

asist. dr. Maja Lešnik Nedelko, mag. inž. arh.
Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno
inženirstvo in arhitekturo
maja.lesnik6@um.si
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor



Znanstveni članek
UDK/UDC: 699.86:502.174.3

IDENTIFIKACIJA PASIVNIH STRATEGIJ ENERGIJSKO UČINKOVITEGA NAČRTOVANJA STAVB, PRIMERNIH ZA PRENOVE OBSTOJEČIH STAVB

IDENTIFICATION OF PASSIVE STRATEGIES FOR ENERGY-EFFICIENT BUILDING DESIGN APPLICABLE TO THE RENOVATION OF EXISTING BUILDINGS

Povzetek

Prenova obstoječih stavb predstavlja velik potencial za doseganje prihrankov energije in zmanjšanje toplogrednih plinov, saj je letno prenovljenih 0,4–1,2 % obstoječih energijsko neučinkovitih stavb. Trajnostno načrtovanje stavb bi moralo prispevati k zmanjšanju rabe energije bodisi z izvajanjem pasivnih strategij načrtovanja bodisi z uporabo energetske učinkovitih aktivnih sistemov, ki jih poganjajo obnovljivi viri energije. Glede na podnebne in lokacijske potenciale je mogoče pasivne strategije razdeliti v štiri bioklimatske strategije: strategija zadrževanja toplote, strategija sprejemanja toplote, strategija preprečevanja pregrevanja in strategija odvajanja toplote. Tako imenovane pasivne strategije načrtovanja stavb pa niso uporabne le v primeru novogradenj, temveč jih lahko uporabimo tudi pri prenovah obstoječih stavb. Cilj prispevka je zato izpostaviti različne strategije in ukrepe, ki so redkeje obravnavani v znanstveni literaturi in bi jih lahko uporabili v prihodnjih raziskavah na temo prenove stavb. Najpogostejše obravnavani so ukrepi na stavbnem ovoju, stavbnem pohištvi, senčenje ter naravno prezračevanje. Med ukrepi, ki so sicer pogosto obravnavajo tudi druge vidike trajnosti (vplivi na okolje, notranje bivalno ugodje ipd.), bi bilo smiselno nadalje raziskati tudi vpliv oblike stavbe, razporeditev notranjih prostorov, hladne strehe in fasade, inteligentne fasade, evaporativno in radiacijsko izmenjave toplote. Rezultati študije lahko služijo raziskovalcem pri identifikaciji raziskovalnih vrzeli, pa tudi arhitektom, gradbenikom ter lastnikom nepremičnin, saj osvetljujejo dodatne, manj tradicionalne možnosti pri prenovah obstoječih energijsko neučinkovitih stavb.

Ključne besede: trajnostno načrtovanje, pasivne strategije načrtovanja stavb, prenove stavb, energijska učinkovitost

Summary

Renovation of existing buildings has a significant potential for energy savings and GHG reductions, since only 0.4–1.2% of existing energy-inefficient buildings are renovated each year. Sustainable building design should contribute to reducing energy consumption, either by implementing passive design strategies or by using energy-efficient active systems powered by renewable energy sources. Depending on climate and location potentials, passive strategies can be classified into four bioclimatic strategies: heat retention, heat admission, heat exclusion, and heat dissipation. Approaches known as passive building design strategies are applicable not only to new building design but can also be used in the renovation of existing buildings. The aim of this study is therefore to identify different strategies and measures that are less frequently addressed in the scientific literature and could be used in future research on building renovation. The most frequently discussed are measures on the building envelope, transparent surfaces, shading and natural ventilation. Among the measures that often relate to other aspects of sustainability (environmental impacts, indoor comfort, etc.) and could be further investigated are the impact of the building shape, the layout of the interior spaces, cool roofs and facades, evaporative and radiative heat exchange. The results of the study can serve researchers to identify research gaps, as well as architects, builders and property owners, as they shed light on additional, less traditional options for retrofitting existing energy inefficient buildings.

Key words: sustainable design, passive building design strategies, building renovation, energy efficiency

1 UVOD

Predvideva se, da bo do leta 2030 v Evropi še vedno v uporabi več kot 90 % obstoječih stavb [IEA, 2023]. Hkrati Evropska komisija ocenjuje, da je trenutna stopnja energijske prenove le 0,4- do 1,2-odstotna, odvisno od države [Hermelink, 2019]. V zadnjem desetletju pa je bilo do ravni doseganja prihrankov energije 30 % ali več prenovljenih le 1,5 % stavb [IEA, 2023]. S ciljem približevanja podnebni nevtralnosti do leta 2050 se v »Dolgoročni strategiji energetske prenove stavb do leta 2050« [DSEPS 2050, 2021] predvideva, da bo do leta 2050 energetsko prenovljenih 74 % enostanovanjskih in 91 % večstanovanjskih stavb, končna raba energije in emisije CO₂ pa se bo pri tem predvidoma zmanjšala za 45 % oziroma za skoraj 75 % glede na leto 2005. Prenova obstoječih stavb zato predstavlja velik potencial za doseganje prihrankov energije in zmanjšanje toplogrednih plinov, kar je razvidno iz obširnega nabora študij, ki so na voljo. Nekatere od teh obravnavajo npr. modele stavbnega fonda, ki se uporabljajo za oceno potenciala prihranka energije celotnega stavbnega fonda, poseben segment stavbnega fonda, ki nujno potrebuje prenovu, so historične stavbe, ki zahtevajo drugačne pristope k prenovi kot sodobnejše stavbe, druge raziskovalne študije poudarjajo vpliv prenove stavb ne le za energijsko učinkovitost, temveč tudi za vplive na okolje in kakovost notranjega okolja ter stroškovno učinkovitost, konstrukcijske lastnosti stavb ipd. [Lešnik, 2020].

Pri obravnavi tematike trajnostnega načrtovanja stavb se uporabljajo različni izrazi, vključno z izrazom **bioklimatska arhitektura**, ki ga je v začetku 50. let prejšnjega stoletja uvedel Victor Olgyay. Izraz vključuje elemente človeške fiziologije, klimatologije in gradbene fizike ter se močno navezuje na arhitekturni regionalizem in načrtovanje v skladu z okoljem. V mnogih pogledih ga lahko obravnavamo kot pomembnega predhodnika tistega, kar danes imenujemo **trajnostna arhitektura** [Szokolay, 2010].

Poleg tega je **trajnostno načrtovanje** holistični koncept, ki se osredotoča na različne vidike in cilje, kot so ohranjanje narave, čiščenje vode in zraka, ohranjanje energetskih virov, razvijanje obnovljivih virov energije, ohranjanje biotske raznovrstnosti, pametna raba materialov itd. [Jaffe, 2020]. Steven Szokolay [Szokolay, 2010] meni, da bi moralo trajnostno načrtovanje stavb uravnavati pogoje notranjega bivalnega okolja (toploto, svetlobo in zvok), ki jih lahko zagotovimo z ustrezno zasnovo stavbe (pasivni način delovanja) ali z rabo energije (aktivni način uravnavanja). Ker vse večja raba tradicionalnih virov energije (fossilnih goriv) povzroča resne okoljske posledice (emisije toplogrednih plinov, globalno segrevanje in lokalno onesnaževanje ozračja), bi moralo načrtovanje stavb prispevati k zmanjšanju rabe energije bodisi z izvajanjem **pasivnih strategij načrtovanja** bodisi z uporabo **energetsko učinkovitih aktivnih sistemov**, ki jih poganjajo obnovljivi viri energije.

Kljub temu da je iz študij na temo prenove stavb prepoznati tudi pomen uporabe pasivnih strategij načrtovanja (npr. [Amirifard, 2019], [Brunoro, 2024], [Heidari, 2023]), pa so znotraj obstoječih smernic (Dolgoročna strategija energetske prenove stavb do leta 2050 [DSEPS 2050, 2021]) prepoznani le posamezni ukrepi na ovoj stavbe, poudarek pa je na izboljšanju in implementaciji različnih tehničnih sistemov (za ogrevanje in hlajenje, prezračevanje, razsvetljavo, zmanjšanje porabe ener-

gije ter rabo energije iz obnovljivih virov). Tako imenovane pasivne strategije načrtovanja stavb niso uporabne le v primeru novogradenj, temveč jih lahko uporabimo tudi pri prenovah obstoječih stavb. Cilj prispevka je zato izpostaviti različne strategije in ukrepe, ki so redkeje obravnavani v znanstveni literaturi in bi jih lahko uporabili v prihodnjih raziskavah na temo prenove stavb. Rezultati študije lahko služijo raziskovalcem pri identifikaciji raziskovalnih vrzeli. Prav tako lahko služijo arhitektom, gradbenikom ter lastnikom nepremičnin, saj osvetljujejo dodatne, manj tradicionalne možnosti pri prenovah obstoječih energijsko neučinkovitih stavb.

Članek je razdeljen na 6 poglavij, od katerih je v prvem delu predstavljen splošen uvod v tematiko, v nadaljnjih poglavjih pa so predstavljene metode dela, pasivne strategije energijsko učinkovitega načrtovanja stavb, vrste prenov ter pristopi in ukrepi energijskih prenov stavb, pregled in analiza literature z vidika različnih pristopov in ukrepov prenov ter ocena primernosti posameznih strategij in ukrepov pasivnega načrtovanja stavb pri energijskih prenovah stavb. Glavne ugotovitve so podane v zadnjem poglavju.

2 METODE DELA

V prvem delu (poglavje 3: Trajnostno načrtovanje stavb) so glede na pregled relevantne literature na tematiko trajnostnega načrtovanja stavb identificirani in teoretično predstavljeni glavne pasivne strategije in ukrepi energijsko učinkovitega načrtovanja stavb, ki vključujejo štiri bioklimatske strategije (strategija zadrževanja toplote, strategija sprejemanja toplote, strategija preprečevanja pregrevanja in strategija odvajanja toplote). Vsaka izmed njih je opisana, podani pa so tudi najznačilnejši principi načrtovanja stavb, primerni tako za novogradnje kot tudi za prenove obstoječih stavb.

V drugem delu študije (poglavje 4: Energijska prenova obstoječih stavb) je poleg vrst prenov ter pristopov in ukrepov prenov opravljen pregled relevantne literature, ki se ukvarja z energijsko učinkovito prenovo stavb. Ta je zelo obsežen. Rezultat iskanja raziskovalnih in preglednih člankov, knjig in poglavij v knjigah v bazi podatkov Web of Science (WoS) za ključne besede (v naslovih, ključnih besedah in povzetkih) building renovation, building retrofit, building refurbishment in building rehabilitation za področja inženirstva, arhitekture ter okoljskih znanosti in ekologije od leta 2015 naprej je kar 8589 člankov. V to število so vštete tudi druge vrste prenov, ta prispevek pa se nanaša predvsem na energijsko učinkovite prenove, zato smo nabor zožili. Namen tega članka ni obsežen pregled literature, saj na temo energijskih prenov že obstajajo številni pregledni članki, zato smo se v nadaljevanju osredotočili samo na pregledne članke, ki vključujejo temo energijske učinkovitosti (energy efficiency), obravnavajo različne strategije, pristope ali ukrepe prenove stavb in so napisani v angleškem jeziku. V tem primeru je le-teh 324. Posebno področje so tudi prenove historičnih stavb, ki zaradi specifičnih omenitev pri naboru dovoljenih posegov niso vključene v obravnavo. Izmed preostalih virov so izbrane raziskave, ki sovpadajo s tematiko tega prispevka in vsaj delno obravnavajo pasivne pristope ali ukrepe (predstavljene v poglavju 4) in so aplikativne za zmerna do hladna podnebja, kjer sta prisotni tako potreba po ogrevanju kot hlajenju. Po končanem izboru je bilo izbranih 10 virov, ki so navedeni v spodnji preglednici.

