doi: 10.46793/EEE26-3.22G

*Originalni naučni rad*
UDK 620.9:[614.21:504.7

# Ka niskougljeničnom zdravstvenom sektoru: sveobuhvatni pregled

**Dušan Gordić, Vladimir Vukašinović, Mladen Josijević, Nebojša Jurišević**
Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu

***Rezime*** - Zdravstveni sektor predstavlja jednu od najvećih i najkritičnijih infrastruktura savremenog društva, čiji je udeo od 4-5 % u globalnim emisijama gasova sa efektom staklene bašte. Proces dekarbonizacije ovog sektora postaje imperativ za postizanje nacionalnih i međunarodnih klimatskih ciljeva. U radu se analiziraju ključni izvori emisija unutar zdravstvenih ustanova, uključujući potrošnju energije u zgradama, medicinsku opremu, upravljanje otpadom, logistiku i lanac snabdevanja. Rad sistematizuje sedam ključnih strateških akcija, uključujući snabdevanje dekarbonizovanom energijom, održivu izgradnju, cirkularno zdravstvo i eliminaciju medicinskih praksi niske vrednosti, koje omogućavaju zdravstvenim ustanovama da unaprede održivost uz očuvanje kvaliteta zdravstvenih usluga. Kroz pregled globalnih inicijativa poput "Race to Zero" i primera dobre prakse iz EU projekta DAPHNE, identifikovani su modeli za uspešnu tranziciju ka niskougljeničnom modelu. Zaključno, rad razmatra institucionalne, finansijske i organizacione prepreke, naglašavajući da sistemska dekarbonizacija mora da balansira klimatske ciljeve sa očuvanjem kvaliteta i dostupnosti zdravstvene zaštite. Rad pruža metodološki okvir i preporuke za donosioce politika, menadžment zdravstvenih ustanova i stručnu javnost, sa ciljem ubrzanja tranzicije ka niskougljeničnom zdravstvenom sistemu.

***Ključne reči*** - dekarbonizacija, emisije gasova staklene bašte, zdravstveni sektor

## I UVOD

Postoji širok naučni konsenzus da su ljudske aktivnosti (poput intenzivne industrijalizacije, razvoja saobraćaja, rasta stanovništva, urbanizacije i promena u korišćenju zemljišta) glavni pokretači povećanja koncentracije gasova sa efektom staklene bašte (GHG) i posledičnog globalnog zagrevanja. Prema inicijativi Indikatori globalnih klimatskih promena (IGCC) (eng. *Indicators of Global Climate Change*) koja obezbeđuje godišnje, ažurirane i recenzirane procene ključnih klimatskih pokazatelja, globalne emisije svih antropogenih GHG gasova iznosile su približno 55,4 ± 5,1 $GtCO_2e$ godišnje u 2023. godini. [1]. Izveštaj Programa Ujedinjenih nacija za životnu sredinu (UNEP) (eng. *United Nations Environment Programme*) navodi sličnu vrednost od oko 57,1 $GtCO_2e$ za 2023 [2]. Prema EDGAR (eng. *Emissions Database for Global Atmospheric Research*) sveobuhvatnoj, nezavisnoj bazi podataka o emisijama GHG gasova i zagađivača vazduha nastalih ljudskim delovanjem (antropogenim) na globalnom nivou koju održava Zajednički istraživački centar (JRC) Evropske komisije, globalne emisije gasova staklene bašte su u 2024. godini dostigle 53,2 GtCO2e (bez korišćenja zemljišta, promena u korišćenju zemljišta i šumarstva), što predstavlja povećanje od 1,3% u poređenju sa emisijama iz 2023 [3].

Kako bi se ograničilo globalno zagrevanje izazvano antropogenim uticajima, svetski lideri su se dogovorili o međunarodnom sporazumu o klimatskim promenama koji ograničava porast globalne prosečne temperature na najviše 2°C, sa ciljem od 1,5°C u poređenju sa predindustrijskim nivoima [4]-[5]. Na žalost, prema UNEP Izveštaju o jazu u emisijama za 2025. godinu (eng. *Emissions Gap Report*) [6] svet se kreće prema ozbiljnoj eskalaciji klimatskih rizika i šteta. Prema ovom dokumentu, da bi se uskladili sa ciljevima Pariskog sporazuma za 2 °C i 1,5 °C, potrebna su smanjenja godišnjih emisija GHG od 35%, odnosno 55% u 2035. godini, u poređenju sa nivoima iz 2019. godine. S obzirom na obim potrebnih smanjenja, kratak raspoloživ vremenski okvir za njihovu realizaciju i nepovoljnu političku klimu, značajnije prekoračenje praga od 1,5 °C je neizbežno i to sa velikom verovatnoćom već u narednoj deceniji.

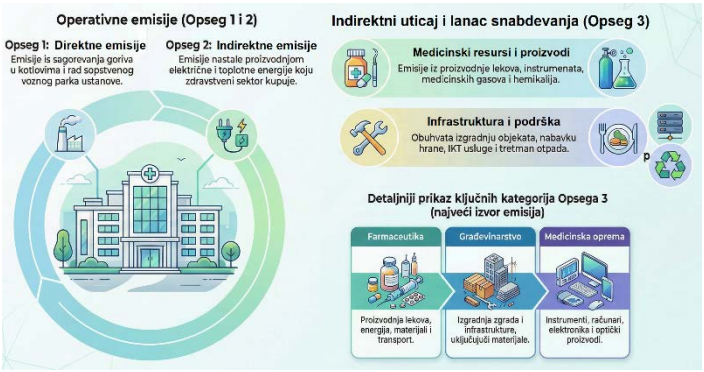
Zdravstveni sistemi širom sveta suočeni su sa jedinstvenim i dubokim izazovom koji se često definiše kao klimatsko-zdravstveni paradoks. Dok je primarna uloga ovih sistema zaštita ljudskog života i unapređenje blagostanja, njihova operativna aktivnost značajno doprinosi globalnoj ekološkoj krizi koja direktno ugrožava javno zdravlje. Prema sveobuhvatnim analizama organizacije Health Care Without Harm i konsultantske kompanije Arup, nivo emisija GHG zdravstvenog sektora je procenjen na 2 $GtCO_2e$ u 2014. godini [7,8]. Ovaj nivo emisija iznosi približno 4-5% ukupnih globalnih GHG emisija [9] i ukazuje na činjenicu da bi zdravstveni sektor, ukoliko bi se posmatrao kao zasebna država, bio peti najveći emiter na svetu, odmah nakon Kine, SAD, Indije i EU, i bio bi uporediv sa Rusijom [10]. Iz ovoga se može zaključiti da, ako čovečanstvo želi da postigne klimatsku neutralnost, zdravstveni sektor mora da bude deo strategije, jer je njegova uloga u emisijama značajna.

Ova činjenica je u poslednjoj deceniji pokrenula intenzivna istraživanja i političke inicijative usmerene ka dekarbonizaciji zdravstvenog sektora. Zato je cilj ovog rada da se na osnovu pregleda najboljih međunarodnih praksi i dostupnih relevantnih naučnih i stručnih izvora, sistematizuju i analiziraju ključni izvori GHG emisija unutar zdravstvenog sektora. Posebna pažnja je posvećena definisanju i sistematizaciji tehničkih, ekonomskih i organizacionih strategija za smanjenje GHG emisija u okviru sektora, koje omogućavaju zdravstvenim ustanovama da unaprede održivost uz očuvanje kvaliteta zdravstvenih usluga.

## II GHG EMISIJE ZDRAVSTVENOG SEKTORA

Osnova svake strategije dekarbonizacije počiva na preciznom računovodstvu GHG gasova, koje je međunarodno

standardiziovano Protokolom za obračun i izveštavanje o emisijama gasova sa efektom staklene bašte (eng. Greenhouse Gas (GHG) Protocol) [11]. Prema ovom protokolu emisije gasova sa efektom staklene bašte klasifikuju se u tri osnovne kategorije (opsega) (eng. *scope*), što pruža celovit uvid u ekološki otisak neke organizacije (slika 1). U zdravstvenom sektoru, emisije opsega 1 (*scope* 1) odnose se na direktne emisije gasova sa efektom staklene bašte koje potiču iz izvora u vlasništvu ili pod neposrednom kontrolom zdravstvenih ustanova. One prvenstveno obuhvataju emisije nastale sagorevanjem goriva u bolničkim objektima, kao i emisije iz vozila koja su u vlasništvu ili operativnoj upotrebi zdravstvenih institucija. Emisije opsega 2 (*scope* 2) predstavljaju indirektne emisije u vezi sa proizvodnjom električne i toplotne energije koju zdravstvene ustanove nabavljaju od eksternih dobavljača, pri čemu emisije nastaju tokom procesa proizvodnje energije van samih zdravstvenih objekata. Ostatak čine emisije opsega 3 (*scope* 3), koje obuhvataju indirektne emisije duž celokupnog lanca snabdevanja. Ovaj opseg uključuje emisije koje su u vezi sa proizvodnjom i transportom lekova, medicinske opreme, potrošnog materijala, kao i građevinskih materijala koji se koriste u izgradnji i održavanju zdravstvene infrastrukture (tabela 1).

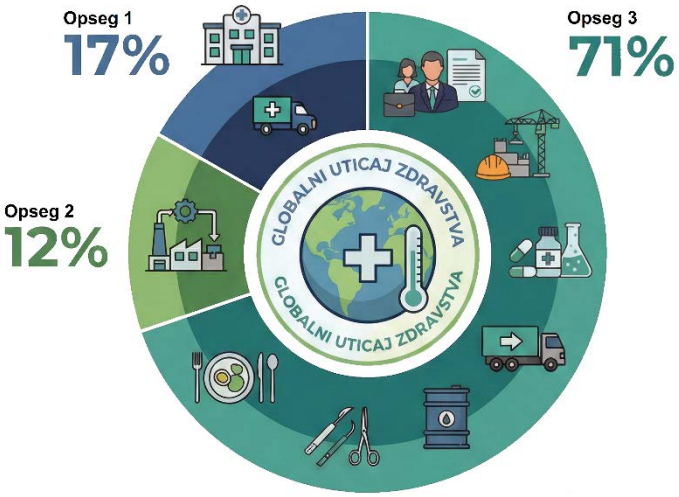



**Slika 1.** GHG emisije u zdravstvenom sektoru

Analiza podataka o ugljeničnom otisku zdravstva otkriva dominaciju indirektnih emisija nad direktnim (operativnim) emisijama, koje čine samo 17 % [7, 12]. Najveći deo indirektnih emisija pripadaju opsegu 3 koje čine čak 71% ukupnih emisija (slika 2). U zemljama Organizacije za ekonomsku saradnju i razvoj (OECD), emisije opsega 3 u proseku čine oko 79% ukupnih GHG emisija u zdravstvenom sektoru, što ukazuje na to da lanci snabdevanja farmaceutskim proizvodima i medicinskim uređajima predstavljaju ključni izazov u dekarbonizaciji [13]. Najznačajniji izvori u okviru opsega 3 emisija obuhvataju farmaceutske proizvode, koji učestvuju sa 12,0% i odnose se na emisije u vezi sa energijom, materijalima i transportom u procesu proizvodnje lekova, zatim poslovne usluge sa 10,7%, koje uključuju profesionalne usluge poput pravnih, računovodstvenih i konsultantskih aktivnosti. Značajan udeo imaju i hrana i ketering sa 7,2%, što obuhvata proizvodnju hrane i usluge ishrane namenjene pacijentima i osoblju, dok medicinski instrumenti i oprema učestvuju sa 5,2% kroz emisije nastale tokom proizvodnje instrumenata, elektronike i optičkih proizvoda. Građevinarstvo čini 5,6% ukupnih emisija u ovom opsegu i odnosi se na izgradnju infrastrukture i proizvodnju građevinskih materijala [12].

