

Zgrade gotovo nulte energije

Dakić, Lorena

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:856888>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-23**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB**

**ZAVRŠNI RAD
ZGRADE GOTOVO NULTE
ENERGIJE**

Lorena Dakić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD
ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGIJE

Mentor:

doc. dr. sc. Nikolina Vezilić Strmo

Student:

Lorena Dakić

Zagreb, 2023.



TEMA ZAVRŠNOG ISPITA

Ime i prezime studenta: **Lorena Dakić**

JMBAG: **0082064112**

Završni ispit iz predmeta: **Visokogradnje**

Naslov teme
završnog ispita:

HR	Zgrade gotovo nulte energije
ENG	Nearly zero-energy buildings

Opis teme završnog ispita:

Rad se bavi istraživanjem zgrada gotovo nulte energije. Istražuje se njihov razvoj, primjenjeni materijali, tehnički sustavi, načini i uvjeti njihove izvedbe. Teoretske postavke istraživanja dodatno se obrađuju na primjerima izvedenih zgrada.

Datum: **17.04.2023.**

Komentor:
(Ime i prezime komentora)

Mentor: **doc.dr.sc.Nikolina Vezilić Strmo**

(Ime i prezime mentora)

N. Vezilić Strmo

(Potpis mentora)

Sažetak: Opća potreba za smanjenjem potrošnje energije u graditeljstvu se nastoji ostvariti projektiranjem zgrada gotovo nulte energije radi postizanja ciljeva Europske unije o klimatski neutralnoj Europi do 2050. godine. U radu najprije razmatramo zakonodavni okvir kojim su određeni zahtjevi za ostvarivanje željenog standarda kod zgrada novogradnje i onih u procesu rekonstrukcije. Zatim uvodimo osnovne principe projektiranja zgrada gotovo nulte energije s naglaskom na ulogu vanjske ovojnice zgrade, zrakonepropusnosti i tehničkih sustava zgrade (grijanja, hlađenja, mehaničke ventilacije i rekuperacije te LED rasvjete) u smanjenju potrošnje energije te postupke kojima bi se spriječile građevinske štete i postigla što veća energetska učinkovitost. Na primjerima projekata zgrada različitih namjena ukazujemo na ulogu nZEB standarda u smanjenju energetske ovisnosti i korištenju obnovljivih izvora energije.

Ključne riječi: zgrada gotovo nulte energije, energetska učinkovitost, obnovljivi izvori energije, principi projektiranja, tehnički sustavi

Summary: The general need to reduce energy consumption in construction is being achieved by designing almost zero-energy buildings to follow the European Union's goals for a climate-neutral Europe by 2050. In this paper, we first consider the legislative framework that determines the requirements of the standard for new constructions and those in the process of reconstruction. We introduce the basic principles of designing nearly zero-energy buildings with an emphasis on the role of the building envelope, air tightness, and the technical systems (heating, cooling, mechanical ventilation and recuperation, and LED lighting) in reducing energy consumption. We also consider the procedures to prevent building damage and achieve higher energy efficiency. Using examples of projects with buildings of various purposes, we point out the role of the nZEB standard in reducing energy dependence and the use of renewable energy sources.

Key words: nearly zero-energy building, energy efficiency, renewable energy sources, principles of designing, technical systems

SADRŽAJ

1. UVOD I ZAKONODAVNI OKVIR	1
1.1. Uvod	1
1.2. Zakonske odredbe	1
1.3. Zahtjevi nZEB-a	2
1.4. Zahtjevi nZEB-a pri procesu rekonstrukcije	5
2. OSNOVNI PRINCIPI PROJEKTIRANJA NZEB-a	5
2.1. Kyoto piramida	5
2.2. Toplinska ovojnica nZEB-a	6
2.3. Zrakonepropusnost omotača nZEB-a	12
2.4. Toplinski mostovi	14
2.5. Akumulacija topline kod energetski učinkovitih zgrada	16
2.6. Prozori kod nZEB-a	17
3. PROJEKTIRANJE TEHNIČKIH SUSTAVA	21
3.1. Općenito	21
3.2. Grijanje	21
3.2.1. Zidni grijači vode i kotlovi	21
3.2.2. Daljinsko grijanje	23
3.2.3. Dizalice topline	25
3.3. Hlađenje	26
3.4. Ostali oblici tehničkih sustava	26
4. PRIMJERI	28
4.1. Primjer 1	28
4.2. Primjer 2	32
4.3. Primjer 3	36
5. ZAKLJUČAK	39
6. LITERATURA	40

POPIS SLIKA

Slika 1. Kyoto piramida – ilustrirani prikaz koraka projektiranja nZEB-a [9].....	6
Slika 2. Utjecaji okoline na vanjsku ovojnici zgrade [10]	7
Slika 3. Slojevi vanjske ovojnice zida [10].....	7
Slika 4. Ugrađeni sloj kamene vune u vanjsku ovojnici zgrade i Slika 5. Prikaz izvedbe vanjske izolacije kamenom vunom.....	9
Slika 6. Pametni izolacijski materijali – aerogel i termobimetal	9
Slika 7. Detalj ugradnje aerogela pri izolaciji strehe kosog krova	10
Slika 8. Detalj ugradnje aerogela pri izolaciji ravnog krova	10
Slika 9. Detalj ugradnje aerogela pri izolaciji prozorskog okvira	11
Slika 10. Detalj ugradnje aerogela pri izolaciji kutije za rolete.....	11
Slika 11. RAL ugradnja stolarije primjenom ekspanzirajuće trake i Slika 12. Ekspanzirajuća traka – Terocomp 1000	12
Slika 13. Detalj izvedbe vanjske britve ugradnjom vodonepropusne, a paropropusne folije.....	13
Slika 14. Primjer izvedbe vanjske britve oko prozora i vrata.....	13
Slika 15. Mjerenje zrakopropusnosti i protoka topline IC termografijom.....	13
Slika 16. Štete na ovojnici kao posljedica loše kontrole prijenosa topline i vlage.....	14
Slika 17. Kako načini izvedbe izolacije vanjskih zidova utječu na pojavu toplinskih mostova.....	15
Slika 18. Točkasti, linijski, geometrijski i konstruktivni toplinski mostovi detektirani IC termografijom [13].....	15
Slika 19. Detalj pravilne izvedbe toplinske izolacije balkonske ploče za sprečavanje pojava toplinskih mostova	16
Slika 20. Prolaz topline kroz neizolirani zid, kroz vanjsku toplinsku izolaciju i kroz unutarnju toplinsku izolaciju	17
Slika 21. Prikaz vanjskih i unutarnjih utjecaja na prozorski element.....	18
Slika 22. Prikaz dvostrukog i trostrukog izo-stakla i Slika 23. Gubitak topline u dvostrukom izo-staklu.....	19
Slika 24. Usporedba toplinske provodljivosti u kombinacijama izo-stakla i low-e premaza.....	19
Slika 25. Sastavni dijelovi prozora s trostrukim izo-staklom	19
Slika 26. Prikaz izbora fasadnog ostakljenja u ostvarivanju estetskih zahtjeva građevine	20
Slika 27. Shematski prikaz sustava centralnog grijanja.....	22
Slika 28. Shematski prikaz sustava daljinskog grijanja kuće	23

Slika 29. Shematski prikaz razvoda sustava daljinskog grijanja do više objekata	23
Slika 30. Prikaz zgrade obrazovne ustanove na području kontinentalne Hrvatske [6]...	24
Slika 31. Sustav daljinskog grijanja u kombinaciji s fotonaponskim panelima [6].....	24
Slika 32. Tipovi toplinskih pumpi: zemlja-voda, zrak-voda, voda-voda.....	25
Slika 33. Grafički prikaz linijske LED rasvjete	27
Slika 34. Tlocrti i pogledi obiteljske kuće u okolici Zagreba [6]	28
Slika 35. Grafički prikaz pravilne izvedbe krovne izolacije.....	29
Slika 36. Shematski prikaz dizalice topline zrak-voda [6]	30
Slika 37. Shematski prikaz kotla na biomasu [6].....	31
Slika 38. Tlocrti i pogledi obiteljske kuće u okolici Splita [6].....	32
Slika 39. Grafički prikaz pravilne izvedbe krovne izolacije u sljemenu	33
Slika 40. Grafički prikaz pravilne izvedbe krovne izolacije u strehi krova.....	33
Slika 41. Shematski prikaz dizalice topline zrak-voda [6]	34
Slika 42. Shematski prikaz dizalice topline zrak-zrak i solarni sustav za PTV [6]	35
Slika 43. Tlocrt karakteristične etaže i pogledi višestambene zgrade u okolici Zagreba [6].....	36
Slika 44. Grafički prikaz izvedbe pravilne krovne izolacije ravnog krova (detalj strehe krova)	37
Slika 45. Shematski prikaz daljinskog grijanja [6]	38

POPIS TABLICA

Tablica 1. Promjena specifične potrebne energije za grijanje $Q_{H,nD}$ [kWh/(m ² ×a) i hlađenje $Q_{C,nD}$ [kWh/(m ² ×a) prostora ovisno o namjeni zgrade [6].....	3
Tablica 2. Potrošnja energije zgrade istih arhitektonsko-građevinskih karakteristika na različitim lokacijama [6]	3
Tablica 3. Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade i zgrade gotovo nulte energije, zgrade grijane i/ili hlađene na temperaturu 18 °C ili više [6].....	4
Tablica 4. Utjecaj arhitektonsko-građevinskih karakteristika na potrebnu energiju za grijanje [6].....	8
Tablica 5. Utjecaj mehaničke ventilacije na potrebnu specifičnu energiju za grijanje i hlađenje [6]	8

1. UVOD I ZAKONODAVNI OKVIR

1.1. Uvod

Procijenjeno je da su zgrade odgovorne za 40% ukupne potrošnje energije i 36% emisije CO₂ u Europskoj uniji. Zbog takvih zabrinjavajućih podataka zgradarstvo je obvezano smanjiti potrošnju energije i početi u većoj mjeri koristiti energiju iz obnovljivih izvora. Postavljenim novim kriterijima za gradnju nastoji se smanjiti emisija CO₂ do 95%, što uvelike doprinosi ostvarivanju ciljeva Europske unije o klimatski neutralnoj Europi do 2050. godine [1].

Zgradarstvo takvo rješenje realizira zgradama gotovo nulte energije (nZEB), koje ne samo da čine bitnu razliku u smanjenju energetske ovisnosti i emisiji stakleničkih plinova, nego i promiču značajan tehnološki razvoj. U ovom ćemo radu razmotriti principe projektiranja zgrade gotovo nulte energije, počevši od zakonodavnog okvira postavljenog od nadležnih europskih i državnih tijela koji ćemo prikazati u prvom dijelu. U drugom dijelu rada pružit ćemo uvid u projektiranje zgrada gotovo nulte energije, u trećem dijelu baviti ćemo se projektiranjem njihovih tehničkih sustava, a u četvrtom, završnom dijelu izdvojiti ćemo reprezentativne primjere projekata ovakvih zgrada.

1.2. Zakonske odredbe

Zakonskim djelovanjem na međunarodnoj, nacionalnoj i regionalnoj razini donesene su mjere kojima će se povećati energetska učinkovitost i smanjiti emisija stakleničkih plinova u Europskoj uniji. Direktivom 2010/31/EU Europskog parlamenta i Vijeća o energetske učinkovitosti zgrada uveden je pojam *zgrade gotovo nulte energije* (eng. *Nearly zero-energy building – nZEB*) koji predstavlja zgradu vrlo visoke energetske učinkovitosti. *Gotovo nulta* energija je energija vrlo niskih količina, a cilj je da minimalno 30% takve energije bude pokriveno energijom iz obnovljivih izvora koja se proizvodi na zgradi ili u njezinoj blizini [2][3].

Odredbama Direktive 2010/31/EU Europska unija naložila je svojim članicama da od 31. prosinca 2020. osiguraju da će gradnja svih novih zgrada poštovati zahtjeve zgrada gotovo nulte energije, dok je iste zahtjeve postavila novim zgradama u vlasništvu

javne vlasti od 31. prosinca 2018. [2]. U Republici Hrvatskoj zahtjevi za nZEB gradnju definirani su *Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* („Narodne novine“ broj 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 102/20) [4] (dalje u tekstu: Tehnički propis), te kasnije izdanim *Zakonom o izmjenama i dopunama Zakona o gradnji* („Narodne novine“ broj 125/19) (dalje u tekstu: ZID ZOG). Prema ZID ZOG zahtijevana je kontrola glavnog projekta o zadovoljenju nZEB standarda u trenutku predaje zahtjeva za izdavanje građevinske dozvole, tj. dok je zgrada još u procesu projektiranja. Time sve nove zgrade koje podnose zahtjev za izdavanje građevinske dozvole od 31. prosinca 2019. moraju biti projektirane zadovoljavajući nZEB standard, dok za glavne projekte zgrada u vlasništvu javne vlasti to isto vrijedi od 31. prosinca 2017. godine [5].

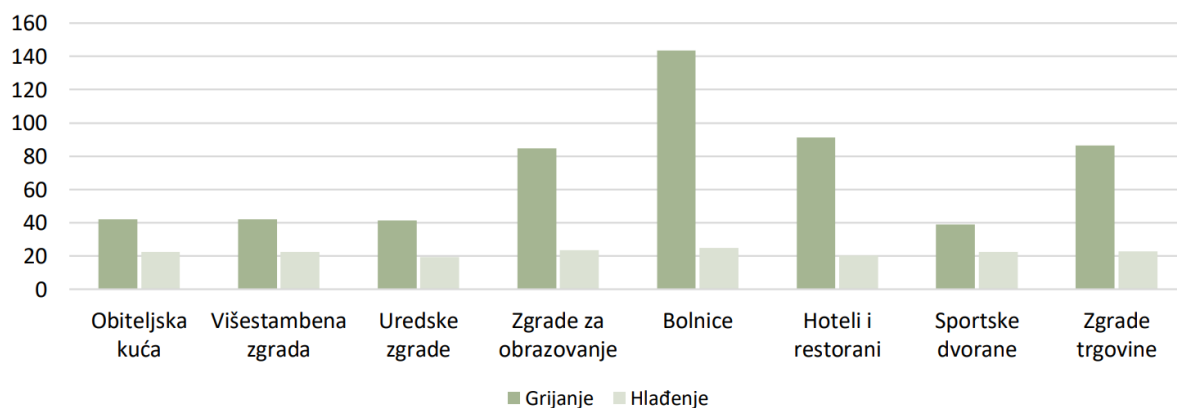
Direktiva o energetske učinkovitosti zgrada dopušta državama članicama da same definiraju minimalne zahtjeve za energetske učinkovitost novih zgrada i postojećih zgrada koje se podvrgavaju rekonstrukciji te to uspostavljaju prema vlastitim mogućnostima utvrđenim troškovno optimalnim analizama. Minimalni zahtjevi za energetske učinkovitost u Republici Hrvatskoj definirani su prema vrstama zgrada na području primorske i kontinentalne Hrvatske [6].

1.3. Zahtjevi nZEB-a

U svrhu zadovoljavanja standarda zgrade gotovo nulte energije Tehničkim propisom postavljeni su određeni zahtjevi koji su oblikovani prema vrsti zgrade, njezinoj lokaciji i faktoru oblika zgrade.

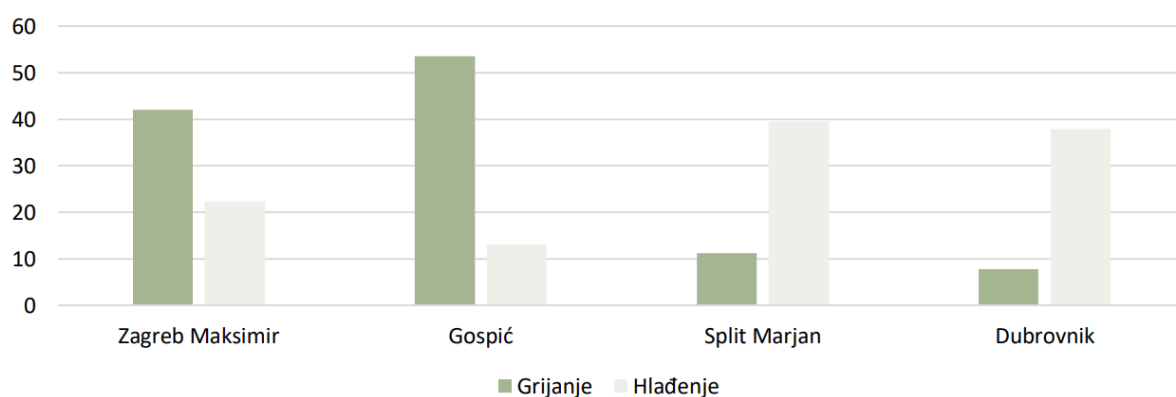
Ovisno o vrsti zgrade, zahtjeve za definiranje nZEB standarda dijelimo na one za obiteljske kuće, višestambene zgrade, uredske zgrade, zgrade za obrazovanje, zgrade za trgovine, hotele i restorane, bolnice, sportske dvorane i ostale nestambene zgrade. Sukladno namjeni zgrade određuje se režim korištenja, koji obuhvaća pojavu različitih procesa, svu potrebnu opremu i uređaje za funkcioniranje prostora, protok ljudi koji se ostvaruje u broju radnih dana i sati, te tehničke sustave koji odgovaraju potrebama korištenja zgrade. Vrsta tj. namjena zgrade određuje potrebnu energiju za grijanje i hlađenje prostora i potrebnu energiju ventilacijskih i klimatizacijskih sustava, koja se mijenja pri prenamjeni zgrade. Prema tabličnom prikazu ispod, primjećuje se razlika u potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje prostora, ovisno o namjeni zgrade [6].

