

Primljen / Received: 15.2.2025.

Ispravljen / Corrected: 7.4.2025.

Prihvaćen / Accepted: 16.4.2025.

Dostupno online / Available online: 10.5.2025.

# Potrošnja energije i emisije CO<sub>2</sub> u zgradama: bibliometrijski pregled trendova, izazova i budućih smjernica

## Autori:



Dr.sc. **Fatima Zohra Filali**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište Salah Boubnider Constantine 3, Alžir  
Institut za tehnički menadžment u urbanizmu  
[fatima.filali@univ-constantine3.dz](mailto:fatima.filali@univ-constantine3.dz)  
Autor za korespondenciju



Dr.sc. **Fatima Zohra Chafi**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište Salah Boubnider Constantine 3, Alžir  
Institut za tehnički menadžment u urbanizmu  
[fatima.chafi@univ-constantine3.dz](mailto:fatima.chafi@univ-constantine3.dz)

Pregledni rad

**Fatima Zohra Filali, Fatima Zohra Chafi**

## Potrošnja energije i emisije CO<sub>2</sub> u zgradama: bibliometrijski pregled trendova, izazova i budućih smjernica

Cilj je ove bibliometrijske analize sustavno analizirati razvojno znanstveno okruženje o odnosu između potrošnje energije i emisija CO<sub>2</sub> u zgradama. Primjenom metodologije PRISMA i baze podataka Scopus, identificirano je 1969 relevantnih publikacija koje su analizirane bibliometrijskim alatima, posebno VOSviewerom. Pregled ističe ključne trendove, najproduktivnije autore, utjecajne institucije i glavne istraživačke teme tijekom posljednjeg desetljeća. Rezultati otkrivaju snažan globalni fokus na energetske učinkovitost, integraciju obnovljivih izvora energije i smanjenje emisija te znatne doprinose Kine, Italije, Španjolske i Sjedinjenih Američkih Država. Unatoč tehnološkom napretku i dalje postoje ključne praznine, osobito u pogledu ponašanja korisnika, socioekonomskih aspekata i dostupnosti energetske rješenja u zemljama u razvoju. Studija završava identificiranjem novih smjerova istraživanja poput optimiranja potrošnje energije pomoću umjetne inteligencije te primjene načela kružnoga gospodarstva te interdisciplinarnih pristupa politikama i oblikovanju. Ti uvidi ključni su za usmjeravanje budućih akademskih napora i oblikovanje praktičnih strategija za ublažavanje utjecaja klimatskih promjena kroz održivu gradnju.

### Ključne riječi:

energetska učinkovitost, potrošnja energije, emisije CO<sub>2</sub>, korištenje energije, energetska politika, klimatske promjene

Research Paper - Subject review

**Fatima Zohra Filali, Fatima Zohra Chafi**

## Energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions in buildings: a bibliometric review of trends, challenges, and future directions

This bibliometric review aims to systematically analyze the evolving research landscape on the relationship between energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions in buildings. Using the PRISMA methodology and Scopus database, 1,969 relevant publications were identified and analyzed through bibliometric tools, particularly VOSviewer. The review highlights significant trends, prolific authors, influential institutions, and key research themes over the past decade. Findings reveal a strong global focus on energy efficiency, the integration of renewable energy, and emissions reduction, with notable contributions from China, Italy, Spain, and the United States. Despite technological progress, critical gaps remain - especially regarding behavioral factors, socio-economic dimensions, and the affordability of energy solutions in developing regions. The study concludes by identifying emerging research directions such as AI-driven energy optimization, circular economy applications, and interdisciplinary approaches to policy and design. These insights are essential for guiding future academic efforts and informing practical strategies to mitigate climate change impacts through sustainable building practices.

### Key words:

energy efficiency, energy consumptions, CO<sub>2</sub> emissions, energy utilizations, energy policy, climate change

## 1. Uvod

Potrošnja energije u zgradama stalno raste zbog porasta broja stanovnika i urbanizacije [1]. To povećanje energetske potražnje dovodi do većih emisija CO<sub>2</sub> u atmosferi, čime se pridonosi klimatskim promjenama [2, 3].

Građevinski sektor ima ključnu ulogu u porastu potrošnje energije. Prema izvješću *Global Status for Buildings and Construction 2024*, građevinski sektor najveći je potrošač energije u svijetu. U 2022. bio je odgovoran za 30 % ukupne potrošnje energije, uglavnom za potrebe grijanja i hlađenja. Kada se uključi energija potrebna za proizvodnju građevnog materijala, tada taj udio raste na 34 % [4]. Općenito, građevinski sektor odgovoran je za više od 40 % ukupne svjetske potrošnje energije i oko 30 % ukupnih emisija stakleničkih plinova (eng. *Greenhouse Gas* - GHG) [2]. Emisije CO<sub>2</sub> iz izgradnje zgrada i njihova korištenja dosegnule su novi vrhunac 2022., čineći 37 % ukupnih svjetskih emisija CO<sub>2</sub>, gotovo 10 gigatona (Gt) CO<sub>2</sub>. To upućuje na porast neizravnih emisija povezanih s potrošnjom električne energije koje su dosegnule 6,8 GtCO<sub>2</sub>, a izravne emisije iz zgrada blago su se smanjile na 3 GtCO<sub>2</sub> (engl. *Global Alliance for Buildings and Construction*) [4].

Postoje brojne strategije za smanjenje potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova. One uključuju poboljšanje energetske učinkovitosti zgrada raznim prilagodbama ovojnice zgrade kao što su toplinska izolacija zidova i ugradnja dvostruke ili trostruke staklene izolacije. Ključni su i korištenje energetski učinkovitih sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije (eng. *heating, ventilation, and air conditioning* - HVAC) te usvajanje uređaja za uštedu energije. Uvođenje informacijsko-komunikacijskih tehnologija (eng. *information and communication technologies* - ICT) u zgrade dodatno može optimirati potrošnju energije [5-10].

Osnovni element tih napora ponašanje je korisnika. Ekološka odgovornost korisnika ključna je kako bi te mjere bile doista učinkovite. Usvajanjem odgovornijih navika potrošnje energije korisnici mogu znatno pridonijeti smanjenju potrošnje energije i emisija CO<sub>2</sub> [11, 12].

Taj okvir pomaže boljem razumijevanju načina na koji se elementi energetskog sustava zgrade, unatoč svojoj složenosti i raznolikosti, mogu integrirati kako bi se postiglo učinkovito upravljanje potrošnjom energije i emisijama CO<sub>2</sub>.

Postoji izražena potreba za sveobuhvatnim razumijevanjem složenog odnosa između potrošnje energije i emisija CO<sub>2</sub>. Cilj ove bibliometrijske analize jest provesti temeljitu istragu o mnogostrukim utjecajima potrošnje energije u zgradama na emisije CO<sub>2</sub>, s posebnim težištem na otkrivanju trendova, obrazaca i nedostataka u postojećoj znanstvenoj literaturi.

Glavni je cilj ovog istraživanja provesti sveobuhvatnu bibliometrijsku analizu znanstvene literature [13] koja se odnosi na potrošnju energije i emisije CO<sub>2</sub> u zgradama. Umjesto izravnog mjerenja fizičkog utjecaja potrošnje energije na emisije, cilj je ove studije sintetizirati i kartirati postojeće istraživanje iz posljednjeg desetljeća (2013. – 2023.), nudeći uvid u strukturu, trendove i ključne dionike tog područja. Identifikacijom utjecajnih

publikacija, istaknutih autora, vodećih institucija i rastućih istraživačkih tema analiza doprinosi dubljemu razumijevanju toga kako se ta tema obrađuje u literaturi i gdje još postoje praznine. Dakle, cilj ove bibliometrijske procjene jest odgovoriti na sljedeća istraživačka pitanja:

- Kako su se razvijale publikacije o potrošnji energije u zgradama i emisijama CO<sub>2</sub> u razdoblju 2013. – 2023.?
- Koji su najrelevantniji časopisi i autori u tome području?
- Koje zemlje objavljuju najviše istraživanja na temu potrošnje energije i emisija CO<sub>2</sub> u zgradama?
- Koje su ključne obrazovne institucije uključene u istraživanja o toj temi?
- Koje su najvažnije istraživačke ključne riječi povezane s potrošnjom energije i emisijama CO<sub>2</sub> u zgradama u posljednjih deset godina?

## 2. Metodologija

### 2.1. Oblikovanje istraživanja

Ovo bibliometrijsko istraživanje provodi se u skladu s okvirom PRISMA (engl. *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) [14], koji osigurava transparentnost i temeljitost u sustavnom pregledu. Primarni je cilj ove sveobuhvatne analize definirati korpus istraživanja koji istražuje povezanost između potrošnje energije i emisija CO<sub>2</sub> u zgradama. To uključuje iscrpnu analizu vodećih zemalja, akademskih institucija, publikacija i autora koji doprinose tome području. Osim toga studija nastoji identificirati nove obrasce, istraživačke praznine i ključne termine u tome znanstvenom području.

Istraživanje je slijedilo strukturirani bibliometrijski tijek rada koji obuhvaća četiri glavne faze: identifikaciju, selekciju, prihvatljivost i uključivanje. Te su faze jasno prikazane PRISMA dijagramom toka (slika 1.). U kombinaciji s okvirom PRISMA u studiji je korišten alat *VosViewer* (verzija 1.6.19) za vizualizaciju i analizu podataka. *VosViewer* jest računalni alat posebno razvijen za izradu i pregled bibliometrijskih mreža koje mogu uključivati časopise, publikacije, istraživače ili pojedinačne radove. Te mreže temelje se na koautorstvu, citiranju, koeksplicitaciji i bibliografskim vezama.

