenitev–omejitev na kulturno krajino, v kateri je lahko gospodarjenje konstitutivni ekološki proces. Drugič, pasivizacija povzroča dvojni kontraproduktivni učinek: zmanjšuje gospodarsko vzdržnost nosilcev gospodarjenja in demografsko vitalnost podeželja, hkrati pa antropogeno pogojene habitate prikraja za delo, ki jih je ustvarilo in jih vzdržuje. Tretjič, Slovenija mora pred določanjem obnovitvenih ukrepov razlikovati med naravno in kulturno krajino ter vzpostaviti neodvisno teritorialno integracijo ekoloških, proizvodnih, socialnih in lastninskih učinkov. Noben sektorski specialist ne more legitimno določiti hierarhije vseh javnih in zasebnih interesov zgolj z razširitvijo spremenljivk lastne discipline. Argumentacija povezuje vsebinske pripombe k slovenskemu osnutku Nacionalnega načrta za obnovo narave in konceptualni predlog reforme upravljanja prostora [5,6] ter njune ugotovitve preverja ob empiričnih raziskavah, Evropski konvenciji o krajini, evropskem pravu in sodni praksi.

2 Kategorična napaka: gospodarjenje kot onesnaževanje kulturne krajine

Nacionalni načrt za obnovo narave, ki se oblikuje leta 2026 in je neposredna podlaga tega prispevka, razkriva širše protislovje okoljske politike. Obstoječe kmetijsko in gozdarsko gospodarjenje je pretežno predstavljeno kot obremenitev, ki jo je treba zmanjšati: manj košnje in paše, manjši vnos hranil, nepokošene površine, zmanjšan posek, več mrtve lesne mase ter izločanje izbranih gozdov iz gospodarjenja. Hkrati načrt predvideva izrazito aktivne posege za vzpostavitev izbranih habitatnih stanj: odstranjevanje zarasti, preoblikovanje travnišč, ponovno vzpostavljanje mokrišč, širjenje strug, povezovanje mrtvic, prestavljanje nasipov in zasajanje obrežne vegetacije [5]. Bistveno vprašanje zato ni odsotnost človekovega poseganja, temveč kdo določa ciljno stanje, na podlagi kakšne vzročne diagnoze, s čigavim delom bo vzpostavljeno in vzdrževano ter kdo bo nosil njegove stroške in posledice.

Seznam zavarovanih habitatov in vrst na ta vprašanja ne odgovori. Vsaka sprememba travnika v grmišče, grmišča v gozd, kmetijskega zemljišča v mokrišče ali gospodarjenega gozda v pasivno prepuščen sestoj koristi nekaterim ekološkim vrednotam, druge pa izrine. Izbira ciljnega stanja je zato normativna in prostorska odločitev, ne dejstvo, ki bi ga lahko določila ena sama znanstvena disciplina.

Napaka nastane, ko specialist, usposobljen za prepoznavanje posamezne vrednote, postane integrator sistema z več medsebojno povezanimi spremenljivkami. Gre za institucionalno nekompetentnost v natančnem pomenu besede: institucija mora optimizirati sistem, ki presega meje njenega strokovnega področja. Enaka napaka bi nastala, če bi upravljanje celotne krajine zaupali izključno ekonomistu, energetiku, hidrologu ali arheologu.

V pravnem jeziku je treba razlikovati med dokazanim onesnaževanjem, zakonitim gospodarjenjem in dejavnostjo, ki habitat konstituira. Načelo »onesnaževalec plača« se uporablja

pri konkretni okoljski škodi oziroma utemeljeni nevarnosti zanj, kadar je mogoče ugotoviti povzročitelja in vzročno povezavo med njegovo dejavnostjo ter škodljivim učinkom; samo lastništvo zemljišča ali opravljanje kmetijske oziroma gozdarske dejavnosti tega standarda ne izpolni [22,23]. Omejevanje dokazano škodljive uporabe pesticidov, gnojil ali drugih neprimernih praks zato predstavlja drugačen pravni in upravljavski položaj kot določanje ciljnih habitatov, režimov košnje in paše, razvojne strukture gozdov, količine mrtve lesne mase ali obnove mokrišč. V teh primerih država pogosto ne preprečuje dokazanega onesnaževanja, temveč oblikuje javno zaželeno stanje prostora in spreminja zakonite načine gospodarjenja. Takšna odločitev pomeni izbiro med različnimi ekološkimi, proizvodnimi in družbenimi funkcijami kulturne krajine ter lahko stroške njenega uresničevanja prenese na lastnike in nosilce gospodarjenja. Tudi Direktiva o habitatih priznava, da ima načelo »onesnaževalec plača« pri varstvu narave omejeno uporabo [2]. Kadar javna politika zaradi splošne koristi zahteva ohranitev ali spremembo zakonite rabe, gre zato za vprašanje vzročne strokovne podlage, sorazmernosti, sodelovanja prizadetih oseb in pravične porazdelitve bremen, ne za vnaprej dokazano odgovornost »onesnaževalca«.

Pasivizacija zato pomeni več kot formalno prepoved dejavnosti. Zajema oblastno ali ekonomsko povzročeno zmanjševanje dopustnega, dejanskega oziroma dolgoročno izvedljivega gospodarjenja in proizvodne dejavnosti: omejitev dostopa, opustitev košnje ali paše, odlašanje obnove gozda, administrativno nevzdržnost ter predpisano ekstenzifikacijo, ki lahko ostane aktivna oblika gospodarjenja, vendar zmanjša proizvodnjo na enoto površine. Če skupna potreba po hrani, lesu ali drugih dobrinah ostane enaka, nižja prostorska produktivnost poveča potrebno površino, uvoz ali prenos okoljskih obremenitev drugam. Presoja ukrepa mora zato poleg lokalnega naravovarstvenega učinka zajeti tudi demografsko vitalnost, gospodarsko izvedljivost, prehransko in surovinsko varnost ter prostorsko premestitev posledic.

3 Empirična podlaga: delo kot ekološki proces v kulturni krajini

Vzročno razlikovanje med čezmerno rabo, prilagojeno rabo in opustitvijo rabe podpirajo trije jedrni sklopi dokazov, ki jih dopolnjujeta primerjalni primer iz Apuanskih Alp in evropsko spremljanje stanja narave.

Interdisciplinarna raziskava Žige Zwitterja in Leonida Rasrana o alpskih travniških agroekosistemih kaže, da so nekatera izmed vrstno najbogatejših evropskih travnišč nastala z dolgotrajnim, krajevno prilagojenim kmetijskim gospodarjenjem [7]. Košnja, paša, prenos hranil ter časovna razporeditev dela niso bili zunanje motnje sicer neodvisnega ekosistema, temveč procesi njegovega nastajanja. Intenzifikacija lahko zmanjša biotsko raznovrstnost, vendar lahko tudi opustitev rabe sproži sukcesijo, zaraščanje in izginjanje vrst odprtih habitatov. Obnova mora zato ugotoviti zgodovinski način gospodarjenja in nadaljnjo odvisnost habitata od takšnega gospodarjenja.