**Tabela 1.** Kategorije GHG emisija u zdravstvenom sektoru [9], [12]

| Opseg emisija | Kategorija GHG emisija | Definicija obuhvata kategorije |
|---|---|---|
| **opseg 1** | funkcionisanje zgrada | direktne emisije iz operativnih aktivnosti zgrada, pretežno iz kotlova (zagrevanje prostora) i spalionica medicinskog otpada |
| | transport | direktne emisije iz voznih parkova u vlasništvu zdravstvenog sektora, kao i emisije u vezi sa službenim putovanjima zaposlenih |
| | medicinski gasovi (anestetici) | emisije gasova sa efektom staklene bašte nastale tokom medicinske primene anestetičkih gasova, kao i usled curenja iz sistema za distribuciju medicinskih gasova u zdravstvenim ustanovama. |
| | rashladni sistemi i klimatizacija | emisije fluorovanih gasova nastale usled curenja rashladnih sredstava iz sistema klimatizacije, rashladnih uređaja i medicinske opreme. |
| **opseg 2** | kupljena električna energija, toplota i para | emisije iz proizvodnje električne energije, toplote i pare koju zdravstveni sektor nabavlja od eksternih dobavljača, uglavnom iz postrojenja koja sagorevaju fosilnih goriva |
| **opseg 3** | poslovne usluge | emisije u vezi sa profesionalnim uslugama koje nabavlja zdravstveni sektor, uključujući pravne, računovodstvene i konsultantske usluge. |
| | izgradnja | emisije u vezi sa izgradnjom zgrada i infrastrukture, uključujući proizvodnju i snabdevanje građevinskog materijala. |
| | električna energija (indirektno) | emisije u vezi sa prenosom i distribucijom električne energije, kao i emisije iz lanca snabdevanja sektora proizvodnje električne energije |
| | hrana, ketering i smeštaj | emisije u vezi sa proizvodnjom i snabdevanjem prehrambenih proizvoda, uslugama keteringa u zdravstvenim ustanovama, kao i obezbeđivanjem smeštaja za zdravstvene radnike |
| | fosilna goriva | emisije u vezi sa proizvodnjom fosilnih goriva koje je nabavio zdravstveni sektor (ne uključuje emisije iz sagorevanja) |
| | informacione i komunikacione tehnologije (IKT) | emisije u vezi sa IT i komunikacionim uslugama, uključujući računarske sisteme, telekomunikacije i izdavaštvo |
| | proizvedena goriva, hemikalije i gasovi | emisije u vezi sa proizvodnjom hemikalija, gasova i drugih industrijskih proizvoda koji se koriste u zdravstvenim ustanovama |
| | medicinski instrumenti i oprema | emisije u vezi sa kupljenim medicinskim instrumentima i opremom, uključujući elektroniku i optičke proizvode |
| | ostali proizvedeni proizvodi | emisije u vezi sa kupljenim proizvodima uključujući plastiku, tekstil, mašine i električnu opremu |
| | ostale nabavke | emisije u vezi sa robom kupljenom na veliko preko veletrgovaca i posrednika |
| | proizvodi od papira | emisije u vezi sa proizvodnjom papira i kartona koje nabavlja zdravstveni sektor |
| | farmaceutski proizvodi | emisije u vezi sa proizvodnjom farmaceutskih proizvoda koje nabavlja zdravstveni sektor, uključujući emisije nastale tokom potrošnje energije, korišćenja sirovina i transporta farmaceutskih proizvoda u lancu snabdevanja |
| | transport (usluge) | emisije iz transportnih usluga koje zdravstveni sektor ugovara, uključujući teretni i putnički transport |
| | otpad, voda i sanitacija | emisije u vezi sa sakupljanjem, tretmanom i odlaganjem otpada, snabdevanjem vodom i kanalizacijom, i reciklažom |




**Slika 2.** Globalne GHG emisije zdravstvenog sektora prema kategorijama

Stuktura emisija zdravstvenog sektora je vrlo kompleksna (Tabela 1). Značajan deo emisija koje se javljaju u zdravstvenom sektoru potiče iz aktivnosti koje su zajedničke velikom broju ekonomskih sektora i organizacija poput potrošnje energije, transporta, generisanja otpada, itd. Dominantni deo GHG emisija u ovom sektoru potiče od upotrebe fosilnih goriva, koja se koriste za proizvodnju finalne energije u zdravstvenim ustanovama, kao i za proizvodnju i transport proizvoda neophodnih za njihov rad. Ipak, pored ovih opštih izvora emisija, postoje i specifični izvori karakteristični za zdravstveni sektor, među kojima se posebno izdvajaju anestetički gasovi i inhalatori sa odmerenom dozom (eng. *metered-dose inhalers* – MDI). Inhalacioni anestetički gasovi koji se koriste u opštoj anesteziji su: desfluran, sevofluran, izofluran, halotan i azot-suboksid ($N_2O$). Ovi gasovi se oslobađaju u atmosferu nakon upotrebe. MDI se koriste u terapiji respiratornih bolesti, kao što su astma i hronična opstruktivna bolest pluća. Ovi inhalatori sadrže propelente iz grupe hidrofluoroalkana (HFA), kao što su HFA-134a (norfluran), HFA-227ea (apafluran), koji imaju visok potencijal globalnog zagrevanja (eng. *global warming potential*) GWP.

U ukupnoj strukturi emisija zdravstvenog sektora, ovi izvori čine relativno mali, ali značajan udeo i predstavljaju dodatni izazov pri proceni emisija na nacionalnom ili regionalnom nivou. Na primer, prema jednoj akademskoj analizi zasnovanoj na podacima National Health Service (NHS) u England [14], emisije koje su u vezi sa inhalacionim anesteticima i MDI čine približno 5% ukupnih emisija zdravstvenog sistema. U okviru te procene, oko 3% ukupnih emisija potiče od MDI, koji se pretežno koriste u primarnoj zdravstvenoj zaštiti, dok približno 2% emisija proizlazi iz primene inhalacionih anestetika, koji se dominantno koriste u ustanovama akutne zdravstvene zaštite, pre svega u bolnicama i operacionim blokovima.

Sistematizovanjem podataka iz naučnih studija [15-18], tehničkih izveštaja i i izveštaja (IPCC AR4, AR5, AR6) [19-21], ekološki uticaj anestetika i propelanata prikazan je u tabeli 2.

**Tabela 2.** Kategorije GHG specifičnih za zdravstveni sektor (anestetici i propelanti)

| Supstanca | Tip (anestetik / propelant) | GWP100[1] (opseg) | Atmosferski vek (opseg) [god] | Tip emisije u zdravstvenom sektoru |
|---|---|---|---|---|
| **Desfluran** | Anestetik | 2590 | 14,1 | **Opseg 1** |
| **Izofluran** | Anestetik | 508 - 539 | 3,0 - 3,7 | **Opseg 1** |
| **Azot-suboksid** | Anestetik | 265 - 310 | 120 - 121 | **Opseg 1, 3** |
| **Sevofluran** | Anestetik | 125 - 195 | 1,2 - 1,5 | **Opseg 1** |
| **Halotan** | Anestetik | 50 | 1,0 | **Opseg 1** |
| **Metoksifluran** | Anestetik | 4 | 0,15 | **Opseg 1** |
| **HFC-227ea** | Propelant | 3220 - 3600 | 36,5 | **Opseg 3** |
| **HFC-134a** | Propelant | 1300 - 1530 | 14,6 | **Opseg 3** |
| **HFC-152a** | Propelant | 124 - 164 | 1,5 | **Opseg 3** |

Iako ima manji GWP od nekih halogenovanih anestetika, azot-suboksid ($N_2O$) ostaje glavni doprinosilac klimatskim promenama zbog svoje izuzetno masovne upotrebe i dugog atmosferskog veka od 120 godina. Emisije $N_2O$ tokom medicinske upotrebe u zdravstvenoj ustanovi pripadaju opsegu 1, dok se emisije koje su u vezi sa njegovom proizvodnjom i lancem snabdevanja klasifikuju kao opseg 3, u skladu sa metodologijom Protokola za obračun i izveštavanje o emisijama gasova sa efektom staklene bašte i analizama klimatskog otiska zdravstvenog sektora. Opsezi za izofluran i sevofluran odražavaju značajne razlike između ranijih procena i najnovijih reevaluacija koje preporučuju niže vrednosti GWP100 (508 za izofluran i 125 za sevofluran) [15]. Opsezi za HFC gasove (134a, 227ea, 152a) potiču iz različitih verzija IPCC izveštaja (od AR4 do AR6), pri čemu se vrednosti GWP-a uglavnom povećavaju u novijim procenama

## III Redukcija emisija zdravstvenog sektora

Analiza emisija u zdravstvenom sektoru ukazuje da strategija njegove dekarbonizacije mora da bude multidimenzionalna. Strategija fokusirana isključivo na energetsku efikasnost i snabdevanje energijom iz dekarbonizovanih izvora bolničkih objekata nije dovoljna. Neophodan je sistemski pristup koji obuhvata i kliničke procese, farmaceutsku industriju, proizvodnju medicinske opreme i logističke tokove.

Globalna mapa puta za dekarbonizaciju zdravstva [7] identifikuje sedam ključnih akcija visokog uticaja koje su neophodne kako bi zdravstveni sektor dostigao nultu emisiju gasova sa efektom staklene bašte do 2050. godine:

- snabdevanje zdravstvenog sistema dekarbonizovanom energijom,
- ulaganje u zgrade i infrastrukturu sa nultim emisijama,
- prelazak na održivu mobilnost i transport bez emisija,
- obezbeđivanje zdrave hrane koja je lokalno proizvedena i održivo uzgajana,
- podsticanje razvoja i upotrebe farmaceutskih proizvoda sa

[1] Potencijal globalnog zagrevanja u periodu od 100 godina

niskim ugljeničnim otiskom,
- primena principa cirkularne ekonomije u zdravstvu uz održivo upravljanje otpadom,
- unapređenje efikasnosti zdravstvenog sistema i eliminacija neefikasnih praksi.