Mapiranje i analiza složenih mreža u istraživanju o potrošnji energije i emisijama CO<sub>2</sub> znatno su olakšani pomoću *VosViewera*. Taj alat omogućio je identifikaciju međusobnih poveznica između različitih akademskih disciplina, najutjecajnijih časopisa, publikacija i autora te vizualizaciju trendova. *VosViewerov* algoritam grupiranja također je pomogao u kategorizaciji publikacija u tematske klastere, što je omogućilo prepoznavanje žarišnih točaka i trendova u istraživanju. Time su identificirani najvažniji uzorci i smjerovi razvoja u području istraživanja potrošnje energije i emisija CO<sub>2</sub>.

Primjenom *VosViewera* postignuto je sveobuhvatnije razumijevanje globalnog utjecaja i dinamike istraživanja povezanih s potrošnjom energije i emisijama CO<sub>2</sub>. To je ostvareno geografskom organizacijom publikacija i suradnjom između institucija i autora [15].

Tablica 1. Kriteriji uključivanja i isključivanja

| Kriteriji uključivanja                                  | Kriteriji isključivanja                            |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Potrošnja energije i emisije CO <sub>2</sub> u zgradama | Svi drugi tematski sadržaji                        |
| 2013. – 2023.                                           | Sve publikacije prije 2013. i iz 2024.             |
| Engleski jezik                                          | Publikacije na drugim jezicima                     |
| Članci, radovi s konferencija                           | Disertacije, knjige, poglavlja u knjigama, blogovi |
| Časopisi i zbornici konferencija                        | Svi drugi izvori                                   |

2.2. Identifikacije

2.2.1. Odabir baze podataka

Ovaj pregled proveden je 26. lipnja 2024., gdje je kao primarna baza dodataka, odabrana baza *Scopus*. *Scopus* je odabran zbog svojih naprednih analitičkih mogućnosti, opsežne multidisciplinarne vidljivosti i sveobuhvatnih funkcija za praćenje citiranja. Ta velika bazapodataka uključuje širok raspon članaka, radova s konferencija i knjiga, čineći je neprocjenjivim resursom za istraživače. Pristup bazi podataka ostvaren je institucionalnom prijavom, a postavke izvoza podataka podešene su tako da uključuju metapodatke poput naslova, autora, pripadnosti, sažetaka, ključnih riječi, naziva izvora, tipova dokumenata i citata. Visokokvalitetni izvori i detaljni bibliometrijski alati koje pruža *Scopus* omogućuju temeljitu analizu, podržavajući široki spektar znanstvenih područja. Kao jedna od najuglednijih baza za analizu znanstvenih članaka, *Scopus* se smatra ključnim resursom u akademskim istraživanjima [16, 17].

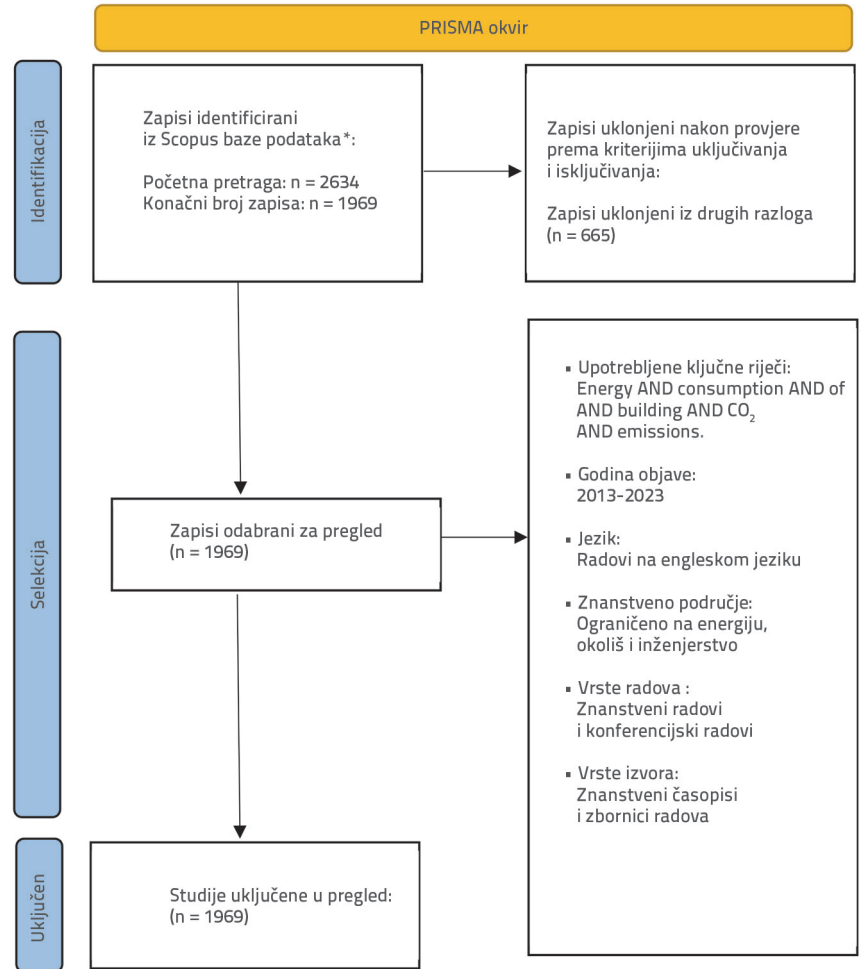
2.2.2. Ključni izrazi za pretraživanje

Kako bi se osigurala relevantnost izdvojenih studija, tako su istraživači koristili specifične ključne riječi kao što su “energy consumption of building AND CO2 emissions”, na primjer, TITLE-ABS-KEY (energy AND consumption AND of AND building AND CO2 AND emissions). Publikacije iz posljednjeg desetljeća (2013. – 2023.) odabrane su pomoću kriterija AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024. Predmetna područja ograničena su na energiju, okoliš i inženjerstvo: (LIMIT-TO (SUBJAREA, «ENER»)) OR LIMIT-TO (SUBJAREA, «ENVI»)) OR LIMIT-TO (SUBJAREA, «ENGI»)). Za ovaj pregled odabrane su samo publikacije na engleskome jeziku: AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, «English»)). Vrste

dokumenata bile su ograničene na članke i radove s konferencija: AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, «ar»)) OR LIMIT-TO (DOCTYPE, «cp»)). Izvori su uključivali časopise i zbornike radova s konferencija: (LIMIT-TO (SRCTYPE, «j»)) OR LIMIT-TO (SRCTYPE, «p»)). Potpuni izvoz uključivao je ukupno 2634 dokumenta izdvojena ovom sveobuhvatnom pretragom.

2.2.3. Kriteriji uključivanja i isključivanja

Kako bi se osigurala kvaliteta i dosljednost literature odabrane za ovu bibliometrijsku analizu, primijenjeni su jasni kriteriji



Slika 1. PRISMA okvir ovog pregleda (izvor: PRISMA 2020 smjernice – Ažurirane upute za izvještavanje sistematskih pregleda)

uključivanja i isključivanja. Ti su kriteriji oblikovani kako bi suzili relevantne izvore i usmjerili analizu na najvažnije i najnovije studije o potrošnji energije i emisijama CO<sub>2</sub> u zgradama. U tablici 1. prikazani su specifični kriteriji uključivanja i isključivanja primijenjeni u ovome istraživanju.

Kriteriji prikazani u tablici 1. primijenjeni su za odabir publikacija koje su izravno relevantne za potrošnju energije i emisije CO<sub>2</sub> u zgradama. Oni su osigurali da analizirana literatura bude aktualna, napisana na engleskom jeziku i iz uglednih izvora poput znanstvenih članaka i radova s konferencija. Primjenom tih specifičnih filtara studija se mogla usredotočiti na visokokvalitetna i relevantna istraživanja koja znatno doprinose razumijevanju veze između potrošnje energije u zgradama i emisija CO<sub>2</sub>.

### Selekcija i odabir

Glavne ključne riječi upotrijebljene u pretraživanju bile su "Energy consumption in building and CO<sub>2</sub> emissions". Početnim pretraživanjem izdvojene su 2634 publikacije. Dvostruki zapisi automatski su uklonjeni funkcijom izvoza baze *Scopus*. Nakon što su primijenjeni kriteriji uključivanja i isključivanja onako kako je to prikazano u tablici 1., broj relevantnih publikacija smanjen je na 1969, a 665 publikacija isključeno je.

### Uključivanje i izvještavanje

Konačan skup od 1969 studija analiziran je pomoću alata *VOSviewer*, a rezultati su prikazani u skladu sa smjernicama PRISMA 2020 [14] (slika 1.). Vizualna reprezentacija bibliometrijskih mreža strukturirana je prema ključnim istraživačkim pitanjima koja se odnose na volumen, utjecaj i trendove u objavljivanju znanstvenih radova o potrošnji energije i emisiji CO<sub>2</sub> u zgradama.

## 3. Rezultati

U ovome je poglavlju odgovoreno na istraživačka pitanja na temelju analize podataka dobivenih iz baze *Scopus*. Sveobuhvatno pretraživanje pomoću definiranih ključnih riječi i kriterija rezultiralo je pročišćenim skupom podataka koji obuhvaća 1969 relevantnih dokumenata.

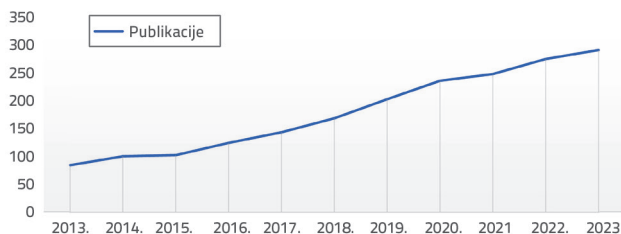
### 3.1. Distribucija publikacija o potrošnji energije u zgradama i emisijama CO<sub>2</sub>

U ovome dijelu istražuje se vremenska distribucija znanstvenih publikacija koje se odnose na potrošnju energije u zgradama i emisije CO<sub>2</sub> tijekom posljednjeg desetljeća (2013. – 2023.). Ta sekcija odgovara na prvo istraživačko pitanje:

**Pitanje 1:** Kako izgleda distribucija publikacija o potrošnji energije u zgradama i emisijama CO<sub>2</sub> u razdoblju od 2013. do 2023.?