Turkova zgodovinska sinteza kaže, da so se slovenska kmetijska zemljišča in gozdovi skozi stoletja spreminjali skupaj s poselitvijo, lastninskimi razmerji, proizvodnjo, tehnologijo in razpoložljivostjo dela [8]. Današnja mozaična krajina ni niti prvobitna narava niti nespremenljiv spomenik. Je nakopičena materialna zgodovina. Depopulacija, razdrobljeno lastništvo, upad živinoreje in zmanjšana razpoložljivost dela so zato tudi ekološki dejavniki, saj spreminjajo prakse, s katerimi se krajina obnavlja. Politika, ki človekovo dejavnost obravnava samo kot obremenitev, iz lastnega modela izloči pomembno vzročno spremenljivko.

Kušar in Kovač prideta do sorodne ugotovitve na podlagi kazalnikov razvoja slovenskih gozdov [9]. Leta 2018 so starejše razvojne faze obsegale 68 odstotkov gozdne površine, mlajše faze 29 odstotkov, raznodobni sestoji pa samo tri odstotke; isti vir gozdnatost za leto 2018 ocenjuje na 60 odstotkov ozemlja. Pomlajevanje je bilo nezadostno, več kazalnikov pa se je oddaljevalo od zelene smeri trajnostnega razvoja. Ti podatki ne upravičujejo večjega poseka povsod, potrjujejo pa, da pasivnosti ni mogoče enačiti s trajnostjo. Odporen gospodarjeni gozd zahteva pravočasno pomlajevanje, rastišču prilagojeno drevesno sestavo, uravnoteženo strukturo razvojnih faz in prilagajanje motnjam. Kušar in Kovač ugotavljata, da so po letu 2012 na razvoj slovenskih gozdov pomembno vplivali žledolom, napadi podlubnikov ter snego- in vetroolomi, vendar homogenizacije sestojev, porušene demografske strukture, neustreznega razmerja med posekom in prirastkom ter dolgih proizvodnih dob ni mogoče pojasniti samo z naravnimi motnjami. Nasprotno: več desetletna nezadostna sečnja in prepočasna obnova sta prispevali k zastaranju in strukturni neuravnoteženosti gozdov. V razmerah naraščajočih motenj je zato pravočasno prilagajanje sestojev pogoj njihove dolgoročne odpornosti.

Primerljivo dinamiko je Agnoletti dokumentiral v Apuanskih Alpah, kjer je opuščanje tradicionalnega kmetijskega in gozdarskega gospodarjenja spremljalo povečanje gozdnatosti s 30 na 77 odstotkov ter izrazito zmanjšanje krajinske raznovrstnosti; število krajinskih zaplat se je od leta 1832 zmanjšalo za 86 odstotkov, število rab pa za 76 odstotkov. Proces je opredelil kot degradacijo kulturne krajine in njen premik proti polnaravnemu modelu [10]. Ugotovitev je pomembna prav zato, ker pokaže, da večja naravnost oziroma manjši človekov vpliv v zgodovinsko oblikovani kulturni krajini sama po sebi nista merilo ekološkega izboljšanja.

Evropsko spremljanje stanja narave potrjuje enako vzročno razlikovanje. Evropska agencija za okolje med pomembne pritiske na habitate uvršča tako intenzifikacijo kakor opuščanje ekstenzivnega gospodarjenja ter sukcesijo v polnaravnih habitatih povezuje s prenehanjem košnje in paše [11]. Metodologija evropskega poročanja ločeno obravnava opuščanje gospodarjenja s travišči, intenzivno pašo in uporabo gnojil, ker gre za različne procese, ki zahtevajo različne ukrepe [12]. Skupna oznaka kmetijstva ali gozdarstva kot »pritiska« zato ne dokazuje, da je nosilec gospodarjenja povzročitelj poslabšanja; v isti kategoriji sta lahko združena čezmeren poseg in odsotnost potrebnega posega. Za politiko iz tega sledi stroga ugotovitev: podatki o stanju sami po sebi ne pojasnijo vzroka, neugodno

stanje pa samo po sebi ne dokazuje, da je zmanjšanje rabe ustrezen ukrep.

4 Konvencija kot standard upravljanja

Evropska konvencija o krajini zagotavlja ustrezen pojmovni okvir. Krajino opredeljuje kot območje, kakor ga zaznavajo ljudje in katerega značilnosti so rezultat delovanja ter medsebojnega vplivanja naravnih in človeških dejavnikov. Konvencija velja za celotno ozemlje: naravne, podeželske, mestne in primestne krajine ter za izjemne, vsakdanje in degradirane krajine [13, 1. člen, točka a, in 2. člen].

Konvencija razlikuje med varstvom, upravljanjem in načrtovanjem krajine. Upravljanje opredeljuje kot delovanje, ki z vidika trajnostnega razvoja zagotavlja redno vzdrževanje krajine in usmerjanje sprememb, načrtovanje pa kot odločno, v prihodnost usmerjeno delovanje za izboljšanje, obnovo ali ustvarjanje krajine [13, 1. člen, točke d–f].

Peti in šesti člen takšno opredelitev pretvarjata v program upravljanja. Pogodbenice morajo krajino pravno priznati, oblikovati krajinsko politiko, vzpostaviti postopke sodelovanja javnosti ter krajino vključiti v okoljske, kmetijske, socialne, gospodarske in prostorske politike. Zagotoviti morajo multidisciplinarno usposabljanje strokovnjakov, opredeliti krajine in s sodelovanjem zainteresirane javnosti analizirati sile, ki jih spreminjajo, ovrednotiti vrednote, ki jim jih pripisujejo zainteresirane skupine, ter po posvetovanju opredeliti cilje kakovosti krajine [13].

Konvencija tako zavrača dve bližnjici: zoženje krajine na zavarovani naravni predmet ter vključevanje javnosti šele potem, ko je bilo ciljno stanje dejansko že izbrano.

Celotno upravljanje krajine ne podreja naravovarstva drugim interesom. Umešča ga v sistem odločanja, ki je sposoben prepoznati območja, kjer morajo imeti naravni procesi prednost, polnaravne habitate, ki zahtevajo ponavljajoče se človekovo delo, ter krajine, v katerih sta socialna in gospodarska vitalnost pogoj ekološke kontinuitete. Tudi priporočila Sveta Evrope za podeželska območja zahtevajo vključevanje krajine v kmetijske, gozdarske, energetske in demografske prehode, namesto da bi vsakega izmed njih upravljali ločeno [14].

5 Nova ureditev prostorskega odločanja

Konflikt v kulturni krajini se odraža tudi pri načinu upravljanja. Na znatnem delu prostora je namreč vzpostavljena piramidna hierarhija med strokami, kjer je prostorska opredelitev pogojena z enostransko prioriteto, brez preverjanja posledic takšne odločitve na celoten sistem. Takšna hierarhija izhaja iz zgoraj pojasnjene zgrešene koncepta definicije prostora. Zato bi bilo najprej potrebno formalizirati osnovno opredelitev prostora, pri normiranju prostora pa ločiti štiri funkcije, ki so v sedanjem sistemu pogosto pomešane.