Tablica 1. Promjena specifične potrebne energije za grijanje $Q^{H,nD}$ [$kWh/(m^2 \times a)$] i hlađenje $Q^{C,nD}$ [$kWh/(m^2 \times a)$] prostora ovisno o namjeni zgrade [6]



Prema istom izvoru, zahtjevi za projektiranje nZEB-a uvelike ovise i o prostornom smještaju, odnosno lokaciji. Lokacija pojedine zgrade može biti kontinentalni ili primorski prostor, o čemu uvelike odlučuje klima određenog podneblja. Područja na kojima su srednje mjesečne temperature vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca u godini $\leq 3^\circ\text{C}$ svrstavaju se pod kontinent, dok je primorje određeno srednjom mjesečnom temperaturom vanjskog zraka za najhladniji mjesec $> 3^\circ\text{C}$. Tablični prikaz ispod prikazuje razlike u potrošnji energije u zgradama istih arhitektonsko-građevinskih karakteristika, ovisno o lokacijama u različitim podnebljima.

Tablica 2. Potrošnja energije zgrade istih arhitektonsko-građevinskih karakteristika na različitim lokacijama [6]



Posljednje, prema članku 4. iz Tehničkog propisa količnik oplošja (ukupne površine ovojnice grijanog dijela zgrade), A [m^2] i obujma grijanog dijela zgrade, V [m^3] definira faktor oblika zgrade, $f_o = A/V$ [m^{-1}]. Pri smanjivanju površine ovojnice, u odnosu na obujam grijanog dijela zgrade postiže se manji faktor oblika, što predstavlja manje

gubitke topline. Time projektiranje većih i manje razvedenih zgrada vodi do manjih vrijednosti potrebne specifične energije za grijanje, $Q''_{H,nd}$ [kWh/(m²·a)] [6].

Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja u Smjernicama za zgrade gotovo nulte energije za stručnu zainteresiranu javnost navodi da su zahtjevi za zgradu gotovo nulte energije određeni:

- godišnjom potrebnom toplinskom energijom za grijanje po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade, $Q''_{H,nd}$ [kWh/(m² ·a)],
- godišnjom primarnom energijom po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade E_{prim} [kWh/(m²·a)] koja ovisno o namjeni uključuje energiju za grijanje, hlađenje, ventilaciju, pripremu potrošne tople vode i rasvjetu,
- minimalnim udjelom isporučene energije podmirenim iz obnovljivih izvora energije,
- ispunjavanjem zahtjeva o zrakopropusnosti koji se dokazuje ispitivanjem na zgradi prije tehničkog pregleda zgrade [6].

Tablica 3. Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade i zgrade gotovo nulte energije, zgrade grijane i/ili hlađene na temperaturu 18 °C ili višu [6]

ZAHTJEVI ZA NOVE ZGRADE i nZEB / GOEZ	$Q''_{H,nd}$ [kWh/(m ² ·a)]						E_{prim} [kWh/(m ² ·a)]			
	NOVA ZGRADA i nZEB / GOEZ						NOVA		nZEB / GOEZ	
	VRSTA ZGRADE	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3$ °C			primorje, $\theta_{mm} > 3$ °C			kont	prim	kont
$f_0 \leq 0,20$		$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$\theta_{mm} \leq 3$ °C	$\theta_{mm} > 3$ °C	$\theta_{mm} \leq 3$ °C	$\theta_{mm} > 3$ °C
Višestambena	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	120	90	80	50
Obiteljska kuća	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$17,16 + 38,42 \cdot f_0$	57,50	115	70	45	35
Uredska	16,94	$8,82 + 40,58 \cdot f_0$	51,43	16,19	$11,21 + 24,89 \cdot f_0$	37,34	70	70	35	25
Obrazovna	11,98	$3,86 + 40,58 \cdot f_0$	46,48	9,95	$4,97 + 24,91 \cdot f_0$	31,13	65	60	55	55
Bolnica	18,72	$10,61 + 40,58 \cdot f_0$	53,21	46,44	$41,46 + 24,89 \cdot f_0$	67,60	300	300	250	250
Hotel i restoran	35,48	$27,37 + 40,58 \cdot f_0$	69,98	11,50	$6,52 + 24,89 \cdot f_0$	32,65	130	80	90	70
Sportska dvorana	96,39	$88,28 + 40,58 \cdot f_0$	130,89	37,64	$32,66 + 24,91 \cdot f_0$	58,82	400	170	210	150
Trgovina	48,91	$40,79 + 40,58 \cdot f_0$	83,40	13,90	$8,92 + 24,91 \cdot f_0$	35,08	450	280	170	150
Ostale nestambene	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	150	100	/	/

1.4. Zahtjevi nZEB-a pri procesu rekonstrukcije

Navedeni zahtjevi Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja za ostvarivanje nZEB standarda moraju biti zadovoljeni i pri procesu rekonstrukcije. Proces rekonstrukcije obuhvaća dogradnju, nadogradnju te prenamjenu prostora. Tehnički propis određuje nametanje nZEB standarda samo onim dijelovima postojeće zgrade koji su podvrgnuti nadogradnji prostora koji se grije na temperaturi većoj od 12°C i/ili promjeni prostora iz negrijanog u grijani na više od 12°C. Zajedno s time, prostor mora imati korisnu površinu veću ili jednaku 50 m² da bi mu bila određena potreba za ostvarivanjem zahtjeva zgrada gotovo nulte energije [6].

2. OSNOVNI PRINCIPI PROJEKTIRANJA NZEB-a

2.1. Kyoto piramida

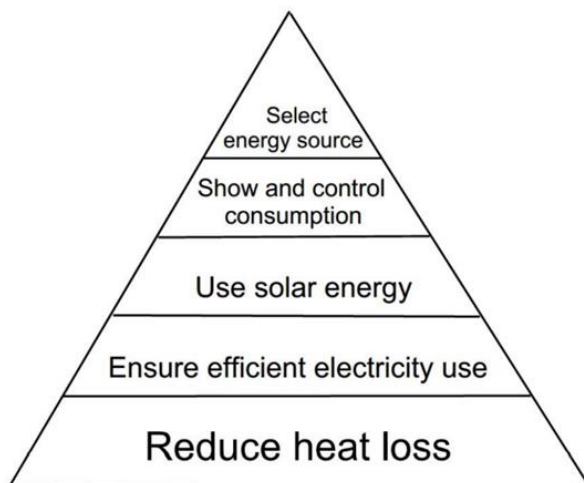
Suradnjom norveškog istraživačkog instituta Sintef i „Kyoto protokola“, koji od 1997. operacionalizira Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) [7], stvoreno je osnovno strateško načelo koje, putem ilustracije Kyoto piramide prikazuje energetske učinkovite načine projektiranja niskoenergetskih zgrada. Kyoto piramida sastoji se od 5 razina, tj. određuje 5 općih koraka u projektiranju [8] [9].

Prvi je korak u projektiranju smanjenje gubitaka topline, što bi rezultiralo manjom potrebnom energijom za grijanje i hlađenje. Tako nešto ostvaruje se neprekinutom toplinskom izolacijom optimalne debljine, postizanjem zrakonepropusnosti vanjske ovojnice, smanjivanjem pojava toplinskih mostova te osiguranjem odgovarajuće kvalitete zraka u prostoru pomoću mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline [8] [9].

Sljedeća dva koraka orijentirana su na iskorištavanje Sunčeve energije, odnosno topline i svjetlosti. Uporabom energetski učinkovitih električnih uređaja i sistema, te iskorištavanjem dnevnog svjetla, noćnog hlađenja, prirodne ventilacije i slično, značajno se smanjuje gubitak energije. Također, prepoznavanjem beneficija optimalno orijentiranih prozora i zgrada, ispravnim korištenjem toplinske mase i solarne opreme, iskorištavanje Sunčeve energije donosi efikasne i ekonomične dobitke [8] [9].

Nedvojbeno, prikazom i kontrolom potrošnje energije, putem raznih produkata „pametne“ tehnologije, utječe se na povećanje svijesti korisnika o tome koliko troše i zato se pažnja korisnika usmjerava na smanjenje potrošnje energije [9].

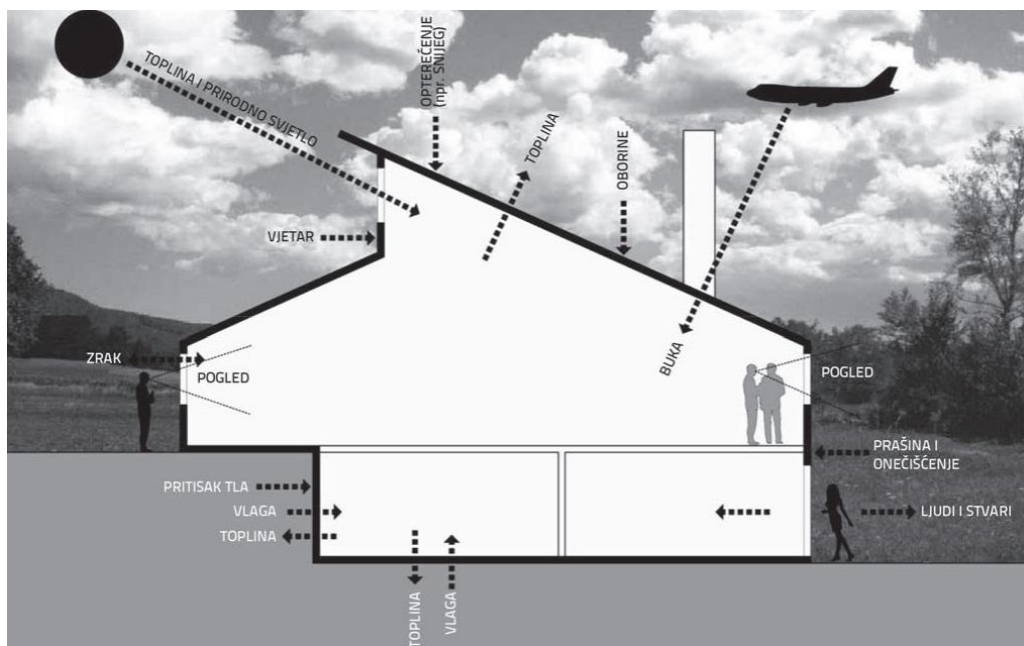
Zajedno s navedenim, ekološki osviješten izbor energenata, upotreba obnovljivih izvora energije, ograničeno korištenje fosilnih goriva itd. smanjuju pritisak onečišćenja koji građevinska industrija ima na okoliš [9].



Slika 1. Kyoto piramida – ilustrirani prikaz koraka projektiranja nZEB-a [9]

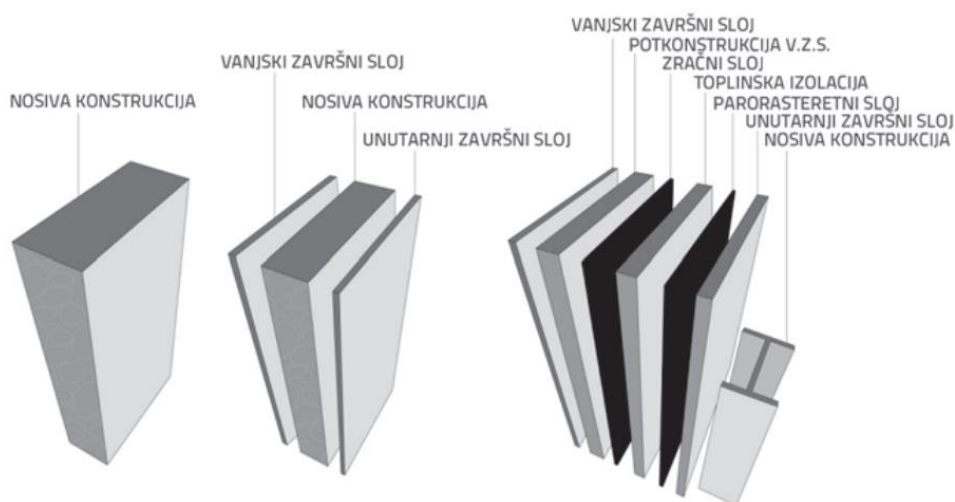
2.2. Toplinska ovojnica nZEB-a

Vanjsku ovojnicu zgrade čine ugrađeni dijelovi zgrade koji odvajaju kondicioniranu ili nekondicioniranu unutrašnjost zgrade od vanjskog okoliša, čineći fizičku barijeru koja se sastoji od prozirnih (prozori, vrata, itd.) i neprozirnih dijelova (zidovi, krov, pod, itd.) [4] [9]. Uloga je vanjske ovojnice da u unutrašnji prostor kontrolirano propusti poželjne utjecaje vanjske klime (svjetlost, toplinu, zvuk, zrak, itd.), a spriječi prodor vode, vlage, onečišćenja i sličnih, za zgradu štetnih klimatskih učinaka. Svrha je ovojnice da unutrašnji prostor učini ugodnim za korištenje i stanovanje te da osigura zdravu i sigurnu okolinu za boravak [9] [10].



Slika 2. Utjecaji okoline na vanjsku ovojnicu zgrade [10]

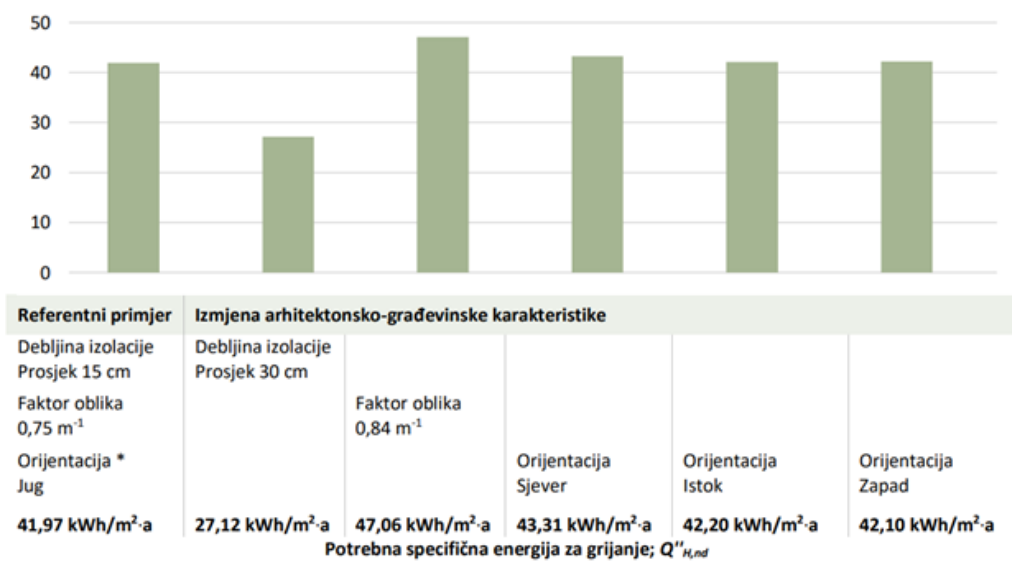
Kako je ranije navedeno, toplinska izolacija će ostvariti svoj najveći potencijal ako je pravilno dimenzionirana i ugrađena. Debljina toplinske izolacije je u obrnuto proporcionalnom odnosu s koeficijentom prolaska topline građevnog dijela U [W/m^2K], no to ne znači da će veća debljina toplinske izolacije proporcionalno smanjiti gubitke topline i potrebnu energiju za grijanje zato što se dio topline gubi procesom provjetravanja [6]. Prema tome, debljina toplinske izolacije za kontinentalne hrvatske krajeve veća od 30 cm neće imati značajan utjecaj na uštedu energije, dok isto vrijedi za debljinu veću od 15 cm na području mediteranske klime [9]. Za zgradu gotovo nulte energije optimalne debljine toplinske izolacije su 16 cm u kontinentalnoj Hrvatskoj, a 8 cm u primorju [6].