Analizom vremenske distribucije publikacija objavljenih između 2013. i 2023. koje se bave temom potrošnje energije i emisija CO<sub>2</sub> u zgradama dobiveni su vrijedni uvidi u to kako su se

istraživački interesi i znanstvena produkcija u tome području razvijali tijekom posljednjeg desetljeća. Istaknut je rastući akademski i praktični fokus na održivost izgrađenog okoliša.



Slika 2. Distribucija publikacija po godinama

Podaci pokazuju znatan porast broja publikacija tijekom godina. Na primjer, u 2023. zabilježeno je 290 publikacija, dok ih je u 2022. bilo 274. Taj nagli porast upućuje na snažno i sve veće zanimanje za to istraživačko područje, vjerojatno potaknuto globalnim porastom razine svijesti o klimatskim promjenama i žurnosti smanjenja emisija ugljika. Više je čimbenika koji objašnjavaju taj trend, uključujući napredak u tehnologijama energetske učinkovitosti, prihvaćanje međunarodnih okvira za održivost te sve veću potražnju za ekološki prihvatljivim praksama u graditeljstvu.

Nasuprot tomu, broj publikacija bio je relativno nizak na početku desetljeća. U 2013. zabilježeno je tek 96 publikacija, a u 2014. njih 100. Taj spori početni tempo može se povezati s ranim fazama razvoja istraživanja, kada se tematika potrošnje energije u zgradama tek počela oblikovati kao zasebno područje zanimanja. Međutim, postupan porast broja publikacija iz godine u godinu odražava sve veću zabrinutost i žurnost povezanu s utjecajem izgrađenog okoliša na okoliš. Ta je promjena vjerojatno koincidirala s globalnim nastojanjima za održivijim urbanim planiranjem, strožim ekološkim regulativama i povećanim ulaganjem u istraživanja o zelenoj gradnji.

### 3.2. Deset najproduktivnijih zemalja u području istraživanja potrošnje energije u zgradama i emisija CO<sub>2</sub> te njihove najvažnije akademske institucije

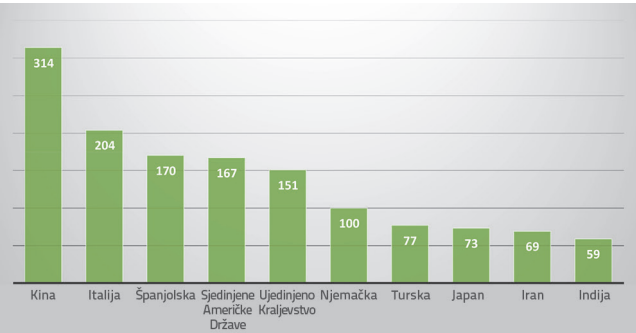
Analiza se temelji na broju znanstvenih publikacija koje se pripisuju istraživačima iz svake pojedine zemlje u posljednjih deset godina. Osim toga identificirane su i najvažnije akademske institucije koje doprinose tome području istraživanja. U ovoj sekciji odgovoreno je na drugo i treće istraživačko pitanje:

**Pitanje 2:** Koje zemlje objavljuju najviše istraživanja o potrošnji energije u zgradama i emisijama CO<sub>2</sub>?

**Pitanje 3:** Koje su ključne obrazovne institucije uključene u istraživanja potrošnje energije u zgradama i emisija CO<sub>2</sub>?

Analiza nudi pregled zemalja s najvećim brojem publikacija o potrošnji energije u zgradama i o emisijama CO<sub>2</sub> tijekom posljednjeg desetljeća. Podaci upućuju na to da je Kina vodeći

doprinositelj, s impresivnih 314 publikacija. To pokazuje sve veću predanost Kine rješavanju problema klimatskih promjena i unapređenju energetske učinkovitosti u izgrađenome okolišu. Široka primjena rješenja obnovljive energije i politike usmjerene na smanjenje emisija CO<sub>2</sub> igraju ključnu ulogu u tome trendu. S druge strane, 204 publikacije iz Italije odražavaju njezine napore u borbi protiv klimatskih promjena, potaknute nedostatkom fosilnih goriva i usmjerenošću na energetske učinkovite građevinske tehnologije. Znatna doprinosa Španjolske (170 publikacija) može se povezati s nacionalnim politikama usmjerenima na istraživanje, koje potiču suradnju između sveučilišta i industrije kako bi se poboljšala energetska učinkovitost zgrada. Iran i Indija sa 69 odnosno 59 publikacija pokazuju rastuće zanimanje za energetske učinkovitost, no još uvijek zaostaju za vodećim zemljama. To upućuje na činjenicu da, iako te zemlje prepoznaju važnost održivih energetske praksi, njihova istraživačka proizvodnja ograničena je čimbenicima poput dostupnog financiranja i tehnološke infrastrukture.



Slika 3. Deset najaktivnijih zemalja u objavljivanju istraživanja o potrošnji energije u zgradama i emisijama CO<sub>2</sub> (2013. – 2023.)

Na slici 3. dan je vizualni prikaz deset zemalja koje objavljuju najviše istraživanja u području potrošnje energije u zgradama i

emisija CO<sub>2</sub>. Kontrast između dominacije Kine i ostalih zemalja ističe znatan jaz u znanstvenoj produkciji. Važno je kritički sagledati zašto su određene zemlje poput Kine uspjele proširiti svoje istraživačke napore u tome području. Taj uspjeh u velikoj mjeri proizlazi iz državnih poticaja, znatnih ulaganja i aktivnih istraživačkih institucija. Ti su elementi imali ključnu ulogu u omogućavanju Kini da predvodi po broju publikacija te istodobno potiču inovacije i napredak u istraživanjima energetske učinkovitosti i održivosti. Kao što je to prikazano u tablici 2., zemlje koje su dale najvažnije akademske doprinose u području potrošnje energije u zgradama i emisija CO<sub>2</sub> su sljedeće:

- Kina prednjači s ukupno 314 publikacija (eng. *total publications* - TP), pri čemu se Sveučilište u Tianjinu ističe kao najvažnija akademska institucija u tome području. To potvrđuje velika kineska ulaganja u istraživanje i inovacije u području energetske učinkovitosti i održivosti, potaknuta nacionalnim politikama usmjerenima na klimatske promjene i upravljanje okolišem.
- Italija s 204 publikacije zauzima drugo mjesto. Sveučilište u Genovi ističe se kao najvažnija institucija u toj zemlji, s velikim doprinosom znanstvenoj zajednici. Taj rezultat odražava predanost Italije poboljšanju energetske učinkovitosti i očuvanju svoje arhitektonske baštine, s težištem na obnovi i optimiranju energetske učinkovitosti zgrada.
- Španjolska se sa 170 publikacija nalazi na trećem mjestu, a Sveučilište u Lleidi igra ključnu ulogu. Sve veća istraživanja o potrošnji energije u zgradama dio su širega nacionalnog napora usmjerenog na poboljšanje energetske učinkovitosti izgrađenog okoliša i smanjenje emisija CO<sub>2</sub> učinkovitim praksama gradnje.
- Sjedinjene Američke Države se sa 167 publikacija nalaze na četvrtome mjestu. Sveučilište Purdue vodi u tome području. SAD ima dugu tradiciju istraživanja u području energije, potpomognutu vladinim politikama i velikim inicijativama

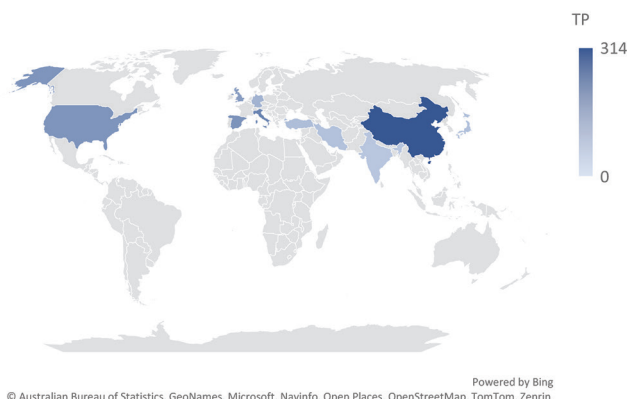
Tablica 2. Deset vodećih zemalja u istraživanju potrošnje energije u zgradama i emisija CO<sub>2</sub> te njihove najvažnije akademske institucije

| Rang | Zemlja                     | Ukupno publikacija (TP) | Najvažnija akademska institucija         |
|------|----------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
| 1    | Kina                       | 314                     | Sveučilište u Tianjinu                   |
| 2    | Italija                    | 204                     | Sveučilište u Genovi                     |
| 3    | Španjolska                 | 170                     | Sveučilište u Lleidi                     |
| 4    | Sjedinjene Američke Države | 167                     | Sveučilište Purdue                       |
| 5    | Ujedinjeno Kraljevstvo     | 151                     | Sveučilište Heriot-Watt                  |
| 6    | Njemačka                   | 100                     | Helmholtz centar za istraživanje okoliša |
| 7    | Turska                     | 77                      | Sveučilište u Gaziantepu                 |
| 8    | Japan                      | 73                      | Tehničko sveučilište Bliskog istoka      |
| 9    | Iran                       | 96                      | Islamsko sveučilište Azad                |
| 10   | Indija                     | 59                      | Indijski institut znanosti               |

TP = ukupno publikacija (engl. *total publications*)

usmjerenima na održive zgrade i tehnologije s niskom emisijom ugljika.

