

SMJERNICE ZA PRIMJENU MODELA SUSTAVNOG GOSPODARENJA ENERGIJOM I VODOM U VIŠESTAMBENIM ZGRADAMA

2025.



**SMJERNICE
ZA PRIMJENU MODELA SUSTAVNOG GOSPODARENJA
ENERGIJOM I VODOM
U VIŠESTAMBENIM ZGRADAMA**

Izradili:

**Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva**

prof. dr. sc. Hrvoje Pandžić

doc. dr. sc. Mirna Gržanić Antić

**EKONERG - institut za energetiku
i zaštitu okoliša d.o.o.**

Dean Vidak, dipl. ing. stroj.

izv. prof. dr. sc. Bojan Milovanović

Objavljuje:

**Agencija za pravni promet i posredovanje
nekretninama**

Predgovor

Stanovanje je osnovna čovjekova potreba i stambeno zbrinjavanje svojih građana odgovornost je države. Vlada je donijela **Nacionalni plan stambene politike** s ciljem povećanja dostupnosti, odnosno priuštivog stanovanja, održivog stanovanja i korištenja prostora u funkciji stanovanja. Stambeno pitanje treba biti društveno regulirano i kontrolirano područje, ne samo po pitanju dostupnosti stana, nego i po pitanju osiguranja osnovnog standarda i kvalitete stanovanja. Standard stanovanja je definiran fizičkim pokazateljima stambenog fonda, odnosno površinom, sobnošću, starošću, komunalnom opremljenošću te stambenim statusom i vlasništvom u odnosu na demografske pokazatelje. Kvalitativni manjak stambenog fonda tematizira se u okviru istraživanja povezanih s kvalitetom življenja kojima su podloge ankete o procjeni stambenih potreba i druga empirijska istraživanja.

Godinama su stvarana različita rješenja, razmatrana kroz različite aspekte kompleksnosti i ona danas čine naš stambeni fond. Od ukupnog broja svih nastanjenih stanova u Hrvatskoj njih 52 posto izgrađeno je od 1960. do 1990. godine. S obzirom na godinu izgradnje i predviđeni rok trajanja, postojeći fond zgrada je potrebno obnoviti ili zamijeniti, ovisno o procjeni postojećeg stanja zgrade donesene na temelju snimka i analize svih potrebnih stručnih ispitivanja. 2020. godine je donesena i **Dugoročna strategija obnove nacionalnog fonda zgrada**, koja definira djelotvorne mjere za dugoročno poticanje troškovno učinkovite integralne obnove nacionalnog fonda zgrada Hrvatske do 2050. godine. Cilj je transformacija postojećeg fonda u visokoučinkovit i dekarboniziran fond zgrada.

Obnovljene zgrade potrebno je održavati i pratiti. **Zakonom o upravljanju i održavanju zgrada** htjelo se pridonijeti donošenju kvalitetnog programa upravljanja zgradom. Nakon stručnog pregleda zgrade potrebno je utvrditi rokove popravaka ili zamjene dotrajalih dijelova jer je ulaganje u zajedničku pričuvu ulaganje u zajedničku imovinu koje se vraća kroz povećanje vrijednosti nekretnine. Stoga je u Zakonu naglašen Program upravljanja zgradom kako bi zgrade postale kvalitetnije i sigurnije. Zakon definira ulogu upravitelja, i ulogu predstavnika suvlasnika, te precizno nabraja što su zajednički dijelovi zgrade što je izazivalo poteškoće u praksi. Uređuje se minimalni iznos i način plaćanja zajedničke pričuve te prava, obveze i odgovornosti suvlasnika. Zakon uvodi pojam zajednice suvlasnika s pravnom osobnosti i vlastitim OIB-om što će znatno ubrzati upravne i sudske postupke te olakšati zgradama apliciranje za fondove (obnove fasada, energetske obnove, ugradnja solarnih elektrana i dizalica topline na zgradu).

Uvodi se Registar zajednice suvlasnika što je preduvjet za dobivanje OIB-a, a iz tog će Registra velik dio podataka preuzimati Porezna uprava u svoj Registar kućanstava. Pomoću tog registra dugoročno ćemo imati kvalitetne podatke o kućanstvima u Republici Hrvatskoj i pokazatelje za stanove u prostoru što će olakšavati postupanje hitnim službama.

Smanjuju se potrebne većine suvlasnika za donošenje odluka jer je praksa pokazala da se često zbog nezainteresiranosti pojedinaca odluke ne mogu donijeti.

U donošenju objektivnih i ispravnih zaključaka i mjera, pokazalo se korisno imati stvarna mjerenja potrošnje energenata, te su već razvijene statističke i analitičke metode analize istih na primjerima javnih zgrada. Dobivene informacije omogućuju planiranje budućih aktivnosti kao i pravovremeno uočavanje građevinskih šteta. Iz tog razloga u razradu su ušle i višestambene zgrade koje čine 35% ukupnog stambenog fonda i oko 27 % svih zgrada u Republici Hrvatskoj.

Sadržaj

POPIS SLIKA.....	I
POPIS TABLICA.....	I
POPIS OZNAKA	I
UVOD	1
1. MODEL PRAĆENJA POTROŠNJE ENERGIJE I VODE U VIŠESTAMBENIM ZGRADAMA	4
2. PROVEDENE ANALIZE NA UZORKU ZGRADA UKLJUČENIH U PILOT PROJEKT „USPOSTAVA I PROVEDBA SUSTAVNOG GOSPODARENJA ENERGIJOM TE RAZVOJ NOVOG MODELA FINANCIRANJA“ KORIŠTENJEM PODATAKA PRIKUPLJENIH U ISGE, KAO I TERENSKIM MJERENJEM.....	8
2.1. Pregled zgrada uključenih u projekt	8
2.2. Arhitektonski snimak zgrade s izradom fotodokumentacije	11
2.3. Energetski pregled zgrade s građevinskog stajališta, definirati elemente vanjske ovojnice zgrade sa slojevima te tehničkim karakteristikama slojeva, teorijskim U-vrijednostima svih elemenata ovojnice	16
2.3.1. Mjerenja korištenjem infracrvene termografije	23
2.3.2. Toplinski mostovi	28
2.3.3. Zrakopropusnost vanjske ovojnice zgrade	30
2.3.4. Toplinski tok kroz vanjsku ovojnicu zgrade	38
2.4. Usporedba postojećeg algoritma za izračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema algoritmu i algoritmom propisanih normi s novim izračunom prema normi HRN EN ISO 52016-1, kao i mjerenjima na predmetnim VSZ-ima.....	44
2.4.1. Energetsko svojstvo zgrade	44
2.4.2. Algoritam za izračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema normama HRN EN ISO 13790 i HRN EN ISO 52016-1	45
2.4.3. Klimatski (meteorološki) podatci za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje	49
2.4.4. Računalni programi za određivanje energetskog svojstva zgrade.....	49
2.4.5. Usporedba postojećeg algoritma za izračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema algoritmu i algoritmom propisanih normi s novim izračunom prema normi HRN EN ISO 52016-1	51
2.5. Modeliranje prema algoritmu i algoritmom propisanih normi, analiza i mjerenje strojarских instalacija podsustava proizvodnje, distribucije i predaje energije, uključujući toplinsku ugodnost.....	77
2.5.1. Analiza i mjerenje strojarских instalacija podsustava proizvodnje, distribucije i predaje energije.....	77
2.5.2. Podatci o potrošnji toplinske energije za grijanje koji se bilježe u ISGE	82
2.5.3. Uvjeti komfora u stanovima	89

2.5.4.	Modeliranje prema algoritmu i algoritmom propisanih normi.....	91
2.6.	Modeliranje potencijala za ugradnju fotonaponske elektrane na razini skupnog aktivnog kupca, uključujući pitanje sufinanciranja povećanja priključne snage, pitanje postojećih instalacija (unutarnjih te priključka na TS X/0,4 kV)	98
2.7.	Modeliranje mogućnosti dijeljenja energije proizvedene električne energije iz obnovljivih izvora energije na razini skupnog aktivnog kupca i energetske zajednice (bez prostornog ograničenja), uključujući i primjenu različitih ključeva za dijeljenje električne energije	103
2.8.	Modeliranje potencijala za pružanje usluge fleksibilnosti/upravljanje potrošnjom na razini zgrade	117
2.9.	Podatci o uvjetima komfora u stanovima (unutarnji klimatski uvjeti).....	122
2.9.1.	Toplinska ugodnost.....	122
2.9.2.	Mjerenje i prikupljanje podataka o uvjetima komfora u stanovima	124
3.	UTEMELJENE MJERE I PREPORUKE ZA USPOSTAVU I PROVEDBU BUDUĆIH ENERGETSKIH OBNOVA NA NACIONALNOJ RAZINI, UKLJUČUJUĆI UŠTEDE ENERGIJE I VODE	138
3.1.	Izmjene i dopune zakonodavno-regulatornog okvira vezanog uz provođenje mjera energetske učinkovitosti, tj. energetske obnove, uključujući instalaciju fotonaponske elektrane i dijeljenje energije	138
3.2.	Praćenje potrošnje vode	142
3.3.	Postizanje ukupne garantirane uštede od 50 %	150
3.3.1.	Preporuke mjera na vanjskoj ovojnici s ciljem postizanja uštede potrebne energije za grijanje (arhitektonsko-građevinski dio)	150
3.3.2.	Preporuke mjera na sustavima grijanja i pripreme potrošne tople vode (PTV) s ciljem postizanja uštede primarne energije.....	154
3.3.3.	Preporuke mjera na sustavima potrošnje električne energije s ciljem postizanja uštede primarne energije	163
3.4.	Potrošnja energije za pripremu potrošne tople vode (PTV) i njen nesrazmjer u odnosu na energiju potrebnu za grijanje	164
3.5.	Stanje i potrebne zamjene strojarskih instalacija u starijim višestambenim zgradama, kako u dijelu proizvodnje tako i u dijelu distribucije i predaje toplinske energije	169
3.5.1.	Proizvodnja toplinske energije	169
3.5.2.	Toplinske podstanice	171
3.5.3.	Distribucija toplinske energije	173
3.5.4.	Predaja toplinske energije	174
3.6.	Hidrauličko uravnoteženje sustava distribucije toplinske energije	176
3.7.	Mogućnost priključenja većih potrošača električne energije na postojeću infrastrukturu unutar zgrade, kao i na TS X/0,4 kV.....	186

3.8.	Mogućnost projektiranja i instalacije fotonaponskih elektrana na krov zgrade	187
3.9.	Mogućnost dijeljenje električne energije između suvlasnika s ograničenjem i bez geografskog ograničenja, tj. ograničenja na razini priključenja	188
3.10.	Iskorištavanje potencijala višestambenih zgrada u dijelu pružanja usluga fleksibilnosti	189
4.	ZAKLJUČAK	191
	POPIS KORIŠTENE LITERATURE	1

Popis slika

Sl. 2-1: Primjer stambeno-poslovne zgrade u Vukovaru (HR-32000-0096-1), oštećene u Domovinskom ratu (lijevo) i nakon provedene obnove (desno)	8
Sl. 2-2: Primjer stambeno-poslovne zgrade u Velikoj Gorici (HR-10410-0327-1) prije (lijevo) i nakon energetske obnove (desno)	10
Sl. 2-3: Primjer neprimjerene tehničke dokumentacije o višestambenoj zgradi	11
Sl. 2-4: Primjer 3D skena stana korištenjem LiDAR tehnologije	14
Sl. 2-5: Primjer 3D skena toplinske podstanice korištenjem LiDAR tehnologije	15
Sl. 2-6: Primjer BIM modela višestambene zgrade izrađenog korištenjem rezultata 3D skeniranja	15
Sl. 2-7: Primjer dijela projekta energetske obnove zgrade s krivim ulaznim podacima o postojećem stanju zgrade	19
Sl. 2-8: Primjer zgrade u kojoj je napravljena loša procjena sastava građevnih dijelova zgrade	20
Sl. 2-9: Primjer višestambene zgrade u Zagrebu PRIJE provedene energetske obnove	24
Sl. 2-10: Primjer višestambene zgrade u Rijeci PRIJE provedene energetske obnove	24
Sl. 2-11: Primjer višestambene zgrade u Zagrebu NAKON provedene energetske obnove	25
Sl. 2-12: Primjer višestambene zgrade u Velikoj Gorici, u prednjem planu zgrada NAKON, a u pozadini izvorno identična zgrada PRIJE provedene energetske obnove	25
Sl. 2-13: Primjer višestambene zgrade u Vukovaru PRIJE provedene energetske obnove: ploče EPS-a bez mehaničkih pričvrsnica (lijevo); vlaga u ETICS sustavu (desno)	26
Sl. 2-14: Primjer višestambene zgrade u Zagrebu PRIJE provedene energetske obnove, izvorno izvedena toplinska izolacija s unutarnje strane	27
Sl. 2-15: Primjer detektiranog problema s vlagom u zgradi u Splitu korištenjem infracrvene termografije	27
Sl. 2-16: Primjer karakterističnih informacija o toplinskim mostovima: a) energetski obnovljena zgrada u Velikoj Gorici tijekom kasne jeseni; b) energetski neobnovljena zgrada u Vukovaru tijekom ljeta	30
Sl. 2-17: Primjer mjerenja zrakopropusnosti u višestambenoj zgradi u Vukovaru, a) postavljanje sustava za mjerenje; b) grafički prikaz odnosa „tlak – protok“ za vrijeme ispitivanja (podtlak i nadtlak)	32
Sl. 2-18: Primjeri dijela karakterističnih problema sa zrakopropusnosti vanjske ovojnice zgrade	34
Sl. 2-19: Temperatura rosišta prema Molliarovom dijagramu (izvor: https://mollier.swegon.com/)	37
Sl. 2-20: Primjeri termograma zgrade u Velikoj Gorici na kojima su izmjerene kritično niske temperature	38

Sl. 2-21: Grafički prikaz mjerenih veličina za vrijeme ispitivanja HFM metodom (Osjenčani dio grafikona označava period za koji je U-vrijednost određena).....	40
Sl. 2-22: Primjer postavljanja uređaja za mjerenje toplinskog toka	40
Sl. 2-23: Ovisnost toplinske provodljivosti materijala o sadržaju vlage: a) EPS, b) mineralna vuna	42
Sl. 2-24: Ovisnost toplinske provodljivosti materijala o temperaturi: a) EPS, b) mineralna vuna	43
Sl. 2-25: 5R1C model zgrade prema ISO 13790 (jednostavna satna metoda)	46
Sl. 2-26: R-C mrežni model za svaki neprozirni građevni element (do 5 čvorova) prema ISO 52016-1 (izvor: L 38)	48
Sl. 2-27: Sučelje računalnog programa Energetski certifikator	50
Sl. 2-28: Stambeno-poslovna zgrada (HR-10000-3296-1) u Zagrebu (pročelje, tlocrt i presjek zgrade)	51
Sl. 2-29: Srednja dnevna (mjesečna) temperatura zraka (Zagreb Maksimir).....	56
Sl. 2-30: Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu (Zagreb Maksimir).....	56
Sl. 2-31: Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu kod intenziteta većeg od 300 W/m ² (Zagreb Maksimir)	56
Sl. 2-32: Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu kod intenziteta manjeg ili jednakog 300 W/m ² (Zagreb Maksimir).....	57
Sl. 2-33: Potrebna energija za grijanje stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (HR-10000-3296-1), Q _{H,nd}	58
Sl. 2-34: Usporedba ukupnih toplinskih gubitaka i dobitaka kod grijanja i hlađenja stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (HR-10000-3296-1)	59
Sl. 2-35: Potrebna energija za hlađenje stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (HR-10000-3296-1), Q _{C,nd}	61
Sl. 2-36: Stambena zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1) (pročelje, tlocrt i presjek zgrade).....	64
Sl. 2-37: Srednja dnevna (mjesečna) temperatura zraka (Split Marjan)	68
Sl. 2-38: Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu (Split Marjan)	69
Sl. 2-39: Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu kod intenziteta većeg od 300 W/m ² (Split Marjan).....	69
Sl. 2-40: Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu kod intenziteta manjeg ili jednakog 300 W/m ² (Split Marjan)	70
Sl. 2-41: Potrebna energija za grijanje stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1), Q _{H,nd}	71
Sl. 2-42: Usporedba ukupnih toplinskih gubitaka i dobitaka kod grijanja i hlađenja stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1)	72
Sl. 2-43: Potrebna energija za hlađenje stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1), Q _{C,nd}	74
Sl. 2-44: Primjer indirektna toplinske podstanice u stambeno-poslovnoj zgradi u Zagrebu (HR-10000-3296-1)	78
Sl. 2-45: Potrošnja toplinske energije za grijanje u obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0097-1) prema očitanjima zasebnih mjerila (kalorimetara).....	86

Sl. 2-46: Mjesečna potrošnja toplinske energije za grijanje u energetske obnovljenoj zgradi u Velikoj Gorici (HR-10410-0327-1).....	87
Sl. 2-47: Mjesečna potrošnja toplinske energije za grijanje u energetske obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0097-1)	87
Sl. 2-48: Trenutna snaga grijanja u zgradi u Vukovaru u 2024. godini (HR-32000-0097-1).....	87
Sl. 2-49: Trenutna snaga grijanja u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0097-1) u karakterističnom tjednu ogrjevnog sezone (noćni prekid grijanja)	88
Sl. 2-50: Trenutna snaga grijanja u zgradi u Rijeci (HR-51000-0358-1) u karakterističnom tjednu ogrjevnog sezone (cjelodnevno grijanje)	89
Sl. 2-51: Srednja dnevna (mjesečna) temperatura zraka (Zagreb Maksimir), razdoblje 1991-2010, 2023 i 2024	93
Sl. 2-52: Srednja dnevna (mjesečna) temperatura zraka (Rijeka), razdoblje 1991-2010, 2023 i 2024.....	94
Sl. 2-53: Potrošnje električne energije u VT i NT za svako OMM za 2022. i 2023. godinu (primjer zgrade u Vukovaru)	99
Sl. 2-54: Udio u investiciji pojedinog OMM (zgrada u Vukovaru).....	100
Sl. 2-55: Periodi povrata investicije za elektrane različitih snaga	100
Sl. 2-56: NPV za elektrane različite snage	101
Sl. 2-57: Energija na godišnjoj razini pojedinog OMM	103
Sl. 2-58: Uštede energije na godišnjoj razini pojedinog OMM	104
Sl. 2-59: Period povrata investicije pojedinog OMM	104
Sl. 2-60: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM	105
Sl. 2-61: Period povrata investicije pojedinog OMM	106
Sl. 2-62: Energija na godišnjoj razini pojedinog OMM	107
Sl. 2-63: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM	108
Sl. 2-64: Period povrata investicije pojedinog OMM	108
Sl. 2-65: Period povrata investicije pojedinog OMM	109
Sl. 2-66: Ukupna mjesečna proizvodnja električne energije	110
Sl. 2-67: Iznos potrošnje / proizvodnje po pojedinom OMM	110
Sl. 2-68: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM	111
Sl. 2-69: Period povrata investicije pojedinog OMM	111
Sl. 2-70: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM	112
Sl. 2-71: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM (mjesečni i godišnji ključ).....	113
Sl. 2-72: Period povrata investicije pojedinog OMM (mjesečni i godišnji ključ).....	114
Sl. 2-73: Iznosi investicije za pojedina OMM	115
Sl. 2-74: Usporedba vremena povrata investicije za SAK i samoopskrbu višestambene zgrade	116
Sl. 2-75: Iznosi energije na godišnjoj razini koji su umanjeni za vrijeme trajanja VT	117
Sl. 2-76: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM	118
Sl. 2-77: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM (10% potrošnje VT).118	

Sl. 2-78: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM (20% potrošnje VT)	119
Sl. 2-79: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM (30% potrošnje VT)	120
Sl. 2-80: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM (40% potrošnje VT)	120
Sl. 2-81: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM (50% potrošnje VT)	121
Sl. 2-82: Odnos temperature okoline i prostorije u smislu ugodnosti	123
Sl. 2-83: Utjecaj vlage i temperature na ugodu u prostoru	123
Sl. 2-84: Lokalni mjerni uređaji za mjerenje i prikupljanje podataka o uvjetima komforta u stanovima.....	125
Sl. 2-85: Primjer zgrade u Vukovaru (HR-32000-0100-0) u kojem su zabilježene veće razlike u temperaturama zraka u stanovima	128
Sl. 2-86: Primjer zgrade u Vukovaru (HR-32000-0096-1) u kojem su zabilježene manje razlike u temperaturama zraka u stanovima	128
Sl. 2-87: Temperature zraka u stanovima u tjednu prijelaznog razdoblja u zgradi u Zagrebu (HR-10000-3296-1)	128
Sl. 2-88: Karakteristično kretanje temperature unutarnjeg zraka u tjednu ogrjevn sezone u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0095-1) s noćnim prekidom grijanja	129
Sl. 2-89: Karakteristično kretanje temperature unutarnjeg zraka u tjednu rashladne sezone u hlađenim i nehladenim stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0096-1)	129
Sl. 2-90: Temperature zraka u stanovima u tjednu ogrjevn sezone u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0100-0).....	130
Sl. 2-91: Temperature zraka u stanovima u tjednu rashladne sezone u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0099-0).....	130
Sl. 2-92: Relativna vlažnost zraka u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0099- 0) – izražene razlike između ljetnog i zimskog perioda	132
Sl. 2-93: Kretanje relativne vlažnosti unutarnjeg zraka u tjednu ogrjevn sezone u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0095-1).....	132
Sl. 2-94: Kretanje relativne vlažnosti unutarnjeg zraka u tjednu rashladne sezone u stanovima u zgradi u Zagrebu (HR-10000-3301-1)	132
Sl. 2-95: Relativna vlažnost zraka u stanovima u tjednu prijelaznog razdoblja u zgradi u Zagrebu (HR-10000-3296-1)	133
Sl. 2-96: Niska relativna vlažnost unutarnjeg zraka u nekim stanovima u tjednu ogrjevn sezone u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0095-1).....	133
Sl. 2-97: Visoka relativna vlažnost unutarnjeg zraka u nekim stanovima u tjednu rashladne sezone u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0094-1).....	133
Sl. 2-98: Koncentracija CO ₂ u zraku u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000- 0096-1) – niže vrijednosti i bolja kvaliteta zraka.....	134
Sl. 2-99: Koncentracija CO ₂ u zraku u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000- 0099-0) – više vrijednosti i lošija kvaliteta zraka	134
Sl. 2-100: Kretanje koncentracije CO ₂ u unutarnjem zraku u tjednu ogrjevn sezone u stanovima zgradi u Velikoj Gorici (HR-10410-0327-1).....	136

Sl. 2-101: Kretanje koncentracije CO ₂ u unutarnjem zraku u tjednu izvan ogrjevnog sezone u stanovima zgradi u Velikoj Gorici (HR-10410-0327-1)	136
Sl. 2-102: Koncentracija CO ₂ u unutarnjem zraku kao indikator boravka osoba u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0099-0)	136
Sl. 2-103: Kretanje koncentracije CO ₂ u unutarnjem zraku u tjednu ogrjevnog sezone u stanovima zgradi u Vukovaru (HR-32000-0097-1)	137
Sl. 2-104: Kretanje koncentracije CO ₂ u unutarnjem zraku u tjednu izvan ogrjevnog sezone u stanovima zgradi u Splitu (HR-21000-0568-1)	137
Sl. 3-1: Putanja obnove stambenih zgrada prema EPBD (izvor: L 18)	138
Sl. 3-2: Velika razlika između potrošnje vode izmjerene na zajedničkom i na zasebnim mjerilima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0096-1)	145
Sl. 3-3: Velika potrošnja vode u noćnom periodu u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0096-1) (satne vrijednosti)	145
Sl. 3-4: Usporedba potrošnje vode izmjerena na zajedničkom i na zasebnim mjerilima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0100-0)	146
Sl. 3-5: Potrošnja hladne vode u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0100-0)	147
Sl. 3-6: Potrošnja hladne i potrošne tople vode u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0101-0)	148
Sl. 3-7: Potrošnja vode u tjednu ogrjevnog sezone u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0095-1)	148
Sl. 3-8: Potrošnja vode u tjednu izvan ogrjevnog sezone u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0095-1)	148
Sl. 3-9: Aluminijski člankasti radijator	155
Sl. 3-10: Ventilokonvektor u niskotemperaturnom sustavu grijanja (npr. s dizalicom topline)	155
Sl. 3-11: Toplinska izolacija cjevovoda u toplinskoj podstanici	156
Sl. 3-12: Cirkulacijske pumpe u sustavu grijanja – frekventno upravljana radna pumpa (lijevo) i trostupanjska rezervna pumpa (desno)	157
Sl. 3-13: Plinski kondenzacijski kotao	158
Sl. 3-14: Izvedba novog dimnjaka za kondenzacijski kotao u kotlovnici	159
Sl. 3-15: Kotao na biomasu u prostoru nekadašnje uljne kotlovnice	159
Sl. 3-16: Sustav grijanja s dizalicama topline (voda-voda, tlo-voda)	160
Sl. 3-17: Veliki ležeći spremnik PTV u višestambenoj zgradi	162
Sl. 3-18: Korištenje energije Sunca za pripremu PTV	162
Sl. 3-19: Trenutna snaga solarnog sustava za pripremu PTV u energetske obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0101-0) u 2024. godini	166
Sl. 3-20: Trenutna snaga centralnog toplinskog sustava za pripremu PTV u energetske obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0101-0) u 2024. godini	166
Sl. 3-21: Mjesečna potrošnja toplinske energije za pripremu PTV iz solarnog sustava u energetske obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0101-0)	166

Sl. 3-22: Mjesečna potrošnja toplinske energije za pripremu PTV iz centralnog toplinskog sustava u energetske obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0101-0)	167
Sl. 3-23: Trenutna snaga centralnog toplinskog sustava za pripremu PTV u energetske obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0101-0) u karakterističnom tjednu ogrjevnog sezone u 2024. godini	167
Sl. 3-24: Kotao na biomasu u kotlovnici višestambene zgrade u Vukovaru (lijevo) i modularni kondenzacijski plinski kotao toplane u Rijeci (desno)	169
Sl. 3-25: Ionski omekšivač vode	170
Sl. 3-26: Starija toplinska podstanica direktnog tipa (lijevo) i novija indirektna KOMPAKT toplinska podstanica (desno)	171
Sl. 3-27: Vidljivi tragovi korozije u cijevima sekundara izmjenjivača topline (lijevo) i propuštanje na ventilu dovoda hladne vode u spremnik PTV (desno)	171
Sl. 3-28: Ekspanzijska posuda (lijevo) i ekspanzijski uređaj (desno)	172
Sl. 3-29: Spremnici PTV u toplinskoj podstanici	173
Sl. 3-30: Tipična konfiguracija sustava distribucije toplinske energije kod toplovodnog radijatorskog grijanja s vertikalnim razvodom u višestambenim zgradama	176
Sl. 3-31: Hidraulički neuravnotežen sustav grijanja (izvor: IMI Heimeier, Danfoss)	177
Sl. 3-32: Kod nedostatnog protoka ogrjevnog medija kroz ogrjevno tijelo, njegov učin će biti manji, a grijanje prostora nezadovoljavajuće	177
Sl. 3-33: Razlika tlaka između polaznog i povratnog voda uzduž instalacije grijanja (izvor: L 51)	178
Sl. 3-34: Povećanje protoka ogrjevnog tople vode (izvor: Herz)	179
Sl. 3-35: Povećanje polazne temperature ogrjevnog tople vode (izvor: Herz)	180
Sl. 3-36: Jednostavan sustav grijanja s termostatskim ventilima s predpodešenjem	180
Sl. 3-37: Predpodešenje termostatskog ventila (izvor: IMI Heimeier)	181
Sl. 3-38: Princip rada ručnog balansirajućeg ventila u statički uravnoteženim sustavima grijanja s ventilatorskim konvektorima	182
Sl. 3-39: Razlika tlaka u sustavu grijanja s ručnim i automatskim balansirajućim ventilima	182
Sl. 3-40: Dinamički uravnotežen sustav grijanja s automatskim balansirajućim ventilima (izvor: Danfoss)	183
Sl. 3-41: Ugradnja automatskih balansirajućih ventila na usponske vodove grijanih stubišta u višestambenim zgradama	184
Sl. 3-42: Ugradnja tlačno neovisnog regulacijskog ventila (izvor: Danfoss)	184

Popis tablica

Tab. 2-1: Odabrani uzorak od trinaest zgrada u pet jedinica lokalne (regionalne) samouprave.....	9
Tab. 2-2: Rezultati mjerenja zrakopropusnosti na 10 obnovljenih i neobnovljenih višestambenih zgrada te usporedba s postupkom prema Metodologiji	35
Tab. 2-3: Rezultati mjerenja U-vrijednosti na 9 obnovljenih i neobnovljenih višestambenih zgrada te usporedba s procjenama U-vrijednosti prema podacima iz dostupne dokumentacije ili slojevima utvrđenima na licu mjesta	41
Tab. 2-4: Usporedba osnovnih značajki postojeće i nove norme za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje	48
Tab. 2-5: Usporedba osnovnih postavki proračuna prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1) 53	
Tab. 2-6: Usporedba postavki načina korištenja zgrade i tehničkih sustava u proračunima prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1)	53
Tab. 2-7: Usporedba postavki proračuna transmisijskih gubitaka prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1)	53
Tab. 2-8: Usporedba postavki proračuna ventilacijskih gubitaka prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1)	54
Tab. 2-9: Meteorološki podatci korišteni u proračunima prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1)	54
Tab. 2-10: Usporedba meteoroloških podataka korištenih u proračunima prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1) (Zagreb Maksimir)	55
Tab. 2-11: Usporedba postavki proračuna unutarnjih i solarnih dobitaka prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1)	57
Tab. 2-12: Usporedba rezultata proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (HR-10000-3296-1) prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017	58
Tab. 2-13: Usporedba ukupnih toplinskih gubitaka i dobitaka stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (HR-10000-3296-1) (<u>grijanje</u>)	60
Tab. 2-14: Usporedba ukupnih toplinskih gubitaka i dobitaka stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (<u>hlađenje</u>)	62
Tab. 2-15: Usporedba rezultata proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (HR-10000-3296-1) prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017 (pomična zaštita od Sunca se ne koristi) 63	

Tab. 2-16: Usporedba osnovnih postavki proračuna prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)	66
Tab. 2-17: Usporedba postavki načina korištenja zgrade i tehničkih sustava u proračunima prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)	66
Tab. 2-18: Usporedba postavki proračuna transmisijских gubitaka prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)	66
Tab. 2-19: Usporedba postavki proračuna ventilacijskih gubitaka prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)	67
Tab. 2-20: Meteorološki podatci korišteni u proračunima prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)	67
Tab. 2-21: Usporedba meteoroloških podataka korištenih u proračunima prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1) (Split Marjan)	68
Tab. 2-22: Usporedba postavki proračuna unutarnjih i solarnih dobitaka prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)	70
Tab. 2-23: Usporedba rezultata proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1) prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017	71
Tab. 2-24: Usporedba ukupnih toplinskih gubitaka i dobitaka zgrade stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1) (<u>grijanje</u>)	73
Tab. 2-25: Usporedba ukupnih toplinskih gubitaka i dobitaka stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1) (<u>hlađenje</u>)	75
Tab. 2-26: Usporedba rezultata proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1) prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017 (pomična zaštita od Sunca se ne koristi)	76
Tab. 2-27: Pregled načina grijanja, hlađenja i pripreme PTV u analiziranim zgradama	79
Tab. 2-28: Izmjerena godišnja potrošnja toplinske energije za grijanje	82
Tab. 2-29: Specifična potrebna toplinska energija za grijanje prostora $Q''_{H,nd}$ u stambenim zgradama prema razdoblju izgradnje i klimatskoj zoni (prosječne vrijednosti za postojeće zgrade i najveća dopuštena vrijednost kod rekonstrukcije postojeće zgrade)	83
Tab. 2-30: Broj nastanjenih i nenastanjenih stanova za stalno stanovanje (popis 2021.)	85
Tab. 2-31: Definirani tehnički sustavi za proračun do primarne energije za referentne klimatske podatke za pojedine vrste zgrada	91

Tab. 2-32: Proračunske postavke za stambeno-poslovnu zgradu u Zagrebu (HR-10000-3296-1) (stvarni klimatski podatci i stvarni režim korištenja i režim rada tehničkih sustava).....	95
Tab. 2-33: Usporedba modelirane i stvarne godišnje potrošnje toplinske energije u stambeno-poslovnoj zgradi u Zagrebu (HR-10000-3296-1)	96
Tab. 2-34: Proračunske postavke za stambenu zgradu u Rijeci (HR-51000-0357-1) (stvarni klimatski podatci i stvarni režim korištenja i režim rada tehničkih sustava)...	97
Tab. 2-35: Usporedba modelirane i stvarne godišnje potrošnje toplinske energije u stambenoj zgradi u Rijeci (HR-51000-0357-1)	97
Tab. 2-36: Količina CO ₂ koju odaje osoba ovisno o razini aktivnosti.....	124
Tab. 2-37: Broj stanova u kojima su ugrađeni lokalni mjerni uređaji za mjerenje i prikupljanje podataka o uvjetima komfora	125
Tab. 2-38: Prosječna temperatura zraka u stanovima	127
Tab. 2-39: Prosječna relativna vlažnost zraka u stanovima	131
Tab. 2-40: Prosječna koncentracija CO ₂ u zraku u stanovima	135
Tab. 3-1: Izmjerena godišnja potrošnja vode	144
Tab. 3-2: Prosječan broj osoba u kućanstvu prema podacima Popisa stanovništva 2021.	147
Tab. 3-3: Izmjerena godišnja potrošnja toplinske energije za pripremu PTV	164

Popis oznaka

CpVT	cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja više dnevne tarife, izražena u eur/kWh
CpNT	cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja niže dnevne tarife, izražena u eur/kWh
CpJT	cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja jedinstvene tarife, izražena u eur/kWh
CiVT	cijena ukupne električne energije isporučene u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja više dnevne tarife, izražena u eur/kWh
CiNT	cijena ukupne električne energije isporučene u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja niže dnevne tarife, izražena u eur/kWh
CiJT	cijena ukupne električne energije isporučene u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja jedinstvene tarife, izražena u eur/kWh.
NPV	net present value (neto sadašnja vrijednost)
NT	niska tarifa
ODS	operator distribucijskog sustava
OIE	obnovljivi izvori energije
OMM	obračunsko mjerno mjesto
OPS	operator prijenosnog sustava
VT	visoka tarifa
SAK	skupni aktivni kupac
Epi	ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja i, izražena u eur /kWh
Ei	ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja i, izražena u eur /kWh
PKCi	prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja i, izražena u eur /kWh

UVOD

Predmet ovog stručnog rada su višestambene zgrade u njihovoj punoj funkcionalnosti. Izabrane su karakteristične višestambene zgrade, građene u razdoblju od 1960ih do 1990ih, kada je izgrađena većina danas korištenih stanova u Hrvatskoj te iz različitih klimatskih područja Hrvatske pa tako imamo primjere iz Rijeke, Splita, Zagreba, Velike Gorice i Vukovara.

Višestambena zgrada je zgrada s više stambenih jedinica povezanih zajedničkim komunikacijskim prostorima, namijenjena stanovanju.¹ U javnom pozivu „Energetska obnova višestambenih zgrada“ Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine (MPGI) daje definiciju pojma višestambene zgrade kao postojeće zgrade kod koje se namjanje 66 posto ukupne korisne površine koristi za stanovanje, ima tri ili više stambenih jedinica, njome upravlja upravitelj zgrade, jedinstvena je arhitektonska cjelina i nema više od 25 posto nadzemne građevinske (bruto) površine negrijano. Pojam jedinstvena arhitektonska cjelina označava konstruktivnu, oblikovnu i funkcionalnu cjelinu koja se sastoji od jedne ili više dilatacija te jednog ili više ulaza, odnosno jednu ili više zgrada koje su građene istovremeno temeljem jedinstvenog projekta².

Stan je samostalna uporabna cjelina (SUC) zgrade i u službi je stanovanja kao osnovne ljudske potrebe i temelja stabilnosti i sigurnosti te u tom smislu stambeno zbrinjavanje treba biti društveno regulirano, kako po dostupnosti stana, tako i po pitanju osiguranja osnovnog standarda i kvalitete stanovanja. Problematika stanovanja osim socijalno – ekonomskog aspekta obuhvaća i specifična obilježja vezana za različita klimatska područja, uvjete lokacije kao i navike skupine stanovnika za koje se stan projektira i gradi.

Višestambene zgrade vezane su za gradske cjeline pošto predstavljaju tip stanovanja kojim se ostvaruje **veća gustoća stanovanja**, a prikazuje se kroz odnos broja stanovnika i površine (hektar) stambenih i širih stambenih funkcija (stambena i mješovita namjena, javne zelene površine, društveni i javni sadržaji), a služi kao važan podatak u prostornom planiranju u gradovima. Osim što se postiže „veća gustoća nastanjenosti i zemljište se iskorištava racionalnije nego u individualnoj izgradnji, a zajedničkim konstruktivnim elementima, temeljima, krovom, građevnim instalacijama, katkad i zajedničkim prostorijama (odlagalište smeća, društvene prostorije, sušionica rublja itd.) postiže se veća ekonomičnost takvih zgrada.

U prostornoj organizaciji najčešće je rješenje niz vertikalnih komunikacija s liftovima i stubištima na koje se veže jedan, dva, tri, četiri, pa i više stanova po etaži. Najkvalitetniji su stanovi u prva dva slučaja, no najčešće se izvode zgrade s trima stanovima po

¹ Cit. Stambene zgrade, Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013.-2025.

² Izvor: MPGI

etaži, pri čemu bočni stanovi imaju povoljnu dvostranu orijentaciju i poprječno zračenje, dok je treći, obično manji stan jednostrano orijentiran. S četirima ili više stanova po etaži teže se postiže kvalitetna orijentacija stanova, prirodna rasvjeta i prozračivanje stubišta i dr. U *galerijskim višestambenim zgradama* stanovima se pristupa s unutarnje ili vanjske, uzdužne galerije, a stanovi mogu biti jednoetažni, dvoetažni ili troetažni. Unatoč velikomu broju dobrih primjera, takve zgrade imaju i neke nedostatke (jednostrana orijentacija stanova, stubišta u stanovima i dr.). U *terasastim višestambenim zgradama* stanovi su po visini djelomično izmaknuti, što omogućuje da se na krovu donjega stana smjesti terasa gornjega. Svakomu stanu pripada velik vanjski prostor, pa je zbog toga takvo rješenje najkvalitetnije.“³

Od ukupnog broja svih nastanjenih stanova u Hrvatskoj njih 52 posto izgrađeno je od 1960. do 1990. godine. Trend izgradnje možemo pratiti kroz važeće propise i standarde projektiranja. Prvi propisi i proračuni, primjerice proračun prolaska topline i difuzije vodene pare, javljaju se kao mjera izbjegavanja pojave građevinske štete na zgradama, a tek kasnije se javljaju zahtjevi za uštedu energije i zaštitu okoliša. U početku primjene betona i armiranog betona u gradnji višestambenih zgrada pažnja je bila na pronalaženju odgovarajućih novih konstruktivnih sustava koji zadovoljavaju statičke proračune te imaju razrađenu brzu izvedbu zgrade, no nemaju energetski koncept. S vremenom se javljaju nova rješenja i primjena novih tehnologija kojom se podiže stambena kultura, a iščitava se u konceptima i veličini prostora te obradom, opremom i drugim elementima koji donose arhitektonska dostignuća i udovoljavaju principima održivosti. Zbog nepostojanja zakonodavnog okvira toplinske zaštite zgrade i zbog karakteristika gradnje, zgrade iz perioda najveće stambene izgradnje, veliki su potrošači energije od preko 200 kWh/m².

Iz perspektive korisnika prostora i **opremljenosti** stanova vidljiv je napredak u opremljenosti stanova sanitarnim čvorovima i ostalom komunalnom infrastrukturu. Također površina stambenog prostora po stanaru se povećava. Primjerice europski standard 1953. iznosio je između 15 i 23 m², dok je na našim prostorima to bilo 9,9m². Dvadeset godina kasnije (1969.) naš standard se povećava na 12 m²/stanovniku. Prema popisu stanovnika 1991. godine u Hrvatskoj je 21,23/stanovniku, a 2001. 23,67m²/stanovniku. Ipak, spomenuti postojeći fond zgrada koji čini većinski dio danas nastanjenih stanova je iz perioda kada se rješavajući stambenu krizu projektira velik broj tzv. ekonomičnih stanova, male kvadrature i jeftine izvedbe. Kasnije su utvrđeni mnogi propusti nastali u izgradnji takvih stanova zbog težnje za bržom i jeftinijom gradnjom.

³ Cit. Stambene zgrade, Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013.-2025.

Kod višestambenih zgrada razlikujemo stanove kao **posebne dijelove zgrade** odnosno one nad kojima je uspostavljeno vlasništvo za razliku od **zajedničkih dijelova i uređaja**⁴.

Pristup je po metodologiji energetskeg pregleda zgrade, odnosno počevši od projektne dokumentacije i arhitektonske snimke postojećeg stanja te energetskeg pregledom zgrade s detaljnim ispitivanjima. Osim toga, prati se potrošnja ugradnjom daljinskih očitavanja kontinuirano kroz duži period kao i putem osjetnika te se dobiveni podaci analiziraju i predlažu mjere i novi modeli i sustavi. Prikazani su i noviji računalni proračuni koji se koriste u praksi.

⁴ Narodne novine br.152/2024. Zakon o upravljanju i održavanju zgrada

1. MODEL PRAĆENJA POTROŠNJE ENERGIJE I VODE U VIŠESTAMBENIM ZGRADAMA

Republika Hrvatska ima uspostavljen model praćenja potrošnje energije i vode na razini pojedinačnog energetskeg troškovnog centra javnog sektora. Sustavno prikupljanje i analiza podataka omogućuju racionalno planiranje investicija, poboljšanje energetske karakteristike zgrada i transparentno upravljanje javnim resursima, čime se doprinosi dugoročno održivom i ekonomičnom funkcioniranju javnog sektora.

Integriranim nacionalnim energetskeg i klimatskeg planom za Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. predviđena je mjera EnU-7 Sustavno gospodarenje energijom u javnom sektoru. Javni sektor u Hrvatskoj, prema Zakonu o energetskeg učinkovitosti i Pravilniku o sustavnom gospodarenju energijom (Pravilnik), obavezan je sustavno gospodariti energijom. Temelj mjere je nacionalni Informacijski sustav za gospodarenje energijom (ISGE), mrežna aplikacija za unos, analizu i pregled podataka relevantnih za energetskeg učinkovitost. Cilj mjere je ISGE-om obuhvatiti i redovito pratiti sve zgrade javnog sektora, kao i sustav javne rasvjete do kraja 2030. godine.

Model praćenja potrošnje energije i vode u zgradama javnog sektora u Republici Hrvatskoj oslanja se na zakonski definiran sustav koji zahtijeva redovito prikupljanje, analizu i izvještavanje o potrošnji energenata. Način uspostave i provedbe ovoga modela definiran je Pravilnikom i pratećom Metodologijom.

U praksi, model praćenja započinje obvezom svake javne institucije da identificira sve svoje energetske troškovne centre, odnosno zgrade ili dijelove zgrada za koje je moguće zasebno pratiti potrošnju energije i vode. Svaki takav objekt ima imenovanu osobu ili energetskeg suradnika koji prikuplja podatke i redovito ih unosi u ISGE. Unose se stanja brojila za sve energente i vodu te eventualna kontrolna brojila pojedinih potrošnih cjelina. Sustav omogućuje kontinuiran nadzor i analizu potrošnje, što je preduvjet za donošenje odluka o mjerama energetske učinkovitosti, otkrivanju odstupanja, prekomjerne potrošnje ili tehničkih nepravilnosti u zgradama.

ISGE je razvijen kao nacionalna platforma upravo s ciljem osiguravanja dosljednog prikupljanja podataka na razini cijelog javnog sektora. S obzirom na to da zgrade javnog sektora troše značajan udio ukupne energije, sustavno praćenje potrošnje omogućuje jasno razumijevanje energetskeg potreba, usporedbu potrošnje među različitim objektima i određivanje prioriteta za energetskeg obnovu. Kao što je istaknuto u analizama, mjerenje i evidencija podataka ključni su za kvalitetno planiranje energetskeg projekata i provjeru postignutih ušteda nakon energetskeg obnove. Nacionalne politike i strateški dokumenti stavljaju naglasak upravo na redovito praćenje potrošnje putem ISGE-a jer je to jedini način da se postigne učinkovito upravljanje energijom i ispune ciljevi smanjenja potrošnje i emisija u javnom sektoru.

U svrhu obuhvaćanja cjelokupne potrošnje energije i vode na teritoriju Republike Hrvatske, potrebno je uključiti i stambeni sektor, industrijski sektor i prometni sektor. Sustavnim praćenjem i razumijevanjem potrošnje, sektori se mogu osnažiti da postanu informirani sudionici na energetsom tržištu.

Višestambene zgrade predstavljaju oko 35% stambenog fonda u Hrvatskoj (prema ukupnoj ploštini korisne površine grijanog dijela zgrada), odnosno oko 27% ukupnog fonda zgrada u Hrvatskoj.

Ciljevi Dugoročne strategije obnove nacionalnog fonda zgrada RH do 2050.g. prema analizama koje su napravljene, predviđa se da će čak 50% fonda višestambenih zgrada morati ići na sveukupnu obnovu (koja uključuje mjere povećanja potresne otpornosti), a da će ostalih 50% provesti samo neku od razina energetske obnove.

Učinkovito upravljanje energijom i vodom postaje sve važniji segment održivog razvoja, smanjenja troškova i povećanja kvalitete stanovanja u višestambenim zgradama. U Hrvatskoj, gdje velik broj stambenog fonda potječe iz razdoblja prije donošenja modernih tehničkih propisa, potrošnja energije često je iznad optimalnih razina, a troškovi održavanja kontinuirano rastu.

Uspostava jasnog i strukturiranog modela praćenja potrošnje energije i vode doprinosi dugoročnoj održivosti zgradarstva, smanjenju emisija stakleničkih plinova, racionalnom korištenju javnih i privatnih financijskih sredstava te stvaranju boljih uvjeta stanovanja za sve suvlasnike.

Nacionalni plan oporavka i otpornosti Republike Hrvatske 2021. – 2026., u sklopu Inicijative 6. „Obnova zgrada“, predviđa provedbu Reforme C6.1 R6 – Pilot projekt uspostave i provedbe sustavnog gospodarenja energijom te razvoj novog modela financiranja (Reforma C6.1 R6). Reformom C6.1 R6 model sustavnog gospodarenja energijom i vodom uvodi se u odabrane pilot višestambene zgrade.

Za provedbu Reforme C6.1 R6 odgovorna je i zadužena Agencija za pravni promet i posredovanje nekretninama (APN). Rezultat provedbe predstavljaju Smjernice za primjenu modela sustavnog gospodarenja energijom i vodom u višestambenim zgradama. Smjernice su javno dostupne na mrežnim stranicama APN-a.

U okviru inicijative 6 „Obnova zgrada“, Hrvatska provodi sveobuhvatnu transformaciju stambenog i javnog fonda zgrada s naglaskom na energetske učinkovitost, dekarbonizaciju, potresnu otpornost i digitalizaciju procesa upravljanja.

U sklopu provedbe Reforme C6.1 R6 na pilot području grada Vukovara uspješno je uspostavljeno praćenje potrošnje energije i vode te unutarnje kvalitete zraka na dobrovoljnoj bazi suvlasnika na osam odabranih višestambenih zgrada. Zgrade su birane po kriteriju jesu li spojene na centralni toplinski sustav, zatim jesu li istog tipa jedna do druge od kojih je jedna prošla energetske obnovu a druga nije, pripadaju li u

istu kategoriju potrošnje, planiraju li ili već primjenjuju obnovljive izvore energije, imaju li već ugrađena napredna brojlila, sekundarne vodomjere i sl.

Zgrade su opremljene sustavima daljinskog očitavanja ukupne potrošnje električne energije, topline i vode na razni cijele zgrade te individualno za pojedine izabrane stanove. U tu svrhu ugrađena su dodatna mjerna mjesta gdje je bilo potrebno.

U svakoj zgradi dobrovoljnim pristankom stanara pojedinačni stanovi su opremljeni sustavom daljinskog nadzora unutarnje kvalitete zraka tj. mjernim osjetnicima koji prate unutarnju kvalitetu zraka nadzirući četiri osnovna parametra: unutarnju temperaturu, relativnu vlažnost, količinu ugljikovog dioksida te hlapivih organskih spojeva. Očitani podaci u realnom vremenu se prikupljaju u ISGE.

Dodatno kako bi se pokrile i kontinentalna i primorska zona Hrvatske te dobili čim kvalitetniji podaci za analize i izradu budućih smjernica primjenjivih na nacionalnoj razini, konceptualizacijom projekta, i po istom principu, odabrana su dodatna pilot područja: gradovi Velika Gorica, Zagreb, Karlovac, Rijeka i Split u kojima u reformi sudjeluje dodatnih 54 odabranih zgrada na dobrovoljnoj bazi suvlasnika.

Model praćenja potrošnje za višestambene zgrade predstavlja temeljni alat za upravitelje, suvlasnike i tehničke stručnjake jer omogućava redovito praćenje potrošnje energije i vode na razini cijele zgrade, ali i — gdje je moguće — na razini pojedinih stanova i zajedničkih dijelova. Sustavno praćenje resursa omogućuje prepoznavanje odstupanja, neučinkovitosti, kvarova, tehničkih problema ili nepravilnosti u obračunima koje bi u suprotnom prošle nezamijećeno i rezultirale financijskim gubicima.

Također, sustavno prikupljanje i obrada podataka olakšavaju donošenje odluka, povećavaju transparentnost upravljanja zgradom i stvaraju objektivnu osnovu za provođenje mjera energetske obnove ili tehničkih optimizacija postojećih sustava.

Model praćenja potrošnje ima nekoliko ključnih ciljeva:

- smanjenje ukupnih troškova korištenja i održavanja zgrade kroz identifikaciju nepotrebnih gubitaka i mogućnosti optimizacije
- povećanje energetske učinkovitosti i udobnosti stanovanja, kao i integriranje zgrade u nacionalne i europske ciljeve smanjenja potrošnje energije
- povećanje transparentnosti kroz izvještavanje, što omogućuje suvlasnicima i upravitelju bolji uvid u stvarnu potrošnju i troškove
- stvaranje baze podataka potrebne za analitičke procjene u svrhu poboljšanja planiranja investicija, osobito u kontekstu energetske obnove i modernizacije sustava
- povećanje pouzdanosti tehničkih sustava, redovitim praćenjem i brzim reagiranjem na anomalije

Sustavno praćenje potrošnje također je važna osnova za provođenje energetske obnove zgrada. Kroz realne podatke o stanju prije i nakon uvođenja mjera omogućuje

se realna procjena učinka investicija i praćenje povrata ulaganja. Time se stvara objektivna i mjerljiva slika poboljšanja, što je osobito važno kod projekata financiranih iz javnih ili europskih izvora.

Uvođenje modela praćenja potrošnje energije i vode donosi koristi svim korisnicima zgrade:

- suvlasnicima, jer dobivaju kontrolu nad troškovima i jasan uvid u rad tehničkih sustava
- upraviteljima, jer imaju kvalitetnije alate za održavanje zgrade i rješavanje problema
- stručnjacima, jer raspolažu preciznim podacima za analize, procjene i buduće projekte
- zajednici, jer se povećava ukupna energetska učinkovitost i smanjuje utjecaj na okoliš.