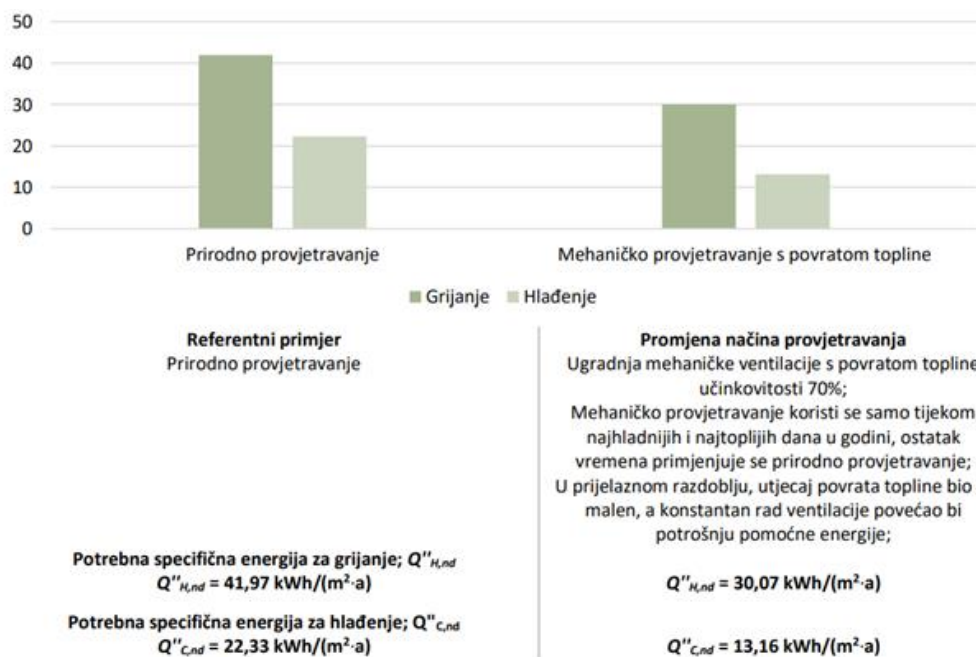
Slika 3. Slojevi vanjske ovojnice zida [10]

Debljina toplinske izolacije, tek u vještoj kombinaciji s arhitektonsko-građevinskim karakteristikama zgrade (vrsta ostakljenja, faktor oblika zgrade, orijentacija otvora, zaštita od sunca) i mehaničkom ventilacijom s rekuperacijom, ima ekonomski i tehnološki opravdan utjecaj na smanjenje potrebne specifične energije za grijanje $Q''_{H,nd}$ i hlađenje $Q''_{C,nd}$ [6].

Tablica 4. Utjecaj arhitektonsko-građevinskih karakteristika na potrebnu energiju za grijanje [6]



Tablica 5. Utjecaj mehaničke ventilacije na potrebnu specifičnu energiju za grijanje i hlađenje [6]



Razvijanje novih materijala toplinske izolacije odvija se s ciljem smanjenja toplinske provodljivosti, λ [W/mK]. Među najkorištenijim izolacijskim materijalima su kamena vuna i polistiren s koeficijentom provodljivosti manjim od 0,035 W/mK, dok koeficijent provodljivosti manji od 0,020 W/mK postižu PUR, PIR i aerogel [9].

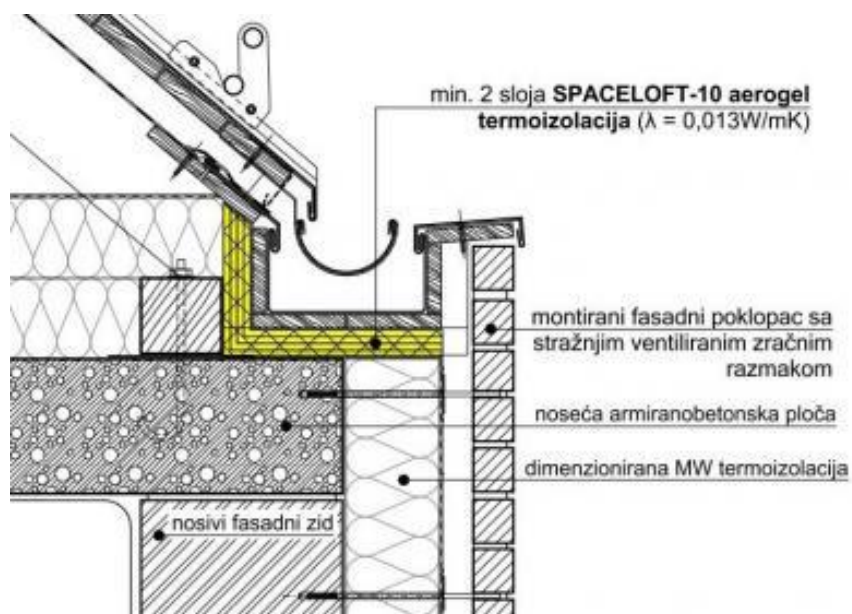


Slika 4. Ugrađeni sloj kamene vune u vanjsku ovojnicu zgrade i Slika 5. Prikaz izvedbe vanjske izolacije kamenom vunom

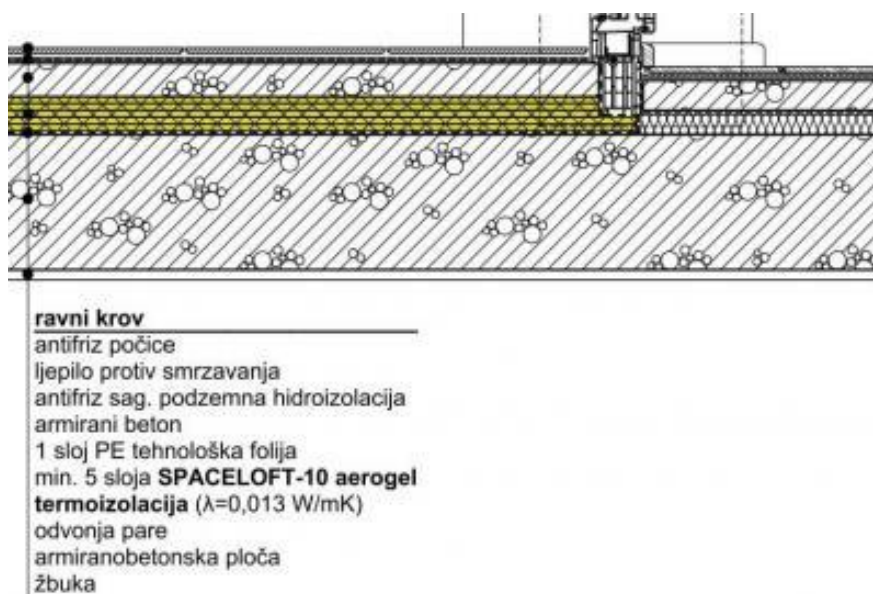
Suvremeni tehnološki razvoj doprinosi osmišljavanju i razvijanju pametnih ovojnica koje mijenjaju svoje karakteristike ovisno o promjenama temperature. Takvi građevinski sustavi izvedeni su od „pametnih“ materijala koji su osmišljeni da pamte oblik te da posebno reagiraju na podražaje [12]. Neki od njih danas su u širokoj primjeni, kao što su aerogeli, mikro-inkapsulirani vosak, hidrati soli, filmovi termokromičnih polimera, termobimetali. Također, sve je češća primjena biomasa, koje time što koriste biljni svijet u proizvodnji energije neosporno utječu na energetska učinkovitost zgrada [10].



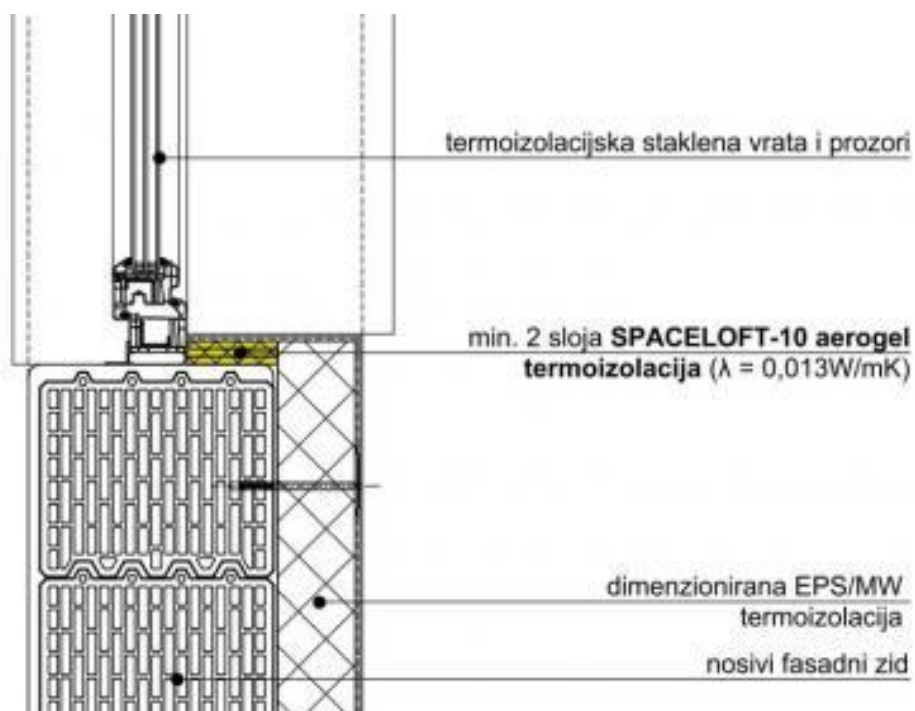
Slika 6. Pametni izolacijski materijali – aerogel i termobimetal



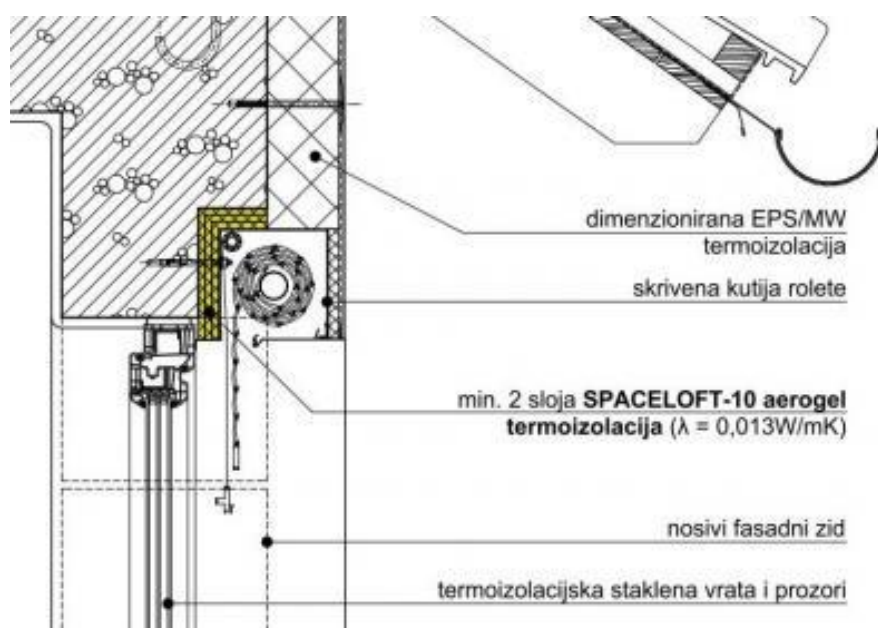
Slika 7. Detalj ugradnje aerogela pri izolaciji strehe kosog krova



Slika 8. Detalj ugradnje aerogela pri izolaciji ravnog krova



Slika 9. Detalj ugradnje aerogela pri izolaciji prozorskog okvira



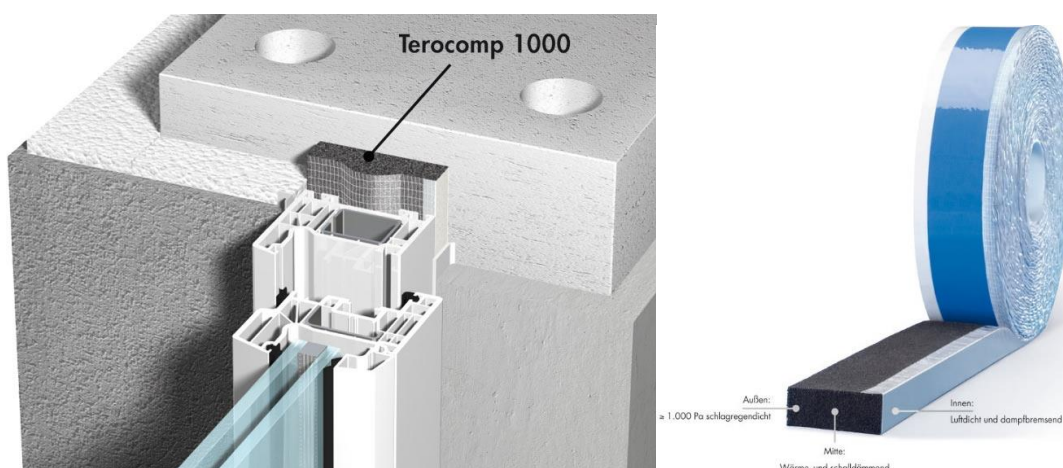
Slika 10. Detalj ugradnje aerogela pri izolaciji kutije za rolete

2.3. Zrakonepropusnost omotača nZEB-a

Zrakopropusnost je strujanje toplijeg unutarnjeg zraka u vanjski prostor i hladnijeg vanjskog zraka u unutarnji prostor, kroz omotač zgrade. Do strujanja dolazi zbog poroznog omotača zgrade, propusnih zazora (fuga) ili zbog pukotina [9] [11] i ono rezultira pojavom kondenzacije vodene pare između građevnih dijelova. Za osiguranje zdrave mikroklimе unutarnjeg prostora zgrade te za očuvanje građevnih dijelova i eliminiranje građevinskih šteta od velikog je značaja da vanjska ovojnica zgrade bude zrakonepropusna. Najsigurniji je način da se zrakonepropusnost ostvari pravilna i stručna ugradnja vanjske stolarije te se prema smjernicama za projektiranje Ministarstva ističe „RAL ugradnja“ s tri razine britvljenja:

- unutarnja britva – zrakonepropusna i paronepropusna britva ili parna brana,
- srednja britva – toplinska i zvučna izolacija postavljanjem ekspandirajuće trake ili pjene,
- vanjska britva – vodonepropusna, a paropropusna folija [6] [17].

Temeljno pravilo „RAL ugradnje“ glasi: *Element se mora ugraditi tako da život i zdravlje ljudi koji borave u prostoru kao i njihova sigurnost ne budu ugroženi*. Slijedeći to pravilo, pri ugradnji stolarije potrebno je osigurati prostor za dilataciju materijala uslijed promjene temperature. Tako se omogućava adekvatan prijenos opterećenja na konstrukciju ovojnice zgrade, čime se neće ugroziti ugrađeni prozorski element [17].



Slika 11. RAL ugradnja stolarije primjenom ekspandirajuće trake i Slika 12. Ekspandirajuća traka – Terocomp 1000

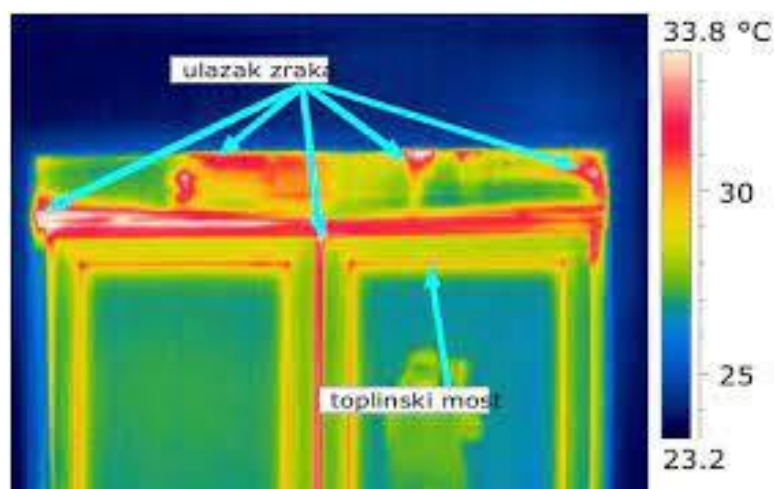


Slika 13. Detalj izvedbe vanjske britve ugradnjom vodonepropusne, a paropropusne folije



Slika 14. Primjer izvedbe vanjske britve oko prozora i vrata

Zbog vrlo štetnog utjecaja zrakopropusnosti na ovojnicu zgrade i uštedu energije razvile su se metode ispitivanja zrakopropusnosti omotača zgrade IC termografijom. Takva ispitivanja daju dobru procjenu stanja i kvalitete vanjske ovojnice zgrade [11].



Slika 15. Mjerenje zrakopropusnosti i protoka topline IC termografijom

Posljedice zrakopropusnosti ovojnice zgrada rezultiraju velikim građevinskim štetama – propadanjem slojeva vanjske ovojnice, korozijom materijala, stvaranjem pukotina i odlomljavanjem završnih slojeva, pojavom gljivica, plijesni i mrlja. Uz narušavanje kvalitete zraka i mogućeg razvoja zdravstvenih tegoba kod izloženih osoba, toplinski gubici su veći, a učinkovitost mehaničkog sustava ventilacije i zvučne izolacije je manja [9] [10].