VIR	REVIJA, ZALOŽNIK	OBDOBJE ZAJEMA LITERATURE	ŠTEVILO ANALIZIRANIH ŠTUDIJ	BAZE PODATKOV	ŠTEVILO CITATOV
[Abouaiana, 2023]	Buildings, MDPI	2012–2023	60	Rome Digital Library System of Sapienza University	1
[Alrasheed, 2023]	Indoor and Built Environment, Sage Journals	do 2023	128	ScienceDirect, Taylor & Francis, Scopus in Google Scholar	8
[Amirifard, 2019]	Advances in Building Energy Research, Taylor & Francis Group	1990–2017	165	Ni definirano	36
[Brunoro, 2024]	Buildings, MDPI	do 2024	49	Ni definirano	0
[Hamid, 2018]	Energy & Buildings, Elsevier	1986–2016	234	Science Direct in Scopus	31
[Heidari, 2023]	Buildings, MDPI	2008 - 2022	38	Scopus	1
[Kamel, 2022]	Buildings, MDPI	do 2022	70	Google Scholar, MDPI, Science Direct	15
[Oropeza-Perez, 2018]	Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier	do 2017	205	Ni definirano	115
[Pombo, 2016]	Journal of Cleaner Production, Elsevier	do 2014	42	Ni definirano	99
[Weerasinghe, 2024]	Journal of Building Engineering, Elsevier	do 2023	125	Scopus	0

Preglednica 1. Struktura izbranih virov s prikazom revije in založnika, obdobjem zajema literature, številom analiziranih študij, vključenih baz podatkov in pogostosti citiranja vira.

Izmed najdenega nabora literature je bilo izbranih 10 preglednih študij, ki zajemajo pregled znanstvene literature za obdobje do leta 2024, posamezna študija pa zajema od 38 do 205 virov, kar zagotavlja širok nabor literature. Obravnavane pregledne študije so tudi različno citirane (od 0 do 115 citatov), kar je delno povezano z letom objave, 7 od 10 virov je bilo namreč objavljenih v zadnjih petih letih. Objavljeni so bili v različnih revijah in pri različnih založnikih, nabor literature pa je bil pridobljen v različnih bazah podatkov, s čimer je zagotovljena raznovrstnost literature. Izbrane vire smo v poglavju 4.3 Pregled literature z vidika različnih pristopov in ukrepov prenove nadalje analizirali glede na predhodno identificirane pristope in ukrepe energijske prenove po [DSEPS, 2015] in [Žegarac Leskovar, 2019].

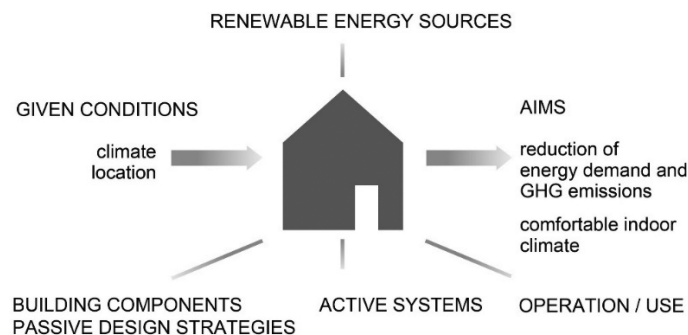
V zadnjem delu študije (poglavje 5: Pasivne strategije energijsko učinkovitega načrtovanja stavb, ki se lahko uporabijo pri prenovah obstoječih stavb) je na podlagi pregledane literature ocenjena primernost uporabe pasivnih pristopov načrtovanja stavb za prenove obstoječih energijsko neučinkovitih stavb za različne vrste prenov.

Glede na identificiran manko raziskovalne literature smo v sklepu izpostavili ukrepe različnih strategij, ki bi jih bilo smiselno nadalje raziskati, kar je namen tega prispevka.

3 TRAJNOSTNO NAČRTOVANJE STAVB

Zaradi velike rabe energije in vpliva stavbnega fonda na okolje obstaja veliko zanimanje za energijsko učinkovite stavbe, ki so del smernic za trajnostno načrtovanje. Zasnova energijsko učinkovitih stavb je odvisna od parametrov, ki vplivajo na energijsko bilanco stavb (raba, pridobivanje in shranjevanje energije). Najpogostejše parametre lahko razdelimo v tri glavne skupine, in sicer podnebne vplive in lokacijo stavbe, parametre zasnove stavbe (stavbne komponente) in strategije pasivnega delovanja stavb [Žegarac, 2013]. Dodatno upoštevani parametri so lahko tudi obnašanje uporabnikov, namembnost ali raba stavbe, aktivni tehnični sistemi in raba obnovljivih virov energije, kot je predstavljeno na sliki 1.

Podnebni vplivi so vezani predvsem na lokacijo stavbe, pa najsibo to z vidika makro-, mezo- ali mikroklimatskih vplivov [Žegarac Leskovar, 2013]. Obravnava posameznih podnebnih dejavnikov sicer ni vključena v ta pregled, je pa poudarek predstavljenih strategij prilagojen za zmerna do hladna podnebja na severni polobli. Strategije bioklimatskega načrtovanja stavb naj bi zajemale dve kategoriji ukrepov: pasivne in aktivne ukrepe [Brunoro, 2024]. Tudi uporaba aktivnih tehničnih sistemov in raba obnovljivih virov energije, ki spadata pod aktivne ukre-

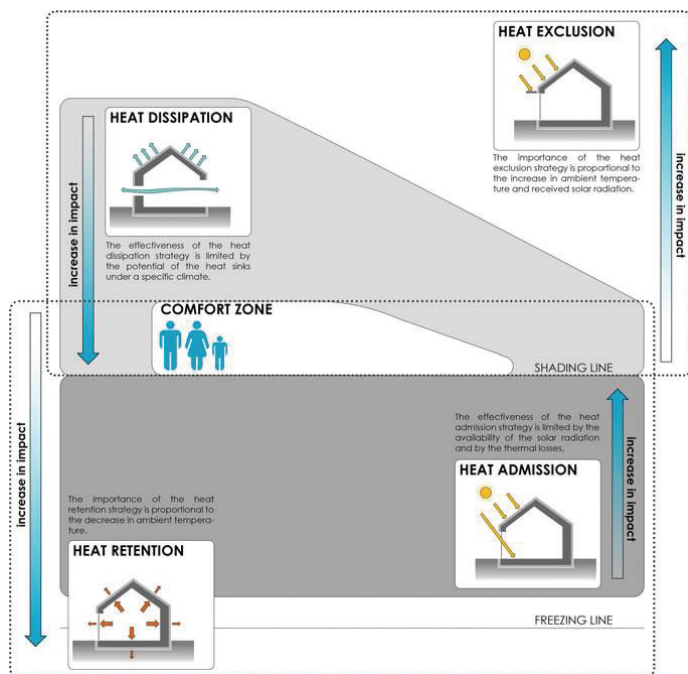


Slika 1. Osnovna načela energijsko učinkovitega načrtovanja stavb [Žegarac Leskovar, 2013].

pe, imata velik vpliv na energijsko učinkovitost stavb in sta lahko vsekakor vključena pri prenovah stavb, vendar pa nista neposredno vezana na zasnovo in arhitekturno oblikovanje stavb, zato ta tematika ni obravnavana v tem članku. V nadaljevanju so zato predstavljeni posamezne strategije in ukrepi energijsko učinkovitega načrtovanja stavb s poudarkom na pasivnih načinih delovanja stavb.

3.1 Pasivne strategije energijsko učinkovitega načrtovanja stavb

Podnebni in lokacijski potenciali nakazujejo ustrezne pasivne strategije in ukrepe, ki jih je možno uporabiti pri načrtovanju stavb za doseganje energijske učinkovitosti in sprejemljivega bivalnega ugodja. Mogoče jih je oblikovati v štiri bioklimatske strategije [Košir, 2019], ki so predstavljene na sliki 2 in pojasnjene v nadaljevanju. Po dve od njih se uporabljata za pasivno ogrevanje, drugi dve pa za pasivno hlajenje stavb, zato se običajno uporabljajo v kombinaciji.



Slika 2. Štiri bioklimatske strategije na shematskem bioklimatskem diagramu [Košir, 2019].

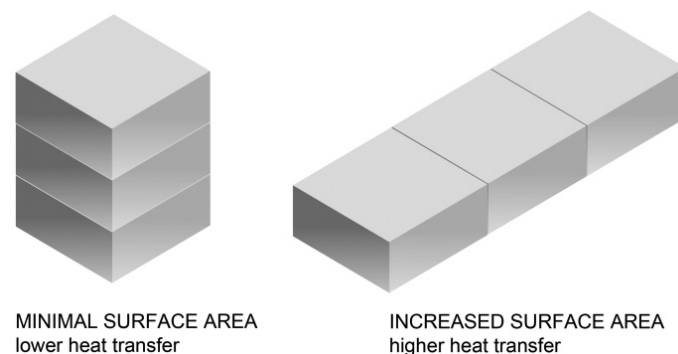
3.1.1 Strategija zadrževanja toplote

Ta strategija je ključnega pomena za hladna in zmerna podnebja, kjer je razlika med notranjo in zunanjo temperaturo običajno velika, kar je glavni vzrok toplotnih izgub. Glavni poudarek te strategije je torej preprečevanje ali zmanjševanje toplotnih izgub [Košir, 2019].

Primerne strategije načrtovanja stavb za zadrževanje toplote lahko nadalje razdelimo na ukrepe na nivoju oblike stavbe, zasnovo toplotnega ovoja stavbe in razporeditev notranjih prostorov [Lešnik Nedelko, 2024].

Oblika stavbe

V osnovi velja, da lahko z bolj kompaktno obliko stavbe (nižji faktor oblike) dosežemo nižje transmisijske toplotne izgube skozi toplotni ovoj stavbe (Q_t) (slika 3). Obliko stavbe lahko opišemo s pomočjo faktorja oblike (F_o), ki opiše razmerje med površino toplotnega ovoja stavbe in ogrevanim volumnom stavbe [Žegarac Leskovar, 2013].

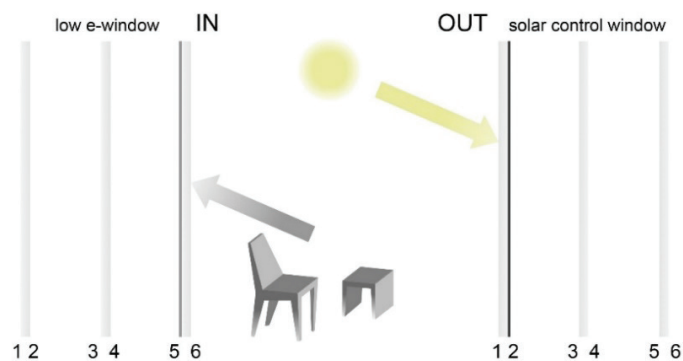


Slika 3. Oblika stavbe se odraža v transmisijskih toplotnih izgubah skozi toplotni ovoj stavbe [Žegarac Leskovar, 2013].

Zasnova toplotnega ovoja stavbe

Transmisijske toplotne izgube (Q_t) so med drugim odvisne od koeficienta toplotne prehodnosti (U) gradbenih elementov, ki upošteva debelino in toplotno prevodnost (λ) uporabljenih materialov [Žegarac Leskovar, 2013]. Najpogostejše uporabljeni ukrepi za zmanjšanje transmisijskih toplotnih izgub so:

- **dodajanje toplotne izolacije v toplotni ovoj stavbe**, katere toplotna prevodnost (λ) je manjša od toplotne prevodnosti drugih gradbenih materialov (Visokoizolativni toplotni ovoj stavbe je v mnogih študijah prepoznan kot prvi in najpomembnejši ukrep pri zasnovi in prenovi energijsko učinkovitih stavb [Karanafti, 2022], [Wang, 2022]. Možno je uporabiti tudi t. i. dinamične izolacijske materiale, ki omogočajo spreminjanje toplotne prehodnosti stavbnega ovoja glede na dejanske zunanje pogoje [Fawaier, 2022].);
- **gradnja brez toplotnih mostov**, ki jo dosežemo z načinom gradnje brez prekinitev izolacijskega sloja v toplotnem ovoj stavbe (Številne študije prepoznajo vpliv toplotnih mostov na različnih delih stavb na toplotne izgube v stavbah ([Goldberg, 2015], [Dmytro, 2017], [El Saied, 2022])).;
- **zasnova zasteklitev**, pri kateri je potrebna posebna pozornost, saj poleg toplotnih izgub omogoča tudi dobitke



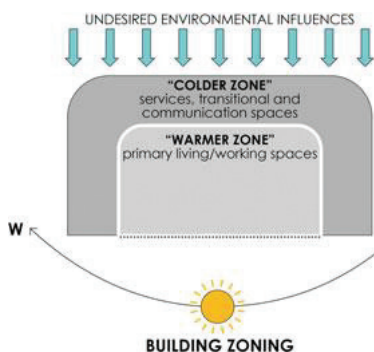
Slika 4. Osnovno načelo umeščanja nanosov v izolacijsko zasteklitev [Žegarac Leskovar, 2013].

se uporabljajo za preprečevanje prenosa sevalne energije skozi zasteklitev, kot je prikazano na sliki 4);

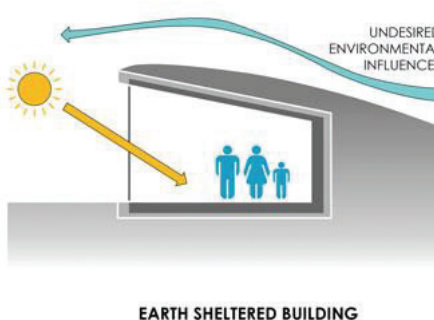
- **tesnilo in medstekelni distančnik** (medstekelni distančniki lahko povzročijo velike toplotne mostove v izolacijski zasteklitvi, zato so na trgu na voljo distančniki z manjšo prevodnostjo in prekinjenim toplotnim mostom).