Primjena modela praćenja potrošnje omogućuje suvlasnicima, upraviteljima i stručnim osobama da kontinuirano prate stvarne uvjete korištenja energenata i vode te da pravovremeno prepoznaju neučinkovitosti, tehničke probleme i mogućnosti za poboljšanje. Sustavno prikupljanje i obrada podataka olakšavaju donošenje odluka, povećavaju transparentnost upravljanja zgradom i stvaraju objektivnu osnovu za provođenje mjera energetske obnove ili tehničkih optimizacija postojećih sustava.

Time se postiže dugoročna održivost, smanjenje troškova, povećanje kvalitete života, te stvaraju temelji za sigurniji, moderniji i ekološki prihvatljiviji stambeni fond.

2. PROVEDENE ANALIZE NA UZORKU ZGRADA UKLJUČENIH U PILOT PROJEKT „USPOSTAVA I PROVEDBA SUSTAVNOG GOSPODARENJA ENERGIJOM TE RAZVOJ NOVOG MODELA FINANCIRANJA“ KORIŠTENJEM PODATAKA PRIKUPLJENIH U ISGE, KAO I TERENSKIM MJERENJEM

2.1. PREGLED ZGRADA UKLJUČENIH U PROJEKT

U dosadašnjim fazama projekta identificirane su 62 višestambene zgrade u šest jedinica lokalne (regionalne) samouprave (Karlovac, Rijeka, Split, Velika Gorica, Vukovar i Zagreb), koje se opremaju sustavima daljinskog očitavanja energije i vode te osjetnicima unutarnje kvalitete zraka u pojedinim stanovima. Podaci očitani na ovaj način dostavljaju se u ISGE te će ih zainteresirane strane (upravitelji, predstavnici suvlasnika, suvlasnici) moći nadzirati i analizirati.

Za analizu je odabran uzorak od trinaest zgrada u pet jedinica lokalne (regionalne) samouprave (Rijeka, Split, Velika Gorica, Vukovar i Zagreb). Osnovni podatci o zgradama prikazani su tablično (tab. 2-1).

U Vukovaru je analizirano šest stambenih i stambeno-poslovnih zgrada, od kojih su četiri nedavno energetske obnovljene. Specifičnost zgrada u Vukovaru je, pritom, da su zbog ratnih razaranja tijekom Domovinskog rata, mnoge od njih u velikoj mjeri bile oštećene ili čak uništene. U razdoblju nakon mirne reintegracije hrvatskog Podunavlja, od 1998. do 2004. godine, provedena je njihova obnova, kojom su ponovo dovedene u stanje prikladno za život, boravak, odnosno korištenje (sl. 2-1).



Sl. 2-1: Primjer stambeno-poslovne zgrade u Vukovaru (HR-32000-0096-1), oštećene u Domovinskom ratu (lijevo) i nakon provedene obnove (desno)

Kako je većina tih zgrada bila izgrađena prije ili za donošenja prvih propisa o toplinskoj zaštiti 70-ih godina prošlog stoljeća, tijekom obnove nakon Domovinskog rata, poboljšano je i stanje njihove toplinske zaštite u skladu s tadašnjim propisima, prije svega postavljanjem toplinske izolacije na vanjske zidove i ugradnjom vanjske stolarije boljih toplinsko-izolacijskih svojstava.

Tab. 2-1: Odabrani uzorak od trinaest zgrada u pet jedinica lokalne (regionalne) samouprave

Red. br. (APN)	ID zgrada (ISGE)	Grad	Vrsta	Ploština grijane površine, (A _k), m ²	Broj stanova	Broj poslovnih prostora	Godina izgradnje	Godina obnove	Godina energetske obnove
1	HR-32000-0101-0	Vukovar	stambeno-poslovna	1 252,36	25	3	1971.	2004.	2018.
2	HR-32000-0100-0	Vukovar	stambena	1 954,08	44	-	1964.	2004.	-
3	HR-32000-0096-1	Vukovar	stambeno-poslovna	2 113,17	38	2	1971.	2004.	2024.
4	HR-32000-0097-1	Vukovar	stambeno-poslovna	2 426,43	28	1	1972.	2004.	2024.
5	HR-32000-0095-1	Vukovar	stambena	2 929,18	71	-	1966.	1998.	-
6	HR-32000-0099-0	Vukovar	stambena	1 774,46	40	-	1953.	2004.	2018.
7	HR-10410-0327-1	Velika Gorica	stambeno-poslovna	5 780,00	107	7	1975.	-	2018.
8	HR-21000-0567-1	Split	stambena	4 199,61	68	-	1972.	-	2024.
9	HR-21000-0568-1	Split	stambena	4 199,61	68	-	1972.	-	-
10	HR-10000-3301-1	Zagreb	stambena	4 672,79	84	-	1970.	-	-
11	HR-10000-3296-1	Zagreb	stambeno-poslovna	2 190,58	38	4	1999.	-	-
12	HR-51000-0358-1	Rijeka	stambeno-poslovna	5 324,04	100	1	1976.	-	2016.
13	HR-51000-0357-1	Rijeka	stambena	5 439,24	100	-	1976.	-	2019.

U sklopu energetske obnove ovih zgrada, koja je provedena u posljednjih sedam godina, stanje njihove toplinske zaštite je dodatno poboljšano. U Vukovaru se nalazi i najstarija analizirana zgrada (iz 1953. godine).

Površinom najveća zgrada među analiziranimima nalazi se u Velikoj Gorici. Zgrada je izgrađena 1975. godine i energetski obnovljena 2018. godine. U Splitu su analizirana dva tipska stambena nebodera izgrađena 1972. godine, od kojih je jedan u međuvremenu energetski obnovljen. U Zagrebu su analizirane dvije energetski neobnovljene zgrade – jedna izgrađena 1970. godine, a druga 1999. godine, ujedno i

najnovija analizirana zgrada. U Rijeci su analizirana dva tipska stambena nebodera izgrađena 1976. godine, oba u međuvremenu energetske obnovljena.



Sl. 2-2: Primjer stambeno-poslovne zgrade u Velikoj Gorici (HR-10410-0327-1) prije (lijevo) i nakon energetske obnove (desno)

Energetska obnova analiziranih zgrada najčešće je uključivala izvedbu toplinske izolacije vanjskog zida i ravnog krova, uz zamjenu vanjske stolarije. U nekim zgradama, zamjena vanjske stolarije izvedena je prije energetske obnove, uglavnom o trošku suvlasnika. U nekim zgradama u Vukovaru je pritom u sklopu energetske obnove izvedena i rekonstrukcija sustava pripreme potrošne tople vode čime je omogućeno je korištenje obnovljivih izvora energije (korištenje energije Sunca – solarni kolektori u zgradama za pripremu PTV). Jedna od analiziranih zgrada ima i izgrađenu sunčanu elektranu za vlastite potrebe.

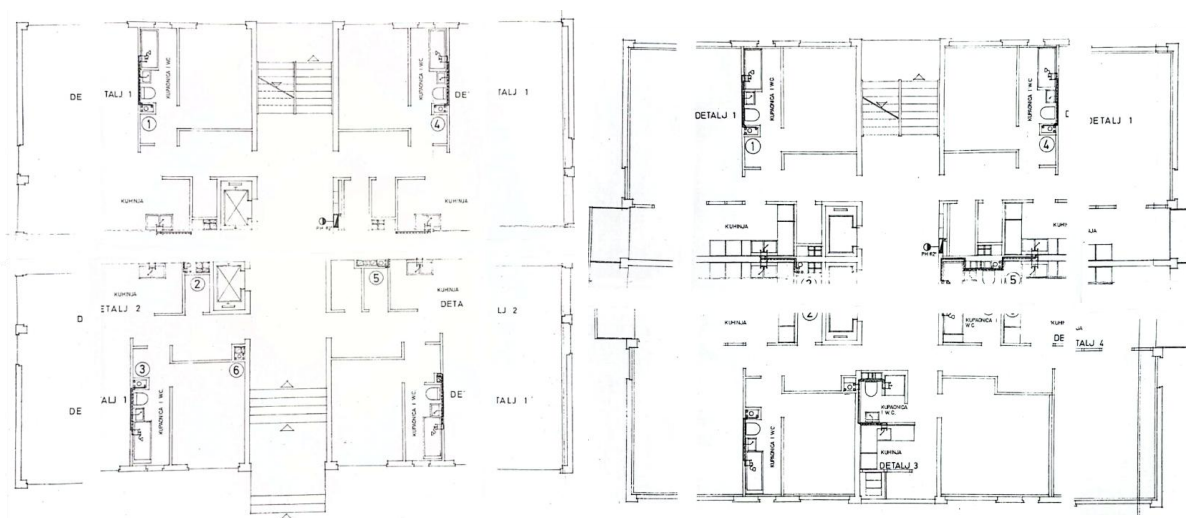
Interes za energetske obnovu postoji i kod dosad neobnovljenih zgrada te neke od njih već imaju i pripremljenu projektnu dokumentaciju (glavni projekt).

2.2. ARHITEKTONSKI SNIMAK ZGRADE S IZRADOM FOTODOKUMENTACIJE

Mjere za poboljšanje energetske učinkovitosti višestambene zgrade, odnosno smanjenje toplinskih gubitaka kroz vanjsku ovojnicu zgrade mogu se provesti korištenjem širokog raspona različitih pristupa u smislu materijala, proizvoda, tehnologija. Pri tome, faktori koji mogu utjecati na odabir koncepta obnove, između ostalog, uključuju i stvarno stanje zgrade u smislu izmjerene potrošnje energije te stvarno stanje postojećeg sastava slojeva vanjske ovojnice zgrade te strukturno i funkcionalno stanje vanjske ovojnice zgrade (vanjskih zidova, krovova, prozora, itd.).

Arhitektonski snimak je dokumentirani prikaz postojećeg stanja neke zgrade ili njezinog dijela, izrađen na temelju stvarne izmjere na terenu. Služi, između ostalog, kao osnova za energetske analize i projektiranje obnove zgrade.

Arhitektonski snimak se izrađuje kada ne postoji vjerodostojna projektna dokumentacija (npr. kod starijih zgrada) ili kada je postojeće stanje značajno odstupilo od dokumentiranog (sl. 2-3). Obuhvaća tlocrte, presjeke i pročelja zgrade u stvarnim dimenzijama i prema stvarnom stanju na terenu.



Sl. 2-3: Primjer neprimjerene tehničke dokumentacije o višestambenoj zgradi

Arhitektonski snimak uključuje materijale, debljine slojeva i konstrukcijske elemente, ako su poznati ili se mogu utvrditi bez destruktivnih metoda, a često uključuje i fotodokumentaciju zatečenog stanja.

U kontekstu energetske obnove, arhitektonski snimak omogućuje točno definiranje elemenata vanjske ovojnice, izračun površina i volumena važnih za izračun energetske bilance, identifikaciju potencijalnih kritičnih točaka poput npr. toplinskih mostova, planiranje intervencija te mjera u smislu izolacije itd.

Arhitektonski snimak uključuje barem slijedeće:

- Opći podaci o zgradi (adresa, katnost, godina izgradnje ako poznata)
- Tlocrt svakog kata (uključujući podrum i potkrovlje, ako postoje) (M 1:100) – sa stvarnim dimenzijama prostorija, pozicijama otvora, pregradnih i nosivih zidova.
- Presjeci zgrade (min. jedan uzdužni i jedan poprečni) (M 1:100) – uključuju podatke o visinama etaža, slojevima poda, stropa i debljinama međukatnih konstrukcija.
- Orijentacija zgrade – građevne dijelove orijentirati u odnosu na osnovne strane svijeta
- Pročelja (sjeverno, južno, zapadno, istočno) – sa stvarnim položajem prozora, vrata, balkona, itd.
- Podaci o materijalima i konstrukciji (vrste, sastav, debljine).
- Fotodokumentacija stanja zgrade izvana i iznutra – svaka strana zgrade, detalji spojeva, oštećenja, karakteristični dijelovi fasade.
- Bilješke o oštećenjima i nepravilnostima

Prilikom mjerenja i izrade arhitektonskog snimka za potrebe izrade modela za potrošnju energije u višestambenim zgradama, trik je u interpretaciji mjerenja provedenih na licu mjesta, tj. stvaranje dosljedne ukupne slike zgrade. Na primjer, odstupanja od pravog kuta koja iznose samo nekoliko stupnjeva rijetko su važna pri projektiranju energetske obnove i treba ih zanemariti. Cilj mjerenja na licu mjesta nije stvaranje točne sličnosti, već postizanje dosljedne osnove za planiranje. Unatoč tome, kako bi se postigli ispravni, interpretabilni dokumenti, treba izbjegavati netočna mjerenja.

Izrada fotodokumentacije prilikom arhitektonskog snimka i energetskog pregleda zgrade ključna je iz više razloga — ona ne služi samo kao vizualni dodatak, već predstavlja dokaz, analitički alat i komunikacijski most među sudionicima projekta.

Fotodokumentacija omogućuje objektivno dokumentiranje i analizu postojećeg stanja konstrukcijskih i tehničkih elemenata zgrade, uključujući oštećenja. Pomaže u izradi preciznih nacрта kada originalni projekti nisu dostupni. Također služi kao važno sredstvo komunikacije s investitorima i nadležnim tijelima, osigurava transparentnost te je često obavezan dio tehničke dokumentacije.

Primjena suvremenih tehnologija 3D skeniranja i izrade digitalnih blizanaca (digital twin) poput LiDAR-a (Light Detection and Ranging) značajno unapređuje proces arhitektonskog snimanja i energetskog pregleda zgrade. Ovim pristupom omogućuje se brzo i precizno prostorno snimanje uz mogućnost automatskog generiranja nacрта i fotodokumentacije visoke razlučivosti kao i mogućnosti unosa rezultata skeniranja u BIM alate te pomoću njih izradu BIM modela višestambene zgrade. Dobiveni virtualni model omogućuje izvođenje točnih mjerenja udaljenosti, površina i volumena, čime se

smanjuje potreba za dodatnim izlascima na teren. Takav vizualno bogat i prostorno precizan prikaz stanja zgrade može se jednostavno dijeliti s projektantima, investitorima i drugim dionicima, čime se znatno poboljšava suradnja, planiranje i transparentnost procesa. Ušteda vremena i smanjenje pogrešaka se mogu navesti kao glavna prednost korištenja 3D skeniranja jer LiDAR sken pruža kompletan i konzistentan prikaz, u suprotnosti na ručno mjerenje koje može biti netočno i fragmentirano.

Sl. 2-4 daje primjer LiDAR skena jednog stana u analiziranoj višestambenoj zgradi, odnosno pogled odozgo ili iz ptičje perspektive fizičkog prostora kao i prikaz virtualne šetnje kroz skenirani prostor. Pri tome je vidljivo da je korištenjem ovakvog skena moguće dobiti osnovne dimenzije pojedinih prostora zgrade ili cijele zgrade, odnosno osnovnu geometriju u smislu površina i volumena. Ovakav prikaz omogućuje vam da vidite raspored, raspored namještaja i cjelokupni prostor na sveobuhvatan i lako razumljiv način, ali moguće je vidjeti i pojedinosti tehničkih sustava zgrade (sl. 2-5).

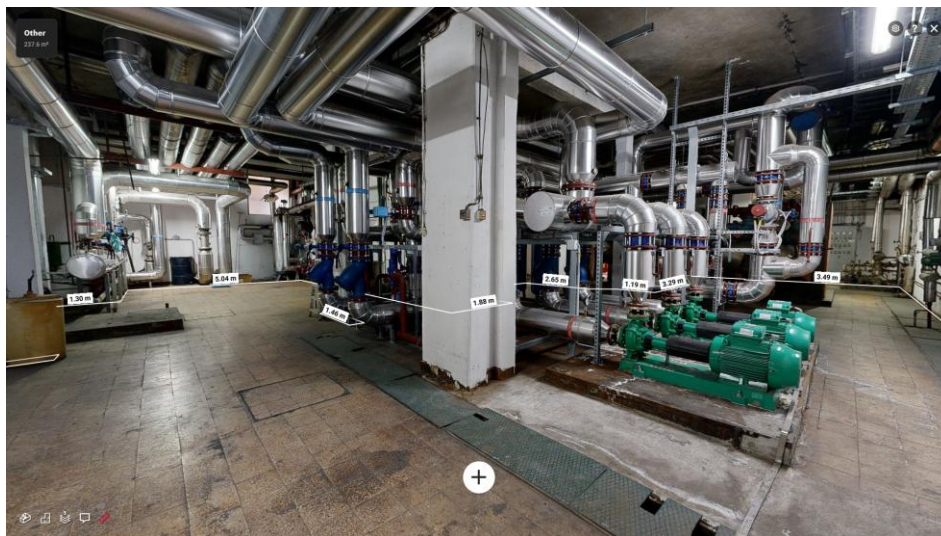
Sl. 2-6 daje primjer BIM modela višestambene zgrade izrađenog korištenjem rezultata 3D skeniranja i vrlo fragmentirane i manjkave tehničke dokumentacije o zgradi. Tada je korištenjem BIM modela moguće izraditi grafičke podloge za projektnu dokumentaciju, te u najmanju ruku generirati geometrijske podatke o vanjskoj ovojnici zgrade koji se onda koriste u specijaliziranim softverima, a i više od navedenog ukoliko je projektant napredni korisnik BIM alata.

Potrebno je naglasiti da korištenje LiDAR tehnologije za 3D skeniranje unutarnjih prostora, poput stanova, može podlijevati odredbama Opće uredbe o zaštiti podataka (GDPR) ako se tijekom skeniranja prikupljaju osobni podaci, poput lica, identifikacijskih predmeta ili drugih vizualnih elemenata koji se mogu povezati s konkretnom osobom. U takvim slučajevima potrebno je prethodno informirati vlasnika ili korisnika prostora o svrsi, opsegu i načinu obrade podataka te pribaviti njegovu izričitu privolu. Preporučuje se da se skeniranje provodi uz prethodnu pripremu prostora kako bi se izbjeglo bilježenje osjetljivih informacija, a pohrana i pristup podacima moraju biti zaštićeni tehničkim i organizacijskim mjerama. Vlasnik prostora ima pravo zatražiti pristup ili brisanje snimljenih podataka u bilo kojem trenutku. Ako se LiDAR koristi isključivo za tehničke analize, bez identifikacijskih elemenata, tada se podaci ne smatraju osobnima i GDPR se ne primjenjuje.



Sl. 2-4: Primjer 3D skena stana korištenjem LiDAR tehnologije

Smjernice
za primjenu modela primjenu modela sustavnog gospodarenja
energijom i vodom u višestambenim zgradama



Sl. 2-5: Primjer 3D skena toplinske podstanice korištenjem LiDAR tehnologije



Sl. 2-6: Primjer BIM modela višestambene zgrade izrađenog
korištenjem rezultata 3D skeniranja

2.3. ENERGETSKI PREGLED ZGRADE S GRAĐEVINSKOG STAJALIŠTA, DEFINIRATI ELEMENTE VANJSKE OVOJNICE ZGRADE SA SLOJEVIMA TE TEHNIČKIM KARAKTERISTIKAMA SLOJEVA, TEORIJSKIM U- VRIJEDNOSTIMA SVIH ELEMENATA OVOJNICE

Izgradnja, korištenje, održavanje i razgradnja te recikliranje među glavnim su fazama u životnom ciklusu zgrade. Nosiva konstrukcija zgrade, oprema, vanjska ovojnica zgrade i tehnički sustavi često imaju različit "životni vijek". Ostakljenje (izo-staklo) imaju prosječni vijek trajanja od 20 do 35 godina, okviri prozora 25 do 40 godina, a vanjska žbuka 30 do 60 godina, iako te prosječne brojke u nekim slučajevima mogu znatno odstupati od navedenih vrijednosti, ovisno o kvaliteti gradnje, vanjskim utjecajima i trudu uloženom u održavanje zgrade.

Bez obzira na zahtjeve koje korisnici postavljaju, vanjska ovojnica / fasada je jedno od područja zgrade koje je najizloženije vremenskim utjecajima uzrokovanim vanjskim temperaturama, koje znatno variraju tijekom dana i godina, kao rezultat djelovanja sunčevog zračenja, kao i jakih vjetrova i kiša te smrzavanja.

Odluke donesene tijekom procesa projektiranja o materijalima, građevnim proizvodima i sustavima te samom izvođenju na gradilištu igraju središnju ulogu u određivanju trajnosti fasada. Nedostaci u tim područjima mogu uzrokovati prerano otkazivanje pojedinačnih komponenti i, ako to dovede do oštećenja, elemente će možda trebati popraviti ili zamijeniti.

Promjena kulturnih, ekonomskih ili funkcionalnih zahtjeva također može pokrenuti ili zahtijevati obnovu vanjske ovojnice zgrade. To je posebno slučaj kada je obnova namijenjena smanjenju potrošnje energije u zgradi, što se u Hrvatskoj uvelike događa zbog zahtjeva za energetsom učinkovitošću koji se nameću postojećim zgradama.

Dodatno, stanari zgrade aktivno „komuniciraju“ sa svojim unutarnjim okolišem u potrazi za osobno ugodnim uvjetima (Langevin et al., 2015, L 66). Temeljni princip ovog fenomena naziva se Humphreysov princip (Nicol i Humphreys, 2002., L 67). Humphreys je zaključio da, ako dođe do promjene uvjeta unutarnjeg okoliša, na primjer do smanjenja toplinske ugodnosti, vizualne ugodnosti ili razine ugodnosti u smislu kvalitete zraka u zatvorenom prostoru, ljudi aktivno reagiraju na načine koji im omogućuju obnavljanje ili postizanje svojih osobnih uvjeta ugodnosti.

Pokazalo se dakle, da korisnici zgrade reagiraju na neku vrstu neudobnosti prostora, između ostalog pokreću i energetska obnova zgrada ako smatraju da će im ista povećati ugodnost boravka.

Obnova vanjske ovojnice radi smanjenja potrošnje energije obično uključuje širok raspon mjera usmjerenih na značajno poboljšanje tehničke i funkcionalne kvalitete vanjske ovojnice te energetske bilance zgrade, kao i na ispunjavanje trenutnih ciljeva energetske učinkovitosti.

Smanjenje gubitaka topline kroz elemente vanjske ovojnice koji prenose toplinu (npr. neprozirni vanjski zidovi ili prozirni elementi poput prozora i staklenih fasada). Gubitke topline koji nastaju zračenjem ili ventilacijom također je potrebno smanjiti.

Za smanjenje gubitaka topline koriste se razni izolacijski materijali, reflektirajući premazi i folije, višeslojna izolacijska ostakljenja, koji mogu uvelike smanjiti prijenos topline iznutra prema van u zimskom periodu odnosno izvana prema unutra u ljetnom periodu kako bi se smanjila potrebna energija za grijanje, odnosno hlađenje zgrade. U tom kontekstu, često je potrebno i znatno poboljšati brtve oko prozora, vrata i strukturnih spojeva kako bi se smanjili neželjeni ventilacijski gubici topline.

Može se kazati da je prilikom energetske obnove višestambenih zgrada, potrebno prihvatiti pristup:

Ako nešto radite, učinite to kako treba!

Važno je izbjeći propuštene prilike za provođenjem kvalitetnijih mjera obnove te svakako sve mjere obnove provoditi s ciljem kvalitete i maksimalno moguće energetske učinkovitosti. Također je bitno zapamtiti da kada obnavljamo, ne poboljšavamo samo estetiku i smanjujemo gubitke energije – već izravno utječemo i na tok vodene pare kroz vanjsku ovojnicu zgrade, protok zraka, površinske temperature građevnih dijelova zgrade i još mnogo toga. Kod svih mjera treba imati na umu da obnova treba zadovoljiti zahtjeve za sljedećih vjerojatno 30 godina. Kraći intervali obnove svakako su neekonomični jer povlače bespotrebne indirektne troškove koji poskupljuju radove, (Giebeler et al. 2009., L 64).

S druge strane, tijekom faze projektiranja energetske obnove višestambenih zgrada, arhitekti i inženjeri moraju odlučiti kako će obnoviti zgradu (npr. koje će građevinske materijale koristiti; koje će debljine izolacije koristiti a da budu troškovno optimalne, kako će riješiti detalje izoliranja npr. balkona ili lođa s obzirom na problematiku smanjenja istih ili pak stvaranja stepenice kod izlaska na lođu, da li će i koliko koristiti obnovljivih izvora energije itd.).

Ove odluke moraju se donijeti korištenjem pretpostavki o svojstvima postojeće vanjske ovojnice višestambene zgrade, djelovanjima iz okoliša, ponašanju stanara, promjenjivim troškovima energije, ekonomskim koristima i drugim faktorima. Sve ove pretpostavke utječu na uspjeh projekta energetske obnove zgrade i dugoročne koristi (Pacheco Torgal et. Al, 2013., L 68). Nedostatak informacija o većini ovih stvari čini ove pretpostavke glavnim uzrokom nesigurnosti u projektiranju energetske obnove višestambene zgrade (Pacheco Torgal et. Al, 2013., L 68).

Nedostatak točnih i pouzdanih informacija o ponašanju zgrade prije energetske obnove te korištenje pretpostavki otežava projektiranje energetske obnove višestambenih zgrada i dobivanje jasne procjene budućih troškova i koristi (Pacheco Torgal et. Al, 2013., L 68).

Za utvrđivanje financijske isplativosti mjera energetske obnove i točne procjene povrata na investiciju, nužno je prethodno temeljito utvrditi stanje postojeće ovojnice zgrade. Naime, troškovi mjera obnove ovise o stanju vanjske ovojnice zgrade, ali i ostalih građevnih dijelova koji nisu direktno vezani na gubitke i dobitke topline. Stoga je potrebno odrediti stanje građevnih dijelova zgrade ne samo u toplinskom smislu, već i u pogledu mehaničke otpornosti i stabilnosti, sigurnosti u slučaju požara te kvalitete unutarnjih klimatskih uvjeta koji utječu na zdravlje i ugodu korisnika. Ovi aspekti zajedno čine cjelovitu sliku performansi postojećeg stanja zgrade.

Ulazni parametri koji se unose u proračun energetskih i sigurnosnih karakteristika, poput koeficijenta prolaska topline (U-vrijednosti) elemenata vanjske ovojnice zgrade, zrakopropusnosti vanjske ovojnice zgrade, stanja konstrukcijskih sustava, aspekata zaštite od požara, ključni su za modeliranje stvarnog stanja zgrade.

Točnost ulaznih parametara izravno utječe na pouzdanost procjene utjecaja pojedinih mjera obnove, a time i na ispravnu procjenu njihove isplativosti i prioritet pri odabiru rješenja.

Ulazni podaci o zgradi mogu biti prikupljeni iz postupaka istraživanja zgrade. Istraživanje zgrade znači provođenje detaljne povijesne analize postojeće konstrukcije s ciljem praćenja povijesti i planiranja zgrade u vrijeme njezina prvog projektiranja i izgradnje. Arhivska građa prikupljena iz različitih izvora i pregledi nasumičnih elemenata zgrade pružaju početnu točku za to. Ovaj pristup omogućuje identifikaciju i evidentiranje različitih faza gradnje, kasnijih dogradnji i prenamjena, starijih i novijih radova na obnovi ili površinskog održavanja. Poznavanje korištenih metoda gradnje korisno je pri pokušaju procjene njihovih tipičnih prednosti i nedostataka, ali i dokaza o konstrukcijskim nedostacima, odnosno nedostacima vezanima uz energetske učinkovitost zgrade.

U praksi je čest slučaj da tehnička dokumentacija zgrade ne postoji, izgubljena je ili je u većem dijelu uništena, što značajno otežava pouzdanu analizu postojećeg stanja. Bez provedbe preciznih mjerenja i snimanja, projektanti i inženjeri često moraju na temelju iskustva procjenjivati sastav i stanje građevnih dijelova zgrade, što može dovesti do pogrešnih zaključaka i značajnih odstupanja u odnosu na stvarno stanje zgrade.

Općenito, relativno brzi pregledi zgrade se koriste za izvođenje niza zaključaka o cijeloj konstrukciji, što ostavlja određeni prostor za pogreške.

Ovdje će se u nastavku navesti drastični primjer pogrešnih zaključaka projektanta energetske obnove i odstupanja glavnog projekta energetske obnove u odnosu na stvarno stanje zgrade. U sklopu pripreme energetske obnove dvaju u naravi identičnih nebodera izgrađenih 1970-ih godina, dva različita projektantska tima pristupila su analizi stanja postojeće zgrade na bitno različite načine. U prvom slučaju, zbog nedostatka tehničke dokumentacije, projektant se uzdao u iskustvene procjene i pretpostavke te je procjenjivao konstrukciju te slojeve vanjske ovojnice zgrade. Bez potvrđivanja čak niti s osnovnim mjerenjima na licu mjesta, glavni projekt energetske obnove tako konstatira da je postojeće stanje predmetne zgrade takvo da je vanjski zid izrađen od armiranog betona debljine čak 74 cm (sl. 2-7).

1.3.2.1 Vanjski zidovi 1 - Z1 vanjski

R.b.	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1	3.03 Vapneno-cementna žbuka	1,000	1,000	20,00	0,20	1800,00
2	2.01 Armirani beton	74,000	2,600	110,00	81,40	2500,00
3	3.03 Vapneno-cementna žbuka	1,000	1,000	20,00	0,20	1800,00
Definirane ploštine [m ²]:				Sjeveroistok	11,57	
				Jugoistok	31,80	
				Jugozapad	26,06	

Sl. 2-7: Primjer dijela projekta energetske obnove zgrade s krivim ulaznim podacima o postojećem stanju zgrade

S druge strane, za susjedni neboder, projektant energetske obnove je izradio kvalitetniji arhitektonski snimak zgrade i prepoznao statički sustav te kvalitetnije identificirao sustav vanjske ovojnice zgrade.

Radi se naime o neboderima čiju nosivu konstrukciju čini armiranobetonski skelet sa stupovima dimenzija 70 cm. Sustav armirano betonskih stupova i lamela sa nosivim unutarnjim armiranobetonskim zidovima i punim armirano betonskim stropnim pločama, a vanjski zidovi su zidani od blokova porobetona, debljine 22,5 cm (sl. 2-8).

Sl. 2-8 daje primjer kako je pažljivom analizom zgrade i korištenjem naprednih tehnika mjerenja, poput infracrvene termografije moguće utvrditi ili odbaciti pojedine teorije o sastavu slojeva vanjske ovojnice zgrade. Na termogramu je desno od prozora jasno vidljivo da je riječ o zidu, ispunskom zidu, odnosno detaljnijom analizom moguće je odrediti i dimenzije blokova a time i s velikom sigurnošću i vrstu blokova koji su korišteni s obzirom na vrijeme gradnje i proizvode koji su tada korišteni.



Sl. 2-8: Primjer zgrade u kojoj je napravljena loša procjena sastava građevnih dijelova zgrade

Može se dakle zaključiti da teorijski proračuni i projektna dokumentacija često ne odražavaju stvarno stanje na terenu, osobito u starijim zgradama koje su tijekom desetljeća bile podložne različitim intervencijama, oštećenjima ili degradaciji materijala.

Uz pretpostavku da je pronađena arhivska dokumentacija i da ona savršeno odgovara izvedenom stanju na predmetnoj zgradi te su projektirani materijali zaista i izvedeni, tu uvijek postoji problematika ulaznih parametara.

Najprije, u proračunima gubitaka topline se, zbog pojednostavljenja, redovito uzimaju toplinska svojstva materijala prema literaturnim, odnosno tabličnim vrijednostima koje ne moraju nužno odgovarati stvarnom stanju za materijal, proizvod ili sustav koji se izvodi na zgradi (pogotovo je to naglašeno kod modeliranja postojećeg stanja zgrada).

Nadalje, postoji problem izrade energetskih modela s podacima o toplinskim svojstvima materijala za proizvode koji se ne mogu primijeniti za specifičnu namjenu. Na primjer, vrlo je čest slučaj da se kod proračuna U-vrijednosti vanjskih zidova koji se izvode u ETICS sustavu uzimaju svojstva npr. mineralne vune male gustoće koja se obično koristi za izolaciju kosih krovova i ima nižu toplinsku provodljivost od mineralne vune velike gustoće.

Zatim, potrebno je naglasiti da toplinska svojstva materijala, između ostalog, ovise o relativnoj vlažnosti materijala temperaturi i da se mijenjaju sa „starenjem“ materijala, dok vrlo često projektiramo sa svojstvima materijala dok je izašao iz tvornice te

svojstvima u suhom stanju i na temperaturi od 10 °C iako bi trebalo raditi korekciju na stvarne uvjete korištenja.

Iako postoje propisane norme prema kojima se računa U-vrijednosti a koje uzimaju u obzir razne situacije, kvalitetu izvođenja itd., i one su same po sebi pojednostavljene (npr. jednodimenzionalni stacionarni toplinski tok, toplina i vlaga nemaju međudjelovanje i dr. pretpostavke koje rijetko predstavljaju stvarne uvjete), a dodatno i projektanti često pojednostavljaju situaciju toplinskog toka u sustavima vanjske ovojnice zgrada (npr. toplinski mostovi i sl.).

I na kraju postoji i problematika izvođenja radova gdje može doći do odstupanja od priznatih pravila struke odnosno od projektom pretpostavljenih parametara. Odstupanja se ponekad događaju iz tehničkih razloga koje je projektant propustio detektirati poput npr. ravnosti podloge na koju se nanosi ETICS sustav, a koja može odstupati i po nekoliko centimetara od vertikale, pri čemu onda izvođači ETICS-a zbog poštivanja normi izvođenja vezanih uz ravnost završne obloge moraju kompenzirati odstupanja s debljinom toplinske izolacije. Postoji još čitav niz primjera koji se mogu opisati, a mogu uzrokovati razlike između projektiranih i izmjerenih U-vrijednosti građevnih dijelova zgrade.

Kako bi se učinkovito planirale mjere energetske obnove te ocijenila stvarna učinkovitost postojećih građevnih dijelova zgrade, a imajući na umu vrlo česti nedostatak projekata, necjelovitosti istih itd., ključno je provesti precizno mjerenje karakteristika i stanja vanjske ovojnice zgrade (Bienvenido-Huertas & Rubio-Bellido, 2021, L 59). Što su istraživanja i mjerenja sveobuhvatnija, to je veća pouzdanost u prikupljene informacije, a time i procjene dobivene modeliranjem potrošnje energije u višestambenoj zgradi, te svakako i troškovi i rokovi te benefiti energetske obnove (Giebeler et al. 2009., L 64).

Vidljivo je dakle da mjerenje toplinskih karakteristika, poput koeficijenta prolaska topline (U-vrijednosti) elemenata vanjske ovojnice zgrade, te procjena stanja vanjske ovojnice, postojanja i ozbiljnosti toplinskih mostova, kao i kvalitete prozirnih elemenata pročelja (prozora, vrata i staklenih fasada) ali i kvalitete ugradnje, odnosno spojeva i brtvi, omogućuje donošenje informiranih odluka o nužnim poboljšanjima.

Također, ono je osnova za procjenu isplativosti pojedinih mjera energetske učinkovitosti, ali i za verifikaciju stvarnih učinaka nakon provedene obnove.

S druge strane, mjerenje svojstava cijele višestambene zgrade ili svih njezinih elemenata i komponenti iako mogu pružiti dodatne informacije o svojstvima i problemima, vrlo često nije izvedivo zbog troškova i trajanja samog ispitivanja, kao i uznemiravanja korisnika stanova prilikom provođenja ispitivanja.

Ako mjerenje svih elemenata i komponenti višestambene zgrade nije izvedivo, može se pristupiti uzorkovanju reprezentativnih dijelova višestambene zgrade. Umjesto ispitivanja cijele zgrade, odabiru se karakteristični dijelovi (npr. tipični stanovi, građevni dijelovi, itd.) koji reprezentiraju cijelu zgradu. Time se dobivaju pouzdani podaci uz značajno smanjenje troškova i vremena, a fokus se stavlja na dijelove zgrade koji su najkritičniji za energetske učinkovitost, čime se resursi usmjeravaju na najvažnije aspekte.

Potrebna mjerenja uključuju niz kvalitativnih i kvantitativnih metoda, kao što su:

- In situ mjerenje prolaza topline (tokomjermom metodom),
- Termografsko snimanje (infracrvena termografija),
- Ispitivanje zrakopropusnosti vanjske ovojnice (Blower Door test),
- Vizualna i materijalna inspekcija slojeva vanjske ovojnice zgrade.

Sustavno mjerenje stanja ovojnice ne samo da osigurava usklađenost izvedenog stanja zgrade s projektnom dokumentacijom i važećim tehničkim propisima, već će zasigurno pridonijeti i povećanju kvalitete i projekata, ali i izvođenja radova s obzirom na to da će sudionici u gradnji imati određenu mogućnost neovisne kontrole nad svojim odlukama i postupcima. Posljedično projektirati će se s kvalitetnijim ulaznim podacima, te izvoditi radove sukladno pravilima struke te uputama proizvođača sustava što će posljedično povećati i trajnost zgrade, te na taj način smanjiti “energy gap” odnosno razliku između projektirane i stvarne potrošnje energije u višestambenim zgradama.

Literatura doista pokazuje da dolazi do značajnih odstupanja između očekivanih i stvarnih performansi zgrada, odnosno očekivane i stvarne potrošnje energije ili očekivanih i stvarnih ušteda energije nakon provedene energetske obnove zgrada (Deconinck, 2017, L 61).

Kod višestambenih zgrada, fokus je na fasadama jer, u usporedbi s drugim elementima vanjske ovojnice zgrade poput krova, stropa podruma i temeljne ploče, one predstavljaju daleko najveću površinu u kontaktu s vanjskim zrakom ili tlom.

Udjeli gubitka topline kroz različite elemente ovojnice višestambenih zgrada jasno pokazuju da mjere obnove za poboljšanje korištenja energije moraju uključivati fasade. Za holističko rješenje koje iskorištava sav potencijal uštede energije u arhitektonsko-građevinskom smislu, izolacija krovova i podruma svakako se moraju podjednako uzeti u obzir i koordinirati u mjerama.

Verifikacija provedene energetske obnove postojećih višestambenih zgrada korištenjem infracrvene termografije i drugih metoda (poput blower door testa, mjerenja toplinskog toka - HFM-a) omogućuje neovisnu kontrolu kvalitete izvođenja i pomaže svim uključenim stranama u dokumentiranju izvedenog stanja te utvrđivanju postojanja potencijalnih nedostataka te pri rješavanju eventualnih sporova ukoliko su oni nastali.

2.3.1. Mjerenja korištenjem infracrvene termografije

Termografska analiza vanjske ovojnice vrlo je korisna za procjenu energetskog svojstva višestambenih zgrada (Dall'O', 2015, L 60). Zapravo, mogla bi dovesti do ispravne identifikacije mnogih problema povezanih s lošim projektom, izvedenim građevinskim radovima, ugradnjom proizvoda i sustava ili, općenito govoreći, s gradnjom zgrade. Štoviše, nakon energetske obnove zgrade moguće je provjeriti da li su radovi izvedeni u skladu s projektom, te da li je projektno rješenje zadovoljavajuće u odnosu na toplinske mostove, zrakopropusnost vanjske ovojnice, odnosno u usporedbi s tehničkim specifikacijama definiranim tijekom faze projektiranja. Stoga, infracrvena termografija stručnjaku daje kvalitativne informacije o stanju vanjske ovojnice zgrade, a i važan je alat za podršku energetskom pregledu (Dall'O', 2015, L 60).

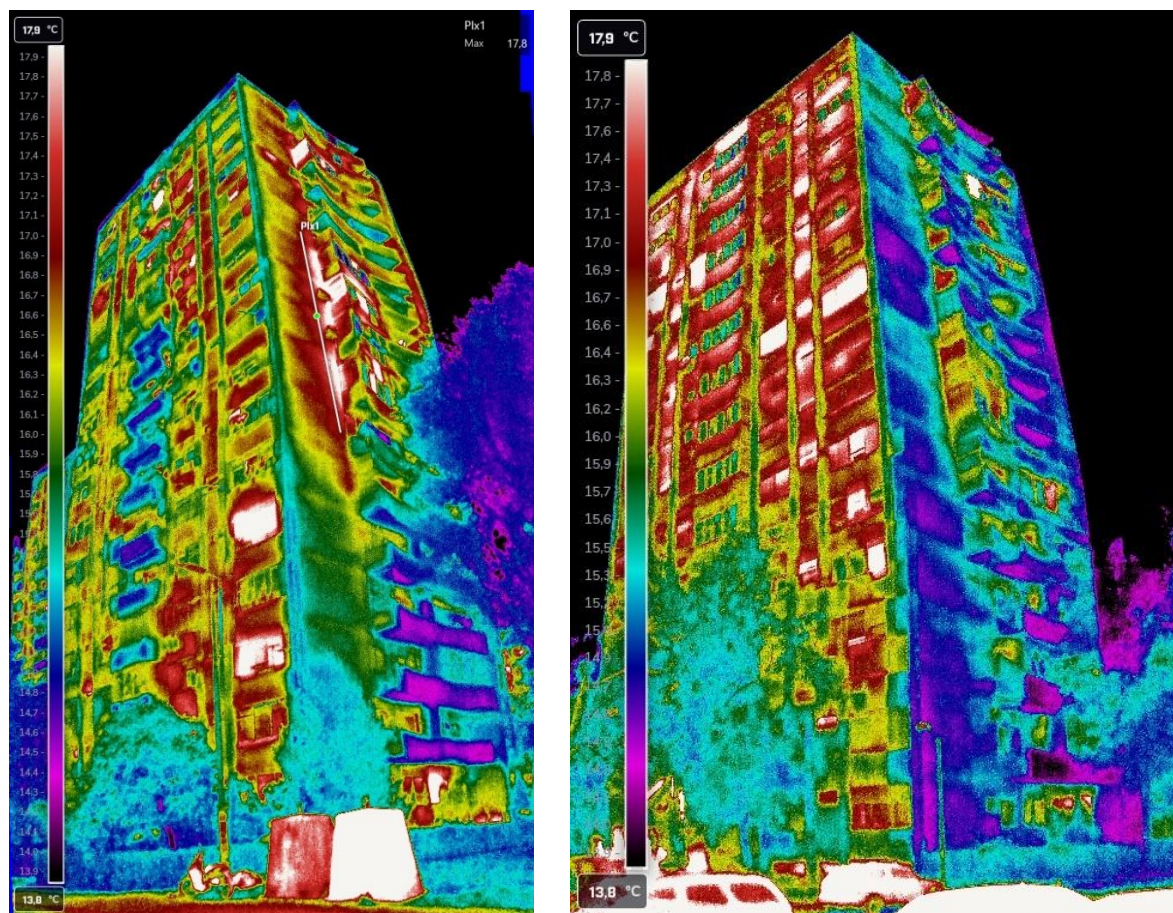
Infracrvena termografija nije zakonski obvezna, ali može biti vrlo korisna u otkrivanju slabih točaka u smislu toplinskih mostova i točaka infiltracije zraka (kao što se može vidjeti iz termograma prikazanih u ovom poglavlju).

U svrhu ilustracije prethodno navedenih problema i važnosti sustavnog pristupa mjerenju i analizi vanjske ovojnice višestambenih zgrada, u nastavku su prikazani termogrami koji vizualno potvrđuju postojanje toplinskih mostova, neadekvatne toplinske zaštite te razlike u toplinskom ponašanju između obnovljenih i neobnovljenih zgrada iste tipologije (sl. 2-9, sl. 2-10).

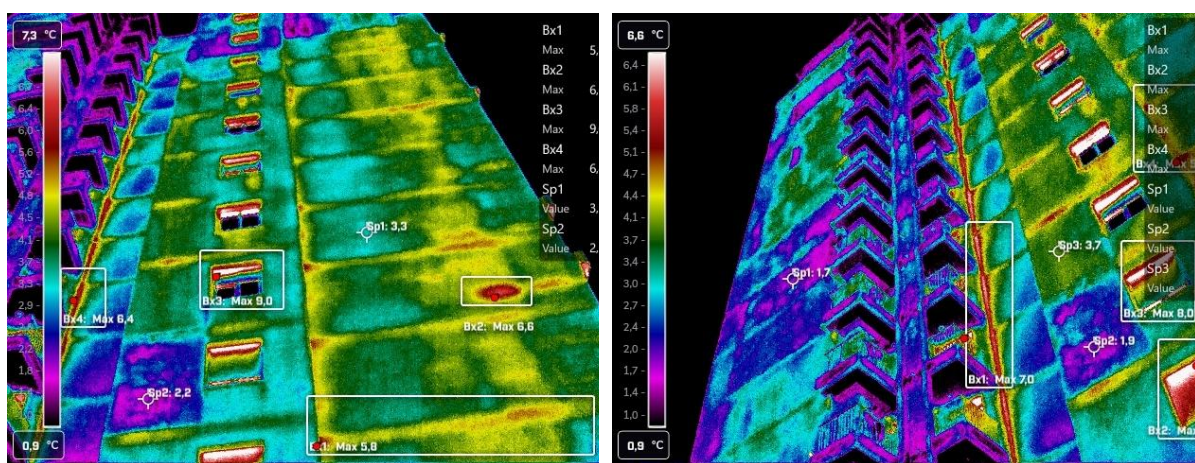
Ovi prikazi omogućuju neposredno uočavanje područja s najvećim gubicima topline te služe kao konkretna podloga za donošenje mjera energetske obnove temeljenih na stvarnom stanju zgrade.

Osim za inicijalnu dijagnostiku, mjerenja i termografska analiza izuzetno su važni i nakon provedbe mjera energetske obnove, kao sredstvo verifikacije kvalitete izvedenih radova (sl. 2-11, sl. 2-12).

Ovim pristupom moguće je utvrditi je li poboljšanje stvarno postignuto, jesu li toplinski mostovi učinkovito eliminirani te jesu li novi slojevi izolacije i prozori ugrađeni sukladno tehničkim specifikacijama. Na taj način se ne samo potvrđuju učinci obnove, nego se i sprječava „energy gap“ – razlika između projektiranih i stvarnih rezultata, koja je čest izazov u praksi.

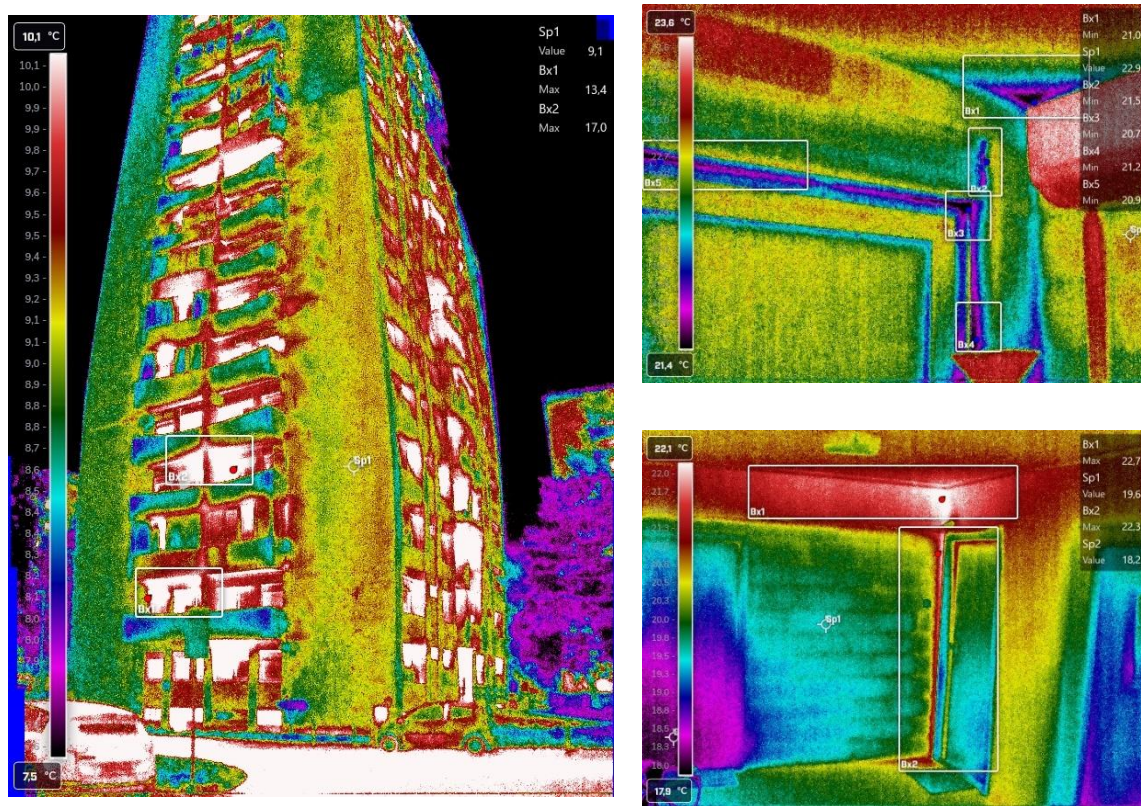


Sl. 2-9: Primjer višestambene zgrade u Zagrebu PRIJE provedene energetske obnove

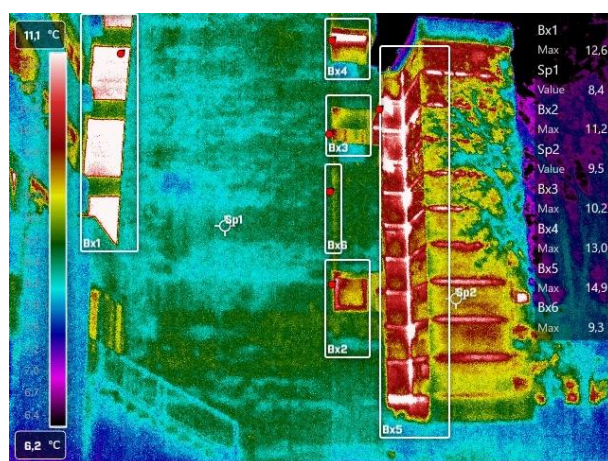


Sl. 2-10: Primjer višestambene zgrade u Rijeci PRIJE provedene energetske obnove

Smjernice
za primjenu modela primjenu modela sustavnog gospodarenja
energijom i vodom u višestambenim zgradama

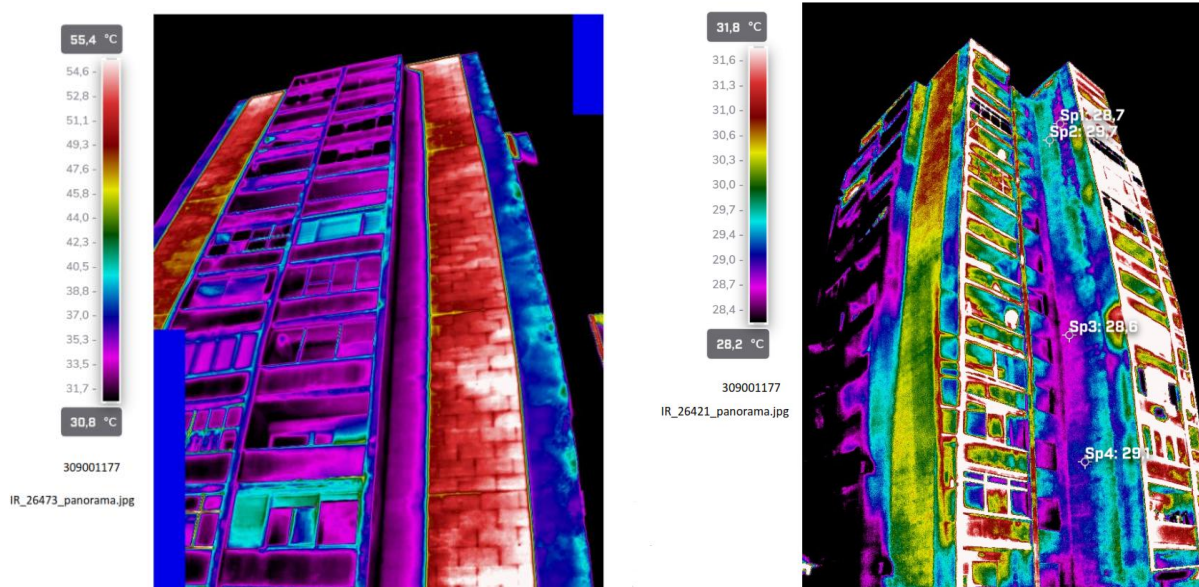


Sl. 2-11: Primjer višestambene zgrade u Zagrebu NAKON provedene energetske obnove



Sl. 2-12: Primjer višestambene zgrade u Velikoj Gorici, u prednjem planu zgrada NAKON, a u pozadini izvorno identična zgrada PRIJE provedene energetske obnove

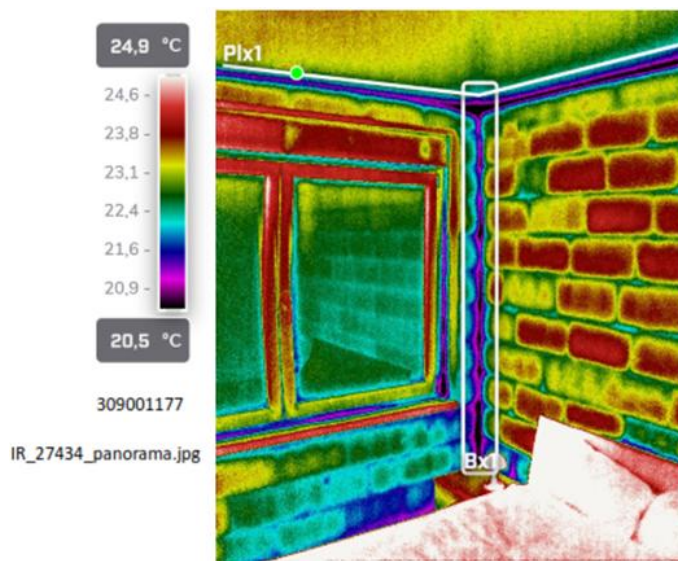
Na prikazanim termogramima (sl. 2-13) nalaze se primjeri koji potvrđuju navode iz projektne dokumentacije o izvedenim oblogama i sastavu elemenata vanjske ovojnice, čime se potvrđuje dosljednost između projekta i izvedbe. Isto tako, nedvojbeno je vidljivo (sl. 2-13) da je postojeći ETICS sustav izveden s EPS-om koji nije mehanički pričvršćen (što po novoj regulativi o zaštiti od požara za visoke zgrade nije dopušteno), te da postoji vlaga u slojevima fasade. Navedeno iskustvo projektanta upozorava na trenutno stanje, ali i usmjerava prema potencijalnim rješenjima odnosno potrebnim radovima prilikom energetske obnove čime se svakako smanjuje količina nepredviđenih i vantroškovničkih radova tijekom faze izvođenja radova.