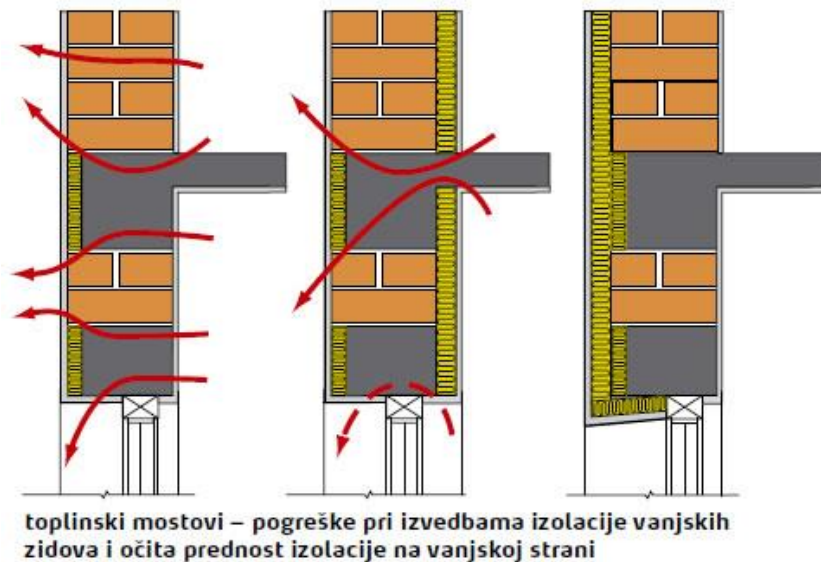
Slika 16. Štete na ovojnici kao posljedica loše kontrole prijenosa topline i vlage

2.4. Toplinski mostovi

Prema članku 4. Tehničkog propisa, toplinski je most manje područje u ovojnici grijanog dijela zgrade kroz koje je toplinski tok povećan radi promjene proizvoda, debljine ili geometrije građevnog dijela [4]. Toplinske mostove nije moguće u potpunosti ukloniti iz vanjske ovojnice zgrade; zato je cilj projektiranja i izvođenja da se, na ekonomski prihvatljiv način, u što većoj mjeri oslabi utjecaj toplinskih mostova na godišnju potrebnu toplinu za grijanje i hlađenje [6] [9].

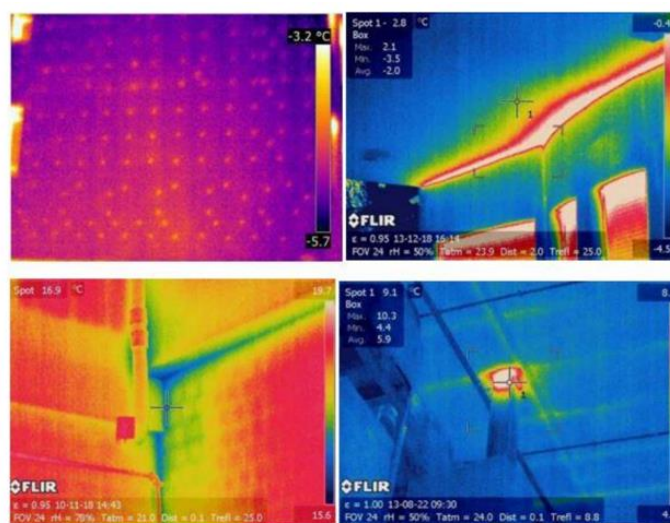
Toplinski mostovi mogu biti uzrokovani raznim projektantskim i/ili izvedbenim propustima. Uslijed nepravilno izvedenih detalja, priključaka i izolacije dolazi do pojave toplinskih mostova. Također, ukoliko promjene debljine i oblika građevinskih dijelova

nisu u skladu s katalogom dobrih rješenja toplinskih mostova iz Priloga Tehničkog propisa, smanjuje se toplinski otpor te se povećava opasnost od kondenzacije vodene pare u tim dijelovima. Zajedno s time, neadekvatan spoj različitih materijala ili čak kombiniran utjecaj više uzroka iste pojave može dovesti do raznih građevinskih oštećenja [13].



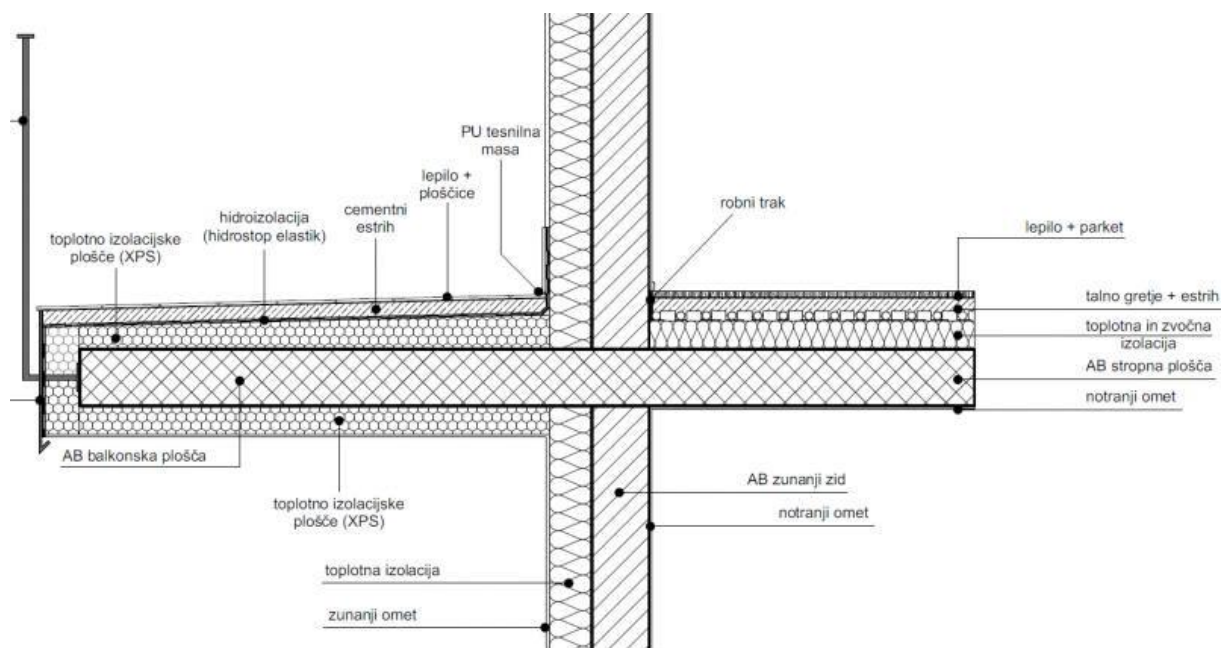
Slika 17. Kako načini izvedbe izolacije vanjskih zidova utječu na pojavu toplinskih mostova

Prema obliku, koji stvara protok topline kroz građevne dijelove, postoje točkasti, linijski i trodimenzionalni toplinski mostovi. Razlog takvih oblika mogu biti geometrijske i konstrukcijske značajke prostora, ali i neodgovarajuće riješeni lokalitet oko otvora ili istaka na vanjskoj ovojnici zgrade.



Slika 18. Točkasti, linijski, geometrijski i konstruktivni toplinski mostovi detektirani IC termografijom [13]

Lako uočljive posljedice toplinskih mostova su razvoj gljivica i plijesni, pukotine na zidovima, odvajanje žbuke ili tapeta. Može doći i do razaranja građevnih dijelova zbog korozije materijala ili zamrzavanja. Posljedice toplinskih mostova imaju i veliki utjecaj na energetske učinkovitost zgrade, time što su toplinski gubici tijekom hladnijih mjeseci veći, a učinak izolacijskih materijala je manji zbog povećane toplinske provodljivosti [9].



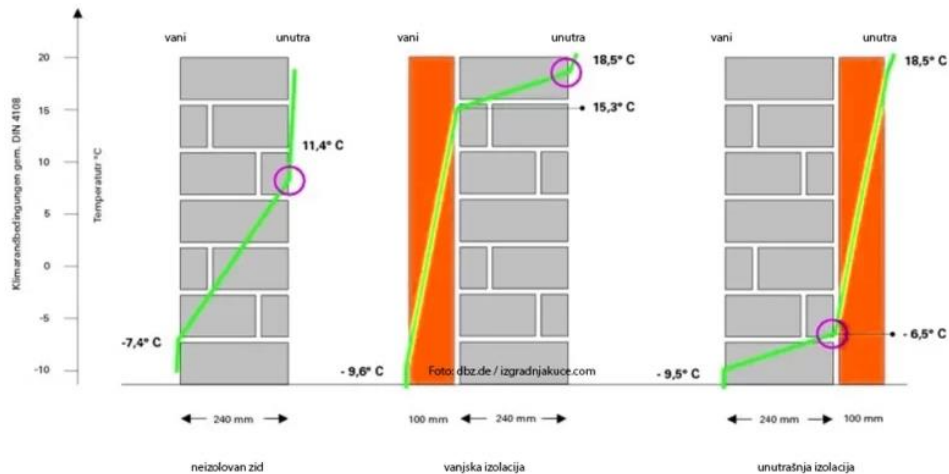
Slika 19. Detalj pravilne izvedbe toplinske izolacije balkonske ploče za sprečavanje pojave toplinskih mostova

2.5. Akumulacija topline kod energetski učinkovitih zgrada

Pri postizanju energetske učinkovitosti važno je da zgrada sačuva toplinu koju proizvede i iskoristi je kada joj je to potrebno. Ovakvo svojstvo zgrade naziva se akumulacija topline, odnosno toplinska masa zgrade. Akumulacija topline definira se kao svojstvo građevnog dijela zgrade da može prihvatiti dovedenu mu toplinu, u sebi je akumulirati i kod hlađenja okoline ponovno je predati toj okolini [14]. Uzevši primjer gašenja grijanja u zgradama tijekom noći u zimskim mjesecima, uočava se učinak koji toplinska masa ima na održavanje dostatne temperature prostorije [9].

Akumulirana količina topline određuje toplinsku stabilnost prostora te unutarnji prostor čini manje osjetljivim na promjene vanjskih temperatura [9][15]. Količina topline koja se može akumulirati u građevnom dijelu zgrade ovisi o razlici između temperature

elementa zgrade i vanjskog zraka, specifičnom toplinskom kapacitetu materijala i masi elementa. Cilj je akumulirati što veću količinu topline te se to postiže postavljanjem toplinske izolacije s vanjske strane ovojnice zgrade [9]. Na taj način ostvarit će se veća temperatura zidova u prostoriji te će boravak u njoj biti ugodniji, a tome pridonosi i dobra kvaliteta zraka zbog umanjivanja mogućnosti pojave gljivica i plijesni.

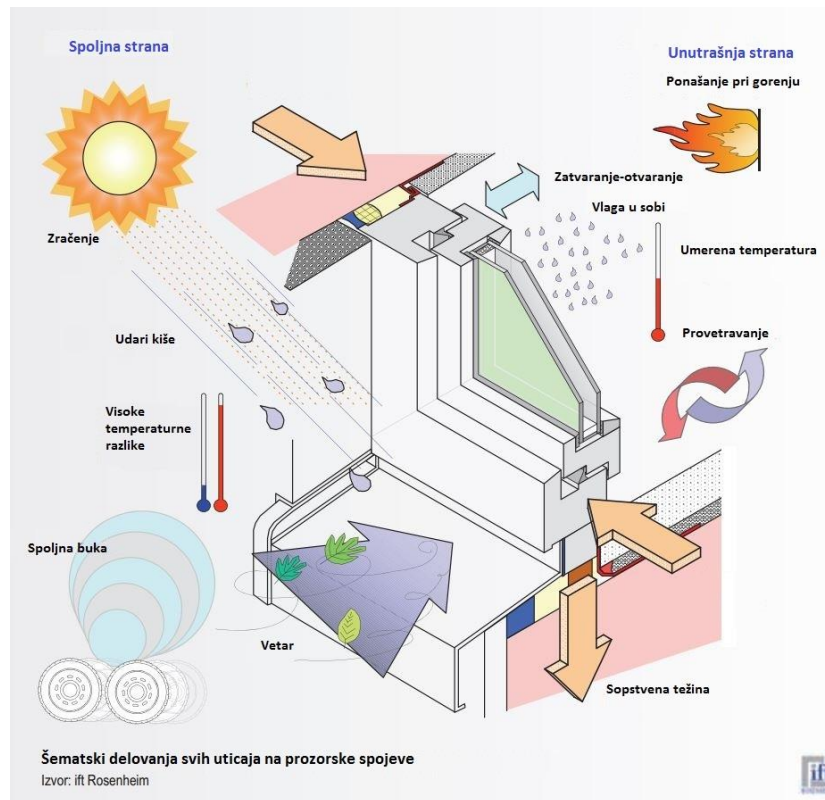


Slika 20. Prolaz topline kroz neizolirani zid, kroz vanjsku toplinsku izolaciju i kroz unutarnju toplinsku izolaciju

2.6. Prozori kod nZEB-a

Prozori su funkcionalno i estetski nezamjenjivi elementi svakog prostora za ugodan i kvalitetan boravak. Kao sastavni dio vanjske ovojnice zgrade, prozori imaju bitnu ulogu u njenom ponašanju i u ostvarivanju optimalne mikroklimе unutarnjeg prostora.

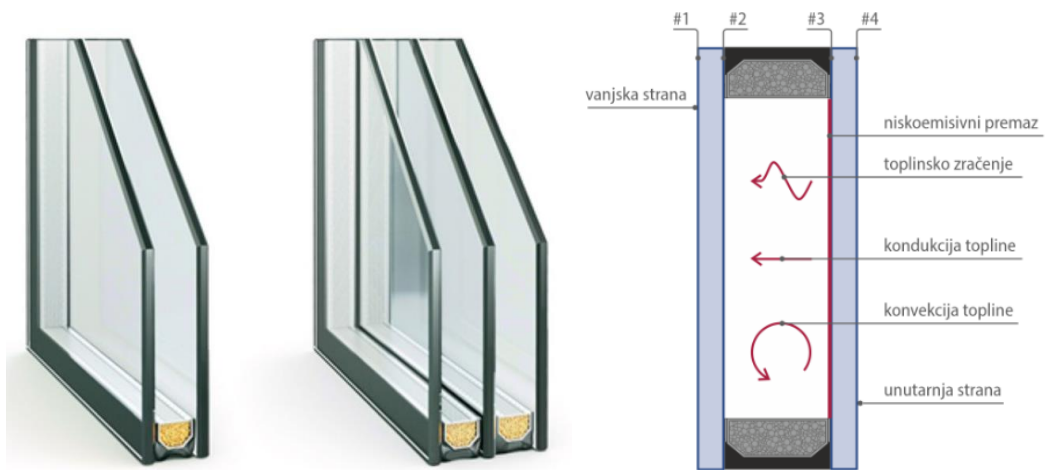
Kako bi vanjska ovojnica u cijelosti postigla visoki standard, prozorima i njihovom pravilnom ugradnjom mora biti osigurana zahtijevana osvjetljenost unutarnjeg prostora, a da pritom postoji zaštita od sunčevog zračenja i topline. Potrebno je osigurati smanjenje potrebne energije za grijanje zimi, ali i ne dopustiti preveliko povećanje energije za hlađenje ljeti. Također, prozori moraju osigurati propisanu vatronepropusnost, spriječiti prijenos buke i zaštititi unutarnji prostor od oborina i prodiranja vode, a da je pritom njihovim korištenjem omogućena prirodna ventilacija prostora za dobivanje svježeg zraka. Vrlo bitna uloga prozora je i očuvanje željene razine sigurnosti, stoga materijal za njegovu izradu mora posjedovati određenu čvrstoću [9] [10].



Slika 21. Prikaz vanjskih i unutarnjih utjecaja na prozorski element

U usporedbi s ostatkom vanjske ovojnice, prozori i vrata su mjesta na kojima su gubici topline najveći, stoga se za postizanje nZEB standarda postavljaju zahtjevi za vrijednost U_w -faktora. Koeficijent U_w (W/m^2K) predstavlja transmisijske gubitke topline za cijeli prozor, te što je taj koeficijent veći, otpor prolasku topline je manji. Da bi prozor dostigao nZEB standard preporuča se da je $U_w = 0,75 W/m^2K$, dok se za zidove preporučuje do 5 puta manja vrijednost od $U = 0,15 W/m^2K$ [9].

Potrebna energija za grijanje i hlađenje zgrade ovisi o vrsti i veličini ostakljenja, orijentaciji prozora i sustavu zasjenjenja. Najpopularniji izbor ostakljenja u postojećim zgradama je dvostruko izo-staklo, dok se za nZEB standard preporučuje trostruko izo-staklo [9]. To je staklo s tri staklene plohe i dva međuprostora ispunjena zrakom ili inertnim plinovima. Takvo izo-staklo posjeduje nisku toplinsku provodljivost od $U_g = 0,6 - 1,1 W/m^2K$ [16], što ga čini boljim toplinskim izolatorom, ali njegova veća masa dovodi do ograničenih mogućnosti otvaranja prozora [9].