Razporeditev notranjih prostorov

Coniranje prostorov s primerljivimi lastnostmi (npr. toplo-hladni prostori ipd.) lahko pripomore k manjšim toplotnim izgubam in hkrati poveča bivalno ugodje v stavbah. Tak primer je lahko umestitev toplejših prostorov (npr. dnevno-bivalni prostori, delovni prostori ipd.) v notranjost stavbe ter hladnih (npr. servisnih) ob obod stavbe, kot je prikazano na sliki 5 [Košir, 2019].



Slika 5. Razporeditev in orientacija prostorov [Košir, 2019].



sončnega sevanja, kar je lahko še posebej problematično na področjih s prevladujočim pregrevanjem [Xie, 2024] (Za zmerna podnebja z vročimi poletji in hladnimi zimami je bilo v študiji ugotovljeno, da je izmed različnih parametrov zasnove stavbe zasnova oken najvplivnejša [Xu, 2015].);

- **zrakotesnost ovoja stavbe** (na netransparentnem delu ovoja ter zrakotesno tesnjenje v primeru transparentnega ovoja), saj nenadzorovana izmenjava zraka (tj. infiltracija) med notranjim in zunanjim prostorom povečuje konvekcijske toplotne izgube stavbe (Pomen zrakotesnosti stavbe za energijsko učinkovitost in notranje bivalno ugodje je poudarjen v številnih študijah [Zheng, 2020], [Xu, 2015], [Kempton, 2022].).

Zahtevam energijske učinkovitosti lahko danes zadostimo le z uporabo izolacijskih zasteklitev. Toplotna prehodnost izolacijske zasteklitve (U_g) in posledično celotnega okna je odvisna od številnih parametrov [Žegarac Leskovar, 2013]:

- **števila stekel** (s povečanjem števila stekel se zmanjšata toplotni tok in prepustnost svetlobe, s čimer se povečajo prihranki energije v stavbi [Al-Yasiri, 2021]);
- **globina medstekelnega prostora in vrsta polnilnega plina** (uporabljajo se različni plini, npr. argon ali kripton, ki skozi različne mehanizme zmanjšajo prenos toplote [Foruzan Nia, 2019]; optimalna globina medstekelnega prostora je določena za vsak plin posebej);
- **število in tip nanosov na steklih** (solarni nanosi [Xamán, 2016] in/ali toplotni (nizkoemisijski) nanosi [Mahtani, 2011]

3.1.2 Strategija sprejemanja toplote

Ta strategija je najbolj uporabna v hladnih in zmernih podnebjih, kjer je mogoče potrebo po toplotni energiji zmanjšati z izkoriščanjem toplotnih dobitkov iz okolja (previdnost je potrebna v zelo hladnih okoljih in na območjih z nizkim sončnim sevanjem, kjer se učinkovitost te strategije zmanjša). Večina ukrepov strategije za sprejem toplote se osredotoča na izkoristek sončnega sevanja, zato lahko to strategijo imenujemo tudi **pasivno sončno ogrevanje** [Košir, 2019]. Strategija običajno vključuje ukrepe za shranjevanje toplote, razporeditev notranjih prostorov ter ustrezno zasnovo, orientacijo in velikost zasteklitev.

Shranjevanje toplote s pomočjo termične mase

Sončno sevanje, ki vstopa skozi transparentne dele ovoja stavbe, se neposredno absorbira na notranjih površinah in se pozneje ponovno sprosti v obliki dolgovalovnega sevanja, količina in časovni razpon tega procesa pa sta odvisna od termične mase sestavnih delov stavbe. Termična masa je časovno odvisna lastnost materialov, ki je opredeljena kot sposobnost shranjevanja toplotne energije, ali preprosteje, sposobnost gradbenih materialov, da absorbirajo, shranjujejo in sproščajo toplotno energijo [Alayed, 2022]. To nihajoče obnašanje stavb lahko uporabimo za uravnavanje notranjega toplotnega ugodja v stavbah. Pri masivnih stavbah so konstrukcijski elementi izdelani iz materialov z visoko sposobnostjo shranjevanja toplote (npr. iz težkega betona, opeke ali kamna), posledično lahko takšni materiali pomagajo zmanjšati nihanje temperature v notranjih prostorih čez dan [Žegarac Leskovar, 2013].

Iz znanstvene literature je možno najti tudi primere hibridnih stavb, kjer je severna stena grajena iz materialov z nizko termično maso, južna pa iz materialov z visoko termično maso, kar pripomore k zvišanju bivalnega ugodja v stavbah [Gou, 2018]. V zadnjem času pa so v uporabi tudi t. i. fazno spremenljivi materiali, ki zagotavljajo večjo sposobnost shranjevanja toplote v omejenem temperaturnem območju ([Tao, 2019], [Buonomo, 2024]).

Orientacija in razporeditev notranjih prostorov

Uporabi se lahko koncept toplotnega coniranja, ki narekuje umestitev hladnih prostorov (hodniki, stopnišča, pomožni prostori itd.) v severni del stavbe, toplejših prostorov (dnevne sobe, jedilnice, spalnice itd.) pa v južni del stavbe, kjer je na voljo sončno sevanje [Žegarac Leskovar, 2013]. Usmeritev stavbe in razporeditev transparentnih površin je treba optimirati za pasivno uporabo sončnega sevanja in preprečevanje pregrevanja v hladilni sezoni.

Zasnova, orientacija in velikost zasteklitev

Zastekljene površine stavb služijo različnim funkcijam, kot so naravna osvetlitev in vizualno udobje, zaščita pred vremenskimi vplivi, toplotna zaščita, zaščita pred hrupom ter naravno prezračevanje, hkrati pa omogočajo pasivno sončno ogrevanje. Da bi se izognili pregrevanju v toplejših letnih časih in bleščanju v stavbah, je treba uporabiti tudi strategije za nadzor sončnega sevanja [Al-Yasiri, 2021]. Za zmerna do hladna podnebja je priporočljiva zasnova stavb, ki omogoča optimalno pasivno sončno ogrevanje. To je mogoče doseči z ustrezno orientacijo in razporeditvijo transparentnih površin po ovoju stavbe. Za zmerna podnebja z vročimi poletji in hladnimi zimami je bilo v študiji [Xu, 2015] ugotovljeno, da je izmed različnih parametrov zasnove stavbe zasnova oken najvplivnejša.

Pri določanju optimalne velikosti in razporeditve je treba upoštevati različne vidike, kot so potrebna energija za ogrevanje, hlajenje, naravna osvetlitev, pogled navzven ipd. [Lešnik, 2020]. Velikost zasteklitve lahko opišemo na različne načine. Med njimi je najpogostejši način določanje povprečnega razmerja med površinami zasteklitev in površinami komponent toplotnega ovoja (zidovi, streha). Povprečno razmerje med površinami zasteklitev in površinami zidov (AGAW) se običajno izračuna ločeno za vsako od glavnih fasad. Za zasteklitve na strehi lahko določimo tudi povprečno razmerje med površinami zasteklitev in površinami strehe (AGAR). Za celotno stavbo pa lahko določimo tudi povprečno razmerje med površinami zasteklitev in tlorisno površino stavbe (AGAF) [Lešnik Nedelko, 2024].

3.1.3 Strategija preprečevanja pregrevanja

V nasprotju s strategijo zadrževanja toplote je cilj te strategije preprečiti prenos toplote iz zunanosti v notranjost. Uporablja se, kadar se pričakuje problem pregrevanja, npr. pri stavbah s povečano potrebo po hlajenju ne glede na tip podnebja. Pregrevanje je običajno posledica čezmernega vpadnega sončnega sevanja in ne višjih zunanjih temperatur, zato je najpogostejši ukrep za te strategije senčenje [Košir, 2019].

Podobno kot pri strategijah zadrževanja in sprejemanja toplote so pomembni tudi coniranje, termična masa in zasnova, velikost in orientacija zasteklitev, v zadnjem času pa se uporab-

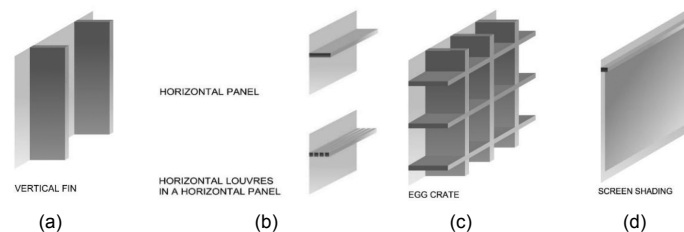
ljajo t. i. sistemi hladnih streh oz. fasad, ki vsebujejo t. i. hladne premaze.

Senčenje

Glavna naloga senčil je preprečiti, da bi sončno sevanje vstopilo v stavbo skozi zastekljene površine. Za nadzor vstopa sončnega sevanja v stavbo se lahko uporabljajo različne strategije senčenja, vključno s samosenčenjem stavbe in zunanjimi ovirami (sosednje stavbe, teren, rastlinstvo), uporabo senčil in zasteklitvij z nadzorom sončnega sevanja [Košir, 2019].

Zunanja senčila so najučinkovitejše sredstvo za nadzor sončnega sevanja, ki vstopa v stavbo [Al-Yasiri, 2021]. Szokolay je opredelil tri osnovne kategorije senčil [Szokolay, 2010], znotraj katerih so lahko posamezni tipi senčil premični ali nepremični, dodamo pa lahko še ploskovna senčila:

- **vertikalna senčila** (slika 6 (a)) so najučinkovitejša za vzhodno in zahodno izpostavljenost sončnemu sevanju z nižjimi vpadnimi koti, saj blokirajo tudi sončno sevanje s severovzhoda in severozahoda, kar preprečuje bleščanje (mednje uvrščamo premične in nepremične vertikalne lamele);
- **horizontalna senčila** (slika 6 (b)) so najprimernejša za južne (oz. ekvatorske) orientacije, saj so najučinkovitejša pri zmanjševanju sončnega sevanja pri velikih vpadnih kotih (poleti) in hkratnem prepuščanju sončnega sevanja pri nižjih vpadnih kotih (pozimi) (mednje uvrščamo premične in nepremične horizontalne lamele, žaluzije ipd.);
- **kombinirana horizontalna in vertikalna senčila** (slika 6 (c)) so najprimernejša za postavitev med glavnimi orientacijami, saj blokirajo sončno sevanje različnih vpadnih in azimutnih kotov;
- **ploskovna senčila** (slika 6 (d)) se lahko uporabljajo za zaščito pred sončnim sevanjem pod poljubnim vpadnim kotom. Ovirajo lahko pogled navzven, zato je pri načrtovanju potrebna posebna pozornost, saj lahko zmanjšajo vizualno udobje v stavbah (mednje uvrščamo npr. roloje in rolete).



Slika 6. Osnovni tipi vertikalnih (a), horizontalnih (b), kombiniranih (c) ter ploskovnih senčil (d) (povzeto po [Žegarac Leskovar, 2013]).

Z namenom zmanjšanja prepustnosti stekla za kratkovalovno sevanje se uporabljajo tudi t. i. solarni nanosi [Xamán, 2016] (prikazano na sliki 4 desno), kar posledično zmanjša koeficient prepustnosti celotne sončne energije (g), pa tudi prepustnosti zasteklitve za svetlobo (LT). Tak ukrep se običajno uporablja v javnih stavbah z velikimi steklenimi površinami, kjer je namestitev drugih tipov senčil otežena. V stanovanjskih stavbah je uporaba solarnih nanosov manj priporočljiva, saj se zmanjša razpoložljivo sončno sevanje (pasivno sončno ogrevanje) in možnost naravne osvetlitve prostorov [Žegarac Leskovar, 2013].