**Tabela 3.** Mapiranje strateških akcija, izvora emisija i mehanizama njihovog smanjenja

| Strateška akcija | Izvori emisija | Opseg emisija | Opis mehanizma smanjenja emisija |
|---|---|---|---|
| 1.snabdevanje dekarbonizovanom energijom | kupljena električna energija – uključujući prenos, generisanje i uzvodne (dolazne) lance snabdevanja | 2, 3 | • prelazak na električnu energiju nulte emisije koja se koristi u ustanovama i lancu snabdevanja<br>• unapređenje energetske efikasnosti |
| 2.investiranje u zgrade i infrastrukturu sa nultim emisijama | rad i funkcionisanje objekata, izgradnja | 1,3 | • primena niskougljeničnih građevinskih materijala<br>• elektrifikacija sistema grejanja i hlađenja<br>• unapređenje energetske efikasnosti |
| 3.prelazak na održiva putovanja i transport bez emisija | transport (direktni i nabavljene usluge) | 1,3 | • elektrifikacija voznog parka i zamena voznih parkova vozilima sa nultom emisijom<br>• prelazak na održive oblike putovanja<br>• optimizacija saobraćajnih ruta<br>• primena digitalnih tehnologija/telemedicina |
| 4.obezbeđivanje zdrave, lokalno proizvedene i održivo uzgajane hrane | hrana, ketering i smeštaj | 3 | • nabavka lokalno i održivo proizvedene sveže hrane sa niskim sadržajem ugljenika<br>• smanjenje otpada od hrane i postizanje nulte stope bacanja hrane |
| 5.podsticanje razvoja i upotrebe farmaceutskih proizvoda sa niskim ugljeničnim otiskom | farmaceutski proizvodi | 3, 1 | • racionalnija upotreba lekova,<br>• optimizacija proizvodnih procesa i razvoj terapijskih alternativa<br>• zamena proizvoda sa visokom emisijom (poput inhalatora i anestetika) zelenim alternativama |
| 6.implementacija cirkularnog zdravstva i održivo upravljanje otpadom | farmaceutski proizvodi, medicinska oprema i instrumenti, proizvedena goriva, hemikalije i gasovi, ostali proizvedeni proizvodi, papirni proizvodi, poslovne usluge, hrana, ketering i smeštaj, fosilna goriva | 3 | • primena principa cirkularne ekonomije<br>• smanjenje toksičnosti otpada<br>• korišćenje čistih tehnologija tretmana otpada |
| 7.unapređenje efikasnosti zdravstvenog sistema | farmaceutski proizvodi, medicinska oprema i instrumenti, ostali proizvedeni proizvodi, poslovne usluge, rad i funkcionisanje objekata, kupljena električna energija | pretežno 3 (indirektan uticaj na 1 i 2) | • jačanje preventivne zaštite,<br>• smanjenje nepotrebnih medicinskih praksi (testiranja, intervencija)<br>• optimizacija kliničkih tokova rada<br>• uvođenje digitalnih putanja nege i povezivanje smanjenja ugljenika sa kvalitetom nege |

Ove akcije su međusobno povezane, a njihova paralelna primena u operativnim procesima, lancu snabdevanja i kroz širu društvenu saradnju, predstavlja preduslov za uspešnu transformaciju zdravstvenog sektora ka klimatskoj neutralnosti bez umanjenja kvaliteta zdravstvene zaštite (tabela 3).

*III - 1 Snabdevanje zdravstvenog sistema dekarbonizovanom energijom*

Zdravstveni sektor je izrazito energetski intenzivan, a potrošnja električne i toplotne energije predstavlja jedan od dominantnih izvora emisija gasova sa efektom staklene bašte. Zdravstvene ustanove imaju značajne i kontinuirane energetske potrebe za rad različitih sistema, uključujući sisteme grejanja, hlađenja ventilacije i klimatizacije, osvetljenje, medicinsku opremu, sterilizacione procese i digitalnu infrastrukturu, pri čemu je pouzdano snabdevanje, pre svega, električnom energijom ključno za bezbedno i neprekidno pružanje zdravstvene zaštite.

Prelazak zdravstva na dekarbonizovanu energiju znači napuštanje fosilnih goriva u korist energije (pre svega električne) iz obnovljivih i drugih dekarbonizovanih izvora. Ovaj prelazak predstavlja najdirektniji put ka dekarbonizaciji opsega 1 i 2, ključnu meru za smanjenje emisija iz opsega 2, ali i povećanju energetske bezbednosti i otpornosti sistema. Globalna mapa puta identifikuje ovu meru kao osnovu dekarbonizacije, jer omogućava neposredno i dugoročno smanjenje ugljeničnog otiska bolnica i drugih zdravstvenih objekata bez kompromitovanja kvaliteta zdravstvene zaštite.

Potencijal primene obnovljivih izvora energije (OIE), prednosti i izazovi u zdravstvenim ustanovama prikazana su u tabeli 4 [22-29]. Instalacija fotonaponskih (PV) panela na krovovima i fasadama bolnica postaje standardna komponenta dekarbonizacije. Hidroenergija, energija vetra i biogasna postrojenja najčešće se primenjuju u ruralnim bolnicama ili

zdravstvenim ustanovama koje nisu povezane na elektroenergetsku mrežu. Integracija različitih sistema u okviru hibridnih energetskih sistema sa OIE, u kombinaciji sa skladištenjem (električne ili toplotne) energije i inteligentnim sistemima upravljanja (EMS), omogućavaju zdravstvenim ustanovama pouzdano i kontinuirano snabdevanje električnom i toplotnom energijom, istovremeno smanjujući emisije i operativne troškove [30]. Primena hibridnih OIE sistema u bolnicama omogućava optimizaciju proizvodnje i potrošnje energije, dok EMS automatski balansira protok energije između obnovljivih izvora i skladišta. Prelazak na niskougljenične sisteme grejanja često zahteva inovativna rešenja za skladištenje energije [31]. Sistemi kao što su skladištenje toplotne energije u izdani (ATES) (eng. *aquifer thermal energy storage*) [32] i skladištenje toplotne energije u bušotinskim sondama (BTES) (eng. *borehole thermal energy storage*) [33] koriste podzemne vode ili tlo za sezonsko skladištenje toplotne ili rashladne energije.

**Tabela 4.** Potencijal primene obnovljivih izvora energije (OIE), prednosti i izazovi u zdravstvenim ustanovama

| Obnovljivi izvor energije | Primena u zdravstvenim ustanovama | Prednosti | Izazovi |
|---|---|---|---|
| **Solarna energija** | PV sistemi za napajanje medicinske opreme i rasvete, solarni kolektori za zagrevanje sanitarne vode | Smanjenje zavisnost od fosilnih goriva, povećanje energetske efikasnosti, smanjenje emisija $CO_2$ | Zahteva značajna početna ulaganja i odgovarajuće podsticajne mere za širu primenu |
| Energija vetra | male vetroturbine integrisane u hibridne energetske sisteme za snabdevanje zdravstvenih ustanova električnom energijom | Diversifikacija energetskih izvora, smanjenje emisija $CO_2$ | Zavisi od lokalnih meteoroloških i geografskih uslova, mogući problemi sa integracijom u postojeću infrastrukturu |
| **Hidroenergija** | Male hidroelektrane za napajanje pojedinačnih objekata ili zdravstvenih kompleksa u blizini vodotokova ili kao deo lokalnih mikroenergetskih sistema | Stabilan i pouzdan izvor energije sa niskim operativnim troškovima | Ograničena primena zbog geografskih i hidroloških uslova, regulatorne i ekološke procedure |
| **Biomasa** | Kotlovi na biomasu i kogeneracioni sistemi (CHP) za grejanje i proizvodnju električne energije | Korišćenje lokalno dostupnih resursa, smanjenje emisija u odnosu na fosilna goriva | Zahteva kontinuirano i pouzdano snabdevanje biomasom |
| **Geotermalna energija** | Geotermalne toplotne pumpe za grejanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode u bolnicama | Visoka efikasnost (COP 3-5), stabilan izvor nezavisan od vremenskih uslova, značajno smanjenje emisija | Visoki početni troškovi instalacije, geološka ograničenja, potreba za tehničkom ekspertizom |
| **Energetsko iskorišćenje otpada** | Anaerobna digestija organskog otpada (npr. kuhinjski otpad iz bolnica) ili spaljivanje medicinskog otpada uz proizvodnju energije | Smanjenje količine otpada, proizvodnja energije iz otpada | Zahteva specijalizovanu infrastrukturu i stroge ekološke standarde |

Dugoročni ugovori o kupovini električne energije iz obnovljivih izvora (PPA) (eng. *power purchase agreements*) predstavljaju važan mehanizam za dekarbonizaciju zdravstvenog sektora, jer omogućavaju zdravstvenim ustanovama da nabavljaju električnu energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora bez potrebe za izgradnjom sopstvenih proizvodnih kapaciteta. Na primer, Boston Medical Center je sklopio 25-godišnji PPA za kupovinu električne energije iz solarne elektrane u saveznoj državi Severna Karolina koji obezbeđuje 100% njihove godišnje potrošnje električne energije iz obnovljivih izvora [34]. I pored toga, Boston Medical Center je nedavno instalirao solarni sistem snage 356 kW na krovu renovirane administrativne zgrade i modelom virtuelnog net merenja (VNM) (eng. *virtual net metering*), dodeljuje kredite za obnovljivu energiju domaćinstvima pacijenata, smanjujući njihove račune za električnu energiju i istovremeno podržavajući njihovo fizičko, ekonomsko i ekološko zdravlje [35].

### *III - 2 Investiranje u zgrade sa nultim emisijama*

Zgrade i infrastrukturni objekti zdravstvenog sektora generišu značajne emisije tokom čitavog životnog ciklusa, od izgradnje i korišćenja, do rekonstrukcije i uklanjanja. U narednom periodu, gradiće se nova zdravstvenena građevinska infrastruktura i relativno veliki broj postojećih zdravstvenih zgrada će biti rekonstruisano i renovirano. Planiranje, projektovanje i izgradnja zdravstvenih objekata moraju da budu usmereni ka zgradama nulte emisije. To podrazumeva korišćenje recikliranih i inovativnih ekološki održivih materijala sa niskim ugljeničnim otiskom pri izgradnji ili rekonstrukciji zgrada, koje treba da budu visoko energetski efikasne, opremljene pametnim energetskim sistemima i napajane energijom iz obnovljivih izvora. Jedan od široko primenjenih okvira za održivu izgradnju bolnica je LEED sertifikacija (eng. *leadership in energy and environmental design*), koja postavlja stroge standarde za ekološki odgovorno projektovanje zgrada [36]. Bolnice sa LEED sertifikatom odlikuju se visokom energetskom efikasnošću i korišćenjem obnovljivih izvora energije, poboljšanim kvalitetom unutrašnjeg vazduha, racionalnom potrošnjom vode, primenom održivih materijala i optimizacijom prostora, što značajno smanjuje njihov ugljenični otisak i doprinosi zdravijem okruženju za pacijente i osoblje. Pored toga, pri planiranju, projektovanju i rekonstrukciji zdravstvenih objekata potrebno je maksimalno optimizovati korišćenje prostora i graditi samo one zgrade koje su apsolutno neophodne [7].

U pojedinim zgradama zdravstvene namene, kao što su bolnice i klinički centri koji neprekidno funkcionišu, sistemi za grejanje, ventilaciju i klimatizaciju vazduha (HVAC) često su odgovorni za više od polovine ukupne potrošnje energije. Visoke stope izmene vazduha, neophodne za kontrolu infekcija u operacionim salama i jedinicama za izolaciju, stvaraju značajno toplotno opterećenje. Modernizacija ovih sistema obuhvata prelazak sa kotlova koji koriste fosilna goriva na toplotne pumpe (vazduh-voda ili zemlja-voda) i integraciju modula za rekuperaciju toplote, čime se postižu značajne uštede energije i smanjenje emisija $CO_2$.

Pored poboljšanja termoizolacionih karakteristika zgrada, strategije povećanja energetske efikasnosti u zdravstvenom sektoru podrazumevaju i:

- redovne energetske preglede kojima se identifikuju neefikasnosti i prilike za unapređenje energetske efikasnosti,
- zamenu zastarele i ugradnju energetski efikasne opreme za HVAC, električno osvetljenje, IKT (informaciono-komunikacione tehnologije), hlađenje (koja ne koriste GWC potentne F-gasove, poput hidrofluorougljenika (HFC) i hidrohlorofluorougljenika (HCFC)), medicinske opreme, itd.,
- uvođenje sistema pametne automatizacije, tj.korišćenje pametnih (eng. *smart*) sistema koji automatski optimizuju rad grejanja, hlađenja, osvetljenja i potrošnje vode,
- prelazak na LED rasvetu uz ugradnju senzora prisustva radi smanjenja potrošnje električne energije,
- implementaciju sistema za upravljanje zgradama (BMS/EMS) (eng. *building/energy management systems*) kojima se centralizovano upravlja potrošnjom energije uz praćenje (monitoring) u realnom vremenu,
- obuku o načinima štednje energije i motivisanje zaposlenih da sprovode energetski efikasne radne navike [7, 37, 38].