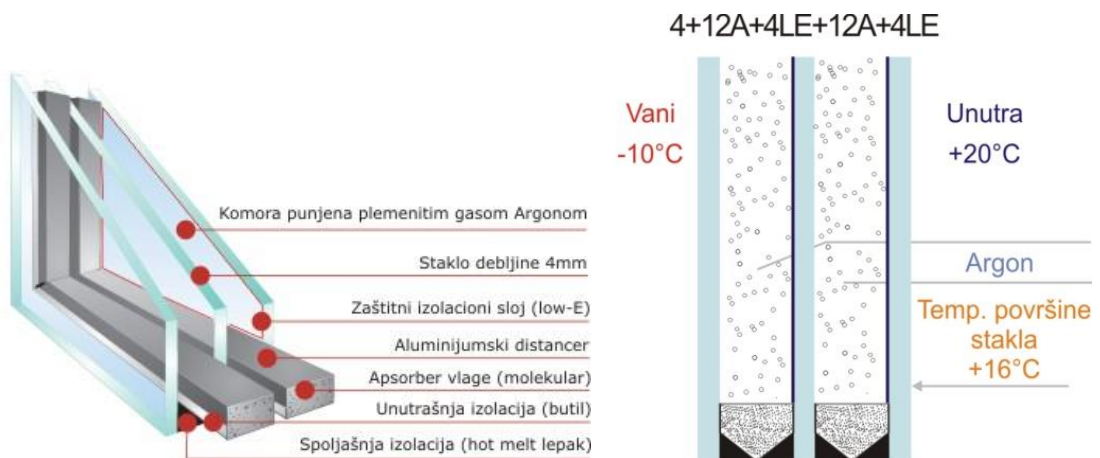


Slika 22. Prikaz dvostrukog i trostrukog izo-stakla i Slika 23. Gubitak topline u dvostrukom izo-staklu

Za ostvarenje ugodne mikroklimе u prostoru i postizanje nZEB standarda, potrebno je optimizirati toplinske dobitke od sunca i toplinske gubitke, uz financijski prihvatljivu cijenu. Kombinacijom izo-stakla s low-e premazom i ispune međuprostora između slojeva stakla plemenitim plinovima (argonom, ksenonom, kriptonom) značajno će se smanjiti gubici topline, bez smanjenja solarnih dobitaka [9].



Slika 24. Usporedba toplinske provodljivosti u kombinacijama izo-stakla i low-e premaza



Slika 25. Sastavni dijelovi prozora s trostrukim izo-staklom

Razvoj novih tehnologija proizvodnje stakla omogućio je širi izborni spektar prozorskih elemenata kojim se zadovoljavaju određeni zahtjevi projektnih rješenja. Cilj je razvoja novih tehnologija proizvodnje ugradnjom stakla određenih karakteristika pridonijeti ostvarivanju energetske učinkovite građevine. Takva stakla trebaju imati veliku transmisiju svjetlosti, što znači da će što veći udio sunčevog upadnog zračenja rezultirati boljom osvijetljenošću prostora. Pritom je vrlo bitno ostvariti smanjeni prodor topline tog istog zračenja u ljetnim mjesecima i smanjeni gubitak te topline iz unutrašnjih prostora u hladnijem dijelu godine [18]. Prema prethodno navedenim karakteristikama stakla možemo podijeliti u grupe:

- a) Low-e stakla – stakla za kontrolu gubitka topline,
- b) Solar Control Glass – stakla za kontrolu ulaska svjetlosti i topline,
- c) COOL-LITE – stakla koja imaju karakteristike low-e stakla i stakla za kontrolu ulaska svjetlosti i topline [18].



Slika 26. Prikaz izbora fasadnog ostakljenja u ostvarivanju estetskih zahtjeva građevine

3. PROJEKTIRANJE TEHNIČKIH SUSTAVA

3.1. Općenito

Prema članku 4. Tehničkog propisa, tehnički sustav zgrade je tehnička oprema zgrade ili samostalne uporabne cjeline zgrade za grijanje prostora, hlađenje prostora, ventilaciju, klimatizaciju, pripremu potrošne tople vode, ugrađenu rasvjetu, automatizaciju i upravljanje zgradom, proizvodnju električne energije u krugu zgrade ili kombinaciju navedenog, uključujući sustave koji upotrebljavaju energiju iz obnovljivih izvora [4]. Cilj je tehničkih sustava da što veći udio primarne i isporučene energije dolazi iz obnovljivih izvora, da je sustav jednostavan za održavanje te da je njegova potrošnja energije što manja, također izabrano rješenje mora odgovarati troškovno optimalnim načelima projektiranja nZEB-a [6].

3.2. Grijanje

Prema smjernicama Ministarstva graditeljstva i prostornoga uređenja za zgrade gotovo nulte energije [6], tehnički sustav grijanja čini kombinacija komponenata kojima se u prostoriji temperatura zraka može povećati. Za proizvodnju toplinske energije potrebni su generatori topline te su u smjernicama istaknuti generatori koji se najčešće koriste u zgradama: zidni grijači odnosno bojleri, kotlovi, dizalice topline, solarni toplovodni kolektori te lokalne peći i grijalice. Nadalje, za grijanje se najčešće upotrebljavaju sljedeći energenti: prirodni plin, električna energija, drvena biomasa, ekstra lako loživo ulje i drugi naftni derivati, solarna energija te daljinsko grijanje pri kojem se toplinska energija priprema u zajedničkom generatoru izvan lokacije zgrade, primjerice u kotlovnica, toplani ili kogeneracijskom postrojenju. U nastavku ćemo razmotriti način funkcioniranja najčešće korištenih generatora topline u zgradama.

3.2.1. Zidni grijači vode i kotlovi

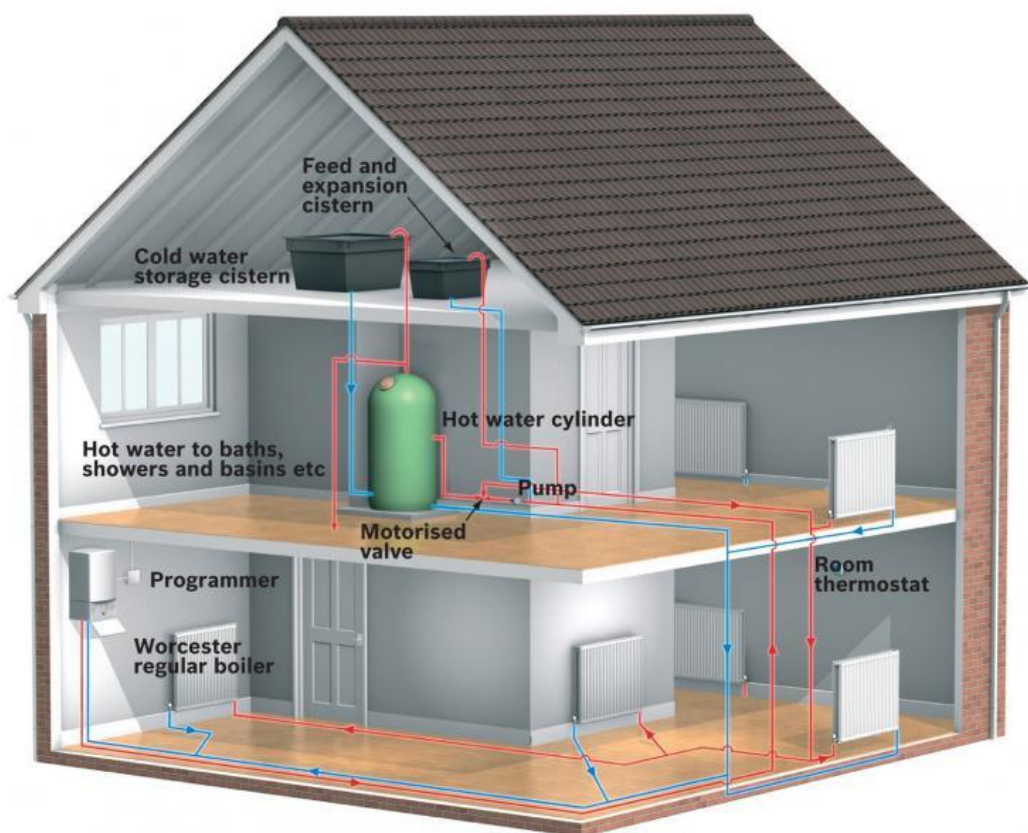
U sustavima centralnog grijanja najčešće se koriste zidni grijači vode i kotlovi, a zajednički im je način proizvodnje toplinske energije izgaranjem goriva odnosno energenta u ložištu kotla koje proizvodi toplinu. Dva su tipa energenata koji se koriste u zidnim grijačima i kotlovima:

a) fosilna goriva: prirodni plin, ukapljeni naftni plin, loživa ulja (uglavnom ekstra lako loživo ulje);

b) obnovljiva goriva: drvena biomasa (cjepanice, peleti, sječka).

Za izgaranje goriva potreban je kisik koji se do ložišta dovodi prirodnim putem (atmosferska ložišta) ili prisilnim putem (kondenzacijski kotlovi i bojleri), dok se dimni plinovi kao nusproizvod izgaranja odvođe sustavima za odvod dimnih plinova odnosno dimnjacima. Kondenzacijski su kotlovi učinkovitiji od standardnih i niskotemperaturnih kotlova jer koriste latentnu toplinu sadržanu u vodenoj pari dimnih plinova.

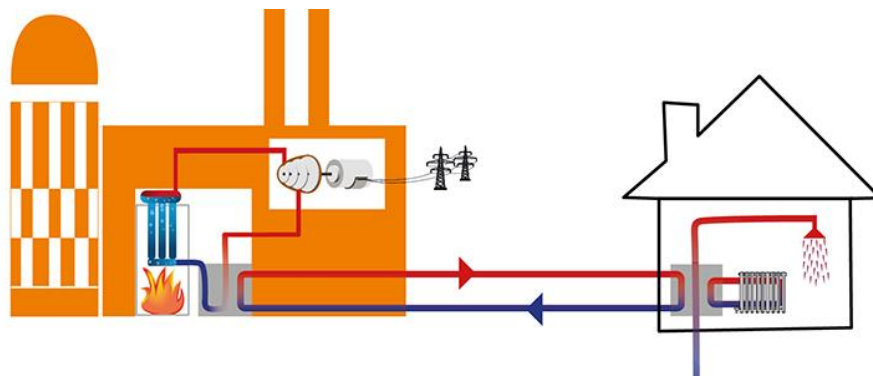
Prema mediju koji se u sustavu centralnog grijanja dovodi u prostor koji grijemo razlikujemo toplovodno i zračno centralno grijanje. U prvom slučaju topla ogrjevna voda razvodi se cijevnim razvodom kroz zgradu izravno do potrošača odnosno ogrjevnih tijela, a u većim zgradama do toplinske stanice koja vodu također razvodi do potrošača. Pri zračnom grijanju topla ogrjevna voda proizvedena u kotlu ili bojleru zagrijava zrak koji kanalskim razvodom dolazi do prostorija koje grijemo te se ispuhuje pomoću istrujnih elemenata: rešetaka, anemostata, difuzora i slično [6].



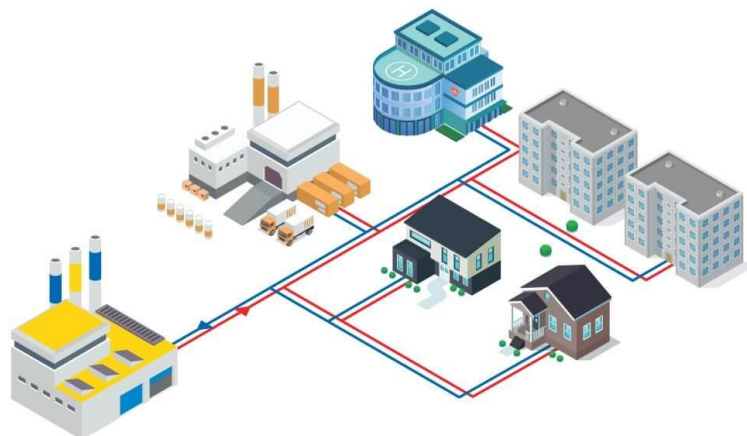
Slika 27. Shematski prikaz sustava centralnog grijanja

3.2.2. Daljinsko grijanje

U sustavu daljinskog grijanja toplinska energija (topla voda ili para) priprema se na centralnom mjestu za više korisnika (stambene i nestambene zgrade, industrijske građevine) te se razvodi podzemno izoliranim cjevovodima do toplinskih stanica zgrada koje su priključene na sustav. Današnji su sustavi daljinskog grijanja većinom indirektni. U njima se primarni medij (topla voda ili para zagrijana na centralnom generatoru toplinske energije) pomoću izmjenjivača topline odnosno kompaktne toplinske podstanice u toplinskoj stanici zgrade odvaja od sekundarnog medija (topla voda za grijanje zgrade). Generator za pripremu toplinske energije u daljinskom sustavu može biti pogonjen fosilnim gorivom ili obnovljivim izvorom energije te kombinacijom. Prema korištenom energentu u različitim sustavima imamo i različite faktore primarne energije. Ako je sustav potpuno pogonjen obnovljivim izvorom energije, isporučenu energiju možemo koristiti pri izračunu udjela obnovljivih izvora energije [6].



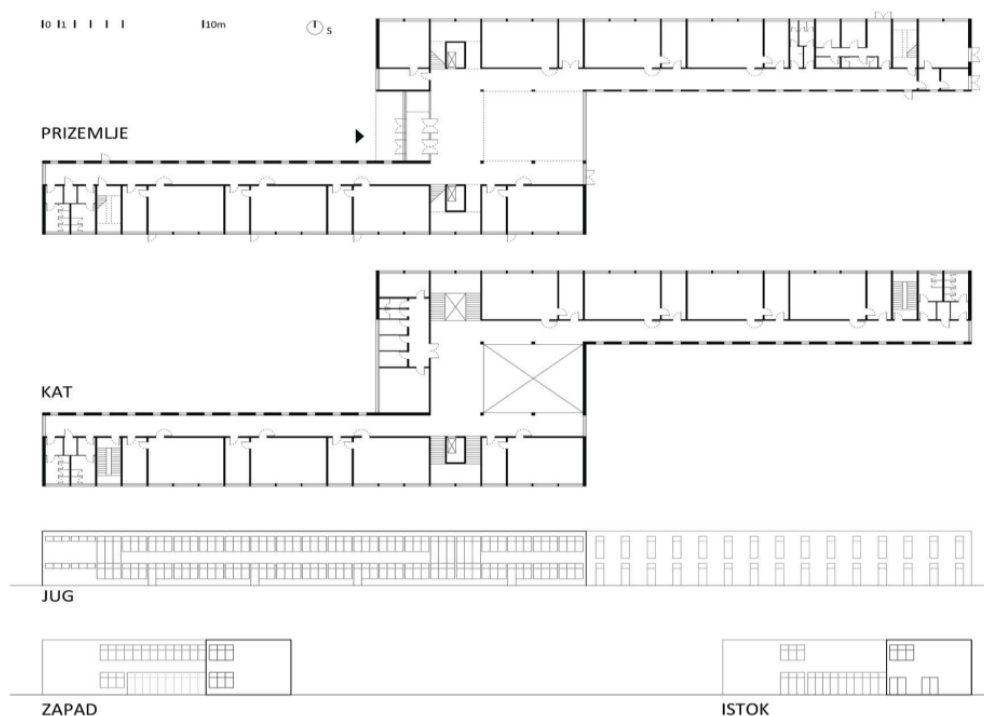
Slika 28. Shematski prikaz sustava daljinskog grijanja kuće



Slika 29. Shematski prikaz razvoda sustava daljinskog grijanja do više objekata

Primjer u nastavku prikazuje jedan od načina izvođenja sustava daljinskog grijanja u obrazovnoj ustanovi na području kontinentalne Hrvatske. Sustav daljinskog grijanja se postavlja u kombinaciji s fotonaponskim panelima, putem kojih je osiguran potreban udio obnovljivih izvora energije.