Sl. 2-13: Primjer višestambene zgrade u Vukovaru PRIJE provedene energetske obnove: ploče EPS-a bez mehaničkih pričvrsnica (lijevo); vlaga u ETICS sustavu (desno)

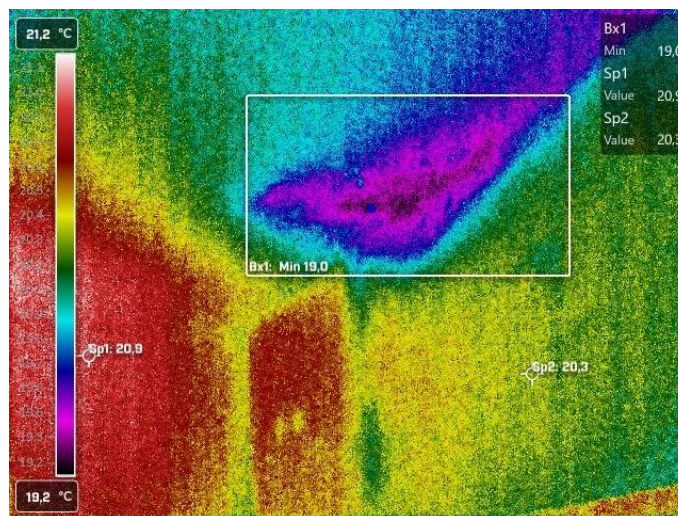
Istovremeno, ranije u ovom poglavlju (sl. 2-8) dani su i primjeri u kojima termografska analiza jasno pobija tvrdnje iz projektne dokumentacije te ukazuje na odstupanja u stvarnoj izvedbi, omogućujući definiranje činjeničnog stanja zgrade na temelju objektivnog mjerenja. Sl. 2-14 daje primjer višestambene zgrade u Zagrebu prije provedene energetske obnove, gdje je izvorno izvedena toplinska izolacija s unutarnje strane korištenjem blokova od porobetona pri čemu je nosiva konstrukcija zgrade od armiranobetonskih zidova koji su izvedeni s vanjske strane. Istovremeno, za slučaj ove zgrade (sl. 2-14) projekt energetske obnove je napravljen s drvolit pločama s unutarnje strane, što očigledno nije slučaj.

Smjernice
za primjenu modela primjenu modela sustavnog gospodarenja
energijom i vodom u višestambenim zgradama



Sl. 2-14: Primjer višestambene zgrade u Zagrebu PRIJE provedene energetske obnove, izvorno izvedena toplinska izolacija s unutarnje strane

Dodatno, moguće je koristiti infracrvenu termografiju za detektiranje problema s vlagom, odnosno uzroka problema s vlagom i prije nego se ista manifestira na površini građevnih dijelova zgrade (sl. 2-15).



Sl. 2-15: Primjer detektiranog problema s vlagom u zgradi u Splitu korištenjem infracrvene termografije

Infracrvena termografija je najmoćnija metoda za određivanje položaja i donekle ozbiljnosti toplinskih mostova u postojećim zgradama (uz određene aspekte kvantifikacije u smislu određivanja površinskih temperatura).

2.3.2. Toplinski mostovi

Posebnu pozornost tijekom ocjene ovojnice potrebno je posvetiti toplinskim mostovima – lokaliziranim područjima gdje je povećan prijenos topline u odnosu na susjedne dijelove ovojnice.

Toplinski mostovi su površinski ograničena mjesta u vanjskoj ovojnici grijanog dijela zgrade na kojima je gustoća toplinskog toka izmijenjena u odnosu na susjedna područja. Valja naglasiti, da se toplinski mostovi ne mogu u potpunosti izbjeći već se mogu jedino pravilnim rješavanjem konstrukcijskih detalja minimalizirati što znači da se njihov utjecaj smanjuje na najmanju moguću mjeru. Jedno od rješenja za minimizaciju toplinskih mostova je i oblaganje vanjske ovojnice korištenjem toplinsko izolacijskih materijala. Kako je ranije navedeno i pokazano na prikazanim termogramima, termovizijskim snimanjem je utvrđeno postojanje toplinskih mostova na svim zgradama na kojima je provedeno termografsko snimanje.

S obzirom na kompleksnost posla energetske obnove višestambenih zgrada, gdje se osim tehničkih aspekata te naravno financijskih aspekata trebaju uzeti u obzir i drugi aspekti, poput socioloških, toplinske mostove je relativno često potrebno prihvatiti na način da postoje, ali istovremeno provjeriti da isti u budućnosti neće izazvati pojavu građevinske štete.

Toplinski mostovi mogu rezultirati značajnim toplinskim gubicima, ali i pojavom kondenzacije i plijesni zbog lokalno sniženih temperatura unutarnjih površina, odnosno građevinskom štetom. Upravo zato njihovo otkrivanje i kvantifikacija predstavlja ključni korak u energetskom pregledu.

Samo jedan od primjera da ranije spomenuti sociološki aspekti mogu spriječiti minimiziranje toplinskih mostova kada je to tehnički relativno jednostavno je i u činjenici da stanari, vlasnici i korisnici stanova u višestambenim zgradama vrlo često nisu voljni dozvoliti radove na svojim lođama i balkonima. Razlog je tome naravno činjenica da bi dodavanje 10, 15 ili 20 cm toplinske izolacije na zidove, podove odnosno stropove učinilo i izvorno relativno male balkone i lođe potpuno neupotrebljivima, te na taj način uskratila stanarima jednu od kvaliteta života koju su prije obnove imali.

Sličnih primjera ima još, ali najbitnije je da se prilikom projektiranja energetske obnove zgrade provjeri da li za projektne uvjete (temperatura i relativna vlažnost zraka), ali bitno je i za stvarne uvjete korištenja zgrade provjeri da za projektom predviđeno rješenje neće tijekom korištenja doći do kondenzacije vodene pare, odnosno građevinske štete. Uvjeti stvarnog korištenja su često drugačiji od projektnih u smislu više temperature i jednake ili čak i više relativne vlažnosti, što znači da je u prostoru povećana količina vlage koja se kondenzira na najlošijim mjestima vanjske ovojnice zgrada, a to su redovito toplinski mostovi

Toplinski mostovi se na primjeru 10 mjerenih višestambenih zgrada najčešće javljaju:

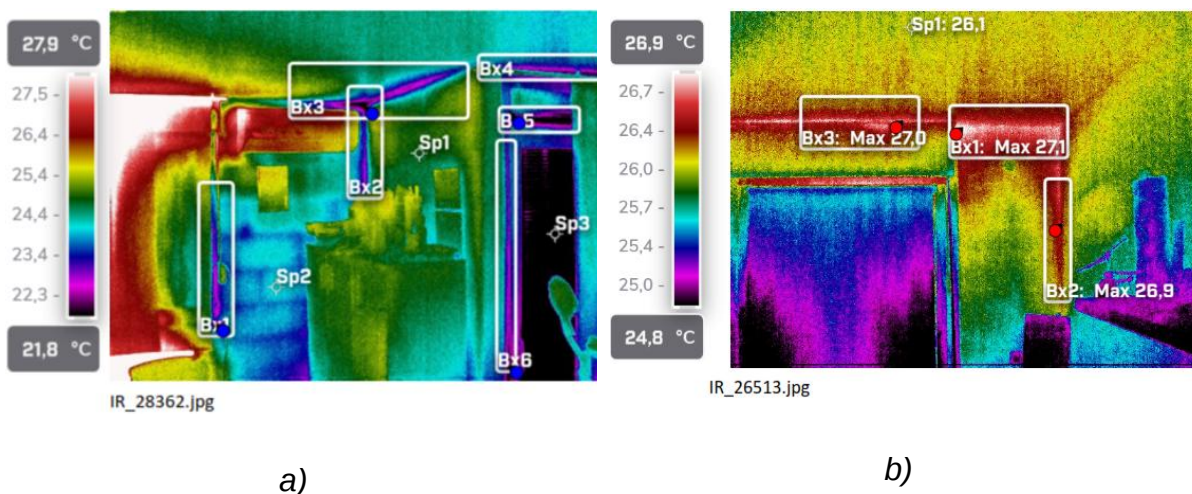
- na spojevima konstrukcijskih elemenata (npr. zid-strop, zid-pod),
- kod ugradnje prozora i vrata,
- na balkonima i konzolnim dijelovima,
- na lođama koje nisu izolirane s gornje i donje strane,
- oko armiranobetonskih elemenata koji prolaze kroz izolacijski sloj,
- na građevnim elementima prema negrijanom prostoru (stubištu, ulazni prostori, podrumi, spremišta, poslovni prostori itd.)
- zbog promjene materijala (razlike u toplinskoj provodljivosti)
- točkasti toplinski mostovi (zbog mehaničkih pričvrsnica, točkastih proboja toplinske ovojnice zbog raznih nosača itd.),

U nastavku (sl. 2-16) prikazane su specifičnosti vezane uz toplinske mostove uočene na vanjskoj ovojnici zgrada na kojima su provedena mjerenja. Ove specifičnosti se ponavljaju na svim mjerenjima zgradama, odnosno njihovim vanjskim ovojnicama. Kvantitativno, intenzitet toplinskih mostova ovisno o tome da li se u specifičnom slučaju mjerila energetska obnovljena ili neobnovljena zgrada, da li su toplinski mostovi riješeni na odgovarajući način ili nisu rješavani.

Termografsko snimanje moguće je provesti tijekom cijele godine, i u zimskom i u ljetnom periodu, a uz stručnjaka i vještog termografista koji koristi kvalitetnu opremu, mjerenje je moguće provesti i u prijelaznom periodu godine.

Potrebno je ovdje naglasiti da je posjedovanje pouzdane, kvalitetne infracrvene kamere svakako je dobra polazna točka za provođenje termografskog snimanja višestambenih zgrada, međutim, to nije dovoljno da bi se moglo jamčiti kvalitetu rezultata. Postoji drugi bitan element za provođenje dobrog termografskog snimanja, a to je svakako znanje i znatna tehnička vještina samog termografista, odnosno osobe koja provodi mjerenja. Za interpretaciju samih termograma potrebno je duboko znanje o termografskim mjerenjima, konstrukcijskom sustavu specifične zgrade, kao i kontekst mjerenja (unutarnje i vanjske temperature prije i tijekom mjerenje itd.) (sl. 2-16).

Kako je ranije navedeno, toplinski mostovi su vrlo često rezultat lošeg planiranja i projektiranja, vrlo često i činjenice da je njihovo minimiziranje financijski prevelik trošak, a često i zbog utjecaja stanara koji žele održati kvalitetu života kad se radi o npr. toplinskoj izolaciji lođa i balkona.



Sl. 2-16: Primjer karakterističnih informacija o toplinskim mostovima: a) energetske obnovljena zgrada u Velikoj Gorici tijekom kasne jeseni; b) energetske neobnovljena zgrada u Vukovaru tijekom ljeta

Dodatno, u situacijama kada izvorni živući arhitekt nije suglasan s promjenom izgleda pročelja, ili se višestambena zgrada nalazi u Registru kulturnih dobara Republike Hrvatske ili pak je dio Zaštićene kulturno povijesne cjeline te nije moguće promijeniti izgled pročelja zgrade, tada je vrlo često nemoguće ili je vrlo skupo minimizirati toplinske mostove. Potrebno je ovdje naglasiti činjenicu koja je dobro dokumentirana u stručnoj literaturi da unutarnja toplinska izolacija (koja je uobičajeno rješenje kad se treba zaštititi pročelje zgrade) uzrokuje znatno veće toplinske mostove i kompleksnija rješenja od toplinske izolacije s vanjske strane.

U takvim situacijama, svakako je potrebno proračunom provjeriti da li će doći do pojave građevinske štete te svakako osigurati da se ista ne pojavi.

Toplinski mostovi mogu biti uzrokovani i lošim izvođenjem radova i tada najčešće nastaju kada toplinska izolacija nije kontinuirano postavljena, kada su prisutne šupljine ili prekidi, te kada detalji spojeva – poput dodira zida i međukatne konstrukcije, prozorskih okvira ili balkonskih ploča – nisu izvedeni prema projektiranim rješenjima. Takve nepravilnosti često su posljedica neusklađenosti na gradilištu, nedovoljne kontrole kvalitete ili neprecizne izvedbe složenih građevinskih detalja.

2.3.3. Zrakopropusnost vanjske ovojnice zgrade

Koncept zrakopropusnosti jednako je važan kao i toplinska izolacija. Potrebno je razmotriti usklađivanje toplinske izolacijske ovojnice sa zrakonepropusnom vanjskom ovojnicom koliko je god to moguće.

Propuštanje zraka kroz vanjsku ovojnicu zgrade povećava potrebnu energiju i za grijanje i za hlađenje zgrade, udobnost, higijenu i može uzrokovati građevinsku štetu na zgradi. Za okvirnu predodžbu, studije pokazuju da propuštanje ovojnice može povećati potrebe za grijanjem za 5 do 20 kWh/m²/godišnje u umjerenj klimi (2500 do 3000 stupanj-dana) s obzirom na današnje razine zrakopropusnosti (Guyot, G. et al, 2010, L 65).

Također je poznato (Guyot, G. et al, 2010, L 65) da velika zrakopropusnost vanjske ovojnice zgrade može imati posljedice na učinkovitost ventilacijskih sustava, što dovodi do problema ukoliko u zgradi postoje sustavi poput ventilacije s povratom topline.

Rezultati mjerenja zrakopropusnosti (n_{50} vrijednost) su u Hrvatskoj uključeni u energetske certifikate na 2. stranici među ostalim karakteristikama ovojnice zgrade (Pravilnik o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju, ali je svakako potrebna dodatna promocija vrijednosti ovog rezultata ispitivanja vanjske ovojnice zgrade prema projektantima, izvođačima, nadzornim inženjerima, energetskim certifikatorima, investitorima i krajnjim korisnicima višestambenih zgrada, s obzirom na činjenicu da ovo mjerenje zapravo daje informaciju o kvaliteti izvođenja vanjske ovojnice zgrade, kao i kvaliteti ugrađenih sustava (najčešće prozora i vrata, električnih instalacija, instalacija vodovoda i kanalizacije, ali i drugih).

Ukoliko je vanjske ovojnice zgrade zrakopropusna, svakako dolazi kako je ranije spomenuto do povećanih gubitaka topline i manje učinkovitosti sustava ventilacije ako postoji, ali i povećanih problema s bukom, a možda i najvažnije, povećanog rizika od pojavljivanja građevinske štete uslijed kondenzacije vodene pare u ili na površini građevnog elementa. Ne manje bitan je i osjećaj ugodnosti boravka u prostoru, pri čemu se u slučaju velike zrakopropusnosti osjeti strujanje zraka što korisnicima zgrada vrlo često smeta.

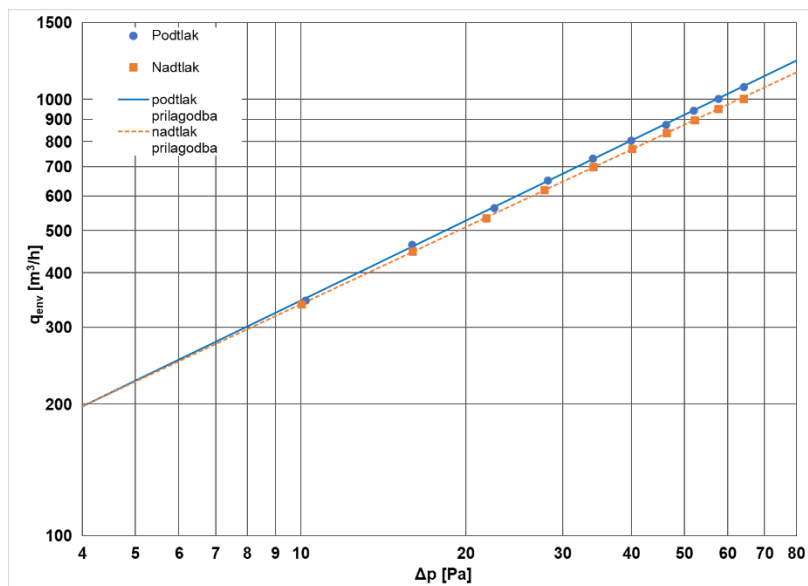
S druge strane, kad se razmatra zrakopropusnost vanjske ovojnice zgrade, potrebno je razmatrati i kvalitetu unutarnjeg okoliša u smislu ppm-a CO₂, hlapljivih organskih spojeva (HOS) itd, gdje se jasno pri većoj zrakopropusnosti događa veći broj izmjena unutrašnjeg zraka s vanjskim svježim zrakom i samim time je razina CO₂ niža i koncentracija HOS-a., ali već spomenuti nedostaci su značajni i često dominantni pa se stanari višestambenih zgrada najčešće odlučuju npr. za zamjenu stolarije ili druge mjere, čime se smanjuje zrakopropusnost vanjske ovojnice zgrade. Potrebno je ovdje naglasiti da se smanjenjem zrakopropusnosti može narušiti kvaliteta unutarnjeg zraka (CO₂ i HOS) te literatura preporuča da se u slučajevima kada je $n_{50} < 1,5 \text{ h}^{-1}$ svakako ugradi mehanička ventilacija s povratom topline kako bi se osigurala zadovoljavajuća kvaliteta zraka u prostoru.

U skladu s navedenim, smatra se da kvalitetno mjerenje (sl. 2-17) provedeno od strane educirane osobe i korištenjem umjerene opreme te provedeno prema propisanim

procedurama može dati vrlo vrijedne informacije o stvarnom stanju zgrade ili dijela zgrade te kvaliteti istih.



a)



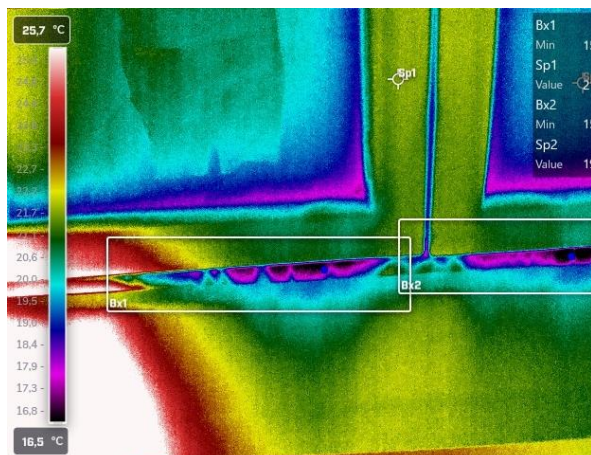
b)

Sl. 2-17: Primjer mjerenja zrakopropusnosti u višestambenoj zgradi u Vukovaru, a) postavljanje sustava za mjerenje; b) grafički prikaz odnosa „tlak – protok“ za vrijeme ispitivanja (podtlak i nadtlak)

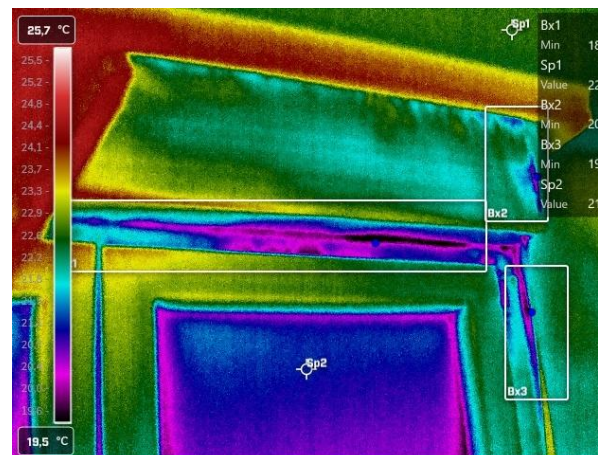
U Hrvatskoj je uočeno da neki graditelji žele izbjeći mjerenja zrakopropusnosti vanjske ovojnice zgrade zbog toga što ne razumiju potrebu za istim, ali i zbog skupih popravaka potrebnih kada mjerenje pokaže da zrakopropusnost ne zadovoljava projektne zahtjeve ili zahtjeve propisa te stoga pokušavaju prevariti sustav i, nažalost, najčešće uspijevaju dati investitorima, a posljedično i korisnicima zgrada, obmanjujuće informacije o rezultatima mjerenja (što je potvrđeno u praksi).

Pogrešne ili obmanjujuće izjave poput „tko bi živio u plastičnoj vrećici?“ od strane utjecajnih osoba imaju veliki potencijal za usporavanje, odugovlačenje ili čak preokretanje pristupa za potrebnim mjerenjima.

Smjernice
za primjenu modela primjenu modela sustavnog gospodarenja
energijom i vodom u višestambenim zgradama



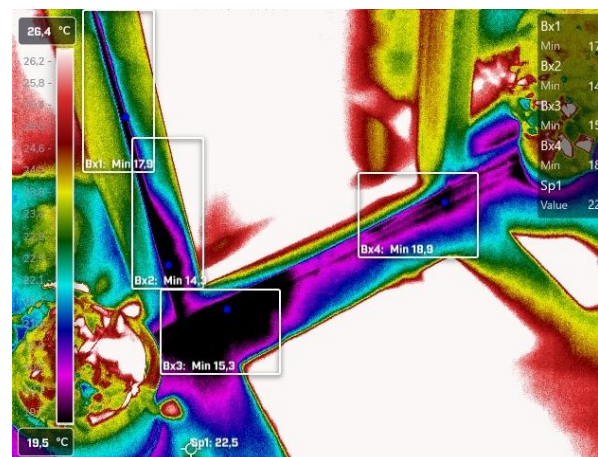
Infiltracija na mjestu brtve prozorskog krila



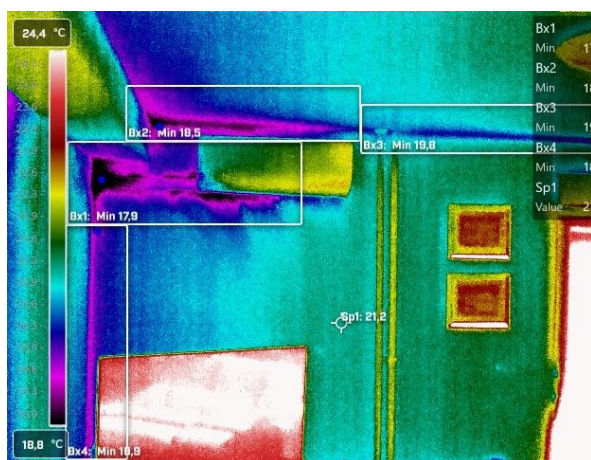
Infiltracija na spoju kutije z rolete i prozora



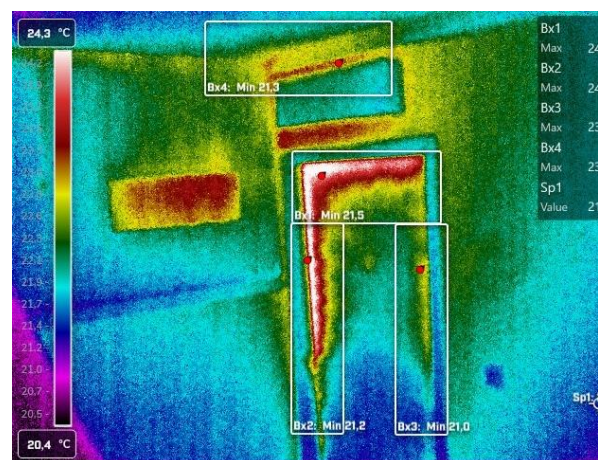
Infiltracija na mjestu ugradnje prozora



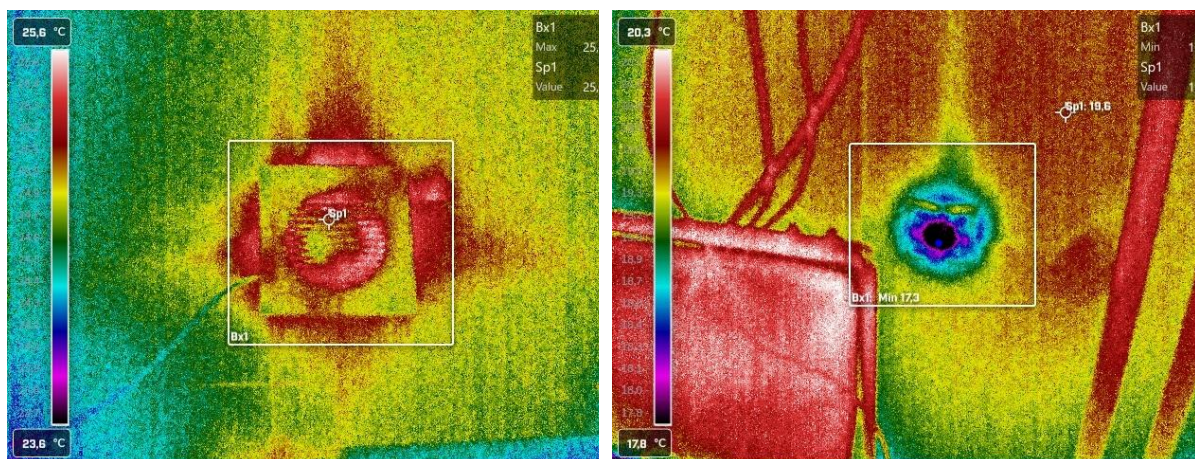
Infiltracija na mjestu ugradnje staklene stijene



Infiltracija kroz proboj vanjske ovojnice



Infiltracija na brtvi vrata prema negrijanim prostorima



Infiltracija kroz ventilaciju

Infiltracija kroz elektroinstalacije

Sl. 2-18: Primjeri dijela karakterističnih problema sa zrakopropusnosti vanjske ovojnice zgrade

Sl. 2-18 prikazuje rezultate mjerenja zrakopropusnosti vanjske ovojnice višestambenih zgrada zabilježeno korištenjem infracrvene termografije. Pri tome su najčešće zabilježena slijedeća mjesta zrakopropusnosti koja se redovito pojavljuju na svim predmetnim zgradama:

- infiltracija zraka na mjestu ugradnje prozora i kutije za roletu
- infiltracija zraka na mjestu spoja prozora i kutije za rolete
- zrakopropusnost brtve prozora u negrijanim prostorima
- zrakopropusnost brtve vrata u negrijanim prostorima
- infiltracija zraka kroz ventilaciju u WC-u i kupaonici te drugim instalacijskim vertikalama
- infiltracija zraka na mjestu proboja vanjskog zida zbog razvoda medija i cijevi za kondenzat između unutarne i vanjske jedinice split sustava
- infiltracija zraka na mjestu utičnica i prekidača za struju
- eksfiltracija zraka na brtvi ulaznih vrata u stan, itd.

Rezultati mjerenja pojedinačnih stambenih prostora u predmetnim višestambenim zgradama daje (tab. 2-2). Pri tome su rezultati mjerenja broja izmjena zraka pri razlici tlakova od 50 Pa (n_{50} – vrijednost) na 10 višestambenih zgrada uspoređene s vrijednostima koje daje „Metodologija provođenja energetskog pregleda zgrada 2021 - Procjena n_{50} prema tablici 5-25. iz Metodologije“, što je zapravo postupak koji slijedi izračun prema HRN EN 13465:2004.

Tab. 2-2: Rezultati mjerenja zrakopropusnosti na 10 obnovljenih i neobnovljenih višestambenih zgrada te usporedba s postupkom prema Metodologiji

Lokacija	Mjereno – srednja (n_{50})	Procjena prema Metodologiji tabl. 5-25	Tablica 5-25 Ventilacijski gubici zgrade pri razlici tlakova od 50 Pa.
Vukovar HR-32000-0095-1 (neobnovljena)	6,21	3+1+1+2-1-1 = 7	Armiranobetonska konstrukcija (3) + nebrtvljena montaža prozora i vrata (1) + nebrtvljeni prodori instalacija (1) + ventilacijski kanali (2) + žbukani zidovi (-1) + brtvljeni prozori i vrata (-1)
Vukovar HR-32000-0096-1 (obnovljena)	3,52	8+1+1+1+2-2-1-1= 8	Zidana konstrukcija (8) + razvedeni tlocrt (1) + nebrtvljena montaža prozora i vrata (1) + nebrtvljeni prodori instalacija (1) + ventilacijski kanali (2) + ugrađena zgrada (-2) + žbukani zidovi (-1) + brtvljeni prozori i vrata (-1)
Vukovar HR-32000-0099-0 (obnovljena)	3,07	8+1+1+1+2-2-1-1= 8	Zidana konstrukcija (8) + negrijani podrum (1) + nebrtvljena montaža prozora i vrata (1) + nebrtvljeni prodori instalacija (1) + ventilacijski kanali (2) + ugrađena zgrada (-2) + žbukani zidovi (-1) + brtvljeni prozori i vrata (-1)
Zagreb HR-10000-3296-1 (neobnovljena)	3,09	3+1+1+1+2-2-1-1= 4	Armiranobetonska konstrukcija (3) + negrijani podrum (1) + nebrtvljena montaža prozora i vrata (1) + nebrtvljeni prodori instalacija (1) + ventilacijski kanali (2) + ugrađena zgrada (-2) + žbukani zidovi (-1) + brtvljeni prozori i vrata (-1)
Zagreb HR-10000-330-1 (neobnovljena)	3,38	3+1+1+1+2-1-1= 6	Armiranobetonska konstrukcija (3) + negrijani podrum (1) + nebrtvljena montaža prozora i vrata (1) + nebrtvljeni prodori instalacija (1) + ventilacijski kanali (2) + žbukani zidovi (-1) + brtvljeni prozori i vrata (-1)
Zagreb HR-10000-3301-1 (obnovljena)	3,15	3+1+1+1+2-1-1= 6	Armiranobetonska konstrukcija (3) + negrijani podrum (1) + nebrtvljena montaža prozora i vrata (1) + nebrtvljeni prodori instalacija (1) + ventilacijski kanali (2) + žbukani zidovi (-1) + brtvljeni prozori i vrata (-1)
Velika Gorica HR-10410-0327-1 (obnovljena)	4,32	3+1+1+1+1+2-1-1= 7	Armiranobetonska konstrukcija (3) + razvedeni tlocrt (1) + negrijani podrum (1) + nebrtvljena montaža prozora i vrata (1) + nebrtvljeni prodori instalacija (1) + ventilacijski kanali (2) + žbukani zidovi (-1) + brtvljeni prozori i vrata (-1)
Split HR-21000-0567-1 (obnovljena)	2,26	3+1+1+1+2-1-1= 6	Armiranobetonska konstrukcija (3) + negrijani podrum (1) + nebrtvljena montaža prozora i vrata (1) + nebrtvljeni prodori instalacija (1) + ventilacijski kanali (2) + žbukani zidovi (-1) + brtvljeni prozori i vrata (-1)
Rijeka HR-51000-0358-1 (obnovljena)	2,80	3+1+1+1+2-1-1= 6	Armiranobetonska konstrukcija (3) + negrijani podrum (1) + nebrtvljena montaža prozora i vrata (1) + nebrtvljeni prodori instalacija (1) + ventilacijski kanali (2) + žbukani zidovi (-1) + brtvljeni prozori i vrata (-1)
Rijeka HR-51000-0357-1 (obnovljena)	3,93	3+1+1+1+2-1-1= 6	Armiranobetonska konstrukcija (3) + negrijani podrum (1) + nebrtvljena montaža prozora i vrata (1) + nebrtvljeni prodori instalacija (1) + ventilacijski kanali (2) + žbukani zidovi (-1) + brtvljeni prozori i vrata (-1)

Ispitivanje zrakonepropusnosti provedeno je metodom razlike tlakova u rasponu od 10 do 65 Pa pri podtlaku i nadtlaku u ispitivanom dijelu zgrade. Postupak ispitivanja izvodio se ispitnim ventilatorom i kompjuterski vođenim programom prema normi HRN EN 9972:2015 Toplinske značajke zgrada – Određivanje propusnosti zraka kod zgrada – Metoda razlike tlakova (ISO 9972:2015; EN ISO 9972:2015).

Potrebno je pri tome naglasiti da su rezultati koje prikazuje tab. 2-2 dobiveni pri uvjetima koji se odnose na ispitivanje zgrade u stanju pripremljenosti za uporabu (Metoda 2 – prema normi HRN EN 9972). Kad se koristi Metoda 2, ispitivanje zrakopropusnosti se provodi tako da se svi otvori, vrata i prozori zatvore, a otvori za prirodnu i mehaničku ventilaciju te otvori klima uređaja, zatvore.

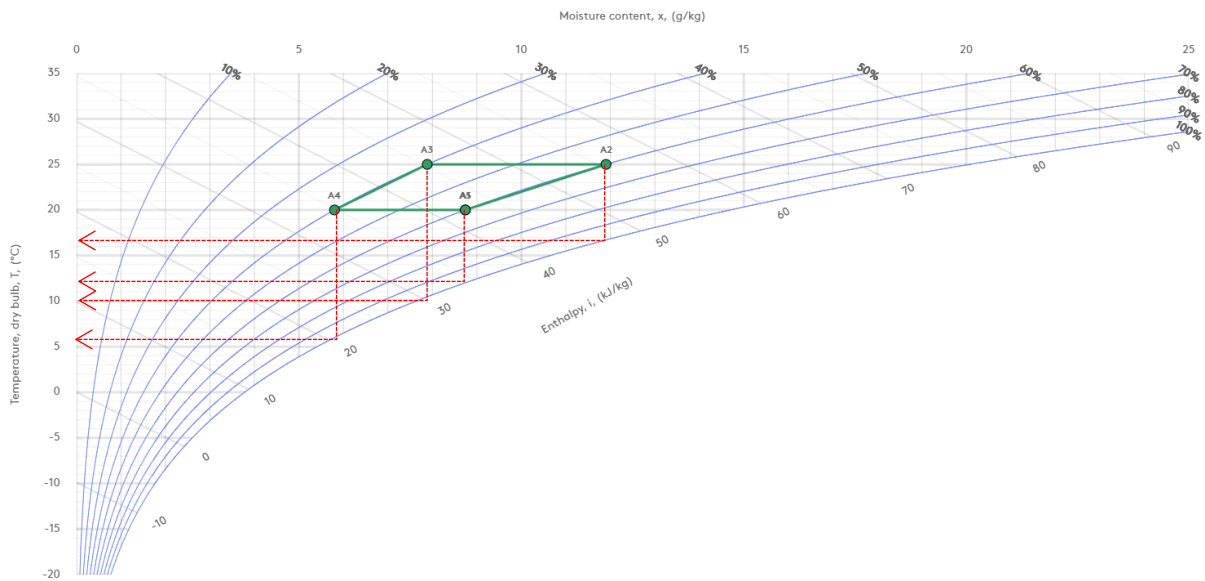
U svim slučajevima, izmjerene vrijednosti n_{50} (tab. 2-2) su niže od procijenjenih, što ukazuje da stvarno stanje zgrada (posebno obnovljenih) često nadmašuje konzervativne procjene iz tablice.

To znači da postupak prema *Metodologiji provođenja energetskeg pregleda zgrada 2021* daje sigurnosnu marginu – što je možda korisno za projektiranje, ali nije nužno precizna za svaku zgradu. Stvarne izvedbe mogu biti kvalitetnije od očekivanog prema tabličnim kriterijima što će svakako utjecati i na procjene isplativosti ulaganja u energetske obnovu višestambenih zgrada.

Razlike temperatura koje su mjerene infracrvenom termografijom na područjima toplinskih mostova te mjestima infiltracije zraka kroz vanjsku ovojnicu zgrade u odnosu na okolne građevne elemente na kojima postoji jednodimenzionalni toplinski tok redovito su značajne na neobnovljenim zgradama, ali i zgradama koje su prošle energetske obnovu na mjestima gdje postoji značajan toplinski most ili značajna infiltracija hladnog vanjskog zraka. Vrlo niske temperature unutarnje površine građevnih elemenata su vrlo rizične za pojavu građevinske štete ukoliko relativna vlažnost zraka u predmetnoj zgradi bude nekoliko dana previsoka.

Opasnost od pojave kondenzata na unutarnjoj površini građevnih dijelova zgrade ostvaruje se kritičnom kombinacijom minimalne temperature i relativne vlažnosti zraka, odnosno dostizanjem temperature rosišta. Istu je moguće odrediti pomoću Mollierovog h-x dijagrama. Ako je temperatura površine građevnog elementa jednaka ili niža od temperature rosišta, velika je opasnost od pojave kondenzata. Prema Mollierovom h-x dijagramu, u uvjetima unutarnje temperature zraka između 20 °C i 25 °C (koje su termografijom mjerene u prostorima predmetnih višestambenih zgrada) te relativne vlažnosti unutarnjeg zraka (RH) od 40 - 60 %, temperatura rosišta je između 6,0 °C i 16,7 °C, ovisno o kritičnoj kombinaciji unutarnje temperature i relativne vlažnosti (Sl. 2-19).

Smjernice
za primjenu modela primjenu modela sustavnog gospodarenja
energijom i vodom u višestambenim zgradama



Sl. 2-19: Temperatura rosišta prema Mollierovom dijagramu (izvor: <https://mollier.swegon.com/>)

Tako će za temperaturu zraka 20 °C i RH 40%, temperatura rosišta biti 6,0 °C, dok će za u slučaju povećanja RH na 60%, temperatura rosišta biti 12,0 °C. S druge pak strane, ako je temperatura zraka 25 °C i RH 40%, temperatura rosišta biti 10,4 °C, dok će za u slučaju povećanja RH na 60%, temperatura rosišta biti 16,7 °C.

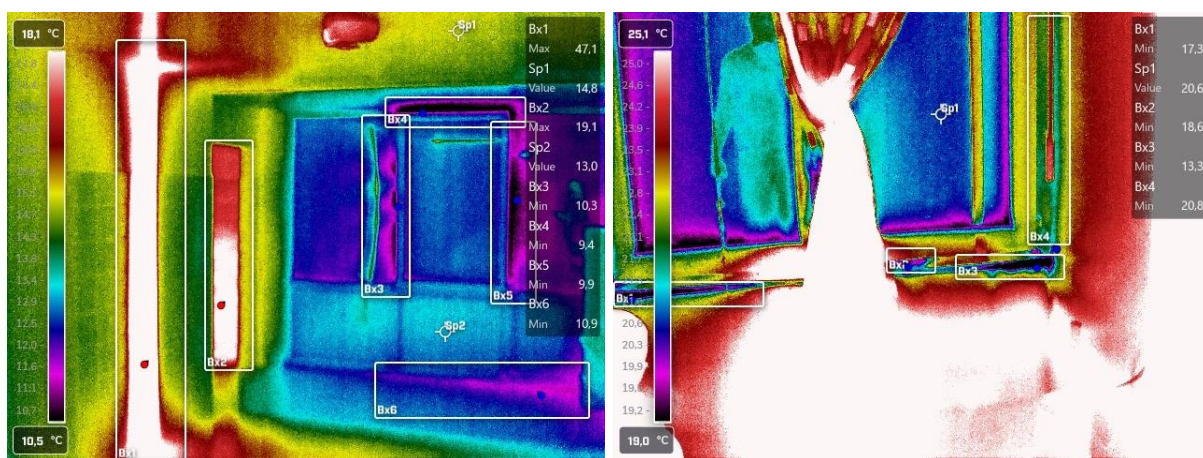
S obzirom da su projektni uvjeti temperature prema važećem Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama 20 °C i 60 % RH, projektant je provjerio da se u takvim uvjetima pojavljuje građevinska šteta za pretpostavljene temperature na ovojnici zgrade, dok mjerenje infracrvenom termografijom za izvedeno stanje zgrade pokazuje da su za dane uvjete vanjskog i unutarnjeg okoliša temperature niže od temperature rosišta za projektne uvjete.

Drugim riječima, sve točke na termogramima u kojima je izmjerena temperatura niža od temperature rosišta za kritičnu kombinaciju predstavljaju slabe točke ovojnice koje je potrebno sanirati kako bi se spriječila potencijalna opasnost od kondenzacije vodene pare. Ovom grubom procjenom rizika od kondenzacije može se zaključiti kako elementi, odnosno površine čija je izmjerena temperatura viša od 16,7 °C nisu u opasnosti od kondenzacije, dok za temperature niže od 16,7 °C treba napraviti detaljniju analizu rizika, ovisno o specifičnim RH i temperaturama zraka u pojedinim prostorima.

S druge strane, poznato je da porozni građevni materijali dolaze u opasnost od rasta plijesni ukoliko je vlažnost materijala veća od 80 % određen period vremena (duljina ovisi o svojstvima materijala – da li je anorganski ili organski itd., vrsti plijesni, itd.). Ukoliko se pretpostavi visoka temperatura grijanja zraka (25 °C) te niska relativna

vlažnost RH zraka u prostoru (40 %), kritična temperatura rasta plijesni prema grubom kriteriju 80 % vlažnosti materijala je 13,2 °C.

Slika sl. 2-20 daje primjer termograma u zgradi u Velikoj Gorici kod koje su izmjerene temperature niže od točke rosišta, dakle temperature koje će izazvati građevinsku štetu ukoliko je zadovoljen i uvjet relativne vlažnosti zraka (prema gornjem opisu). Dakle, na pojedinim pozicijama zadovoljeni su uvjeti za pojavu plijesni. Treba naglasiti da je za specifičnu zgradu vanjska temperatura u trenutku mjerenja bila 9 °C, što znači da će pri nižim temperaturama te u slučajevima veće RH zraka u prostoru opasnost bez sumnje biti još i veća.



Sl. 2-20: Primjeri termograma zgrade u Velikoj Gorici na kojima su izmjerene kritično niske temperature

Također, potrebno je naglasiti da temperature mjerene na mjestima toplinskih mostova i naročito na mjestima infiltracije zraka kroz vanjsku ovojnicu zgrade značajno narušavaju toplinsku ugodnost prostora u predmetnim zgradama jer dolazi do značajne infiltracije hladnog zraka.

Zamjena prozora prilikom energetske obnove zgrada često poboljšava zrakonepropusnost zgrade i time smanjuje osnovnu količinu zraka koja se izmjenjuje u zgradi, što neizbježno dovodi do veće relativne vlažnosti u zatvorenom prostoru i time do problema s plijesni oko toplinskih mostova ukoliko oni također nisu na adekvatan način riješeni prilikom energetske obnove višestambenih zgrada.

2.3.4. Toplinski tok kroz vanjsku ovojnicu zgrade

Koeficijent prolaska topline, odnosno U-vrijednost vanjske ovojnice zgrade opisuje toplinsku kvalitetu građevnog dijela vanjske ovojnice te zapravo određuje koliko

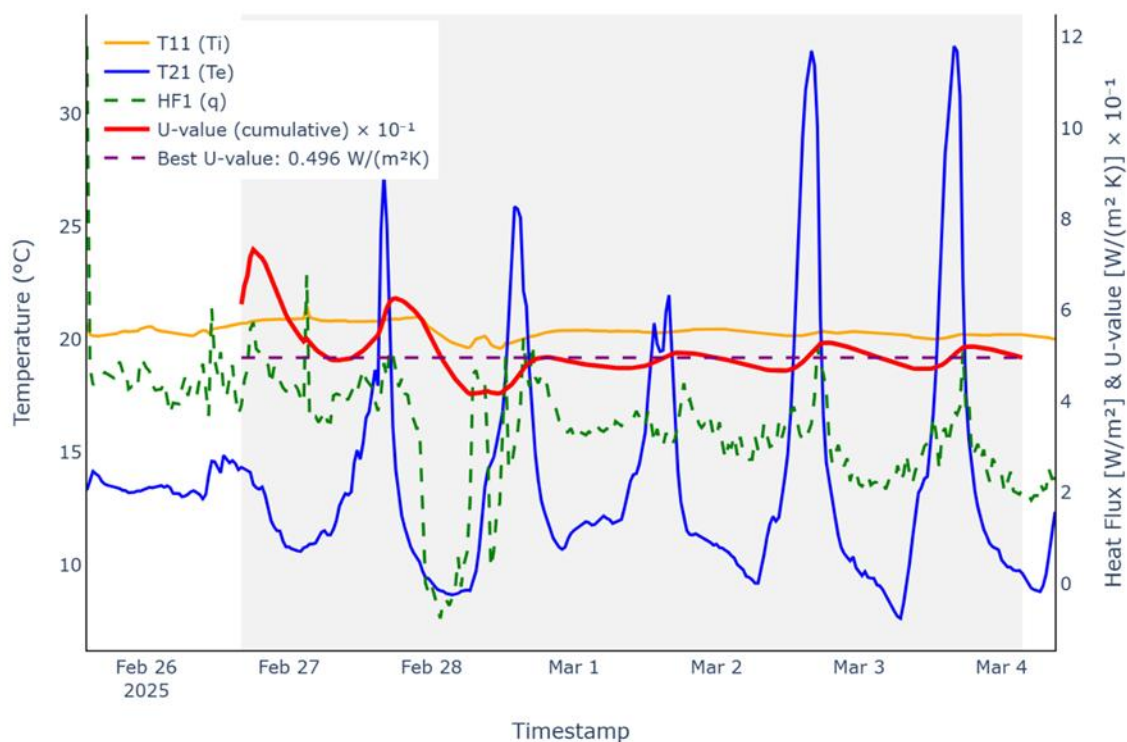
toplinske energije prolazi kroz 1 m^2 građevnog dijela zgrade u slučaju temperaturne razlike od 1 K između unutarnjeg i vanjskog zraka.

Teoretska U-vrijednost određuje se u stacionarnim uvjetima te se koristi kao ulazni parametar za određivanje transmisijskih toplinskih gubitaka kroz vanjsku ovojnicu zgrade. Međutim, teoretska U-vrijednost ne opisuje adekvatno stvarnu U-vrijednost na koju uvelike utječu toplinska svojstva materijala pri uvjetima korištenja, promjena toplinskih svojstava materijala tijekom vremena korištenja, pojednostavljenja korištena u proračunu, greške pri izvođenju radova, uvjeti okoliša te način korištenja zgrade, što najčešće dovodi do nepredvidivih toplinskih gubitaka te povećanih ekonomskih troškova za korisnika zgrade.

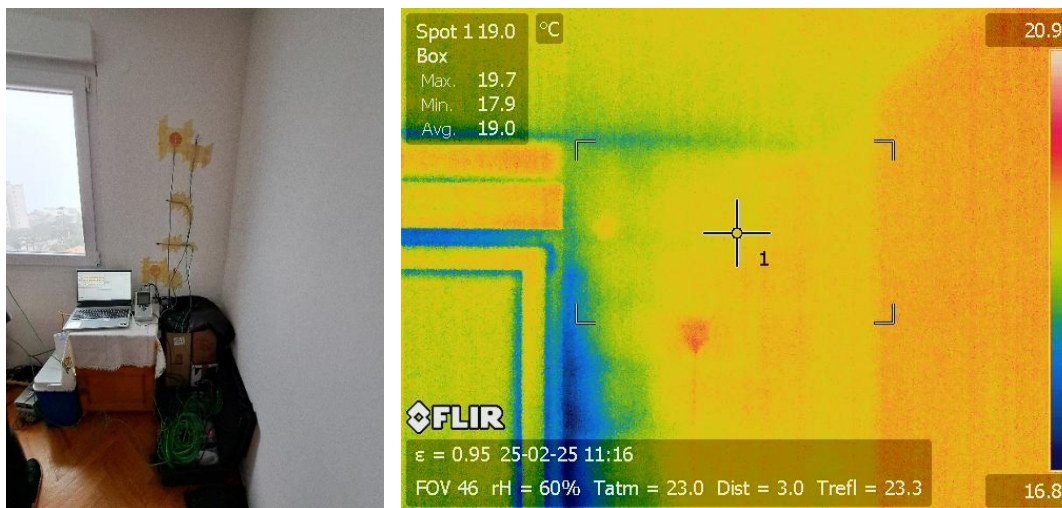
Kako je ranije spomenuto, točni podaci o toplinskim svojstvima elemenata vanjske ovojnice zgrada za postojeće zgrade obično nisu dostupni. Ako materijali slojeva od kojih je sastavljen građevni dio zgrade nisu odmah prepoznatljivi ili ih nije moguće odrediti, ili pak nisu poznata toplinska svojstva ugrađenih materijala i proizvoda, potrebno je provesti mjerenje toplinskog toka kroz elemente vanjske ovojnice zgrade, odnosno proračun U-vrijednosti temeljem podataka prikupljenih mjerenjima.

Metoda mjerenja toplinskog toka (HFM – Heat Flux Meter) ili tokomjerna metoda je do danas jedina standardizirana metoda prema normi HRN ISO 9869-1:2022 za in situ mjerenje toplinskog otpora i prolaska topline građevnih elemenata. HFM metoda se sastoji u dobivanju vrijednosti koeficijenta prolaska topline mjerenjem toplinskog toka (q_i) koji prolazi kroz element ovojnice zgrade te unutarnje ($T_{in,i}$) i vanjske ($T_{ext,i}$) temperature zraka, a kod naprednijih mjerenja i strujanja zraka uz građevni dio, odnosno insolacije koja pada na građevni dio zgrade te ga zagrijava.