- Ujedinjeno Kraljevstvo je na petome mjestu sa 151 publikacijom, a Sveučilište Heriot-Watt prepoznato je kao ključni doprinositelj. Predanost UK-a postizanju neto nulte emisije ugljika do 2050. jasno se ogleda u znanstvenim publikacijama koje se fokusiraju na energetska učinkovitost i održivu gradnju.
- Njemačka je sa 100 publikacija dom Helmholtz centra za istraživanje okoliša, koji je vodeća institucija u području okolišnih znanosti, uključujući energetska učinkovitost u zgradama i smanjenje emisija CO<sub>2</sub>.
- Turska sa 77 publikacija daje znatan doprinos putem Sveučilišta u Gaziantepu. Turski istraživački napor usklađeni su s nacionalnim ciljevima za poboljšanje performansi zgrada u pogledu potrošnje energije i utjecaja na okoliš.
- Japan, sa 73 publikacije, uključuje Tehničko sveučilište Bliskog istoka, koje, iako se nalazi u Turskoj, daje znatan doprinos tome području.
- Iran je objavio 96 publikacija gdje se ističe Islamsko sveučilište Azad kao vodeća institucija. Iran kontinuirano jača istraživački fokus na očuvanje energije unutar izgrađenog okoliša kao dio svojih nacionalnih strategija održivosti.
- Indija, koja je objavila 59 publikacija, gdje se ističe Indijski institut znanosti kao najvažnija institucija. Sve veća urbanizacija i fokus Indije na energetska učinkovita rješenja u graditeljstvu pridonose sve većem interesu i razvoju istraživanja u tome području.

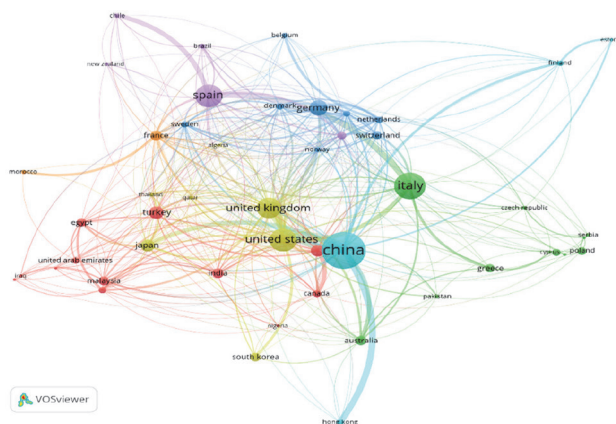


Slika 4. Deset najaktivnijih zemalja u objavljivanju radova o potrošnji energije u zgradama i emisijama CO<sub>2</sub> (2013. – 2023.)

Na slici 4. prikazano je deset zemalja koje su vodeće po broju objavljenih znanstvenih radova na temu potrošnje energije u zgradama i emisija CO<sub>2</sub>. Intenzitet boje na karti označava broj publikacija; tamnije nijanse označavaju veći broj radova. Zemlje označene tamnijim bojama imaju veću znanstvenu aktivnost i vodeću ulogu u istraživanjima povezanim s potrošnjom energije u zgradama i emisijama CO<sub>2</sub>.

Istaknutost zemalja poput Kine, Italije i Španjolske dodatno potvrđuje snažnu akademsku suradnju u tim regijama, no

karta također jasno pokazuje manji broj publikacija iz regija poput Afrike i dijelova Bliskog istoka, što upućuje na ograničena sredstva za istraživanje i slabiju istraživačku infrastrukturu u tim područjima.



Slika 5. Rezultati analize zemalja produktivnih u području istraživanja potrošnje energije u zgradama i emisiji CO<sub>2</sub>

Na slici 5. prikazani su analitički rezultati zemalja produktivnih u području potrošnje energije u zgradama i emisije CO<sub>2</sub>. Najproduktivnija zemlja jest Kina, a slijede je Italija i Španjolska. Osim toga Sjedinjene Američke Države, Ujedinjeno Kraljevstvo, Njemačka, Turska, Japan, Iran i Indija navedene su među deset najproduktivnijih zemalja u tome istraživačkom području.

Trend koji prikazuju ti podaci sugerira da zemlje s razvijenim istraživačkim institucijama i snažnom podrškom vlada u politikama vezanim uz klimatske promjene imaju vodeću ulogu u tome području. Posebno je važna suradnja između europskih i azijskih zemalja, osobito u zajedničkim istraživanjima energetska učinkovitih tehnologija u graditeljstvu. Takvi zajednički napori doveli su do razvoja inovativnih tehnologija i energetske sustava koji znatno smanjuju potrošnju energije i emisiju CO<sub>2</sub>. Također, takve su suradnje utjecale na državne politike, potaknuvši ažuriranje građevinskih propisa i standarda energetske učinkovitosti temeljenih na zajedničkim istraživačkim rezultatima. Međutim, daljnja suradnja s gospodarstvima u razvoju ključna je za postizanje uravnoteženijeg i uključivijeg pristupa globalnim izazovima u području potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub>.

### 3.3. Najrelevantniji časopisi i autori u području potrošnje energije u zgradama i emisija CO<sub>2</sub>

Ovaj odjeljak identificira najutjecajnije časopise koji objavljuju istraživanja o potrošnji energije u zgradama i emisijama CO<sub>2</sub>, ističući njihov utjecaj na to područje. Također prepoznaje vodeće autore koji su znatno doprinijeli tome području istraživanja. Identifikacijom ključnih izvora i autora mogu se bolje razumjeti glavna središta znanja i inovacija u tome području. Četvrto istraživačko pitanje glasi:

**Pitanje 4:** Koji su najrelevantniji časopisi i autori u području potrošnje energije u zgradama i emisije CO<sub>2</sub>?

Tablica 3. Najvažnijih 10 časopisa u istraživanju potrošnje energije u zgradama i emisije CO<sub>2</sub>

| Časopis                                                         | TP     | TC      | Indeks citiranosti | Najcitiraniji članak                                                                                                                                           | Broj citata | Izdavač                                               |
|-----------------------------------------------------------------|--------|---------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------|
| Energy And Buildings                                            | 3320   | 42.306  | 12,7               | Ultra-short term power load forecasting based on CEEMDAN-SE and LSTM neural network [18]                                                                       | 71          | Elsevier                                              |
| Energies                                                        | 32.416 | 201.848 | 6,2                | Electrochemical Impedance Spectroscopy: A New Chapter in the Fast and Accurate Estimation of the State of Health for Lithium-Ion Batteries [19]                | 102         | Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) |
| Sustainability (Switzerland)                                    | 55.991 | 381.357 | 6,8                | Chatbots in Education and Research: A Critical Examination of Ethical Implications and Solutions [20]                                                          | 123         | Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) |
| IOP Conference Series: Earth and Environmental Science          | 66.209 | 68.990  | 1,0                | Investments in green business and corporate governance by Ukraine's cooperation with the European Union [21]                                                   | 24          | IOP Publishing                                        |
| Journal of Cleaner Production                                   | 19.382 | 394.597 | 20,4               | Green technological innovation, green finance, and financial development and their role in green total factor productivity: Empirical insights from China [22] | 252         | Elsevier                                              |
| Applied Energy                                                  | 6362   | 134.584 | 21,2               | Wind power forecasting considering data privacy protection: A federated deep reinforcement learning approach [23]                                              | 106         | Elsevier                                              |
| Journal of Building Engineering                                 | 7051   | 70.200  | 10,00              | Predictive models for concrete properties using machine learning and deep learning approaches: A review [24]                                                   | 106         | Elsevier                                              |
| Energy                                                          | 12.098 | 184.935 | 15,3               | Investment in renewable energy and electricity output: Role of green finance, environmental tax, and geopolitical risk: Empirical evidence from China [25]     | 140         | Elsevier                                              |
| Sustainable Cities and Society                                  | 67.666 | 3072    | 22                 | Algorithmic urban planning for smart and sustainable development: Systematic review of the literature [26]                                                     | 64          | Elsevier                                              |
| Energy Conversion and Management                                | 4686   | 89.091  | 19                 | A comprehensive review of primary strategies for tar removal in biomass gasification [27]                                                                      | 82          | Elsevier                                              |
| Napomena: TP = ukupan broj publikacija, TC = ukupan broj citata |        |         |                    |                                                                                                                                                                |             |                                                       |

Kao što je to prikazano u tablici 3., najplodniji časopis u području istraživanja potrošnje energije u zgradama i emisija CO<sub>2</sub> jest *Sustainable Cities and Society* sa *CiteScoreom* od 22, a slijedi ga *Applied Energy* s ocjenom 21,2. S obzirom na ukupan broj publikacija (TP), *Sustainable Cities and Society* ima najviše objavljenih radova (67.666), dok je *Energy And Buildings* časopis s najmanjim brojem publikacija (3320). Iz perspektive ukupnog broja citata (TC), *Journal of Cleaner Production* zauzima prvo mjesto s 394.597 citata, dok je *Sustainable Cities and Society* časopis s najmanjim brojem citata – 3072. Najcitiraniji radovi u tome području često se bave ključnim izazovima i nude rješenja za smanjenje potrošnje energije u zgradama i minimiranje emisije CO<sub>2</sub>. Ti radovi imaju visoku stopu

citiranosti jer pružaju vrijedne uvide ili inovativne metodologije koje su primjenjive kako u akademskim istraživanjima tako u industrijskoj praksi. Visoka stopa citiranosti povezana je s relevantnošću tema poput strategija energetske učinkovitosti, dizajna zgrada s nultom emisijom ugljika te integracije obnovljivih izvora energije u sustave zgrada. Na primjer, rad objavljen u časopisu *Energy and Buildings* pod naslovom "Ultra-short term power load forecasting based on CEEMDAN-SE and LSTM neural network" ima visoku stopu citiranosti jer nudi vrhunski pristup predviđanju opterećenja, što je ključno za optimiranje potrošnje energije u zgradama. Ta metodološka inovacija posebno je važna za tehnologije pametnih mreža, što objašnjava njezinu široku prihvaćenost u istraživačkoj zajednici.