Prikaz zgrade



Slika 30. Prikaz zgrade obrazovne ustanove na području kontinentalne Hrvatske [6]

Geometrijske karakteristike zgrade				
Katnost	P + 1			
Grijana korisna površina, A_k	2918	m ²		
Volumen grijanog prostora, V_e	13471	m ³		
Faktor oblika, f_o	0,42	m ⁻¹		
Orijentacija otvora	Jug	Sjever	Istok	Zapad
	368,30 m ²	372,60 m ²	80,20 m ²	54,16 m ²
Meteorološka postaja		Zagreb - Maksimir		
Građevinske i tehničke karakteristike				
Sastav konstrukcija	Armiranobetonski zidovi s 20 cm toplinske izolacije; pod na tlu s 12 cm toplinske izolacije; ravan krov s 25 cm toplinske izolacije; prozori ostakljeni s trostrukim IZO staklom (zaštita od sunca roletama)			
Ventilacija	Mehaničko provjetranje učionica s rekuperacijom; mehaničko provjetranje sanitarija; prirodno provjetranje ostalih prostora			
Rezultati		Dopušteno		
Specifična potrebna energija za grijanje, $Q''_{H,nd}$	18,20	kWh/(m ² ·a)	max 20,90 kWh/(m ² ·a)	
Specifična potrebna energija za hlađenje, $Q''_{C,nd}$	15,89	kWh/(m ² ·a)	max 50,00 kWh/(m ² ·a)	

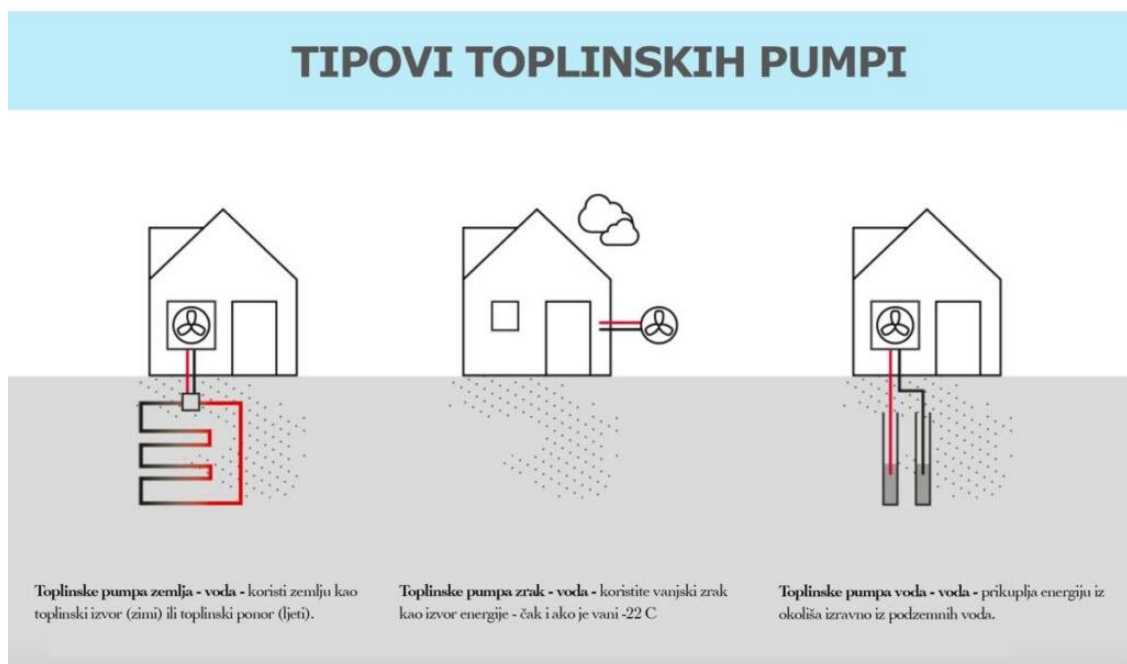
Slika 31. Sustav daljinskog grijanja u kombinaciji s fotonaponskim panelima [6]

3.2.3. Dizalice topline

Prema smjernicama [6], dizalica topline uređaj je koji osigurava toplinsku i rashladnu energiju za primjenu u stambenim i nestambenim zgradama te industriji. Dizalice mogu služiti samo za grijanje, samo za hlađenje ili za grijanje i hlađenje, pri čemu je riječ o reverzibilnim dizalicama.

Rad dizalice topline, koja se naziva još i toplinska crpka ili toplinska pumpa, temelji se na iskorištavanju topline obnovljivih izvora energije: okolišnog zraka, vode ili zemlje. Razlikujemo dva tipa ovih uređaja: kompresijske i sorpcijske dizalice topline, a najčešće se koriste kompresijske. Dizalice topline ne proizvode toplinsku energiju i zato se ne svrstavaju u generatore topline. U njih se toplinska energija osigurava prijenosom energije s niže na višu temperaturnu razinu. Dizalice uglavnom pogoni električna energija, a rjeđe nalazimo dizalice pogonjene plinom.

Omjer utrošenog energenta i korisno dobivene energije kreće se od 2,5 naviše, a izražava se faktorom grijanja COP (engl. *Coefficient of Performance*) i faktorom hlađenja EER (engl. *Energy Efficiency Ratio*). Što je faktor veći, to je dizalica učinkovitija. U novije vrijeme učinkovitost se izražava i pomoću sezonskih faktora grijanja (SCOP) i hlađenja (SEER) koji prikazuju omjer utrošene i korisno dobivene energije na sezonskoj razini.



Slika 32. Tipovi toplinskih pumpi: zemlja-voda, zrak-voda, voda-voda

3.3. Hlađenje

Sustav hlađenja tehnički je sustav koji čini kombinacija komponenata potrebnih kako bi se temperatura zraka u prostoriji snizila. Dizalice namijenjene isključivo hlađenju nazivaju se rashladnici vode (engl. *chiller*). Za proizvodnju rashladne energije koriste se dizalice s direktnim sustavom (sustav s direktnom ekspanzijom ili dizalica zrak-zrak) ili indirektnim sustavom. U direktnom sustavu radna tvar cirkulira u zatvorenom krugu i energiju predaje izravno prostoru koji hladimo. Primjeri su takvih sustava široko korišteni split, multi split i PVRT. U indirektnom sustavu radna tvar predaje energiju rashladnoj vodi (prijenosnik energije) koja ju potom predaje prostoru. Vrste ovakvih dizalica su zrak-voda, voda-voda i geotermalna dizalica [6].

3.4. Ostali oblici tehničkih sustava

Među ostalim oblicima tehničkih sustava u zgradi smjernice Ministarstva [6] ističu sustave za pripremu potrošne tople vode, mehaničku ventilaciju i rekuperaciju i rasvjetu.

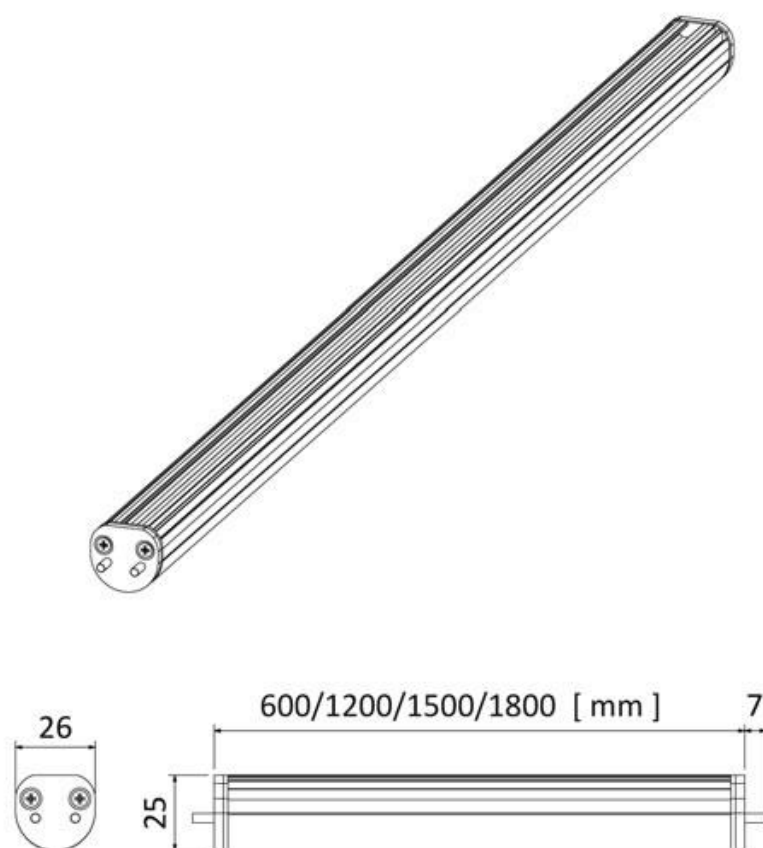
Za pripremu potrošne tople vode koriste se lokalni ili centralni sustavi. Danas se sve više koriste solarna energija i sustavi s dizalicama topline, dok su ranije najčešće korišteni energenti bili fosilna goriva (prirodni plin i UNP). Potrošna topla voda može se zagrijavati protočnim i akumulacijskim sustavima, a u smjernicama je napomenuto kako pri odabiru i dimenzioniranju sustava treba uzeti u obzir realne potrebe za potrošnom toplom vodom, s obzirom na to da s jedne strane predimenzionirani uzrokuju gubitke i nepotrebnu potrošnju energije, dok s druge strane poddimenzionirani sustavi ne zadovoljavaju svoju svrhu.

Ventilacija ili provjeravanje podrazumijeva dovod svježeg vanjskog zraka i odvod sobnog zraka kako bi se osigurao svježi zrak u prostoriji, a ventilacija može biti prirodna (otvaranje prozora) i prisilna odnosno mehanička. Minimalna potrebna količina svježeg zraka određuje se Algoritmom za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade.

Prirodno provjeravanje otvaranjem prozora učinkovito je za dovod svježeg zraka, ali neučinkovito zbog potrošnje energije. Zato se korištenjem mehaničke ventilacije s rekuperatorom odnosno izmjenjivačem topline iskorištava dio topline otpadnog zraka zagrijavajući hladni zrak koji dolazi u prostor. Faktor rekuperacije najčešće se kreće

između 50 i 85%. Zaključak je istaknut u smjernicama da korištenje ovakvog tipa ventilacije znatno i izravno smanjuje potrebnu, isporučenu i primarnu energiju za rad termotehničkih sustava. Nadalje, nepotrebno ventiliranje i povećani troškovi mogu se spriječiti upravljanjem mehaničkom ventilacijom putem senzora kvalitete zraka u prostoru odnosno CO₂ osjetnika s kojim se ventilacija uključuje onda kad je to zaista potrebno. Štoviše, u tom slučaju ventilacija radi 40% manje vremena u odnosu na vrijeme korištenja prostora.

Za rasvjetu u nZEB zgradama nužna je LED tehnologija, s obzirom na to da LED izvori troše do 6 puta manje električne energije od izvora svjetlosti s tehnologijom žarne niti i oko 2 puta manje energije od izvora svjetlosti s tehnologijom izboja na plin. Pri projektiranju treba paziti na temperaturu i uzvrat boje te koristiti normu HRN EN 12464 kako bi se prema vrsti zgrade ispunili svjetlotehnički zahtjevi. Za izračun potrebne energije za rasvjetu koristi se propisani Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Energijski zahtjevi za rasvjetu.



Slika 33. Grafički prikaz linijske LED rasvjete

4. PRIMJERI

U ovom dijelu rada izdvojiti ćemo tri reprezentativna primjera zgrada s nekim od mogućih varijantnih rješenja tehničkih sustava u zgradama gotovo nulte energije. Navedene građevine različitih su namjena i geografskih lokacija: obiteljska kuća na području kontinentalne Hrvatske, obiteljska kuća na području primorske Hrvatske i višestambena zgrada na području kontinentalne Hrvatske. Uspoređujući primjere, prikazat ćemo razlike u potrošnji energije ovisno o lokaciji objekta, režimu korištenja i odabiru termotehničkih sustava za postizanje standarda zgrada gotovo nulte energije [6].

4.1. Primjer 1: Obiteljska kuća u kontinentalnoj Hrvatskoj [6].



Slika 34. Tlocrti i pogledi obiteljske kuće u okolici Zagreba [6]

U ovom primjeru obiteljska kuća nalazi se u okolici Zagreba. Sastoji se od dvije stambene etaže, katnosti: podrum, potkrovlje. Vertikalna nosiva konstrukcija izvedena je od zida blok opekom, međukatna konstrukcija je polumontažna, dok je vertikalna komunikacija ostvarena glavnim trokrakim stubištem. Krovšte obiteljske kuće je drveno, razvedeno u više ploha, kako je prikazano u pogledima (Slika 34.).

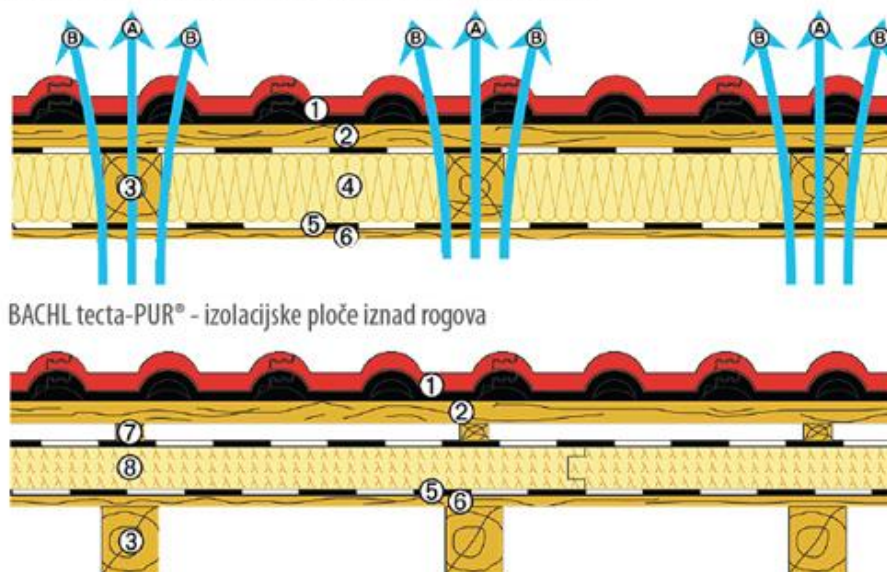
Grijana korisna površina kuće je $A_k = 155 \text{ m}^2$, dok je volumen grijanog prostora $V_e = 582 \text{ m}^3$, prema čemu faktor oblika zgrade iznosi $f_o = 0,75 \text{ m}^{-1}$. Takva vrijednost faktora oblika uzrokovana je kompaktnim geometrijskim oblikovanjem građevine, što doprinosi smanjenim gubicima topline kroz oplošje grijanog dijela kuće. Vanjska ovojnica građevine izolirana je toplinskom izolacijom u debljini od 15 cm na zidovima, što približno odgovara prosječnoj debljini od 16 cm za zadovoljavanje nZEB standarda

na području kontinentalne Hrvatske. Drveno krovšte izolirano je toplinskom izolacijom u debljini od 21 cm, dok su podovi izolirani toplinskom izolacijom debljine 10 cm. Pri pravilnoj izvedbi izolacije drvene krovne konstrukcije, potrebno je krovšte podaskati, tj. pričvrstiti drvene daske na gornje strane rogova konstrukcije, radi adekvatnog izvođenja paropropusne folije i toplinske izolacije. Takvim načinom izvođenja krovne izolacije umanjit će se pojave toplinskih mostova, smanjiti energetska gubitak i produžiti trajnost građevinskog materijala.

Toplinski most između različitih materijala - pojavljuje se kod izolacija između rogova:

A) rogovi kao toplinski most

B) toplinski most kod rupa prouzročenih skupljanjem vlaknastih materijala



BACHL tecta-PUR® - izolacijske ploče iznad rogova

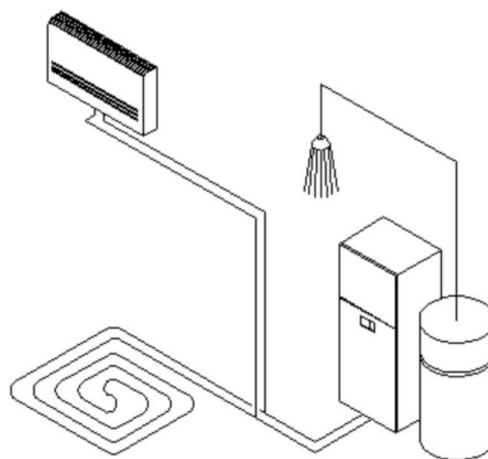
1. crijep; 2. letve za crijep; 3. rogovi 120x100 mm; 4. toplinska izolacija WLG 040, 120 mm (mineralna vuna);
5. PE folija 0,2 mm (parna brana); 6. drvena podloga - 19 mm;
7. kontra letve 50x80 mm; 8. tecta-PUR izolacijske ploče WLG 024, 80 mm

Slika 35. Grafički prikaz pravilne izvedbe krovne izolacije

Građevina je svojim dužim dijelom orijentirana u smjeru istok-zapad, s čime su strane kuće s najvećim površinama orijentirane prema sjeveru i jugu. Na strani kuće orijentirane prema jugu nalazi se ukupna površina otvora od $A_J = 17,10 \text{ m}^2$, na strani kuće prema sjeveru od $A_S = 11,88 \text{ m}^2$, dok je znatno manja raščlanjenost otvorima na strani kuće orijentirane prema istoku, $A_I = 3,78 \text{ m}^2$ i zapadu $A_Z = 3,42 \text{ m}^2$. Takva orijentacija otvora i veličina ostakljenja omogućuje prigodne faktore za ostvarivanje velike osvjetljenosti prostora. Kao stolarija su ugrađeni prozori s dvostrukim izo-staklom. Uloga je prozora, uz postizanje željene razine osvjetljenosti, osigurati potrebnu razinu zaštite od zračenja i topline. Za uštedu energije prozori moraju osigurati smanjenje potrebne energije za grijanje zimi, ali i ne dopustiti preveliko povećanje energije za

hlađenje ljeti. Da bi prozor dostigao nZEB standard, preporučuje se da U_w koeficijent transmisijskih gubitaka topline iznosi $0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$. Koeficijent toplinske provodljivosti U_g , dvostrukog izo-stakla sa zračnom ispunom, iznosi $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$, ukoliko je dvostruko izo-staklo ispunjeno agronom i sadrži low-e premaz, vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti smanjit će se na $1,10 - 1 \text{ W/m}^2\text{K}$, što je bliže zadovoljavanju nZEB standarda. Prema nZEB standardu optimalna je opcija pravilna ugradnja stolarskih elemenata s trostrukim izo-staklom, gdje se vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti smanjuje na $0,6 - 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Potrebna energija za grijanje i hlađenje građevine ovisi i o sustavu zasjenjenja, gdje su na kući postavljene rolete. Kao sustav provjetravanja koristi se prirodno provjetravanje prostora.