Prvič, demokratično izvoljeni organi določijo javne prioritete in njihovo hierarhijo. Drugič, specialistične institucije ugotovijo

dejstva, tveganja, vzročne povezave in negotovosti znotraj svojih strokovnih področij. Tretjič, teritorialni integrator primerja izvedljive alternative glede na njihove ekološke, proizvodne, socialne, javnofinančne in lastninske učinke. Četrto, pristojni organ sprejme obrazloženo in pravno preverljivo odločitev, ki jo ustrezno procesira.

Ločitev je bistvena, ker znanstvena ugotovitev o posamezni vrednoti še ni politična prioriteta, celostni optimum ali zakonita omejitev.

Namesto hierarhičnih odnosov med strokami, v katerih prevlada ena sektorska presoja, mora upravljanje prostora temeljiti na teritorialni integraciji. Njena naloga je povezati strokovne podlage s področij narave, voda, kmetijstva, gozdarstva, kulturne krajine, demografije, ekonomije in prostorskega načrtovanja ter pripraviti celostno presojo izvedljivih alternativ. Politične prioritete določa demokratično pristojni organ, integrator pa predlaga njihovo prostorsko usklajevanje. Integratorja opredeljujejo štirje pogoji: neposredno poznavanje prostora in trajen stik z nosilci gospodarjenja; nepristranska sinteza relevantnih strokovnih podlag; organizacijska ločitev svetovalnih, nadzornih in gospodarskih funkcij; ter presoja izvedljivosti ukrepov, njihovih posledic in porazdelitve bremen. Sodelovanje nosilcev gospodarjenja je bistveno, saj brez njihove dejavnosti ciljev v kulturni krajini ni mogoče uresničiti. V kmetijski kulturni krajini je tej vlogi najbližja javna kmetijska svetovalna služba, v gospodarjeni gozdni krajini javna gozdarska strokovna in svetovalna služba, v naravni krajini institucija za varstvo narave, v urbani krajini pa urbanistična institucija. Vlogo integratorja lahko prevzamejo po organizacijski in metodološki preobrazbi, ki zagotovi interdisciplinarnost, nepristranskost ter sodelovanje nosilcev gospodarjenja.

Te institucije ne smejo zgolj seštevati sektorskih mnenj. Oblikovati morajo alternative, razkriti medsebojne konflikte in preveriti, ali je predlagana ureditev praktično izvedljiva ter dolgoročno vzdržna. Zaradi preprečevanja institucionalne pristranskosti morajo specialistične institucije ohraniti pravico do javno objavljenega ločenega mnenja, odločilne strokovne podlage morajo biti neodvisno preverljive, konflikt interesov mora biti razlog za izločitev, kazalniki uspešnosti pa morajo biti določeni pred začetkom izvajanja ureditve.

Za vsak prostorsko ureditev mora integrirana strokovna podlaga razkriti:

- sedanje stanje in njegov zgodovinski nastanek;
- ugotovljeni vzrok poslabšanja;
- stopnjo negotovosti in kakovost podatkov;
- najmanj scenarije nadaljevanja, prilagoditve in opustitve rabe;
- izbrani cilj kakovosti krajine;
- ekološke, gospodarske, socialne in lastninske učinke;
- porazdelitev stroškov;
- odgovornost za nadaljnje vzdrževanje;
- kazalnike rezultatov;
- vnaprej določen razlog za ponovno odprtje režima.

Tako se politika iz dogme spremeni v preverljivo hipotezo. Če se izmerjeni rezultati razlikujejo od napovedanih, se mora režim ponovno odpreti.

Takšno ureditev podpirata odločbi Ustavnega sodišča U-I-139/15 in U-I-151/15, ki zahtevata preverljive strokovne podlage, upoštevanje konkretnih okoliščin, sodelovanje prizadetega lastnika ter pravično ravnanje med javno koristjo in zasebnim bremenom [15,16]. Enaka zahteva velja za gozdnogospodarske načrte, naravovarstvene režime in ukrepe obnove narave, kadar spreminjajo pravni položaj zemljišča, omejujejo njegovo rabo ali zmanjšujejo njegovo vrednost. Inventura lahko dokazuje prisotnost in prostorski obseg habitatnega tipa, sama pa ne dokazuje vzroka njegovega stanja, nujnosti izbranega ukrepa, njegove sorazmernosti ali kumulativnega učinka več prekrivajočih se režimov. Brez teh ugotovitev ni mogoče presoditi niti dopustnosti posega niti vprašanja nadomestila.

Pravo EU navedeno razlikovanje potrjuje na več ravneh. Sodbi Bund Naturschutz in Bayern (C-244/05) in Cascina Tre Pini (C-301/12) kažeta, da lahko že določitev območja povzroči varovalne in lastninskopravne učinke [20,21], sodba Sātiņi-S (C-234/20) pa izrecno priznava, da naravovarstvene omejitve posegajo v izvrševanje lastninske pravice, čeprav pravo Unije ne zagotavlja avtomatične odškodnine za vsako omejitev [19]. Sodbe ERG, Fipa Group in Naturschutzbund Deutschland hkrati potrjujejo razlikovanje med povzročiteljem ugotovljive okoljske škode, lastnikom omejenega zemljišča in nosilec gospodarjenja, čigar običajno zgodovinsko gospodarjenje je lahko skladno z varstvenimi cilji. [22–24]. Inventurna določitev območja zato ne more nadomestiti vzročne in sorazmernostne presoje konkretnega ukrepa, njegovega kumulativnega učinka ter položaja prizadetega lastnika.

Ustrezen vrstni red odločanja je zato naslednji: dokazi, prostorska določitev, identifikacija prizadetih oseb, kontradiktorno preverjanje, primerjava alternativ, skrbno tehtanje in pravna odločitev. Zakonsko pooblastilo vzpostavi pristojnost organa, ne more pa samo po sebi dokazati empirične resničnosti njegovih predpostavk.

Predlagana reforma pa ne more učinkovati samo za prihodnje prostorske odločitve. Ker so bili obstoječi varstveni režimi pogosto izpeljani iz inventurnih podatkov, ki dokazujejo prisotnost habitatov, ne pa nujno tudi njihove geneze, vzrokov poslabšanja in primernosti izbranih omejitev, bi bila potrebna tudi pravno-strokovna revizija že vzpostavljenih posegov v kulturno krajino. Revizija mora odgovoriti na vprašanje ali so bile pri uveljavitvi režimov varstva narave upoštevane vzročne podlage ukrepov, izvedljive alternative, vključeno sodelovanje nosilcev gospodarjenja, dejanski rezultati ter posamični in kumulativni učinki režimov na rabo, dostop, gospodarsko vzdržnost in vrednost zemljišč. Namen takšne revizije bi bila vzpostavitev pravne in strokovne povezave med ugotovljenim habitatom, dokazanim vzrokom njegovega stanja, izbranim ukrepom in bremenom, naloženim posamezniku. Režime, ki te povezave ne izkazujejo, je treba dopolniti, spremeniti ali odpraviti; kadar zaradi javne koristi ohranijo pretirano

individualno breme, pa zagotoviti ustrezno pogodbeno plačilo oziroma nadomestilo.