Tablica 4. Najistaknutijih 10 autora u istraživanju potrošnje energije u zgradama i emisija CO<sub>2</sub>

| Autor                  | Godina prve publikacije | TP<br>(ukupan broj radova) | h-indeks | TC<br>(ukupan broj citata) | Trenutačna institucija                | Država       |
|------------------------|-------------------------|----------------------------|----------|----------------------------|---------------------------------------|--------------|
| Fabrizio Ascione       | 2009.                   | 135                        | 41       | 4941                       | Sveučilište u Napulju<br>Federico II. | Italija      |
| Nicola Bianco          | 1997.                   | 241                        | 45       | 6213                       | Sveučilište u Napulju<br>Federico II. | Italija      |
| Juha Jokisalo          | 2004.                   | 119                        | 28       | 2414                       | Sveučilište Aalto                     | Finska       |
| Jesús Las-Heras-Casas  | 2014.                   | 33                         | 15       | 558                        | Sveučilište La Rioja                  | Španjolska   |
| Luis María López-Ochoa | 2007.                   | 64                         | 21       | 1033                       | Sveučilište La Rioja                  | Španjolska   |
| Luisa F. Cabeza        | 1997.                   | 634                        | 92       | 39.732                     | Sveučilište u Lleidi                  | Španjolska   |
| Taehoon Hong           | 2005.                   | 289                        | 47       | 7459                       | Sveučilište Yonsei                    | Južna Koreja |
| Risto Kosonen          | 1991.                   | 220                        | 30       | 3745                       | Sveučilište Aalto                     | Finska       |
| L. M. López González   | 1997.                   | 67                         | 26       | 1601                       | Sveučilište La Rioja                  | Španjolska   |
| Gerardo Maria Mauro    | 2014.                   | 92                         | 27       | 2793                       | Sveučilište Sannio                    | Italija      |

U tablici 4. navedeno je deset najistaknutijih autora u području istraživanja potrošnje energije u zgradama i emisija CO<sub>2</sub>. Najistaknutija je autorica Luisa F. Cabeza sa Sveučilišta u Lleidi (Španjolska) s ukupno 634 publikacije, 39.732 citata i h-indeksom 92. Slijedi je Taehoon Hong sa Sveučilišta Yonsei u Seulu (Južna Koreja), koji ima 289 publikacija, 7459 citata i h-indeks 47.

Posebno je važan broj autora s visokim doprinosom koji dolaze iz Španjolske. Na primjer, L. M. López González sa Sveučilišta La Rioja u Logronu ima 67 publikacija, 1601 citat i h-indeks 26. S iste institucije dolazi i Luis María López-Ochoa s 64 publikacije, 1033 citata i h-indeksom 21. Također, Jesús Las-Heras-Casas sa Sveučilišta La Rioja ima 33 publikacije, 558 citata i h-indeks 15. Ti podaci jasno upućuju na znatan doprinos španjolskih istraživača u području potrošnje energije u zgradama i emisije CO<sub>2</sub>.

### 3.4. Područje istraživanja

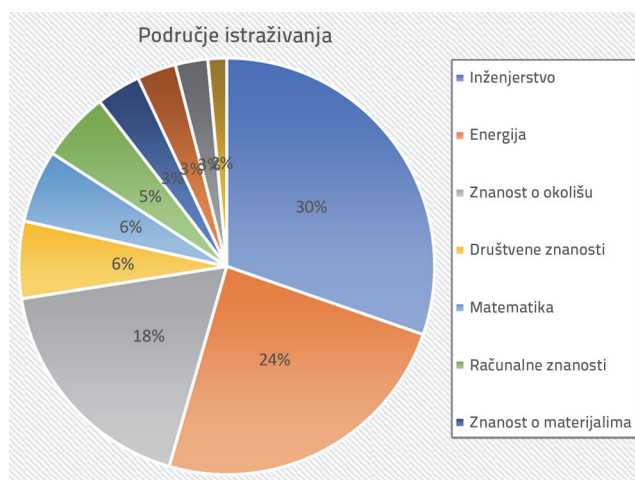
U ovom poglavlju je prikazano istraživanje glavnih tematskih područja unutar istraživanja o potrošnji energije u zgradama i emisijama CO<sub>2</sub>. Kategorizacijom istraživanja prema različitim znanstvenim područjima može se bolje razumjeti multidisciplinarnu prirodu tih studija te raznolike pristupe koji se primjenjuju za rješavanje toga složenog problema.

Ova analiza također pomaže u prepoznavanju postojećih praznina u istraživačkoj literaturi te potencijalnih područja za buduća istraživanja, a ujedno odgovara na peto istraživačko pitanje:

**Pitanje 5:** Koje su glavne istraživačke ključne riječi povezane s potrošnjom energije u zgradama i emisijom CO<sub>2</sub> u posljednjemu desetljeću?

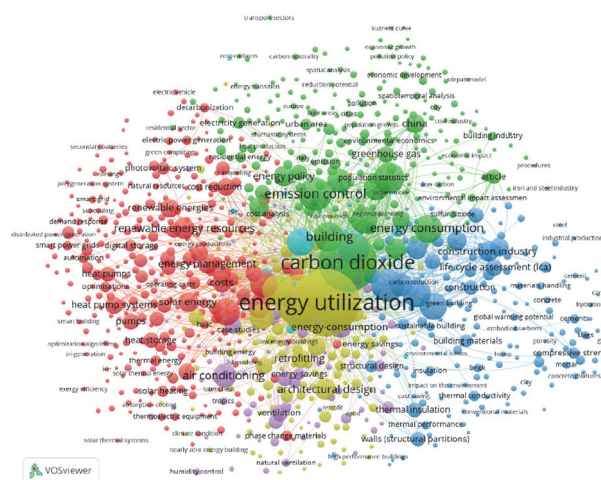
Na slici 6. prikazana je raspodjela znanstvenih publikacija o potrošnji energije u zgradama i emisiji CO<sub>2</sub> prema različitim znanstvenim disciplinama. Najveći je doprinos iz energetskog

područja, a slijede ga inženjerstvo i znanost o okolišu. Društvene znanosti također imaju važnu ulogu, dok matematika, računalne znanosti i znanost o materijalima doprinose u manjoj mjeri, ali i dalje igraju ključnu ulogu u osiguravanju sveobuhvatnog razumijevanja i u razvoju strategija upravljanja za smanjenje potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub> u zgradama.



Slika 6. Znanstveno područje

Ta raspodjela ističe složenost problema povezanih sa smanjenjem potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub> u zgradama, što zahtijeva uvid i suradnju među različitim znanstvenim disciplinama. Multidisciplinarna priroda toga istraživačkog područja ističe potrebu za raznolikim pristupima i integracijom znanja iz različitih područja kako bi se ti izazovi učinkovito riješili. Na slici 7. prikazani su rezultati analize publikacija na temelju zajedničke pojave ključnih riječi. Za tu bibliometrijsku analizu upotrijebljen je pristup *co-occurrence* (zajednička pojava), pri čemu su autorske ključne riječi odabrane kao jedinica analize. Vizualizacija otkriva bogat i međusobno povezan istraživački krajolik u području smanjenja potrošnje energije u zgradama i emisije CO<sub>2</sub>.



### Slika 7. Rezultati analize publikacija prema ključnim riječima

Središnje teme koje su identificirane uključuju korištenje energije, ugljikov dioksid, kontrolu emisija, potrošnju energije, zgrade i tehnologije. Te teme upućuju na višedimenzionalnu prirodu istraživanja u tome području. Osim toga istaknuta međunarodna suradnja i raznolik geografski fokus dodatno ističu globalnu važnost i potrebu za ulaganjem kolektivnih napora u razvoj učinkovitih strategija za smanjenje potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub>.

Raspodjela istraživanja kroz više znanstvenih disciplina upućuje na to da rješavanje izazova povezanih s potrošnjom energije i emisijom CO<sub>2</sub> u zgradama neće zahtijevati samo tehnološka, već i društvena, ekonomska i politička rješenja. Povećani fokus na međunarodnu suradnju, vidljiv i u analizi ključnih riječi, dodatno potvrđuje da je zajedničko globalno djelovanje ključno za postizanje održivih energetske rješenja.

## 4. Rasprava

U kontekstu dinamičnog područja istraživanja potrošnje energije u zgradama i emisija CO<sub>2</sub> bibliometrijska analiza prikazana u ovom radu pruža sveobuhvatan uvid. Rezultati prikazuju rast i razvoj akademske discipline koju obilježavaju raznoliki doprinosi različitih država i organizacija te sve veće zanimanje znanstvene zajednice.

#### 4.1. Trendovi publikacija i geografska raspodjela

Znatan porast broja znanstvenih članaka koji se bave korelacijom između potrošnje energije u zgradama i emisije CO<sub>2</sub> upućuje na sve veći akademski interes za to područje, što potvrđuje rastući broj publikacija tijekom godina, a kako je to prikazano na slici 2. Iako je rat u Ukrajini poremetio globalne zalihe energije i doveo do povećane razine žurnosti u oblikovanju energetske politika [28], linearna priroda porasta broja publikacija sugerira da su i drugi čimbenici znatno utjecali na taj trend, uključujući globalne napore za usvajanje obnovljivih izvora energije, mjere za ublažavanje klimatskih promjena [29] te tehnološki napredak u području energetske učinkovitosti.

Rat je dodatno pojačao te izazove, osobito u Europi, porastom cijena energije i ubrzanjem prelaska na održiva energetska rješenja. Ipak, širi trend povećanog zanimanja za temu potrošnje energije i emisija CO<sub>2</sub> vjerojatno proizlazi iz složene međuigre globalnih ekoloških izazova, ekonomskih pritisaka i znanstvenog napretka usmjerenog na poboljšanje energetske učinkovitosti zgrada i smanjenje emisije stakleničkih plinova [30].