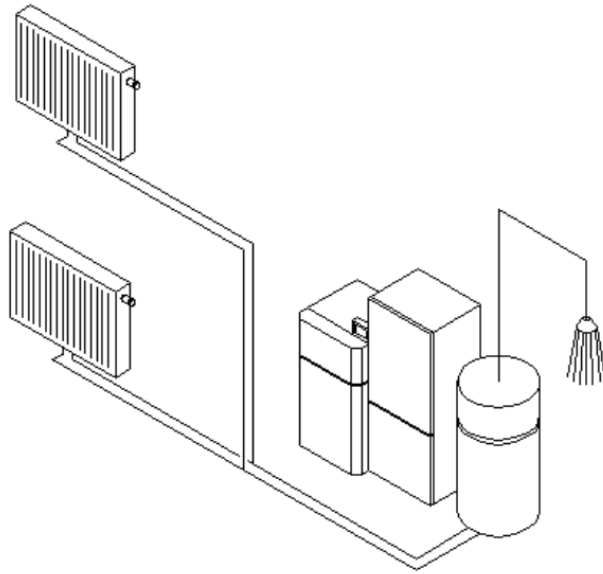
Kao jedna od varijanti tehničkih sustava za obiteljske kuće na prostoru kontinentalne Hrvatske koristi se dizalica topline zrak-voda.



Slika 36. Shematski prikaz dizalice topline zrak-voda [6]

Termotehnički sustav dizalice topline zrak-voda koristi električnu energiju pri proizvodnji topline za grijanje i pripremu PTV-a, s dodatno ugrađenim električnim grijačem za rad kad dizalica topline radi sa smanjenim kapacitetom ili uopće ne radi (za rad pri niskim temperaturama). Kao obnovljivi izvor energije, dizalica topline koristi energiju okoliša, s udjelom korištenja obnovljivih izvora energije u vrijednosti od 61,81%, znatno više od minimalne vrijednosti od 30% za zadovoljavanje standarda zgrada gotovo nulte energije.

Sljedeća od mogućih varijanti termotehničkih sustava obiteljske kuće u kontinentalnoj Hrvatskoj je kotao na biomasu (pelete).



Slika 37. Shematski prikaz kotla na biomasu [6]

Termotehnički sustav kotla na biomasu koristi električnu energiju i drvene pelete pri proizvodnji topline za grijanje i pripremu PTV-a. Kao obnovljivi izvor energije, kotao ložen drvenom biomasom koristi drvene pelete, s udjelom korištenja obnovljivih izvora energije u vrijednosti 98,75%. Pri proizvodnji električna energija koristi se isključivo za pogon pomoćnih sustava te time ovaj oblik termotehničkog sustava koristi obnovljive izvore energije u udjelu od gotovo 100%.

Ukupna specifična potrebna energija za grijanje ove kuće $Q''_{H,nd}$, iznosi 41,97 kWh/(m²·a), dok su maksimalne dopuštene vrijednosti nZEB standarda u vrijednosti od 62,80 kWh/(m²·a). Također, i razina ukupne specifične potrebne energije za hlađenje $Q''_{C,nd}$, zadovoljava standard s vrijednosti od 22,33 kWh/(m²·a), od maksimalne vrijednosti od 50,00 kWh/(m²·a) [6].

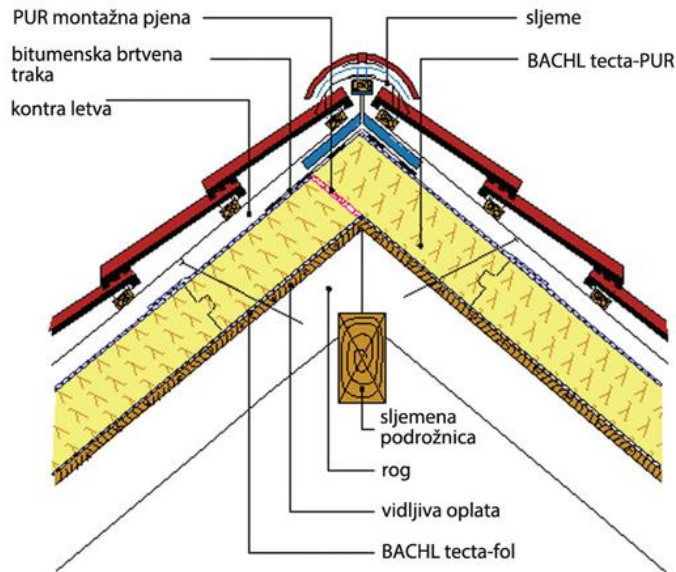
4.2. Primjer 2: Obiteljska kuća u primorskoj Hrvatskoj [6].



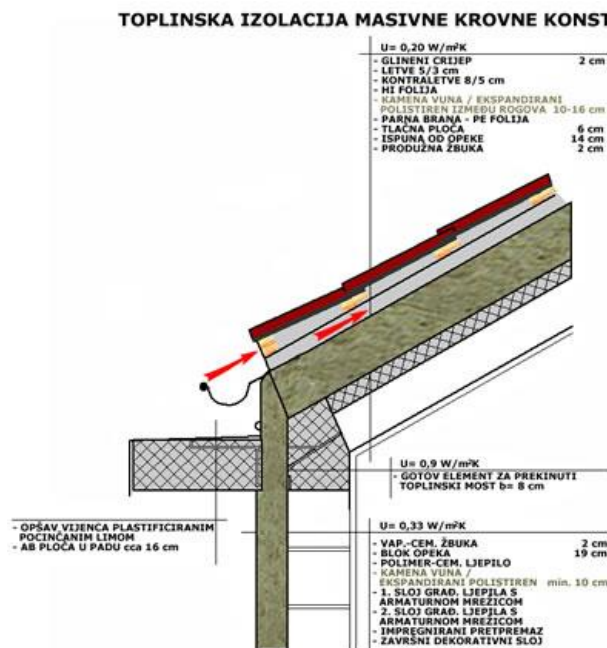
Slika 38. Tlocrti i pogledi obiteljske kuće u okolici Splita [6]

U ovom primjeru, opisana je ista obiteljska kuća, ali se nalazi u okolici Splita. Sastoji se od dvije stambene etaže, katnosti: podrum, potkrovlje. Vertikalna nosiva konstrukcija izvedena je od ziđa blok opekom, međukatna konstrukcija je polumontažna, dok je vertikalna komunikacija ostvarena glavnim trokrakim stubištem. Krovište obiteljske kuće je drveno, razvedeno u više ploha, kako je prikazano u pogledima (Slika 38.).

Grijana korisna površina kuće je $A_k = 155 \text{ m}^2$, dok je volumen grijanog prostora $V_e = 582 \text{ m}^3$, prema čemu faktor oblika zgrade iznosi $f_o = 0,75 \text{ m}^{-1}$. Takva vrijednost faktora oblika zgrade uzrokovana je kompaktnim geometrijskim oblikovanjem građevine, što doprinosi smanjenim gubicima topline kroz oplošje grijanog dijela kuće. Vanjska ovojnica građevine izolirana je toplinskom izolacijom u debljini od 8 cm na zidovima, što odgovara prosječnoj debljini od 8 cm za zadovoljavanje nZEB standarda na području primorske Hrvatske. Drveno krovište izolirano je toplinskom izolacijom u debljini od 21 cm, dok su podovi izolirani toplinskom izolacijom debljine 7 cm. Pri pravilnoj izvedbi izolacije drvene krovne konstrukcije potrebno je krovište podaskati, tj. pričvrstiti drvene daske na gornje strane rogova konstrukcije, radi adekvatnog izvođenja paropropusne folije i toplinske izolacije. Takvim načinom izvođenja krovne izolacije umanjit će se pojave toplinskih mostova, smanjiti energetska gubitak i produžiti trajnost građevinskog materijala.



Slika 39. Grafički prikaz pravilne izvedbe krovne izolacije u sljemenu

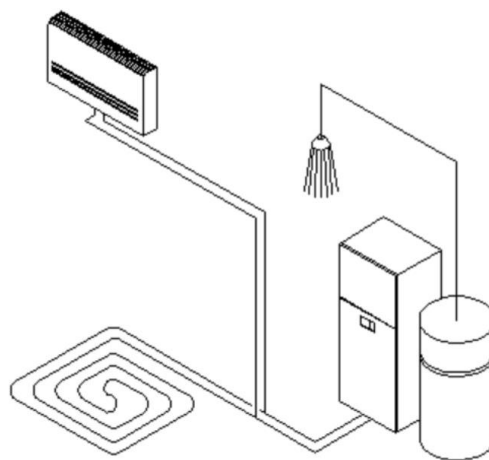


Slika 40. Grafički prikaz pravilne izvedbe krovne izolacije u strehi krova

Građevina je svojim dužim dijelom orijentirana u smjeru istok-zapad, s čime su strane kuće s najvećim površinama orijentirane prema sjeveru i jugu. Na strani kuće orijentirane prema jugu nalazi se ukupna površina otvora od $A_J = 17,10 \text{ m}^2$, na strani kuće prema sjeveru od $A_S = 11,88 \text{ m}^2$, dok je znatno manja raščlanjenost otvorima na stranama kuće orijentirane prema istoku, $A_I = 3,78 \text{ m}^2$ i zapadu $A_Z = 3,42 \text{ m}^2$. Takva orijentacija otvora i veličina ostakljenja omogućuje prigodne faktore za ostvarivanje velike osvjetljenosti prostora. Kao stolarija ugrađeni su prozori s dvostrukim izo-staklom.

Uloga je prozora, uz postizanje željene razine osvjetljenosti, osigurati potrebnu razinu zaštite od zračenja i topline. Za uštedu energije prozori moraju osigurati smanjenje potrebne energije za grijanje zimi, ali i ne dopustiti preveliko povećanje energije za hlađenje ljeti. Da bi prozor dostigao nZEB standard, preporučuje se da U_w koeficijent transmisijskih gubitaka topline iznosi $0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$. Koeficijent toplinske provodljivosti U_g , dvostrukog izo-stakla sa zračnom ispunom, iznosi $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$, ukoliko je dvostruko izo-staklo ispunjeno agronom i sadrži low-e premaz, vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti smanjit će se na $1,10 - 1 \text{ W/m}^2\text{K}$, što je bliže zadovoljavanju nZEB standarda. Prema nZEB standardu optimalna je opcija pravilna ugradnja stolarskih elemenata s trostrukim izo-staklom, gdje se vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti smanjuje na $0,6 - 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Potrebna energija za grijanje i hlađenje građevine ovisi i o sustavu zasjenjenja, gdje su na kući postavljene grilje. Kao sustav provjetravanja koristi se prirodno provjetravanje prostora.

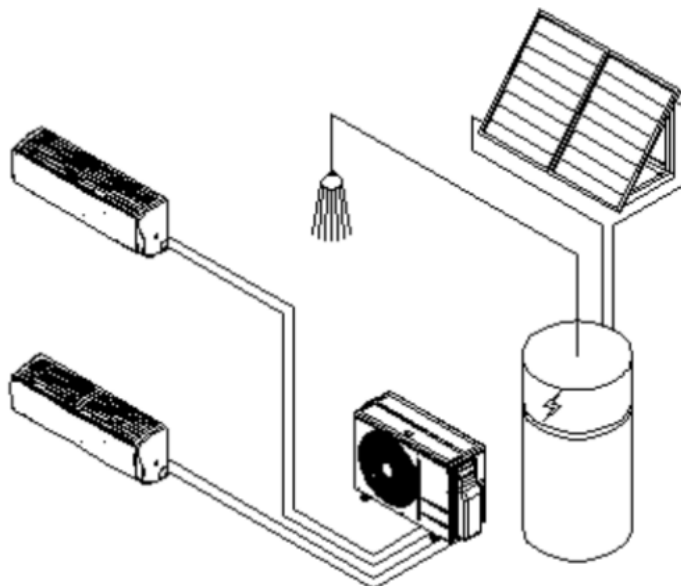
Kao jedna od varijanti tehničkih sustava za obiteljske kuće na prostoru primorske Hrvatske koristi se dizalica topline zrak-voda.



Slika 41. Shematski prikaz dizalice topline zrak-voda [6]

Termotehnički sustav dizalice topline zrak-voda koristi električnu energiju pri proizvodnji topline za grijanje i pripremu PTV-a. Kao obnovljivi izvor energije, dizalica topline koristi energiju okoliša, s udjelom korištenja obnovljivih izvora energije u vrijednosti od 61,32%, znatno više od minimalne vrijednosti od 30% za zadovoljavanje standarda zgrada gotovo nulte energije. Uočava se razlika pri korištenju dizalice topline zrak-voda za kuću smještenu u primorskoj Hrvatskoj, gdje nije potreban dodatni električni grijač, zbog manjeg odstupanja između visokih i niskih temperatura.

Sljedeća od mogućih varijanti termotehničkih sustava obiteljske kuće u primorskoj Hrvatskoj je dizalica topline zrak-zrak (split ili multi split sustav) i solarni sustav za PTV.



Slika 42. Shematski prikaz dizalice topline zrak-zrak i solarni sustav za PTV [6]

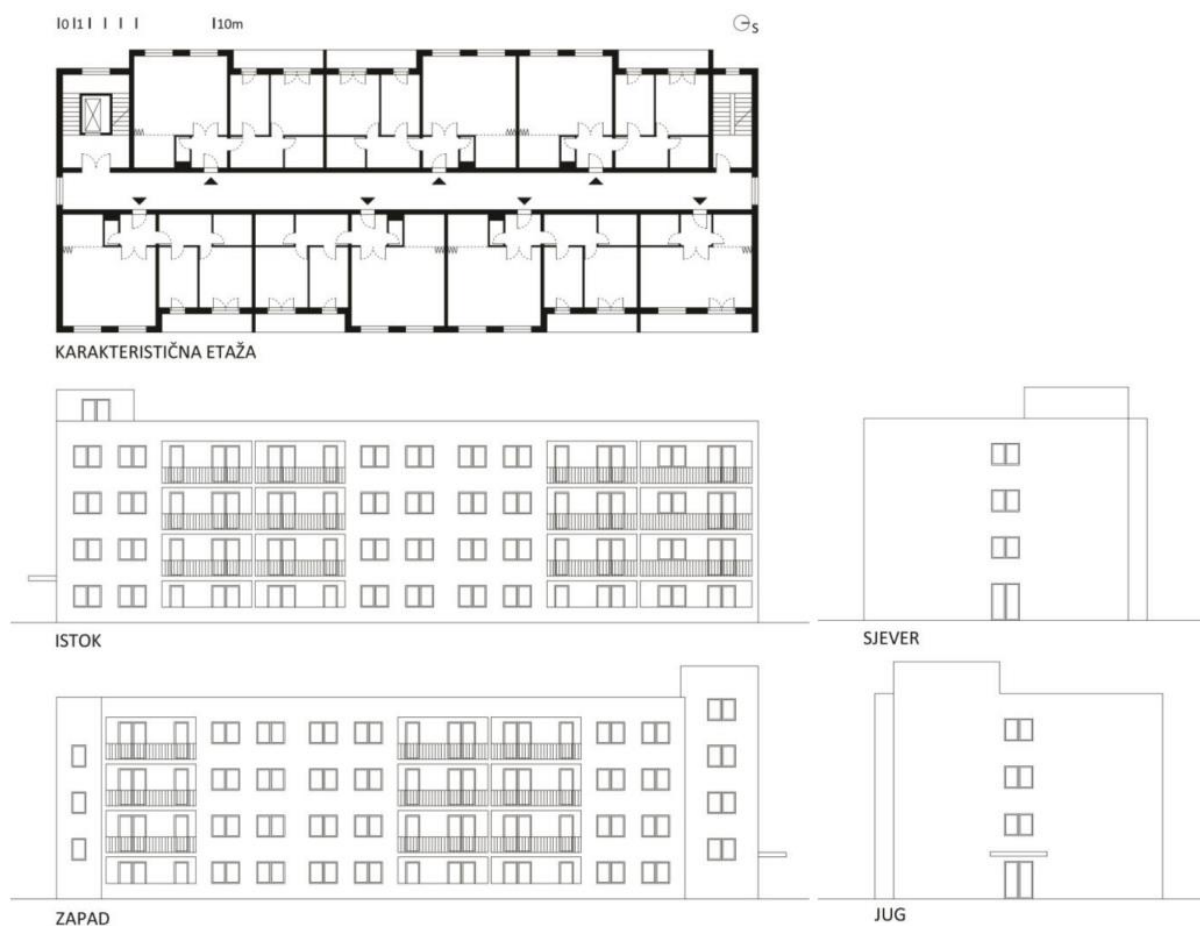
Termotehnički sustav dizalice topline zrak-zrak (split i multi split sustav), koristi električnu energiju pri proizvodnji topline, dok se solarni sustav (površine oko 5 m²) u kombinaciji s električnim grijačem koristi za pripremu PTV-a. Kao obnovljivi izvor energije, dizalica topline koristi energiju okoliša, dok solarni sustav koristi sunčevu energiju, s udjelom korištenja obnovljivih izvora energije u vrijednosti od 55,40%, što zadovoljava nZEB-ov standard od minimalnih 30%.