6 Uporaba pri obnovi narave

Uredba (EU) 2024/1991 Sloveniji ne nalaga enotnega modela pasivizacije. Med njenimi cilji je prehranska varnost, pri obnovi kmetijskih ekosistemov pa zahteva upoštevanje socialnih in gospodarskih potreb podeželja ter trajnostne kmetijske proizvodnje. Priprava načrta mora temeljiti na spremljanju in raziskavah ter najnovejših znanstvenih dokazih (14(1) člen). Posebej pomembna je obveznost države, da prepozna sinergije s kmetijstvom in gozdarstvom ter obstoječe kmetijske in gozdarske prakse, ki prispevajo k ciljem obnove (14(10) člen). Načrt mora stremeti k optimizaciji ekoloških, gospodarskih in socialnih funkcij ekosistemov (14(16)(b) člen), zagotoviti zgodnje in učinkovito sodelovanje javnosti ter opredeliti pričakovane socialno-ekonomske učinke, finančne potrebe in podporo prizadetim lastnikom ter drugim nosilcem gospodarjenja [17]. Te določbe zahtevajo razlikovanje med dejavnostjo, ki habitat obremenjuje, in dejavnostjo, ki ga vzdržuje, ter omogočajo aktivni program obnove kulturne krajine.

Prenovljeni Nacionalni načrt za obnovo narave bi se moral začeti s prostorsko klasifikacijo naravnih, polnaravnih in kulturnih krajinskih enot. Pri vsaki enoti bi moral ugotovljeno stanje povezati z dokazanim vzrokom ter primerjati posledice nadaljevanja rabe, prilagojenega gospodarjenja in opustitve rabe.

Pogodbena košnja in pašna, odstranjevanje zarasti, vzdrževanje krajinskih značilnosti, nega in pomlajevanje gozdov ter krajevno prilagojeno upravljanje voda bi morali postati osrednji instrumenti obnove tam, kjer je človekovo delo sestavni pogoj ciljnega habitata. Prostorsko omejeno prepuščanje naravnim procesom ostaja ustrezno tam, kjer je takšen razvoj jasno določena prioriteta ter so bile ovrednotene izrinjene vrednote in nastala bremena. Tak pristop je skladen s konceptom obnove večnamenskih kulturnih krajin, ki tradicionalnih oblik rabe ne obravnava kot nasprotje obnove, temveč njihove ekološko funkcionalne elemente povezuje s sodobnimi, produktivnejšimi oblikami gospodarjenja [18].

7 Sklep

1. Kulturno krajino je treba obravnavati kot skupni rezultat naravnih procesov in človekovega gospodarjenja. Prenos modela nadzora onesnaževanja na travnišča, mozaično krajino in gospodarjene gozdove lahko dejavnosti, ki te habitate vzdržujejo, napačno opredeli kot obremenitev.

2. Pasivizacija ima lahko dvojni učinek: oslabi gospodarsko vzdržnost in poseljenost podeželja ter povzroči zaraščanje, homogenizacijo in izgubo habitatov, odvisnih od redne rabe. Zato je treba pri vsakem ukrepu ugotoviti zgodovinski nastanek in vzroke sedanjega stanja ter primerjati posledice nadaljevanja, prilagoditve in opustitve gospodarjenja.

3. Evropska konvencija o krajini daje podlago za celostno upravljanje celotnega ozemlja, povezovanje sektorskih politik in sodelovanje ljudi, ki krajino vzdržujejo. Pri odločanju je treba ločiti inventurni izbor območja od konkretnega ukrepa, dokazano škodo od zakonitega gospodarjenja ter javni cilj od sorazmernega posega v lastnino.

4. Strogo varstvo je utemeljeno, kjer ga podpirata prostorska in vzročna presoja; tam, kjer je človekovo delo pogoj za ohranitev habitatov, mora biti osrednji ukrep aktivno gospodarjenje. Javne storitve je treba plačati, nesorazmerna individualna bremena pa nadomestiti. Uspeh naj se meri s stanjem habitatov, proizvodno sposobnostjo prostora in dolgoročno prisotnostjo nosilcev gospodarjenja.

5. Če revizija obstoječih režimov pokaže, da so bili uvedeni brez ustrezne vzročne in lastninskopravne presoje, je treba poleg reforme prihodnjega odločanja ponovno presoditi tudi zakonitost in sorazmernost že vzpostavljenih omejitev.

Literatura

- [1] European Commission, Directorate-General for Environment. 1991. CORINE Biotopes Manual: A Method to Identify and Describe Consistently Sites of Major Importance for Nature Conservation in Europe. Habitats of the European Community. Data Specifications, Part 2. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. ISBN 92-826-3211-3.
- [2] Council of the European Communities. 1992. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Official Journal L 206, 22 July 1992, 7–50.
- [3] European Commission. 1997. Commission Decision 97/266/EC of 18 December 1996 concerning a site information format for proposed Natura 2000 sites. Official Journal L 107, 24 April 1997, 1–156. (pozneje nadomeščena z Izvedbenim sklepom Komisije 2011/484/EU).
- [4] Court of Justice of the European Union. 2000. The Queen v Secretary of State for the Environment, Transport and the Regions, ex parte First Corporate Shipping Ltd, C-371/98, ECLI:EU:C:2000:600, Judgment of 7 November 2000.
- [5] Perne, T. 2026. Pripombe k osnutku Nacionalnega načrta za obnovo narave Slovenije (NNON). Vloga v postopku javne obravnave, 5. avgust 2026.
- [6] Perne, T. 2026. Reforma upravljanja prostora: od zgodovinsko upravičene ekološke korekcije k celostnemu upravljanju kulturne krajine. Konceptualni delovni dokument, različica 3, avgust 2026.
- [7] Zwitter, Ž.; Rasran, L. 2026. Historical Biodiversity in the Alps: Grassland Agroecosystems in the Last Millennium. Interdisciplinary Perspectives 4. Vienna: Austrian Academy of Sciences Press. ISBN 978-3-7001-8718-9.
- [8] Turk, Z. 2021. Kmetijska zemljišča in gozdovi Slovenije kot posest in ekonomski objekt skozi čas. Straža: samozaložba. ISBN 978-961-95468-0-2.
- [9] Kušar, G.; Kovač, M. 2023. Are Slovenia's forests deviating from sustainable development? (Ali se slovenski gozdovi odmikajo od trajnostnega razvoja?) Acta Silvae et Ligni 131, 1–27. <https://doi.org/10.20315/ASetL.131.2>.