U tu svrhu, mjerenja se provode u zidu u trajanju od 1 tjedna, pri čemu se za proračun U-vrijednosti izdvaja kontinuirani period od barem 72 sata unutar izmjerenih podataka za koji su ostvareni najbolji uvjeti konvergencije te se uvidom u proračunske grafove (Sl. 2-21) može zaključiti da U vrijednost teži stabilnosti oko konačnih U-vrijednosti. Prema ovoj (HFM) metodi, U-vrijednost se aproksimira iz prosjeka izmjerenih veličina – temperatura unutarnjeg i vanjskog zraka i gustoće toplinskog toka (metoda srednje vrijednosti) ili korištenjem matematičkih transformacija jednadžbe provođenja topline koja se zatim korelira s temperaturom unutarnjeg i vanjskog zraka te gustoćom toplinskog toka (dinamička metoda) (Gaši, 2023., L 63). Slično tome, korištenje infracrvene kamere potrebno je da se potvrdi da su sonde postavljene daleko od zona pogođenih toplinskim heterogenostima, odnosno toplinskim mostovima (Sl. 2-22).



Sl. 2-21: Grafički prikaz mjerenih veličina za vrijeme ispitivanja HFM metodom (Osjenčani dio grafikona označava period za koji je U-vrijednost određena)



Sl. 2-22: Primjer postavljanja uređaja za mjerenje toplinskog toka

Tab. 2-3: Rezultati mjerenja U-vrijednosti na 9 obnovljenih i neobnovljenih višestambenih zgrada te usporedba s procjenama U-vrijednosti prema podacima iz dostupne dokumentacije ili slojevima utvrđenima na licu mjesta

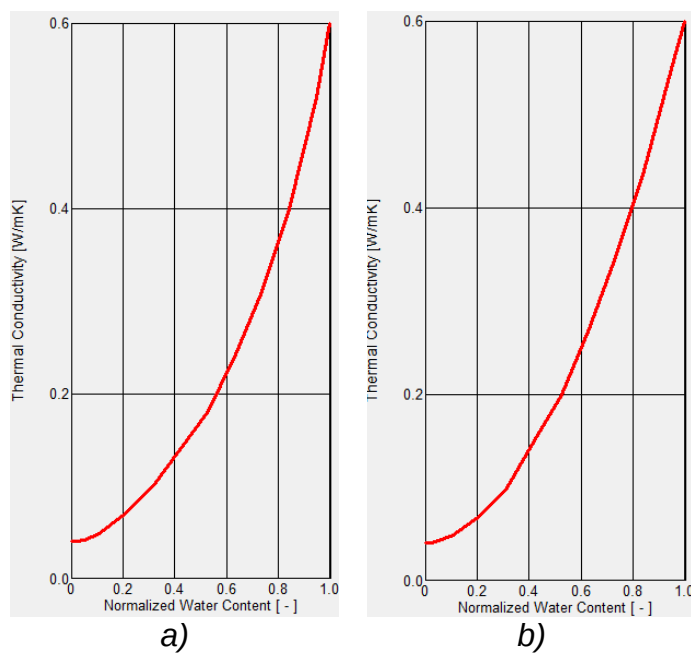
Lokacija	U-vrijednosti [W/(m ² K)]			
	HFM 1	HFM 2	Procjena prema podacima iz dostupne dokumentacije ili slojevima utvrđenima na licu mjesta	
Vukovar HR-32000-0095-1 (neobnovljena)	1,212	2,560	0,628 (zid 1)	0,669 (zid 2)
Vukovar HR-32000-0096-1 (obnovljena)	0,116	0,468	0,198 (zid)	0,160 (krov)
Vukovar HR-32000-0099-0 (obnovljena)	0,370	0,651	0,195	
Zagreb HR-10000-3296-1 (neobnovljena)	0,518	0,666	0,434	
Zagreb HR-10000-3300-1 (neobnovljena)	1,674	1,449	1,965	
Zagreb HR-10000-3301-1 (obnovljena)	0,361	0,306	0,203	
Velika Gorica HR-10410-0327-1 (obnovljena)	0,510	0,491	0,316	
Split HR-21000-0567-1 (obnovljena)	0,658	0,613	0,320	
Rijeka HR-51000-0358-1 (obnovljena)	0,496	0,265	0,320	

Vidljivo je da postoje razlike između stvarno izmjerenih toplinskih tokova, odnosno U-vrijednosti te U-vrijednosti dobivenih za savršene i pojednostavljene uvjete jednodimenzionalnog stacionarnog toplinskog toka (tab. 2-3). Dobiveni rezultati sasvim sigurno su bili dobiveni za stvarne uvjete korištenja zgrade, poput utjecaja povećanog strujanja, utjecaja korisnika, nestacionarnog toplinskog toka, itd. Dodatno, značajne razlike između izmjerenih i teorijski procijenjenih U-vrijednosti prema podacima iz dostupne dokumentacije ili slojevima utvrđenima na licu mjesta mogu biti uzrokovane kombinacijom bilo kojeg od sljedećih čimbenika:

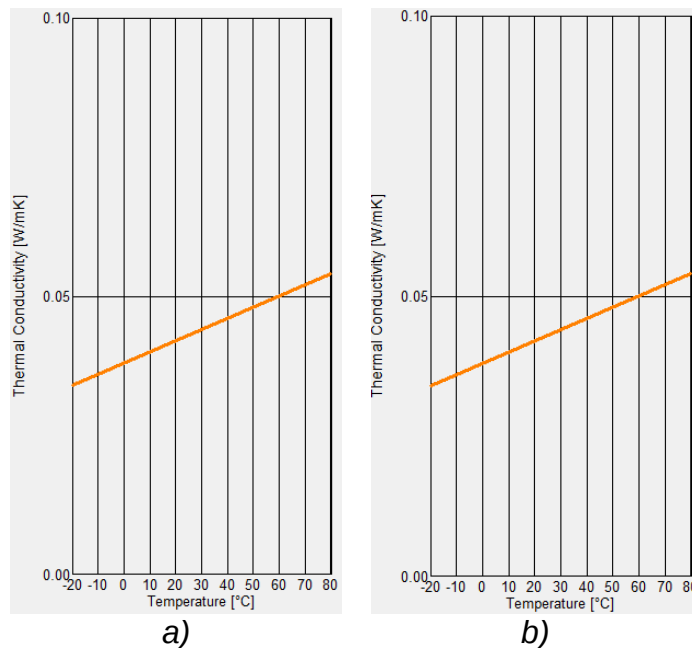
- pretpostavljene vrijednosti toplinske vodljivosti nisu točne vrijednosti. To može proizaći iz pogrešne identifikacije materijala, osobito izolacijskih, iz razlika između stvarnih svojstava materijala i pretpostavljenih vrijednosti ili iz utjecaja vlage;
- pretpostavljene vrijednosti unutarnjeg i vanjskog plošnog otpora nisu prave vrijednosti. Ovaj izvor pogreške obično je važan samo za loše izolirane elemente;
- točne debljine slojeva, osobito onih od izolacijskih materijala, nisu točno utvrđene;
- mjerenja U-vrijednosti nisu pravilno provedena ili su provedena u lošim toplinskim uvjetima;
- ispitivanje elementa i mjerenje U-vrijednosti nisu primijenjeni na isto mjesto u nehomogenom elementu;
- linije toplinskog toka tijekom mjerenja nisu bile ravne i okomite na element, (nije postojao jednodimenzionalni toplinski tok);

- u elementu je bilo strujanja zraka, koje su utjecale na mjerenje U-vrijednosti, ali nisu uzete u obzir pri proračunu teorijske vrijednosti;
- postoje fazne promjene poput smrzavanja, odmrzavanja, kondenzacije ili isparavanja vode ili vlage;
- temperature okoliša (okoline) koje se koriste za izračun U-vrijednosti nisu one izmjerene.

Potrebno je ovdje naglasiti da je procjena U-vrijednosti prema podacima iz dostupne dokumentacije ili slojevima utvrđenima na licu mjesta rađena na način na koji projektanti energetske obnove uobičajeno rade, a to je sa toplinskom provodljivosti materijala u suhom stanju pri 10 °C, pri tome ne uzimajući u obzir utjecaj vlage na toplinsku provodljivost materijala, utjecaj starenja na toplinsku provodljivost materijala itd. Poznato je da se toplinska svojstva izolacijskih materijala značajno pogoršavaju s povećanjem vlažnosti (Sl. 2-23) i temperaturom materijala (Sl. 2-24) što svakako doprinosi povećanju U-vrijednosti građevnog dijela zgrade u stvarnom korištenju (Fraunhofer, 2013, L 62).



*Sl. 2-23: Ovisnost toplinske provodljivosti materijala o sadržaju vlage:
a) EPS, b) mineralna vuna*



Sl. 2-24: Ovisnost toplinske provodljivosti materijala o temperaturi:
a) EPS, b) mineralna vuna

Kvalitetan nadzor građevinskih radova tijekom izvođenja te energetske pregledi zgrada nakon procesa energetske obnove, odnosno izgradnje novih zgrada svakako su način na koji se investitor (vlasnik stana ili suvlasnik u višestambenoj zgradi) može osigurati da se radovi na zgradi realiziraju na odgovarajući način, prema pravilima struke i u skladu sa svim pozitivnim propisima Republike Hrvatske. Za razliku od energetskeg pregleda, nadzor nad provođenjem građevinskih radova se može i mora provoditi tijekom procesa gradnje, što omogućuje utvrđivanje i ispravljanje bilo kakvih nedostataka u izvedbi prije završetka radova. Naravno i nadzorni inženjer mora imati dovoljno znanja i vještina za provođenje nadzora nad izvođenjem radova vezanih uz energetske učinkovitost, toplinsku izolaciju, toplinske mostove, zrakopropusnost itd.

Zaključno, provedba stvarnih mjerenja – poput termografskog snimanja, ispitivanja zrakopropusnosti ili toplinskog toka – daleko nadmašuje oslanjanje na procjene ili tablične vrijednosti iz literature. Iako tablične procjene pružaju okvirnu orijentaciju, one često precjenjuju ili podcjenjuju stvarno stanje, što može dovesti do netočnih energetskih bilanci, pogrešne klasifikacije zgrade ili neprikladnih (prevelikih ili nedovoljnih) intervencija u projektiranju mjera energetske obnove. Mjerenje omogućuje točno utvrđivanje stvarnih svojstava zgrade, čime se povećava pouzdanost energetskeg pregleda i osigurava kvalitetnije donošenje odluka.

2.4. USPOREDBA POSTOJEĆEG ALGORITMA ZA IZRAČUN POTREBNE ENERGIJE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE PROSTORA ZGRADE PREMA ALGORITMU I ALGORITMOM PROPISANIH NORMI S NOVIM IZRAČUNOM PREMA NORMI HRN EN ISO 52016-1, KAO I MJERENJIMA NA PREDMETNIM VSZ-IMA

2.4.1. Energetsko svojstvo zgrade

Prema Zakonu o gradnji, gospodarenje energijom i očuvanje topline jedan je od sedam temeljnih zahtjeva koje svaka građevina mora ispunjavati tokom svog trajanja. Pod tim se podrazumijeva da građevine i njihove instalacije za grijanje, hlađenje, osvjetljenje i prozračivanje moraju biti projektirane i izgrađene tako da količina energije koju zahtijevaju ostane na niskoj razini, uzimajući u obzir korisnike i klimatske uvjete smještaja građevine. Građevine također moraju biti energetske učinkovite, tako da koriste što je moguće manje energije tijekom građenja i razgradnje.

Zahtjevi energetske učinkovitosti zgrada, odnose se, prije svega, na minimalne zahtjeve na njeno **energetsko svojstvo**, odnosno izračunatu ili izmjerenu količinu energije potrebne za zadovoljavanje potreba za energijom prilikom karakteristične uporabe zgrade, a koja među ostalim uključuje energiju koja se koristi za **grijanje, hlađenje, ventilaciju, pripremu potrošne tople vode i rasvjetu**.

Energetsko svojstvo zgrade izražava se brojčanim pokazateljem korištenja primarne energije u $[\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ u svrhu:

- izdavanja energetskih certifikata i
- usklađenosti s minimalnim zahtjevima na energetsko svojstvo zgrade,

Izračun energetskog svojstva u svrhu dokazivanja usklađenosti s minimalnim zahtjevima na energetsko svojstvo zgrade provodi se u fazi projektiranja nove zgrade ili energetske obnove postojeće zgrade i ima za cilj dokazati da je zgrada projektirana tako da tokom svog trajanja ispunjava temeljni zahtjev gospodarenja energijom i očuvanja topline.

Izračun energetskog svojstva u svrhu izdavanja energetskog certifikata provodi se nakon izgradnje nove ili energetske obnove postojeće zgrade kao i za postojeće zgrade za koje je ta obveza propisana, a ima prije svega za cilj pružiti informaciju vlasnicima i korisnicima zgrade o razini energetske učinkovitosti njihove zgrade koja se izražava energetskim razredom.

Algoritam za izračun energetskog svojstva zgrade sastavni je dio Metodologije provođenja energetskog pregleda zgrade i zasniva se na međunarodnim i europskim

normama za proračun energetske potrebe zgrade te energetske zahtjeva i učinkovitosti njenih tehničkih sustava – termotehničkih sustava za grijanje, hlađenje, pripremu potrošne tople vode, ventilaciju i klimatizaciju, sustava za vlastitu proizvodnju električne energije na lokaciji zgrade te sustava unutrašnje rasvjete.

S obzirom na to da različite vrste zgrada, prema namjeni, mogu imati ugrađene i različite tehničke sustave, a što neminovno dovodi i do razlike u potrošnji energije, u proračunu energetske svojstva zgrade uzimaju se obzir oni tehnički sustavi koji su najčešće zastupljeni kod pojedinih vrsta zgrada. U slučaju da zgrada nema ugrađen neki od tehničkih sustava, provodi se tzv. penalizacija zbog nepostojanja sustava kojom se potrošnja energije ugrađenih tehničkih sustava uvećava za potrošnju energije svih ostalih tehničkih sustava koji, ovisno o namjeni zgrade, moraju biti obuhvaćeni prilikom izračuna do primarne energije.

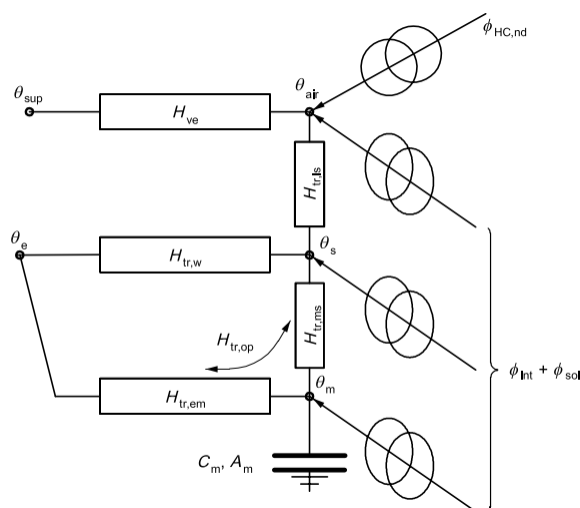
Proračun energetske svojstva višestambenih zgrada obuhvaća tehničke sustave grijanja i pripreme potrošne tople vode (PTV) te, ako postoje, i sustave ventilacije i klimatizacije. Sustavi hlađenja i unutrašnje rasvjete nisu obuhvaćeni proračunom energetske svojstva višestambenih zgrada.

2.4.2. Algoritam za izračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema normama HRN EN ISO 13790 i HRN EN ISO 52016-1

Proračun energetske svojstva zgrade polazi od proračuna njenih potreba za grijanjem i hlađenjem. Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje zasniva se na međunarodnoj normi ISO 13790, a proračun se od 2017. godine provodi jednostavnom satnom metodom (engl. *simple hourly method*). Neovisno o tome, provodi li se proračun energetske svojstva u svrhu izdavanja energetske certifikata ili usklađenosti s minimalnim zahtjevima na energetske svojstvo zgrade, za izračun se koristi isti algoritam, ali s određenim razlikama u proračunskim postavkama, među kojima su i razlike u klimatskim podacima. Proračun u svrhu dokazivanja usklađenosti s minimalnim zahtjevima na energetske svojstvo zgrade provodi se naime sa stvarnim klimatskim podacima prema meteorološkoj postaji najbližoj lokaciji zgrade, dok se proračun u svrhu izdavanja energetske certifikata provodi s referentnim klimatskim podacima za dvije klimatske zone – za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku.

Jednostavna satna metoda je dinamička metoda za proračun godišnje potrebne energije za grijanje i hlađenje, tj. topline koju tijekom jedne godine sustavom grijanja treba dovesti u zgradu, odnosno sustavom hlađenja odvesti iz zgrade za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja, odnosno hlađenja zgrade. Kod dinamičkih proračunskih metoda, uzima se u obzir utjecaj vremenske promjene proračunskih parametara (vanjski – klimatski uvjeti, unutarnji – prisustvo ljudi

i korištenje tehničkih sustava, akumulacija toplinske energije u građevnim elementima, itd.) na dinamiku zagrijavanja/hlađenja zgrade, a što u konačnici rezultira ostvarenom temperaturom unutrašnjeg zraka u pojedinom trenutku. Kod jednostavne satne metode koristi se pojednostavljeni 5R1C model (sl. 2-25) kojim se cijela zgrada (ili zona) modelira pomoću pet toplinskih otpora i jednog toplinskog kapaciteta. Proračun se provodi s vremenskim korakom od jednog sata, iterativnim postupkom, koji se sastoji od 3 koraka i određuje satnu vrijednost potrebne toplinske snage za grijanje/hlađenje kako bi se unutar proračunske zone održala unutarnja proračunska temperatura u željenom intervalu. Proračun se provodi za jedan karakterističan dan u svakom mjesecu, a množenjem dnevnih vrijednosti s brojem dana grijanja / hlađenja u svakom mjesecu dobivaju se mjesečne potrebne topline za grijanje i hlađenje. Suma mjesečnih vrijednosti daje godišnju potrebnu energiju za grijanje i hlađenje.



Sl. 2-25: 5R1C model zgrade prema ISO 13790 (jednostavna satna metoda)

Jednostavnost ove metode očituje se, prije svega, u tome što se svi građevni elementi pojedine proračunske zone promatraju kao jedan, jedinstveni element te u pojednostavljenom pristupu određivanju akumulacije toplinske energije u građevnim elementima. Osnovna prednost pred drugim dinamičkim metodama je kraće vrijeme izračuna.

Skup europskih normi na kojima se zasniva aktualni algoritam, donio je Europski odbor za normizaciju (CEN) u razdoblju od 2007. do 2008. godine, kao potporu Direktivi o energetske svojstvima zgrada (EPB). No, kako je direktiva u međuvremenu doživjela znatne izmjene, zaključeno je kako bi norme trebalo ponovno razmotriti, dopuniti i doraditi kako bi, s jedne strane, bile jasnije i međusobno usklađene, a s druge strane, omogućile pregledan i razumljiv prikaz izbora, graničnih uvjeta i ulaznih podataka koje je potrebno definirati na nacionalnoj ili regionalnoj razini.

Stoga je krajem 2010. godine, Europska komisija (Glavna uprava za energetiku) dala novi mandat (M/480) Europskom odboru za normizaciju (CEN), Europskom odboru za elektrotehničku normizaciju (CENELEC) i Europskom institutu za normizaciju telekomunikacija (ETSI) za izradu i prihvaćanje novih normi koje definiraju metodologiju proračuna integralnog energetskeg svojstva zgrada i promoviraju energetske učinkovitost u zgradama u skladu s direktivom EPBD (2010/31/EU).

Skup normi za energetske učinkovitost zgrada (EPB) objavljen je tijekom ljeta 2017. godine. Dio ključnih normi dostupan je na globalnoj razini (obitelj normi EN ISO 52000), dok su druge trenutačno dostupne samo na europskoj razini (CEN norme). Iako nova EPB Direktiva ne nalaže izravnu primjenu ovih normi, obveza opisa nacionalne proračunske metodologije u skladu s nacionalnim dodacima nadređenih normi trebala bi potaknuti države članice da jasno navedu gdje i zašto odstupaju od tih normi, što bi dugoročno trebalo doprinijeti boljoj prepoznatljivosti i širem prihvaćanju EPB normi među državama članicama i izvan njih.

Skup novih EPB normi je modularan i sastoji se od četiri glavna područja:

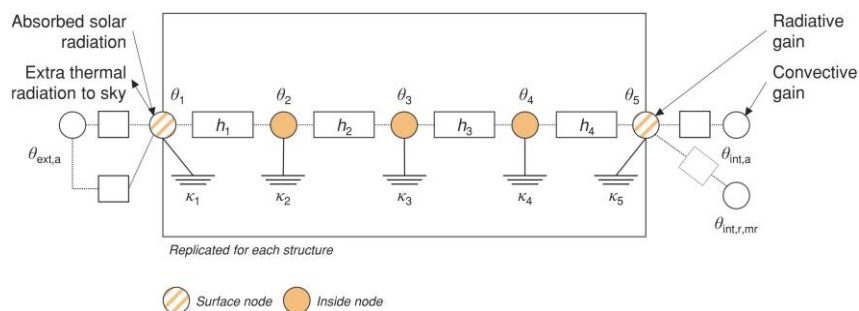
- M1: krovna, ISO 52000-1
- M2: ovojnica, ISO 52016-1
- M3-M11: tehnički sustavi zgrade
- M12 – M13: ostali sustavi ili uređaji (izvan područja EPB normi)

Kako bi se omogućila fleksibilna i učinkovita primjena skupa EPB normi u različitim zemljama i regijama, potrebna je mogućnost izbora i korištenja nacionalnih podataka. To je nužno zbog razlika u klimi, kulturi gradnje, tipologiji zgrada, zakonodavnom okviru te razini kontrole i provedbe. Primjerice, klimatski podaci očekuju se kao nacionalno ili regionalno definirani, unutar Nacionalnog priloga ili pripadajućeg podatkovnog lista.

Skup novih EPB normi temelji se na holističkom, odnosno sustavnom pristupu procjeni ukupne energetske učinkovitosti zgrade. Ovaj pristup podrazumijeva cjelovito razmatranje svih oblika potrošnje energije povezanih s uporabom zgrade – poput grijanja, rasvjete, hlađenja, klimatizacije i ventilacije – uz istovremeno uvažavanje vanjskih klimatskih i lokalnih uvjeta te zahtjeva za unutarnju ugodnost. Posebna se pažnja pridaje i složenim, često dinamičnim međudjelovanjima između navedenih čimbenika.

Nova norma za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje (ISO 52016-1) pristupa detaljnije rješavanju problema nestacionarnog provođenja topline kroz građevne elemente ovojnice. Naime, u realnim uvjetima korištenja zgrade, temperatura vanjskog i unutarnjeg zraka nikad nisu konstantne što znači da ni temperatura unutar građevnog elementa nije stalna već varira s vremenom i dubinom (npr. zid je izvana hladan, iznutra topao, ali ta razlika se tijekom dana mijenja), a toplina se ne prenosi odmah, već se dio nje akumulira u građevnom elementu i otpušta

kasnije. U normi EN ISO 52016-1 toplinske karakteristike građevnih konstrukcija modeliraju se diskretizacijom, odnosno dijeljenjem građevinskih elementa ovojnice (zidovi, krovovi, podovi) na manje dijelove (slojeve). Svaki neprozirni dio ovojnice zgrade modelira se pomoću R-C mreže (toplinski otpor-toplinski kapacitet), koja se sastoji od najviše pet čvorova. Ova metoda omogućuje proračun nestacionarnog provođenja topline, uzimajući u obzir i toplinski kapacitet materijala.



*Sl. 2-26: R-C mrežni model za svaki neprozirni građevni element (do 5 čvorova)
prema ISO 52016-1 (izvor: L 38)*

Usporedba osnovnih značajki postojeće i nove norme za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenja prikazana je u tablici (tab. 2-4).

Tab. 2-4: Usporedba osnovnih značajki postojeće i nove norme za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje

HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017
- pojednostavljeni, agregirani model s nekoliko čvorova - svi građevni elementi koji omeđuju toplinsku zonu (osim prozora) su objedinjeni i promatraju se kao jedan, jedinstveni element - problem u procjeni učinaka toplinske mase i zračenja Sunca - osnovna prednost jest kraće vrijeme izračuna, što je, s obzirom na mogućnosti računala, danas manje relevantno nego prije 17 godina kada je norma izrađena	- potpuno dinamička metoda u kojoj se koeficijent prolaska topline, veličina, orijentacija i masa svakog građevnog elementa uzima izravno u obzir - dinamički satni proračun, koji uzima u obzir utjecaj satnih i dnevnih varijacija ulaznih parametara (meteoroloških podataka, postavne temperature, unutarnjih dobitaka, akumulacije, solarnog zasjenjenja, itd.) i njihov dinamički utjecaj na sustav grijanja i hlađenja - u usporedbi s konvencionalnim simulacijskim modelima, metoda ne zahtijeva dodatne ulazne podatke u odnosu na mjesečnu metodu proračuna

Nove europske EPB norme prihvaćene su i imaju status hrvatskih normi od 2017. godine, a njihova integracija u zakonske i podzakonske propise planira se provesti čim na tržištu postane dostupan prikladan i verificiran proračunski alat.

2.4.3. Klimatski (meteorološki) podatci za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje

Meteorološki podatci objavljeni su na službenim internetskim stranicama Ministarstva prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine. Meteorološki podaci sadrže meteorološke veličine za 48 klimatski mjerodavnih meteoroloških postaja, potrebne za proračun fizikalnih svojstava zgrade u pogledu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite.

Od ožujka 2018. godine dostupni su klimatski podatci za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje jednostavnom satnom metodom, koji sadrže 24 satnu distribuciju za 12 karakterističnih dana (koji reprezentiraju 12 mjeseci). Ovi podatci pripremljeni su iz meteoroloških podataka s postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda prema mjerenjima iz razdoblja 1991-2010.

Također, dostupne su i satne vrijednosti za proračun godišnjih potreba energije za grijanje i hlađenje u formi reprezentativne godine. Podaci reprezentativne godine su s postaja Zagreb-Maksimir i Split-Marjan iz približno 10-godišnjih nizova mjerenja.

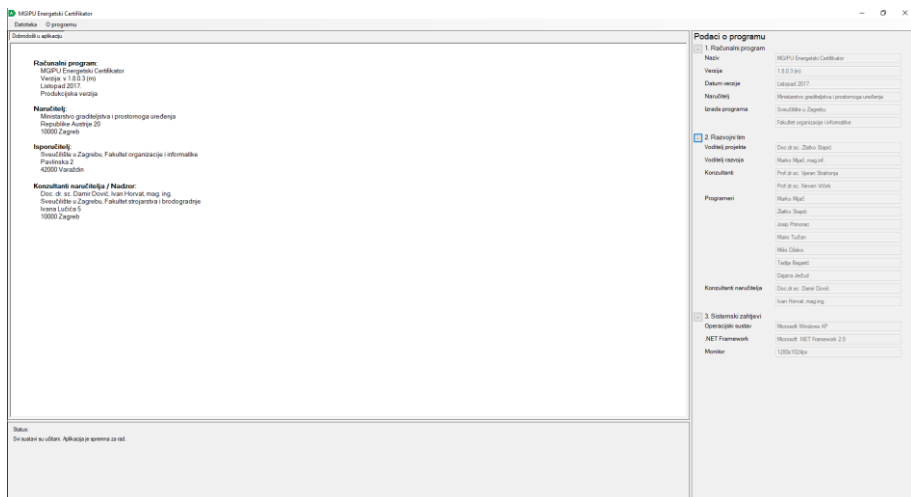
2.4.4. Računalni programi za određivanje energetskeg svojstva zgrade

U svrhu podrške provedbi energetskeg certificiranja i energetskeg pregleda, ovlaštene osobe u Republici Hrvatskoj imaju mogućnost besplatnog korištenja računalnog programa „Energetski certifikator“, razvijenog od Sveučilišta u Zagrebu, Fakulteta organizacije i informatike. Program omogućava dinamički satni (*simple hourly*) proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje zgrade prema normi HRN EN ISO 13790 i proračun energetskeg svojstva zgrade do primarne energije uključujući module definiranja karakteristika zgrade, toplinskih dobitaka i gubitaka, termotehničkih sustava grijanja, hlađenja i potrošne tople vode, rasvjete i pregled energetskeg certifikata.

„Energetski certifikator“ namijenjen je osobama ovlaštenima za energetsko certificiranje te se koristi za:

- energetsko certificiranje zgrada prema primarnoj energiji,
- usporedbu s troškovno optimalnim razinama minimalnih zahtjeva na energetsko svojstvo zgrade, sukladno Uredbi br. 244/2012 i Smjernici 2012/C 115/01,
- proračun primarne energije u sklopu izrade Elaborata tehničke, ekološke i ekonomske izvedivosti alternativnih sustava.

Korištenje ovog računalnog alata predstavlja potporu stručnom i dosljednom provođenju mjera energetske učinkovitosti u zgradarstvu, u skladu s nacionalnim i europskim zakonodavnim okvirom.



Sl. 2-27: Sučelje računalnog programa Energetski certifikator

S obzirom na to da je namijenjen energetsom certificiranju, „Energetski certifikator” sadrži referentne klimatske podatke za dvije klimatske zone – za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku, odnosno Zagreb-Maksimir i Split-Marjan.

Osim Energetskog certifikatora, u Hrvatskoj se koriste i drugi, komercijalno dostupni računalni programi za proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje zgrade prema normi HRN EN ISO 13790 i proračun energetskog svojstva zgrade do primarne energije (npr. KI Expert Plus, Thorium A+, EnCert-HR i dr.), a Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine je 2022. godine pozvalo zainteresirane subjekte na prijavu računalnih programa za verifikaciju, odnosno provjeru usklađenosti s važećim propisima za izračun energetskog svojstva zgrada, u svrhu izračuna, odnosno izdavanja energetskih certifikata zgrada.

Hrvatska još nije razvila vlastite računalne programe za proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje zgrade prema normi ISO 52016-1, ali su ovi programi dostupni u drugim članicama Europske unije (primjerice Italija).

2.4.5. Usporedba postojećeg algoritma za izračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema algoritmu i algoritmom propisanih normi s novim izračunom prema normi HRN EN ISO 52016-1

Usporedba je napravljena na primjeru stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu i stambene zgrade Rijeci.

Proračun prema normi HRN EN ISO 13790:2008 proveden je računalnim programom KI Expert Plus Verzija 7.11.4.0. - 24.09.2022, a prema normi HRN EN ISO 52016-1:2017 računalnim programom Edilclima EC700 verzija 6.25.2 (Italija).

2.4.5.1. Stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1)

Stambeno-poslovna zgrada (HR-10000-3296-1) nalazi se u Zagrebu i izgrađena je 1999. godine. Zgrada ima 38 stanova s pripadajućim spremištima u podrumu, 9 garaža, 4 manja poslovna prostora i zajedničke prostore i sadržaje. Građevinska (bruto) površina zgrade (GBP) je 3 092,69 m², a ukupna korisna površina 2 256,82 m². Podrum je u dvije razine, prizemlje u dvije razine, 4 kata i niski tavan pod kosim krovom (sl. 2-28).



Sl. 2-28: Stambeno-poslovna zgrada (HR-10000-3296-1) u Zagrebu (pročelje, tlocrt i presjek zgrade)

Osnovni konstrukcijski sustav zgrade je armirano-betonski skelet, kojeg čine AB nosivi zidovi i AB međetažne ploče. Vanjske površine pročelja su izvedene u ETICS sustavu s pločama EPS-a debljine 5 cm i dodatno ploče učvršćene mehaničkim pričvrsnicama u zid. Unutarnji nosivi zidovi su od AB d=16 cm i obloženi toplinskom žbukom ili sadrže MW d=5 cm, zidovi stanova prema negrijanom stubištu i zajedničkom hodniku izolirani su kombi pločom s EPS-om d=5 cm. Krov je u dvostrešni, blagog nagiba, pokrov pocinčani lim. Prozori i balkonska vrata na stanovima su drveni, sa IZO staklom 4+12+4 mm.

Grijanje je centralno, radijatorsko, ogrjevna tijela su člankasti Al radijatori opremljeni termoregulacijskim ventilima, cijevni razvod iz čeličnih bešavnih cijevi Priprema PTV je centralna, samo za stambeni prostor, sustav je akumulacijski s recirkulacijom. Energent za grijanje i pripremu PTV je toplinska energija iz centralnog toplinskog sustava (CTS) grada Zagreba. Hlađenje je izvedeno lokalno, sobnim rashladnim uređajima.

Toplinska podstanica nalazi se u zgradi, odvojeni dio za stambeni prostor (grijanje i PTV) i poslovni prostor (samo grijanje), indirektna, kompakt izvedbe, tip K250+PTV (stambeni dio) i AR30 (poslovni dio). Potrošnja energije i vode mjeri se putem jednog mjerila zajedničke potrošnje električne energije i individualnih mjerila električne energije po stanovima, dva mjerila toplinske energije (stanovi, poslovni prostori) i jednog zajedničkog mjerila vode za cijelu zgradu.

Za zgradu je 2024. godine izrađen glavni projekt energetske obnove kojim je predviđena izvedba toplinske izolacije grijanog dijela prema negrijanom tavanu i vjetrobranu, zamjena vanjske stolarije, zamjena akumulacijskog spremnika za potrošnu toplu vodu (PTV) te izgradnja sunčane elektrane na krovu.

Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenja proveden je za referentne klimatske podatke i Algoritmom propisan režim rada tehničkih sustava. Stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu nalazi se u kontinentalnoj Hrvatskoj pa je referentna meteorološka postaja Zagreb Maksimir. Zgrada je podijeljena u 3 toplinske zone, pri čemu su hodnici spremišta i tavan promatrani kao negrijani dijelovi zgrade a garaže kao vanjski prostor (tab. 2-5).

U proračunu prema HRN EN ISO 13790:2008 kao parametar toplinske ugodnosti korištena je temperatura zraka u prostoriji, a u proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 operativna temperatura koja uzima u obzir temperaturu zraka u zoni i utjecaj zračenja okolnih ploha. Zbog hladnijih površina okolnih ploha (zidova, stropova, podova) zimi, operativna je temperatura tokom grijanja niža od temperature zraka u prostoriji. Ljeti je situacija obrnuta pa je tokom hlađenja operativna temperatura viša od temperature zraka u prostoriji. Ostale postavke u oba se proračuna podudaraju.

Tab. 2-5: *Usporedba osnovnih postavki proračuna prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1)*

HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017
- zgrada je podijeljena na 3 zone: - stambeni prostor - lokali - grijano stubište - unutarnje proračunske temperature zraka G/H (Algoritam): - stambeni prostor 20/22°C - lokali 20/22 °C - grijano stubište 10/30°C - temperatura zraka u prostoriji - negrijani dijelovi zgrade: hodnici, spremišta, tavan - garaže – vanjski prostor	- zgrada je podijeljena na 3 zone: - stambeni prostor - lokali - grijano stubište - unutarnje postavne operativne temperature G/H: - stambeni prostor 20/22°C - lokali 20/22 °C - grijano stubište 10/30°C - operativna temperatura, uzima u obzir temperaturu zraka u zoni i utjecaj zračenja okolnih ploha - negrijani dijelovi zgrade: hodnici, spremišta, tavan - garaže – vanjski prostor

Tab. 2-6: *Usporedba postavki načina korištenja zgrade i tehničkih sustava u proračunima prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1)*

HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017
- način korištenja zgrade (Algoritam): - stambeni prostor 7 d/tj, 8-23 h - lokali 5 d/tj 7-18 h - grijano stubište 7 d/tj, 8-23 h - sustav grijanja/hlađenja uključuje se 2 sata prije početka korištenja zgrade	- način korištenja zgrade: - stambeni prostor 7 d/tj, 8-23 h - lokali 5 d/tj 7-18 h - grijano stubište 7 d/tj, 8-23 h - sustav grijanja/hlađenja uključuje se kada operativna temperatura padne ispod postavne temperature grijanja, odnosno kada poraste iznad postavne temperature hlađenja

Tab. 2-7: *Usporedba postavki proračuna transmisijских gubitaka prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1)*

HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017
- transmisijски gubitci: - površine građevnih dijelova – s vanjskim dimenzijama zgrade - sastav slojeva građevnih dijelova – prema projektnoj dokumentaciji - površine otvora, tip ostakljenja i okvira – prema projektnoj dokumentaciji - dodatak na toplinske mostove 0,1 W/m²K	- transmisijски gubitci: - površine građevnih dijelova – s vanjskim dimenzijama zgrade - sastav slojeva građevnih dijelova – prema projektnoj dokumentaciji - površine otvora, tip ostakljenja i okvira – prema projektnoj dokumentaciji - dodatak na toplinske mostove 0,1 W/m²K

U oba proračuna korištene su iste proračunske postavke načina korištenja zgrade i tehničkih sustava te proračuna transmisijских i ventilacijskih gubitaka (tab. 2-6, tab. 2-7, tab. 2-8).

Tab. 2-8: Usporedba postavki proračuna ventilacijskih gubitaka prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1)

HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017
• ventilacijski gubici: – infiltracija i prirodno prozračivanje u svim zonama – zrakopropusnost ovojnice (n50) i zaklonjenost od vjetra – prema Algoritmu – minimalna potrebna izmjena zraka unutar zona – prema Algoritmu – stvarna izmjena zraka – prema Algoritmu	• ventilacijski gubici: – infiltracija i prirodno prozračivanje u svim zonama – stvarna izmjena zraka – određena tako da odgovara proračunskoj vrijednosti iz Algoritma

U proračunu prema HRN EN ISO 13790:2008 jednostavnom satnom metodom korišten je skup meteoroloških podataka za 12 karakterističnih dana u godini, a u proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 skup satnih meteoroloških podataka reprezentativne godine (tab. 2-9).

Tab. 2-9: Meteorološki podatci korišteni u proračunima prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1)

HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017
• 24 satna distribucija za 12 karakterističnih dana (koji reprezentiraju 12 mjeseci) sa sljedećim vrijednostima: • Temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, ukupno sunčevo zračenje na horizontalnu plohu, ukupno sunčevo zračenje na plohe orijentirane na N, NE, E, SE, S, SW, W, NW nagnute pod kutovima 15°, 30°, 45°, 60°, 75° i 90° • meteorološka postaja Zagreb Maksimir	• satni podatci, reprezentativna godina (TRY), podaci iz razdoblja 1.3.2004.-28.2.2013. • Temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, brzina vjetra, direktno i difuzno sunčevo zračenje na horizontalnu plohu • meteorološka postaja Zagreb Maksimir

U tab. 2-10 i na slikama sl. 2-29, sl. 2-30, sl. 2-31 i sl. 2-32 je dana usporedba srednjih dnevnih temperatura zraka karakterističnog dana u mjesecu i srednjih mjesečnih temperatura zraka reprezentativne godine (TRY) te mjesečnih vrijednosti globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnu plohu dobivenih iz dnevnih vrijednosti karakterističnog dana i ukupnog broja dana u mjesecu i vrijednosti reprezentativne godine. Vrijednosti srednje dnevne, odnosno mjesečne temperature zraka jednog i drugog skupa meteoroloških podataka relativno se dobro podudaraju samo u mjesecu svibnju, dok su u preostalim mjesecima zamjetna uglavnom veća odstupanja.

U razdoblju od kolovoza do studenog, srednja mjesečna temperatura zraka reprezentativne godine veća je u prosjeku za 2 °C od srednje dnevne temperature karakterističnog dana (mjesečna odstupanja u rasponu su od 1,2 °C do 2,4 °C). U siječnju, najhladnijem mjesecu u godini, srednja mjesečna temperatura zraka

reprezentativne godine manja je za 2,2 °C od srednje dnevne temperature karakterističnog dana.

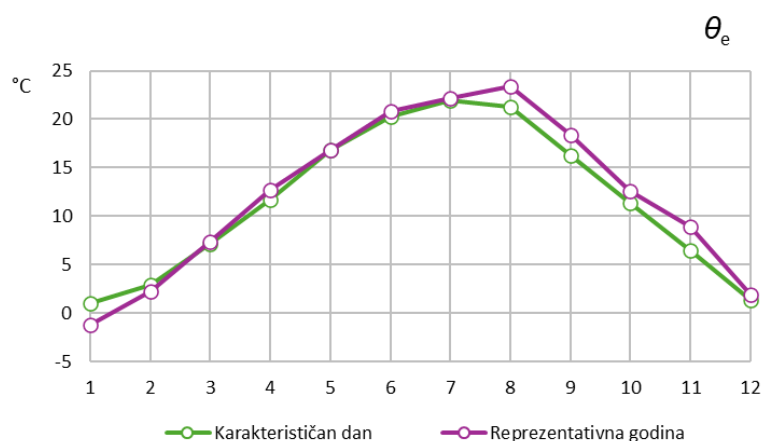
Tab. 2-10: Usporedba meteoroloških podataka korištenih u proračunima prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1) (Zagreb Maksimir)

Mjesec	Temperatura zraka, θ_e , °C		Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu, $H_{s,g,ic}$, MJ/m ²					
			Ukupno		Iznad 300 W/m ²		Do 300 W/m ²	
	Karakt. dan	TRY	Karakt. dan	TRY	Karakt. dan	TRY	Karakt. dan	TRY
1	1,0	-1,2	117	89	0	10	117	79
2	2,9	2,3	183	167	30	77	153	90
3	7,1	7,4	336	362	256	272	80	90
4	11,7	12,7	470	453	404	368	66	85
5	16,8	16,8	607	645	554	551	53	95
6	20,3	20,8	639	677	540	591	99	85
7	21,9	22,1	670	653	608	542	62	111
8	21,3	23,4	570	702	475	644	95	58
9	16,3	18,4	415	408	309	322	106	86
10	11,4	12,6	269	293	161	199	108	94
11	6,5	8,9	131	141	0	48	131	94
12	1,4	2,0	87	74	0	14	87	61
Godina	11,6	12,2	4 494	4 664	3 337	3 638	1 157	1 026

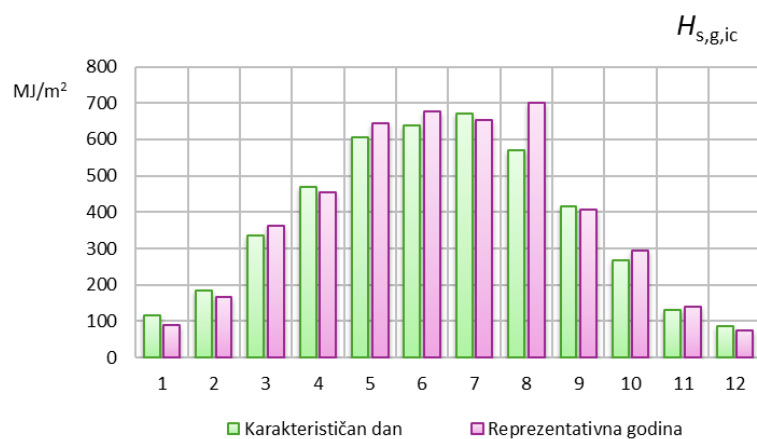
Srednja temperatura zraka zimskih mjeseci reprezentativne godine (prosinac, siječanj, veljača) iznosi 1 °C, dok je srednja temperatura u karakterističnim danima zimskih mjeseci 1,7 °C. Srednja temperatura zraka mjeseci sezone grijanja reprezentativne godine (listopad, studeni, prosinac, siječanj, veljača, ožujak, travanj) iznosi 6,4 °C, dok je srednja temperatura u karakterističnim danima mjeseci sezone grijanja 6 °C.

Srednja temperatura zraka ljetnih mjeseci reprezentativne godine (lipanj, srpanj, kolovoz) iznosi 22,1 °C i viša je od unutarnje proračunske temperature hlađenja (22 °C), dok je srednja temperatura u karakterističnim danima ljetnih mjeseci 21,2 °C i niža je od unutarnje proračunske temperature hlađenja.

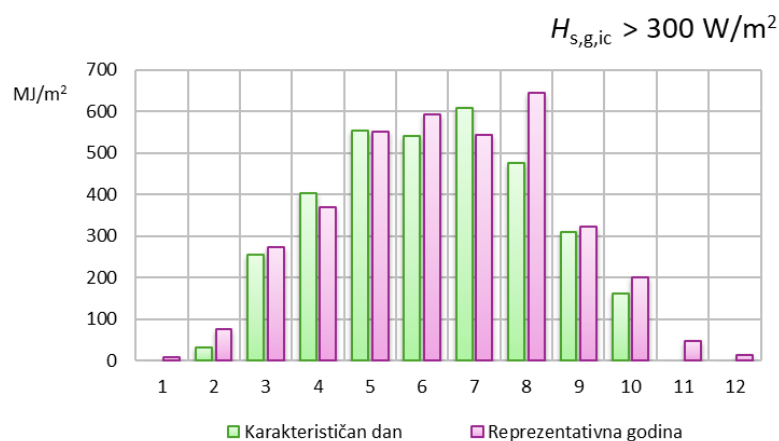
Iako je razlika u ukupnoj godišnjoj dozračenoj energiji Sunca između dva skupa podataka relativno mala (manja od 4 %), no raspodjela te energije tijekom godine i intenzitet pri kojem se ta energija dozračuje znatno se razlikuju.



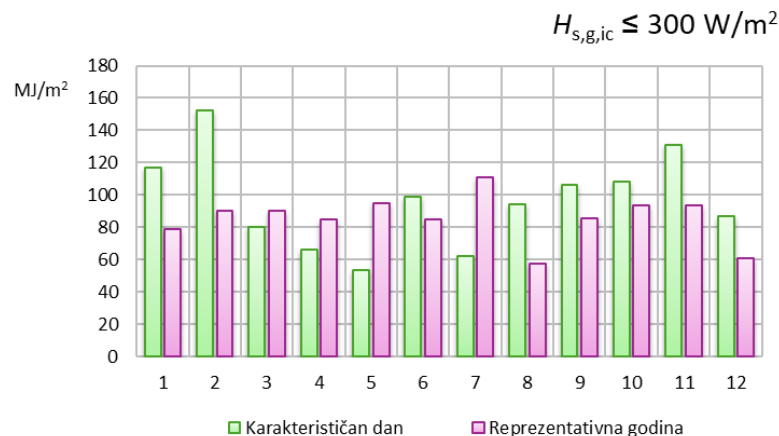
Sl. 2-29: Srednja dnevna (mjesечna) temperatura zraka (Zagreb Maksimir)



Sl. 2-30: Globalno Sunčevno zračenje na horizontalnu plohu (Zagreb Maksimir)



Sl. 2-31: Globalno Sunčevno zračenje na horizontalnu plohu kod intenziteta većeg od 300 W/m² (Zagreb Maksimir)



Sl. 2-32: Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu
kod intenziteta manjeg ili jednakog 300 W/m^2 (Zagreb Maksimir)

Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu u zimskim mjesecima reprezentativne godine (prosinac, siječanj, veljača) iznosi ukupno 330 MJ/m^2 , dok je kod karakterističnih dana ono veće i iznosi 387 MJ/m^2 . Pri tome je kod reprezentativne godine ukupno 230 MJ/m^2 dozračeno pri intenzitetu manjem od 300 W/m^2 a kod karakterističnih dana je taj iznos veći i iznosi 357 MJ/m^2 .

Tab. 2-11: Usporedba postavki proračuna unutarnjih i solarnih dobitaka prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1)

HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017
• unutarnji dobitci (Algoritam): – stambeni prostor 5 W/m^2, 24/7 – lokali 6 W/m^2, 24/7 – grijano stubište – • solarni dobitci (Algoritam): – uključuje samo providne građevne dijelove – površine otvora, tip ostakljenja i okvira, faktor propuštanja sunčevog zračenja, značajke zaštite od Sunca – prema projektnoj dokumentaciji – zanemarena zasjenjenja okolnih zgrada i zelenila – uzeta u obzir vanjska pomična zaštita od Sunca (rolete) – korištenje pomične zaštite od Sunca (Algoritam) iznad 300 W/m^2 – faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja $F_w = \text{const} = 0,9$	• unutarnji dobitci: – stambeni prostor 5 W/m^2, 24/7 – lokali 6 W/m^2, 24/7 – grijano stubište – • solarni dobitci: – uključuje providne i neprovidne građevne dijelove – površine otvora, tip ostakljenja i okvira, faktor propuštanja sunčevog zračenja, značajke zaštite od Sunca – prema projektnoj dokumentaciji – zanemarena zasjenjenja okolnih zgrada i zelenila – uzeta u obzir vanjska pomična zaštita od Sunca (rolete) – korištenje pomične zaštite od Sunca (Algoritam) iznad 300 W/m^2 – faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja $0 \leq F_w \leq 1$, ovisan u kutu upada Sunčevih zraka

Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu u ljetnim mjesecima reprezentativne godine (lipanj, srpanj, kolovoz) iznosi ukupno $2\,031 \text{ MJ/m}^2$, dok je kod karakterističnih

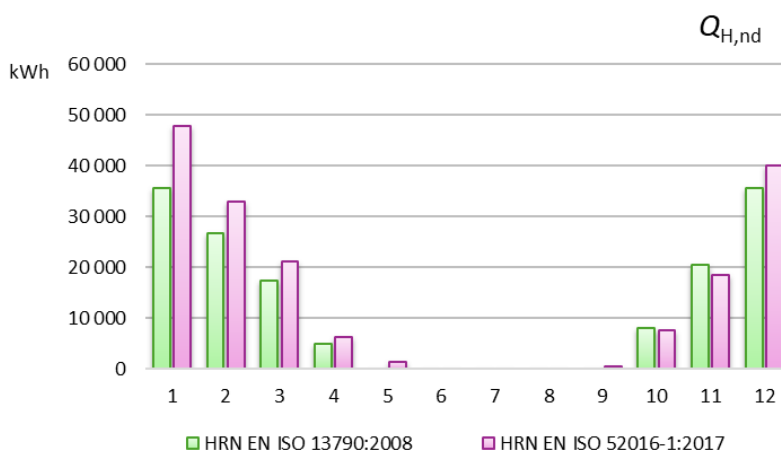
dana ono manje i iznosi 1 879 MJ/m². Pri tome je kod reprezentativne godine ukupno 1 777 MJ/m² dozračeno pri intenzitetu većem ili jednakom 300 W/m² dok je kod karakterističnih dana taj iznos manji i iznosi 1 624 MJ/m².

Za razliku od proračuna prema HRN EN ISO 52016-1:2017, u proračunu prema HRN EN ISO 13790:2008 solarnim dobitcima obuhvaćeni su samo providni građevni dijelovi a faktor smanjenja je konstantan i ne ovisi kutu upada Sunčevih zraka (tab. 2-11). U proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 korišten je složeniji model koji u obzir uzima povećanu refleksiju kod većeg kuta upada Sunčevih zraka. Kod kuta upada (mjereno od normale) manjeg od 55 °, korekcijski faktor F_w ima vrijednost veću od 0,9 dok je pri većim kutovima upada njegova vrijednost manja od 0,9.

Tab. 2-12: Usporedba rezultata proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (HR-10000-3296-1) prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017

Veličina	HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017	Razlika (aps.)	Razlika (rel.)
STAMBENO-POSLOVNA ZGRADA U ZAGREBU (HR-10000-3296-1)				
$Q_{H,nd}$ [kWh/a]	148 703	176 611	27 908	18,8%
$Q_{C,nd}$ [kWh/a]	33 429	58 543	25 114	75,1%

Proračunom prema HRN EN ISO 52016-1:2017 dobivaju se veće vrijednosti potrebne energije za grijanje i hlađenje. U usporedbi s proračunom prema HRN EN ISO 13790:2008 potrebna energija za grijanje veća je 18,8 %, a potrebna energija za hlađenje za 75,1 % (tab. 2-12).



Sl. 2-33: Potrebna energija za grijanje stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (HR-10000-3296-1), $Q_{H,nd}$

Smjernice
za primjenu modela primjenu modela sustavnog gospodarenja
energijom i vodom u višestambenim zgradama



Sl. 2-34: Usporedba ukupnih toplinskih gubitaka i dobitaka kod grijanja i hlađenja stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (HR-10000-3296-1)

Iz prikaza mjesečnih vrijednosti potrebne energije za grijanje (sl. 2-33) vidljivo je da se proračunom prema HRN EN ISO 52016-1:2017 u svim mjesecima izuzev listopada i studenog dobiva veća potrebna energija za grijanje.