Hladne strehe in fasade

Eden izmed možnih ukrepov, ki zmanjšujejo potrebo po energiji za hlajenje prostorov v klimatiziranih stavbah je tudi uporaba t. i. hladnih streh in fasad (uporaba t. i. hladnih premazov) [Levinson, 2009]. Hladni premazi zaradi svoje albedo vrednosti odbijajo sončno sevanje (zmanjšajo absorpcijo sončne energije), kar zmanjšuje temperaturo mikroklima in posledično zmanjša prenos toplote s strehe ali fasade na stavbo [Alrasheed, 2023].

3.1.4 Strategija odvajanja toplote

Cilj te strategije je odvajanje odvečne toplote, ki se nabira v stavbi zaradi podnebnih vplivov (sončno sevanje in temperatura okolice) ali uporabe stavbe (dobitki notranjih virov). Uporablja se lahko povsod, kjer obstaja možnost odvajanja toplote v okolje. Najprimernejša je za vroča in suha podnebja, manj primerna pa za topla in vlažna podnebja. Toploto lahko iz stavbe odvajamo s konvekcijo, sevanjem (radiacija) in izhlapevanjem (evaporacija) [Košir, 2019].

Konvekcijska izmenjava toplote – naravno prezračevanje

Pri konvekcijski izmenjavi toplote se z gibanjem zraka odvaja toplota iz notranjega okolja v zunanje okolje, kar je možno,

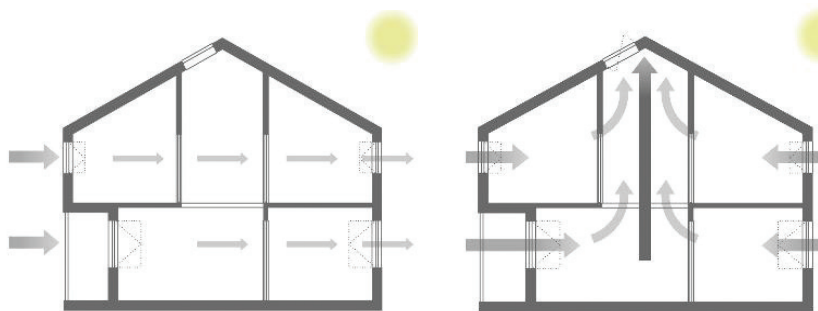
intenzivnejšega gibanja zraka omogoča konvekcijsko in hlapično odvajanje toplote: slika 7), nočno prezračevanje, podzemni toplotni izmenjevalnik (slika 8 (levo)) ali vetrni stolp (slika 8 (desno)) ipd.

Evaporativna izmenjava toplote

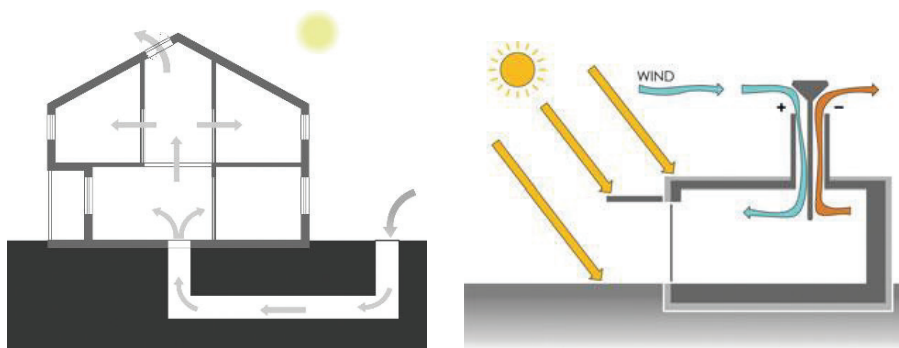
Izhlapevanje vode lahko zniža temperaturo zraka, saj se pri fazi spremembi porablja toplota. Za lokalno hlajenje zraka se lahko v ta namen uporabljajo vodni elementi, kot so ribniki, fontane ter rastlinstvo (npr. v okolici stavbe, na strehi ali fasadi). Da bi bil ukrep učinkovit, mora biti relativna vlažnost zraka dovolj nizka. To strategijo je mogoče vključiti tudi v druge ukrepe konvekcijskega hlajenja, kot so vetrni stolpi in zemeljsko hlajenje [Košir, 2019].

Radiacijska izmenjava toplote

Na lokacijah z jasnim nebom se lahko toplota, ki jo podnevi absorbira termična masa ovoja stavbe (zlasti strehe), ponoči z dolgovalovnim infrardečim sevanjem razprši v vesolje. Učinek se bistveno zmanjša, če je v gradbenih elementih nameščena toplotna izolacija. To bi lahko ublažili s premično izolacijo, ki podnevi preprečuje čezmerno pridobivanje sončne energije (uporabljena), ponoči pa omogoča izgubo sevalne toplote (odmaknjena ali zložena) [Košir, 2019].



Slika 7. Prečno prezračevanje (levo) in učinek dimnika (desno) [Žegarac Leskovar, 2013].



Slika 8. Podzemni toplotni izmenjevalnik (levo) [Žegarac Leskovar, 2013], vetrni stolp (desno) [Košir, 2019].

kadar so zunanje temperature zraka nižje od notranjih. Naravno prezračevanje je najprimernejša alternativa za zmanjšanje porabe energije v stavbah, ki ima ogromen potencial za zmanjšanje rabe energije, ki jo stavba potrebuje za vzdrževanje sprejemljivega bivalnega ugodja [Ganesh, 2024]. Uporabijo se lahko ukrepi, kot so prezračevanje za udobje (ki ni omejen le na zadostno temperaturno razliko, temveč zaradi

4 ENERGIJSKA PRENOVA OBSTOJEČIH STAVB

Izraz prenova je terminološko opisan v Zakonu o graditvi objektov [ZGO-1 NPB-16, 2002], na podlagi katerega bi izraz najboljše opisali kot izvedbo ukrepov za ohranjanje dobrega stanja in

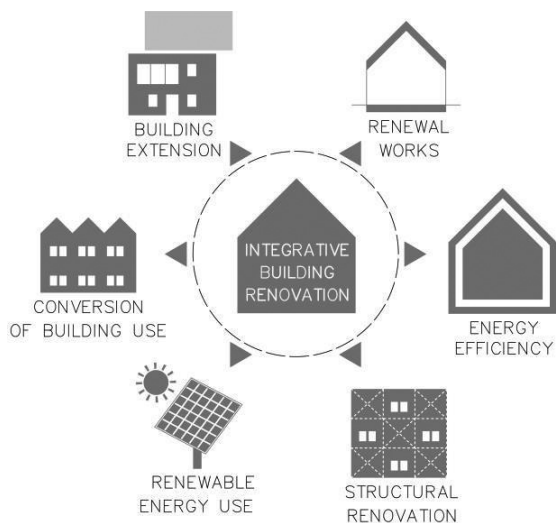
uporabnosti objekta. Glede na »Dolgoročno strategijo energetske prenove stavb do leta 2050« [DSEPS 2050, 2021] izraz prenova običajno uporabljamo kot sopomenko za izboljšavo energetske učinkovitosti stavbe vključno z rabo obnovljivih virov energije. Za izboljšanje kakovosti stavb je v mednarodnem prostoru v uporabi več različnih izrazov za prenove stavb, ki jih pri nas, kadar se nanašajo na učinkovito rabo energije v stavbah, vse bolj ali manj razumemo (oziroma prevajamo) kot **prenovo**. Med njimi so najpogostejši naslednji [DSEPS 2050, 2021]:

- **Renovation** je izraz, ki se je uveljavil v EU in se uporablja v evropski zakonodaji. V ZDA in državah, kjer se uporablja njihova terminologija, se izraz uporablja predvsem, vendar ne izključno, za ukrepe za izboljšavo energetske učinkovitosti ovoja stavbe.
- **Retrofit** je izraz, ki se v EU ne uporablja več. V ZDA in drugih državah, kjer se uporablja, se nanaša predvsem na zamenjavo stavbnih sistemov (ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, ogrevanje sanitarne vode, razsvetljava ipd.) z energijsko učinkovitejšimi.
- **Refurbishment**, kot je nadgradnja, se danes v EU ne uporablja pogosto. Opisuje vrnitev stavbe v prvotno dobro stanje, vključno z energijskimi izboljšavami.
- **Rehabilitation** je izraz, ki se uporablja tudi v strokovni literaturi, vendar velja za manj primeren prevod izraza prenova iz nacionalnih jezikov v angleščino, kadar se obravnava le energijski vidik. Opredelitev pojma se razlikuje tudi med geografskimi območji. V ZDA se na primer izraz sanacija nanaša na manjši obseg ukrepov kot prenova.

4.1 Vrste prenov

Razlikujemo med različnimi vrstami energijskih prenov glede na različne stopnje izvedenih posegov ali ukrepov, kot je predstavljeno v preglednici 2 (prirejeno po [DSEPS 2050, 2021]).

Izraz **celostna prenova** stavb se lahko nanaša tudi na širšo prenovalo stavb, ki poleg ukrepov, ki vplivajo na energijsko učinkovitost, vključuje tudi druge ukrepe za izboljšanje kakovosti



Slika 9. Celostni pristopi k prenovi obstoječih stavb [Žegarac Leskovar, 2019].

VRSTA PRENOVE	ZNAČILNOSTI
STANDARDNA	Prenova v skladu z minimalnimi zahtevami predpisov.
DELNA	Izvede se le manjši obseg ukrepov (dva ali več).
POSTOPNA	Ukrepi, potrebni za izvedbo celovite energetske prenove, se izvajajo v fazah (postopoma).
ŠIRŠA	Vključuje ukrepe, ki niso nujno povezani z izboljšanjem energetske učinkovitosti, kot so na primer ukrepi za izboljšanje dostopnosti za osebe z zmanjšano mobilnostjo ali ukrepi za izboljšanje varnosti stavbe.
OBSEŽNA	Smiselno se nanaša (zlasti) na napeljave. Prenova, katere stroški presegajo 50 % vrednosti naložbe za novo primerljivo proizvodno napravo.
VEČJA	Rekonstrukcija ali vzdrževanje stavbe, če skupni stroški prenove ovoja stavbe ali tehničnih sistemov stavbe presegajo 25 % vrednosti stavbe, brez vrednosti zemljišča, na katerem stoji, ali če se prenovi več kot 25 % površine ovoja stavbe.
MANJŠA	Doseženi prihranki primarne energije so manjši od 30 %.
SREDNJA	Doseženi prihranki primarne energije znašajo med 30 % in 60 %.
TEMELJITA	Vključuje vrsto ukrepov za prenovalo, ki zagotavljajo visoko splošno raven učinkovitosti. Doseženi prihranki primarne energije presegajo 60 %.
CELOVITA	Ukrepi za energijsko učinkovitost se izvajajo na ovoj stavbe in tehničnih sistemih stavbe, da se izpolnijo minimalne zahteve glede energetske učinkovitosti.
CELOSTNA	Poleg ukrepov, ki vplivajo na energijsko učinkovitost, vključuje tudi druge ukrepe za izboljšanje kakovosti stavb (npr. tehnične, funkcionalne, okoljske, socialne in ekonomske vidike).

Preglednica 2. Najpogostejše uporabljeni izrazi, ki opisujejo vrste prenov glede na različne stopnje posegov in značilnosti le-teh (prirejeno po [DSEPS 2050, 2021]).

stavb. Najvišjo raven izboljšanja stavb je mogoče doseči s **celostnimi pristopi k prenovi**, ki vključujejo vse ustrezne ukrepe, potrebne za obravnavo tehničnih, funkcionalnih, okoljskih, socialnih in ekonomskih vidikov prenove (kot je na primer prikazano na sliki 9) [Žegarac Leskovar, 2019].