*III - 3 Prelazak na održiv saobraćaj i mobilnost bez emisija*

Saobraćaj u zdravstvenom sektoru, koji obuhvata transport pacijenata, zaposlenih i medicinskih proizvoda, značajan je izvor GHG emisija iz opsega 1 i 3. Pojedine strategije održivog transporta u zdravstvenom sektoru, zajedničke su za javni saobraćaj i/ili prevoz robe. One obuhvataju elektrifikaciju voznog parka, korišćenje vozila sa nižim emisijama, promociju eko-vožnje, korišćenje javnog prevoza - uključujući zajedničko korišćenje automobila (eng. *carpooling*) i promociju aktivne mobilnosti. Aktivna mobilnost (biciklizam, hodanje) ima neposredne pozitivne efekte na samo na lokalni kvalitet vazduha i smanjenje emisija $CO_2$ već i na poboljšanje javnog zdravlja [39].

Lokacija zdravstvenih objekata u blizini javnog prevoza i integracija zdravstvene infrastrukture sa urbanim planiranjem poboljšava dostupnost zdravstvenih usluga, što doprinosi smanjenju GHG emisija koje nastaju putovanjima pacijenata, posetilaca i zaposlenih [40].

Jedna od primenjivanih strategija za smanjenje emisija nastalih usled putovanja pacijenata i zaposlenih je primena digitalnih tehnologija telemedicine. Telemedicina je pružanje zdravstvenih usluga na daljinu korišćenjem IKT, bez potrebe da pacijent i zdravstveni radnik budu fizički na istoj lokaciji. Ona podrazumeva korišćenje različitih digitalnih alata, kao što su: video konsultacije između lekara i pacijenta, daljinski monitoring pacijenata (npr. praćenje krvnog pritiska, glukoze ili srčanog ritma putem uređaja), elektronski medicinski kartoni i razmena medicinske dokumentacije, telekonsultacije između lekara radi dijagnostike i donošenja terapijskih odluka [41-43]. Strategije koje uključuju širenje telemedicine imaju potencijal da istovremeno smanje emisije (opsega 1 i 3) i unaprede dostupnost zdravstvenih usluga. Tako, na primer, studija o telemedicini u Brazilu [44] imala je za cilj da proceni smanjenje emisija $CO_2$, kao i vremena i udaljenosti putovanja, nastalo usled primene telemedicinskih usluga kod pacijenata sa hroničnim oboljenjima. Tokom 4.642 telekonsultacije u periodu jun 2022-novembar 2023, izbegnuto je 4.021 fizičkih poseta zdravstvenoj ustanovi, što je dovelo do ukupne uštede od 21.593 $kgCO_2$ (prosečno 5,4 $kgCO_2$ po konsultaciji), smanjenja pređene udaljenosti za oko 365.160 km i uštede 488.584 minuta tj. 339 dana, 7 sati i 4 minute putovanja.

U budućnosti, dronovi imaju potencijal da postanu pouzdane platforme za medicinsku isporuku, koja uključuje mikrobiološke i laboratorijske uzorke, farmaceutske proizvode, vakcine, hitnu medicinsku opremu, pa čak i transport pacijenata [45], mada do danas malo njih funkcioniše kao potpuno komercijalna usluga [46].

*III - 4 Obezbeđivanje zdrave, lokalno proizvedene hrane uz nulti otpad od hrane*

Hrana i otpad od hrane doprinose značajnim emisijama unutar zdravstvenog sistema [47]. Zdravstveni sistemi često upravljaju sopstvenim internim sistemima ishrane, od kreiranja jelovnika i odabira izvora hrane, do same pripreme i distribucije obroka pacijentima, osoblju, a neretko i posetiocima. Uporedo sa tim, ovi sistemi moraju da adekvatno upravljaju i ostacima hrane [7].

Delovanje u svakoj fazi ovog lanca ishrane unutar zdravstvenog sektora može da smanji GHG emisije i osigura nutritivno vrednu hranu. Primeri takvih mera obuhvataju:

- nabavku nutritivno bogatih, lokalnih, sezonskih i održivo proizvedenih prehrambenih proizvoda,
- smanjenje zastupljenosti mesa i mlečnih porizvoda kreiranjem obroka primarno zasnovanih na biljnim proteinima poput mahunarki, orašastih plodova i semenki,
- smanjenje generisanja, prikupljanje i prenamena otpada od hrane (osoblje zaduženo za pripremu hrane trebalo bi da bude edukovano o održivim praksama, dok količina otpada od hrane može da se smanji posluživanjem po zahtevu, prikupljanjem jestive hrane za redistribuciju lokalnim zajednicama i preradom ostataka kompostiranjem ili u anaerobnim digestorima) [7, 37, 39].

Takođe, preporučuje se izbegavanje korišćenja jednokratnog posuđa, korišćenje bolničkih dvorišta za uzgoj hrane za pacijente, osoblje ili lokalnu zajednicu, i korišćenje energetski i resursno efikasnih tehnologija za pripremu hrane, njeno podgrevanje i pranje sudova [7, 48, 49].

*III - 5 Podsticanje razvoja i upotrebe farmaceutskih proizvoda sa niskim ugljeničnim otiskom*

Usled energetski intenzivne proizvodnje i globalnih lanaca snabdevanja, proizvodnja i upotreba farmaceutskih proizvoda i medicinskog potrošno materijal su jedan od najvećih izvora indirektnih emisija u zdravstvu. Podsticanje razvoja nisko-ugljeničnih farmaceutskih proizvoda, racionalizacija propisivanja terapija i zamena proizvoda sa visokim potencijalom globalnog zagrevanja klimatski prihvatljivijim alternativama predstavljaju ključne intervencije [7].

Odgovornost zdravstvenog sektora je da minimizira nepotrebnu potrošnju i rasipanje farmaceutskih proizvoda, osiguravajući da se lekovi propisuju i koriste na racionalan, efikasan i klinički opravdan način. Takav pristup istovremeno doprinosi unapređenju zdravstvenih ishoda i optimizaciji farmakoterapije, ali i predstavlja važan mehanizam za smanjenje GHG emisija. [50]. Studija u Engleskoj pokazala je da bi smanjenje upotrebe farmaceutskih proizvoda za oko 2,5% moglo da predstavlja jednu od intervencija sa najvećim potencijalom za smanjenje emisija [7].

Farmaceutska industrija u velikoj meri zavisi od kompleksnih globalnih lanaca snabdevanja koji uključuju proizvodnju aktivnih farmaceutskih supstanci, hemijskih intermedijera (međuproizvoda) i sirovina uz značajnu emisiju GHG gasova. Zbog toga se sve veća pažnja posvećuje primeni principa zelene hemije i održive hemijske proizvodnje, koji omogućavaju smanjenje potrošnje energije, otpada i upotrebe toksičnih supstanci u procesu proizvodnje lekova [51]. Istovremeno, neophodna je transformacija proizvodnih procesa ka tehnologijama sa niskim ili nultim emisijama, kako bi se smanjio negativan klimatski uticaj farmaceutske proizvodnje, ali i zaštitilo zdravlje lokalnih zajednica koje žive u neposrednoj blizini industrijskih postrojenja. Ovakav pristup podrazumeva unapređenje energetske efikasnosti, primenu obnovljivih izvora energije i razvoj čistijih proizvodnih procesa u okviru farmaceutske industrije [52, 53].

Kao što je već napomenuto, anestetički gasovi i MDI su farmaceutski proizvodi sa značajnim ugljeničnim otiskom i značajnim doprinosom ukupnim emisijama u zdravstvenom sektoru. Strategije ublažavanja u anesteziologiji uključuju: izbegavanje inhalacionih anestetika i korišćenje intravenske anestezije kada je klinički prikladno, izbegavanje desflurana i azot-suboksida ako se koriste inhalacioni anestetici (osim ako ne postoje jasne kliničke indikacije), korišćenje nisko-protočne anestezije (LFA) (eng. *low-flow anesthesia*), uništavanje i hvatanje otpadnih anestetičkih gasova [54, 55].

Inhalatori za astmu i hroničnu opstruktivnu bolest pluća (HOBP) koriste potisne gasove koji imaju značajan GWP. Inhalatori sa HFC-152a propelantom su ekološki prihvatljivije rešenje jer imaju mnogo manji GWP od MDI sa tradicionalnim propelantima (HFC-134a i HFC-227ea) [17]. Alternativa MDI sa propelantom su inhalatori bez potisnih gasova, poput inhalatora sa suvim prahom (DPI) (eng. *dry powder inhaler*) [56] i inhalatora sa mekanom maglicom (SMI) (eng. *soft mist inhaler*) [57], koji terapiju isporučuju bez upotrebe potisnih gasova i imaju značajno manji ugljenični otisak. Prelazak sa MDI na DPI uređaje može da smanji emisije i do 20-40 puta, uz zadržavanje efikasne kontrole bolesti kod pacijenata sa astmom i HOBP [56].

Regulativa (EU) 2024/573 o fluorovanim GHG gasovima (F-gasovima) [58] uspostavlja stroge kvote i postupno smanjenje dostupnosti HFC gasova na tržištu Evropske unije, uključujući propulzivne gasove u inhalatorima, sa ciljem potpunog ograničenja do 2050. godine. Time se podstiče farmaceutska industrija na razvoj verzija inhalatora sa nižim GWP-om i održivijim rešenjima [59].

### *III - 6 Implementacija cirkularnog zdravstva i održivog upravljanja otpadom*

Pristup cirkularne ekonomije podrazumeva postepeno razdvajanje ekonomskih aktivnosti od potrošnje ograničenih prirodnih resursa i dizajniranje sistema u kojem se otpad minimizira ili eliminiše. Principi cirkularne ekonomije često se operacionalizuju kroz „model 8R“, koji obuhvata redizajn (eng. *redesign*), zamenu (eng. *replace*), smanjenje potrošnje resursa (eng. *reduce*), ponovnu upotrebu (eng. *reuse*), popravku (eng. *repair*), ponovnu obradu (eng. *reprocess*), prenamenu (eng. *repurpose*) i reciklažu (eng. *recycle*) [60]. Primena ovih principa u zdravstvenom sektoru omogućava smanjenje potrošnje materijala, produženje životnog ciklusa medicinskih proizvoda i efikasnije upravljanje otpadom, čime se doprinosi smanjenju emisija GHG gasova i unapređenju održivosti zdravstvenih sistema. Cirkularna ekonomija u zdravstvenom sektoru zahteva sistemsku transformaciju lanaca snabdevanja i modela pružanja zdravstvenih usluga. To uključuje prelazak na poslovne modele zasnovane na konceptu „proizvod-kao-usluga“, kao i primenu reverzne logistike koja omogućava povraćaj i ponovnu upotrebu materijala [7], [61-63].

U okviru takvog pristupa, materijali koji se koriste u zdravstvenom sistemu treba da budu netoksični, dugotrajni, ponovo upotrebljivi, reciklabilni i sa niskim ugljeničnim otiskom, dok bi lanci snabdevanja trebalo da budu što kraći i regionalno orijentisani. Poseban izazov predstavlja velika zavisnost zdravstvenog sektora od jednokratnih medicinskih proizvoda, naročito u razvijenim zemljama. Dok su pojedini proizvodi niske složenosti, poput igala i špriceva, opravdano namenjeni za jednokratnu upotrebu uz adekvatno recikliranje, mnogi medicinski uređaji srednje i visoke složenosti mogu biti redizajnirani kako bi omogućili duži životni vek, ponovnu obradu i ponovnu upotrebu materijala [64, 65]. Takođe, široka upotreba plastike na bazi fosilnih goriva u zdravstvenom sektoru zahteva smanjenje njene potrošnje i razvoj održivijih rešenja u proizvodnji i pakovanju medicinskih proizvoda [60].