U tab. 2-13 prikazana je usporedba mjesečnih vrijednosti toplinskih gubitaka i dobitaka zgrade kod grijanja.

Tab. 2-13: Usporedba ukupnih toplinskih gubitaka i dobitaka stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (HR-10000-3296-1) (grijanje)

Mjesec	HRN EN ISO 13790:2008				HRN EN ISO 52016-1:2017			
	Toplinski gubitci		Toplinski dobitci		Toplinski gubitci		Toplinski dobitci	
	$Q_{Tr,H}$	$Q_{Ve,H}$	Q_{sol}	Q_{int}	$Q_{Tr,H}$	$Q_{Ve,H}$	Q_{sol}	Q_{int}
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	35 347	18 089	4 418	7 946	38 415	19 459	429	7 946
2	28 722	14 487	5 135	7 177	29 059	14 456	2 127	7 177
3	23 777	11 709	6 930	7 946	23 014	10 918	3 637	7 946
4	14 640	6 903	8 326	7 543	13 854	6 264	5 379	7 448
5	2 292	891	1 624	2 901	5 921	2 652	2 136	3 766
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	3 308	1 352	1 598	3 669	4 839	2 132	1 527	3 807
10	15 986	7 687	5 928	7 946	13 859	6 378	3 653	7 813
11	24 128	12 127	4 662	7 689	19 881	9 465	1 618	7 689
12	34 614	17 762	3 286	7 946	33 064	16 525	-295	7 946
Ukupno	182 815	91 007	41 907	60 763	181 906	88 249	20 211	61 538

Kod proračuna potrebne energije za grijanje mogu se uočiti znatne razlike u solarnim dobitcima. U proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 oni su manji za približno 50 % u odnosu na proračun prema HRN EN ISO 13790:2008 (sl. 2-34). Glavni uzroci ovako velikog odstupanja leže u korištenim meteorološkim podacima te u postavkama vezanim uz primjenu pomične zaštite od Sunca. Kod reprezentativne godine ukupna dozračena energija Sunčevog zračenja u zimskim mjesecima manja je nego kod karakterističnih dana, a pritom se i manji udio energije dozračuje pri intenzitetu manjem od 300 W/m². Zbog toga je zaštita od Sunčevog zračenja aktivna tijekom duljeg razdoblja, pa se relativno velik dio Sunčevog zračenja reflektira.

Nadalje, u proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 dodatno je uzet u obzir i utjecaj kuta upada Sunčevih zraka na propuštanje Sunčevog zračenja kroz providne građevne elemente, pri čemu povećana refleksija u zimskim mjesecima kada je kut upada veći, dovodi do još manjih ukupnih solarnih dobitaka.

Zbog tako velikih razlika u solarnim dobitcima, broj dana grijanja i potrebna energija za grijanje prema HRN EN ISO 52016-1:2017 su veći. U usporedbi s proračunom prema

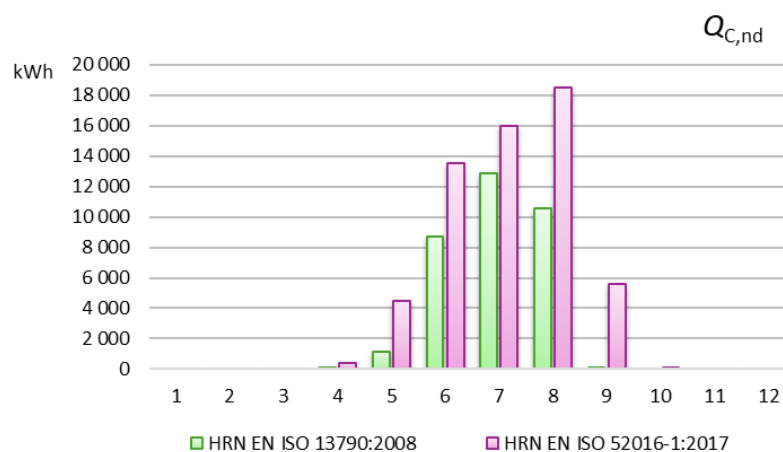
HRN EN ISO 13790:2008, potrebe za grijanjem prema HRN EN ISO 52016-1:2017 protežu se i na mjesec svibanj te rujan.

Unatoč većem broju dana grijanja, transmisijski su gubitci u proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 manji za 0,5 %. Razlog tomu djelomično leži u višim temperaturama zraka tijekom sezone grijanja reprezentativne godine u odnosu na karakteristične dane.

Ventilacijski su gubitci u proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 također manji, i to za 3 %, što se može objasniti ne samo višim temperaturama zraka u sezoni grijanja reprezentativne godine, već i dodatnim prozračivanjem tijekom dana, odnosno razdoblja korištenja zgrade, kada su razlike u temperaturi između reprezentativne godine i karakterističnih dana izraženije.

Zbog većeg broja dana grijanja, unutarnji su dobitci kod proračuna prema HRN EN ISO 52016-1:2017 veći za 1,3 %.

Iz prikaza mjesečnih vrijednosti potrebne energije za hlađenje (sl. 2-35) vidljivo je da se proračunom prema HRN EN ISO 52016-1:2017 u svim mjesecima dobiva veća potrebna energija za hlađenje. U tab. 2-14 prikazana je i usporedba mjesečnih vrijednosti toplinskih gubitaka i dobitaka zgrade kod hlađenja.



Sl. 2-35: Potrebna energija za hlađenje stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (HR-10000-3296-1), $Q_{C,nd}$

I kod proračuna potrebne energije za hlađenje mogu se uočiti znatne razlike u solarnim dobitcima, no ovdje je situacija obrnuta. U proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 oni su veći za približno 55 % u odnosu na proračun prema HRN EN ISO 13790:2008 (sl. 2-34). Glavni razlog ovako velikog odstupanja leži u korištenim meteorološkim podacima, dok postavke vezane uz primjenu pomične zaštite od Sunca djelomično ublažavaju taj utjecaj. Naime, kod reprezentativne je godine ukupna dozračena energija Sunčevog zračenja u ljetnim mjesecima veća nego

kod karakterističnih dana, ali se pritom se i veći udio energije dozračuje pri intenzitetu manjem od 300 W/m^2 . Zbog toga je zaštita od Sunčevog zračenja i ljeti aktivna tijekom duljeg razdoblja, pa se relativno velik dio Sunčevog zračenja reflektira.

Kao i kod proračuna potrebne energije za grijanje, u proračunu potrebne energije za hlađenje prema HRN EN ISO 52016-1:2017 dodatno je uzet u obzir i utjecaj kuta upada Sunčevih zraka na propuštanje Sunčevog zračenja kroz providne građevne elemente, pri čemu smanjena refleksija u ljetnim mjesecima kada je kut upada manji, dovodi do većih ukupnih solarnih dobitaka.

Zbog izražene razlike u solarnim dobitcima, broj dana s potrebom za hlađenjem i potrebna energija za hlađenje prema normi HRN EN ISO 52016-1:2017 u konačnici su veći. U usporedbi s proračunom prema normi HRN EN ISO 13790:2008, izračun prema HRN EN ISO 52016-1:2017 pokazuje potrebu za hlađenjem i u travnju te listopadu.

Tab. 2-14: Usporedba ukupnih toplinskih gubitaka i dobitaka stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (hlađenje)

Mjesec	HRN EN ISO 13790:2008				HRN EN ISO 52016-1:2017			
	Toplinski gubitci		Toplinski dobitci		Toplinski gubitci		Toplinski dobitci	
	$Q_{Tr,H}$	$Q_{Ve,H}$	Q_{sol}	Q_{int}	$Q_{Tr,H}$	$Q_{Ve,H}$	Q_{sol}	Q_{int}
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	643	292	458	234	2 040	844	1 163	1 632
5	8 408	3 642	4 869	6 737	7 153	2 735	7 597	7 254
6	3 497	909	5 890	7 689	2 664	377	9 290	7 689
7	1 320	-318	6 903	7 946	1 150	-821	8 218	7 946
8	1 802	-16	5 063	7 946	-1 242	-2 042	7 608	7 946
9	5 184	2 289	2 022	3 793	5 299	1 602	4 812	7 216
10	0	0	0	0	586	235	275	483
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
Ukupno	20 853	6 798	25 204	34 345	17 650	2 930	38 963	40 166

Malo je vjerojatno da će stambeni prostor u Zagrebu zahtijevati hlađenje u proljeće i jesen, budući da se zadovoljavajuća toplinska ugodnost može postići i pri temperaturi unutarnjeg zraka višoj od postavljene vrijednosti od $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ koja je korištena u proračunu.

Povećanim potrebama za hlađenjem prema proračunu HRN EN ISO 52016-1:2017 pridonose i više ljetne temperature zraka, zbog čega su transmisijski gubici manji za 15,4 %. U kolovozu reprezentativne godine srednja mjesečna temperatura čak premašuje unutarnju postavnu temperaturu hlađenja.

Ventilacijski su gubitci kod hlađenja u proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 manji, i to za čak 56,9 % (sl. 2-34), što se može objasniti ne samo višim temperaturama zraka u sezoni hlađenja reprezentativne godine, već i dodatnim prozračivanjem tijekom dana, odnosno razdoblja korištenja zgrade, kada su razlike u temperaturi između reprezentativne godine i karakterističnih dana izraženije.

Zbog većeg broja dana hlađenja, unutarnji su dobitci kod proračuna prema HRN EN ISO 52016-1:2017 veći za 16,9 %.

Tab. 2-15: Usporedba rezultata proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu (HR-10000-3296-1) prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017 (pomična zaštita od Sunca se ne koristi)

Veličina	HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017	Razlika (aps.)	Razlika (rel.)
STAMBENO-POSLOVNA ZGRADA U ZAGREBU				
$Q_{H,nd}$ [kWh/a]	140 470	159 388	18 918	13,5%
$Q_{C,nd}$ [kWh/a]	72 829	88 867	16 038	22,0%

S obzirom na značajan utjecaj postavki korištenja pomične zaštite od Sunca, proveden je dodatni proračun uz pretpostavku da se ta zaštita ne koristi. Rezultati su prikazani u tablici tab. 2-15. Budući da je pomična zaštita ugrađena samo u stambenom dijelu zgrade, razlike u rezultatima odnose se isključivo na taj dio. Očekivano, u tom slučaju proračuni prema objema normama pokazuju manju potrebnu energiju za grijanje te veću potrebnu energiju za hlađenje. Iako proračun prema HRN EN ISO 52016-1:2017 i dalje daje veće vrijednosti potrebne energije za grijanje i hlađenje, vidljivo je bolje podudaranje s rezultatima proračuna prema HRN EN ISO 13790:2008.

2.4.5.2. Stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)

Stambena zgrada (HR-51000-0357-1) nalazi se u Rijeci, izgrađena je 1976. godine te energetski obnovljena 2019. godine. Zgrada ima 100 stanova, u dijelu prizemlja je smještena transformatorska stanica a suteren zauzima kotlovnica namijenjena grijanju naselja (toplana). Neto površina grijanog prostora iznosi 5 439,24 m², a ukupna građevinska bruto površina 8.202,04 m². Zgrada je slobodnostojeći stambeni toranj katnosti suteren + prizemlje + 16 katova (sl. 2-36).



Sl. 2-36: Stambena zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1) (pročelje, tlocrt i presjek zgrade)

Nosivu konstrukciju čini armiranobetonski skelet s punim međukatnim pločama debljine 17,5 cm i zidovima od porobetonskih blokova (tadašnjeg Siporex) debljine 22,5 cm. Ravni krov izveden je kao prohodan s višeslojnom bitumenskom hidroizolacijom i završnim slojem od betonskih ploča položenih u pijesak. Podne

konstrukcije iznad negrijanih prostora imaju sloj izolacije od 1,5 cm mineralne vune. Otvori su izvorno bili opremljeni drvenom stolarijom krilo na krilo s roletama i kamenim klupčicama, a dio stanara ih je zamijenio ALU i PVC stolarijom s izo-staklom. Brojne lođe su naknadno zatvorene, a na fasadama su postavljene vanjske jedinice klima uređaja. Projekt energetske obnove obuhvatio je cjelovitu sanaciju pročelja i rekonstrukciju ravnog krova. Grijani dio ovojnice izoliran je ETICS sustavom s mineralnom vunom debljine 10 cm, dok su podnožje fasade i zidovi lođa obloženi XPS pločama iste debljine. Fasada je završno obrađena silikonskom žbukom u dvije boje, dok su svi oštećeni dijelovi podloge prethodno sanirani i reparirani. Postavljena je nova PVC limena vanjska odvodnja kondenzata, a montaža klima uređaja izvedena je prema pravilima struke s inox nosačima i ugradnjom distancera.

Krov je obnovljen kao obrnuti ravni krov. Uklonjene su postojeće betonske ploče i sloj pijeska, nakon čega je postavljena nova toplinska izolacija od XPS-a debljine 15 cm u dva ili tri sloja, prekrivena geotekstilom i ponovno položenim betonskim pločama. Spojevi su dodatno zatvoreni cementnim mortom s mikrovlaknima radi zaštite od iskrenja zbog prisutnosti dimnjaka kotlovnice. Uz to, sanirani su i svi metalni dijelovi na krovu, uključujući bravarsku opremu i elemente gromobranske zaštite.

Grijanje je centralno, radijatorsko, ogrjevna tijela su člankasti Al radijatori opremljeni termoregulacijskim ventilima, cijevni razvod iz čeličnih bešavnih cijevi Priprema PTV je centralna, sustav je akumulacijski s recirkulacijom. Energent za grijanje i pripremu PTV je toplinska energija iz centralnog toplinskog sustava (CTS) grada Rijeke. Hlađenje je izvedeno lokalno, sobnim rashladnim uređajima.

Toplinska podstanica indirektno izvedbe nalazi se u zgradi, u toplinskoj podstanici u suterenu. Potrošnja energije i vode mjeri se putem jednog mjerila zajedničke potrošnje električne energije i individualnih mjerila električne energije po stanovima, dva mjerila toplinske energije (grijanje, PTV) i jednog zajedničkog mjerila vode za cijelu zgradu.

Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenja proveden je za referentne klimatske podatke i Algoritmom propisan režim rada tehničkih sustava. Stambena zgrada u Rijeci nalazi se u primorskoj Hrvatskoj pa je referentna meteorološka postaja Split Marjan. Zgrada je promatrana kao jedinstvena toplinska zona, pri čemu su stubišta, hodnici, suteran i dio prizemlja promatrani kao negrijani dijelovi zgrade (tab. 2-16).

U proračunu prema HRN EN ISO 13790:2008 kao parametar toplinske ugodnosti korištena je temperatura zraka u prostoriji, a u proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 operativna temperatura koja uzima u obzir temperaturu zraka u zoni i utjecaj zračenja okolnih ploha. Zbog hladnijih površina okolnih ploha (zidova, stropova, podova) zimi, operativna je temperatura tokom grijanja niža od temperature zraka u prostoriji. Ljeti je situacija obrnuta pa je tokom hlađenja operativna temperatura viša od temperature zraka u prostoriji. Ostale postavke u oba se proračuna podudaraju.

Tab. 2-16: Usporedba osnovnih postavki proračuna prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)

HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017
- cijela zgrada promatrana kao 1 zona - unutarnje proračunske temperature zraka G/H (Algoritam): - stambeni prostor 20/24 °C - temperatura zraka u prostoriji - negrijani dijelovi zgrade: stubišta, hodnici, suteran i dio prizemlja	- cijela zgrada promatrana kao 1 zona - unutarnje postavne operativne temperature G/H: - stambeni prostor 20/24 °C - operativna temperatura, uzima u obzir temperaturu zraka u zoni i utjecaj zračenja okolnih ploha - negrijani dijelovi zgrade: stubišta, hodnici, suteran i dio prizemlja

Tab. 2-17: Usporedba postavki načina korištenja zgrade i tehničkih sustava u proračunima prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)

HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017
- način korištenja zgrade (Algoritam): - stambeni prostor 7 d/tj, 8-23 h - sustav grijanja/hlađenja uključuje se 2 sata prije početka korištenja zgrade	- način korištenja zgrade: - stambeni prostor 7 d/tj, 8-23 h - sustav grijanja/hlađenja uključuje se kada operativna temperatura padne ispod postavne temperature grijanja, odnosno kada poraste iznad postavne temperature hlađenja

Tab. 2-18: Usporedba postavki proračuna transmisijских gubitaka prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)

HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017
- transmisijски gubici: - površine građevnih dijelova – s vanjskim dimenzijama zgrade - sastav slojeva građevnih dijelova – prema projektnoj dokumentaciji - površine otvora, tip ostakljenja i okvira – prema projektnoj dokumentaciji - dodatak na toplinske mostove 0,1 W/m²K	- transmisijски gubici: - površine građevnih dijelova – s vanjskim dimenzijama zgrade - sastav slojeva građevnih dijelova – prema projektnoj dokumentaciji - površine otvora, tip ostakljenja i okvira – prema projektnoj dokumentaciji - dodatak na toplinske mostove 0,1 W/m²K

U oba proračuna korištene su iste proračunske postavke načina korištenja zgrade i tehničkih sustava te proračuna transmisijских i ventilacijskih gubitaka (tab. 2-17, tab. 2-18 i tab. 2-19).

Tab. 2-19: Usporedba postavki proračuna ventilacijskih gubitaka prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)

HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017
• ventilacijski gubici: – infiltracija i prirodno prozračivanje u svim zonama – zrakopropusnost ovojnice (n50) i zaklonjenost od vjetra – prema Algoritmu – minimalna potrebna izmjena zraka unutar zona – prema Algoritmu – stvarna izmjena zraka – prema Algoritmu	• ventilacijski gubici: – infiltracija i prirodno prozračivanje u svim zonama – stvarna izmjena zraka – određena tako da odgovara proračunskoj vrijednosti iz Algoritma

U proračunu prema HRN EN ISO 13790:2008 jednostavnom satnom metodom korišten je skup meteoroloških podataka za 12 karakterističnih dana u godini, a u proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 skup satnih meteoroloških podataka reprezentativne godine (tab. 2-20).

Tab. 2-20: Meteorološki podatci korišteni u proračunima prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)

HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017
• 24 satna distribucija za 12 karakterističnih dana (koji reprezentiraju 12 mjeseci) sa sljedećim vrijednostima: • Temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, ukupno sunčevo zračenje na horizontalnu plohu, ukupno sunčevo zračenje na plohe orijentirane na N, NE, E, SE, S, SW, W, NW nagnute pod kutovima 15°, 30°, 45°, 60°, 75° i 90° • meteorološka postaja Split Marjan	• satni podatci, reprezentativna godina (TRY), podaci iz razdoblja 1.3.2004.-28.2.2013. • Temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, brzina vjetra, direktno i difuzno sunčevo zračenje na horizontalnu plohu • meteorološka postaja Split Marjan

U tab. 2-21 i na slikama sl. 2-37, sl. 2-38, sl. 2-39 i sl. 2-40 je dana usporedba srednjih dnevnih temperatura zraka karakterističnog dana u mjesecu i srednjih mjesečnih temperatura zraka reprezentativne godine (TRY) te mjesečnih vrijednosti globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnu plohu dobivenih iz dnevnih vrijednosti karakterističnog dana i ukupnog broja dana u mjesecu i vrijednosti reprezentativne godine.

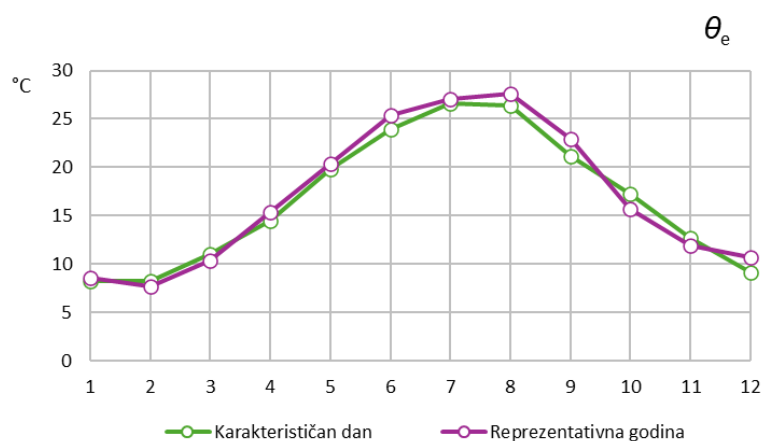
Vrijednosti srednje dnevne, odnosno mjesečne temperature zraka jednog i drugog skupa meteoroloških podataka relativno se dobro podudaraju samo u mjesecu siječnju, dok su u preostalim mjesecima zamjetna uglavnom veća odstupanja. U razdoblju od lipnja do rujna, srednja mjesečna temperatura zraka reprezentativne godine veća je u prosjeku za 1,2 °C od srednje dnevne temperature karakterističnog dana (mjesečna odstupanja u rasponu su od 0,4 °C do 1,7 °C). U prosincu, srednja je

mjesečna temperatura zraka reprezentativne godine veća za 1,6 °C od srednje dnevne temperature karakterističnog dana.

Tab. 2-21: Usporedba meteoroloških podataka korištenih u proračunima prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1) (Split Marjan)

Mjesec	Temperatura zraka, θ_e , °C		Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu, $H_{s,g,ic}$, MJ/m ²					
			Ukupno		Iznad 300 W/m ²		Do 300 W/m ²	
	Karakt. dan	TRY	Karakt. dan	TRY	Karakt. dan	TRY	Karakt. dan	TRY
1	8,2	8,5	191	158	71	84	120	74
2	8,3	7,7	267	234	167	160	100	74
3	11,0	10,4	424	415	322	340	102	75
4	14,5	15,3	533	525	462	453	71	72
5	19,8	20,4	677	721	626	642	51	79
6	23,9	25,4	749	777	685	697	64	79
7	26,6	27,0	777	775	712	690	65	85
8	26,4	27,6	665	720	594	656	71	64
9	21,2	22,9	501	486	443	409	58	76
10	17,3	15,8	370	302	302	219	68	83
11	12,7	11,9	207	182	106	107	101	74
12	9,1	10,7	161	134	0	62	161	72
Godina	16,6	17,0	5 522	5 429	4 490	4 520	1 032	909

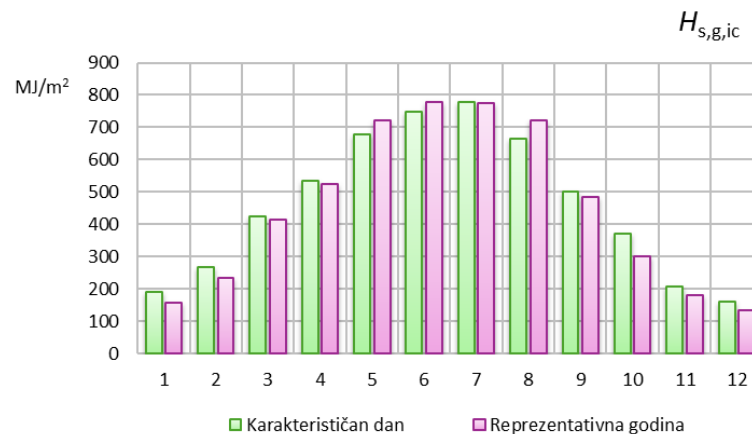
Srednja temperatura zraka zimskih mjeseci reprezentativne godine (prosinac, siječanj, veljača) iznosi 9 °C, dok je srednja temperatura u karakterističnim danima zimskih mjeseci 8,5 °C. Srednja temperatura zraka mjeseci sezone grijanja reprezentativne godine (listopad, studeni, prosinac, siječanj, veljača, ožujak, travanj) iznosi 10,8 °C, dok je srednja temperatura u karakterističnim danima mjeseci sezone grijanja 10,6 °C.



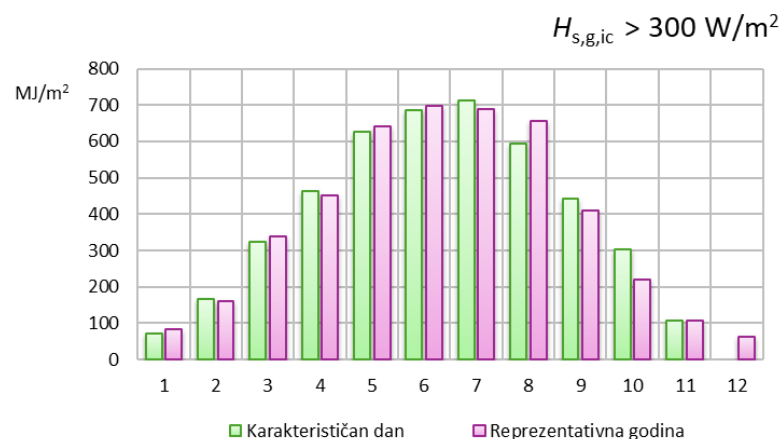
Sl. 2-37: Srednja dnevna (mjesečna) temperatura zraka (Split Marjan)

Srednja temperatura zraka ljetnih mjeseci reprezentativne godine (lipanj, srpanj, kolovoz) iznosi 26,7 °C, dok je srednja temperatura u karakterističnim danima ljetnih mjeseci 25,6 °C.

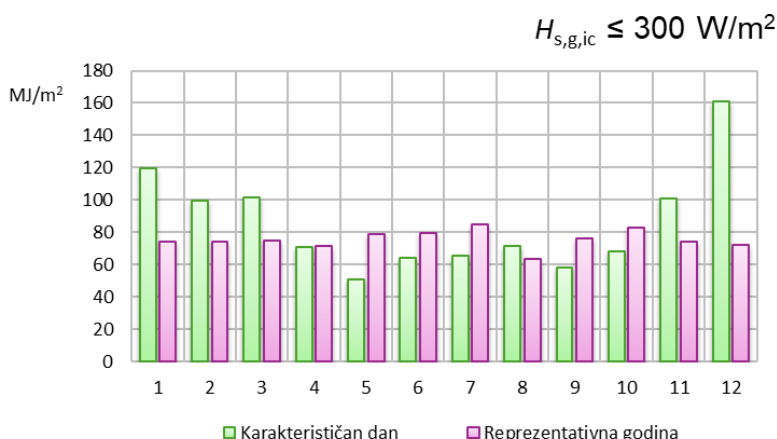
Razlika u ukupnoj godišnjoj dozračenoj energiji Sunca između dva skupa podataka također je relativno mala (manje od 2 %), no raspodjela te energije tijekom godine i intenzitet pri kojem se ta energija dozračuje znatno se razlikuju. Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu u zimskim mjesecima reprezentativne godine (prosinac, siječanj, veljača) iznosi ukupno 527 MJ/m², dok je kod karakterističnih dana ono veće i iznosi 619 MJ/m². Pri tome je kod reprezentativne godine ukupno 221 MJ/m² dozračeno pri intenzitetu manjem od 300 W/m² a kod karakterističnih dana je taj iznos veći i iznosi 381 MJ/m².



Sl. 2-38: Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu (Split Marjan)



Sl. 2-39: Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu kod intenziteta većeg od 300 W/m² (Split Marjan)



Sl. 2-40: Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu kod intenziteta manjeg ili jednakog 300 W/m^2 (Split Marjan)

Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu u ljetnim mjesecima reprezentativne godine (lipanj, srpanj, kolovoz) iznosi ukupno $2\,272 \text{ MJ/m}^2$, dok je kod karakterističnih dana ono manje i iznosi $2\,191 \text{ MJ/m}^2$. Pri tome je kod reprezentativne godine ukupno $2\,044 \text{ MJ/m}^2$ dozračeno pri intenzitetu većem ili jednakom 300 W/m^2 dok je kod karakterističnih dana taj iznos manji i iznosi $1\,990 \text{ MJ/m}^2$.

Tab. 2-22: Usporedba postavki proračuna unutarnjih i solarnih dobitaka prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017, stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)

HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017
• unutarnji dobitci (Algoritam): – stambeni prostor 5 W/m^2, 24/7 • solarni dobitci (Algoritam): – uključuje samo providne građevne dijelove – površine otvora, tip ostakljenja i okvira, faktor propuštanja sunčevog zračenja, značajke zaštite od Sunca – prema projektnoj dokumentaciji – zanemarena zasjenjenja okolnih zgrada i zelenila – uzeta u obzir vanjska pomična zaštita od Sunca (rolete) – korištenje pomične zaštite od Sunca (Algoritam) iznad 300 W/m^2 – faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja $F_w = \text{const} = 0,9$	• unutarnji dobitci: – stambeni prostor 5 W/m^2, 24/7 • solarni dobitci: – uključuje providne i neprovidne građevne dijelove – površine otvora, tip ostakljenja i okvira, faktor propuštanja sunčevog zračenja, značajke zaštite od Sunca – prema projektnoj dokumentaciji – zanemarena zasjenjenja okolnih zgrada i zelenila – uzeta u obzir vanjska pomična zaštita od Sunca (rolete) – korištenje pomične zaštite od Sunca (Algoritam) iznad 300 W/m^2 – faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja $0 \leq F_w \leq 1$, ovisan u kutu upada Sunčevih zraka

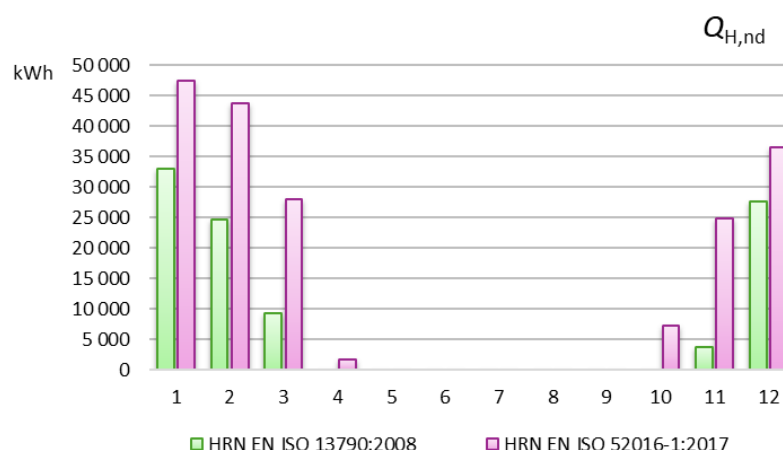
Za razliku od proračuna prema HRN EN ISO 52016-1:2017, u proračunu prema HRN EN ISO 13790:2008 solarnim dobitcima obuhvaćeni su samo providni građevni dijelovi

a faktor smanjenja je konstantan i ne ovisi kutu upada Sunčevih zraka (tab. 2-22). U proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 korišten je složeniji model koji u obzir uzima povećanu refleksiju kod većeg kuta upada Sunčevih zraka. Kod kuta upada (mjereno od normale) manjeg od 55° , korekcijski faktor F_w ima vrijednost veću od 0,9 dok je pri većim kutovima upada njegova vrijednost manja od 0,9.

Tab. 2-23: Usporedba rezultata proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1) prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017

Veličina	HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017	Razlika (aps.)	Razlika (rel.)
STAMBENA ZGRADA U RIJECI				
$Q_{H,nd}$ [kWh/a]	98 310	189 607	91 297	92,9%
$Q_{C,nd}$ [kWh/a]	217 275	235 915	18 640	8,6%

Proračunom prema HRN EN ISO 52016-1:2017 dobivaju se veće vrijednosti potrebne energije za grijanje i hlađenje. U usporedbi s proračunom prema HRN EN ISO 13790:2008 potrebna energija za grijanje veća je 92,9 %, a potrebna energija za hlađenje za 8,6 % (tab. 2-23).



Sl. 2-41: Potrebna energija za grijanje stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1),

$Q_{H,nd}$

Iz prikaza mjesečnih vrijednosti potrebne energije za grijanje (sl. 2-33) vidljivo je da se proračunom prema HRN EN ISO 52016-1:2017 u svim mjesecima dobiva veća potrebna energija za grijanje. U tab. 2-13 prikazana je usporedba mjesečnih vrijednosti toplinskih gubitaka i dobitaka zgrade kod grijanja. Kod proračuna potrebne energije za grijanje mogu se uočiti znatne razlike u solarnim dobitcima. U proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 oni su manji za približno 50 % u odnosu na proračun prema HRN EN ISO 13790:2008 (sl. 2-42). I ovdje glavni uzroci odstupanja leže u korištenim meteorološkim podacima te u postavkama vezanim uz primjenu pomične zaštite od Sunca.

Smjernice
za primjenu modela primjenu modela sustavnog gospodarenja
energijom i vodom u višestambenim zgradama



Sl. 2-42: Usporedba ukupnih toplinskih gubitaka i dobitaka kod grijanja i hlađenja stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1)

Kod reprezentativne godine ukupna dozračena energija Sunčevog zračenja u zimskim mjesecima manja je nego kod karakterističnih dana, a pritom se i manji udio energije dozračuje pri intenzitetu manjem od 300 W/m^2 . Zbog toga je zaštita od Sunčevog zračenja aktivna tijekom duljeg razdoblja, pa se relativno velik dio Sunčevog zračenja reflektira.

Tab. 2-24: Usporedba ukupnih toplinskih gubitaka i dobitaka zgrade stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1) (grijanje)

Mjesec	HRN EN ISO 13790:2008				HRN EN ISO 52016-1:2017			
	Toplinski gubitci		Toplinski dobitci		Toplinski gubitci		Toplinski dobitci	
	$Q_{Tr,H}$	$Q_{Ve,H}$	Q_{sol}	Q_{int}	$Q_{Tr,H}$	$Q_{Ve,H}$	Q_{sol}	Q_{int}
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	54 597	27 417	24 035	21 293	53 121	25 677	7 619	21 293
2	48 878	24 455	26 765	19 233	50 809	24 822	10 809	19 233
3	41 642	20 559	32 915	21 293	46 281	21 812	16 738	21 293
4	3 289	1 582	5 098	2 747	15 704	7 009	10 520	9 616
5	0	0	0	0	0	0	-	0
6	0	0	0	0	0	0	-	0
7	0	0	0	0	0	0	-	0
8	0	0	0	0	0	0	-	0
9	0	0	0	0	0	0	-	0
10	0	0	0	0	17 713	7 997	5 809	10 990
11	22 894	11 352	17 935	14 424	38 601	18 229	9 060	20 606
12	50 414	25 326	23 737	21 293	44 267	20 938	4 353	21 293
Ukupno	221 713	110 691	130 485	100 284	266 496	126 484	64 908	124 324

Nadalje, u proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 dodatno je uzet u obzir i utjecaj kuta upada Sunčevih zraka na propuštanje Sunčevog zračenja kroz providne građevne elemente, pri čemu povećana refleksija u zimskim mjesecima kada je kut upada veći, dovodi do još manjih ukupnih solarnih dobitaka.

Zbog tako velikih razlika u solarnim dobitcima, broj dana grijanja i potrebna energija za grijanje prema HRN EN ISO 52016-1:2017 su veći. U usporedbi s proračunom prema HRN EN ISO 13790:2008, potrebe za grijanjem prema HRN EN ISO 52016-1:2017 protežu se i na mjesec rujan.

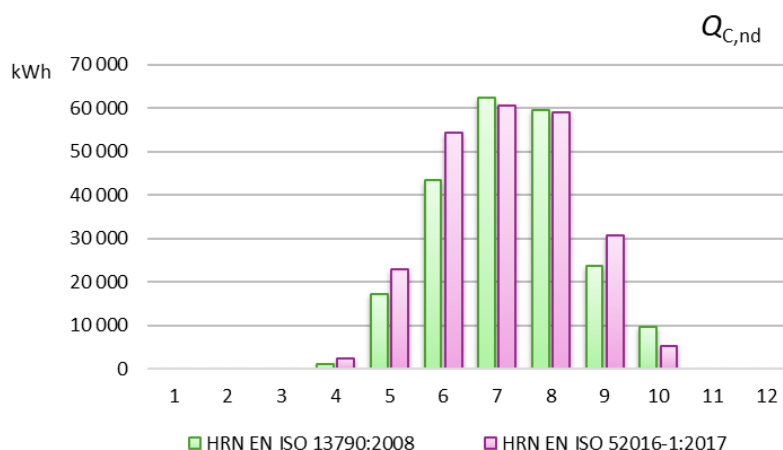
Unatoč višim temperaturama zraka tijekom sezone grijanja, transmisijski su gubitci u proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 veći za 20,2 %, a razlog tomu primarno leži u većem broju dana grijanja.

Ventilacijski su gubitci u proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 također veći, ali je razlika manja i iznosi 14 %, što se može objasniti dodatnim prozračivanjem tijekom dana, odnosno razdoblja korištenja zgrade, kada su razlike u temperaturi između toplije reprezentativne godine i hladnijih karakterističnih dana izraženije, što dijelom ublažava utjecaj većeg broja dana grijanja.

Zbog većeg broja dana grijanja, unutarnji su dobitci kod proračuna prema HRN EN ISO 52016-1:2017 veći za 24 %.

Iz prikaza mjesečnih vrijednosti potrebne energije za hlađenje (sl. 2-35) vidljivo je da se proračunom prema HRN EN ISO 52016-1:2017 u srpnju i kolovozu dobiva veća, a u ostalim mjesecima manja potrebna energija za hlađenje. U tab. 2-14 prikazana je i usporedba mjesečnih vrijednosti toplinskih gubitaka i dobitaka zgrade kod hlađenja.

I kod proračuna potrebne energije za hlađenje mogu se uočiti znatne razlike u solarnim dobitcima, iako manje no u slučaju grijanja. U proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 oni su naime manji za približno 30 % u odnosu na proračun prema HRN EN ISO 13790:2008 (sl. 2-42).



Sl. 2-43: Potrebna energija za hlađenje stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1), $Q_{C,nd}$

Ovo je uglavnom posljedica manjih potreba za hlađenjem u prijelaznom razdoblju, odnosno u travnju i listopadu, gdje kod proračuna prema HRN EN ISO 52016-1:2017 hlađenje traje gotovo upola kraće. Kod reprezentativne godine, u ta dva mjeseca je doznačena energija Sunca manja, listopad je uz to i prosječno hladniji, dok u travnju, koji je u prosjeku topliji, postoje i relativno dugi hladniji periodi.

Kao i kod proračuna potrebne energije za grijanje, u proračunu potrebne energije za hlađenje prema HRN EN ISO 52016-1:2017 dodatno je uzet u obzir i utjecaj kuta upada Sunčevih zraka na propuštanje Sunčevog zračenja kroz providne građevne elemente, pri čemu povećana refleksija kada je kut upada manji, dovodi do manjih ukupnih solarnih dobitaka, i obrnuto.

Zbog izražene razlike u solarnim dobitcima, broj dana s potrebom za hlađenjem i potrebna energija za hlađenje prema normi HRN EN ISO 52016-1:2017 u konačnici su manji.

Tab. 2-25: Usporedba ukupnih toplinskih gubitaka i dobitaka stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1) (hlađenje)

Mjesec	HRN EN ISO 13790:2008				HRN EN ISO 52016-1:2017			
	Toplinski gubitci		Toplinski dobitci		Toplinski gubitci		Toplinski dobitci	
	$Q_{Tr,H}$	$Q_{Ve,H}$	Q_{sol}	Q_{int}	$Q_{Tr,H}$	$Q_{Ve,H}$	Q_{sol}	Q_{int}
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	0	0	0	0	0	0	-	0
2	0	0	0	0	0	0	-	0
3	0	0	0	0	0	0	-	0
4	39 737	19 623	35 689	19 232	13 270	5 536	10 856	9 616
5	19 433	9 034	25 196	21 293	20 697	6 443	27 335	21 293
6	448	-739	26 490	20 606	2 782	-4 295	29 709	20 606
7	-12 030	-7 198	27 926	21 293	-2 596	-7 968	25 490	21 293
8	-11 047	-6 608	26 208	21 293	-5 153	-8 994	20 409	21 293
9	12 593	5 648	23 240	20 606	10 513	1 363	19 359	20 606
10	31 019	15 228	33 690	21 293	11 087	4 312	9 784	9 616
11	5 062	2 538	2 562	2 061	0	0	-	0
12	0	0	0	0	0	0	-	0
Ukupno	85 214	37 526	201 001	147 677	50 600	-3 603	142 942	124 323

Zbog viših ljetnih temperatura zraka reprezentativne godine transmisijski gubici prema proračunu HRN EN ISO 52016-1:2017 manji su za 40,6 %. U sva tri ljetna mjeseca reprezentativne godine srednja mjesečna temperatura zraka premašuje unutarnju postavnu temperaturu hlađenja.

Ukupni ventilacijski gubici kod hlađenja u proračunu prema HRN EN ISO 52016-1:2017 su negativni (sl. 2-42), što se može objasniti ne samo višim temperaturama zraka u sezoni hlađenja reprezentativne godine, već i dodatnim prozračivanjem tijekom dana, odnosno razdoblja korištenja zgrade, kada su razlike u temperaturi između reprezentativne godine i karakterističnih dana izraženije.

Zbog manjeg broja dana hlađenja, unutarnji su dobitci kod proračuna prema HRN EN ISO 52016-1:2017 manji za 15,8 %.

S obzirom na značajan utjecaj postavki korištenja pomične zaštite od Sunca, proveden je dodatni proračun uz pretpostavku da se ta zaštita ne koristi. Rezultati su prikazani u tablici tab. 2-26.

Tab. 2-26: Usporedba rezultata proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje stambene zgrade u Rijeci (HR-51000-0357-1) prema HRN EN ISO 13790:2008 i HRN EN ISO 52016-1:2017 (pomična zaštita od Sunca se ne koristi)

Veličina	HRN EN ISO 13790:2008	HRN EN ISO 52016-1:2017	Razlika (aps.)	Razlika (rel.)
STAMBENA ZGRADA U RIJECI (HR-51000-0357-1)				
$Q_{H,nd}$ [kWh/a]	50 504	99 535	49 031	97,1%
$Q_{C,nd}$ [kWh/a]	493 272	464 790	-28 482	-5,8%

Očekivano, u tom slučaju proračuni prema objema normama pokazuju manju potrebnu energiju za grijanje te veću potrebnu energiju za hlađenje. Proračun prema HRN EN ISO 52016-1:2017 i dalje daje veće vrijednosti potrebne energije za grijanje no uz ponešto bolje podudaranje s rezultatima proračuna prema HRN EN ISO 13790:2008 dok je potrebna energija za hlađenje nešto manja.

2.5. MODELIRANJE PREMA ALGORITMU I ALGORITMOM PROPISANIH NORMI, ANALIZA I MJERENJE STROJARSKIH INSTALACIJA PODSUSTAVA PROIZVODNJE, DISTRIBUCIJE I PREDAJE ENERGIJE, UKLJUČUJUĆI TOPLINSKU UGODNOST

2.5.1. Analiza i mjerenje strojarskih instalacija podsustava proizvodnje, distribucije i predaje energije

Toplinska energija u višestambenim zgradama priključenim na toplinski sustav, koristi se za potrebe zagrijavanja prostora, a može se koristiti i zagrijavanje potrošne tople vode. S obzirom na veličinu sustava, odnosno način distribucije toplinske energije do kupaca, toplinski sustavi mogu biti samostalni, zatvoreni i centralni. Zgrade obuhvaćene pilot projektom priključene su uglavnom na centralne i zatvorene toplinske sustave.

Odnosi između krajnjeg kupca, kupca, opskrbljivača i distributera toplinske energije uređeni su Zakonom o tržištu toplinske energije i podzakonskim propisima iz ovog područja.

Krajnji kupac je pravna ili fizička osoba koja kupuje toplinsku energiju za vlastite potrebe od kupca toplinske energije na temelju obračuna toplinske energije. Krajnji kupci u višestambenim zgradama su vlasnici samostalnih uporabnih cjelina, odnosno stambenih i poslovnih prostora zgradi.

U višestambenoj zgradi priključennoj na zatvoreni i centralni toplinski sustav, kupac toplinske energije u ime i za račun vlasnika i/ili suvlasnika zgrade, koja se sastoji od više samostalnih uporabnih cjelina, na zajedničkom obračunskom mjernom mjestu, kupuje toplinsku energiju od opskrbljivača toplinske energije.

U višestambenoj zgradi priključennoj na centralni toplinski sustav, opskrbljivač toplinskom energijom kupuje toplinsku energiju od proizvođača toplinske energije te sklapa ugovor o distribuciji s distributerom toplinske energije i prodaje toplinsku energiju kupcima toplinske energije. U višestambenoj zgradi priključennoj na zatvoreni toplinski sustav, opskrbljivač toplinskom energijom kupuje ulazne količine energenta za transformaciju u toplinsku energiju i isporučuje toplinsku energiju kupcu toplinske energije radi obračuna toplinske energije.

Distributer toplinske energije obavlja djelatnost distribucije toplinske energije, odnosno razvoda toplinske energije distribucijskom mrežom radi isporuke toplinske energije kupcu. Distributer toplinske energije zadužen je da zgrada bude izvedena tako da su uređaj za regulaciju protoka toplinske energije, uređaj za mjerenje potrošnje toplinske

energije odnosno zajedničko mjerilo toplinske energije i uređaj za mjerenje potrošne tople vode ugrađeni u svim toplinskim stanicama i podstanicama.

Preuzeta toplinska energija mjeri se mjerilom toplinske energije na obračunskom mjernom mjestu koje se nalazi na mjestu preuzimanja toplinske energije. Mjerilo može biti zajedničko (za cijelu zgradu) ili zasebno (za samostalnu uporabnu cjelinu, odnosno pojedini stambeni ili poslovni prostor u zgradi).

Vlasnici samostalnih uporabnih cjelina u zgradi, radi racionalnijeg korištenja energije ugrađuju uređaje za regulaciju odavanja topline i uređaje za lokalnu razdiobu isporučene toplinske energije (razdjelnik) u samostalnoj uporabnoj cjelini ili zasebna mjerila toplinske energije koja se mogu daljinski očitati.

Toplinski sustavi prisutni su u gotovo svim većim kontinentalnim gradovima Hrvatske – u Zagrebu, Osijeku, Velikoj Gorici, Karlovcu, Sisku, Slavanskom Brodu, Vukovaru, Vinkovcima, Varaždinu, Virovitici, Zaprešiću, Samoboru, Požegi i Ogulinu, a od primorskih gradova u Rijeci (ranije i u Splitu). Najveća zastupljenost toplinskih sustava u ukupnoj toplinskoj opskrbi grada je u Velikoj Gorici i Zagrebu.

Energetske djelatnosti proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinskom energijom Hrvatskoj obavljaju posebne pravne osobe – toplinarske tvrtke.



Sl. 2-44: Primjer indirektna toplinske podstanice u stambeno-poslovnoj zgradi u Zagrebu (HR-10000-3296-1)

Od ukupno trinaest analiziranih zgrada, tri zgrade (jedna u Vukovaru i dvije u Splitu) nisu priključene na toplinski sustav, već imaju izvedeno sustave lokalnog ili centralnog etažnog grijanja samostalnih uporabnih cjelina (stanova i poslovnih prostora). Sve preostale zgrade priključene su na centralne toplinske sustave, s izuzetkom jedne koja je priključena na zatvoreni toplinski sustav.

U sklopu energetske obnove zgrada u Vukovaru, rekonstruirane su instalacije pripreme PTV čime je omogućeno korištenje obnovljivih izvora energije (korištenje energije Sunca – solarni kolektori u zgradama za pripremu PTV).

Tab. 2-27: Pregled načina grijanja, hlađenja i pripreme PTV u analiziranim zgradama

Red. br. (APN)	ID zgrada (ISGE)	Grad	Grijanje	Energent / energija za grijanje	Hlađenje	Energent / energija za hlađenje	PTV	Energent / energija za PTV	Toplinski sustav i centralni izvor toplinske energije
1	HR-32000-0101-0	Vukovar	centralno	TE	SRU	EE	centralno	SE + TE	CTS
2	HR-32000-0100-0	Vukovar	centralno	TE	SRU	EE	centralno	TE	CTS
3	HR-32000-0096-1	Vukovar	centralno	TE	SRU	EE	centralno	SE + TE (EE)	CTS
4	HR-32000-0097-1	Vukovar	centralno	TE	SRU	EE	centralno	SE + TE (EE)	CTS
5	HR-32000-0095-1	Vukovar	centralno	TE	SRU	EE	lokalno	EE	ZTS
6	HR-32000-0099-0	Vukovar	etažno, lokalno	PP, OD	SRU	EE	lokalno	EE	-
7	HR-10410-0327-1	Velika Gorica	centralno	TE	SRU	EE	centralno	TE	CTS
8	HR-21000-0567-1	Split	lokalno (DT zrak-zrak)	EE	SRU	EE	lokalno	EE	- (ranije CTS)
9	HR-21000-0568-1	Split	lokalno (DT zrak-zrak)	EE	SRU	EE	lokalno	EE	- (ranije CTS)
10	HR-10000-3301-1	Zagreb	centralno	TE	SRU	EE	centralno	TE	CTS
11	HR-10000-3296-1	Zagreb	centralno	TE	SRU	EE	centralno	TE	CTS
12	HR-51000-0358-1	Rijeka	centralno	TE	SRU	EE	centralno	TE	CTS
13	HR-51000-0357-1	Rijeka	centralno	TE	SRU	EE	centralno	TE	CTS

Napomene: TE – toplinska energija, PP – prirodni plin, OD – ogrjevno drvo, EE – električna energija, SE – sunčeva energija, SRU – sobni rashladni uređaj, CTS – centralni toplinski sustav, ZTS – zatvoreni toplinski sustav

Iako su u proizvodnji toplinske energije, u toplinskim sustavima u Hrvatskoj još uvijek najviše zastupljena fosilna goriva (prirodni plin, loživa ulja), provedbom mjera poboljšanja energetske učinkovitosti i povećanog korištenja obnovljivih izvora energije, njihov utjecaj na okoliš i klimu, u vidu emisija stakleničkih plinova (CO₂) i onečišćujućih tvari u zrak kontinuirano se smanjuje. U centralnom toplinskom sustavu grada Zagreba, toplinska se energija najvećim dijelom proizvodi u kogeneraciji (suproizvodnji), odnosno u energetski učinkovitom procesu u kojem se istodobno proizvode dva korisna oblika energije – električna i toplinska. Analizirane zgrade u Rijeci također su priključene na toplinski sustav u kojem se toplinska energija većinom

proizvodi u kogeneraciji. U Vukovaru su provedene mjere koje imaju za cilj veće korištenje obnovljivih izvora energije u proizvodnji toplinske energije (korištenje energije Sunca – solarni kolektori, korištenje biomase).

U analiziranim zgradama uglavnom su ugrađena zajednička brojila toplinske energije i uređaji za lokalnu razdiobu toplinske energije, izuzev u Vukovaru, gdje su ugrađena zasebna mjerila toplinske energije.

Mjerenje i bilježenje podataka o potrošnji toplinske energije u ISGE u Vukovaru je započelo u rujnu 2023. U Velikoj Gorici, podatci o potrošnji toplinske energije bilježe se u ISGE od travnja 2024., u Zagrebu od listopada 2024. U Rijeci je mjerenje i bilježenje podataka o potrošnji toplinske energije u ISGE za neke zgrade započelo u veljači 2025. pa su u analizi korišteni podatci opskrbljivača toplinskom energijom iz ranijeg razdoblja. U analiziranim zgradama u Splitu se potrošnja toplinske energije ne mjeri, jer se stanovi griju putem lokalnih sustava, odnosno reverzibilnih dizalica topline zrak-zrak (riječ je o zgradama koje su nekoć bile priključene na toplanu „Blatine”).

U stambeno poslovnim zgradama, krajnji kupci stambene i poslovne kategorije imaju zasebna mjerila toplinske energije. Pri tome se zajednička potrošnja toplinske energije za grijanje i zagrijavanje potrošne tople vode (PTV) mjeri u Zagrebu, dok su u Vukovaru, Rijeci i Velikoj Gorici ugrađena odvojena mjerila toplinske energije za grijanje prostora i zagrijavanje PTV. Neke zgrade u Vukovaru imaju ugrađena zasebna mjerila toplinske energije proizvedene iz OIE (solarni kolektori).