- [10] Agnoletti, M. 2007. The degradation of traditional landscape in a mountain area of Tuscany during the 19th and 20th centuries: Implications for biodiversity and sustainable management. *Forest Ecology and Management* 249(1–2), 5–17. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.032>.
- [11] European Environment Agency. 2020. State of Nature in the EU: Results from Reporting under the Nature Directives 2013–2018. EEA Report No 10/2020. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2800/088178>.
- [12] Röschel, L. et al. 2020. State of Nature in the EU – Methodological Paper: Methodologies under the Nature Directives Reporting 2013–2018 and Analysis for the State of Nature 2000. ETC/BD Technical Paper 2/2020.
- [13] Council of Europe. 2000. European Landscape Convention, ETS No. 176. Florence, 20 October 2000.
- [14] Council of Europe, Committee of Ministers. 2019. Recommendation CM/Rec(2019)7 with a view to the implementation of the European Landscape Convention of the Council of Europe – Landscape integration in policies relating to rural territories in agricultural and forestry, energy and demographic transition. Adopted on 16 October 2019.
- [15] Ustavno sodišče Republike Slovenije. 2020. Odločba U-I-139/15 z dne 23. aprila 2020. Uradni list RS, št. 74/20; OdlUS XXV, 6.
- [16] Ustavno sodišče Republike Slovenije. 2020. Odločba U-I-151/15 z dne 4. junija 2020. Uradni list RS, št. 90/20; OdlUS XXV, 11.
- [17] European Parliament and Council. 2024. Regulation (EU) 2024/1991 of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869. *Official Journal of the European Union* L 2024/1991.
- [18] Zerbe, S. 2022. Restoration of Multifunctional Cultural Landscapes: Merging Tradition and Innovation for a Sustainable Future. *Landscape Series*, Vol. 30. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-95572-4>.
- [19] Court of Justice of the European Union. 2022. *Sătișii-S SIA v Lauku atbalsta dienests*, C-234/20, ECLI:EU:C:2022:56, Judgment of 27 January 2022.
- [20] Court of Justice of the European Union. 2006. *Bund Naturschutz in Bayern eV and Others v Freistaat Bayern*, C-244/05, ECLI:EU:C:2006:579, Judgment of 14 September 2006.
- [21] Court of Justice of the European Union. 2014. *Cascina Tre Pini Ss v Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare and Others*, C-301/12, ECLI:EU:C:2014:214, Judgment of 3 April 2014.
- [22] Court of Justice of the European Union. 2010. *Raffinerie Mediterranee (ERG) SpA and Others v Ministero dello Sviluppo economico and Others*, C-378/08, ECLI:EU:C:2010:126, Judgment of 9 March 2010.
- [23] Court of Justice of the European Union. 2015. *Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare and Others v Fipa Group Srl and Others*, C-534/13, ECLI:EU:C:2015:140, Judgment of 4 March 2015.
- [24] Court of Justice of the European Union. 2020. *Naturschutzbund Deutschland – Landesverband Schleswig-Holstein eV v Kreis Nordfriesland*, C-297/19, ECLI:EU:C:2020:533, Judgment of 9 July 2020.

ZELENI PREHOD BREZ KMETA NI ZELEN

Green Transition Without Farmers Is Not Green

Branko Tomažič

President of the Slovenian Chamber of Agriculture and Forestry

National Council of Slovenia

branko.tomazic@ds-rs.si

Abstract

Farmers are guardians of nature, the cultural landscape, and food security.

When we talk about environmental protection today, the impression is often created that its main guardians are various environmental organizations, activists, and conservationists. Yet a historical fact is often overlooked: Slovenia's nature and cultural landscape were not preserved by those who talk about them the most today, but by the people who have cultivated, mowed, grazed, and maintained them for centuries — Slovenian farmers.

Keywords

Farming, cultural landscape, environment protection, green transition

Povzetek

Kmet je varuh narave, kulturne krajine in prehranske varnosti.

Ko danes govorimo o varovanju okolja, se pogosto ustvarja vtis, da so njegovi glavni varuhi različne okoljske organizacije, aktivisti in naravovarstveniki. Pri tem pa se pozablja na zgodovinsko dejstvo: slovenske narave in kulturne krajine niso ohranili tisti, ki danes o njej največ govorijo, ampak ljudje, ki so jo stoletja obdelovali, kosili, pasli in vzdrževali – slovenski kmetje.

Ključne besede

Kmetovanje, kulturna krajina, varstvo narave, zeleni prehod

Uvod

Slovenska kulturna krajina ni nastala v pisarnah, na konferencah ali v okoljskih strategijah. Nastajala je z vsakodnevnim delom generacij kmetov. Travniki, pašniki, njive, sadovnjaki, mejice in mozaična krajina, ki jo danes občudujemo kot eno največjih vrednot Slovenije, so rezultat človekovega odgovornega gospodarjenja s prostorom. Če ne bi bilo kmetov, danes

marsikaterega habitata, travnika in pašnika, ki ga želimo varovati, preprosto ne bi bilo.

Zato je nevarno, kadar posamezniki, ki s kmetijstvom nimajo praktičnih izkušenj in posledic svojih odločitev ne nosijo na svojih ramenih, določajo, kako naj kmet obdeluje svojo zemljo in kako naj gospodari z živalmi. Njihove predstave o naravi so lahko dobronamerne, vendar postanejo problematične, ko postanejo ekstremne, ideološke in odmaknjene od realnosti podeželja ter se uveljavljajo proti ljudem, ki v tem prostoru dejansko živijo in delajo.

Narava ni muzej, človek pa ni njen obiskovalec. Kmet je njen aktivni upravljevalec. Narava, ki jo želimo ohraniti, potrebuje človeka, vendar človeka, ki zna z njo gospodariti. Slovenski kmet je to znanje dokazoval stoletja.

MIT: manj kmetijstva pomeni več narave

To je ena od predstav, ki jo moramo resno preveriti. Ko se kmetijska zemljišča opuščajo, se pogosto začne zaraščanje. Izginjajo travniki in pašniki, spreminjajo se habitati, izgublja se značilna kulturna krajina. Hkrati pa država izgubljen domačo proizvodnjo nadomešča z uvozom.

Tako lahko nastane paradoks: domačemu kmetu omejujemo proizvodnjo v imenu varovanja narave, hrano pa nato uvažamo iz okolij, kjer so standardi lahko nižji in kjer je okoljski odtis proizvodnje bistveno manj pod nadzorom.

Če pri izračunu okoljskega učinka ne upoštevamo tega, kar se dogaja zunaj naših meja, ne merimo celotnega problema. Samo predstavljamo ga drugam.

Kmetijstvo je del rešitve, ne problem

Kmetijstvo mora zmanjševati svoje negativne vplive tam, kjer je to strokovno utemeljeno. Toda to mora početi skupaj s kmeti in na podlagi merljivih učinkov, ne na podlagi ideoloških predstav.

Kmet potrebuje možnost, da proizvaja hrano, vzdržuje zemljo in skrbi za živali. Potrebuje pa tudi razumne predpise, ekonomsko vzdržnost in pravico do odločanja o svojem delu.

To je še posebej pomembno pri živinoreji in paši. Na velikem delu slovenskega podeželja je prav živina tista, ki omogoča ohranjanje travinja in odprte krajine. Če zaradi različnih omejitev, napadov velikih zveri ali ekonomskega pritiska kmet opusti rejo in pašo, posledice niso samo gospodarske. Iz prostora se umika človek, pašnik se zarašča in kulturna krajina izginja.