Brojni istraživači posvećeni su pronalazaženju rješenja za smanjenje potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub> te za povećanje energetske učinkovitosti zgrada i korištenje obnovljivih izvora energije [32-37].

Istaknutost zemalja poput Kine, Italije i Španjolske u istraživanju potrošnje energije u zgradama i emisija CO<sub>2</sub> može se objasniti kombinacijom čimbenika, uključujući istraživačku produkciju, državne politike i ulaganja u tehnologije obnovljive energije. U tablici 4. navedeno je deset najplodnijih autora iz tog područja, čiji je rad znatno doprinio boljemu razumijevanju energetske učinkovitosti zgrada i smanjenju emisije CO<sub>2</sub>.

Kina, koja je objavila 314 publikacija u posljednjemu desetljeću, prednjači po broju objavljenih radova. Ipak, iako je broj kineskih publikacija velik, njihov citatni utjecaj ne dostiže razinu zemalja poput Italije i Španjolske, gdje znanstvenici redovito objavljuju radove s visokom stopom citiranosti. Niža razina citiranosti kineskih publikacija može se pripisati nizu čimbenika, uključujući razvojnu fazu znanstvene zajednice u toj zemlji, nastajuće istraživačke mreže te fokus istraživanja na nacionalno relevantne teme koje možda imaju ograničenu globalnu primjenu.

Unatoč nižjoj razini citiranosti kinesko vodstvo po broju publikacija ima svoju težinu. Rastuća predanost zemlje energetskej učinkovitosti očituje se u snažnim državnim politikama poput "13. Petogodišnjeg plana za ekološku i okolišnu zaštitu", koji težište stavlja na energetske učinkovite zgrade i smanjenje emisije CO<sub>2</sub>. Takve politike potiču nacionalna istraživanja i pridonose kineskome vodećem položaju u rješavanju izazova povezanih s potrošnjom energije.

Nasuprot tomu, Italija i Španjolska objavljuju manje publikacija u odnosu na Kinu, no postižu znatno veći broj citata, što upućuje na široko priznanje i utjecaj njihovih istraživanja. Na primjer, Luisa F. Cabeza (634 publikacije) iz Španjolske prikupila je 39.732 citata, dok je Fabrizio Ascione (135 publikacija) iz Italije zabilježio 4941 citat. Ta visoka razina citiranosti sugerira da je istraživanje u Italiji i Španjolskoj od globalne važnosti te često utječe na politike i praksu izvan njihovih nacionalnih okvira.

Relativno veći znanstveni utjecaj talijanskih i španjolskih autora može se također pripisati snažnim akademskim mrežama, suradnji u međunarodnim istraživačkim inicijativama i doprinosima regulatornim okvirima Europske unije u području klimatske politike. Obje zemlje snažno ulažu u prelazak na obnovljive izvore energije, a njihova su istraživanja u skladu s politikama EU-a o energetskej učinkovitosti i smanjenju emisije ugljika, što im osigurava dostupnost sredstava i mogućnosti za međunarodnu suradnju.

Dok Kina prednjači u broju objavljenih radova, kvaliteta i globalni utjecaj istraživanja iz Italije i Španjolske ističu važnost razmatranja i kvantitativnih i kvalitativnih pokazatelja u procjeni znanstvenog vodstva u tome području. Znanstveni utjecaj, mjeren citatima, relevantnosti za globalne energetske politike i interdisciplinarnu suradnju, jednako je važan za razumijevanje angažiranosti neke zemlje u borbi protiv klimatskih promjena. Osim državnih politika i nacionalnih energetske strategija i drugi čimbenici poput dostupnosti fosilnih izvora energije, tehnoloških inovacija i istraživanja koje vodi industrija utječu na znanstvenu produkciju određene zemlje. Na primjer, zemlje poput Italije i Španjolske, koje raspolažu s manje fosilnih goriva, češće ulažu u istraživanja o energetski učinkovitim zgradama u sklopu svojih ciljeva klimatskog djelovanja. S druge strane, Kina, zbog ogromne potražnje za energijom uslijed urbanizacije i industrijalizacije, ističe energetski učinkovita rješenja kao ključnu strategiju za smanjenje ugljičnog otiska. Istaknutost Kine, Italije i Španjolske u istraživanju potrošnje energije u zgradama i emisija CO<sub>2</sub> rezultat je kombinacije kvantitativnih i kvalitativnih čimbenika. Dok Kina dominira u pogledu volumena publikacija, Italija i Španjolska prednjače po znanstvenome utjecaju, što dodatno ističe važnost i produkcije i globalnog doprinosa u oblikovanju područja energetske učinkovitosti i ublažavanja klimatskih promjena.

#### 4.2. Utjecajni časopisi i obrazovne institucije

Ova studija identificira istaknute akademske institucije i znanstvene časopise koji provode važna istraživanja o potrošnji energije i emisiji CO<sub>2</sub> u zgradama. Te institucije prepoznate su po svojem doprinosu unapređenju energetske učinkovitosti i održivosti izgrađenog okoliša. Na primjer, istraživanja na Sveučilištu u Lleidi (Španjolska) dovela su do znatnih pomaka u integraciji obnovljivih energetske sustava u zgradama, dok se na Sveučilištu u Napulju Federico II. (Italija) provode studije o inovativnim građevnim materijalima koji poboljšavaju energetsku učinkovitost. Ti konkretni doprinosi pokazuju kako navedene institucije aktivno oblikuju budućnost energetski učinkovitih zgrada.

Ipak, iako te akademske ustanove imaju ključnu ulogu u diseminaciji znanja i promicanju održivih praksi, postoje i određena ograničenja. Na primjer, fokus na etablirane institucije iz razvijenih zemalja može zanemariti istraživanja u nastajanju iz institucija u zemljama u razvoju, gdje su energetski izazovi i rješenja često specifični za lokalni kontekst. Osim toga praktična primjena najnaprednijih istraživanja može biti otežana ekonomskim, regulatornim ili tehnološkim preprekama u nekim državama, što može usporiti globalnu implementaciju istraživačkih nalaza.

Zaključno, iako navedene akademske institucije predvode u području istraživanja energetske sustava, važno je istaknuti da njihov puni utjecaj ovisi o široj globalnoj suradnji, uključujući aktivno uključivanje gospodarstava u razvoju te prevladavanje praktičnih izazova u primjeni novih tehnologija.

#### 4.2.1. Utjecaj politike i financiranja

Dominantna pozicija časopisa kao što su *Sustainable Cities and Society*, *Applied Energy* i *Energy and Buildings* odražava njihovu ključnu ulogu u oblikovanju diskursa o energetskoj učinkovitosti i emisijama CO<sub>2</sub>. Ti časopisi služe kao platforme za objavljivanje preporuka politika i najboljih praksi u energetske sektoru. Njihov utjecaj usko je povezan s dostupnošću i fokusom na objavljivanje istraživanja s visokom razinom utjecaja koja izravno informiraju donositelje odluka širom svijeta.

Nacionalne energetske strategije uvelike utječu na istraživački krajolik u području potrošnje energije i emisija CO<sub>2</sub>. Zemlje koje provode snažne energetske politike i raspolažu znatnim financijskim mehanizmima poput Europske unije, Kine i Sjedinjenih Američkih Država prirodno potiču izvrsnost u istraživanju. Nasuprot tomu, zemlje sa slabijim politikama usmjerenima na energiju često ne bilježe istu razinu znanstvene produkcije, što dodatno potvrđuje važnost ulaganja države u promicanje znanstvenih i praktičnih istraživanja.

#### 4.2.2. Praktične implikacije za kreatore politika i urbaniste

Rezultati ove studije kreatorima politika, urbanistima i inženjerima nude vrijedne uvide. Donositelji odluka trebali bi iskoristiti rezultate tih istraživanja za unaprjeđenje građevinskih propisa i politika energetske učinkovitosti. To uključuje implementaciju mjera za smanjenje potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub> u građevinske standarde, poticanje primjene obnovljivih energetske rješenja te integraciju pametnih tehnologija koje optimiraju potrošnju energije.

Urbanisti, u suradnji s arhitektima i inženjerima, mogu projektirati energetski učinkovite zgrade koje zadovoljavaju nove regulative, s težištem na održivim praksama poput pasivnog dizajna, integracije obnovljivih izvora energije i uporabe ekološki prihvatljivih materijala. Preporučene praktične mjere jesu:

- **unaprjeđenje građevinskih propisa:** revidirati građevinske standarde kako bi uključivali obveznu primjenu energetski učinkovitih rješenja, obnovljivih izvora energije i pametnih tehnologija za praćenje i optimiranje potrošnje energije
- **programi poticaja:** uvesti financijske poticaje za obnovu postojećih zgrada pomoću energetski učinkovitih tehnologija
- **međusektorska suradnja:** potaknuti suradnju između arhitekata, inženjera, urbanista i donositelja odluka kako bi se osmislila i implementirala holistička i održiva rješenja za smanjenje potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub>.

#### 4.3. Plodonosni autori i istraživačke ključne riječi

Rad plodonosnih autora kao što su Fabrizio Ascione, Nicola Bianco i Juha Jokisalo imao je ključnu ulogu u oblikovanju razumijevanja potrošnje energije i emisija CO<sub>2</sub> u zgradama. Njihovi doprinosi ističu interdisciplinarnu prirodu tog područja,

gdje se inženjerstvo, znanost o okolišu i društvene znanosti preklapaju u nastojanju da se adresiraju složeni izazovi.

Analiza najčešće korištenih ključnih riječi poput "iskorištavanje energije", "emisije ugljikova dioksida" i "energetska politika" upućuje na snažan naglasak na tehnološkim rješenjima za energetske učinkovitost, uz istodobno prepoznavanje socijalno-ekonomskih čimbenika koji utječu na obrasce potrošnje energije.