4.2 Pristopi in ukrepi prenove

Skupine pristopov in ukrepov, ki so običajno vključene v energijsko učinkovito prenovo stavb glede na »Dolgoročno strategijo za spodbujanje naložb energetske prenove stavb« [DSEPS, 2015]) so naslednje:

- **ukrepi na ovoju stavbe** (toplotna izolacija in obnova fasade, stropa, ki meji na neogrevan prostor, strehe in kleti ali tal; zamenjava obstoječih in namestitve novih energijsko učinkovitih oken/vrat; sanacija toplotnih mostov ipd.);
- **ukrepi na ogrevalnem sistemu** (namestitve učinkovitih kurilnih naprav; opreme za visokoučinkovito soproizvodnjo električne energije; centralna regulacija ogrevalnega sistema; toplotna zaščita cevne sistema ipd.);
- **ukrepi za prezračevalne in klimatske sisteme** (mehanško prezračevanje z rekuperacijo toplote – centralno ali lokalno; generator hlajenja in posodobitev hladilnih sistemov; regulacija klimatizacije in prezračevanja ipd.);
- **ukrepi za pripravo tople sanitarne vode** (vgradnja toplotnih črpalk za pripravo tople sanitarne vode in/ali centralno ogrevanje, toplotne postaje ali postaje za priključitev na toplovodni sistem daljinskega ogrevanja; učinkovite kurilne naprave ipd.);
- **ukrepi za zmanjšanje rabe električne energije** (energetsko varčna razsvetljava in električne naprave ipd.);
- **ukrepi za proizvodnjo električne energije** (namestitve opreme ali gradnja objektov za pridobivanje električne energije iz sonca, vode ali vetra ter oprema za soproizvodnjo toplote in električne energije z visokim izkoristkom ipd.).

Nekateri ukrepi prenove, ki vplivajo na fizično stanje in funkcionalnost stavbe se lahko dodajo celostni prenovi, npr. [Žegar Leskovar, 2019]:

- **razširitve stavbe** (moduli za nadgradnjo, balkoni, vetrolovi, horizontalne razširitve itd.);
- **alternativni ekološki sistem** (zbiranje deževnice itd.);
- **obravnavanje dostopnosti za gibalno ovirane osebe** ipd.

Posamezni ukrepi prenove sicer izkazujejo pozitivne vplive na energijsko učinkovitost prenovljenih stavb, vendar lahko najboljše rezultate dosežemo le z uporabo več ukrepov, združenih v celovito in celostno prenovo. Slednje je priporočljivo ne le za zmanjšanje rabe energije, temveč tudi za povečanje bivalnega ugodja v stavbah, kar kaže na pomembnost in prednost celostne prenove stavb v primerjavi z delno prenovo stavb [Lešnik Nedelko, 2024].

Tudi znotraj orodij obstoječe evropske zakonodaje za certificiranje stavb (Energy Performance Certificates (EPC)) je na voljo seznam priporočenih ukrepov (Recommendation List of Measures (RLMs)), v katerega so vključeni različni ukrepi na toplotnem ovoju (vključujoč stavbno pohištvo), ukrepi za povečanje zrakotesnosti in preprečevanje toplotnih mostov ter številni ukrepi, vezani na tehnične sisteme ter njihovo upravljanje ter energetsko varčno razsvetlavo [Gonzalez-Caceres, 2018].

Iz zgoraj navedenega seznama pristopov in ukrepov je zaznati poudarek predvsem na tehničnih ukrepih (uporabo aktivnih tehničnih sistemov), zato sta v nadaljevanju opravljena pregled in analiza izbranih virov glede na zgoraj razdeljene skupine pristopov in ukrepov prenove.

4.3 Pregled literature z vidika različnih skupin pristopov in ukrepov prenove

Obseg literature na temo energijsko učinkovite prenove stavb je zelo obsežen. Med številnimi raziskavami so poleg pregledov literature, vezanih na strategije, pristope in ukrepe za energijsko učinkovito prenovo, tudi pregledi literature, ki obravnavajo tematike, kot so sistemi za certificiranje prenov stavb [Sesana, 2020], spomeniško zaščitene (historične) stavbe ([Panakaduwa, 2024], [Marincioni, 2021], [Posani, 2021]), HVAC-sistemi [Krajčič, 2023], študije na temo obnašanja uporabnikov [Liu, 2021], oblikovanje smernic za prenovo stavb ([Streimikiene, 2019], [Iralde, 2021]). Številne študije se ukvarjajo tudi z ocenjevanjem celotnega življenjskega cikla stavb (LCA: [Vilches, 2017], [Mirabella, 2018], [Li, 2022], [Hurst, 2019]; LCC [Malomo, 2024]), ocenjevanjem in razvojem orodij za podporo pri odločanju ([Seddiki, 2021], [Li, 2024], [Villalba, 2024]), programsko podporo za ocenjevanje prenov ([Okakpu, 2018], [Bruno, 2018]) ter optimizacijo prenov [Costa-Carrapiço, 2020]. Pogosto je vključen tudi konstrukcijski (pretežno potresni) vidik prenov ([Penazzato, 2024], [Georgescu, 2018], [Pohoryles, 2022], [Ademovic, 2022] idr.), ki ni vključen v obravnavo znotraj tega prispevka. V nadaljevanju so predstavljene izbrane raziskave, ki sovpadajo s tematiko tega prispevka in vsaj delno obravnavajo pasivne strategije, pristope in ukrepe, predstavljene v predhodnem poglavju, in so aplikativni za zmerna do hladna podnebja, kjer sta prisotni tako potreba po ogrevanju kot hlajenju.

Rezultati opravljenega kritičnega pregleda raziskav o prenovah stanovanjskih stavb in razprava o pristopih ter ukrepih za energijsko učinkovitost [Pombo, 2016] poudarjajo ključen pomen upoštevanja vplivov na okolje celotnega življenjskega cikla stavbe. Študija za najpogostejše uporabljene ukrepe prepoznava izboljšanje toplotnega ovoja stavbe, zamenjavo stavbnega pohištva ter izboljšanje zrakotesnosti. Obravnavane so tudi študije, ki vključujejo ukrepe, vezne na prenovo tehničnih sistemov za ogrevanje in hlajenje, prezračevanje, pripravo tople vode, sisteme za pridobivanje električne energije ipd. Podobne ugotovitve glede najpogostejše uporabljenih ukrepov so navedene tudi v študiji, ki obravnava ukrepe prenove stavb v ničemisijki standard [Weerasinghe, 2024], katerih namen je predvsem zmanjšanje emisij toplogrednih plinov v fazi obratovanja stavb. Ukrepi so razdeljeni na ukrepe na stavbnem ovoju, energetskih sistemih in sistemih za koriščenje obnovljivih virov energije. Pri tem so med ukrepi na stavbnem ovoju prepoznani dodajanje toplotne izolacije, zamenjava stavbnega pohištva (pomembnost velikosti in razporeditve zasteklitev) ter senčenje pa tudi ozelenitev streh in fasad, hladne strehe. Tudi pregled literature na temo prenov večstanovanjskih stavb v zmernih podnebjih [Hamid, 2018] prikazuje številne strategije in ukrepe prenov stavb, vezane predvsem na energijski vidik prenove. Tudi ta študija med naštetimi ukrepi prepoznava najpogostejšo uporabo ukrepov na toplotnem ovoju stavbe, sledijo ukrepi na različnih tehničnih sistemih (za prezračevanje, ogrevanje, vodovni sistemi), sistemi za proizvodnjo električne energije in koriščenje obnovljivih virov energije. V manjši meri so zastopani tudi ukrepi, ki jih lahko umestimo pod dodatne ukrepe celovite prenove (arhitekturne spremembe stavbe, spremembe obnašanja uporabnikov, zbiralniki deževnice ipd.).

V študiji, ki jo so jo opravili Amirifard in drugi [Amirifard, 2019], so bili kategorizirani alternativni pasivni ukrepi, ki pozitivno vplivajo na zniževanje potrebne energije za delovanje stavb.

Ukrepi se lahko uporabljajo pri zasnovi novogradenj ali pri prenovah obstoječih stavb, pri čemer podrobna analiza primernosti za prenove ni opravljena. Razdeljeni so v 4 kategorije; upravljanje prenosa toplote (najpomembnejši ukrep je uporaba toplotne izolacije, katere umestitev mora biti za optimalno delovanje stavbe usklajena s termično maso stavbe, pa tudi gradnja brez toplotnih mostov), zrakotesnost (možni ukrepi so zatesnitev netesnih mest, uporaba zrakotesnih materialov), nadzor prehoda vodne pare (pravilna uporaba parnih zapor ali ovir in paroprepustnih slojev), naravno ogrevanje, hlajenje in osvetljevanje (omenjeni so ukrepi, kot so naravno prezračevanje, uporabijo se lahko direktna (dobitki sončnega obsevanja in naravna osvetlitev) ali indirektna sončna energija (uporaba dvoslojnih fasad (DSF), zimskih vrtov, Trombe-Michelov zid ipd.), senčenje, lastnosti (delov oken), zasnova, razporeditev in velikost zasteklitev ipd.). Silvia Brunoro [Brunoro, 2024] je pripravila pregled možnih pasivnih ukrepov na stavbnem ovoju za izboljšanje energetske učinkovitosti obstoječih stavb v Italiji. Kategorizacija pasivnih ukrepov pri prenovah stavb vključuje tri različne pasivne pristope: zmanjšanje toplotnih izgub (vključena sta predvsem ukrepa dodajanja toplotne izolacije in vgradnja visokoenergijsko učinkovitega stavbnega pohištva), pridobivanje toplote (poudarek je na pridobivanju indirektna solarne energije z uporabo dvoslojnih fasad (DSF), zimskih vrtov, Trombe-Michelovega zidu) in zaščita pred pregrevanjem (predstavljeni so ukrepi, kot so naravno prezračevanje, zunanja senčila in hladna/zelena streha). Opravljen je bil tudi pregled različnih ukrepov za varčevanje z energijo, vezanih predvsem na toplotni ovoj stanovanjskih stavb [Kamel, 2022]. Vključeni so tako tradicionalni (dodajanje toplotne izolacije na toplotni ovoj stavbe, zamenjava stavbnega pohištva, senčenje, izboljšanje zrakotesnosti) kot tudi inovativni ukrepi (aerogele in fazno spremenljivi materiali), pri čemer ugotavljajo, da so oboji primerljivo učinkoviti. Analizirani so tudi viri, kjer so uporabljene dvoslojne fasade (DSF), energetska varčna razsvetljava, uporaba t. i. hladnih premazov na fasadah in strehah, uporaba zelenih streh ipd. Pregledna študija o različnih praksah pri energijskih prenovah specifično za podeželska okolja (pretežno v Italiji) [Abouaiana, 2023] povzema štiri glavne tematske klasifikacije; strategije energijske učinkovitosti, načrtovanje energijske učinkovitosti, vrednotenje strategij in vedenje uporabnikov. Obravnavane so stavbe v različnih kontekstih (spomeniško zaščitene (historične) stavbe, kmetijski in turistični kompleksi), za katere se lahko uporabijo tako aktivni (prenova tehničnih sistemov, sistemov za rabo obnovljivih virov energije ipd.) kot pasivni pristopi (zamenjava stavbnega pohištva, dodajanje toplotne izolacije na topli strani toplotnega ovoja, naravno prezračevanje ipd.). Pregledna študija, ki se ukvarja s tveganji za pregrevanje stanovanjskih stavb [Alrasheed, 2023], navaja različne ukrepe za pasivno hlajenje stavb (vegetacija, toplotna izolacija, senčenje, termična masa, fazno spremenljivi materiali, naravno prezračevanje, t. i. hladni premazi). Med njimi se za najučinkovitejša izkažejo zunanja senčila za toplotno izolirane stavbe ter t. i. hladni premazi za toplotno neizolirane stavbe. Kot učinkovita se izkaže tudi termična masa v kombinaciji z naravnim prezračevanjem, vendar je za optimalni učinek zelo pomembno pravilno obnašanje uporabnikov. Pasivne metode hlajenja stanovanjskih stavb [Oropeza-Perez, 2018], ki so poleg tradicionalnih (senčenje) še omenjene, so fazno spremenljivi materiali, termična masa, visokoreflektivni materiali (t. i. hladni premazi), evaporativno hlajenje, naravno prezračevanje, inteligentne fasade ipd.

Zgoraj navedene študije so bile opravljene predvsem za stanovanjske stavbe, kvalitativna in kvantitativna analiza bioklimatskih prenov poslovnih stavb [Heidari, 2023] pa je izpostavila raziskave, ki se poleg tradicionalnih ukrepov prenove v manjšini ukvarjajo s prenovo tehničnih sistemov za ogrevanje, hlajenje ter prezračevanje, hladnimi strehami ter umetno razsvetlavo, poslovne stavbe imajo namreč zaradi drugačnih vzorcev rabe in obnašanja uporabnikov drugačne energijske potrebe kot stanovanjske stavbe.