Podobno velja za najboljše kmetijska zemljišča. Če jih zaradi različnih »zelenih« projektov trajno namenimo drugim rabam,

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).
Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia
© 2025 Copyright held by the owner/author(s).
http://doi.org/DOI_RECEIVED_AFTER_REVIEW

moramo vedeti, da izgubljammo proizvodni potencial za hrano. Obnovljivi viri energije so pomembni, vendar zelena energija na najboljši njivi še ne pomeni zelene politike, če zaradi tega izgubimo sposobnost pridelave hrane.

Kdo bo varoval naravo, če ne bo več kmeta?

To je vprašanje, ki ga moramo postaviti tudi stroki in politiki.

Ali bomo naravo varovali tako, da bomo kmetu preprečevali gospodarjenje, nato pa pričakovali, da bo še naprej ostal na podeželju?

Ali bomo imeli travnike in pašnike samo še na zemljevidih naravovarstvenih načrtov, v realnosti pa bodo zaraščeni?

Ali bomo domačo pridelavo zmanjšali, hrano pa uvažali in se pri tem tolažili, da smo v Sloveniji zmanjšali svoje izpuste?

To ni dolgoročna okoljska politika. To je lahko samo premik problema izpred naših oči.

Zato je treba jasno povedati: kmetje nismo nasprotniki varovanja narave. Kmetje smo bili prvi in najdlje trajajoči varuhi slovenske kulturne krajine. Brez njihovega dela številnih današnjih »naravnih vrednot« sploh ne bi bilo.

Naravovarstveniki lahko opozarjajo na probleme in predlagajo rešitve. Tudi njihovo znanje je lahko pomembno. Vendar nihče nima pravice svoje predstave o naravi uveljavljati tako, da izrine človeka, ki je to naravo stoletja soustvarjal. Naravovarstvo brez

človeka in brez kmeta lahko hitro postane varovanje podobe narave, ne pa varovanje živega prostora.

Potrebujemo manj ideologije in več merjenja

Vsak okoljski ukrep bi moral biti preverjen z dejanskimi podatki: kaj pomeni za pridelavo hrane, tla, vodo, biotsko raznovrstnost, kmetijska zemljišča, živinorejo, podeželje in uvoz hrane.

Če ukrep zmanjša domačo pridelavo, moramo izračunati, kaj se zgodi potem. Če zaradi njega uvozimo več hrane, moramo upoštevati tudi okoljski odtis tega uvoza. Če zaradi omejitev izgubimo kmetije in pašnike, moramo meriti tudi posledice za kulturno krajino.

Okoljski cilj, ki ni preverjen na celotni verigi – od njive do potrošnika in od domače proizvodnje do uvoza – ni strokovno preverjen cilj.

Zeleni prehod zato ne sme postati projekt, v katerem je kmet predstavljen kot problem, okoljski aktivist pa kot edini poznavalec narave. Če želimo ohraniti naravo, kulturno krajino in prehransko varnost, potrebujemo predvsem **aktivnega, ekonomsko vzdržnega in spoštovanega kmeta**.

Slovenske kulturne krajine niso ustvarili tisti, ki jih danes rišejo v strategijah. Ustvarile so jih generacije kmetov s svojim delom. Če želimo, da ostanejo ohranjene tudi za prihodnje rodove, moramo najprej poskrbeti, da bo na tej zemlji še naprej kmetoval človek.

Brez kmeta ni hrane. Brez kmeta ni kulturne krajine. In brez aktivnega kmeta tudi varovanje narave nima prihodnosti.

Sonaravni materiali za trajnostni razvoj in varno prihodnost človeštva

Nature-Friendly Materials for Sustainable Development and a Safe Future for Humanity

Prof. dr. Franc Pohleven
Biotehniška fakulteta
Univerza v Ljubljani
Ljubljana, Slovenija
Franc.Pohleven@bf.uni-lj.si

Abstract / Povzetek

Družba se vse bolj zaveda, da tehnološkega napredka ne moremo več upravičevati na račun degradacije okolja, ogrožanja zdravja ljudi in vse bolj ekstremnih vremenskih pojavov. Podnebne spremembe, degradacija okolja, izguba biotske raznovrstnosti in vse večja poraba naravnih virov jasno kažejo, da dosednji razvojni model ni več vzdržan. Poglavitni krivec za sedanje razmere je energetska potratna industrija, ki temelji na fosilnih surovinah. Dolga desetletja smo verjeli, da je mogoče fosilno industrijo ohranjati s povečevanjem proizvodnje bio-energije iz naravnih virov, kot je lesna biomasa. Danes postaja jasno, da ima takšen razvoj omejitve, saj se tudi pri izogibanju bio-goriv sprošča CO₂, hkrati pa tudi zelo škodljivi trdni delci (PM₁₀, PM₅ in PM_{2,5}) ter črni ogljik, ki močno obremenjujejo okolje in zdravje ljudi. Če želimo prihodnjim generacijam zapustiti varno in zdravo okolje, moramo vizijo gospodarskega razvoja temeljito spremeniti. Tako je skrb za varno prihodnost človeštva enega ključnih izzivov sodobnega gospodarstva, usmerjenega v tehnološke rešitve, ki ne uničujejo narave in so v skladu z načeli trajnostnega razvoja.

Vendar energetska intenzivna industrija, ki temelji na fosilnih surovinah in je poglaviti krivec degradacije, ne moremo zaustaviti, lahko pa jo preusmerimo v energetsko manj zahtevno

in okolju prijaznejše gospodarstvo, ki bo v večji meri temeljilo na proizvodnji izdelkov in gradnji objektov iz sonaravnih materialov, kot so kamen, les, ilovica, glina, slama ter drugi ostanki kmetijske proizvodnje. Bio-materiali so v naravi prisotni in nam na razpolago brez energetske zahtevne ter okoljsko sporne predelave. Ta gradiva so ljudje v preteklosti že uspešno uporabljali v gradnji in izdelavi številnih izdelkov, zato bi jih morali, ob upoštevanju sodobnih tehnoloških dognanj, ponovno v večji meri vključevati v »zeleno« gospodarstvo, ki bo temeljilo na lokalno dostopnih obnovljivih virih.

V Sloveniji nimamo rudnih bogastev, niti lastnih energentov za proizvodnjo elektrike. Imamo pa obilje lesa in drugih sonaravnih materialov, ki jih je mogoče z malo energije in vpliva na okolje predelati v izdelke z visoko dodano vrednostjo. Zato je skrajni čas, da vizijo gospodarskega razvoja preusmerimo iz fosilne v zeleno industrijo, ki bi Sloveniji omogočala na lastnih surovinah temelječo nizkoogljično družbo. Prehod s fosilnih surovin na sonaravne materiale bi pomembno zmanjšal odvisnost Slovenije, pa tudi EU, od uvoza fosilnih energentov in surovin. S tem bi po načelih Načrta za okrevanje in odpornost (NOO) okrepili gospodarsko in energetsko varnost, zmanjšali okoljske obremenitve ter hkrati omejili tveganje, da bi oskrba z energenti in surovinami postala sredstvo geopolitičnega pritiska.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).
Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia
© 2026 Copyright held by the owner/author(s).
<http://doi.org/10.70314/is.2026.demo.167>