#### Teme u nastajanju i praznine u istraživanju

Tijekom vremena primijećen je znatan pomak u tematskome fokusu istraživanja. Teme povezane s integracijom obnovljivih izvora energije, pametnim tehnologijama u zgradama i naprednim građevnim materijalima sve više dolaze u središte znanstvenog interesa. Međutim, postoje i područja koja nisu dovoljno istražena, a zaslužuju veću pozornost.

Na primjer, iako je potrošnja energije u zgradama široko istraživana tema, presjek s društvenim aspektima korištenja prostora i dalje je slabo zastupljen. Utjecaj ljudskog ponašanja i kulturnih praksi na potrošnju energije u različitim regijama čini veliku prazninu u znanstvenoj literaturi.

Osim toga, dok se tehnološki napredak intenzivno istražuje, pristupačnost i priuštivost energetske učinkovite rješenja u zemljama u razvoju ostaje nedovoljno zastupljeno područje.

#### Smjernice za buduća istraživanja

Buduća istraživanja trebala bi obuhvatiti nekoliko ključnih, novooblikovanih područja, uključujući:

- integraciju umjetne inteligencije i velikih podataka (Big Data): primjena AI tehnologija i analitike podataka za optimiranje potrošnje energije u zgradama putem prediktivnog modeliranja i sustava za nadzor u stvarnome vremenu
- kružnu ekonomiju u građevnim materijalima: istraživanje primjene načela kružne ekonomije radi smanjenja ekološkog otiska građevnih materijala i građevnog otpada
- društveni i bihevioralni aspekti: razumijevanje načina na koji ljudsko ponašanje, kulturne norme i socijalno-ekonomski čimbenici utječu na potrošnju energije u zgradama, posebno u različitim geografskim i kulturnim kontekstima.

#### 4.4. Znanstvena područja i njihove implikacije

Istraživanje obuhvaća širok spektar tematskih područja, što jasno upućuje na multidisciplinarnu prirodu problematike potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub>. To se očituje i u sve većemu preklapanju područja poput računalnih i društvenih znanosti. Primjena interdisciplinarnog pristupa od ključne je važnosti jer omogućuje integraciju raznovrsnih metodologija i perspektiva, čime se osigurava da se uz tehnološke inovacije u obzir uzimaju i društveni aspekti.

Takav pristup ključan je za razvoj učinkovitih i primjenjivih strategija za smanjenje potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub>, omogućujući primjenu širokog raspona metoda.

Uključivanjem uvida iz različitih znanstvenih disciplina interdisciplinarna istraživanja omogućuju izradu rješenja koja

su ne samo tehnološki napredna, već i društveno prihvatljiva i ekološki održiva. Takav sveobuhvatan pristup omogućuje znanstvenicima da razviju holističke i otporne strategije koje mogu učinkovito odgovoriti na složene izazove povezane s potrošnjom energije i emisijom CO<sub>2</sub>.

Suradnja između različitih znanstvenih područja ključna je za stvaranje utjecajnih i dugoročnih rješenja koja se mogu prilagoditi različitim potrebama i kontekstima zajednica i industrijskih sektora. Na taj način interdisciplinarna suradnja postaje nezaobilazna u stvaranju održivih i skalabilnih strategija za rješavanje sve složenijih i dinamičnih izazova energetske učinkovitosti i klimatskih promjena.

Zaključno, rezultati ove bibliometrijske studije nude sveobuhvatan prikaz trenutnog stanja i budućih smjerova u znanstvenome istraživanju o potrošnji energije i emisiji CO<sub>2</sub>. Osim svoje važnosti za akademsku zajednicu to rastuće znanstveno područje ima i konkretne implikacije za stručnjake, donositelje politika i tehnološke inovatore.

Važno je pratiti najnovije spoznaje i napredak u tome području kako bi se osiguralo da strategije za smanjenje potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub> u zgradama budu učinkovite, cjelovite i usklađene s ciljevima očuvanja okoliša i prirodnih energetskih resursa.

#### 4.5. Ograničenja istraživanja

Unatoč sveobuhvatnoj prirodi ovog istraživanja potrebno je istaknuti određena ograničenja:

- obuhvat baza podataka: Istraživanje se oslanja na specifične bibliometrijske baze podataka, što može dovesti do izostavljanja određenih članaka, osobito onih objavljenih na jezicima koji nisu engleski ili u regionalnim časopisima. To ograničenje može rezultirati pristranosti prema publikacijama na engleskome jeziku i onima objavljenima u visokorangiranim časopisima.
- moguća jezična pristranost: Dominacija znanstvenih radova na engleskome jeziku može značiti da globalna raznolikost istraživanja nije u cijelosti zastupljena, osobito kada su u pitanju regije u kojima se engleski jezik manje koristi.

U budućim istraživanjima preporučuju se proširenje opsega kako bi se uključile i publikacije na drugim jezicima te korištenje dodatnih bibliometrijskih baza podataka. Time bi se smanjila pristranost i pružio sveobuhvatniji prikaz globalnih trendova u području potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub> u zgradama.

#### 4.6. Sažetak rezultata pregleda

U tablici 5. nalazi se konsolidirani sažetak dobiven iz ovoga znanstvenog rada u kojemu je provedena temeljita analiza razvoja, posljedica i mogućnosti u kontekstu smanjenja potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub> u zgradama, s težištem na njihovu utjecaju na klimatske promjene.

Podaci su kategorizirani prema ključnim tematskim cjelinama, uključujući otkrića, posljedice, trendove i planove za budućnost.

Tablica 5. Detaljna analiza potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub> te njihov utjecaj na klimatske promjene – ključna otkrića i perspektive za budućnost

| Aspekt                | Otkrića                                                                                                                          | Implikacije                                                                                                                                                               | Trendovi                                                                          | Budući planovi                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Publikacije           | Znatn porast broja znanstvenih publikacija u posljednjemu desetljeću                                                             | Povećani fokus na smanjenje potrošnje energije i emisije CO <sub>2</sub> , osobito uslijed utjecaja rata u Ukrajini i globalne predanosti ublažavanju klimatskih promjena | Broj publikacija nastavlja rasti iz godine u godinu                               | Daljnje širenje istraživačkih napora, s težištem na interdisciplinarnim studijama koje uključuju inženjerstvo, znanost o okolišu, arhitekturu, društvene znanosti i analitiku podataka radi povećanja energetske učinkovitosti i smanjenja emisije CO <sub>2</sub> |
| Časopisi              | <i>Sustainable Cities and Society, Applied Energy i Energy and Buildings</i> ključni su znanstveni časopisi                      | Za učinkovite strategije, politike i metodologije važno je konzultirati te publikacije                                                                                    | Velik doprinos dolazi iz raznovidnih časopisa                                     | Podrška otvorenome pristupu; povećanje stope citiranosti                                                                                                                                                                                                           |
| Zemlje                | Vodeće zemlje uključuju Kinu, Italiju, Španjolsku i Sjedinjene Američke Države                                                   | Istraživanja ističu međunarodnu suradnju u području energije i emisija                                                                                                    | Geografsko širenje istraživačkih aktivnosti                                       | Povećati globalnu suradnju u istraživanju u cilju razvoja učinkovitijih tehnika za smanjenje potrošnje energije i emisije CO <sub>2</sub>                                                                                                                          |
| Obrazovne institucije | Tsinghua University, Sapienza Università di Roma i Universidad de Sevilla prepoznate su po svojem doprinosu                      | Te institucije predvode u inovativnim istraživanjima i utječu na globalne strategije energetske učinkovitosti                                                             | Istraživanja se uglavnom provode u zemljama kao što su Kina, Italija i Španjolska | Potaknuti sudjelovanje većeg broja obrazovnih institucija diljem svijeta u istraživanjima na temu potrošnje energije i emisije CO <sub>2</sub>                                                                                                                     |
| Autori                | Područje uključuje i afirmirane i nove istraživače; istaknuti autori uključuju Fabrizija Ascionea, Nicolu Bianca i Juha Jokisala | Njihov rad temelj je za sadašnji i budući razvoj znanstvenog područja                                                                                                     | Kombinacija iskusnih i novih znanstvenika aktivno doprinosi području              | Važno je pružiti podršku i priznanje istraživačima kako bi se potaknule nove inovacije i postignuća                                                                                                                                                                |
| Ključne riječi        | Ključni pojmovi uključuju "iskorištavanje energije", "emisije CO <sub>2</sub> ", "potrošnja energije" i "energetska politika"    | Upućuju na snažan fokus na energetske učinkovitost, upravljanje emisijama i optimiranje potrošnje energije u zgradama                                                     | Dominacija termina koji se odnose na energiju i emisije CO <sub>2</sub>           | Fokus budućih istraživanja treba biti na naprednim alatima i metodama za smanjenje potrošnje energije i emisije CO <sub>2</sub>                                                                                                                                    |

Ta kategorizacija omogućuje sveobuhvatan pregled važnosti smanjenja potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub>, uz isticanje geografske raspodjele, vodećih autora i tematskih fokusa u tome istraživačkom području. Cilj je istraživanja jasno prikazati trenutačno stanje i predvidjeti buduće smjerove razvoja u tome brzorastućem znanstvenom području, što je dodatno prikazano u tablici 5.

## 5. Zaključak

Zbog rasta populacije i urbanizacije potrošnja, energije u zgradama kontinuirano raste. Ovaj rad predstavlja bibliometrijsku i sadržajnu analizu 1969 znanstvenih publikacija usmjerenih na potrošnju energije u zgradama i emisije CO<sub>2</sub>, u cilju identificiranja ključnih istraživačkih tema i njihovih dinamika.