Zdravstveni sektor generiše značajne količine otpada, uključujući infektivni otpad, oštre predmete, ljudsko tkivo, kao i hemijske i farmaceutske supstance. Neadekvatno upravljanje medicinskim otpadom može da predstavlja ozbiljan rizik po javno zdravlje i životnu sredinu. Procene ukazuju da samo oko 20% otpada u zdravstvenim ustanovama predstavlja opasan otpad koji zahteva poseban tretman, dok preostali deo može da se reciklira ili ponovo obradi ukoliko je pravilno razdvojen [7]. Mnoge zemlje imaju nacionalne propise koji određuju kategorije za razvrstavanje medicinskog otpada i sistem kolor-kodiranja (kodiranje bojama) za kontejnere za otpad. U slučajevima kada takvi nacionalni propisi ne postoje, dostupna je šema koju preporučuje Svetska zdravstvena organizacija, prikazana u Tabeli 5. [66]. Pravilno razvrstavanje otpada omogućava da se njegov najveći deo, koji je u suštini neopasan, reciklira ili ponovo

upotrebi, umesto da se podvrgava skupom tretmanu spaljivanja [67]. Smanjenje otpada optimizacijom pakovanja, efikasnim razdvajanjem i ponovnom upotrebom materijala predstavlja ključni element cirkularne ekonomije u zdravstvenom sektoru.

**Tabela 5.** Klasifikacija medicinskog otpada prema šemi razdvajanja koju preporučuje SZO

| Kategorija zdravstvenog otpada | Primeri otpada | Preporučeni tip i boja kontejnera (WHO) |
|---|---|---|
| visoko infektivni otpad | uzorci iz dijagnostičkih laboratorija, otpad od pacijenata u izolaciji | žute autoklavabilne, nepropusne kese ili kontejneri sa biohazard simbolom i oznakom „HIGHLY INFECTIOUS“ |
| infektivni i patološki otpad | otpad kontaminiran krvlju i telesnim tečnostima, laboratorijske kulture, tkiva, organi, delovi tela | žute nepropusne kese ili kontejneri sa biohazard simbolom |
| oštri medicinski otpad | igle, špricevi, skalpeli, slomljeno staklo | žuti, neprobojni kontejneri sa biohazard simbolom i oznakom „SHARPS“ |
| farmaceutski i citotoksični otpad | istekli lekovi, citostatici, genotoksične supstance | braon plastične kese ili kruti kontejneri sa odgovarajućim hazard simbolima |
| hemijski otpad | laboratorijski reagensi, dezinfekciona sredstva, rastvarači, polomljeni termometri | braon kese ili kruti kontejneri sa hazard oznakama |
| radioaktivni otpad | otpad kontaminiran radionuklidima, materijal iz radioterapije | zaštićeni (eng. *shielded*) kontejneri sa simbolom radioaktivnosti |
| opšti zdravstveni otpad (neopasan) | otpad sličan komunalnom: papir, ambalaža, hrana | crne plastične kese |

Tradicionalne metode tretmana medicinskog otpada, poput spaljivanja, dovode do emisija ugljen-dioksida, azotnih oksida, čvrstih čestica i toksičnih jedinjenja kao što su dioksini i furani. Ovi problemi su posebno izraženi kod malih spalionica koje se često koriste u zemljama u razvoju. Zbog toga se sve više preporučuju alternativne tehnologije tretmana sa nižim ugljeničnim otiskom, kao što su autoklaviranje (termomehanički proces sterilizacije koji koristi vlažnu paru pod pritiskom), biološki tretmani (npr. biodigesija), mikrotalasni tretman, hemijska dezinfekcija, itd. [68, 69]. Na taj način moguće je da se istovremeno smanji ugljenični otisak zdravstvenih sistema, ograniči zagađenje vazduha i unapredi zaštita zdravlja pacijenata, zdravstvenih radnika i lokalnih zajednica.

### *III - 7 Povećanje efikasnosti zdravstvenog sistema i eliminacija neefikasnih praksi*

Unapređenje efikasnosti zdravstvenog sistema predstavlja horizontalnu meru sa značajnim potencijalom za smanjenje GHG emisija. Ovaj pristup obuhvata smanjenje i eliminaciju nepotrebnih dijagnostičkih i terapijskih procedura, unapređenje koordinacije nege, jačanje primarne zdravstvene zaštite i integraciju klimatskih ciljeva u kliničke i upravljačke prakse zdravstvenih institucija, koji dovode do smanjenja potrošnje resursa i energije. Istovremeno, ove mere poboljšavaju ishode lečenja i smanjuju finansijski pritisak na zdravstvene sisteme, čime se postiže sinergija između klimatskih i zdravstvenih ciljeva [7].

Savremene analize pokazuju da značajan deo zdravstvene potrošnje otpada na zdravstvenu zaštitu „niske vrednosti“ (engl. *low-value care*), odnosno zdravstvene intervencije (dijagnostičke, terapijske ili preventivne) koje donose malu ili nikakvu korist za pacijenta u odnosu na troškove, rizike ili potencijalne štetne posledice [70]. Smanjenje ovakvih praksi i jačanje preventivnih mera prepoznati su kao strategije koje istovremeno mogu da unaprede kvalitet zdravstvene zaštite i smanje emisije zdravstvenog sektora [71, 72]. Ipak, upozorava se da koncept „vrednosti“ u zdravstvenoj zaštiti zavisi od kliničkog konteksta i društvenih prioriteta i da redukcija zdravstvenih intervencija mora da bude zasnovana na jasnim kliničkim kriterijumima, da klimatski ciljevi ne bi bili pogrešno korišćeni kao opravdanje za smanjenje dostupnosti zdravstvene zaštite [73].

Prema OECD studijama, smanjenje neadekvatnih hospitalizacija i bolje upravljanje praćenjem bolesnika mogu značajno da smanje GHG emisije uz istovremeno unapređenje zdravstvenih ishoda [13].

Uvođenje digitalnih putanja nege predstavlja strategiju kojom se elektronskim sistemima prati i koordinira svaki korak u dijagnostici i lečenju pacijenata. Ovi sistemi omogućavaju bolju koordinaciju između odeljenja, smanjuju greške i nepotrebne procedure, čime se poboljšava kvalitet i sigurnost nege. Istovremeno, optimizacija procesa kroz digitalne putanje doprinosi smanjenju potrošnje resursa, uključujući energiju, materijal i transport, što direktno smanjuje ugljenični otisak zdravstvenog sistema. Na ovaj način, digitalne tehnologije omogućavaju sinergiju između kliničke efikasnosti i održivosti, čime zdravstvene institucije mogu istovremeno da unaprede kvalitet nege i doprinesu ciljevima dekarbonizacije [74].

## IV INICIJATIVE ZA DEKARBONIZACIJU ZDRAVSTVENOG SEKTORA

Učešće zdravstvenih organizacija u globalnim klimatskim inicijativama ima dvostruki značaj. Sa jedne strane, doprinosi smanjenju ukupnih emisija sektora, dok sa druge strane zdravstvene institucije kroz svoju društvenu i profesionalnu ulogu mogu značajno da utiču na podizanje svesti o povezanosti klimatskih promena i javnog zdravlja.

U poslednjih nekoliko godina sve veći broj međunarodnih inicijativa usmeren je ka ubrzanju tranzicije ka klimatski neutralnim ekonomijama. U tom kontekstu, jedna od najznačajnijih globalnih inicijativa je Race to Zero[2], kampanja pokrenuta pod okriljem Okvirne konvencije Ujedinjenih nacija o klimatskim promenama (UNFCCC) sa ciljem mobilizacije različitih aktera (država, regiona, gradova, kompanija i institucija) da se obavežu na postizanje neto nultih emisija gasova sa efektom staklene bašte do sredine XXI veka. Zdravstveni sektor je prepoznat kao važan akter u ovoj globalnoj

[2] https://climateaction.unfccc.int/Initiatives?id=Race_to_Zero

tranziciji, imajući u vidu njegov značajan udeo u globalnim GHG emisijama, ali i njegovu ključnu društvenu ulogu u zaštiti zdravlja stanovništva. Kroz partnerstvo sa organizacijom Health Care Without Harm[3], zdravstveni sektor širom sveta pozvan je da se pridruži ovoj inicijativi i preuzme obavezu planiranja i sprovođenja mera za smanjenje svojih GHG emisija. Inicijativa podstiče zdravstvene institucije da izrade transparentne planove i da javno izveštavaju o napretku i implementaciji konkretnih mera za smanjenje emisija u okviru samih zdravstvenih ustanova i njihovih lanaca snabdevanja, čime se osigurava verodostojnost i odgovornost u procesu dekarbonizacije. Više od 100 zdravstvenih organizacija iz preko 30 zemalja, uključujući bolnice i zdravstvene centre, do danas je pristupilo Race to Zero kampanji, demonstrirajući rastuću posvećenost sektora klimatskoj održivosti i otpornosti (slika 3) [75].



**Slika 3.** Geolokacije zdravstvenih institucija koje su pristupile Race to Zero kampanji

Pored globalnih inicijativa, na evropskom nivou razvija se veliki broj projekata i programa usmerenih na podršku održivoj transformaciji zdravstvenog sektora. Jedan od takvih projekata je DAPHNE *(Decarbonising healthcare in EU regions)*[4]**,** koji se realizuje u okviru programa Interreg Europe, čiji je cilj razmena znanja i razvoj politika koje doprinose smanjenju emisija gasova sa efektom staklene bašte u zdravstvenom sektoru EU. Projekat okuplja više regionalnih i institucionalnih partnera koji zajednički rade na identifikaciji i razmeni uspešnih pristupa za smanjenje emisija u zdravstvenim sistemima. Poseban fokus projekta stavljen je na identifikaciju i promociju dobrih praksi (eng. *good practices*) koje mogu da posluže kao modeli za druge regione i zdravstvene institucije (tabela 6). Dosadašnje dobre prakse obuhvataju širok spektar aktivnosti, uključujući unapređenje energetske efikasnosti bolničkih zgrada, integraciju obnovljivih izvora energije u zdravstvenu infrastrukturu, razvoj održivih modela upravljanja medicinskim otpadom, unapređenje zelenih javnih nabavki, kao i primenu digitalnih tehnologija koje omogućavaju smanjenje potrebe za fizičkim transportom pacijenata i zdravstvenog osoblja.

Dosadašnje dobre prakse obuhvataju širok spektar aktivnosti, uključujući unapređenje energetske efikasnosti bolničkih zgrada, integraciju obnovljivih izvora energije u zdravstvenu infrastrukturu, razvoj održivih modela upravljanja medicinskim otpadom, unapređenje zelenih javnih nabavki, kao i primenu digitalnih tehnologija koje omogućavaju smanjenje potrebe za fizičkim transportom pacijenata i zdravstvenog osoblja.