Systemic Resilience of Drinking Water Supply After the 2026 Drought: Myths, Truths, and the Road to a Digital Twin

Daniel Kozelj[†]

University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering

Ljubljana, Slovenia

daniel.kozelj@fgg.uni-lj.si

Abstract

This study examines the systemic resilience of drinking water supply in Slovenia by confronting some widely held beliefs with three bodies of evidence, i.e., the conceptual and legal definition of resilience, the record hot and dry summer of 2026, and four applied machine learning (ML) studies carried out on Slovenian water distribution networks (WDNs). Between July and September 2026, the Slovenian Environment Agency (ARSO) classified up to 12 of 15 regions as being in extreme agricultural drought and 10 of 15 regions in severe groundwater drought; the Water Directorate ordered reduced groundwater abstraction in four municipalities, 16 municipalities in the north-east restricted water use, and one supply area was served by tankers. The four ML cases, i.e., raw-water turbidity forecasting, pipe failure prediction with cost-sensitive evaluation, uncertainty of national leakage indicators, and anomaly detection in district metered areas (DMAs), are used in order to show where ML shortens the time between the onset of an event, its detection, and the response. The results show that the digital layer is a suitable means of improving the rapidity dimension of resilience, whereas calibrated hydraulic models, reliable data, cybersecurity, and a responsible operator remain its preconditions.

Keywords

Drinking water supply, resilience, drought 2026, machine learning, digital twin, critical infrastructure, Slovenia

[†]Head of the Institute of Municipal Economy (IKG), UL FGG.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia

© 2026 Copyright held by the owner/author(s).

http://doi.org/DOI_RECEIVED_AFTER_REVIEW

Truths and Myths about Hay Meadow Management and Biodiversity in History

Žiga Zwitter[†]

Department of History
University of Ljubljana, Faculty of
Arts
Ljubljana, Slovenia

ziga.zwitter@ff.uni-lj.si

Abstract

The presentation focuses on methods of work in the environmental history and historical ecology of meadows, with an emphasis on historical materials for studying the biodiversity of hay meadows. It presents insights into meadow biodiversity from the 16th to mid-20th century. The final section outlines historical farmers' attitudes to meadow biodiversity from the 16th to mid-20th century.

Conclusions are:

1. Interdisciplinary understanding of data from existing historical and palaeoecological data confirm the long history of high levels of meadow biodiversity supported by small-scale heterogeneity of habitats and many ecotones in European mosaic cultural landscapes [2][6].

2. High levels of biodiversity in species-rich meadows as biodiversity hotspots were co-created by the long historical coevolution of humans (until mid-20th century farming usually provided a moderate level of disturbance) and the rest of nature [2][6].

General public myth 1: Preserving “wilderness” is enough to preserve European biodiversity. Not in hay meadows of the temperate zone as seminatural ecosystems! [6]

3. Even though 20th-century agronomy rarely dealt with species-rich grasslands [5], meadow biodiversity plays relevant functional roles [1][3][6].

General public myth 2: Biodiversity and modern grassland farming are not compatible (of course, they are compatible only if market and policies reward the existence of a certain percentage of species-rich agroecosystems) [1][3][4][6].

4. Even though meadow biodiversity was primarily a side product of historical farming, farmers intentionally cared for some meadow animals. This has changed in many cases with the industrial intensification of farming [6].

Myth 3: Intentional care for meadow animals appeared only with the 19th-century nature conservation movement.

Keywords

biodiversity, meadows, historical ecology, environmental history, historical methods

Acknowledgment

This publication is a result of the research programme Slovene History (ARIS, P6-0235).

References

- [1] Walter Dietl and Josef Lehmann. 2004. *Ökologischer Wiesenbau: Nachhaltige Bewirtschaftung von Wiesen und Weiden*. Leopoldsdorf, Österreichischer Agrarverlag.
- [2] Jonathan D. Gordon, Brennen Fagan, Jonathan Finch, Lindsey Gillson, Nicky Milner, and Chris D. Thomas. 2026. Black Death Land Abandonment Drove European Diversity Losses. *Ecology Letters* 29(3), e70325. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.70325>.
- [3] Danièle Magda, Christine de Sainte Marie, Sylvain Plantureux, Cyril Agreil, Bernard Amiaud, Philippe Mestelan, and Sarah Mihout. 2015. Integrating Agricultural and Ecological Goals into the Management of Species-Rich Grasslands: Learning from the Flowering Meadows Competition in France. *Environmental Management* 56, 1053–1064. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0553-6>.
- [4] Tanja Šumrada, Emil Erjavec, Urban Šilc, and Jaka Žgajnar. 2024. Socio-Economic Viability of the High Nature Value Farmland Under the CAP 2023–2027: The Case of a Sub-Mediterranean Region in Slovenia. *Agriculture* 14(10), article no. 1699; separate pagination, 1–32. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14101699>.
- [5] Josef Willi. 2004. Vorwort. In *Ökologischer Wiesenbau: Nachhaltige Bewirtschaftung von Wiesen und Weiden*. Leopoldsdorf, Österreichischer Agrarverlag, 6.
- [6] Žiga Zwitter and Leonid Rasran. 2026. *Historical Biodiversity in the Alps: Grassland Agroecosystems in the Last Millennium*. Austrian Academy of Sciences, Vienna. <https://doi.org/10.1553/978OEAW87189>.

[†]Corresponding author.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia

© 2025 Copyright held by the owner/author(s).

<https://doi.org/10.70314/is.2026.env.168>

Climate Change: Observations, Attribution, Sensitivity, and the Solar-Climate Link

Prof. Nir J. Shaviv
Racah Institute of Physics
The Hebrew University of Jerusalem, Israel
nir.shaviv@mail.huji.ac.il

Abstract / Povzetek

How much of observed climate change can be assigned to individual natural and anthropogenic drivers, and how sensitive is the climate system to radiative forcing? These questions are central to climate projections, yet answering them requires more than measuring temperature, atmospheric composition or radiation. It requires connecting observations to physical mechanisms and evaluating competing explanations.

This contribution distinguishes direct empirical observations from the attribution methods and models used to interpret them. It examines observational constraints on climate sensitivity, with

particular attention to feedbacks involving clouds, and reviews evidence for a solar-climate link across multiple time scales, including the response of the oceans to solar variability. The small variation in total solar irradiance raises the possibility of amplifying processes, including solar modulation of cosmic rays and cloud properties.

The discussion considers the evidence, assumptions and uncertainties associated with these mechanisms, and examines how an underestimated natural contribution would affect attribution of twentieth-century warming, estimates of climate sensitivity and projections of future change.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).
Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia
© 2026 Copyright held by the owner/author(s).
<http://doi.org/10.70314/is.2026.env.171>

Cultural Landscapes and Biodiversity: Historical Management and the Making of European Nature

Prof. Dr. Mauro Agnoletti

Abstract / Povzetek

European landscapes are often perceived as natural, yet many are the outcome of centuries of interaction between human societies and environmental processes. Agriculture, grazing, forestry, fire, water management and resource use have shaped landscape structure, composition and spatial diversity, making historical analysis essential for interpreting present biodiversity. This perspective is closely related to biocultural diversity, which emphasizes the interdependence of biological diversity, cultural diversity and the practices through which societies have interacted with their environments. The 2014 UNESCO-CBD Florence Declaration explicitly recognized this combined role of environmental and human processes in shaping European landscapes.