Toplinske podstanice u zgradama su indirektnog tipa, odnosno hidraulički je odvojen cirkulacijski krug vrele (ili tople) vode iz distribucijske mreže (primar) od cirkulacijskog kruga ogrjevnog tople vode u instalaciji grijanja zgrade (sekundar). Ogrjevna topla voda u sekundarnom krugu zagrijava se u izmjenjivaču topline.

Primarna regulacija toplinskog učina za cijelo opskrbno područje (naselje, grad) u toplinskim sustavima se izvodi regulacijom protočne količine i polazne temperature vode u primarnom krugu. Dodatno, u svakoj toplinskoj podstanici, moguće je regulirati protočnu količinu i polaznu temperaturu ogrjevnog tople vode prema ogrjevnim tijelima (radijatorima), sustavom sekundarne regulacije i na taj način toplinski učin prilagoditi potrebama pojedine zgrade. Fino podešavanje toplinskog učina izvodi se termoregulacijskim ventilima na pojedinom ogrjevnom tijelu (tercijarna regulacija). U ispravno projektiranim i izvedenim te hidraulički dobro uravnoteženim instalacijama grijanja, terciarna regulacija omogućava svakom krajnjem kupcu da podesi toplinski učin radijatora prema vlastitim potrebama, odnosno željenoj toplinskoj ugodnosti, čime izravno utječe i na vlastitu potrošnju toplinske energije. U takvim sustavima, ugradnjom zasebnih mjerila ili razdjelnika omogućena je i pravednija raspodjela i obračun troškova toplinske energije prema potrošnji svakog pojedinog stambenog ili poslovnog prostora, čime se krajnji kupci motiviraju na racionalno korištenje toplinske energije.

2.5.2. Podatci o potrošnji toplinske energije za grijanje koji se bilježe u ISGE

Podaci koji se mjere i dostavljaju u ISGE su podaci na satnoj razini za cijelu zgradu:

- 1) Potrošnja toplinske energije u kWh
- 2) Trenutna snaga u kW
- 3) Temperatura polaza u °C
- 4) Temperatura povrata u °C

Kroz Pilot projekt osigurana je komunikacija između mjerila toplinske energije i ISGE-a. Mjerenje i bilježenje podataka u ISGE za zgrade u Zagrebu i Velikoj Gorici započelo je u ožujku 2023., a u Vukovaru u rujnu 2023. Podatci za zgrade u Rijeci prikupljaju se od proljeća 2025. godine. Zgrade u Splitu imaju ugrađene lokalne (pojedinačne) sustave grijanja i hlađenja koji koriste električnu energiju.

Tab. 2-28: Izmjerena godišnja potrošnja toplinske energije za grijanje

Red. br. (APN)	ID zgrada (ISGE)	Grad	Godina izgradnje	Godina energetske obnove	Godišnja potrošnja toplinske energije za grijanje (2024.)		
					Zajedničko mjerilo		Zasebna mjerila
					kWh/a	kWh(m ² ·a)	kWh/a
1	HR-32000-0101-0	Vukovar	1971.	2018.	50 051	39,97	33 832
2	HR-32000-0100-0	Vukovar	1964.	-	111 588 ¹⁾	57,11 ¹⁾	85 591 ¹⁾
3	HR-32000-0096-1	Vukovar	1971.	2024.	87 621	41,46	51 579
4	HR-32000-0097-1	Vukovar	1972.	2024.	71 006	29,26	58 291
5	HR-32000-0095-1	Vukovar	1966.	-	218 710	74,67	-
6	HR-32000-0099-0	Vukovar	1953.	2018.	- ⁴⁾	- ⁴⁾	-
7	HR-10410-0327-1	Velika Gorica	1975.	2018.	274 490	47,49	-
8	HR-21000-0567-1	Split	1972.	2024.	- ⁴⁾	- ⁴⁾	-
9	HR-21000-0568-1	Split	1972.	-	- ⁴⁾	- ⁴⁾	-
10	HR-10000-3301-1	Zagreb	1970.	-	415 160 ²⁾	88,85 ²⁾	-
11	HR-10000-3296-1	Zagreb	1999.	-	191 078 ²⁾	87,23 ²⁾	-
12	HR-51000-0358-1	Rijeka	1976.	2016.	194 770 ³⁾	36,58 ³⁾	-
13	HR-51000-0357-1	Rijeka	1976.	2019.	314 850 ³⁾	57,88 ³⁾	-

Napomene:

- 1) Za razdoblje od 12/2023 do 11/2024
- 2) Mjeri se zbirna potrošnja toplinske energije za grijanje i pripremu PTV, raspodjela je načinjena na temelju podataka o mjesečnoj potrošnji u ljetnim mjesecima
- 3) Podatci opskrbljivača toplinskom energijom
- 4) Etažni i lokalni (pojedinačni) sustavi grijanja

Analizirani su prikupljeni podatci zaključno sa sredinom veljače 2025. godine. Prikupljeni podatci o potrošnji toplinske energije agregirani na godišnjoj razini za svaku zgradu prikazani su tablično (tab. 2-28) i odnose se na potrošnju u 2024. godini. Uz ukupnu potrošnju, iskazana je i specifična potrošnja toplinske energije za grijanje po

jedinici ploštine grijane površine (A_k) te izmjerena potrošnja toplinske energije za grijanje prema očitanjima ugrađenih zasebnih mjerila (kalorimetrima).

U Vukovaru su podatci o zajedničkoj potrošnji zgrade dostupni za pet zgrada priključenih na toplinske sustave, a od toga su za četiri zgrade dostupni i podatci zasebnih mjerila (kalorimetara) po stanovima. Za zgrade u Zagrebu, gdje se mjeri zbirna potrošnja toplinske energije za grijanje i pripremu PTV, raspodjela je načinjena na temelju podataka o mjesečnoj potrošnji u ljetnim mjesecima. Za zgrade u Rijeci podatci su dostupni tek od proljeća 2025. godine pa su tablično prikazane vrijednosti koje je dostavio opskrbljivač toplinskom energijom.

Može se zamijetiti da su specifične vrijednosti potrošnje toplinske energije za grijanje po jedinici ploštine grijane površine u svim analiziranim zgradama relativno male. Naime, najmanja specifična potrošnja toplinske energije za grijanje zabilježena je u energetske obnovljenoj zgradi u Vukovaru ($29,26 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$), a najveća u energetske neobnovljenoj zgradi u Zagrebu ($88,85 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$).

Tab. 2-29: Specifična potrebna toplinska energija za grijanje prostora $Q''_{H,nd}$ u stambenim zgradama prema razdoblju izgradnje i klimatskoj zoni (prosječne vrijednosti za postojeće zgrade i najveća dopuštena vrijednost kod rekonstrukcije postojeće zgrade)

Razdoblje izgradnje	$Q''_{H,nd} [\text{kWh/ m}^2 \cdot \text{a}]$			
	Prosječne vrijednosti za postojeće zgrade prema Programu energetske obnove višestambenih zgrada za razdoblje do 2030. godine		Najveća dopuštena vrijednost kod rekonstrukcije postojeće zgrade, u ovisnosti o faktoru oblika zgrade ¹⁾ prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (Narodne novine br. 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 102/20)	
	Kontinentalna	Kontinentalna	Kontinentalna	Primorska
>1945	161	99	50,63 – 90,75	27,00 – 50,00
1945-1960	158	104		
1961-1970	135	93		
1971-1980	124	93		
1981-1990	107	80		
1991-2000	86	71		
2001-2005	72	59		
2006-2010	53	46		
2011-2019	62	34		

Napomena:

- 1) Rekonstrukcija postojeće zgrade kojom se obnavljaju, djelomično ili potpuno zamjenjuju dijelovi ovojnice grijanog dijela zgrade te ako ti radovi obuhvaćaju jednako ili više od 75 % ovojnice grijanog dijela zgrade

Primjerice, izmjerena specifična potrošnja toplinske energije za grijanje u 2024. u neobnovljenim zgradama uključenim u pilot projekt niža je od prosječnih vrijednosti specifične potrebne energije za grijanje prostora ($Q''_{H,nd}$) u višestambenim zgradama u Hrvatskoj, prema Programu energetske obnove višestambenih zgrada za razdoblje

do 2030. godine (tab. 2-29). Uzevši u obzir prosječan odnos potrebne i isporučene energije za grijanje kod višestambenih zgrada, može se zaključiti da je i potrebna energija za grijanje u 2024. godini bila znatno manja prosjeka za taj tip zgrada i razdoblje izgradnje.

Ova razlika dijelom jest očekivana, s obzirom na to da su navedene prosječne vrijednosti temeljene na prikupljenim podacima iz izvotka registra energetske certifikata izdanih u razdoblju 2010. – 2016. godine, odnosno da je riječ o proračunatim vrijednostima prema klimatskim podacima iz hladnijeg razdoblja (1961. - 1990.).

Nadalje, kod obnovljenih zgrada u kontinentalnoj Hrvatskoj (Zagreb, Vukovar, Velika Gorica), specifična potrošnja toplinske energije za grijanje u 2024. manja je od najvećih dopuštenih vrijednosti kod rekonstrukcije postojećih zgrada prema *Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* (Narodne novine br. 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 102/20) (tab. 2-29), pri čemu je kod nekih zgrada ta razlika znatna (primjerice zgrada u Vukovaru iz 1972. godine).

Nekoliko je mogućih uzroka tako male potrošnje toplinske energije:

- provedena energetska obnova,
- ugradnja uređaja za regulacije temperature u prostorijama i uređaja za mjerenje ili razdiobu potrošnje toplinske energije izmjerene na zajedničkom mjerilu (razdjelnici topline),
- blage vremenske prilike i
- veći broj nenastanjenih stanova.

Energetski obnovljene zgrade imaju znatno manju specifičnu potrošnju toplinske energije za grijanje od energetski neobnovljenih zgrada. Primjerice zgrada u Velikoj Gorici nakon provedene energetske obnove troši specifično 46 % manje toplinske energije za grijanje od neobnovljene zgrade u Zagrebu iz približno istog razdoblja izgradnje. Naime, toplinskom izolacijom elemenata vanjske ovojnice zgrade i ugradnjom vanjske stolarije bolji toplinsko-izolacijskih značajki smanjuju se toplinski gubici zgrade, što u konačnici smanjuje potrošnju toplinske energije za grijanje, za istu razinu toplinske ugodnosti.

Ugradnja uređaja za regulacije temperature u prostorijama i uređaja za mjerenje (kod novijih zgrada) ili razdiobu potrošnje toplinske energije izmjerene na zajedničkom mjerilu (kod starijih zgrada), omogućava pravedniju naplatu troškova grijanja i korisnike motivira na racionalno korištenje toplinske energije za grijanje.

Malu potrošnju toplinske energije za grijanje, među ostalim, treba pripisati i relativno blagim vremenskim prilikama. Naime, zbog klimatskih promjena uzrokovanih u najvećoj mjeri emisijama stakleničkih plinova uslijed ljudske aktivnosti, zamjetan je kontinuirani porast vanjske temperature zraka koji uzrokuje smanjenu potrebu za grijanjem i povećanu potrebnu za hlađenjem tokom godine. Primjerice, srednja

godišnja vrijednost temperature zraka na postaji Zagreb-Maksimir porasla je za 0,9 °C u razdoblju 1991. - 2020. u usporedbi sa srednjakom razdoblja 1981. - 2010., a u usporedbi sa srednjakom razdoblja 1961. - 1990. (koja se ponekad naziva i referentna normala i dugo se koristila kao osnova za izračun potreba za grijanjem u zgradama), za čak 1,8 °C. Odstupanje izmjerene srednje temperature zraka na istoj postaji u odnosu na normalu 1991. – 2020. iznosi 1,9 °C, odnosno 3,6 °C u odnosu na referentnu normalu.

Zanimljivo je također da energetska najučinkovitija analizirana zgrada u Vukovaru u pogledu toplinskih potreba za grijanje ima ujedno i manju zabilježenu specifičnu potrošnju toplinske energije za grijanje od zgrada u Rijeci. No, kada je riječ o Vukovaru, valja uzeti u obzir da, zbog intenzivnijeg iseljavanja stanovništva tijekom i nakon Domovinskog rata, u Vukovaru ima relativno više nenastanjenih (praznih) stanova spram drugih gradova (tab. 2-30).

Tab. 2-30: Broj nastanjenih i nenastanjenih stanova za stalno stanovanje (popis 2021.)

Grad/općina	Broj stanova / površina u m ²	Stanovi za stalno stanovanje			
		svega	nastanjeni	nenastanjeni (prazni)	
Velika Gorica	stanovi	25 261	20 790	4 471	18%
Velika Gorica	m ²	2 515 489	2 153 243	362 246	14%
Rijeka	stanovi	61 636	47 826	13 810	22%
Rijeka	m ²	4 206 234	3 366 221	840 013	20%
Vukovar	stanovi	13 420	9 744	3 676	27%
Vukovar	m ²	1 120 461	851 420	269 041	24%
Split	stanovi	77 504	59 971	17 533	23%
Split	m ²	5 326 875	4 235 122	1 091 753	20%
Novi Zagreb – istok	stanovi	30 463	24 745	5 718	19%
Novi Zagreb – istok	m ²	1 826 273	1 539 785	286 488	16%
Trešnjevka – jug	stanovi	35 615	28 154	7 461	21%
Trešnjevka – jug	m ²	2 198 446	1 815 167	383 279	17%

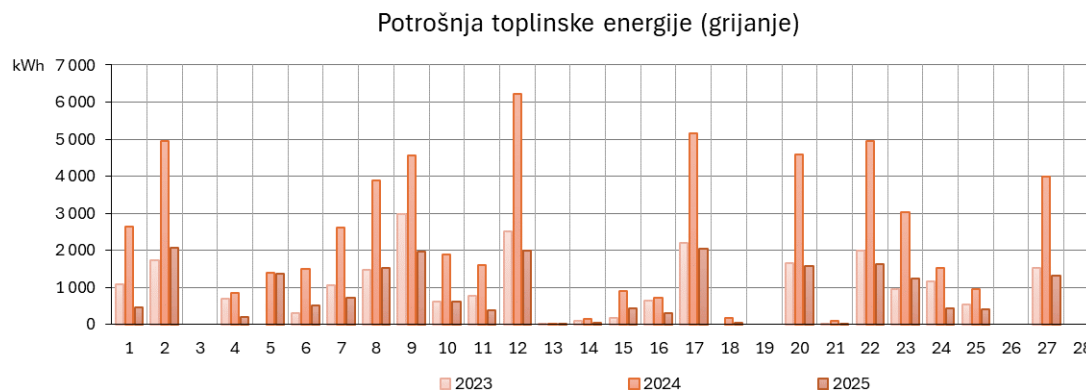
Napomena:

Nenastanjeni stanovi jesu stanovi koji se u vrijeme popisa nisu koristili za stalno stanovanje. U tu skupinu ubrajaju se privremeno nenastanjeni stanovi, napušteni stanovi te stanovi u kojima su popisane samo privremeno prisutne osobe.

S obzirom na to da su u stanovima ugrađeni uređaji koji korisnicima omogućavaju da upravljaju vlastitom potrošnjom toplinske energije za grijanje (termoregulacijski ventili), moguće je da se nenastanjeni stanovi niti ne griju što dodatno pridonosi relativno maloj potrošnji toplinske energije za grijanje u tim zgradama.

Na slici sl. 2-45 prikazana je potrošnja toplinske energije za grijanje u 2024. u obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0097-1) prema očitanjima zasebnih mjerila (kalorimetara). Od ukupno 28 stanova, u njih 12 izmjerena je godišnja potrošnja manja od 1000 kWh, a odnosno specifična godišnja potrošnja toplinske energije za grijanje

manja od 6 W/m^2 . te se može zaključiti da se ovi stanovi uglavnom ne koriste i stoga ne griju.



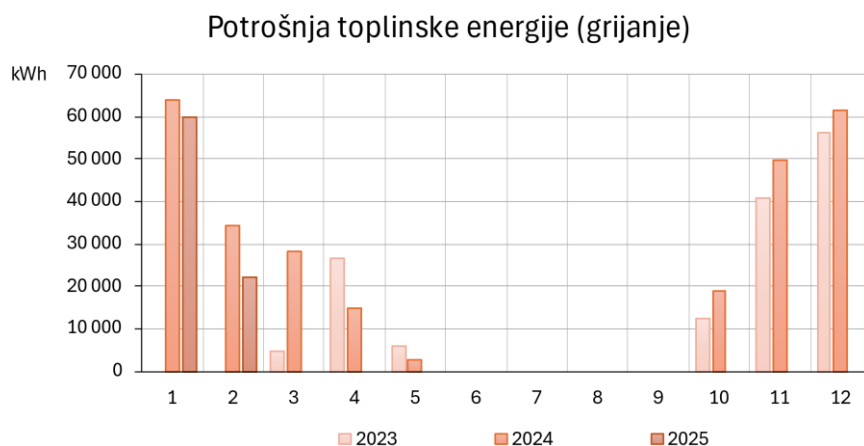
Sl. 2-45: Potrošnja toplinske energije za grijanje u obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0097-1) prema očitanjima zasebnih mjerila (kalorimetara)

Veći broj nenastanjenih stanova je i u velikim primorskim gradovima (Split, Rijeka), no ovdje je uzrok vrlo vjerojatno njihovo korištenje za povremeni i kratkoročni najam.

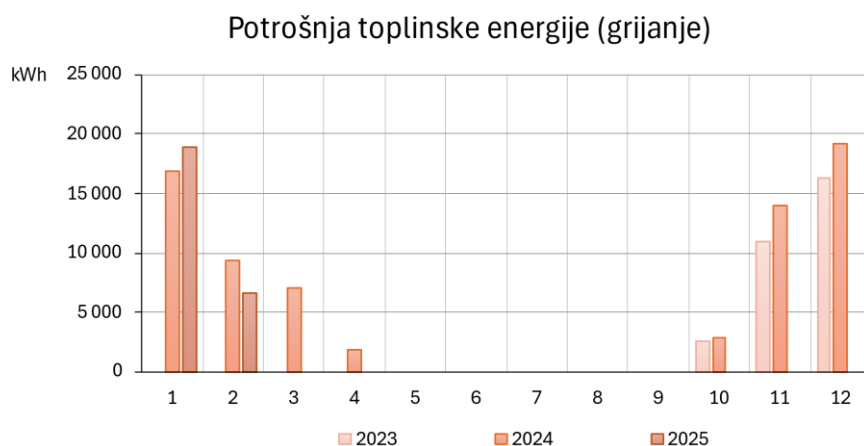
Godišnja dinamika potrošnje toplinske energije vidljiva je iz agregiranih podataka na mjesečnoj razini – potrošnja toplinske energije za grijanje je najveća u hladnijim, zimskim mjesecima (sl. 2-46).

Iz satnih se vrijednosti trenutne snage može vidjeti tjedna dinamika grijanja – radnim danom i vikendom te dnevna dinamika – danju i noću (sl. 2-48, sl. 2-49).

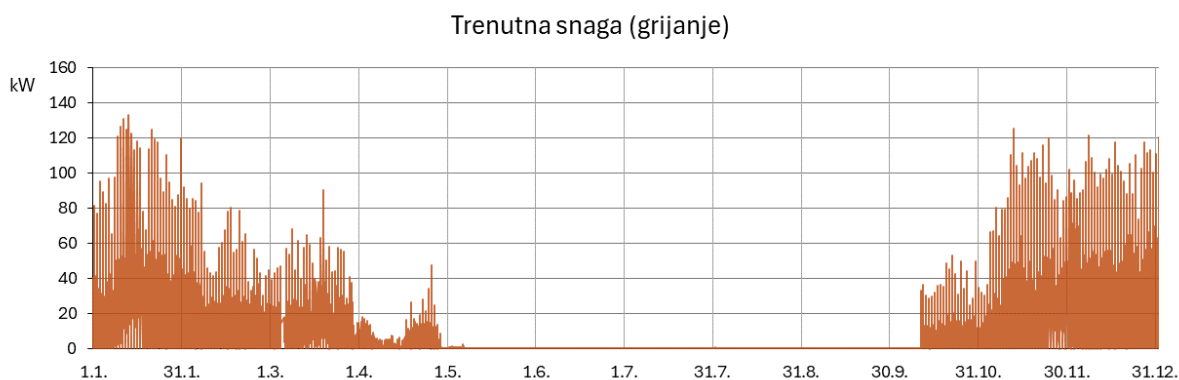
U stambenim zgradama, grijanje traje 7 dana u tjednu. Na prethodnom primjeru zgrade u Vukovaru vidljiva su dva izražena razdoblja povećanih toplinskih potreba za grijanjem tokom dana – jutarnje i popodnevno te prekid grijanja noću. Kod zgrada priključenih na toplinski sustav, prema Općim uvjetima za opskrbu toplinskom energijom, dnevni režim grijanja u ogrjevnj sezoni traje od 6 do 22 sata i tada je distributer toplinske energije dužan osigurati količinu toplinske energije kojom se postižu projektirane temperature zraka u prostorijama prema tehničkim propisima. Noćni režim rada traje od 22 do 6 sati i u tom režimu rada potrebno je osigurati onu količinu toplinske energije kojom se može postići prosječna temperatura prostorija viša od $15^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.



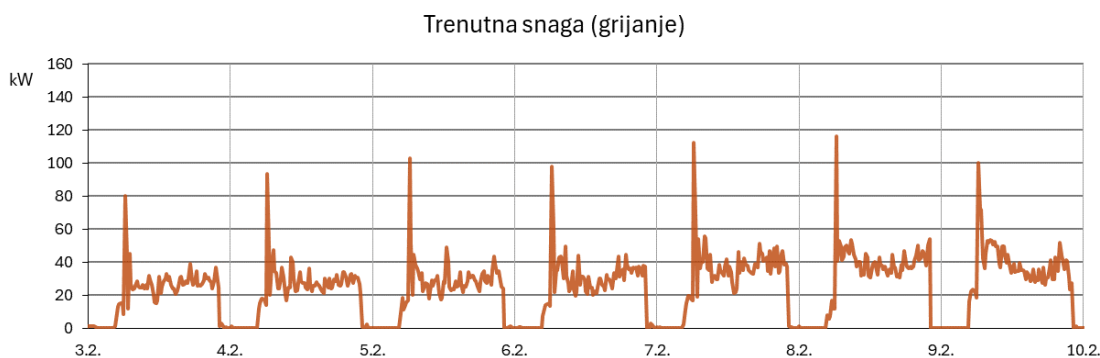
Sl. 2-46: Mjesečna potrošnja toplinske energije za grijanje u energetski obnovljenoj zgradi u Velikoj Gorici (HR-10410-0327-1)



Sl. 2-47: Mjesečna potrošnja toplinske energije za grijanje u energetski obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0097-1)



Sl. 2-48: Trenutna snaga grijanja u zgradi u Vukovaru u 2024. godini (HR-32000-0097-1)

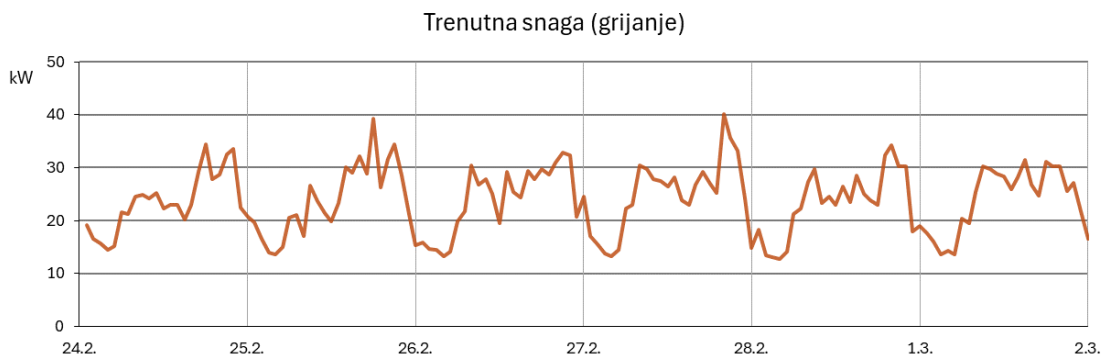


*Sl. 2-49: Trenutna snaga grijanja u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0097-1)
u karakterističnom tjednu ogrjevnog sezone (noćni prekid grijanja)*

U praksi, većina distributera toplinske energije obustavlja grijanje noću jer zbog akumulirane toplinske energije u zgradi, temperatura u prostorijama i za najhladniji noći gotovo uvijek može održati iznad 15 °C. Uslijed prekida grijanja noću, dolazi do hlađenja zgrade – zraka u prostorijama, građevnih dijelova (zidova, podova, stropova, itd.) i ogrjevnog tople vode u instalaciji grijanja. Zbog toga je u jutarnjim satima potrebna dodatna toplinska snaga, kako bi se svi dijelovi zgrade ponovo zagrijali, a u prostorijama postigla projektirana temperatura zraka. Za zagrijavanje je potrebno određeno vrijeme te kako bi se u 6 sati ujutro postigla projektirana temperatura prostorija, s grijanjem je potrebno započeti ranije – ovisno o razini toplinske zaštite, toplinsko-akumulacijskim i drugim svojstvima zgrade i njenih tehničkih sustava, uobičajeno se započinje između 4:30 i 5 sati.

Kao primjer drugačijeg pristupa, može se navesti toplinski sustav u Rijeci, gdje distributer toplinske energije, na temelju vlastitih iskustava u vođenju toplinskog sustava i zapažanja o utjecaju noćnog prekida na energetske učinkovitost postrojenja i proizvodnje toplinske energije, nudi kupcima odabir cjelodnevnog grijanja, pri čemu kupci mogu odabrati jednu od nekoliko varijanti:

- 1) noćno nisko-temperaturni režim grijanja stanova (npr. 15-16°C) uz podešavanje automatske regulacije u podstanicama (alternativno kroz individualno podešavanje radijatora u stanovima) – preporuka distributera (sl. 2-50),
- 2) zadržati sustav grijanja od 6 do 22 sata podešavanjem podstanica na način da isključe pumpe u navedeno vrijeme,
- 3) produžiti period grijanja na način da podstanice u zgradi uključe odnosno isključe pumpe u nekom drugom željenom terminu (npr. od 5 do 24 sata) i
- 4) ugraditi napredni regulator i pripadajući komunikacijski modul za daljinsko upravljanje i nadzor rada podstanice iz centra objedinjenog upravljanja toplinskim stanicama i podstanicama.



*Sl. 2-50: Trenutna snaga grijanja u zgradi u Rijeci (HR-51000-0358-1)
u karakterističnom tjednu ogrjevnog sezone (cjelodnevno grijanje)*

Na primjeru dva tipska stambena nebodera u Rijeci (HR-51000-0357-1, HR-51000-0358-1) na kojima je provedena energetska obnova u približno istom opsegu, vidljiv je utjecaj prethodno opisanog načina korištenja zgrade i njenih tehničkih sustava na potrošnju toplinske energije za grijanje – specifična je potrošnja toplinske energije za grijanje u jednom od njih za 37 % manja od potrošnje druge zgrade. Razlika u potrošnji proizlazi iz različitih unutarnjih temperatura i trajanja grijanja tokom dana.

Tokom dana, toplinska snaga grijanja uglavnom prati hod temperature vanjskog zraka, koja svoj maksimum ostvaruje u popodnevnim satima pa je tada i potrebna toplinska snaga minimalna. U večernjim satima, zbog pada temperature vanjskog zraka potrebna toplinska snaga ponovo raste. Potreba za grijanjem tokom dana pod utjecajem je i drugih vremenskih faktora – prije svega zračenja Sunca, ali i vjetera, naoblake i oborina. Za sunčanih dana, čak i u ogrjevnoj sezoni, toplinski dobitci kroz providne građevne dijelove (prozore, balkonska i ulazna vrata) mogu biti znatni i smanjiti potrebu za grijanjem dok će kod naoblake ti dobitci biti veoma mali ili čak u potpunosti izostati pa će i potreba za grijanjem biti veća. Pri većoj brzini vjetera, zbog izraženijeg prijelaza topline konvekcijom s površine građevnih dijelova na okolni zrak, hlađenje zgrade će biti intenzivnije, a za kišnih dana može doći i do izraženijeg prodiranja vlage u vanjski sloj zida i narušavanja njegovih toplinsko-izolacijskih svojstava.

Dodatno, termoregulacijskim ventilima na ogrjevnim tijelima svaki korisnik može regulirati temperaturu unutarnjeg zraka u svojim prostorijama tokom dana, što za posljedicu ima i promjenu u dnevnom profilu potrošnje toplinske energije svakog stana, a u konačnici i zgrade u cjelini.

2.5.3. Uvjeti komfora u stanovima

Uz mjerenje potrošnje energije i vode, mjeri se i u ISGE dostavljaju podaci u petnaestominutnom razdoblju o uvjetima komfora u stanovima (unutarnji klimatski uvjeti – temperatura zraka, relativna vlažnost zraka i koncentracija ugljikovog dioksida

u zraku), na određenom broju karakterističnih stanova u svakoj višestambenoj zgradi. Konkretni broj osjetnika po pojedinoj višestambenoj zgradi ovisi o broju zainteresiranih suvlasnika.

Prikaz i komentar izmjerenih vrijednosti dan je u poglavlju 2.9.

2.5.4. Modeliranje prema algoritmu i algoritmom propisanih normi

Primarna energija je iskoristivi dio energije koja je uzeta iz prirode, tj. iz pojedinog izvora, bez pretvorbe. Tu se prije svega ubrajaju fosilna goriva (smeđi i kameni ugljen, nafta, zemni plin, ogrjevno drvo i dr.) te obnovljivi izvori energije (solarna energija, energije vjetra i vode, toplinska energija geotermalnih izvora, potencijalna energija vodenih tokova i dr.). Ovisno o vrsti izvora primarne energije, isti može imati manji ili veći utjecaj na okoliš. Stoga je potrošnja primarne energije ključni parametar za ocjenu energetske svojstva zgrada.

Prema *Metodologiji provođenja energetskeg pregleda zgrada*, proračun do primarne energije se provodi prema Algoritmu za:

- referentne klimatske podatke i Algoritmom propisan režim korištenja i režim rada tehničkih sustava (za određivanje energetskeg razreda),
- stvarne klimatske podatke i stvarni režim korištenja i režim rada tehničkih sustava (potreban za izračun jednostavnog perioda povrata investicije JPP u mjere poboljšanja energetske učinkovitosti).

Prilikom proračuna primarne energije za referentne klimatske podatke i Algoritmom propisan režim korištenja i režim rada tehničkih sustava te određivanja energetskeg razreda za svaku vrstu zgrade (obiteljske kuće, višestambene zgrade, uredske zgrade, zgrade za obrazovanje, bolnice, hoteli i restorani, sportske dvorane, zgrade trgovine) uzimaju se u obzir samo oni točno određeni sustavi naznačeni u tablici (tab. 2-31).

Tab. 2-31: Definirani tehnički sustavi za proračun do primarne energije za referentne klimatske podatke za pojedine vrste zgrada

Red. br.	Vrsta zgrade	Sustav grijanja	Sustav hlađenja	Sustav pripreme PTV	Sustav mehaničke ventilacije i klimatizacije	Sustav rasvjete
1	Obiteljske kuće	DA	NE	DA	Uzima se u obzir ukoliko postoji	NE ¹⁾
2	Višestambene zgrade	DA	NE	DA		NE ¹⁾
3	Uredske zgrade	DA	DA	NE		DA
4	Zgrade za obrazovanje	DA	NE	NE		DA
5	Bolnice	DA	DA	DA		DA
6	Hoteli i restorani	DA	DA	DA		DA
7	Sportske dvorane	DA	DA	DA		DA
8	Zgrade trgovine	DA	DA	NE		DA
9	Ostale nestambene zgrade	DA	NE	NE		DA

Napomene:

- 1) Prema *Pravilniku o energetskeg pregledu zgrade i energetskeg certificiranju* („Narodne novine” br. 88/17, 125/19, 90/20, 1/21, 45/21 i 40/25) /L 13/ kod obiteljskih kuća i stambenih zgrada, te samostalnih uporabnih cjelina stambene namjene u primarnu energiju ne ulazi energija za rasvjetu

Ukoliko pojedina zgrada nema u stvarnosti ugrađeni pojedini termotehnički sustav, vrši se penalizacija zbog nepostojanja termotehničkog sustava.

Prilikom proračuna primarne energije za stvarne klimatske podatke i stvarni režim korištenja i režim rada tehničkih sustava, uzimaju se u obzir svi postojeći ugrađeni termotehnički sustavi u promatranoj zgradi ili samostalnoj uporabnoj cjelini.

Ukoliko pojedina zgrada nema u stvarnosti ugrađeni pojedini termotehnički sustav, vrši se penalizacija zbog nepostojanja termotehničkog sustava. Penalizacija se vrši tako da se izračunata godišnja potrebna (korisna) energija pomnoži s odgovarajućim faktorom utroška isporučene energije za penalizaciju za svaku pojedinu potrebu zasebno:

$$E_{del,H,f} = Q_{H,nd} \cdot e_{del,p,HW} \quad (2-1)$$

$$E_{del,C,f} = Q_{C,nd} \cdot e_{del,p,C} \quad (2-2)$$

$$E_{del,W,f} = Q_W \cdot e_{de,p,HW} \quad (2-3)$$

Prilikom proračuna primarne energije za *stvarne klimatske podatke i stvarni režim korištenja i režim rada tehničkih sustava*, uzimaju se u obzir svi postojeći ugrađeni termotehnički sustavi u promatranoj zgradi ili samostalnoj uporabnoj cjelini.

Kod višestambenih zgrada, proračun za referentne klimatske podatke i Algoritmom propisan režim korištenja i režim rada tehničkih sustava te određivanja energetskog razreda, obuhvaća sljedeće tehničke sustave:

- sustav grijanja,
- sustav pripreme PTV i
- sustav mehaničke ventilacije i klimatizacije (ako postoji).

U proračunu za stvarne klimatske podatke i stvarni režim korištenja i režim rada tehničkih sustava, sadržani su svi ugrađeni termotehnički sustavi u promatranoj zgradi. Kod višestambenih zgrada, u pravilu su uvijek ugrađeni:

- sustav grijanja i
- sustav pripreme PTV

Uz ove sustave, u stanovima su ugrađeni i sustavi rasvjete, a u pojedinim prostorijama mogu biti ugrađeni i sustavi hlađenja (split sustavi, najčešće u boravku) te sustavi odsisne mehaničke ventilacije (kuhinjska napa, odsisni ventilator u kupaonici).

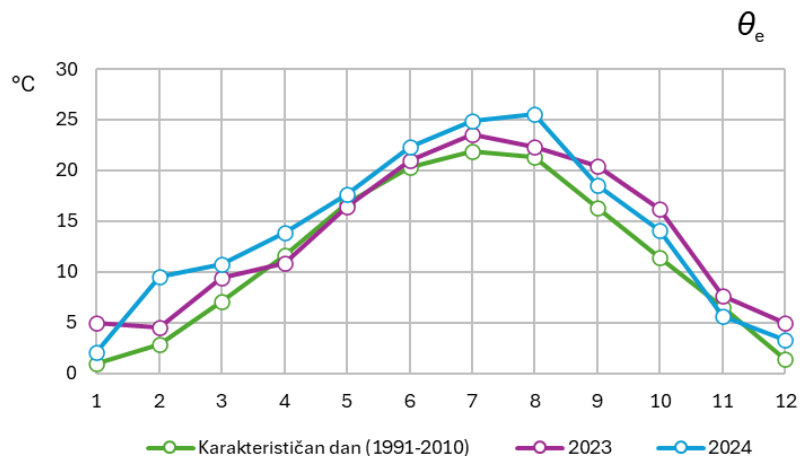
Referentna klima za područje kontinentalnog dijela Hrvatske je klima za meteorološku postaju preuzetu kao karakterističnu (Zagreb Maksimir) kada srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade prema podacima iz Meteoroloških podataka za najbližu klimatski mjerodavnu meteorološku postaju θ_{mm} jest ≤ 3 °C), a za područje primorskog dijela Hrvatske je klima za meteorološku postaju preuzetu kao karakterističnu (Split Marjan) kada srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade prema podacima iz

Meteoroloških podataka za najbližu klimatski mjerodavnu meteorološku postaju θ_{mm} jest $> 3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

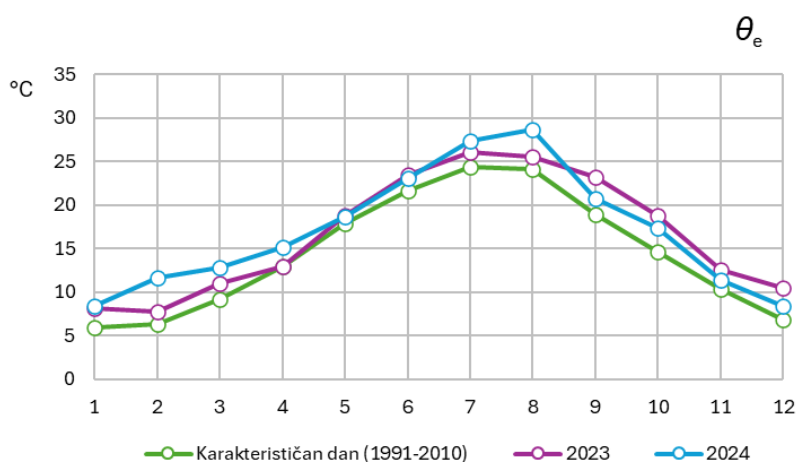
Proračun se provodi prema jednostavnoj satnoj metodi (kvazistacionarni proračun na bazi satnih vrijednosti s karakterističnim danom mjeseca) iz norme HRN EN ISO 13790. Proračun se provodi prema Algoritmu, koristeći programski paket KI Expert Plus Verzija 7.11.4.0. - 24.09.2022.

Toplinska energija, dovedena zgradi, koristi se za različite potrebe, a kod višestambenih zgrada riječ je o grijanju i pripremi potrošne tople vode. Prema Metodologiji provođenja energetskog pregleda zgrada, postupkom modeliranja se svaka vrsta isporučene toplinske energije zasebno raspodjeljuje po potrebama koje pokriva. Uobičajeno, postupak modeliranja se provodi na godišnjem nivou, a može se po potrebi provesti i po mjesecima. Raspodjeljuje se referentna potrošnja toplinske energije, koja se najčešće određuje kao prosjek potrošnje u promatrane 3 godine (ako u te tri godine nije bilo znatnijih promjena u načinu korištenja zgrade i njenih tehničkih sustava).

Potrošnja toplinske energije za grijanje može se približno odrediti uz pomoć stupanj dana grijanja. Detaljnije i točnije modeliranje potrošnje toplinske energije može se provesti korištenjem algoritma za izračun energetskog svojstva zgrade, pri čemu je potrebno koristiti proračun za stvarne klimatske podatke i stvarni režim korištenja i režim rada tehničkih sustava.



Sl. 2-51: Srednja dnevna (mjesečna) temperatura zraka (Zagreb Maksimir), razdoblje 1991-2010, 2023 i 2024



Sl. 2-52: Srednja dnevna (mjesečna) temperatura zraka (Rijeka), razdoblje 1991-2010, 2023 i 2024

Klimatski podatci za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje jednostavnom satnom metodom (karakterističan dan), pripremljeni su iz meteoroloških podataka s postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda prema mjerenjima iz razdoblja 1991-2010. Najbliža klimatski mjerodavna postaja za stambeno-poslovnu zgradu u Zagrebu je Zagreb-Grič, a za stambenu zgradu u Rijeci, meteorološka postaja Rijeka.

Kao što je prethodno spomenuto, zbog kontinuiranog porasta vanjske temperature zraka, i zime i ljeta su iz godine u godinu sve topliji, zbog čega potreba za grijanjem pada, a za hlađenjem raste. U odnosu na razdoblje 1991-2010., temperature vanjskog zraka posljednjih su godina zamjetno više, kako se vidi na primjeru meteoroloških postaja Zagreb-Maksimir i Rijeka (sl. 2-51, sl. 2-52).

Stvarni način korištenja zgrade uglavnom se razlikuje od onog određenog Algoritmom. Parametri kojima se model ugađa (kalibrira) prema stvarnoj potrošnji toplinske energije za grijanje su:

- temperatura unutarnjeg zraka,
- dnevno trajanje grijanja,
- specifična potrošnja PTV i
- način prozračivanja.

Ako se provodi ispitivanje zrakopropusnosti, tada je prema rezultatima ispitivanja moguće podesiti i parametre zrakopropusnosti (n_{50}). Prema podacima o uvjetima komfora u stanovima, temperatura unutarnjeg zraka tokom sezone grijanja uglavnom je veća od vrijednosti određene Algoritmom (20 °C). Kod hlađenja, temperatura unutarnjeg zraka je uglavnom manja od vrijednosti određene Algoritmom (22 °C za kontinentalnu i 24 °C za primorsku Hrvatsku). Trajanje grijanja ovisi o navikama pojedinih korisnika. Kod zgrada koje su priključene na toplinski sustav ono se relativno dobro poklapa s vrijednostima iz Algoritma (7 dana u tjednu, od 8 do 23 sata pri čemu

sustav grijana započinje s radom 2 sata ranije), iako neki opskrbljivači toplinskom energijom nude i drugačije režime (npr. cjelodnevno grijanje).

Kod potrošnje toplinske energije za pripremu PTV, ugađa se parametar dnevne potrošnje PTV. Specifična toplinska energija potrebna za pripremu PTV prema Algoritmu kod stambenih zgrada iznosi 12,5 kWh/m²a za zgrade s 3 stambene jedinice i 16 kWh/m²a za zgrade s više od 3 stambene jedinice. Isporučena energija za PTV bit će jednaka potrebnoj uvećanoj za gubitke u sustavu distribucije koji su ovisni o načinu pripreme (centralno, etažno, lokalno), načinu distribucije PTV (s recirkulacijom ili bez nje), duljini razvoda PTV, načinu polaganja i toplinskoj izolaciji cijevi te načinu rada recirkulacijske pumpe (kontinuirani ili regulirani rad). U nekim slučajevima, gubitci u distribuciji mogu nadmašiti potrebnu toplinsku energiju za pripremu PTV. Stvarna potrošnja toplinske energije u analiziranim višestambenim zgradama u proteklom razdoblju uglavnom je bila znatno veća od 16 kWh/m²a, osim u zgradama koje su se slabije i/ili rjeđe koristile.

Učestalost i intenzitet prozračivanja razlikuju se od korisnika do korisnika. Algoritmom određen broj izmjena zraka od 0,5 h⁻¹ za stambene prostore predstavlja minimalnu vrijednost te se može očekivati da će stvarne vrijednosti biti uglavnom veće.

2.5.4.2. Stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu (HR-10000-3296-1)

Modeliranje potrošnje toplinske energije u stambeno-poslovnoj zgradi u Zagrebu (HR-10000-3296-1) provedeno je s proračunskim parametrima prema tab. 2-32. Za temperature unutarnjeg zraka uzete su prosječne izmjerene vrijednosti u proteklom razdoblju.

Tab. 2-32: *Proračunske postavke za stambeno-poslovnu zgradu u Zagrebu (HR-10000-3296-1) (stvarni klimatski podatci i stvarni režim korištenja i režim rada tehničkih sustava)*

Zona	Termo-tehnički sustav	Proračun prema Algoritmu za stvarne klimatske uvjete i način korištenja zgrade							
		najbliža meteo postaja	period korištenja zgrade		unutarnja proračunska temperatura zraka		broj izmjena zraka pri razlici tlaka od 50 Pa	broj izmjena zraka kod prozračivanja	potrebna toplinska energija za pripremu PTV
					grijanje	hlađenje			
-	-	-	tjedno d/tj	dnevno od – do	$\vartheta_{\text{nt,H}}$ °C	$\vartheta_{\text{nt,C}}$ °C	n_{50} h ⁻¹	$n_{\text{req,H}}$ h ⁻¹	$V_{\text{vw,t,day}}$ l/dan
Stanovi	grijanje i PTV	Zagreb-Grič	7	8:00 – 23:00	23,1	26,8	3,09	1,00	1 000
Stubište	grijanje	Zagreb-Grič	7	8:00 – 23:00	10,0	30,0	6,00	0,50	-
Lokali	grijanje	Zagreb-Grič	5	7:00 – 17:00	22,0	24,0	3,09	1,57	-

Broj izmjena zraka kod razlike tlakova od 50 Pa (n_{50}) uzet je iz provedenog mjerenja zrakopropusnosti, dok je broj izmjena zraka prozračivanjem za stambeni prostor povećan na $1,0 \text{ h}^{-1}$. Dnevna potrošnja PTV podešena je tako da približno odgovara potrošnji toplinske energije izvan sezone grijanja. Korišten je stvarni period korištenja lokala.

Tab. 2-33: Usporedba modelirane i stvarne godišnje potrošnje toplinske energije u stambeno-poslovnoj zgradi u Zagrebu (HR-10000-3296-1)

Zona	Termotehnički sustav	Proračun prema Algoritmu za stvarne klimatske uvjete i način korištenja zgrade		Izmjerena potrošnja	Razlika između proračunske i izmjerene potrošnje	
		isporučena energija		2023/2024		
		daljinsko grijanje		daljinsko grijanje		
		E_{del}		E_{del}	ΔE_{del}	
-	-	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	%
Stanovi	grijanje i PTV	265 190	269 497	245 868	23 628	9,6
Stubište	grijanje	4 307				
Lokali	grijanje	9 568	9 568	8 424	1 144	13,6
UKUPNO		279 065	279 065	254 292	24 772	9,7

Ukupna godišnja modelirana potrošnja toplinske energije veća je za 9,7 % od stvarne (izmjerene) potrošnje iz razdoblja 2023/2024 (tab. 2-33). Ovo razlika može se pojasniti nižim temperaturama zraka iz razdoblja 1990-2010 naspram temperatura ostvarenih u 2023. i 2024. godini, kako je pojašnjeno ranije.

Kada bi se u proračunu koristili podatci iz tih godina, odstupanje bi zasigurno bilo manje. Može se stoga zaključiti kako se modeliranjem potrošnje toplinske energije prema Algoritmu, za stvarne klimatske podatke i stvarni režim korištenja i režim rada tehničkih sustava, dobivaju vrijednosti koji se dobro slažu sa stvarnom potrošnjom.

2.5.4.3. Stambena zgrada u Rijeci (HR-51000-0357-1)

Modeliranje potrošnje toplinske energije u stambenoj zgradi u Rijeci (HR-51000-0357-1) provedeno je s proračunskim parametrima prema tab. 2-32.

Temperature unutarnjeg zraka pretpostavljene su prema mjerenjima u sličnim zgradama. Broj izmjena zraka kod razlike tlakova od 50 Pa (n_{50}) uzet je iz provedenog mjerenja zrakopropusnosti, dok je broj izmjena zraka prozračivanjem za stambeni prostor povećan na $1,0 \text{ h}^{-1}$. Dnevna potrošnja PTV podešena je tako da približno odgovara mjerenoj potrošnji toplinske energije. Korišten je stvarni period korištenja stambenog prostora, odnosno period trajanja grijanja.

Tab. 2-34: Proračunske postavke za stambenu zgradu u Rijeci (HR-51000-0357-1)
(stvarni klimatski podatci i stvarni režim korištenja i režim rada tehničkih sustava)

Zona	Termo- tehnički sustav	Proračun prema Algoritmu za stvarne klimatske uvjete i način korištenja zgrade							
		najbliža meteo postaja	period korištenja zgrade		unutarnja proračunska temperatura zraka		broj izmjena zraka pri razlici tlaka od 50 Pa	broj izmjena zraka kod prozračiva- nja	potrebna toplinska energija za pripremu PTV
					grijanje	hlađenje			
			tjedno	dnevno	$\vartheta_{\text{int,H}}$	$\vartheta_{\text{int,C}}$			
-	-	-	d/tj	od – do	°C	°C	n_{50}	$n_{\text{req,H}}$	$V_{\text{VW,f,day}}$
Stanovi	grijanje	Rijeka	7	4:00 – 24:00	22,5	25,5	3,93	1,00	2 000
	PTV	-	-	-	-	-	-	-	-

Ukupna godišnja modelirana potrošnja toplinske energije za grijanje veća je za 9,8 % od stvarne (izmjerene) potrošnje iz razdoblja 2024 (tab. 2-33). Ovo razlika može se pojasniti nižim temperaturama zraka iz razdoblja 1990-2010 naspram temperatura ostvarenih u 2024. godini, kako je pojašnjeno ranije. Modelirana potrošnja toplinske energije za pripremu PTV nešto je veća od stvarne, što se može pripisati većoj proračunskoj temperaturi PTV (60 °C) naspram stvarne (45-50 °C).

Tab. 2-35: Usporedba modelirane i stvarne godišnje potrošnje toplinske energije u stambenoj zgradi u Rijeci (HR-51000-0357-1)

Zona	Termotehnički sustav	Proračun prema Algoritmu za stvarne klimatske uvjete i način korištenja zgrade		Izmjerena potrošnja	Razlika između proračunske i izmjerene potrošnje	
		isporučena energija		2024		
		daljinsko grijanje		daljinsko grijanje		
		E_{del}		E_{del}	ΔE_{del}	
-	-	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	%
Stanovi	grijanje	345 678	596 392	314 850	30 828	9,8
	PTV	250 714		221 290	29 424	13,3
UKUPNO		596 392	596 392	536 140	60 252	11,2

Kada bi se u proračunu koristili podatci iz 2024. godine, odstupanje bi zasigurno bilo manje. Može se stoga zaključiti kako se modeliranjem potrošnje toplinske energije prema Algoritmu, za stvarne klimatske podatke i stvarni režim korištenja i režim rada tehničkih sustava, dobivaju vrijednosti koji se dobro slažu sa stvarnom potrošnjom.

2.6. MODELIRANJE POTENCIJALA ZA UGRADNJU FOTONAPONSKE ELEKTRANE NA RAZINI SKUPNOG AKTIVNOG KUPCA, UKLJUČUJUĆI PITANJE SUFINANCIRANJA POVEĆANJA PRIKLJUČNE SNAGE, PITANJE POSTOJEĆIH INSTALACIJA (UNUTARNJIH TE PRIKLJUČKA NA TS X/0,4 KV)

Uz samoopskrbu višestambene zgrade, u višestambenoj zgradi moguće je oformiti i skupnog aktivnog kupca (SAK). SAK je po definiciji skupina krajnjih kupaca koji zajednički nastupaju kao aktivni kupac. Svi članovi dužni su potpisati ugovor (sporazum) o sudjelovanju u skupnom aktivnom kupcu kojim se uređuje sudjelovanje krajnjih kupaca u skupnom aktivnom kupcu. Krajnji kupac odnosno vlasnik udjela na obračunskom mjernom mjestu uključenom u skupnog aktivnog kupca ne može istodobno biti i korisnik postrojenja za samoopskrbu.

Opunomoćenik skupnog aktivnog kupca dužan je operatoru distribucijskog sustava dostaviti shemu dijeljenja električne energije skupnog aktivnog kupca najkasnije 15 dana prije početka obračunskog razdoblja, u skladu s ugovorom o međusobnim odnosima sklopljenim s operatorom distribucijskog sustava. Opunomoćenik skupnog aktivnog kupca ima pravo na pristup mjernim podacima i/ili na dostavu mjernih podataka iz baze mjernih podataka samo onih korisnika mreže iz skupnog aktivnog kupca kojeg zastupa. Shema dijeljenja električne energije skupnog aktivnog kupca je popis obračunskih mjernih mjesta proizvodnih postrojenja, popis obračunskih mjernih mjesta postrojenja za skladištenje energije, popis obračunskih mjernih mjesta krajnjih kupaca koja su uključena u dijeljenje električne energije te ključ prema kojem se predana i preuzeta električna energija na obračunskim mjernim mjestima skupnog aktivnog kupca dijeli po obračunskim mjernim mjestima koja su uključena u dijeljenje električne energije.