**Tabela 6** Identifikovani primeri dobre prakse u projektu DAPHNE [76]

| Br. | Institucija / projekat | Lokacija | Kratak opis intervencije | Strateška akcija |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Campostaggia Hospital | Italija (Toskana) | Instalacija fotonaponskog sistema iznad parkinga i energetski efikasne rasvete | SA1, SA2 |
| 2 | St. Maria Hospital | Jaši (Rumunija) | Sveobuhvatna energetska renovacija: termoizolacija, solarni paneli, novi HVAC sistemi, LED rasveta, unapređenje vodovodne i kanalizacione infrastrukture | SA1, SA2, SA4, SA7 |
| 3 | 404 General Military Hospital | Larisa (Grčka) | Energetska modernizacija istorijske bolnice sa ciljem smanjenja potrošnje energije i integracije obnovljivih izvora | SA1 |
| 4 | Surgical Services – Thessaly | Larisa (Grčka) | Uvođenje antimikrobnih površina i održivih protokola čišćenja u hirurškim službama | SA7 |
| 5 | Wolica Hospital | Godziesze Małe (Poljska) | Integracija obnovljivih izvora energije i održivo upravljanje resursima radi smanjenja emisija | SA1, SA2, SA6, SA7 |
| 6 | Regional Hospital Toruń | Torunj (Poljska) | Dizajn bolnice zasnovan na energetskoj efikasnosti i nature-based rešenjima | SA1, SA2 |
| 7 | Capital & Estates Energy Bureau | Irska | Nacionalni program energetskog menadžmenta i smanjenja emisija u zdravstvenim ustanovama | SA1, SA2 |
| 8 | VMA Hospital Renovation | Beograd (Srbija) | Energetska rehabilitacija bolničke infrastrukture i smanjenje GHG emisija | SA1, SA2, SA6 |
| 9 | Low Carbon Healthcare Infrastructure Audit | Belgija | Energetski pregledi zdravstvenih objekata i digitalna platforma za planiranje klimatskih investicija | SA1, SA2, SA7 |
| 10 | University Clinical Hospital No.1 | Šćećin (Poljska) | Energetska efikasnost, obnovljivi izvori energije i e-mobilnost u zdravstvenom sistemu | SA1, SA2, SA3, SA6, SA7 |
| 11 | Careggi Hospital Waste Protocol | Firenca (Italija) | Sporazum o održivom upravljanju medicinskim otpadom | SA6 |

Razmena dobrih praksi u okviru projekta DAPHNE omogućava zdravstvenim institucijama i regionalnim vlastima da identifikuju efikasne modele dekarbonizacije koji su već testirani u praksi. Na taj način projekat doprinosi ubrzanju implementacije klimatskih politika u zdravstvenom sektoru i jačanju kapaciteta institucija za

[3] https://noharm.org/
[4] https://www.interregeurope.eu/daphne

sprovođenje mera koje istovremeno doprinose zaštiti životne sredine i unapređenju kvaliteta zdravstvenih usluga.

## V Prepreke za dekarbonizaciju zdravstvenog sektora

Uprkos rastućem interesovanju za smanjenje GHG emisija u zdravstvenom sektoru, proces dekarbonizacije suočava se sa brojnim institucionalnim, ekonomskim i organizacionim preprekama. Jedna od ključnih prepreka odnosi se na nedostatak jasnih politika i regulatornih okvira koji bi integrisali klimatske ciljeve u upravljanje zdravstvenim sistemima. U mnogim zemljama klimatska politika i dalje nije sistematski integrisana u zdravstvene strategije, što otežava sprovođenje koordinisanih mera smanjenja emisija [13], [77]. Drugu značajnu prepreku predstavlja ograničena dostupnost finansija. Implementacija održivih tehnologija, energetski efikasne infrastrukture ili niskougljeničnih medicinskih proizvoda često zahteva visoka početna ulaganja, što može da predstavlja izazov za zdravstvene ustanove koje funkcionišu u okviru restriktivnih budžeta [77].

Zdravstveni proizvodi se prvenstveno dizajniraju sa ciljem zadovoljenja kliničke potrebe, efikasnosti i bezbednosti, dok je održivost obično sekundarni kriterijum. Prelazak na održivu proizvodnju kroz unapređenje proizvodnih procesa, korišćenje čistijih izvora energije i primenu novih materijala, zahteva značajna početna ulaganja, a u pojedinim slučajevima i dodatni regulatorni nadzor. Na tržištima koja su posebno osetljiva na cenu, ovi dodatni troškovi mogu da uspore prihvatanje održivijih rešenja. Pored toga, čak i percepcija mogućih negativnih uticaja na performanse proizvoda, njegovu trajnost ili bezbednost može da obeshrabri investicije u ekološki prihvatljivije alternative [78].

Pored finansijskih ograničenja, u literaturi se često ističe i nedostatak znanja i svesti o klimatskom uticaju zdravstvenog sektora među zdravstvenim radnicima i menadžmentom. Nedovoljna edukacija o održivim praksama može da ograniči spremnost institucija da implementiraju inovativna rešenja i promene postojeće modele funkcionisanja [79]

Važnu prepreku predstavljaju i organizacione i kulturne prepreke, uključujući otpor prema promenama i ukorenjene kliničke i administrativne prakse. Uvođenje novih tehnologija, promena u nabavci ili reorganizacija procesa nege često zahteva značajne institucionalne transformacije, što može da izazove otpor unutar organizacija [80].

Dodatni izazov predstavlja nedostatak standardizovanih podataka i metrika za praćenje emisija u zdravstvenom sektoru. Bez pouzdanih sistema za prikupljanje i analizu podataka o emisijama, posebno u okviru emisija lanca snabdevanja (opseg 3), zdravstvene organizacije imaju ograničene mogućnosti da planiraju i prate efekte mera dekarbonizacije [13], [79].

Na kraju, u literaturi se naglašava i etička dimenzija dekarbonizacije zdravstvene zaštite. Postoji zabrinutost da klimatske mere ne smeju dovesti do smanjenja kvaliteta ili dostupnosti zdravstvene zaštite. Zbog toga je važno da mere smanjenja emisija budu zasnovane na jasnim kliničkim kriterijumima i dokazima, kako bi se izbeglo da klimatski ciljevi budu pogrešno interpretirani kao opravdanje za ograničavanje zdravstvenih intervencija [81].

## VIII Zaključak

Zdravstveni sektor predstavlja jedan od značajnih, ali često nedovoljno prepoznatih izvora GHG emisija. Rezultati brojnih istraživanja ukazuju da aktivnosti zdravstvenih sistema (potrošnja energije zdravstvenih objekata, upotreba medicinske opreme, transport, kompleksni lanci snabdevanja farmaceutskim i medicinskim proizvodima) generišu značajan ekološki otisak.

U svetlu sve izraženijih klimatskih promena i njihovih posledica po javno zdravlje, transformacija zdravstvenog sektora ka niskougljeničnom modelu predstavlja ne samo ekološki, već i strateški prioritet za dugoročno održiv razvoj zdravstvenih sistema. Dekarbonizacija zdravstvenog sektora je jedan od najsloženijih tranzicionih procesa u savremenom društvu jer zahteva holistički pristup koji integriše tehnološke inovacije, redefinisanje ustaljenih kliničkih praksi i snažnu političku podršku. Sistematskom analizom postojećih saznanja u radu su identifikovane ključne strategije za smanjenje GHG emisija, koje uključuju snabdevanje obnovljivim i drugim dekarbonizovanim izvorima energije, unapređenje energetske efikasnosti zdravstvene infrastrukture, podsticanje korišćenja faramceutskih proizvoda sa niskim ugljeničnim otiskom, održive modele upravljanja medicinskim otpadom, zelene javne nabavke i digitalizaciju zdravstvenih usluga.

Istovremeno, analiza globalnih i evropskih inicijativa pokazuje da se dekarbonizacija zdravstvenog sektora sve više prepoznaje kao važan element klimatske politike. Inicijative poput globalne kampanje Race to Zero i projekti kao što je DAPHNE demonstriraju rastući institucionalni i politički angažman u pravcu razvoja klimatski održivih zdravstvenih sistema, kao i značaj razmene znanja i dobrih praksi među zdravstvenim institucijama i regionima.

Međutim, uprkos postojanju brojnih tehnoloških i organizacionih rešenja, proces dekarbonizacije i dalje je ograničen nizom institucionalnih, finansijskih, infrastrukturnih i organizacionih prepreka. Prevazilaženje ovih barijera zahteva integrisani pristup koji podrazumeva jačanje regulatornih okvira, povećanje investicija u održivu zdravstvenu infrastrukturu, razvoj stručnih kapaciteta i snažniju međunarodnu saradnju.

Ipak se očekuje da će u narednoj deceniji održivost postati sastavni deo upravljanja zdravstvenim sistemima, a ne dodatna ili dobrovoljna aktivnost. Suprotstavljena mišljenja u literaturi uglavnom se odnose na brzinu i obim dekarbonizacije. Dok jedna struja ističe sinergiju između klimatskih i zdravstvenih ciljeva, druga upozorava na potrebu očuvanja kvaliteta i pravičnosti zdravstvene zaštite. Ovi stavovi ukazuju da uspešna dekarbonizacija zahteva pažljivo balansirane, kontekstualno prilagođene politike, koje se sve češće institucionalizuju kroz nacionalne strategije, obavezno izveštavanje o emisijama i integraciju klimatskih ciljeva u zdravstvene politike.

## Zahvalnica

Prikazani rezultati su deo istraživanja u okviru projekta Decarbonising healthcare in EU regions - DAPHNE iz programa Interreg Europe, a delimično su finansijski podržani od strane Ministarstva NTRiI RS po Ugovorima 451-03-33/2026-03/200107 i 451-03-34/2026-03/200107 od 05.02.2026. godine.

## LITERATURA


[1] Forster, P.M., Smith, C., Walsh, T., Lamb, W.F., Lamboll, R., Cassou, C., Hauser, M., Hausfather, Z., Lee, J.-Y., Palmer, M.D., von Schuckmann, K., Slangen, A.B.A., Szopa, S., Trewin, B., Yun, J., Gillett, N.P., Jenkins, S., Matthews, H.D., Raghavan, K., Ribes, A., Rogelj, J., Rosen, D., Zhang, X., Allen, M., Aleluia Reis, L., Andrew, R.M., Betts, R.A., Borger, A., Broersma, J.A., Burgess, S.N., Cheng, L., Friedlingstein, P., Domingues, C.M., Gambarini, M., Gasser, T., Gütschow, J., Ishii, M., Kadow, C., Kennedy, J., Killick, R.E., Krummel, P.B., Liné, A., Monselesan, D.P., Morice, C., Mühle, J., Naik, V., Peters, G.P., Pirani, A., Pongratz, J., Minx, J.C., Rigby, M., Rohde, R., Savita, A., Seneviratne, S.I., Thorne, P., Wells, C., Western, L.M., van der Werf, G.R., Wijffels, S.E., Masson-Delmotte, V., Zhai, P. Indicators of Global Climate Change 2024: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence, Earth System Science Data, Vol. 17, No. 6, pp. 2641-2680, 2025. https://doi.org/10.5194/essd-17-2641-2025

[2] United Nations Environment Programme. Emissions Gap Report 2024: No More Hot Air … Please! With a Massive Gap Between Rhetoric and Reality, Countries Draft New Climate Commitments, United Nations Environment Programme, Nairobi, 2024. https://doi.org/10.59117/20.500.11822/46404

[3] Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf, E., Quadrelli, R., Risquez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Köykkä, J., Grassi, G., Melo, J., Suárez-Moreno, M., Sedano, F., San-Miguel, J., Manca, G., Pisoni, E., Pekar, F. GHG emissions of all world countries - 2025 Report, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2025. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2025

[4] Mirković, A., Živković, M., Đenadić, S., Lubarda, D., Anyanwa, C. Integrative GHG Assessment in Oil and Gas Industry, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 25, No. 1, pp. 51-58, 2023. https://doi.org/10.46793/EEE23-1.51M