Ukupna specifična potrebna energija za grijanje ove kuće $Q''_{H,nd}$, iznosi 18,00 kWh/(m²·a), dok su maksimalne dopuštene vrijednosti nZEB standarda, za prostor primorske Hrvatske, u vrijednosti od 45,95 kWh/(m²·a). Također, razina ukupne specifične potrebne energije za hlađenje $Q''_{C,nd}$, zadovoljava standard s vrijednosti od 36,65 kWh/(m²·a), od maksimalne vrijednosti, od 50,00 kWh/(m²·a).

Uspoređujući rezultate specifičnih potrebnih energija za grijanje i hlađenje kuća iz Primjera 1 i Primjera 2, uočavamo da je razlika između maksimalne specifične energije za grijanje i ostvarene specifične potrebne energije za grijanje veća za kuću na prostoru primorske Hrvatske, što rezultira manjom potrebnom specifičnom energijom za grijanje kuće u primorskoj klimi. Suprotno tome, iz rezultata je vidljivo da se ostvaruje osjetno manja razlika u slučaju specifične potrebne energije za hlađenje za kuću u primorskoj

Hrvatskoj, što rezultira znatno većom potrebnom specifičnom energijom za hlađenje kuće u primorskoj Hrvatskoj od one na kontinentalnom prostoru [6].

4.3. Primjer 3: Višestambena zgrada u kontinentalnoj Hrvatskoj [6].

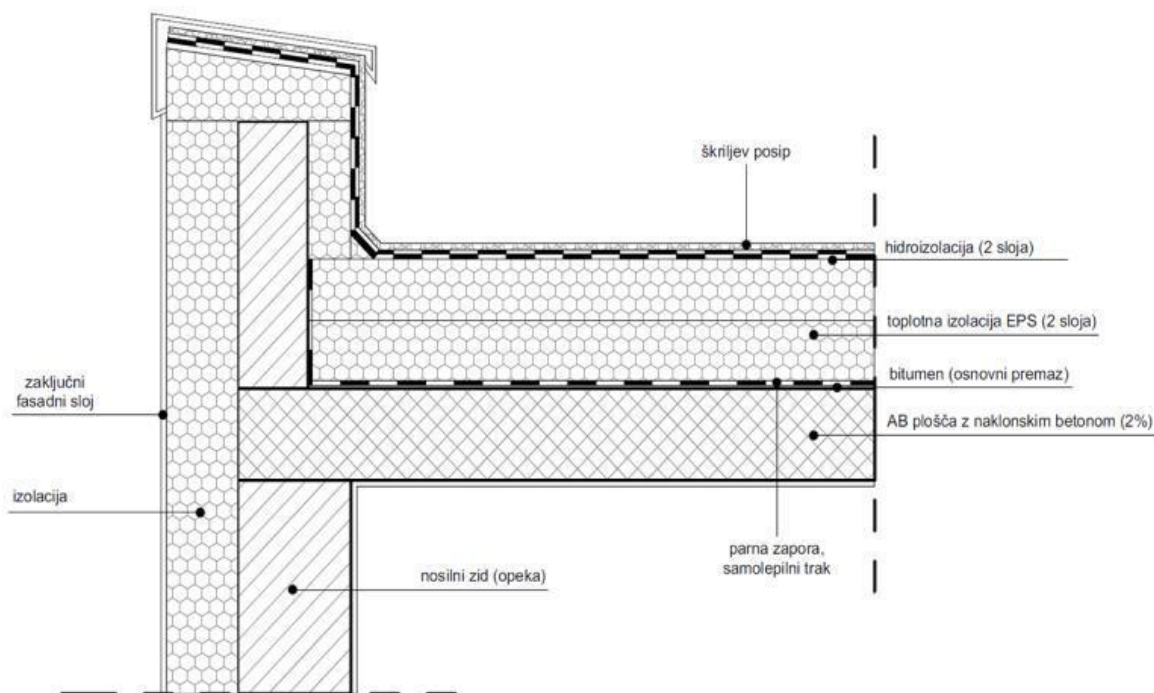


Slika 43. Tlocrt karakteristične etaže i pogledi višestambene zgrade u okolici Zagreba [6]

U ovom primjeru opisana je višestambena zgrada u okolici Zagreba. Sastoji se od četiri stambene etaže, katnosti: prizemlje, 1. kat, 2. kat, 3. kat. Višestambena zgrada sadrži 28 stambenih jedinica. Vertikalna nosiva konstrukcija izvedena je od armiranobetonskih zidova i zidova od blok opeke, međukatne stropne konstrukcije izvedene su kao masivne armiranobetonske ploče, dok je vertikalna komunikacija ostvarena glavnim dvokrakim stubištem s međupodestom. Krov je ravan.

Grijana korisna površina višestambene zgrade je $A_k = 2015 \text{ m}^2$, dok je volumen grijanog prostora $V_e = 7226 \text{ m}^3$, prema čemu faktor oblika zgrade iznosi $f_o = 0,56 \text{ m}^{-1}$. Takva vrijednost faktora oblika zgrade uzrokovana je relativno kompaktnim geometrijskim oblikovanjem građevine, što doprinosi smanjenim gubicima topline kroz

oplošje grijanog dijela zgrade. Vanjska ovojnica građevine izolirana je toplinskom izolacijom u debljini od 15 cm na zidovima, što približno odgovara prosječnoj debljini od 16 cm za zadovoljavanje nZEB standarda na području kontinentalne Hrvatske. Ravan krov izoliran je toplinskom izolacijom u debljini od 20 cm, dok su podovi izolirani toplinskom izolacijom debljine 10 cm.

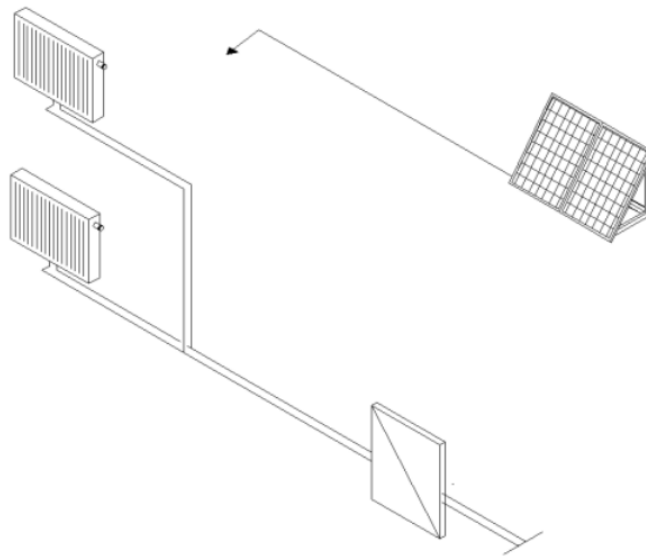


Slika 44. Grafički prikaz izvedbe pravilne krovne izolacije ravnog krova (detalj strehe krova)

Građevina je svojim dužim dijelom orijentirana u smjeru sjever-jug, s čime su strane zgrade s najvećim površinama orijentirane prema istoku i zapadu. Na strani kuće orijentirane prema jugu i sjeveru nalazi se ukupna površina otvora od $A_{I,S} = 0,00 \text{ m}^2$, dok je cjelokupna raščlanjenost otvorima na stranama zgrade orijentirane prema istoku, $A_I = 165,60 \text{ m}^2$ i zapadu $A_Z = 138,24 \text{ m}^2$. Takva orijentacija otvora i veličina ostakljenja omogućuje prigodne faktore za ostvarivanje velike osvjetljenosti prostora. Kao stolarija su ugrađeni prozori s dvostrukim izo-staklom. Uloga je prozora, uz postizanje željene razine osvjetljenosti, osigurati potrebnu razinu zaštite od zračenja i topline. Za uštedu energije prozori moraju osigurati smanjenje potrebne energije za grijanje zimi, ali i ne dopustiti preveliko povećanje energije za hlađenje ljeti. Da bi prozor dostigao nZEB standard, preporučuje se da U_w koeficijent transmisijskih gubitaka topline iznosi $0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$. Koeficijent toplinske provodljivosti U_g , dvostrukog izo-stakla sa zračnom ispunom, iznosi $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$, ukoliko je dvostruko izo-staklo ispunjeno agronom i sadrži

low-e premaz, vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti smanjit će se na $1,10 - 1 \text{ W/m}^2\text{K}$, što je bliže zadovoljavanju nZEB standarda. Prema nZEB standardu optimalna je opcija pravilna ugradnja stolarskih elemenata s trostrukim izo-staklom, gdje se vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti smanjuje na $0,6 - 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Potrebna energija za grijanje i hlađenje građevine ovisi i o sustavu zasjenjenja, gdje su na višestambenoj zgradi postavljene rolete. Kao sustav provjetravanja koristi se prirodno provjetravanje prostora.

Kao jedna od varijanti tehničkih sustava za višestambene zgrade na prostoru kontinentalne Hrvatske koristi se daljinsko grijanje.



Slika 45. Shematski prikaz daljinskog grijanja [6]

Termotehnički sustav daljinskog grijanja u kombinaciji s fotonaponskim panelima koristi daljinsko grijanje i električnu energiju za održivost sustava. Kao obnovljivi izvor energije, sustav koristi fotonaponske panele površine 200 m^2 i električne snage od 30 kWp , s udjelom korištenja obnovljivih izvora energije u vrijednosti od $31,60\%$, što zadovoljava minimalnu vrijednost od 30% za ostvarivanje standarda zgrada gotovo nulte energije. Tipični sustav daljinskog grijanja za proizvodnju energije koristi fosilna goriva ili fosilna goriva u kombinaciji s obnovljivim gorivima. Ukoliko sustav daljinskog grijanja želi zadovoljiti nZEB standard, potrebno je osigurati potreban udio energije iz obnovljivih izvora, a u ovom primjeru se to ostvarilo ugradnjom fotonaponskih panela.

Ukupna specifična potrebna energija za grijanje ove zgrade $Q''_{H,nd}$, iznosi $35,24 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, dok su maksimalne dopuštene vrijednosti nZEB standarda u vrijednosti od

55,21 kWh/(m²·a). Također, i razina ukupne specifične potrebne energije za hlađenje $Q''_{C,nd}$, zadovoljava standard s vrijednošću 17,60 kWh/(m²·a), od maksimalne vrijednosti, 50,00 kWh/(m²·a) [6].

5. ZAKLJUČAK

Opća potreba za smanjenjem potrošnje energije u graditeljstvu se nastoji ostvariti projektiranjem zgrada gotovo nulte energije radi postizanja ciljeva Europske unije o klimatski neutralnoj Europi do 2050. godine. Polazeći od zakonodavnog okvira kojim su određeni zahtjevi za ostvarivanje željenog standarda kod zgrada novogradnje i onih u procesu rekonstrukcije, u radu uvodimo osnovne principe projektiranja zgrada gotovo nulte energije. Definicijom funkcija vanjske ovojnice zgrade i njezinog bitnog svojstva zrakonepropusnosti, ističe se njezina uloga u smanjenju potrošnje energije prema kriterijima za njezino pravilno dimenzioniranje. Nadalje, pravilnim projektiranjem teži se smanjenju ili potpunom izbjegavanju pojave toplinskih mostova te njihovog negativnog utjecaja pri pojavi građevinskih šteta. Pravilnim postavljanjem toplinske izolacije i pravilnom ugradnjom prozora sprečavaju se nepotrebni gubici topline koji se mogu izbjeći slijedeći zakonom preporučene postupke ugradnje. U trećem dijelu rada razmotrili smo projektiranje tehničkih sustava u zgradama gotovo nulte energije kroz načine funkcioniranja tehničkih sustava grijanja, hlađenja, mehaničke ventilacije i rekuperacije te LED rasvjete itd., čija upotreba doprinosi energetske učinkovitosti zgrada i iskoristivosti obnovljivih izvora energije. Naposljetku, izdvojili smo primjere građevina različitih namjena i lokacija – od obiteljskih kuća do stambenih zgrada, na lokacijama kontinentalne i primorske Hrvatske – na kojima uočavamo ulogu nZEB standarda u postizanju energetske učinkovitosti i važnosti korištenja obnovljivih izvora energije. Energetska učinkovitost i održivost neizostavan su dio projektiranja zgrada budućnosti ne samo za njihove korisnike, već i za cjelokupni tehnološki razvoj koji doprinosi dobrobiti društva u cjelini.

6. LITERATURA

- [1] <https://mpgi.gov.hr/o-ministarstvu/djelokrug/energetska-ucinkovitost-u-zgradarstvu/zgrade-gotovo-nulte-energije-nzeb/10504> , posjećeno 1.7.2022.
- [2] European Parliament and the Council, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), vol. OJEU L153/13, European Parliament, 2010.
- [3] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, Smjernice za zgrade gotovo nulte energije – PRVI DIO (namijenjene za opću zainteresiranu javnost), 2019. https://mgipu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Smjernice_1_dio_nZEB_mgipu.pdf, 16.05.2020.
- [4] Republika Hrvatska, Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Vol. 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, NN102/20 Narodne novine.
- [5] <https://mpgi.gov.hr/o-ministarstvu/djelokrug/energetska-ucinkovitost-u-zgradarstvu/zgrade-gotovo-nulte-energije-nzeb/pojasnjjenje-primjene-odredbi-vezanih-uz-standard-gradnje-zgrada-gotovo-nulte-energije-nzeb/10580> , posjećeno 1.7.2022.
- [6] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, Smjernice za zgrade gotovo nulte energije – DRUGI DIO (namijenjene za stručnu zainteresiranu javnost), 2019. https://mgipu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Smjernice_2_dio_nZEB_mgipu.pdf 16.05.2020.
- [7] https://unfccc.int/kyoto_protocol , posjećeno 1.7.2022.
- [8] Chee, J.: Investigations on Energy Efficient Buildings - the aim to reach zero energy buildings, Halmstad University, 22.2.2017.
- [9] Milovanović, B., Bagarić, M.: Kako postići standard zgrade gotovo nulte energije, Građevinar, 72 (2020) 8, pp. 703-720.
- [10] Bašić, S., Vezilić Strmo, N., Marjanović, S.: Ovojnice zgrade, Građevinar, 71 (2019) 9, pp. 673-680.
- [11] Pešut, H.: Zrakopropusnost omotača zgrade, Građevinar, 64 (2012) 7, pp. 615-617.
- [12] <https://ekovjesnik.hr/clanak/2503/pametne-ovojnice-zgrada-mijenjaju-oblik-ovisno-o-promjeni-temperature> , posjećeno 7.8.2022.

- [13] Sušilović, V.: Zgrade gotovo nulte energije, završni rad, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2019.
- [14] Predavanje o toplinskoj izolaciji zgrada s Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
- [15] Vrančić, T.: Fizika zgrada, Građevinar, 75 (2005) 10, pp. 825-828.
- [16] <https://www.inoprem.hr/pvc-stolarija-inoprem-pocetna/pvc-prozori/izo-staklo-dvoslojno-i-troslojno/> , posjećeno 15.6.2023.
- [17] Vrančić T.: Pravilna ugradnja stolarije – RAL montaža (II. dio), Građevinar, 72 (2020) 9, pp. 826-827.
- [18] Mitrović R.: Energetska efikasnost i tehnologije primjene stakla u arhitektonskom projektovanju, Materijali i konstrukcije, 53 (2010) 3, pp. 44-53.