Operator distribucijskog sustava za potrebe obračuna električne energije koji provodi opskrbljivač i obračuna naknade za korištenje mreže određuje isporučenu električnu energiju na obračunskom mjernom mjestu uključenom u shemu dijeljenja skupnog aktivnog kupca zbrajanjem krivulje preuzete električne energije na tom obračunskom mjernom mjestu i pripadajućeg dijela krivulje predane električne energije na obračunskom mjernom mjestu postrojenja uključenog u shemu dijeljenja – za dodijeljenu energiju iz proizvodnog postrojenja ne plaća se naknada za korištenje mreže, porez i drugi nameti.

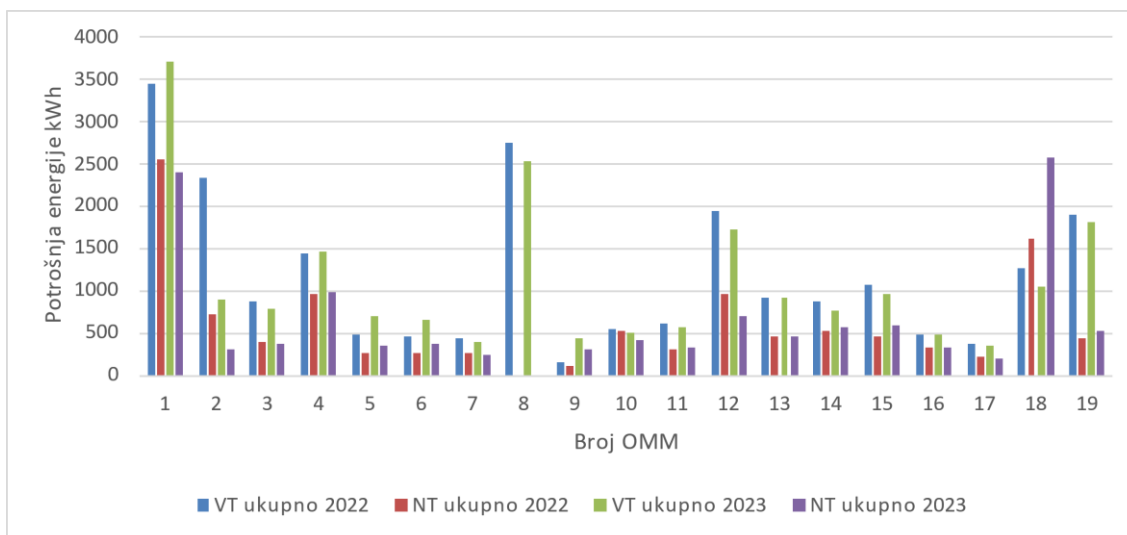
Proizvodno postrojenje SAK-a može biti priključeno preko:

- obračunskog mjernog mjesta pojedinog krajnjeg kupca,
- obračunskog mjernog mjesta zajedničke potrošnje,
- posebnog obračunskog mjernog mjesta za proizvodno postrojenje.

Ukupna priključna snaga u smjeru predaje električne energije u mrežu na obračunskim mjernim mjestima SAK-a ne smije biti veća od 80 posto ukupne priključne snage u smjeru preuzimanja električne energije iz mreže na tim obračunskim mjernim mjestima.

Prema trenutnim pravilnicima, jedini način je povećanje priključne snage u smjeru predaje za zajedničku potrošnju. Dosadašnji javni pozivi za energetska obnova višestambenih zgrada (primjerice NPOO.C7.2.I1.01 – Energetska obnova višestambenih zgrada) prepoznaju samo snagu zajedničke potrošnje, bez obzira preko koliko je OMM-ova priključena, dok je ostalo zanemareno. Zgrada bi morala dokupiti toliko snage koliko joj nedostaje do snage elektrane i to pozivi nisu do sad nikad sufinancirali. Međutim, zgrada kao cjelina ima zakupljenu puno veću priključnu snagu u smjeru preuzimanja od snage same zajedničke potrošnje. Nije korektno tražiti dokup, već bi se ukupna snaga zgrade, odnosno ukupna snaga svih obračunskih mjernih mjesta uključenih u SAK trebala gledati prilikom projektiranja elektrane.

Samu instalaciju zajedničke potrošnje (priključni kabel od brojila do ormara, elektro ormar i osigurače) svakako treba prilagoditi novim uvjetima i novim priključcima - elektrana, punionica te se taj dio uvijek sufinancira. Ugrađuje se i novo dvosmjerno brojilo. To je plaćeno u cijeni povećanja snage priključka i to provodi HEP ODS (isto obično nije sufinancirano). Svaki korisnik uključen u SAK mora imati napredno brojilo. Sva ostala instalacija u zgradi ostaje nepromijenjena.

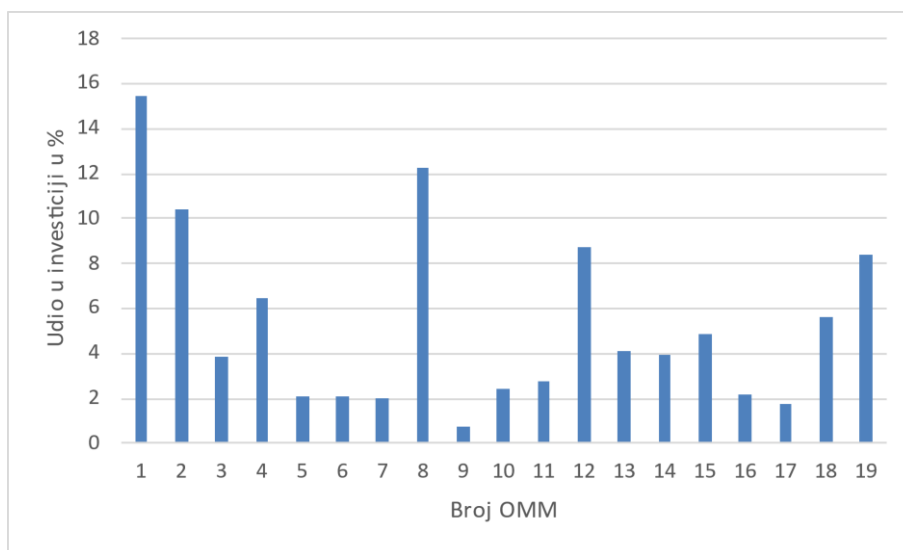


Sl. 2-53: Potrošnje električne energije u VT i NT za svako OMM za 2022. i 2023. godinu
(primjer zgrade u Vukovaru)

Na primjeru zgrade u Vukovaru koja se sastoji od 21 stana za potrebe proračuna odlučeno je da će njih 19 sudjelovati u dijeljenju energije (potrošnja 2 stana izuzetno je niska te je zaključeno da u tim stanovima najvjerojatnije nitko ne boravi). Ukupna

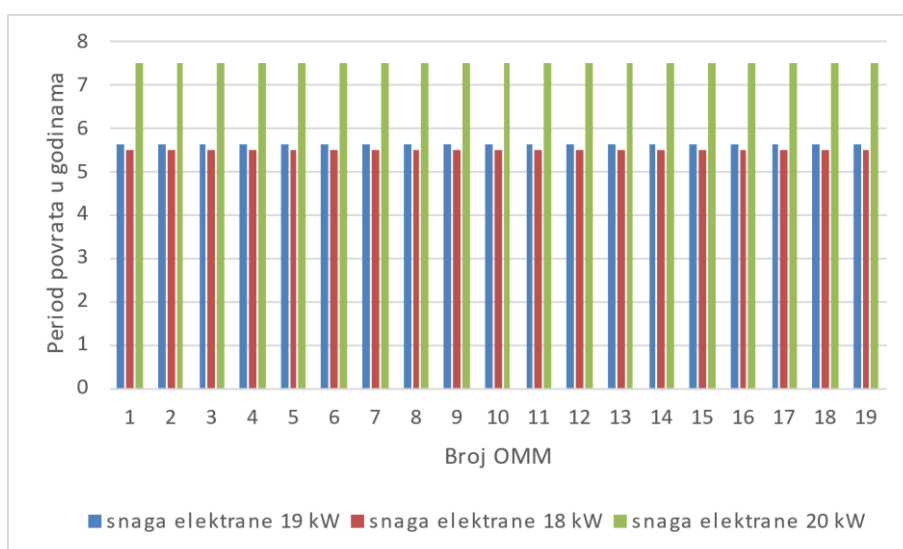
priključna snaga promatranih stanova iznosi 132,91 kW. Na slici (sl. 2-53) su prikazane potrošnje električne energije u VT i NT za svako OMM za 2022. i 2023. godinu.

S obzirom na izuzetno visok zbroj svih priključnih snaga te relativnu malu površinu krova, napravljene su analize za 3 različite snage solarne elektrane: 18 kW, 19 kW i 20 kW. Na temelju udjela godišnje potrošnje električne energije za vrijeme VT pojedinog OMM u ukupnoj godišnjoj potrošnji svih OMM za vrijeme VT, izračunat je udio u investiciji pojedinog OMM prikazan na slici (sl. 2-54).



Sl. 2-54: Udio u investiciji pojedinog OMM (zgrada u Vukovaru)

Ukoliko se računa jednostavni period povrata investicije kao omjer iznosa investicije i ukupne godišnje uštede, za solarne elektrane snage 18 i 19 kW period povrata iznosi manje od 6 godina za sva OMM kako je prikazano na slici (sl. 2-55).



Sl. 2-55: Periodi povrata investicije za elektrane različitih snaga

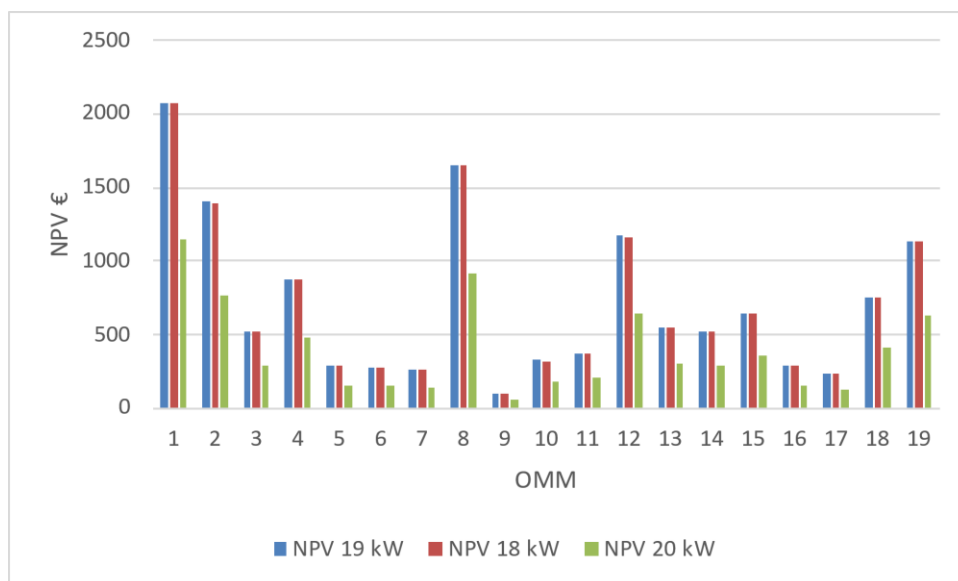
Međutim, elektrana od 20 kW ima period povrata veći od 7 godina što je rezultat veće investicije.

Kako bi se dodatno potvrdilo koja je optimalna snaga elektrane, izračunata je neto sadašnja vrijednost za sva tri projekta za odabrane elektrane prema formuli (2-4):

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C}{(1+r)^t} - C_0 \quad (2-4)$$

gdje n predstavlja ukupni vijek trajanja projekta (20 godina), C su generirane godišnje uštede za pojedino OMM, dok je r diskontna stopa čija je vrijednost zbog konzervativnosti proračuna postavljena na 8%. C_0 je iznos investicije za pojedino OMM koji je izračunat kao umnožak udjela u investiciji prikazanog na slici sl. 2-54 i ukupnog troška solarne elektrane (950 €/kW).

Iako su vrlo male razlike u navedenim snagama, postoje značajnije razlike u izračunu neto sadašnje vrijednosti, kao što je prikazano na slici (sl. 2-56).



Sl. 2-56: NPV za elektrane različite snage

Neto sadašnje vrijednosti za elektrane snage 18 i 19 kW vrlo su slične, kao i periodi povrata investicije te bi se onda na temelju provedenih proračuna preporučila investicija u elektranu od 19 kW.

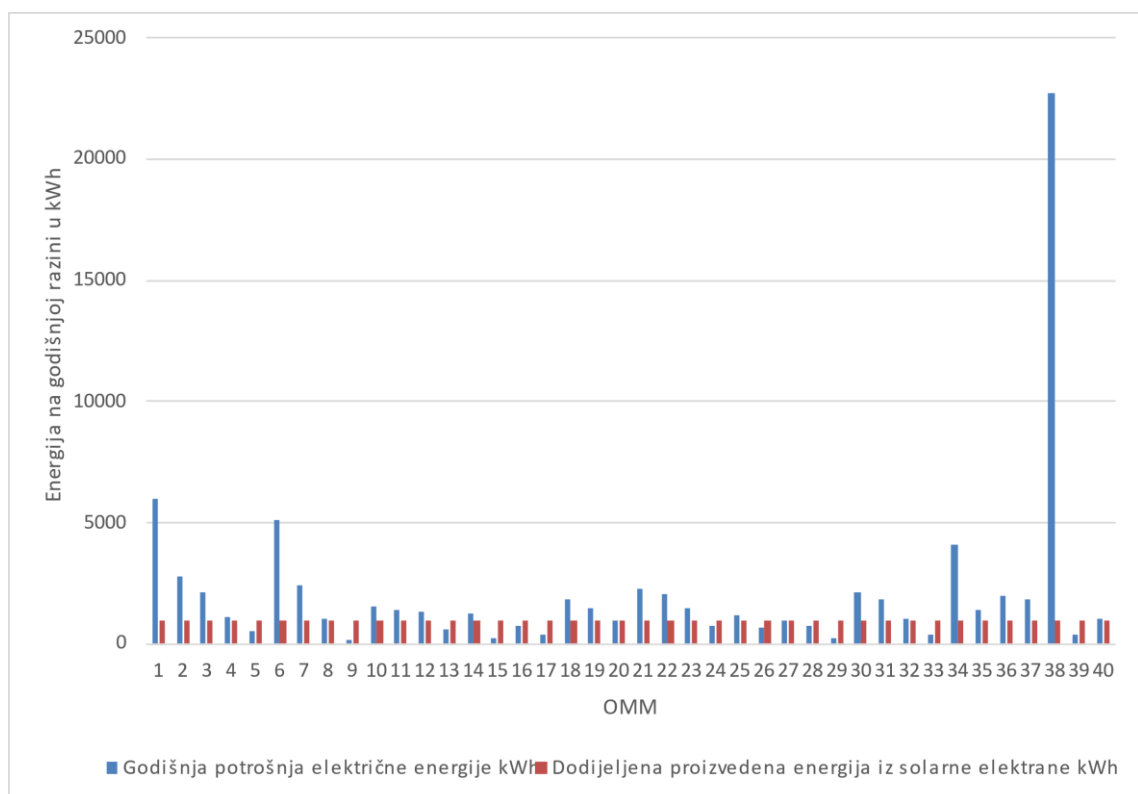
Međutim, solarna elektrana snage 20 kW generira NPV koji je u pola manji za svako promatrano OMM u usporedbi s elektranama snage 18 i 19 kW. Na godišnjoj razini svako OMM ima više dodijeljene proizvedene energije od vlastite potrošnje te se ta

energija prodaje opskrbljivaču po cijeni koja iznosi 80% kupovne cijene (ne uzimajući u obzir ostale naknade) što i nije povoljna situacija za korisnike.

Iz proračuna je pokazano da je dovoljna i manja elektrana, nema potrebe za povećanjem priključne snage za izgradnju veće elektrane.

2.7. MODELIRANJE MOGUĆNOSTI DIJELJENJA ENERGIJE PROIZVEDENE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE NA RAZINI SKUPNOG AKTIVNOG KUPCA I ENERGETSKE ZAJEDNICE (BEZ PROSTORNOG OGRANIČENJA), UKLJUČUJUĆI I PRIMJENU RAZLIČITIH KLJUČEVA ZA DIJELJENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

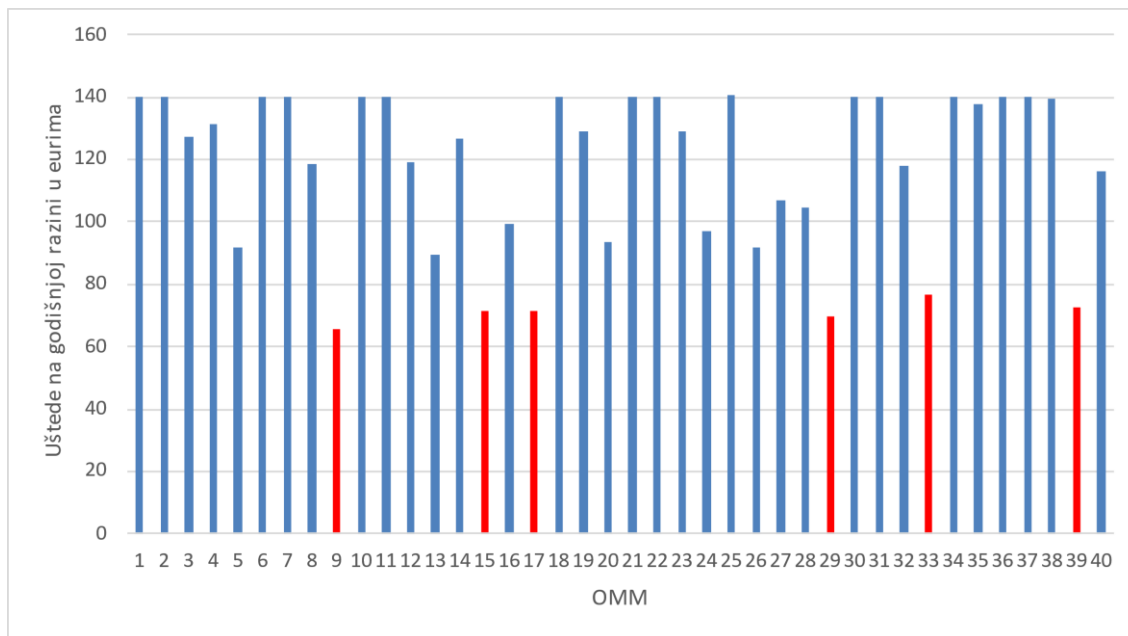
Napravljeni su različiti modeli dijeljenja energije proizvedene iz solarne elektrane na krovu odabranih višestambenih zgrada. S obzirom na dostupan skup podataka o mjerenjima, analize su rađene na temelju statičkih ključeva koji jednom definirani se nisu mijenjali za promatrani period. Prvi model rađen je prema primjeru raspodjele jednake količine električne energije svim korisnicima uključenim u model samoopskrbe višestambene zgrade. Taj model podrazumijeva da svi korisnici investiraju jednaki iznos u solarnu elektranu, ne uzimajući u obzir njihove stvarne potrebe. S obzirom na to da se višak dodijeljene električne energije prodaje direktno opskrbljivaču, iz rezultata modela jasno je vidljiva mana ovakvog ključa dijeljenja – nesrazmjer pojedine potrošnje i dodijeljene električne energije.



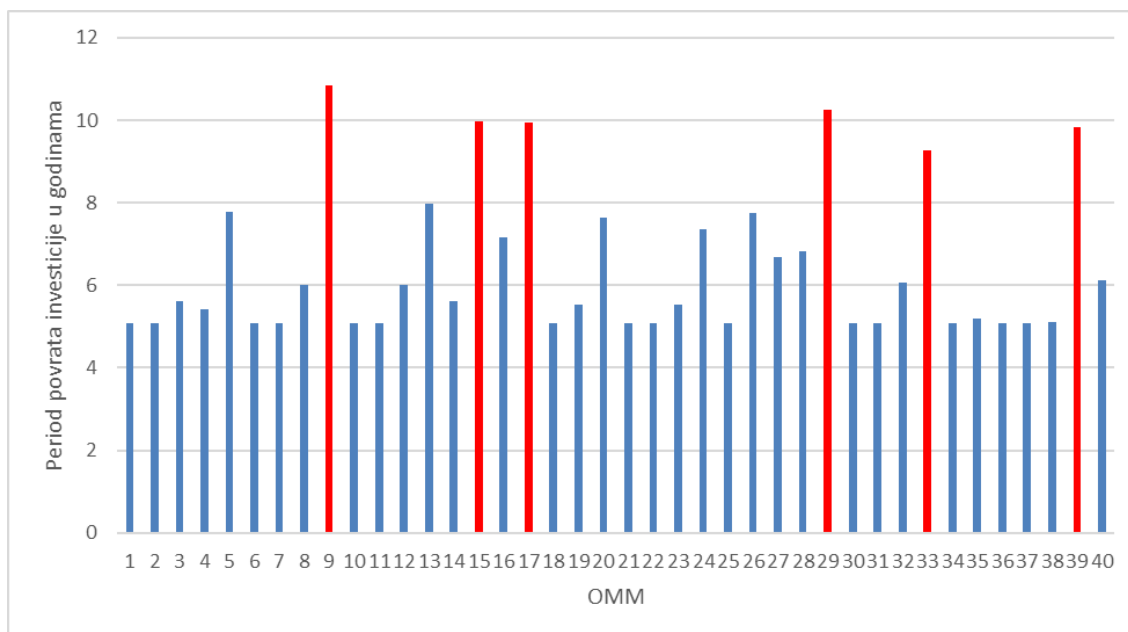
Sl. 2-57: Energija na godišnjoj razini pojedinog OMM

Iz primjera u Vukovaru, zgrada HR-32000-0096-1, na temelju prikaza s Google Eartha procijenjena je dostupna površina krova za ugradnju solarne elektrane. Na temelju

procjene dostupne površine, zaključeno je da se na krov zgrade može instalirati solarna elektrana snage do 90 kW. Određen je optimalni iznos solarne elektrane koji iznosi 30 kW.



Sl. 2-58: Uštede energije na godišnjoj razini pojedinog OMM

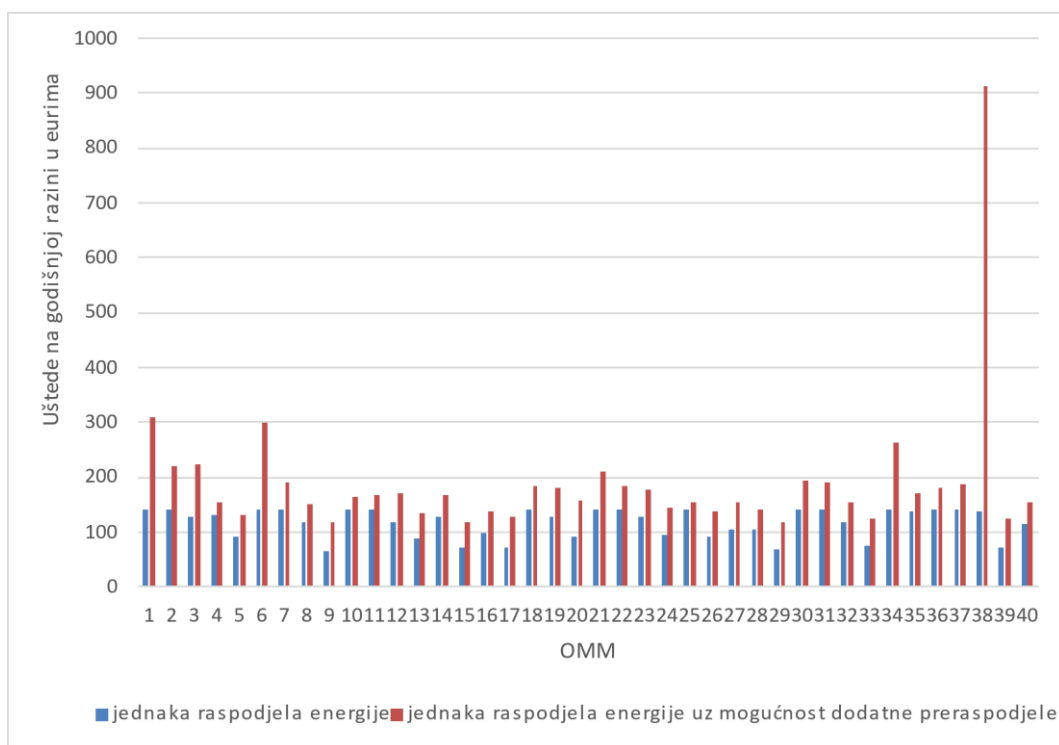


Sl. 2-59: Period povrata investicije pojedinog OMM

OMM s niskom potrošnjom prodavat će višak dodijeljene električne energije opskrbljivaču po cijeni koja iznosi 80% cijene električne energije ne uzimajući u obzor naknade za korištenje mreže i naknade za OIE. Tako primjerice u VT se energija od opskrbljivača kupuje po cijeni od 0,143 eura/kWh dok se višak energije prodaje po cijeni od 0,056 eura/kWh. Upravo su ta OMM na grafu prikazana crvenom bojom.

Na temelju provedenih analiza može se zaključiti da je statički ključ kojim se svim OMMovima dodjeljuje jednaka količina proizvedene električne energije vrlo nepovoljan za potrošače s malom potrošnjom električne energije.

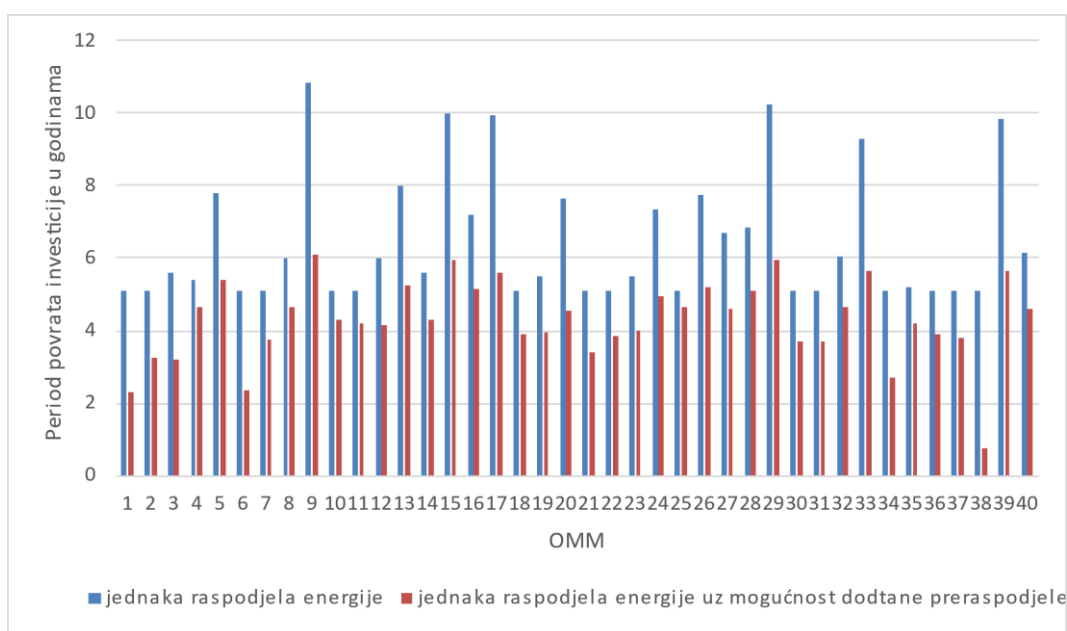
Ukoliko je moguće da se višak proizvedene energije ne prodaje opskrbljivaču, već se proda drugim članovima uključenih u samoopskrbu višestambene zgrade, vidljive su i značajnije uštede te i kraći period povrata investicije.



Sl. 2-60: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM

Period povrata investicije za neke članove skupnog aktivnog kupca kraći je čak za 5 godina ukoliko se višak energije može prodati drugim članovima u istoj višestambenoj zgradi. Za energiju kojom se trguje unutar zgrade ne plaćaju se naknade za korištenje mreže te sami kupci mogu odrediti cijenu po kojoj se energija razmjenjuje. U konkretnom primjeru uzeta je cijena 0,11 eura/kWh koja je povoljnija od cijene koju nudi opskrbljivač i za kupnju i za prodaju električne energije čime se zapravo i postižu veće uštede.

Međutim, u Zakonu o izmjenama i dopunama Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji u Članku 3. stavak 29. navodi se da je opskrbljivač dužan obračunati svu proizvedenu električnu energiju na način da, sukladno podacima koje je dobio od operatora distribucijskog sustava u realnom vremenu, raspodjeli proizvedenu energiju na sve kupce u višestambenoj zgradi, a ako postoji višak proizvedene električne energije, to se obračunava kao predana energija u samoopskrbi višestambene zgrade. Prema tumačenjima ovog Zakona nije moguće raditi dodatnu preraspodjelu električne energije čime statički ključ s jednakom raspodjelom električne energije nije povoljan za korisnike skupnog aktivnog kupca. Potencijalne izmjene ili dopune Zakona trebale bi ići u smjeru mogućeg trgovanja viškom energije unutar samoopskrbe višestambene zgrade.



Sl. 2-61: Period povrata investicije pojedinog OMM

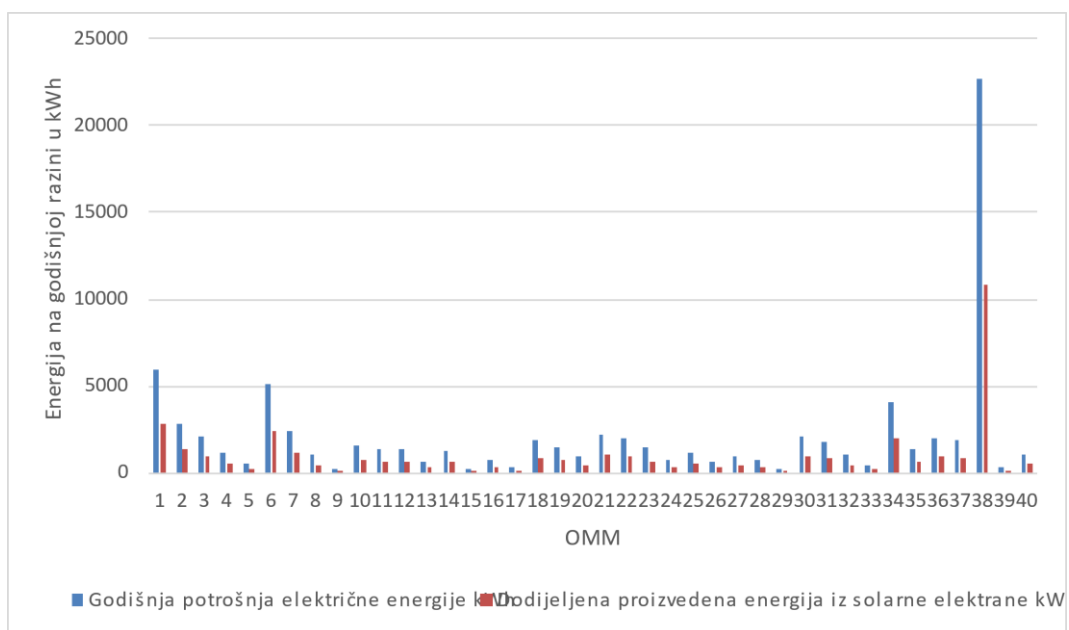
Drugi model baziran je na dodjeli električne energije prema udjelu potrošnje pojedinog OMM-a u ukupnoj potrošnji svih OMM uključenih u samoopskrbu višestambene zgrade.

Udjeli pojedinih suvlasnika u ukupnoj investiciji izračunati su na temelju potrošnje pojedinih OMM u ukupnoj potrošnji svih OMM te se po istom principu i dodijelila proizvedena električna energija iz zajedničke solarne elektrane. Tako je primjerice za navedenu lokaciju ukupna potrošnja električne energije jednaka 82 629 kWh, te je vlasnik OMM s ukupnom godišnjom potrošnjom od 2 811 kWh investirao u solarnu elektranu u iznosu od 3,4 % ukupne investicije, odnosno 970 eura. Ukupni iznos investicije iznosi 28 500 eura. Upravo je i 3,4% ukupno proizvedene električne energije iz solarne elektrane dodijeljeno tom OMM. Proračuni nisu mogli biti rađeni na

mjesečnoj razini zbog toga što neki OMM imaju samo očitavanje šestomjesečne potrošnje.

Na temelju proračuna proizvodnje navedene solarne elektrane na području grada Vukovara pomoću alata PV GIS izračunata je ukupna godišnja proizvodnja koja iznosi 39 260 kWh te je svakom pojedinom OMM dodijeljen udio izračunat na temelju gore objašnjenog proračuna. S obzirom da je riječ o kupcima u kategorije samoopskrbe, moguće je izvesti ovakav proračun. Iako bi proračun bio točniji kad bi postojala potrošnja svakog OMM na mjesečnoj razini, zbog nedostatka podataka nemoguće ju je provesti.

Prikaz godišnje potrošnje te dodijeljene proizvedene električne energije prikazan je slikom:



Sl. 2-62: Energija na godišnjoj razini pojedinog OMM

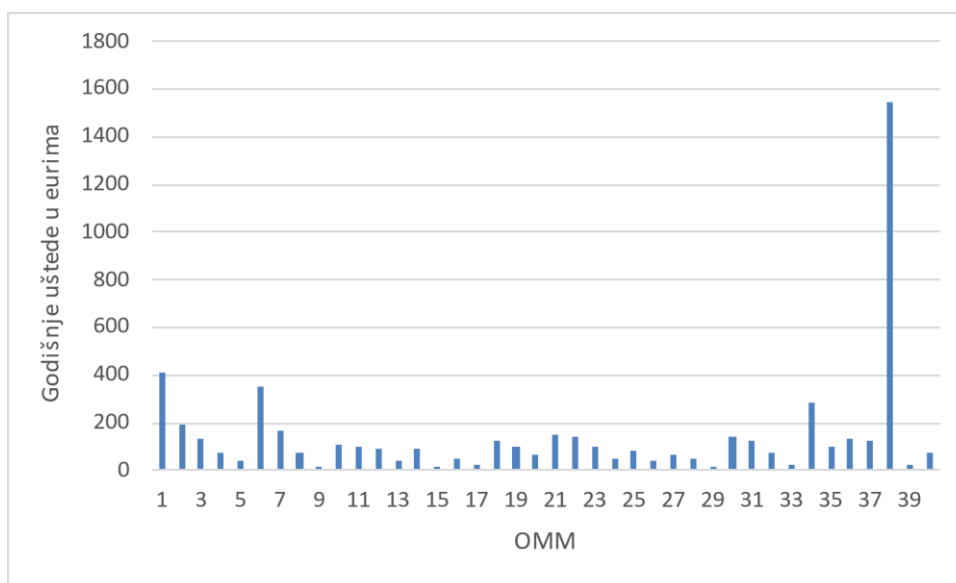
Na temelju rezultata dobivenih ovim proračunom, vidljivo je da je navedena solarna elektrana pokriva otprilike polovinu ukupnu potrošnje navedenih OMM.

Ukoliko neko OMM ima više dodijeljene električne energije od potrošnje, višak otkupljuje opskrbljivač po cijeni od 80 % od cijene za električnu energiju, ne uzimajući u obzir cijenu naknade za prijenosnu i distribucijsku mrežu te naknadu za OIE.

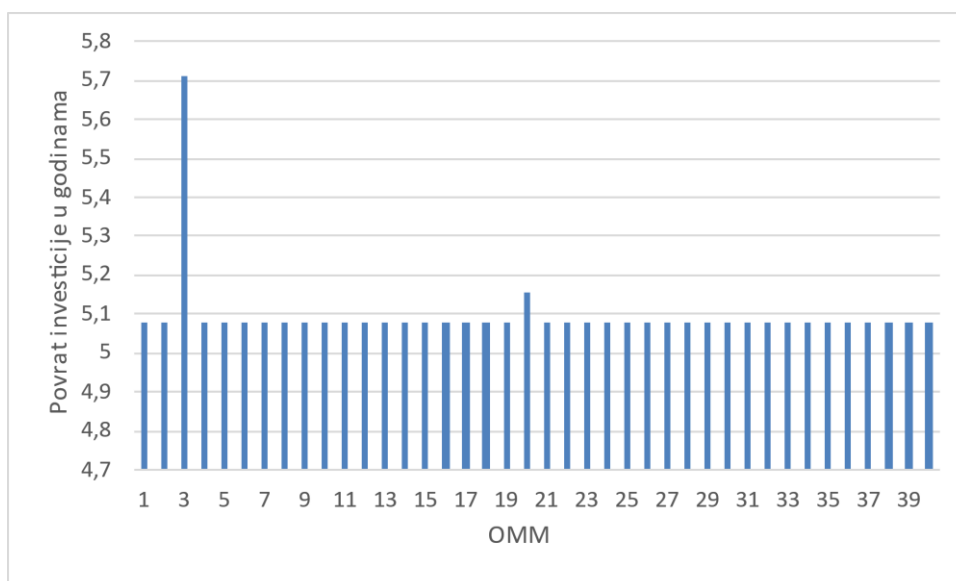
Godišnje uštede u eurima prikazane su na slici (sl. 2-63).

Najveće uštede ostvaruju OMM s najvećom investicijom, odnosno s najvećom dodijeljenom količinom proizvedene električne energije.

Rezultati povrata investicije za sve suvlasnike uzete u obzir u proračunu prikazani su na slici (sl. 2-64):



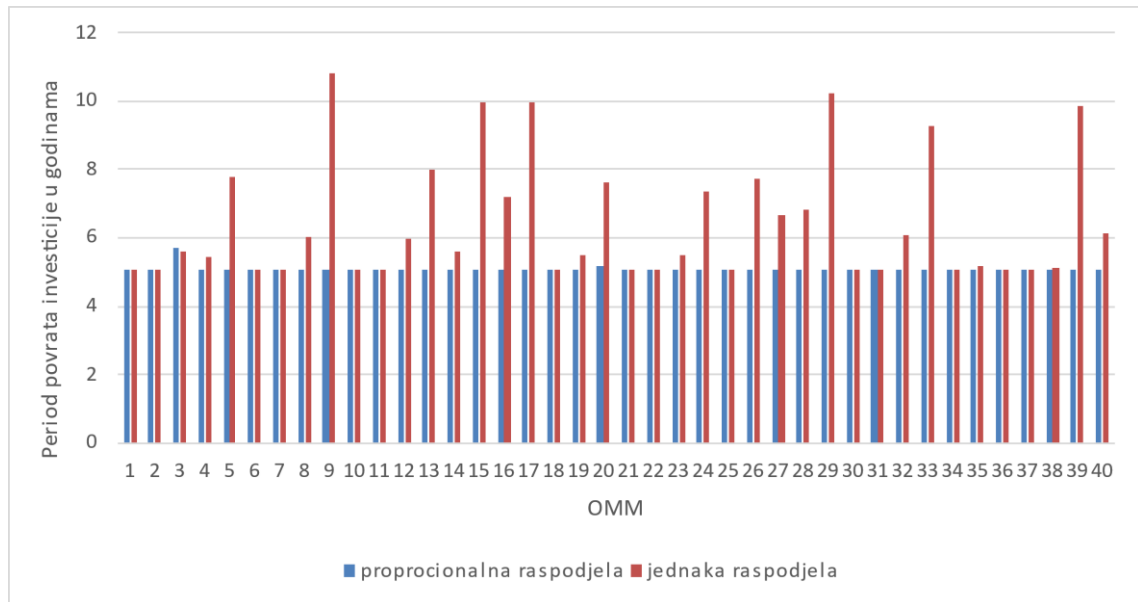
Sl. 2-63: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM



Sl. 2-64: Period povrata investicije pojedinog OMM

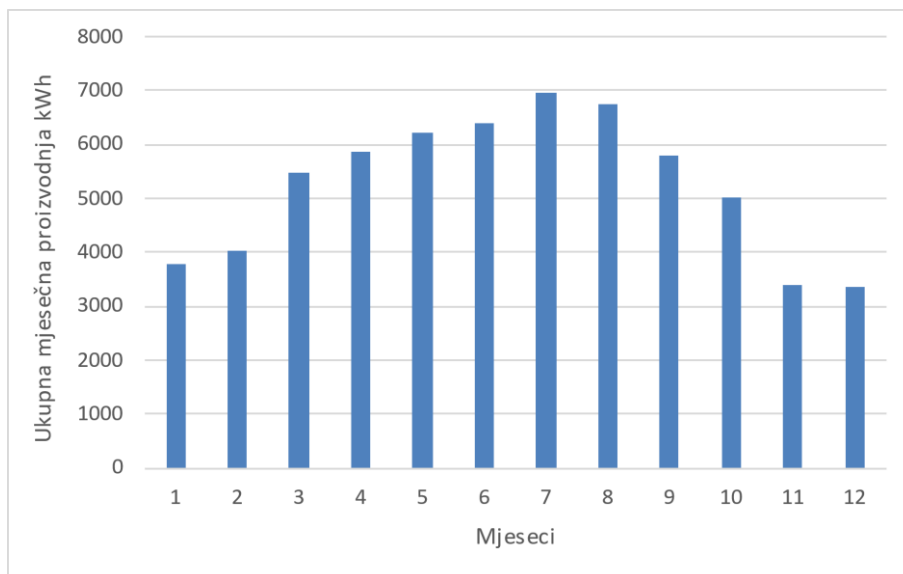
Sa slike je vidljivo da je period povrata investicije svim članovima za 5 godina, dok samo jedan član ima nekoliko mjeseci duži period povrata investicije. Riječ je o OMM čija godišnja potrošnja je viša u niskoj tarifi, dok je pretpostavljeno da elektrana proizvodi u VT te navedeno OMM ima višak od 183 kWh električne energije koju prodaje opskrbljivaču.

Ukoliko se uspoređi vrijeme povratka investicije kod statičkog ključa proporcionalne i jednake raspodjele, vidljivo je da je s proporcionalnom shemom dijeljenja uvijek kraći period povrata investicije.



Sl. 2-65: Period povrata investicije pojedinog OMM

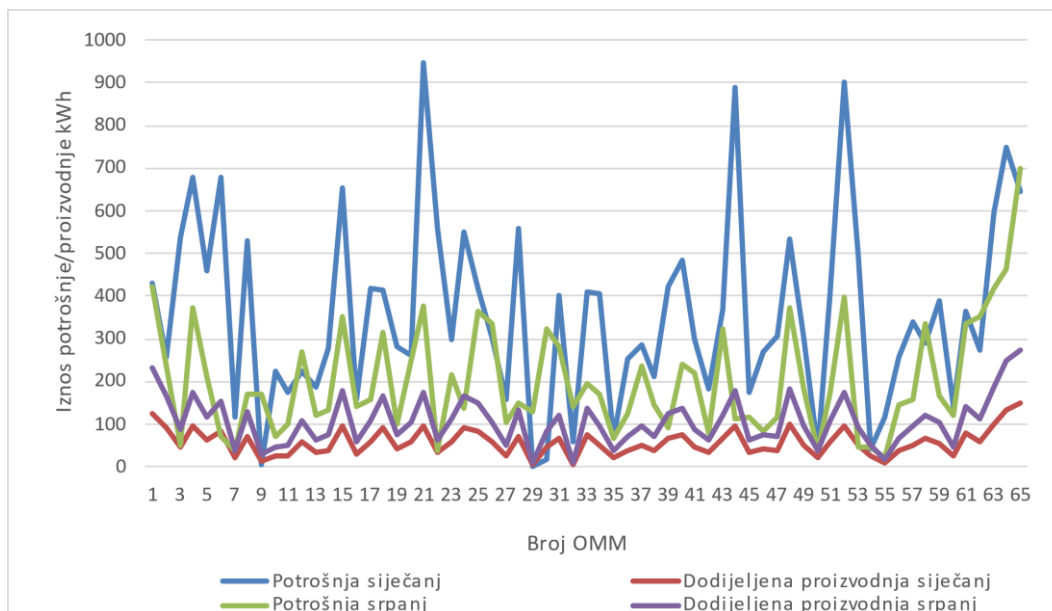
Zbog dostupnosti podataka o potrošnji električne energije na mjesečnoj razini, na primjeru u Splitu, zgrada HR-21000-0567-1, modelirane su dvije različite sheme dijeljenja. Prva shema dijeljenja uzima u obzir raspodjelu električne energije na temelju udjela ukupne godišnje potrošnje pojedinog OMM u zbroju godišnjih potrošnji svih OMM uključenih u samoopskrbu višestambene zgrade. Izračunati udio se ne mijenja na godišnjoj razini. S obzirom na dostupnost podataka moguće je bilo modelirati mjesečni obračun, za razliku od primjera u Vukovaru gdje su sve analize rađene na godišnjoj razini (zbog šestomjesečnog očitavanja mjerenja).



Sl. 2-66: Ukupna mjesečna proizvodnja električne energije

Mjesečna proizvodnja iz solarne elektrane snage 44 kW te ukupnog iznosa investicije od 41 800 eura prikazana je slikom (sl. 2-66).

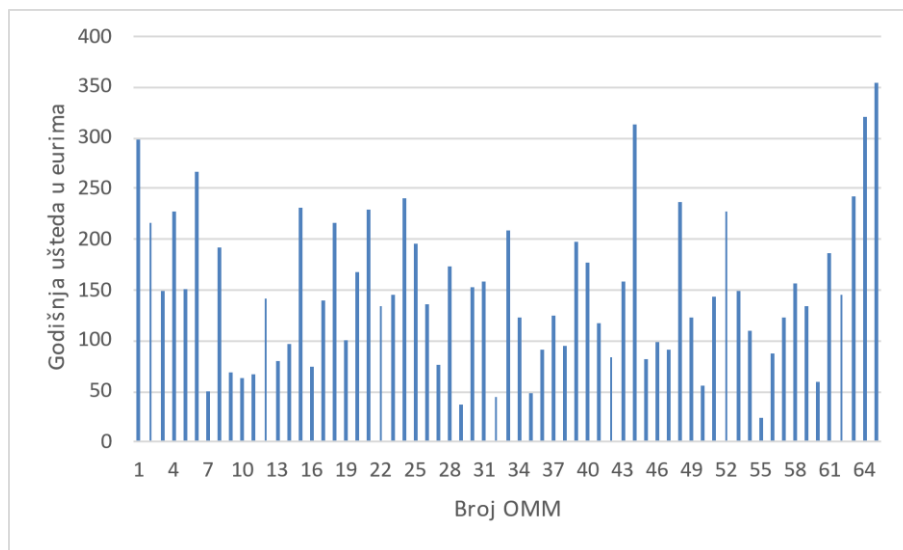
Na slici (sl. 2-67) su prikazane mjesečne potrošnje u VT za pojedina OMM za siječanj i srpanj te dodijeljena proizvodnja iz solarne elektrane za isti period.



Sl. 2-67: Iznos potrošnje / proizvodnje po pojedinom OMM

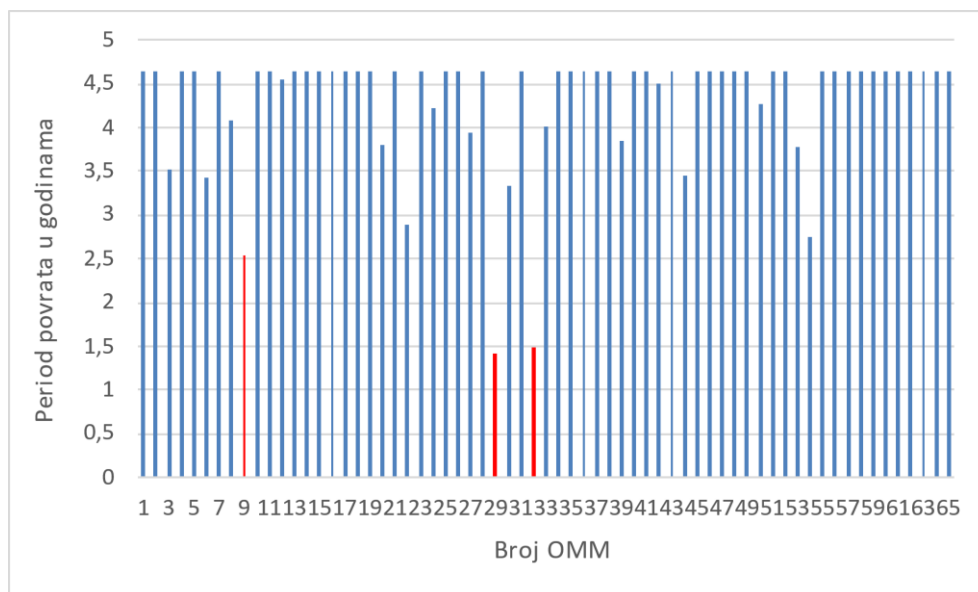
Godišnje uštede prikazane su na slici (sl. 2-68), a period povrata investicije na slici (sl. 2-69).

Smjernice
za primjenu modela primjenu modela sustavnog gospodarenja
energijom i vodom u višestambenim zgradama



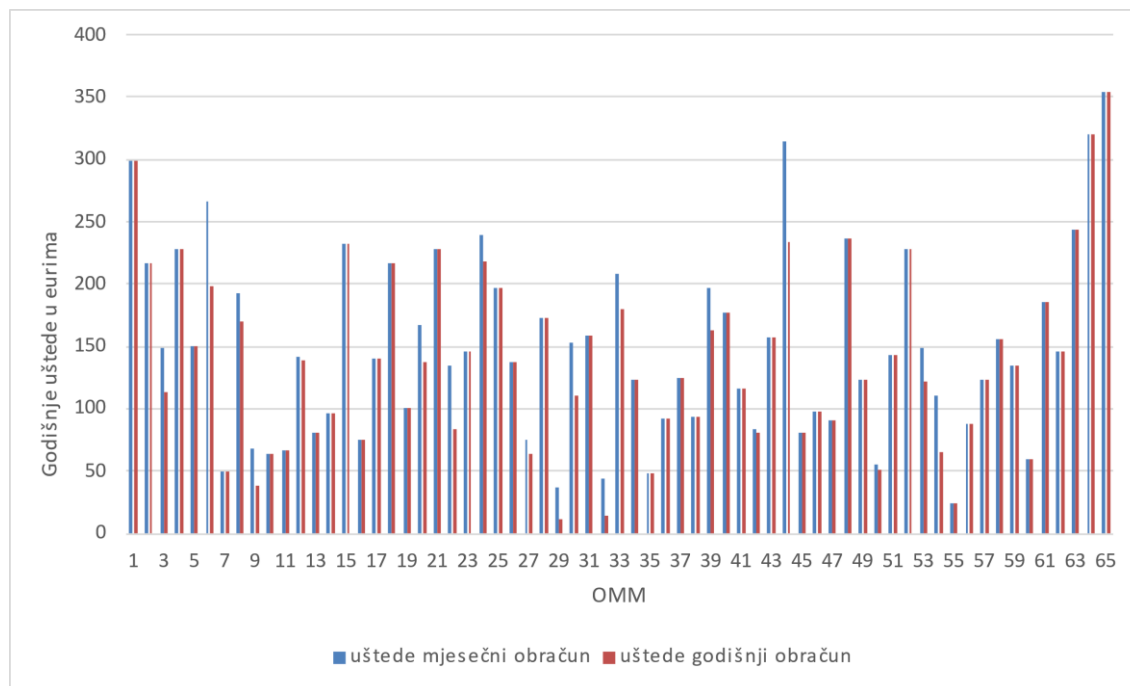
Sl. 2-68: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM

Period povrata investicije za sva OMM uključena u shemu dijeljenja iznosi manje od 5 godina.



Sl. 2-69: Period povrata investicije pojedinog OMM

Ukoliko se za istu shemu dijeljenja napravi analiza kao i Vukovaru uzimajući u obzir proračun na godišnjoj razini, bez detaljnije razrade na mjesečnoj razini, vidljivo je da korisnici kod mjesečnog obračuna imaju kraći period povrata investicije i niže troškove.