V nadaljevanju (preglednica 3) je prikazana analiza ključnih virov, ki prikazuje vključenost različnih skupin pristopov in ukrepov prenove iz podpoglavja 4.2 Pristopi in ukrepi prenove.

VIR	OVOJ STAVBE	OGREVALNI SISTEMI	PREZRAČEVALNI IN KLIMATSKI SISTEMI	PRIPRAVA TOPLE SANITARNE VODE	ZMANJŠANJE RABE ELEKTRIČNE ENERGIJE	PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE	DODATNI UKREPI CELOSTNE PRENOVE
[Abouaiana, 2023]	+	+		+		+	
[Alrasheed, 2023]	+						+
[Amirifard, 2019]	+						
[Brunoro, 2024]	+						
[Hamid, 2018]	+	+	+	+	+	+	+
[Heidari, 2023]	+	+	+		+		
[Kamel, 2022]	+				+		+
[Oropeza-Perez, 2018]	+		+		+		
[Pombo, 2016]	+	+	+	+	+	+	
[Weerasinghe, 2024]	+	+	+	+	+	+	

Preglednica 3. Analiza ključnih virov, ki prikazuje vključenost različnih skupin pristopov in ukrepov prenove glede na »Dolgoročno strategijo za spodbujanje naložb energetske prenove stavb« [DSEPS, 2015]).

Vse izmed vključenih študij se ukvarjajo z različnimi ukrepi na ravni stavbnega ovoja. Pri tem prednjačita ukrepa dodatna toplotna izolacija na toplotnem ovoju stavbe ter zamenjava stavbnega pohištva, gradnja brez toplotnih mostov in visoka zrakotesnost ovoja. V veliki meri so zastopani tudi ukrepi na ogrevalnih in prezračevalnih sistemih ter sistemih za manj-

šanje rabe električne energije, kamor spada tudi energetska učinkovita osvetlitev ipd. V najmanjši meri so zastopani ukrepi iz skupine dodatnih ukrepov celostne prenove, ki v redkih primerih vključujejo rastlinstvo na stavbi ali v okolici stavbe, razširitve stavbe (dodajanje vetrolovov, dvoslojne fasade (DSF)) ali alternativne ekološke sisteme (npr. sistemi za zbiranje deževnice). Večina izmed študij vključuje ukrepe iz različnih skupin, kar nakazuje na pomembnost celostne oziroma celovite prenove stavb ne le z vidika energijske učinkovitosti, ampak tudi z vidikov drugih vplivov na okolje, kakovosti notranjega bivalnega ugodja, ekonomske učinkovitosti ipd.

5 PASIVNE STRATEGIJE ENERGIJSKO UČINKOVITEGA NAČRTOVANJA STAVB, KI SE LAHKO UPORABIJO PRI PRENOVAH OBSTOJEČIH STAVB

Nekatere pasivne strategije energijsko učinkovitega načrtovanja stavb je mogoče uporabiti tudi pri prenovah obstoječih energijsko neučinkovitih stavb, zato je v nadaljevanju prikazana analiza primernosti predhodno predstavljenih strategij in ukrepov načrtovanja energijsko učinkovitih stavb za energijsko prenovo stavb glede na zastopanost v predhodno analizirani literaturi ter za različne vrste prenov iz poglavja 4.

ukrepi strategije zadrževanja toplote, ampak med vsem ukrepi energijske prenove. V pregledani literaturi jih obravnava kar 9 izmed 10 obravnavanih preglednih študij. Med njimi so najbolj raziskani dodajanje toplotne izolacije na različne dele toplotnega ovoja, zamenjava stavbnega pohištva, pa tudi izboljšanje zrakotesnosti. Navedeni ukrepi so primerni za skoraj vse obravnavane vrste prenove z izjemo obsežne, ki se nanaša predvsem na napeljave.

Uporabljeni so tudi ukrepi, ki so sicer vezani na obliko stavbe (dodajanje vetrolovov, dvoslojnih fasad), vendar pogosto ne z namenom spreminjanja faktorja oblike stavbe (F_o), ampak za zagotavljanje dodatnih funkcij, kar je povezano predvsem s širšo in celostno vrsto prenove. Primer spreminjanja oblike stavbe bi bil npr. dograditev oz. nadgradnja stavbe (kot npr. primeri v študijah [Špegelj, 2017], [Aparicio-Gonzalez, 2020], [Shahi, 2021], [Lešnik Nedelko, 2024]). Podobno velja za ukrep razporeditve notranjih prostorov, ki ni bil zaznan v nobenem izmed pregledanih virov.

Izmed ukrepov strategije sprejemanja toplote so najbolj raziskani ukrepi zasnove ter orientacije in velikosti zasteklitve, pri čemer prednjači predvsem najbolj tradicionalen (in glede na posamezne vire tudi najučinkovitejši) ukrep zamenjave stavbnega pohištva. Velikost in razporeditev zastekljenih površin je mogoče optimirati in s tem omogočiti optimalne toplotne

BIOKLIMATSKA STRATEGIJA	UKREP BIOKLIMATSKE STRATEGIJE			
	UKREP BIOKLIMATSKE STRATEGIJE	ZASTOPANOST V VIRIH	OBRAVNAVANI UKREPI	VRSTA PRENOVE
STRATEGIJA ZADRŽEVANJA TOPLOTE	Oblika stavbe	[Amirifard, 2019], [Brunoro, 2024], [Hamid, 2018], [Kamel, 2022]	Dvoslojne fasade (DSF), Vetrolovi, Arhitekturne spremembe stavbe	Širša Celostna
	Zasnova toplotnega ovoja stavbe	[Abouaiana, 2023], [Alrasheed, 2023], [Amirifard, 2019], [Brunoro, 2024], [Hamid, 2018], [Heidari, 2023], [Kamel, 2022], [Pombo, 2016], [Weerasinghe, 2024]	Uporaba toplotnih izolacij, Izboljšanje zrakotesnosti (zatesnitev netesnih mest, uporaba zrakotesnih materialov), Preprečevanje toplotnih mostov, Nadzor prehoda vodne pare (pravilna uporaba parnih zapor ali ovir in paroprepustnih slojev)	Standardna Delna Postopna Večja, manjša, srednja, temeljita Celovita Celostna
	Razporeditev notranjih prostorov	/	/	Širša Celostna

Preglednica 4. Analiza primernosti ukrepov strategije za zadrževanje toplote za uporabo pri energijskih prenovah stavb.

Za zmanjšanje transmisijskih toplotnih izgub (Q_t) in prezračevalnih toplotnih izgub (Q_v) je prenova toplotnega ovoja stavbe običajno ključni ukrep pri izvajanju energijsko učinkovite prenove stavb. Kot je bilo že predhodno ugotovljeno, je tudi iz zgornje analize razvidno, da so ukrepi, vezani na zasnovo toplotnega ovoja stavbe, med najbolj zastopanimi ne le med

dobitke, ne da bi se pri tem povečalo pregrevanje. Ukrep je primeren za vse tipe prenov z izjemo obsežne, ki se nanaša predvsem na napeljave. Dobro raziskani so tudi ukrepi, vezani na sončno ogrevanje, ki so povezani tako z zasnovo in razporeditvijo zasteklitve kot tudi s shranjevanjem toplote s pomočjo termične mase.

BIOKLIMATSKA STRATEGIJA	UKREP BIOKLIMATSKE STRATEGIJE	ZASTOPANOST V VIRIH	OBRAVNAVANI UKREPI	VRSTA PRENOVE
STRATEGIJA SPREJEMANJA TOPLOTE	Shranjevanje toplote s pomočjo termične mase	[Alrasheed, 2023], [Amirifard, 2019], [Brunoro, 2024], [Kamel, 2022], [Oropeza-Perez, 2018]	Fazno spremenljivi materiali, Aerogeli, *Delno tudi ukrepi, vezani na solarno ogrevanje	Širša Temeljita Celostna
	Orientacija in razporeditev notranjih prostorov	/	/	Širša Celostna
	Sončno ogrevanje	[Amirifard, 2019], [Brunoro, 2024], [Kamel, 2022],	Uporabijo se lahko direktna (dobitki sončnega obsevanja in naravna osvetlitev skozi transparentne dele ovoja) ali indirektna sončna energija (uporaba dvoslojnih fasad (DSF), zimskih vrtov, Trombe – Michelov zid, ipd.)	Delna Postopna Širša Večja Manjša Srednja Temeljita Celostna
	Zasnova, orientacija in velikost zasteklitve	[Amirifard, 2019], [Brunoro, 2024], [Pombo, 2016], [Weerasinghe, 2024]	Vgradnja visokoenergijsko učinkovitega stavbnega pohištva (pomembne lastnosti delov stavbnega pohištva in način vgradnje), Velikost in razporeditev zasteklitve (AGAW)	Standardna Delna Postopna Večja Manjša Srednja Temeljita Celovita Celostna

Preglednica 5. Analiza primernosti ukrepov strategije sprejemanja toplote za uporabo pri energijskih prenovah stavb.

Podobno kot pri strategiji zadrževanja toplote v literaturi ni zaslediti ukrepov, vezanih na orientacijo in razporeditev notranjih prostorov, ki bi lahko potencialno bili vključeni v širšo in celostno prenovu stavb. Orientacije stavbe namreč ni mogoče spremeniti, razen če se stavba dogradi (sprememba oblike je vključena v strategijo zadrževanja toplote). Razporeditev pro-

storov se lahko do določene mere spremeni, če se izvede funkcionalna prenova, ki bistveno spremeni tloris stavbe. To običajno vključuje tudi strukturno prenovu stavbe.

Izmed ukrepov strategije za preprečevanje pregrevanja je najbolj raziskan ukrep senčenje, kjer se za najučinkovitejša izka-

BIOKLIMATSKA STRATEGIJA	UKREP BIOKLIMATSKE STRATEGIJE	ZASTOPANOST V VIRIH	OBRAVNAVANI UKREPI	VRSTA PRENOVE
STRATEGIJA PREPREČEVANJA PREGREVANJA	Senčenje	[Alrasheed, 2023], [Amirifard, 2019], [Brunoro, 2024], [Hamid, 2018], [Kamel, 2022], [Oropeza-Perez, 2018], [Pombo, 2016], [Weerasinghe, 2024]	Razne vrste senčil (najbolj učinkovita so zunanja senčila), Orientacija in oblika stavbe	Standardna Delna Postopna Večja Manjša Srednja Temeljita Celovita Celostna

STRATEGIJA PREPREČEVANJA PREGREVANJA	Zasteklitve z nadzorom sončnega sevanja	[Kamel, 2022], [Oropeza-Perez, 2018]	Solarni ali spektralno selektivni nanosi na steklu, Inteligentne fasade (spreminjajo svoje lastnosti glede na zunanje in notranje pogoje)	Delna Postopna Večja Manjša Srednja Temeljita Celostna
	Hladne strehe in fasade	[Alrasheed, 2023], [Heidari, 2023], [Kamel, 2022], [Oropeza-Perez, 2018], [Weerasinghe, 2024]	t. i. hladni (visoko reflektivni) premazi na fasadah in strehah	Delna Postopna Večja Manjša Srednja Temeljita Celostna

Preglednica 6. Analiza primernosti ukrepov strategije preprečevanja pregrevanja za uporabo pri energijskih prenovah stavb.

žejo zunanja senčila. Če senčenja ni mogoče urediti drugače, lahko ob prenovi zastekljenih površin uporabimo tudi zasteklitve s t. i. solarnimi nanosi, ki pa so manj učinkoviti od ostalih načinov senčenja in je pri njihovi uporabi potrebna previdnost, saj lahko bistveno zmanjšajo prepustnost zasteklitve za vidno svetlobo. Dodatna kategorija so t. i. inteligentne fasade, ki imajo še druge funkcije (prezračevanje, pridobivanje električne energije itd.). Njihova uporaba za prenove stavb je sicer prepoznana, ni pa obširneje raziskana. Navedeni so tudi primeri

uporabe hladnih streh. Vse tri ukrepe je možno uporabiti pri večini vrst prenov z izjemo obsežne, ki se nanaša predvsem na napeljave.