Analiza pokazuje velik porast broja publikacija tijekom godina, što upućuje na rastuće zanimanje znanstvene zajednice za to istraživačko područje. Interdisciplinarni časopisi prednjače u istraživanju povezanosti između potrošnje energije u zgradama i emisije CO<sub>2</sub>, jer omogućuju integraciju različitih perspektiva, inženjerstva, znanosti o

okolišu, društvenih znanosti i drugih, kako bi se pristupilo rješavanju složenih izazova. Međutim, važno je istaknuti da su interdisciplinarni časopisi samo jedan segment širega znanstvenog krajolika. Specijalizirani časopisi iz područja energetskog inženjerstva, arhitekture i politike zaštite okoliša također igraju ključnu ulogu u razvoju ciljanih istraživanja i tehničkih inovacija u tome području.

Kao vodeća institucija prema broju publikacija istaknuto je Sveučilište Tsinghua. Studija također ističe da međunarodne suradnje znatno poboljšavaju znanstvenu izvrsnost i učinkovitost. Među često korištenim pojmovima u analiziranim radovima nalaze se "iskorištavanje energije", "ugljikov dioksid", "potrošnja energije", "kontrola emisija" i "energetska politika". Najčešće istražene teme uključuju integraciju tehnologije, hibridno učenje i edukacijsku tehnologiju. Istodobno istraživačka područja koja sve više privlače pozornost znanstvenika uključuju energiju, inženjerstvo, znanost o okolišu, društvene znanosti i računalne znanosti. Taj trend dodatno potvrđuje interdisciplinarnu narav istraživanja odnosa između potrošnje energije u zgradama i emisije CO<sub>2</sub>, te ističe njegovu sve veću relevantnost u različitim znanstvenim područjima.

## LITERATURA

- [1] Avtar, R., Tripathi, S., Aggarwal, A.K., Kumar, P.: Population-urbanization-energy nexus: A review, MDPI AG, 2019., <https://doi.org/10.3390/resources8030136>.
- [2] Mastrucci, A., van Ruijven, B., Byers, E., Poblete-Cazenave, M., Pachauri, S.: Global scenarios of residential heating and cooling energy demand and CO<sub>2</sub> emissions, *Clim. Change*, 168 (2021) 3–4, <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03229-3>.
- [3] Bilgen, S.: Structure and environmental impact of global energy consumption, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2014) 8., <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.004>.
- [4] Global Alliance for Buildings and Construction: Global Statuts for Buildings and Construction: Beyond foundations - Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector, United Nations Environment Programme, 2024., <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>.
- [5] Li, Y., Mao, Y., Wang, W., Wu, N.: Net-zero energy consumption building in China: An overview of building-integrated photovoltaic case and initiative toward sustainable future development, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2023., <https://doi.org/10.3390/buildings13082024>.
- [6] Wang, C., et al.: The evolution and future directions of green buildings research: A scientometric analysis, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2024., <https://doi.org/10.3390/buildings14020345>.
- [7] Mirabella, N., et al.: Strategies to improve the energy performance of buildings: A review of their life cycle impact, MDPI AG, 2018., <https://doi.org/10.3390/buildings8080105>.
- [8] Gökşen, F., Ayçam, İ.: Thermal performance assessment of opaque ventilated façades for residential buildings in hot humid climates, *Građevinar*, 75 (2023) 3, pp. 225–237, <https://doi.org/10.14256/JCE.3576.2022>.
- [9] Koprivica, S., Golić, K., Kosorić, V.: Holistic sustainable buildings renovation: A case study from Switzerland, *Građevinar*, 76 (2024) 8, pp. 745–752, <https://doi.org/10.14256/JCE.3968.2024>.
- [10] Pekdoğan, T.: Addressing challenges in LEED green building ratings in Türkiye, *Građevinar*, 76 (2024) 7, pp. 621–631, <https://doi.org/10.14256/JCE.3860.2024>.
- [11] Marinakis, V., Doukas, H.: An advanced IoT-based system for intelligent energy management in buildings, *Sensors (Switzerland)*, 18 (2018) 2, <https://doi.org/10.3390/s18020610>.
- [12] Chen, S., Zhang, G., Xia, X., Chen, Y., Setunge, S., Shi, L.: The impacts of occupant behavior on building energy consumption: A review, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45 (2021) 6, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101212>.
- [13] van Oorschot, J.A.W.H., Hofman, E., Halman, J.I.M.: A bibliometric review of the innovation adoption literature, *Technological Forecasting and Social Change*, 134 (2018), pp.1–21, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.04.032>.
- [14] Page, M.J., et al.: The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews, BMJ Publishing Group, 2021., <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- [15] van Eck, N.J., Waltman, L.: Visualizing bibliometric networks, *Measuring Scholarly Impact*, (2014), pp. 285–320. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_13).
- [16] Tennant, J.P.: Web of science and scopus are not global databases of knowledge, *European Science Editing*, 46 (2020), pp. 1–3, <https://doi.org/10.3897/ese.2020.e51987>.
- [17] Stahlschmidt, S., Stephen, D., Greisler, M.P., Jungbauer-Gans, M.: Chairman of the Supervisory Board, 2020., [www.dzhw.eu](http://www.dzhw.eu), [1.10.2024.]
- [18] Li, K., Huang, W., Hu, G., Li, J.: Ultra-short term power load forecasting based on CEEMDAN-SE and LSTM neural network, *Energy Build*, 279 (2023), Paper 112666, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112666>.
- [19] Zhang, M., et al.: Electrochemical impedance spectroscopy: A new chapter in the fast and accurate estimation of the state of health for Lithium-ion batteries, MDPI, 2021., <https://doi.org/10.3390/en16041599>.
- [20] Kooli, C.: Chatbots in education and research: A critical examination of ethical implications and solutions, *Sustainability (Switzerland)*, 15 (2023) 7, <https://doi.org/10.3390/su15075614>.
- [21] Kulakov, O., Popova, O., Popova, S., Tomashevskaya, E.: Investments in green business and corporate governance by Ukraine's cooperation with the European Union, *Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics, 2023., <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1126/1/012011>.
- [22] Jiakui, C., Abbas, J., Najam, H., Liu, J., Abbas, J.: Green technological innovation, green finance, and financial development and their role in green total factor productivity: Empirical insights from China, *J. Clean. Prod.*, 382 (2023), Paper 135131, <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.135131>.
- [23] Li, Y., Wang, R., Li, Y., Zhang, M., Long, C.: Wind power forecasting considering data privacy protection: A federated deep reinforcement learning approach, *Appl. Energy*, 329 (2023), Paper 120291, <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2022.120291>.
- [24] Mohtasham, M.M., et al.: Predictive models for concrete properties using machine learning and deep learning approaches: A review, *Journal of Building Engineering*, 63 (2023), Paper 105444, <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2022.105444>.
- [25] Abbas, J., Wang, L., Belgacem, S.B., Pawar, P.S., Najam, H., Abbas, J.: Investment in renewable energy and electricity output: Role of green finance, environmental tax, and geopolitical risk - Empirical evidence from China, *Energy*, 269 (2023), Paper 126683, <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2023.126683>.
- [26] Son, T.H., Weedon, Z., Yigitcanlar, T., Sanchez, T., Corchado, J.M., Mehmood, R.: Algorithmic urban planning for smart and sustainable development: Systematic review of the literature, *Sustain. Cities Soc.*, 94 (2023), Paper 104562, <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2023.104562>.
- [27] Cortazar, M., et al.: A comprehensive review of primary strategies for tar removal in biomass gasification, *Energy Convers. Manag.*, 276 (2023), Paper 116496, <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2022.116496>.
- [28] Trunina, I., Pryakhina, K.: Research on the development of renewable energy sources in the world due to the war in Ukraine, *Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine: IEEE, 2022.
- [29] den Elzen, M.G.J., Olivier, J.G.J., Höhne, N., Janssens-Maenhout, G.: Countries' contributions to climate change: Effect of accounting for all greenhouse gases, recent trends, basic needs and technological progress, *Clim. Change*, 121 (2013) 2, pp. 397–412, <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0865-6>.

- [30] Umar, M., Riaz, Y., Yousaf, I.: Impact of Russian-Ukraine war on clean energy, conventional energy, and metal markets: Evidence from event study approach, *Resources Policy*, 79 (2022), Paper 102966, <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2022.102966>.
- [31] Benton, T.G., et al.: The Ukraine war and threats to food and energy security, *Environment and Society Programme*, (2022) 4, <https://doi.org/10.15407/economyukr.2023.08.028>.
- [32] Belgin Ddkmen, Ç. Gültekdñ, A.B., Kapsamında, S., Yenilenebilir, Y., Kullanımı, E.K.: Usage of renewable energy resources in buildings in the context of sustainability, 2011.
- [33] Heravi, G., Qaemi, M.: Energy performance of buildings: The evaluation of design and construction measures concerning building energy efficiency in Iran, *Energy Build*, 75 (2014) 6, pp. 456–464, <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2014.02.035>.
- [34] Zhou, Y.: Evaluation of renewable energy utilization efficiency in buildings with energy analysis, *Appl. Therm. Eng.*, 137 (2018) 6, pp. 430–439, <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2018.03.064>.
- [35] Aldhshan, S.R.S., Abdul Maulud, K.N., Wan Mohd Jaafar, W.S., Karim, O.A., Pradhan, B.: Energy consumption and spatial assessment of renewable energy penetration and building energy efficiency in malaysia: A review, *MDPI*, 2022., <https://doi.org/10.3390/su13169244>.
- [36] Kalfaoglu Hatipoglu, H., Cetin, R., Hatipoglu, A.: Sustainable housing: Analysis of energy performance potential in Turkey with translation of building standards of Austria, *Građevinar*, 74 (2022) 8, pp. 647–659, <https://doi.org/10.14256/JCE.3332.2021>.
- [37] Trkulja, T., Radujković, M., Nikolić-Topalović, M.: Vertical greenery system: A model for improving energy efficiency of buildings, *Građevinar*, 74 (2022) 8, pp. 561–571, <https://doi.org/10.14256/JCE.3370.2021>.