[5] Josijević, M., Gordić, D., Šušteršič, V., Vukašinović, V., Živković, D., Nikolić, J. Metodologija proračuna ugljeničnog otiska proizvoda na primeru mlekare, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 27, No. 3, pp. 48-55, 2025. https://doi.org/10.46793/EEE25-3.48J

[6] United Nations Environment Programme. Emissions Gap Report 2025: Off Target – Continued Collective Inaction puts Global Temperature Goal at Risk, United Nations Environment Programme, Nairobi, 2025, https://wedocs.unep.org/items/9f0bf855-2069-42a6-a856-4b389f740c5c [pristupljeno 03.03.2026]

[7] Global Road Map for Health Care Decarbonization. Methodology Measuring and Projecting Global Health Sector Emissions, Health Care Without Harm, 2022, https://healthcareclimateaction.org/sites/default/files/2022-05/HCWH%20Road%20Map%20for%20Health%20Care%20Decarbonization%20-%20Chapters%202%20and%203_2.pdf [pristupljeno 03.03.2026]

[8] ARUP. Health Care Without Harm Climate-Smart Health Care Series – Green Paper Number One, Health Care Without Harm, https://global.noharm.org/media/4370/download?inline=1 [pristupljeno 03.03.2026]

[9] World Health Organization. Measuring Greenhouse Gas Emissions in Health Systems, World Health Organization, Geneva, 2025, https://www.who.int/publications/i/item/9789240118423 [pristupljeno 03.03.2026]

[10] Distribution of greenhouse gas emissions worldwide in 2024, by major emitter, Statista, https://www.statista.com/statistics/500524/worldwide-annual-carbon-dioxide-emissions-by-select-country [pristupljeno 03.03.2026]

[11] World Resources Institute/WBCSD. The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard, World Resources Institute, Washington, 2004, https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf [pristupljeno 03.03.2026]

[12] Health Care Without Harm Europe. Designing a Net Zero Roadmap for Healthcare: Technical Methodology and Guidance, Health Care Without Harm Europe, https://europe.noharm.org/resources/designing-net-zero-roadmap-healthcare-technical-methodology-and-guidance [pristupljeno 03.03.2026]

[13] OECD. Decarbonising Health Systems Across OECD Countries, OECD Health Policy Studies, OECD Publishing, Paris, 2025. https://doi.org/10.1787/5ac2b24b-en

[14] Jabaudon, M., Vallabh, B., Bacher, H.P., Badenes, R., Kehl, F. Balancing patient needs with environmental impacts for best practices in general anesthesia: Narrative review and clinical perspective, Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine, Vol. 43, No. 4, 101389, 2024. https://doi.org/10.1016/j.accpm.2024.101389

[15] Espinosa, S., Martínez, F., Antiñolo, M., Nielsen, O.J., Jiménez, E. Updated global warming potentials of inhaled halogenated anesthetics, isoflurane and sevoflurane from new temperature dependent OH-kinetics, Environmental Science: Processes & Impacts, Vol. 27, pp. 2410-2425, 2025. https://doi.org/10.1039/d5em00061k

[16] Talbot, A., Holländer, H.C., Bentzer, P. Greenhouse gas impact from medical emissions of halogenated anaesthetic agents: a sales-based estimate, The Lancet Planetary Health, Vol. 9, No. 3, pp. e227-e235, 2025. https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(25)00027-0/fulltext [pristupljeno 03.03.2026

[17] Jeswani, H.K., Azapagic, A. Life cycle environmental impacts of inhalers, Journal of Cleaner Production, Vol. 237, 117733, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117733

[18] Sherman, J., Le, C., Lamers, V., Eckelman, M. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Anesthetic Drugs, Anesthesia & Analgesia, Vol. 114, No. 15, pp. 1086-1090, 2012. https://doi.org/10.1213/ane.0b013e31824f6940

[19] Global Warming Potential (GWP): What is it? https://www.manglai.io/en/glossary/global-warming-potential [pristupljeno 07.03.2026]

[20] Global Warming Potentials (IPCC Second Assessment Report), UNFCCC, https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/greenhouse-gas-data-unfccc/global-warming-potentials [pristupljeno 07.03.2026]

[21] Greenhouse Gas Protocol. IPCC Global Warming Potential Values, Version 2.0, 2024, https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf [pristupljeno 07.03.2026]

[22] Vovk, V., Kister, A., Latif, F., Maican, S.Ş. Renewable Energy Sources in Healthcare as a Factor in Sustainable Development in EU Countries, Sustainability, Vol. 17, No. 24, 11194, 2025. https://doi.org/10.3390/su172411194

[23] Soto, E.A., Hernandez-Guzman, A., Vizcarrondo-Ortega, A., McNealey, A., Bosman, L.B. Solar Energy Implementation for Health-Care Facilities in Developing and Underdeveloped Countries: Overview, Opportunities, and Challenges, Energies, Vol. 15, No. 22, pp. 8602, 2022. https://doi.org/10.3390/en15228602

[24] Atienza-Márquez, A., Domínguez-Muñoz, F., Fernández Hernández, F., Cejudo López, J.M. Solar thermal hot water system in hospitals: Robust design methodology considering uncertainties, Renewable Energy, Vol. 234, 121163, 2024. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121163

[25] Vourdoubas, J. Possibilities of Using Sustainable Energy Technologies including CHP Systems, Solar Photovoltaics and Heat Pumps in Hospitals, European Journal of Energy Research, Vol. 2, No. 2, pp. 1-8, 2022. https://doi.org/10.24018/ejenergy.2022.2.2.52

[26] Misra, S., Jaffer, S. Solar powering public health centers: A systems thinking lens, Solar Compass, Vol. 7, 100052, 2023. https://doi.org/10.1016/j.solcom.2023.100052

[27] Olatomiwa, L., Blanchard, R., Mekhilef, S., Akinyele, D. Hybrid renewable energy supply for rural healthcare facilities, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Vol. 30, pp. 121-138, 2018. https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.09.007

[28] Olatomiwa, L., Blanchard, R., Mekhilef, S., Akinyele, D. Hybrid renewable energy supply for rural healthcare facilities, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Vol. 30, pp. 121-138, 2018. https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.09.007

[29] Lund, J.W., Toth, A.N. Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review, Geothermics, Vol. 90, 101915, 2021. https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101915

[30] Ba-swaimi, S., Verayiah, R., Ramachandaramurthy, V.K., Alahmad, A.K. An integrated and optimized framework for hybrid renewable and hydrogen energy systems in the healthcare sector: Economic, technical, and environmental assessment, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 115, pp. 361-378, 2025. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.03.102

[31] 8 ways to decarbonise healthcare, EQUANS, https://www.equans.com/news/hospital-decarbonisation-8-ways-cut-emissions-healthcare [pristupljeno 08.06.2026]

[32] Noethen, M., Stemmle, R., Siebert, N., Herrmann, M., Menberg, K., Blum, P., Bayer, P. Identifying aquifer thermal energy storage (ATES) key locations for hospitals in Lower Saxony, Germany, Geothermics, Vol. 130, 103334, 2025. https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2025.103334

[33] Ahmadfard, M., Baniasadi, E. Borehole thermal energy storage systems: A comprehensive review using bibliometric and qualitative tools, Applied Energy, Vol. 387, 125638, 2025. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125638

[34] Leung, J., Bailey, A. Buying Clean Electricity: How Cities Benefit from Power Purchase Agreements, Center for Climate and Energy Solutions, Washington, 2018, https://www.c2es.org/wp-content/uploads/2018/09/how-cities-benefit-from-ppas.pdf [pristupljeno 08.02.2026]

[35] BMC launches innovative Clean Power Prescription program, Boston Medical Center, https://www.bmc.org/clean-power-prescription-program [pristupljeno 08.06.2026]

[36] Tavşan, F., Bektaş, U. Sustainable Design Approaches of Leed-Certified Healthcare Buildings, Journal of Interior Design and Academy, Vol. 3, No. 1, pp. 120-132, 2023. https://doi.org/10.53463/inda.20230187

[37] Olawade, D.B., Popoola, T.T., Egbon, E., David-Olawade, A.C. Sustainable healthcare practices: Pathways to a carbon-neutral future for the medical industry, Sustainable Futures, Vol. 9, 100783, 2025. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100783

[38] Chen-Xu, J., Kislaya, I., Fernandes, R.M., Carvalho, J., Blanco-Rojas, B.J., El-Omrani, O., Miotto, E., Čič, K., Boto, P., Viegas, S. Interventions for increasing energy efficiency in hospitals (Protocol), Cochrane Database of Systematic Reviews, No. 3, CD015693, 2024. https://doi.org/10.1002/14651858.CD015693

[39] Mirow, J., Venne, J., Brand, A. Green health: how to decarbonise global healthcare systems, Sustainable Earth Reviews, Vol. 7, No. 28, 2024. https://doi.org/10.1186/s42055-024-00098-3

[40] Yan, F., Huang, N., Zhang, Y. How Can the Layout of Public Service Facilities Be Optimized to Reduce Travel-Related Carbon Emissions? Evidence from Changxing County, China, Land, Vol. 11, No. 8, pp. 1200, 2022. https://doi.org/10.3390/land11081200

[41] Purohit, A., Smith, J., Hibble, A. Does telemedicine reduce the carbon footprint of healthcare? A systematic review, Future Healthcare Journal, Vol. 8, No. 1, pp. e85-e91, 2021. https://doi.org/10.7861/fhj.2020-0080

[42] Donald, N., Irukulla, S. Greenhouse gas emission savings in relation to telemedicine and associated patient benefits: a systematic review, Telemedicine and e-Health, Vol. 28, No. 11, pp. 1555-1563, 2022. https://doi.org/10.1089/tmj.2022.0047

[43] Ravindrane, R., Patel, J. The environmental impacts of telemedicine in place of face-to-face patient care: a systematic review, Future Healthcare Journal, Vol. 9, No. 1, pp. 28-33, 2022. https://doi.org/10.7861/fhj.2021-0148

[44] Gadenz, S.D., Sperling, S., Moraes, L.B. et al. Impact of telemedicine on reducing travel-related $CO_2$ emissions in chronic disease care: a cross-sectional study in Northeast Brazil, BMJ Open, Vol. 15, e092424, 2025. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-092424

[45] Rosser, J.C.Jr., Vignesh, V., Terwilliger, B.A., Parker, B.C. Surgical and Medical Applications of Drones: A Comprehensive Review, JSLS – Journal of the Society of Laparoendoscopic & Robotic Surgeons, Vol. 22, No. 3, e2018.00018, 2018. https://doi.org/10.4293/JSLS.2018.00018

[46] Oakey, A., Grote, M., Smith, A., Cherrett, T., Pilko, A., Dickinson, J., AitBihiOuali, L. Integrating drones into NHS patient diagnostic logistics systems: Flight or fantasy?, PLoS One, Vol. 17, No. 12, e0264669, 2022. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264669

[47] Kouwenberg, L.H.J.A., Cohen, E.S., Hehenkamp, W.J.K., Snijder, L.E., Kampman, J.M., Küçükkeles, B., Kourula, A., Meijers, M.H.C., Smit, E.S., Sperna Weiland, N.H., Kringos, D.S. The Carbon Footprint of Hospital Services and Care Pathways: A State-of-the-Science Review, Environmental Health Perspectives, Vol. 132, No. 12, 126002, 2024. https://doi.org/10.1289/EHP14754

[48] Carino, S., Collins, J., Malekpour, S., Porter, J. Environmentally sustainable hospital foodservices: Drawing on staff perspectives to guide change, Sustainable Production and Consumption, Vol. 25, pp. 152-161, 2021. https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.08.003

[49] Bux, C., Zizzo, G., Amicarelli, V. A combined evaluation of energy efficiency, customer satisfaction and food waste in the healthcare sector by comparing cook-hold and cook-chill catering, Journal of Cleaner Production, Vol. 429, 139594, 2023. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139594