Izmed ukrepov strategije odvajanja toplote je najpogostejše obravnavan ukrep naravno prezračevanje. Nekateri načini naravnega prezračevanja so manj primerni za prenovo večjih stavb (podzemni izmenjevalniki toplote, vetrni in sončni stolpi). Vendar so drugi zelo primerni za povečanje prezračevalnih

BIOKLIMATSKA STRATEGIJA				
	UKREP BIOKLIMATSKE STRATEGIJE	ZASTOPANOST V VIRIH	OBRAVNAVANI UKREPI	VRSTA PRENOVE
STRATEGIJA ODVAJANJA TOPLOTE	Naravno prezračevanje	[Abouaiana, 2023], [Alrasheed, 2023], [Amirifard, 2019], [Brunoro, 2024], [Oropeza-Perez, 2018]	Nočno prezračevanje, Učinek dimnika, Ventilacija za ugodje (comfort ventilation), Sončni in vetrni stolpi (za vroča podnebja), Inteligentne in dvoslojne fasade	Standardna Delna Postopna Večja Manjša Srednja Temeljita Celovita Celostna
	Evaporativna izmenjava toplote	[Alrasheed, 2023], [Kamel, 2022], [Oropeza-Perez, 2018], [Weerasinghe, 2024]	Ozelenitev streh in fasad, Vodnjaki, fontane, bazeni, Sistemi za pršenje vode ipd.	Delna Postopna Večja Manjša Srednja Temeljita Celostna
	Radiacijska izmenjava toplote	[Kamel, 2022] [Oropeza-Perez, 2018],	Zelene strehe, Hladne strehe	Delna Postopna Večja Manjša Srednja Temeljita Celostna

Preglednica 7. Analiza primernosti ukrepov strategije odvajanja toplote za uporabo pri energijskih prenovah stavb.

izgub in s tem uravnavanja toplotnega ugodja v času hladilne sezone (npr. prečno prezračevanje, učinek dimnika, nočno prezračevanje). Ukrep je možno uporabiti pri večini vrst prenov z izjemo obsežne, ki se nanaša predvsem na napeljave.

Druga dva ukrepa (evaporativna in radiacijska izmenjava toplote), ki vključujeta zelene strehe in fasade, razne vodne elemente ter hladne strehe, sta manj pogosto obravnavana v pregledani literaturi in zato sklepamo, da sta težje vključujoča v prenovi stavb. Razlog je morda tudi v lastnostih okolice stavbe, ki mora omogočiti postavitev vodnih elementov (evaporativna izmenjava toplote), oziroma v uporabi toplotnih izolacij (radiacijska izmenjava toplote), ki preprečujejo prenos akumulirane toplote nazaj v okolje.

6 SKLEP

Potencial prenov stavb pri zmanjševanju rabe energije in s tem vplivov stavbnega fonda na okolje je že splošno prepoznano. Izmed nabora pristopov in ukrepov, ki so predlagani v smernicah in so običajno vključeni v energijsko učinkovito prenovi stavb, je zaznati poudarek predvsem na omejenem izboru ukrepov, vezanih na toplotni ovoj stavb, ter na tehničnih ukrepih (uporaba aktivnih tehničnih sistemov). Zato je cilj te študije najprej identifikacija različnih pasivnih strategij energijsko učinkovitega načrtovanja stavb. Identificirane so bile 4 kategorije bioklimatskih strategij (strategija za zadrževanje toplote, strategija sprejemanja toplote, strategija preprečevanja pregrevanja, strategija odvajanja toplote), znotraj katerih so bili podani in opisani najznačilnejši ukrepi.

Nadalje je cilj študije tudi pregled in analiza že obstoječe pregledne literature na temo energijsko učinkovite prenov stavb. Ugotovili smo, da je nabor literature zelo obsežen in vključuje tudi teme, kot so sistemi za certificiranje prenov stavb, spomeniško zaščitene (historične) stavbe, tehnični sistemi za ogrevanje, hlajenje ter prezračevanje, obnašanje uporabnikov, oblikovanje smernic, ocenjevanje celotnega življenjskega cikla stavb, ocenjevanje in razvoj orodij za podporo pri odločanju, programska podpora za ocenjevanje prenov, optimizacija prenov, konstrukcijski (pretežno potresni) vidik prenov ipd., ki niso bili vključeni v obravnavo znotraj tega prispevka. Izbrane in nadalje analizirane so študije, ki vključujejo različne pasivne pristope in ukrepe, ki so razvrščene glede na identificirane skupine pristopov in ukrepov iz smernic. Večina izmed vključenih študij se ukvarja z različnimi ukrepi na ravni stavbnega ovoja. Pri tem prednjačita ukrepa dodatna toplotna izolacija na toplotnem oboju stavbe ter zamenjava stavbnega pohištva, gradnja brez toplotnih mostov in visoka zrakotesnost ovoja. Pogosto so vključeni tudi ukrepi na tehničnih sistemih za ogrevanje, hlajenje ter prezračevanje ter sistemih za manjšanje rabe električne energije, v najmanjši meri so zastopani ukrepi iz skupine dodatnih ukrepov celostne prenov, ki v redkih primerih vključujejo rastlinstvo na stavbi ali v okolici stavbe, razširitve stavbe (dodajanje vetrolovov, dvoslojne fasade (DSF)) ali alternativne ekološke sisteme (npr. sistemi za zbiranje deževnice).

Nazadnje je bila opravljena analiza primernosti identificiranih pasivnih (bioklimatskih) strategij in ukrepov energijsko učinkovitega načrtovanja stavb za prenovi obstoječih stavb glede na zastopanost v predhodno analizirani literaturi ter za različne vrste prenov. Ukrepi, vezani na zasnovo toplotnega ovoja stav-

be, so med najbolj zastopanimi ne le med ukrepi strategije zadrževanja toplote, ampak med vsem ukrepi energijske prenov. Med njimi so najbolj raziskani dodajanje toplotne izolacije na različne dele toplotnega ovoja, zamenjava stavbnega pohištva pa tudi izboljšanje zrakotesnosti. Izmed ukrepov strategije sprejemanja toplote so najbolj raziskani ukrepi zasnove ter orientacije in velikosti zasteklitve, pri čemer prednjači predvsem najbolj tradicionalen (in glede na posamezne vire tudi najučinkovitejši) ukrep zamenjave stavbnega pohištva. Dobro raziskani so tudi ukrepi, vezani na sončno ogrevanje, ki so povezani tako z zasnovo in razporeditvijo zasteklitve kot tudi s shranjevanjem toplote s pomočjo termične mase. Zaradi postopnega višanja temperatur kot posledica globalnega segrevanja ozračja je potreben vse večji poudarek na zasnovi in prenovi obstoječih stavb za zmanjševanje pregrevanja in potrebne energije za hlajenje stavb ter s tem povečanjem bivalnega ugodja v stavbah. Izmed ukrepov strategije za preprečevanje pregrevanja je najbolj raziskan ukrep senčenja, kjer se za najučinkovitejša izkažejo zunanja senčila. Izmed ukrepov strategije odvajanja toplote je najpogostejše obravnavan ukrep naravnega prezračevanja. Navedeni ukrepi so primerni za skoraj vse obravnavane vrste prenov z izjemo obsežne, ki se nanaša predvsem na napeljave.

Med slabše obravnavane ali sploh neobravnavane ukrepe lahko uvrstimo vpliv oblike stavbe (strategija zadrževanja toplote), razporeditev notranjih prostorov (strategija zadrževanja in sprejemanja toplote), hladne strehe in fasade ter inteligentne fasade (strategija preprečevanja pregrevanja), evaporativno in radiacijsko izmenjavo toplote (strategija odvajanja toplote). Navedeni ukrepi pogosto spadajo v širše in celovite vrste prenov, saj ne vplivajo le na energijsko učinkovitost stavbe, ampak tudi na druge vidike: trajnostnosti (vplivi na okolje, notranje bivalno ugodje), funkcionalni ter vizualni vidik prenov. Naveden je lahko delno vzrok njihove slabše zastopanosti v znanstveni literaturi in ne nujno posledica njihove neprimernosti za prenovi obstoječih energijsko neučinkovitih stavb. Vpliv omenjenih ukrepov bi bilo zato smiselno nadalje raziskati.

Rezultati študije lahko služijo raziskovalcem pri identifikaciji raziskovalnih vrzeli. Prav tako lahko služijo arhitektom, gradbenikom ter lastnikom nepremičnin, saj osvetljujejo dodatne, manj tradicionalne možnosti pri prenovah obstoječih energijsko neučinkovitih stavb.

7 UPORABLJENI SIMBOLI IN OKRAJŠAVE

AGAF	povprečno razmerje med površinami zasteklitev in tlorisno površino stavbe [%]
AGAR	povprečno razmerje med površinami zasteklitev in površinami strehe [%]
AGAW	povprečno razmerje med površinami zasteklitev in površinami zidov [%]
CO ₂	ogljikov dioksid (v smislu emisij toplogrednih plinov)
DSF	dvoslojne fasade
EPC	energijska izkaznica stavbe (Energy Performance Certificate)
EU	Evropska unija

F_o	faktor oblike [m_{-1}]
g	koeficient prepustnosti celotne sončne energije [%]
LCA	analiza življenjskega cikla (Life Cycle Assessment)
LCC	analiza vseživljenjskih stroškov (Life-cycle costing)
LT	prepustnosti zasteklitve za svetlobo [%]
Q_t	transmisijske toplotne izgube [kWh]
Q_v	prezračevalne toplotne izgube [kWh]
RLM	seznam priporočenih ukrepov (Recommendation List of Measures)
U	koeficient toplotne prehodnosti [W/m^2K]
U_g	toplotna prehodnost izolacijske zasteklitve [W/m^2K]
WoS	raziskovalna baza podatkov Web of Science
λ	koeficient toplotne prevodnosti [W/mK]
ZDA	Združene države Amerike

8 LITERATURA

Abouaiana, A., Battisti, A., Insights and Evidence on Energy Retrofitting Practices in Rural Areas: Systematic Literature Review (2012–2023), *Buildings*, 13, 1586, 2023.

Ademovic, N., Formisano, A., Penazzato, L., Oliveira, D. V., Seismic and energy integrated retrofit of buildings: A critical review, *Frontiers in Built Environment*, 8, 963337, 2022.

Alayed, E., Bensaid, D., O'Hegarty, R., Kinnane, O., Thermal Mass Impact on Energy Consumption for Buildings in Hot Climates: A Novel Finite Element Modelling Study Comparing Building Constructions for Arid Climates in Saudi Arabia, *Energy and Buildings*, 271, 112324, 2022.

Alrasheed, M., Mourshed, M., Domestic overheating risks and mitigation strategies: The state-of-the-art and directions for future research, *Indoor and Built Environment*, 32(6), 1057–1077, 2023.

Al-Yasiri, Q., Szabo, M., A short review on passive strategies applied to minimise the building cooling loads in hot locations, *Analecta Technica Szegedinensia*, 15(2), 20–30, 2021.

Amirifard, F., Sharif, S. A., Nasiri, F., Application of passive measures for energy conservation in buildings – a review, *Advances in Building Energy Research*, 283, 2019.

Aparicio-Gonzalez, E., Domingo-Irigoyen, S., Sánchez-Ostiz, A., Rooftop extension as a solution to reach nZEB in building renovation. Application through typology classification at a neighborhood level, *Sustainable Cities and Society*, 57, 102109, 2020.

Bruno, S., De Fino, M., Fatiguso, F., Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-ai-

ded information modelling and management, *Automation in Construction*, 86, 256–276, 2018.

Brunoro, S., Passive Envelope Measures for Improving Energy Efficiency in the Energy Retrofit of Buildings in Italy, *Buildings*, 14, 2128, 2024.

Buonomo, B., Golia, M. R., O. Manca, Nardini, S., A review on thermal energy storage with phase change materials enhanced by metal foams, *Thermal Science and Engineering Progress*, 53, 102732, 2024.

Costa-Carrapiço, I., Raslan, R., Neila González, J., A systematic review of genetic algorithm-based multi-objective optimisation for building retrofitting strategies towards energy efficiency, *Energy and Buildings*, 210, 109690, 2020.

Dmytro, K., Maryna B., Mykola, S., Michael S., The main insulation parameters for the design of nzeb from biosourced materials, *Construction materials science mechanical engineering*, 99,7, 2017.

DSEPS, Dolgoročna Strategija Za Spodbujanje Naložb Energetske Prenove Stavb, Ministrstvo za infrastrukturo, Direktorat za energijo, 2015.