Research on the historical transformation of rural and forest landscapes shows that many ecosystems now regarded as natural or semi-natural have been strongly influenced by management practices such as coppicing, wood pasture, grazing, litter collection and selective cutting. Species-rich grasslands, pastures, terraces, agroforestry systems and other open or semi-open habitats likewise developed through prolonged interaction

between environmental conditions and human activities. During the twentieth and twenty-first centuries, agricultural abandonment, forest expansion and the decline of traditional forest and pastoral practices have altered landscape mosaics and ecological processes, while intensification of agriculture and forestry has simplified landscapes and reduced diversity. Although driven by different processes, both abandonment and intensification can therefore lead to the loss of historically formed landscape structures and associated biodiversity.

The relationship between human influence and biodiversity cannot therefore be reduced to a simple gradient in which less intervention necessarily means greater ecological value. Conservation and management should instead identify how a particular landscape was formed, which processes created its biodiversity, and what maintains that biodiversity today. This requires distinguishing ecosystems where reduced anthropogenic pressure may favour ecological processes from biocultural landscapes whose habitats, species assemblages and landscape patterns depend on the continuation of appropriate management. Long-term historical analysis, interpreted through the framework of biocultural diversity, can thus improve understanding of present biodiversity patterns and landscape dynamics.

Clearing up some misconceptions about the DoE Report

Ross McKittrick

Dept. of Economics and Finance
University of Guelph
Guelph, Ontario, Canada
ross.mckittrick@uoguelph.ca

Abstract

Last year I had the privilege of working with a small team (me, Judy Curry, John Christy, Steve Koonin and Roy Spencer) on a [draft report](#) for U.S. Energy Secretary Chris Wright on the topic of climate change impacts on the United States. After its release two environmental groups sued the Department of Energy (DOE) under something called the Federal Advisory Committee Act (FACA) alleging our group was not legally constituted, which led to a suspension of our work.

Keywords

DOE Report, climate change impact, IPCC reports review, EPA Endangerment Finding 2009

We don't have comparable legislation in Canada so I found the process baffling. Politicians in Canada routinely assemble groups of experts and ask them to write reports. In the U.S., FACA applies if an expert committee has been convened to advise on policies. We were not asked to do so nor did we. Nonetheless the judge decided that we should have been bound by the terms of FACA, including requirements to hold public hearings, and since we hadn't done so we were out of compliance. The court ordered our work suspended and our drafts and internal emails to be released. The green groups must have found them tedious to go through, but there was one with a bit of spicy language which I'll explain later.

Meanwhile let me clear up a few misunderstandings about our project.

First, it is alleged we were "secretive" and kept our work from public scrutiny. Far from it. I've been an invited reviewer for many Intergovernmental Panel on Climate Change reports. The IPCC selects chapter authors in a closed-door process, the chapter drafts are written in secret, reviewers are bound to secrecy, and we are forbidden from sharing either drafts or our own comments until after the final version is published.

Academic journals likewise demand secrecy of referees regarding submitted drafts and review comments. Our group, by contrast, knew that our draft would be released for public comment, the comments would be published before our responses were, and everything would be out in the open. The process under which we have been working was far more transparent than either the IPCC or academic journals—indeed uncomfortably so.

Second, our report is sometimes described as "attacking climate science." Such nonsense is intended to discredit it and stop people from reading it. We quote extensively from past IPCC reports and rely on mainstream peer-reviewed science and data. We aimed to explain important topics and lines of evidence that have typically been downplayed in public discussions, in other words to broaden the scientific discussion, not attack it.

Third, it has been alleged that we were ordered to write a report attacking the 2009 Endangerment Finding (EF), a rule underpinning US greenhouse gas regulations. In truth we were kept well away from the EF reconsideration process. In early conversations we learned that the EF was up for reconsideration but also that we weren't going to be involved in the draft rulemaking. For our part we demanded, and received, complete editorial independence. The EF team was housed at the Environmental Protection Agency while we were at the DOE, and we neither met them, knew who they were, nor what they were doing.

When news broke that the EPA would publish a draft rulemaking rescinding the EF we asked that our report be published separately so the two projects would not be conflated in the public mind. Alas the Administration did not avail themselves of our wisdom on that point and confusion ensued. But the [final version](#) of the EF rulemaking contains a footnote clarifying that they did not rely on our report for their decision.

Fourth, and on that point, there is now a view out there that—ha ha—the Administration "[abandoned](#)" our report. No, the EPA neither accepted nor rejected it because they concluded they lacked statutory authority to do either. The rescission of the EF was based on recent court rulings that limit U.S. Agency powers to regulate in areas not specified in legislation. The EPA concluded they lacked regulatory authority over greenhouse gases, so neither can they issue findings on climate science, just as they have no authority to issue scientific findings on vaccines or cancer treatment.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).
Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia
© 2025 Copyright held by the owner/author(s).
http://doi.org/DOI_RECEIVED_AFTER_REVIEW

Fifth we have been accused of ignoring our critics. No, due to the FACA lawsuit we are under court-imposed conditions not to function as the Climate Working Group, not even to respond to the comments we received, and not to publish a revised report. The “follow the science” crowd succeeded in using litigation to shut down the debate. But we have been individually going through the critical comments, corresponding directly with colleagues and developing response material. If the legalities get sorted out we will finish what we started by releasing a final report and a complete set of responses to the public comments.

There seem to be a lot of misconceptions out there, abetted by careless reporting from hostile media. For instance, a friend sent me a Desmog newsletter quoting one of my emails as saying “The extreme weather alarmism angle has been non-stop for years. ... At this point, I want to hold the readers’ faces in it until their limbs stop twitching.” The omitted part changes the meaning of the quote. Far from recommending we repeat the media’s lies over and over, the “it” I referred to was material

from the IPCC. I had inserted into our extreme weather chapter 12 pages of extracts from IPCC reports that contradict media hysteria about extreme weather trends. Others on our team questioned why we needed it. In my reply I argued, grouchily, that an extended tutorial on what the IPCC says on the subject would alleviate public fears, even at the risk of boring readers to death.

I’m very proud of the report our team produced. I hope we get to publish a final edition and if we do, people will see how open and constructive debate among people with differing perspectives can lead to top quality science. Stay tuned.

References

- [1] https://www.energy.gov/sites/default/files/2025-07/DOE_Critical_Review_of_Impacts_of_GHG_Emissions_on_the_US_Climate_July_2025.pdf

Indeks avtorjev / Author index

Agnoletti Mauro	52
Gams Matjaž	22, 26
Kozelj Daniel	49
Margan Erik	31
McKitrick Ross	53
Mihalič Rafael	7
Ogrin Tomaž	12
Perne Teos	39
Pohleven Franc	48
Shaviv Nir	51
Stopar Julija	22
Tomažič Branko	46
Valenčič Matjaž	18, 35
Zwitter Žiga	50