[50] National Institute for Health and Care Excellence (NICE). Medicines optimisation: the safe and effective use of medicines to enable the best possible outcomes, NICE guideline NG5, NICE, London, 2015, https://www.nice.org.uk/guidance/ng5/resources/medicines-optimisation-the-safe-and-effective-use-of-medicines-to-enable-the-best-possible-outcomes-pdf-51041805253 [pristupljeno 10.03.2026]

[51] Colberg, J., Tucker, J.L., Martínez, I., Bailey, J.D., Briddell, C., Koenig, S.G., Kopach, M.E., Michalak, S., Parsons, A., Richardson, P.F., Roschangar, F., Vestergaard, E., Voutchkova-Kostal, A. Environmental Sustainability Strategy of Active Pharmaceutical Ingredient Manufacturing: A Perspective from the American Chemical Society Green Chemistry Institute Pharmaceutical Roundtable, ACS Sustainable Chemistry & Engineering, Vol. 13, No. 27, pp. 10268-10284, 2025. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5c01094

[52] Beck, A., Wiedergut, M., Neubauer, N. Towards fossil-free energy supply: Cost-effective decarbonization measures in pharmaceutical energy systems, Applied Thermal Engineering, Vol. 280, Part 2, 128213, 2025. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.128213

[53] Khalid, S. Sustainable Pharmaceutical Manufacturing: Strategies for Reducing Waste, Energy Consumption, and Environmental Impact, Emerging Pharma, No. 1, pp. 1-16, 2025, https://emergingpub.com/index.php/ep/article/view/56 [pristupljeno 10.03.2026]

[54] The Environmental Impact of Inhaled Anesthetics, American Society of Anesthesiologists, https://www.asahq.org/about-asa/governance-and-committees/asa-committees/environmental-sustainability/greening-the-operating-room/inhaled-anesthetics [pristupljeno 10.03.2026]

[55] Samad, K., Yousuf, M.S., Ullah, H., Ahmed, S.S., Siddiqui, K.M., Latif, A. Anesthesia and its environmental impact: approaches to minimize exposure to anesthetic gases and reduce waste, Medical Gas Research, Vol. 15, No. 1, pp. 101-109, 2025. https://doi.org/10.4103/mgr.MEDGASRES-D-23-00059

[56] Janson, C., Hisinger-Mölkänen, H., Tamasi, L. et al. Switching to the Dry Powder Inhaler: Disease Control with a Lower Carbon Footprint, Pulmonary Therapy, Vol. 11, pp. 753-763, 2025. https://doi.org/10.1007/s41030-025-00319-w

[57] Janson, C., Platz, J.H., Soulard, S., Langham, S., Nicholson, L., Hartgers-Gubbels, E.S. Reducing carbon footprint by switching to reusable soft-mist inhalers, ERJ Open Research, Vol. 9, No. 3, 00543-2022, 2023. https://doi.org/10.1183/23120541.00543-2022

[58] Regulation (EU) 2024/573 of the European Parliament and of the Council of 7 February 2024 on fluorinated greenhouse gases, amending Directive (EU) 2019/1937 and repealing Regulation (EU) No 517/2014, Official Journal of the European Union, 2024, https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/573/oj [pristupljeno 10.03.2026]

[59] EU Fluorinated Greenhouse Gases Regulation: Guidance for Pharma Manufacturers, Celegence, https://www.celegence.com/eu-fluorinated-greenhouse-gases-regulation-guidance-for-pharma-manufacturers/ [pristupljeno 10.03.2026]

[60] Lima Cano, N.S.S., Marino, M., Brooks, A.L., Eckelman, M.J., Bilec, M.M. Advancing the circular economy of healthcare plastics: A systematic literature review, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 219, 108317, 2025. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108317

[61] Govindan, K., Nosrati-Abarghooee, S., Nasiri, M.M., Jolai, F. Green reverse logistics network design for medical waste management: A circular economy transition through case approach, Journal of Environmental Management, Vol. 322, 115888, 2022. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115888

[62] D'Alessandro, C., Szopik-Depczyńska, K., Tarczyńska-Łuniewska, M., Silvestri, C., Ioppolo, G. Exploring Circular Economy Practices in the Healthcare Sector: A Systematic Review and Bibliometric Analysis, Sustainability, Vol. 16, No. 1, pp. 401, 2024. https://doi.org/10.3390/su16010401

[63] MacNeill, A.J., Hopf, H., Khanuja, A., Alizamir, S., Bilec, M., Eckelman, M.J., Hernandez, L., McGain, F., Simonsen, K., Thiel, C., Young, S., Lagasse, R., Sherman, J.D. Transforming The Medical Device Industry: Road Map To A Circular Economy, Health Affairs, Vol. 39, No. 12, 2020. https://doi.org/10.1377/hlthaff.2020.01118

[64] Moshawih, S., Wong, S.F., Woon, C.O., Lim, M.K., Ong, H.C., Goh, K.W., Gew, L.T., Ming, L.C. Transforming healthcare sustainability: Circular economy approaches and stakeholder collaboration, Sustainable Futures,

Vol. 10, 101199, 2025. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101199

[65] Keil, M., Viere, T., Helms, K., Rogowski, W. The impact of switching from single-use to reusable healthcare products: a transparency checklist and systematic review of life-cycle assessments, European Journal of Public Health, Vol. 33, No. 1, pp. 56-63, 2023. https://doi.org/10.1093/eurpub/ckac174

[66] World Health Organization. Safe Management of Wastes from Health-Care Activities, World Health Organization, Geneva, 2014, https://www.who.int/publications/i/item/9789241548564 [pristupljeno 10.03.2026]

[67] Mohamed, N.H., Khan, S., Jagtap, S. Waste 4.0 – transforming medical waste management through digitalization and automated segregation, Discover Sustainability, Vol. 5, 630008, 2024. https://doi.org/10.1007/s43621-024-00593-9

[68] Attrah, M., Elmanadely, A., Akter, D., Rene, E.R. A Review on Medical Waste Management: Treatment, Recycling, and Disposal Options, Environments, Vol. 9, No. 11, pp. 146, 2022. https://doi.org/10.3390/environments9110146

[69] Matos, C.A.S., Lange, L., Betim, L.S., Dias, A.L.S. Evaluation of the Efficiency of Autoclaving Healthcare Waste Using Biological and Chemical Indicators, Detritus, Vol. 9, pp. 181-188, 2020. https://doi.org/10.31025/2611-4135/2020.13902

[70] Parker, G., Hunter, S., Born, K., Miller, F.A. Mapping the Environmental Co-Benefits of Reducing Low-Value Care: A Scoping Review and Bibliometric Analysis, International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol. 21, No. 7, pp. 818, 2024. https://doi.org/10.3390/ijerph21070818

[71] Barratt, A.L., Bell, K.J., Charlesworth, K., McGain, F. High value health care is low carbon health care, Medical Journal of Australia, Vol. 216, No. 2, pp. 67-68, 2022. https://doi.org/10.5694/mja2.51331

[72] Rasheed, F.N., Baddley, J., Prabhakaran, P., De Barros, E.F., Reddy, K.S., Vianna, N.A., Marten, R. Decarbonising healthcare in low and middle income countries: potential pathways to net zero emissions, BMJ, Vol. 375, n1284, 2021. https://doi.org/10.1136/bmj.n1284

[73] Hart, J., Lignou, S., Sheehan, M. Environmental sustainability and the limits of healthcare resource allocation, Bioethics, Vol. 39, No. 6, pp. 538-545, 2025. https://doi.org/10.1111/bioe.13395

[74] Lokmic-Tomkins, Z., Davies, S., Block, L.J., Cochrane, L., Dorin, A., von Gerich, H., Lozada-Perezmitre, E., Reid, L., Peltonen, L.-M. Assessing the carbon footprint of digital health interventions: a scoping review, Journal of the American Medical Informatics Association, Vol. 29, No. 12, pp. 2128-2139, 2022. https://doi.org/10.1093/jamia/ocac196

[75] Race to Zero Partners, Health Care Without Harm, https://healthcareclimateaction.org/racetozero [pristupljeno 20.03.2026]

[76] DAPHNE | Good practice – Interreg Europe, https://www.interregeurope.eu/daphne/good-practices [pristupljeno 20.03.2026]

[77] Duindam, D. Transitioning to Sustainable Healthcare: Decarbonising Healthcare Clinics, a Literature Review, Challenges, Vol. 13, No. 2, pp. 68, 2022. https://doi.org/10.3390/challe13020068

[78] Low-Carbon, Climate-Resilient Health Care Supply Chains: High-Level Health Care Climate Action Principle #3, Asian Development Bank, Manila, https://www.adb.org/publications/health-care-supply-chains [pristupljeno 20.03.2026]

[79] Walsh, S.J., O'Leary, A., Bergin, C. et al. Primary healthcare's carbon footprint and sustainable strategies to mitigate its contribution: a scoping review, BMC Health Services Research, Vol. 24, 1630, 2024. https://doi.org/10.1186/s12913-024-12068-8

[80] Aboueid, S., Beyene, M., Nur, T. Barriers and enablers to implementing environmentally sustainable practices in healthcare: A scoping review and proposed roadmap, Healthcare Management Forum, Vol. 36, No. 6, pp. 405-413, 2023. https://doi.org/10.1177/08404704231183601

[81] Hantel, A., Senay, E., Hlubocky, F.J., Walsh, T.P., Johnston, H., Cronin, A., DuVall, A.S., Revette, A., Nava-Coulter, B., Siegler, M., Richie, C., Abel, G.A. The ethics of climate change and health-care delivery: a national survey of US-based physicians, The Lancet Planetary Health, Vol. 9, No. 8, 101289, 2025. https://doi.org/10.1016/j.lanplh.2025.101289

AUTORI

**dr Dušan Gordić** - redovni profesor, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, gordic@kg.ac.rs, ORCID 0000-0002-1058-5810

**dr Vladimir Vukašinović** - vanredni profesor, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, vladimir.vukasinovic@kg.ac.rs, ORCID 0000-0001-6489-2632

**dr Mladen Josijević** - docent, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, mladenjosijevic@gmail.com, ORCID 0000-0001-9619-0897

**dr Nebojša Jurišević** - viši naučni saradnik, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, jurisevic@kg.ac.rs, ORCID 0000-0002-1609-6313

# Towards a Low-Carbon Healthcare Sector: A Comprehensive Review

***Abstract –*** The healthcare sector represents one of the largest and most critical infrastructures of modern society, accounting for approximately 4–5% of global greenhouse gas emissions. The decarbonisation of this sector has become imperative for achieving national and international climate targets. The paper analyses key sources of emissions within healthcare facilities, including energy use in buildings, medical equipment, waste management, logistics and the supply chain. The work systematises seven key strategic actions, including the supply of decarbonised energy, sustainable construction, circular health and the elimination of low-value medical practices, which enable health institutions to improve sustainability while preserving the quality of health services.

Through a review of global initiatives such as "Race to Zero" and examples of good practice from the EU project DAPHNE, models for a successful transition to a low-carbon model have been identified. In conclusion, the paper considers institutional, financial and organizational obstacles, emphasizing that systemic decarbonisation must balance climate goals with preserving the quality and availability of health care. The paper provides a methodological framework and recommendations for policymakers, management of healthcare institutions and the professional public to accelerate the transition to a low-carbon healthcare system.

***Index Terms –*** Decarbonisation, Greenhouse gas (GHG) emissions, Health sector

Rad primljen: 30.03.2026., prihvaćen: 15.08.2026.