DSEPS 2050, Dolgoročna Strategija Energetske Prenove Stavb Do Leta 2050, Ministrstvo za infrastrukturo, Direktorat za energijo, 2021.

El Saied, A., Maalouf, C., Bejat, T., Wurtz, E., Slab-on-grade thermal bridges: A thermal behavior and solution review, *Energy and Buildings*, 257, 111770, 2022.

Fawaier, M., Bokor, B., Dynamic insulation systems of building envelopes: A review, *Energy and Buildings*, 270, 112268, 2022.

Foruzan Nia, M., Gandjalikhan Nassab, S.A., Ansari, A.B., Transient numerical simulation of multiplepane windows filling with radiating gas, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 108, 104291, 2019.

Ganesh, G. A., Sinha, S. L., Verma, T. N., Dewangan, S. K., Energy consumption and thermal comfort assessment using CFD in a naturally ventilated indoor environment under different ventilations, *Thermal Science and Engineering Progress*, 50, 102557, 2024.

Georgescu, E. S., Georgescu, M. S., Macri, Z., Marino, E. M., Margani, G., Meita, V., Pana, R., Cascone, S. M., Petran, H., Rossi, P. P., Sapienza, V., Voica, M., Seismic and Energy Renovation: A Review of the Code Requirements and Solutions in Italy and Romania, *Sustainability*, 10(5), 2018.

Goldberg, L. F., Mosiman, G. E., High-Performance Slab-on-Grade Foundation Insulation Retrofits, The National Renewable Energy Laboratory, 2015.

Gonzalez-Caceres, A., Diaz, M., Usability of the EPCTools for the Profitability Calculation of a Retrofitting in a Residential Building, Sustainability, 10, 3159, 2018.

Gou, S., Nik, V. M., Scartezzini, J. L., Zhao, Q., Li, Z., Passive design optimization of newly-built residential buildings in Shanghai for improving indoor thermal comfort while reducing building energy demand, Energy and Buildings, 169, 484–506, 2018.

Hamid, A., Farsäter, K., Wahlström, Å., Wallentén, P., Literature review on renovation of multifamily buildings in temperate climate conditions, Energy and Buildings, 172, 414–431, 2018.

Heidari, A., Olivieri, F., Qualitative and Quantitative Scientometric Analysis of Bioclimatic Retrofitting in Commercial Buildings from 2008 to 2022, Buildings, 13, 2177, 2023.

Hermelink, A., Schimschar, S., Offermann, M., John, A., Reiser, M., Pohl, A., Grözinger, J., Esser, A., Dunne, A., Meeusen, T., Quaschnig, S., and Wegge, D., Comprehensive Study of Building Energy Renovation Activities and the Uptake of Nearly Zero-Energy Buildings in the EU, Končno poročilo, Evropska komisija, Direktorat za energijo, 2019.

Hurst, L. J., O'Donovan, T. S., A review of the limitations of life cycle energy analysis for the design of fabric first low-energy domestic retrofits, Energy and Buildings, 203, 109447, 2019.

IEA, Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach, Report, IEA, Paris, <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>, 2023.

Iralde, N. S. I., Pascual, J., Salom, J., Energy retrofit of residential building clusters. A literature review of crossover recommended measures, policies instruments and allocated funds in Spain, Energy and Buildings, 252, 111409, 2021.

Jaffe, S. B., Fleming, R., Karlen, M. and Roberts, S. H., Sustainable Design Basics, Wiley, 2020.

Kamel, E., Memari, A. M., Residential Building Envelope Energy Retrofit Methods, Simulation Tools, and Example Projects: A Review of the Literature, Buildings, 12, 954, 2022.

Karanafti, A., Theodosiou, T., Tsikaloudaki, K., Assessment of buildings' dynamic thermal insulation technologies-A review, Applied Energy 326; 119985, 2022.

Kempton, L., Daly, D., Kokogiannakis, G., Dewsbury, M., A rapid review of the impact of increasing airtightness on indoor air quality, Journal of Building Engineering, 57, 104798, 2022.

Košir, M., Climate Adaptability of Buildings: Bioclimatic Design in the Light of Climate Change, Springer International Publishing, 2019.

Krajčik, M., Arici, M., Ma, Z. J., Trends in research of heating, ventilation and air conditioning and hot water systems in building retrofits: Integration of review studies, Journal of Building Engineering, 76, 107426, 2023.

Lešnik Nedelko, M., Razvoj metodologije za ocenjevanje energijske učinkovitosti prenove stavb z uporabo lesenosteklenih modulov nadgradnje, doktorska disertacija, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, 2024.

Lešnik, M., Kravanja, S., Premrov, M., Žegarac Leskovar V., Optimal design of timber-glass upgrade modules for vertical building extension from the viewpoints of energy efficiency and visual comfort, Applied Energy, 270, 115173, 2020.

Levinson, R., Akbari, H., Potential benefits of cool roofs on commercial buildings: Conserving energy, saving money, and reducing emission of greenhouse gases and air pollutants, Energy Efficiency, 3, 53–109, 2009.

Li, B. Y., Pan, Y. Q., Li, L. X., Kong, M. S., Life Cycle Carbon Emission Assessment of Building Refurbishment: A Case Study of Zero-Carbon Pavilion in Shanghai Yangpu Riverside, Applied Sciences, 12(19), 9989, 2022.

Li, Y. L., Du, H., Kumaraswamy, S. B., Case-based reasoning approach for decision-making in building retrofit: A review, Building and Environment, 248, 111030, 2024.

Liu, G., Tan, Y. T., Huang, Z. J., Knowledge Mapping of Homeowners' Retrofit Behaviors: An Integrative Exploration, Buildings, 11(7), 273, 2021.

Mahtani, P., Leong, K. R., Xiao, I., Chutinan, A., Kherani, N. P., Zukotynski, S., Diamond-like carbon based low-emissive coatings, Solar Energy Materials & Solar Cells, 95, 1630–1637, 2011.

Malomo, D., Xie, Y., Doudak, G., Unified life-cycle cost-benefit analysis framework and critical review for sustainable retrofit of Canada's existing buildings using mass timber, Canadian Journal of Civil Engineering, 51(7), 687–703, 2024.

Marincioni, V., Gori, V., Hansen, E. J. D., Herrera-Avellanosa, D., Mauri, S., Giancola, E., Egusquiza, A., Buda, A., Leonardi, E., Rieser, A., How Can Scientific Literature Support Decision-Making in the Renovation of Historic Buildings? An Evidence-Based Approach for Improving the Performance of Walls, Sustainability, 13(4), 2266, 2021.

Mirabella, N., Röck, M., Saade, M. R. M., Spirinckx, C., Bosmans, M., Allacker, K., Passer, A., Strategies to Improve the Energy Performance of Buildings: A Review of Their Life Cycle Impact, Buildings, 8(8), 105, 2018.

Okakpu, A., Chaffarian Hoseini, A., Tookey, J., Haar, J., Chaffarian hoseini, A., Rehman, A., A proposed framework to investigate effective BIM adoption for refurbishment of build-

ding projects, *Architectural Science Review*, 61(6), 467–479, 2018.

Oropeza-Perez, I., Østergaard, P. A., Active and passive cooling methods for dwellings: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, 531–544, 2018.

Panakaduwa, C., Coates, P., Munir, M., Identifying sustainable retrofit challenges of historical Buildings: A systematic review, *Energy and Buildings*, 313, 114226, 2024.

Penazzato, L., Illampas, R., Oliveira, D. V., Hygrothermal Behavior of Cultural Heritage Buildings and Climate Change: Status and Main Challenges, *Applied Sciences*, 13(6), 3445, 2024.

Pohoryles, D. A., Bournas, D. A., Da Porto, F., Caprino, A., Santarsiero, G., Triantafyllou, T., Integrated seismic and energy retrofitting of existing buildings: A state-of-the-art review, *Journal of Building Engineering*, 61, 105274, 2022.

Pombo, O., Rivela, B., Neila, J., The challenge of sustainable building renovation: assessment of current criteria and future outlook, *Journal of Cleaner Production*, 123, 88–100, 2016.

Posani, M., Veiga, M. D., De Freitas, V. P., Towards Resilience and Sustainability for Historic Buildings: A Review of Envelope Retrofit Possibilities and a Discussion on Hygric Compatibility of Thermal Insulations, *International Journal of Architectural Heritage*, 15(5), 807–823, 2021.

Seddiki, M., Bennadji, A., Laing, R., Gray, D., Alabid, J. M., Review of Existing Energy Retrofit Decision Tools for Homeowners, *Sustainability*, 13(18), 10189, 2021.

Sesana, M. M., Rivallain, M., Salvalai, G., Overview of the Available Knowledge for the Data Model Definition of a Building Renovation Passport for Non-Residential Buildings: The ALDREN Project Experience, *Sustainability*, 12(2), 642, 2020.

Shahi, S., Wozniczka, P., Rausch, C., Trudeau I., Haas, C., A computational methodology for generating modular design options for building extensions, *Automation in Construction*, 127, 103700, 2021.

Streimikiene, D., Balezentis, T., Innovative Policy Schemes to Promote Renovation of Multi-Flat Residential Buildings and Address the Problems of Energy Poverty of Aging Societies in Former Socialist Countries, *Sustainability*, 11(7), 2015, 2019.

Szokolay, S. V., Introduction to Architectural Science : The Basis of Sustainable Design, Elsevier; Architectural Press, 2010.

Špegelj, T., Premrov, M., Žegarac Leskovar, V., Development of the timber-glass upgrade module for the purpose of its

installation on energy-inefficient buildings in the refurbishment process, *Energy Efficiency*, 10(4), 973–988, 2017.

Tao, Y. B., Liu, Y. K., He, Y. L., Effect of carbon nanomaterial on latent heat storage performance of carbonate salts in horizontal concentric tube, *Energy*, 185, 994–1004, 2019.

Vilches, A., Garcia-Martinez, A., Sanchez-Montañes, B., Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review, *Energy and Buildings*, 135, 286–301, 2017.

Villalba, P., Sánchez-Garrido, A. J., Yepes, V., A review of multi-criteria decision-making methods for building assessment, selection, and retrofit, *Journal of Civil Engineering and Management*, 30(5), 465–480, 2024.

Wang, R., Lu, S., Zhai, X., Feng, W., The energy performance and passive survivability of high thermal insulation buildings in future climate scenarios, *Building Simulation*, 15(7), 1209–1225, 2022.

Weerasinghe, L. N. K., Darko, A., Chan, A. P. C., Blay, K. B., Edwards, K. B., Measures, benefits, and challenges to retrofitting existing buildings to net zero carbon: A comprehensive review, *Journal of Building Engineering*, 94, 109998, 2024.

Xamán, J., Jiménez-Xamán, C., Álvarez, G., Zavala-Guillén, I., Hernández-Pérez, I., Aguilar, J.O., Thermal performance of a double pane window with a solar control coating for warm climate of Mexico, *Applied Thermal Engineering*, 106, 257–265, 2016.

Xie, X., Xu, B., Fei, Y., Chen, X., Pei, G., Ji, J., Passive energy-saving design strategy and realization on high window-wall ratio buildings in subtropical regions, *Renewable Energy*, 229, 120709, 2024.

Xu, J., Kim, J. H., Hong, H., Koo, J., A systematic approach for energy efficient building design factors optimization, *Energy and Buildings*, 89, 87–96, 2015.

Žegarac Leskovar, V., Premrov, M., *Energy-Efficient Timber-Glass Houses*, Springer Verlag, 2013.

Žegarac Leskovar, V., Premrov, M., *Integrative Approach to Comprehensive Building Renovations*, Springer, 2019.

ZGO-1 NPB-16, Zakon o graditvi objektov, neuradno prečiščeno besedilo št. 16, Uradni list RS, št. 102/04 – uradno prečiščeno besedilo, 14/05 – popr., 92/05 – ZJC-B, 93/05 – ZVMS, 111/05 – odl. US, 126/07, 108/09, 61/10 – ZRud-1, 20/11 – odl. US, 57/12, 101/13 – ZDavNepr, 110/13, 22/14 – odl. US, 19/15, 61/17 – GZ in 66/17 – odl. US, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, 2002.

Zheng, X., Cooper, E., Gillott, M., Wood, C., A practical review of alternatives to the steady pressurisation method for determining building airtightness, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 110049, 2020.