Sl. 2-70: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM

Kod mjesečnog obračuna netiranje se radi na mjesečnoj razini, tj. računa se razlika ukupne mjesečne potrošnje u pojedinoj tarifi i dodijeljene proizvedene energije za promatrano OMM. U godini se radi 12 obračuna prema kalendarskim mjesecima. Samoopskrba s mjesečnim obračunom je trenutno u primjeni u Republici Hrvatskoj.

Ako je na kraju obračunskog razdoblja količina električne energije isporučene u mrežu u pojedinoj tarifi veća od preuzete, isporučeni višak električne energije opskrbljivač preuzima po cijeni u dvotarifnom sustavu (2-5)-(2-6), odnosno u jednotarifnom sustavu (2-7):

$$CiVT = 0,8 * CpVT \text{ za } VT \quad (2-5)$$

$$CiNT = 0,8 * CpNT \text{ za } NT \quad (2-6)$$

$$CiJT = 0,8 * CpJT \quad (2-7)$$

Za izračun otkupne cijene u obzir se uzima cijena električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja.

Razlog za proračune ušteda i perioda povrata investicije temeljem godišnjeg obračuna je nedostatak podataka o potrošnji OMM na mjesečnoj razini. Iz slike gore (sl. 2-70) je vidljivo da iako razlike u godišnjim uštedama postoje, one nisu značajne i svakako ne

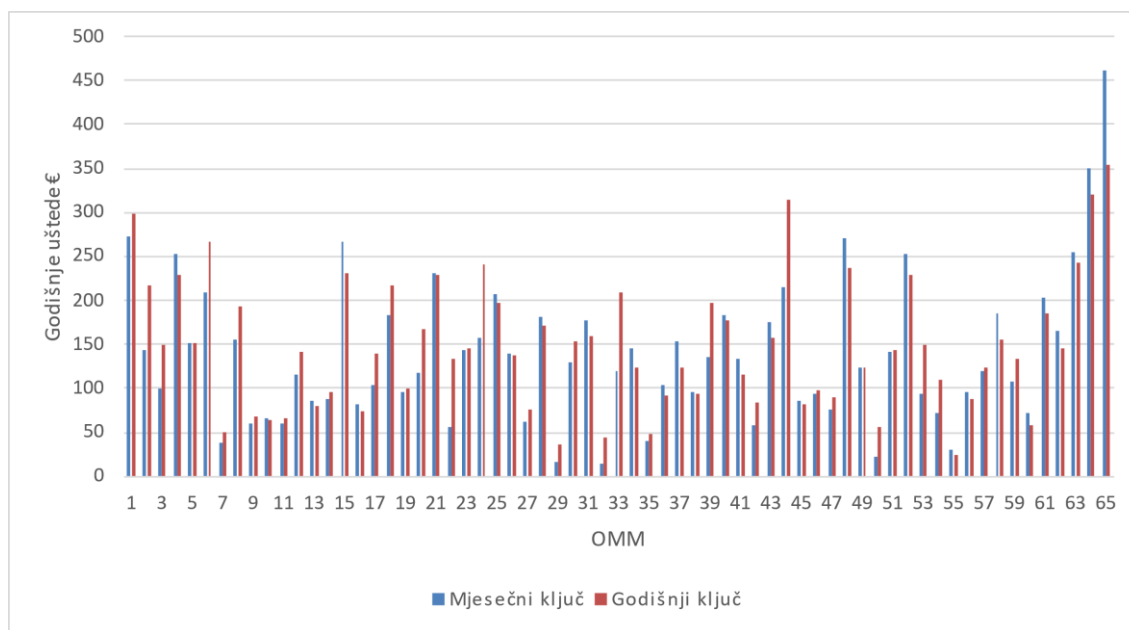
bi trebale imati utjecaj na odluku članova samoopskrbe višestambene zgrade o investiciji u solarnu elektranu.

Mjesečni ključ

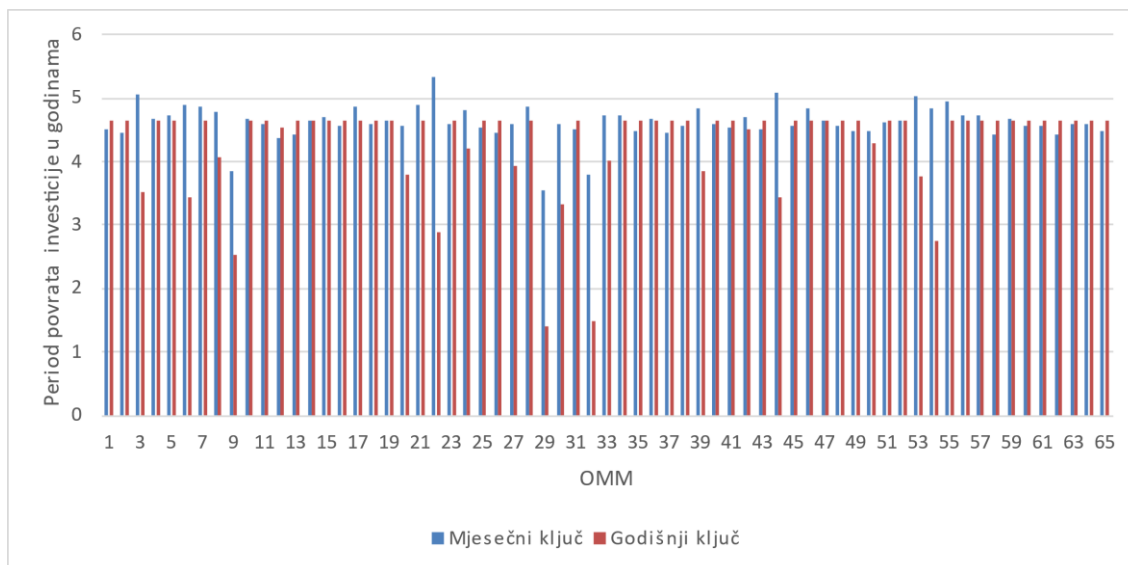
Modeliran je i primjer ključa dijeljenja koji se mijenja na mjesečnoj razini. Svakom OMM dodjeljuje se proizvedena električna energija čiji je udio u ukupnoj proizvedenoj energiji jednak udjelu potrošnje promatranog OMM u ukupnoj potrošnji svih OMM-ova u tom mjesecu. Udio u investiciji za pojedino OMM računa se kao prosječna vrijednost ključeva tijekom promatranih 12 mjeseci.

Na slici (sl. 2-71) su prikazane usporedbe financijskih ušteda u računu za električnu energiju prilikom korištenja mjesečnog ključa i godišnjeg ključa.

Iz slike je vidljivo da su periodi povrata investicije za većinu OMM jednaki za oba slučaja.



Sl. 2-71: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM (mjesečni i godišnji ključ)



Sl. 2-72: Period povrata investicije pojedinog OMM (mjesečni i godišnji ključ)

ZAKLJUČAK: Na temelju provedenih proračuna može se zaključiti da ne postoji značajna razlika u periodu povrata investicije između mjesečnog ključa koji se mijenja kontinuirano tijekom godine te godišnjeg ključa koji je stalan. Zbog jednostavnosti komunikacije i izmjene podataka između ODS-a, opskrbljivača te predstavnika SAK-a i samoopskrbe višestambene zgrade preporuča se definiranje statičkog godišnjeg ključa dijeljenja koji se treba revidirati uspoređujući ga s podacima na kraju kalendarske godine.

Ukoliko svaki član samoopskrbe višestambene zgrade investira jednaki iznos u solarnu elektranu te se svakom dodjeljuje jednaka količina proizvedene električne energije, zbog niske cijene po kojoj opskrbljivač otkupljuje višak električne energije krajnji kupci s malom potrošnjom imat će vrlo dug i nepovoljan period povrata investicije. Ovaj ključ se preporuča jedino ako je višak električne energije moguće prodati unutar višestambene zgrade. Zbog neplaćanja mrežarina na tu energiju i mogućnosti dogovora cijene koja svima odgovara, i krajnji kupci s viškom energije i krajnji kupci s manjkom energije će profitirati. Ukoliko sve viškove otkupljuje opskrbljivač i dodatna raspodjela energije unutar zgrade nije moguća, ovakav ključ nije isplativ.

Ukoliko OMM nisu dio samoopskrbe višestambene zgrade, već su članovi skupnog aktivnog kupca te su kao takvi kupci s vlastitom proizvodnjom, detaljnije proračune moguće je raditi jedino primjenom nadomjesnih krivulja opterećenja, odnosno translacijom mjesečne potrošnje u 15min intervale zato što nisu dostupna mjerenja na 15min intervalu za sve stanove u višestambenim zgradama. Za kupce kategorije kućanstvo HEP ODS kreira na mjesečnoj razini nadomjesne krivulje opterećenja kako je opisano u [1]. Nadomjesne krivulje opterećenja normiraju se na godišnju Potrošnju obračunskog mjernog mjesta u iznosu od 1.000 kWh. Podaci o izmjerenoj mjesečnoj

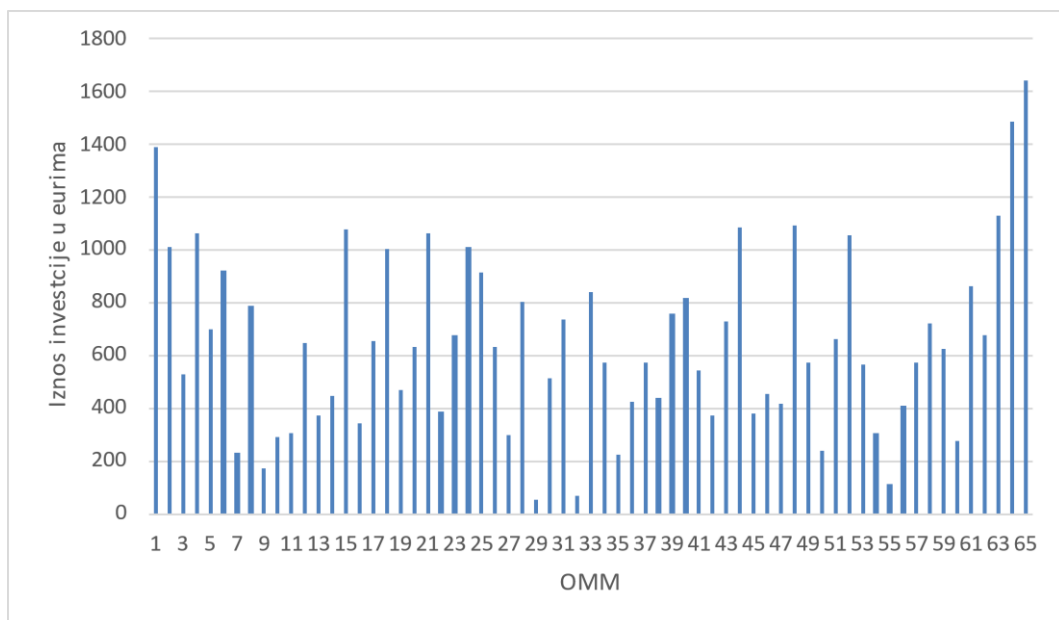
potrošnji zgrade u Splitu sumirani su na godišnju razinu te skalirani na 15min interval za promatrani period od 12 mjeseci. Kod kategorije kupca s vlastitom proizvodnjom nema netiranja na mjesečnoj razini. To znači da se u svakom 15-min intervalu promatra da li je električna energija preuzeta iz mreže ili predana u mrežu. Za energiju predanu u mrežu utvrđuje se minimalna vrijednost električne energije C_i u obračunskom razdoblju i na sljedeći način (2-8) i (2-9):

$$C_i = 0,9 * PKC_i, \text{ ako za obračunsko razdoblje } i \text{ vrijedi } E_{pi} \geq E_{ii} \quad (2-8)$$

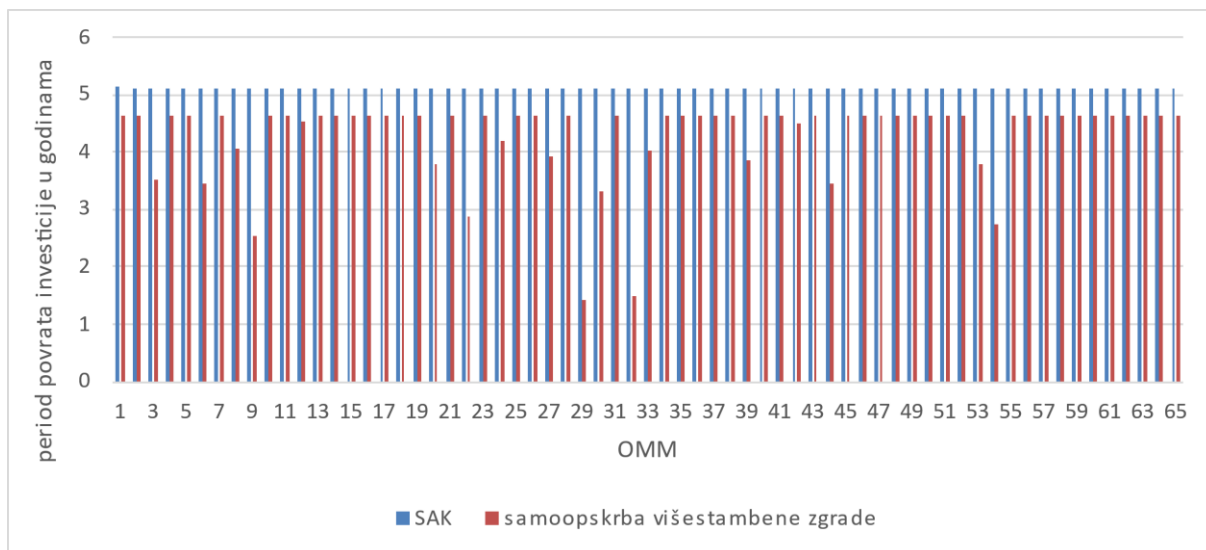
$$C_i = 0,9 * PKC_i * \frac{E_{pi}}{E_{ii}}, \text{ ako za obračunsko razdoblje } i \text{ vrijedi } E_{pi} < E_{ii} \quad (2-9)$$

U proračunima SAK-a promatran je fiksni proporcionalni ključ. Ključ je definiran na temelju udjela godišnje potrošnje pojedinog OMM u ukupnoj godišnjoj potrošnji svih OMM i ne mijenja se tijekom cijelog promatranog razdoblja. U svakom 15-min intervalu pojedino OMM dobije jednak udio od ukupne proizvedene električne energije iz promatrane solarne elektrane.

Postoje neznajne razlike u troškovima električne energije bez solarnih panela kod SAK i samoopskrbe višestambene zgrade upravo zbog navedenog skaliranja. Na slici (sl. 2-73) su prikazani iznosi investicije za svako OMM koji su izračunati na temelju udjela pojedine godišnje potrošnje u ukupnoj potrošnji svih OMM-ova.



Sl. 2-73: Iznosi investicije za pojedina OMM



*Sl. 2-74: Usporedba vremena povrata investicije za SAK
i samoopskrbu višestambene zgrade*

Cilj ove analize je usporediti vrijeme povrata investicije za samoopskrbu višestambene zgrade te vrijeme povrata investicije kod skupnog aktivnog kupca. Razlika je u tipu obračuna, odnosno kod SAK-a ne postoji mjesečno netiranje. Na temelju dobivenih mjerenih podataka koji su skalirani na 15 min razinu vidljivo je da je vrijeme povrata investicije kod SAK-a duže u odnosu na višestambenu zgradu, međutim za većinu OMM riječ je samo o nekoliko mjeseci. S obzirom na to da su uštede proporcionalne i iznosu investicije, može se vidjeti da sva OMM uključena u SAK imaju sličan period povrata investicije koji iznosi oko 5 godina.

ZAKLJUČAK:

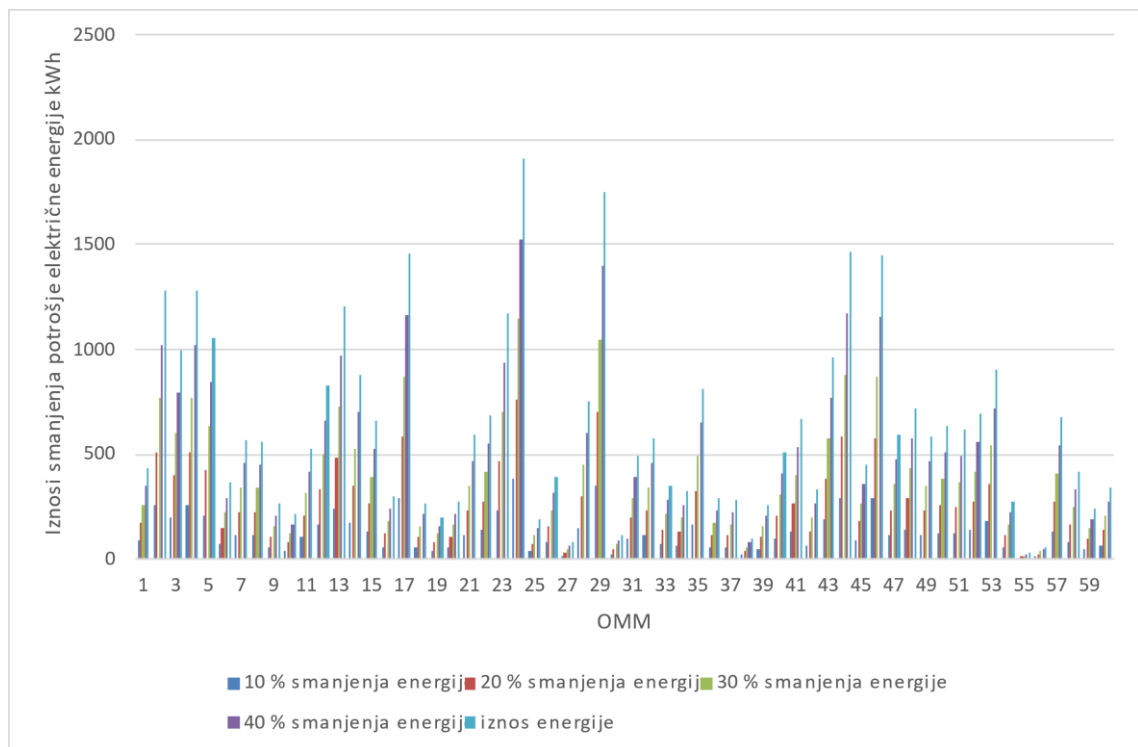
Iako je uvijek brži period povrata investicije za samoopskrbu višestambene zgrade, samo kod 12 OMM od njih ukupno 65 taj se period razlikuje za više od godine dana.

2.8. MODELIRANJE POTENCIJALA ZA PRUŽANJE USLUGE FLEKSIBILNOSTI/UPRAVLJANJE POTROŠNJOM NA RAZINI ZGRADE

Na temelju dostupnih podataka napravljena su dva modela upravljanja potrošnjom električnom energijom na razini višestambene zgrade. Prvi model podrazumijeva smanjenje potrošnje električne energije, dok drugi model podrazumijeva pomicanje potrošnje iz perioda visoke tarife u period niske tarife.

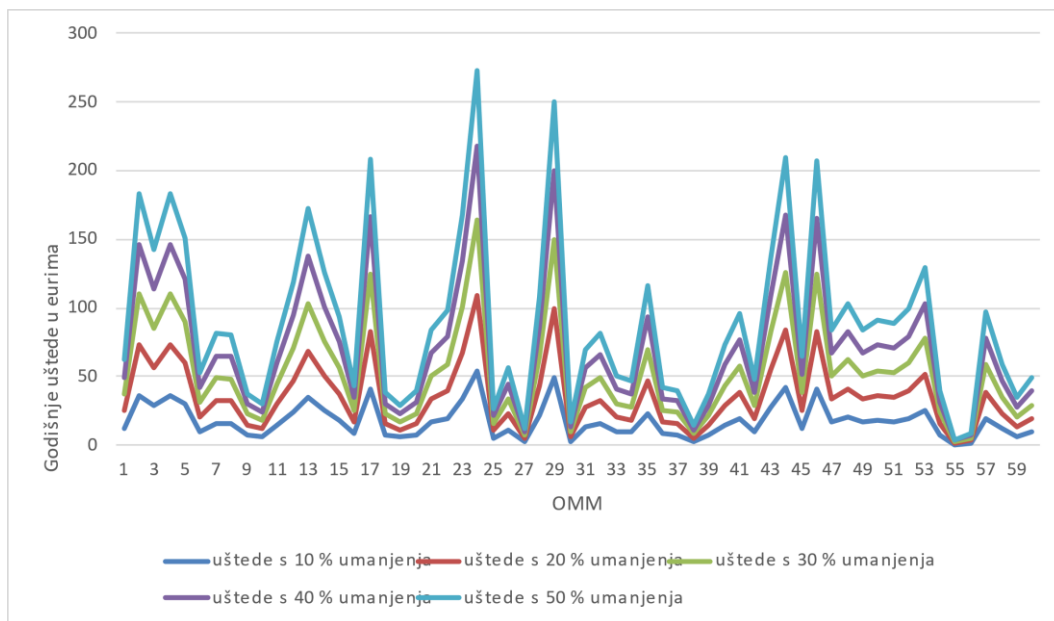
Rezultati prvog modela pokazuju energetske i financijske uštede prilikom smanjenja potrošnje u iznosu 10%, 20%, 30%, 40% i 50 %.

Na slici (sl. 2-75) su prikazani iznosi energije na godišnjoj razini koji su umanjeni za vrijeme trajanja VT.



Sl. 2-75: Iznosi energije na godišnjoj razini koji su umanjeni za vrijeme trajanja VT

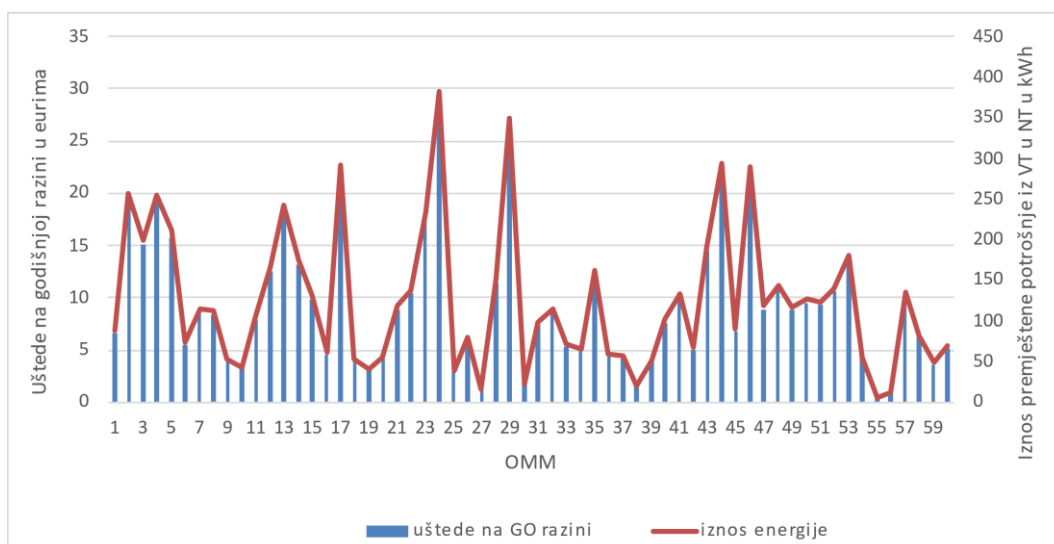
Godišnje uštede prilikom smanjenja određenog postotka potrošnje energije prikazani su na slici (sl. 2-76).



Sl. 2-76: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM

Rezultati drugog modela pokazuju financijske uštede na godišnjoj razini za sva OMM prilikom pomicanja potrošnje u iznosu 10%, 20%, 30%, 40% i 50 % iz perioda VT u NT.

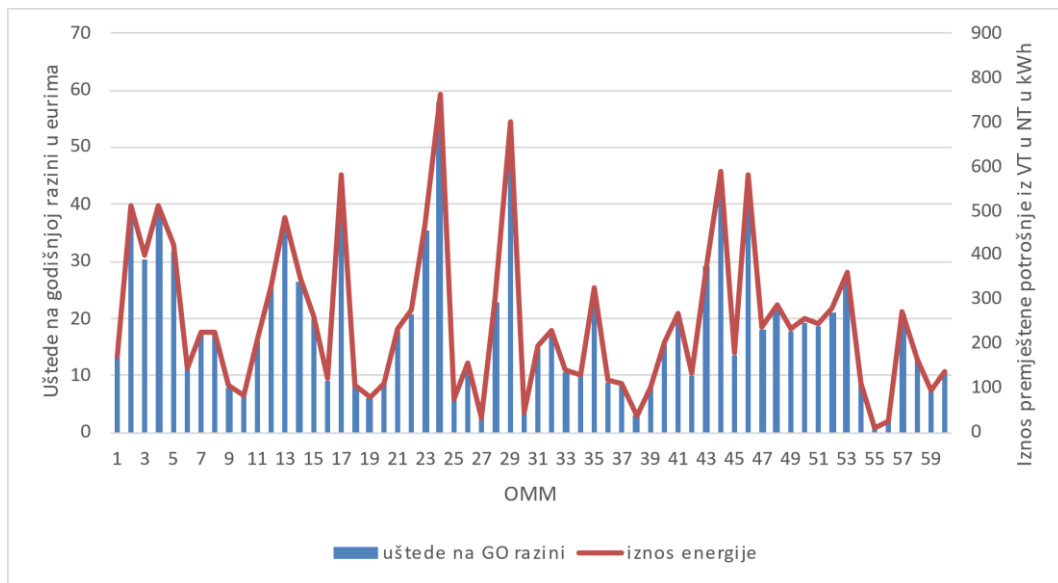
Na slici (sl. 2-77) su prikazane godišnje uštede za OMM u promatranoj zgradi HR-32000-0095-1 u Vukovaru te iznos potrošnje koji je pomknut na godišnjoj razini iz VT u NT (riječ je o 10% potrošnje VT).



Sl. 2-77: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM (10% potrošnje VT)

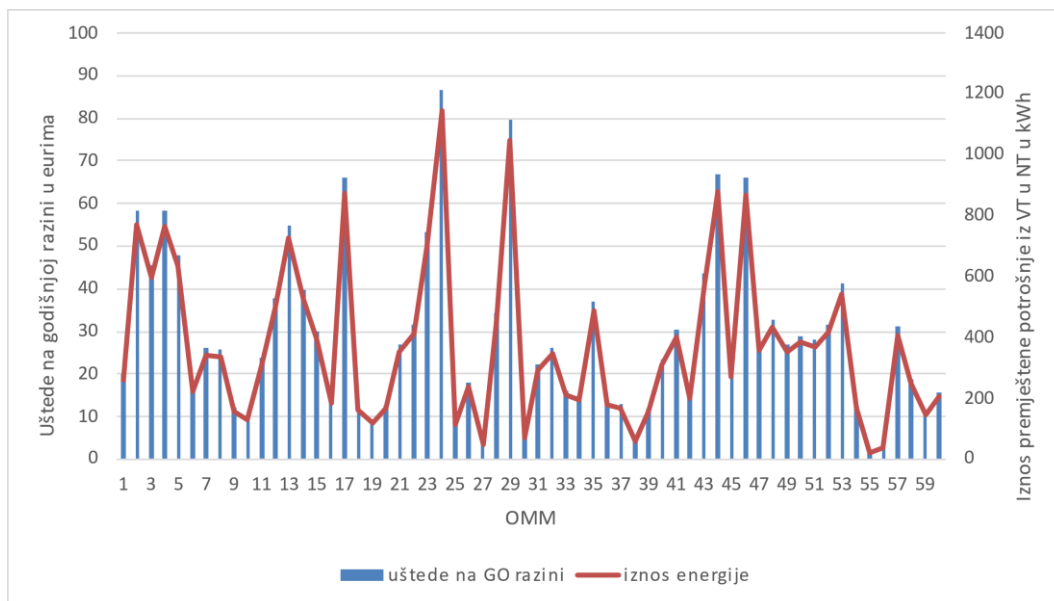
Iz slike je vidljivo da godišnje pomicanje potrošnje u iznosu 380 kWh iz perioda VT u period NT može donijeti i do 30 eura uštede, odnosno 4,6 % u odnosu na trošak električne energije bez upravljanja potrošnjom.

Na slici (sl. 2-78) su prikazane godišnje uštede za OMM u promatranoj zgradi HR-32000-0095-1 u Vukovaru te iznos potrošnje koji je pomaknut na godišnjoj razini iz VT u NT (riječ je o 20% potrošnje VT).



Sl. 2-78: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM (20% potrošnje VT)

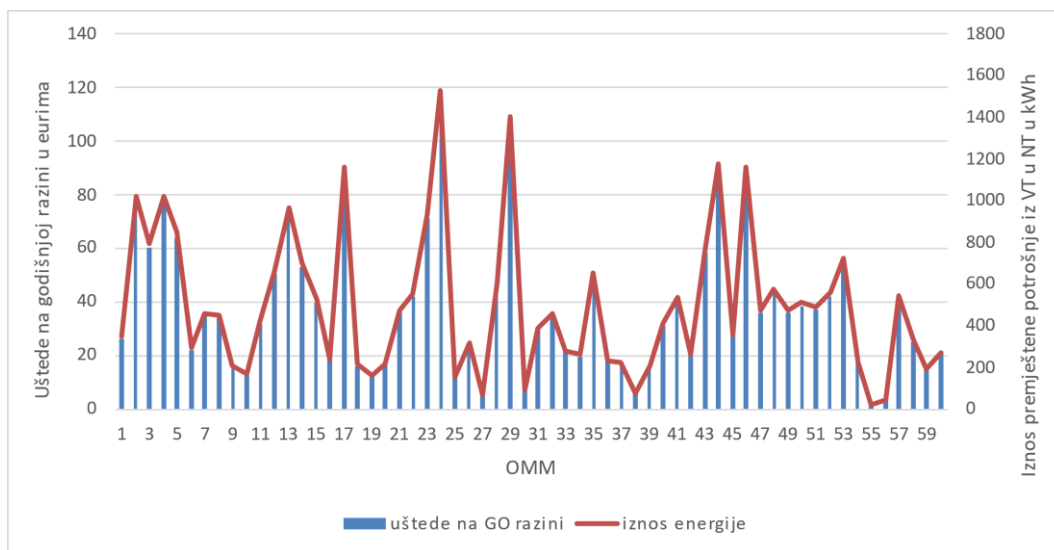
Iz slike je vidljivo da godišnje pomicanje potrošnje u iznosu 800 kWh iz perioda VT u period NT može donijeti i do 60 eura uštede, odnosno 9 % u odnosu na trošak električne energije bez upravljanja potrošnjom.



Sl. 2-79: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM (30% potrošnje VT)

Na slici (sl. 2-79) su prikazane godišnje uštede za OMM u promatranoj zgradi HR-32000-0095-1 u Vukovaru te iznos potrošnje koji je pomkanut na godišnjoj razini iz VT u NT (riječ je o 30% potrošnje VT).

Iz slike je vidljivo da godišnje pomicanje potrošnje u iznosu 1100 kWh iz perioda VT u period NT može donijeti i do skoro 90 eura uštede, odnosno 13,4 % u odnosu na trošak električne energije bez upravljanja potrošnjom.

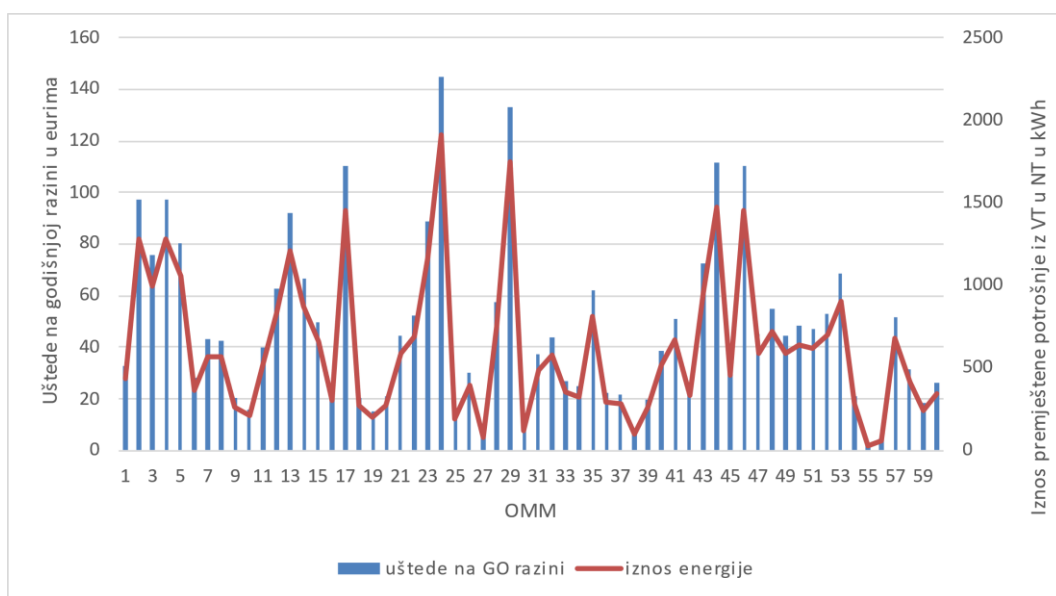


Sl. 2-80: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM (40% potrošnje VT)

Na slici (sl. 2-80) su prikazane godišnje uštede za OMM u promatranoj zgradi HR-32000-0095-1 u Vukovaru te iznos potrošnje koji je pomkanut na godišnjoj razini iz VT u NT (riječ je o 40% potrošnje VT).

Na slici su prikazane godišnje uštede za OMM u promatranoj zgradi HR-32000-0095-1 u Vukovaru te iznos potrošnje koji je pomkanut na godišnjoj razini iz VT u NT (riječ je o 50% potrošnje VT).

OMM s velikom potrošnjom mogu na godišnjoj razini uštedjeti čak i do 140 eura ukoliko se kumulativno 2000 kWh umjesto u VT potroši u NT. Na dnevnoj razini riječ je o prosječno 5,4 kWh električne energije što bi se moglo postići korištenjem kućnog baterijskog spremnika prosječnog kapaciteta 4-5 kWh. Cijene baterija od 5 kWh kreću se oko 2 800 eura [2] što bi značilo da je period povrata investicije za takav proizvod (ukoliko se gledaju maksimalne godišnje uštede od 140 eura) 20 godina. Ugradnja baterijskog spremnika koji se koristi samo za pomicanje potrošnje iz VT u NT nije isplativa.



Sl. 2-81: Novčane uštede na godišnjoj razini pojedinog OMM (50% potrošnje VT)

2.9. PODATCI O UVJETIMA KOMFORA U STANOVIMA (UNUTARNJI KLIMATSKI UVJETI)

2.9.1. Toplinska ugodnost

Sukladno normi HRN ISO 7730, toplinska ugodnost definirana je kao stanje svijesti koje izražava zadovoljstvo toplinskim stanjem okoliša. Osjećaj ugodnosti je individualan, stoga ne postoji neki određen skup stanja okoliša koji bi bio jednako doživljen kod svih osoba. Ugodnost je skup veličina stanja okoliša u kojem postotak nezadovoljnih ne prelazi određenu vrijednost. Osnovni čimbenici koji utječu na toplinsku ugodnost za vrijeme boravka osoba u nekom prostoru su:

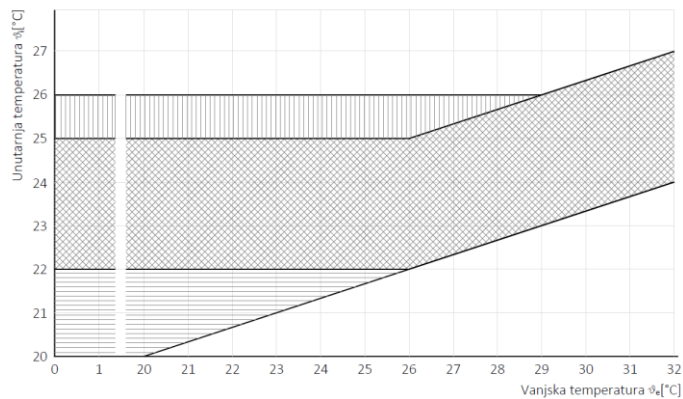
- 1) Temperatura zraka
- 2) Temperatura ploha prostora
- 3) Vlažnost zraka
- 4) Strujanje zraka (brzina, smjer)
- 5) Stupanj odjevenosti
- 6) Stupanj fizičke aktivnosti
- 7) Ostali čimbenici (kvaliteta zraka, namjena prostora, buka i dr.) (Balen, I. i dr., 2010.)

Temperaturu zraka pri kojoj se čovjek najugodnije osjeća nije moguće jednoznačno odrediti, jer ugodnost zavisi od velikog broja drugih okolnosti, a naročito od srednje temperature okolnih površina. Primjerice, ako je zimi temperatura ploha relativno niska spram temperature zraka u prostoriji, osobe u prostoriji mogu osjećati neugodu. Vlažnost zraka je također važan čimbenik toplinske ugodnosti pa tako preniska vlažnost zraka zimi u grijanim prostorijama može dovesti do neugodnog osjećaja „suhog” zraka, dok ljeti pri visokim temperaturama zraka i prevelike relativne vlažnosti osjećaj neugodnosti stvara nemogućnost prirodnog hlađenja ishlapljivanjem vlage s površine kože. Također, s povećanjem brzine strujanja zraka, temperatura zraka koja djeluje na čovjeka postaje sve utjecajniiji faktor toplinske ugodnosti (propuh). Količina odjeće koju čovjek ima na sebi utječe na izmjenu topline s okolinom te stoga isto utječe na toplinsku ugodnost, kao i razina fizičke aktivnosti o kojoj ovisi količina topline koju proizvodi ljudski metabolizam.

Čak i kad su svi prethodno navedeni faktori toplinske ugodnosti zadovoljeni, može se pojaviti osjećaj neugodnosti zbog loše kvalitete zraka (prašina, plinovi i pare, smanjeni sadržaj kisika, itd.) ili visoke razine buke.

Temperatura zraka osnovi je čimbenik toplinske ugodnosti. Projektna unutarnja temperatura za sustav grijanja za stambene prostore iznosi 20 °C (za kupaonicu 24 °C). Prema DIN 1946, preporučena temperatura zraka u prostoriji ovisi o

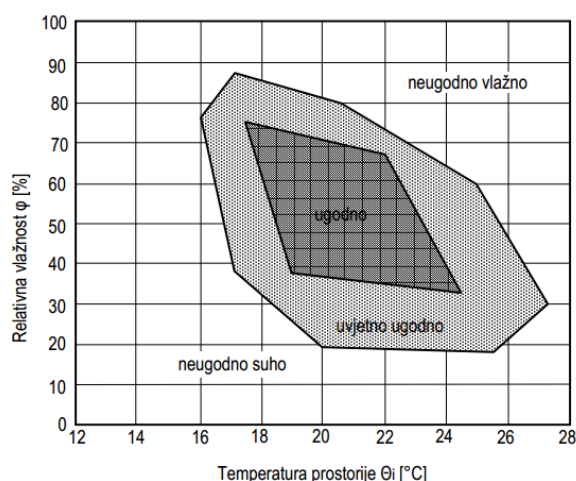
temperaturi vanjskog zraka (sl. 2-82), a u relativno širokom rasponu temperatura vanjskog zraka temperature od 22 do 25 °C mogu se smatrati ugodnima.



Sl. 2-82: Odnos temperature okoline i prostorije u smislu ugodnosti

Viša temperatura ljeti uvjetovana je prevelikom razlikom temperatura unutarnjeg prostora i vanjskog okoliša koji može prouzročiti temperaturni šok organizma. Za vrijeme visokih ljetnih vanjskih temperatura ljudi su lagano odjeveni i već kratkotrajnim boravkom u rashlađenim prostorijama od 22 °C, ta će temperatura biti niska.

Hlađenje ljudskog tijela dijelom se vrši ishlapljivanjem vlage s površine kože pa je i **relativna vlažnost zraka** jedan od čimbenika toplinske ugodnosti. Naime, relativna je vlažnost omjer apsolutne vlažnosti i maksimalne apsolutne vlažnosti pri istom tlaku i temperaturi te zrak veće relativne vlažnosti može primiti manje vlage no zrak manje relativne vlažnosti. Preporučuje se stoga održavanje relativne vlažnosti u prostoru između 35 i 60 % za temperature zraka 20 do 22 °C (sl. 2-83).



Sl. 2-83: Utjecaj vlage i temperature na ugodu u prostoru

Niže vrijednosti relativne vlažnosti (niže od 35 %), kakve se mogu javiti u prostoru u sezoni grijanja, dovode do osjećaja “suhog” zraka što nije prihvatljivo u smislu ugodnosti. U uvjetima visoke relativne vlažnosti (preko 60 %), smanjuje se mogućnost hlađenja tijela ishlapljivanjem što dovodi također do osjećala nelagode, a stvaraju se i uvjeti za orošavanje ploha te razvoj gljivica i plijesni.

Prostore u kojima borave ljudi potrebno je redovito **provjetravati** kako bi se održala potrebna kvaliteta zraka. Broj potrebnih izmjena zraka u jedinici vremena određuje se prema namjeni prostorije, broju osoba i izvoru onečišćenja. Prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, kod stambenih zgrada broj izmjena unutarnjeg zraka s vanjskim zrakom u kojoj borave ili rade ljudi treba iznositi najmanje $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ a mora biti i veći u pojedinim dijelovima zgrade da se ne ugrozi higijena i zdravstveni uvjeti, i/ili zbog uporabe uređaja za grijanje i/ili kuhanje s otvorenim plamenom. Prema DIN 1946, dio 6., za stambene je prostorije površine 50 do 80 m² potrebno dovesti 90 m³/h svježeg zraka.

Ako je jedini izvor onečišćenja zraka u prostoriji čovjek, ono je posljedica disanja – fiziološkog procesa u kojem se apsorbira molekularni kisik (O₂), a izlučuje **ugljični dioksid (CO₂)**. Vanjski zrak sadrži približno 400 ppm ugljičnog dioksida (u gradovima su moguće i veće koncentracije), a disanjem se stvara dodatni CO₂ pa će njegova koncentracija u zatvorenom prostoru obično veća i ovisit će o broju i aktivnosti osoba koje u njemu borave (tab. 2-36).

Tab. 2-36: Količina CO₂ koju odaje osoba ovisno o razini aktivnosti

Aktivnost	Razina aktivnosti	Količina CO ₂ koju odaje osoba V _{CO2} , lh
Lakši sjedeći rad	I.	15
Lagani stojeći ili sjedeći rad	II.	23
Teži rad	III.	30

Maksimalna koncentracija CO₂ bez štetnih posljedica na zdravlje kod dugotrajnog izlaganja na radnom mjestu (8 sati) prema podacima Njemačke istraživačka fondacije (Deutsche Forschungsgemeinschaft – DFG) iznosi 5000 ppm. No, u stambenim prostorijama, u kojima osobe provode više vremena, prihvatljive koncentracije CO₂ su niže pa se radi osiguranja odgovarajuće kvalitete zraka preporuča održavati koncentraciju CO₂ u prostorijama nižu od 1000 ppm dok koncentracija veća od 1500 ppm ukazuje na lošu kvalitetu zraka.

2.9.2. Mjerenje i prikupljanje podataka o uvjetima komfora u stanovima

U sklopu pilot projekta, prikupljaju se podatci o uvjetima komfora u stanovima (unutarnji klimatski uvjeti). U svakoj zgradi, u nekoliko stanova (tab. 2-37), ugrađeni su lokalni

mjerni uređaji s osjetnicima temperature, tlaka i relativne vlažnosti zraka te koncentracije CO₂, VOC, PM_{2,5}, PM₁₀ i formaldehid.

Tab. 2-37: Broj stanova u kojima su ugrađeni lokalni mjerni uređaji za mjerenje i prikupljanje podataka o uvjetima komfora

Red. br. (APN)	ID zgrada (ISGE)	Grad	Vrsta	Stanovi	Poslovni prostori	Stanovi s mjernim uređajima	Početak mjerenja
1	HR-32000-0101-0	Vukovar	stambeno-poslovna	25	3	3	1.9.23.
2	HR-32000-0100-0	Vukovar	stambena	44	-	6	1.9.23.
3	HR-32000-0096-1	Vukovar	stambeno-poslovna	38	2	6	1.9.23.
4	HR-32000-0097-1	Vukovar	stambeno-poslovna	28	1	7	1.9.23.
5	HR-32000-0095-1	Vukovar	stambena	71	-	6	1.9.23.
6	HR-32000-0099-0	Vukovar	stambena	40	-	6	1.9.23.
7	HR-10410-0327-1	Velika Gorica	stambeno-poslovna	107	7	5	1.10.23.
8	HR-21000-0567-1	Split	stambena	68	-	5	1.6.24.
9	HR-21000-0568-1	Split	stambena	68	-	5	1.6.24.
10	HR-10000-3301-1	Zagreb	stambena	84	-	5	1.4.24.
11	HR-10000-3296-1	Zagreb	stambeno-poslovna	38	4	5	1.4.24.
12	HR-51000-0358-1	Rijeka	stambeno-poslovna	100	1	5	-
13	HR-51000-0357-1	Rijeka	stambena	100	-	5	-

Mjerni uređaji (sl. 2-84) postavljeni su u prostorijama u kojima korisnici najčešće i najdulje borave (dnevni boravak).



Sl. 2-84: Lokalni mjerni uređaji za mjerenje i prikupljanje podataka o uvjetima komfora u stanovima

Analizirani su podatci za 11 zgrada. Mjerenje i bilježenje podataka za zgrade u Vukovaru započelo u rujnu 2023., u Velikoj Gorici u listopadu 2023., u Zagrebu u travnju 2024., a u Splitu u lipnju 2024. godine. Analizom su obuhvaćena mjerenja zaključno sa sredinom veljače 2025.

Uređaji imaju mogućnost daljinskog očitavanja te se izmjerene vrijednosti dostavljaju u ISGE u petnaestominutnom razdoblju. Provedena je analiza izmjerenih vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka te koncentracije CO₂.

S obzirom na to da mjerenje u svim zgradama nije započelo u isto vrijeme, analiziran je period od završetka ogrjevnog sezone 2023/24, odnosno kad su u većini zgrada već bila ugrađena mjerila i započeo je prijenos podataka u ISGE. Analizirano je razdoblje izvan ogrjevnog sezone i razdoblje ogrjevnog sezone prema podacima opskrbljivača toplinskom energijom:

- U Vukovaru je ogrjevna sezona 2023/2024 prestala 29.4.2024., a ogrjevna sezona 2024/2025 započela 11.10.2024. i trajala do 22.4.2025.
- U Zagrebu i Velikoj Gorici je ogrjevna sezona 2023/2024 prestala 14.5.2024., a ogrjevna sezona 2024/2025 započela 3.10.2024. i trajala do 18.5.2025.

Za zgrade u Splitu pretpostavljeno je da ogrjevna sezona traje od 15.10. prethodne do 15.4. iduće godine.

2.9.2.1. Temperatura zraka

Temperatura unutarnjeg zraka pod utjecajem je okoline (temperatura vanjskog zraka, Sunčevo zračenje), položaja, odnosno orijentacije stana u zgradi, korištenja sustava grijanja i hlađenja te načina korištenja prostora (boravak osoba u stanu, prozračivanje, korištenje zaštite od Sunca, kuhanje, sušenje rublja, itd.).

Temperatura vanjskog zraka mijenja se tokom godine i dana. Godišnji hod ovisi o položaju Zemlje prema Suncu, geografskom položaju mjesta te o klimatskim promjenama. U našim geografskim širinama u prosjeku je najhladniji mjesec siječanj, a najtopliji srpanj. Promjena temperature tijekom dana naziva se dnevni hod temperature zraka. Dnevni hod ovisi o dobu dana i veličini i vrsti naoblake i može se znatno promijeniti pri naglim prodorima toploga ili hladnoga zraka ili pri termički jako izraženim vjetrovima. No, u najvećem broju dana tokom godine, temperatura je najniža nešto poslije izlaza Sunca, a najviša nešto poslije njegovog zenitnog položaja.

Tokom ogrjevnog sezone unutarnje temperature zraka pod utjecajem su rada sustava grijanja. Također, dio stanova ima ugrađen i sustav hlađenja, najčešće u vidu jednog sobnog rashladnog uređaja smještenog u dnevnoj sobi. S obzirom na to da je mjerni uređaj također postavljen u dnevnoj sobi, vidljiv je i utjecaj rada rashladnih uređaja na temperaturu unutarnjeg zraka.

U tablici tab. 2-38 prikazana je prosječna izmjerena temperatura zraka u stanovima u ogrjevnog sezoni i izvan nje (prijelazni period i rashladna sezona).

Tab. 2-38: Prosječna temperatura zraka u stanovima

Red. br. (APN)	ID zgrada (ISGE)	Grad	Godina izgradnje	Godina obnove	Godina energetske obnove	Prosječna temperatura zraka u stanovima u ogrjevnj sezoni (avg / min / max)			Prosječna temperatura zraka u stanovima van ogrjevnj sezone (avg / min / max)		
						°C	°C	°C	°C	°C	°C
-	-	-	-	-	-						
1	HR-32000-0101-0	Vukovar	1971.	2004.	2018.	22,0	21,6	22,5	25,0	24,4	25,6
2	HR-32000-0100-0	Vukovar	1964.	2004.	-	19,8	18,6	22,7	25,3	23,8	26,6
3	HR-32000-0096-1	Vukovar	1971.	2004.	2024.	22,9	21,6	24,1	25,4	24,1	26,5
4	HR-32000-0097-1	Vukovar	1972.	2004.	2024.	21,7	18,4	22,9	26,1	25,6	26,6
5	HR-32000-0095-1	Vukovar	1966.	1998.	-	22,2	20,3	23,6	25,2	24,0	25,9
6	HR-32000-0099-0	Vukovar	1953.	2004.	2018.	21,7	19,3	22,6	25,0	24,2	25,6
7	HR-10410-0327-1	Velika Gorica	1975.	-	2018.	22,1	19,2	24,0	26,4	25,2	27,8
8	HR-21000-0567-1	Split	1972.	-	2024.	21,5	20,7	22,4	26,3	25,8	26,8
9	HR-21000-0568-1	Split	1972.	-	-	21,7	19,3	22,8	27,0	26,1	27,8
10	HR-10000-3301-1	Zagreb	1970.	-	-	22,7	22,1	23,4	26,4	25,7	27,2
11	HR-10000-3296-1	Zagreb	1999.	-	-	23,1	22,3	24,0	26,8	26,1	27,3

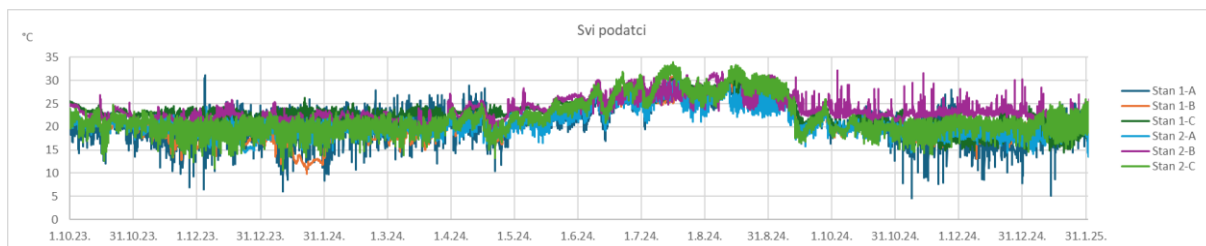
Napomena:

Zelenom i crvenom bojom su osjenčane minimalne i maksimalne prosječne vrijednosti za sve stanove u pojedinoj zgradi u kojoj se provodi mjerenje, a crvenom bojom su istaknute prosječne izmjerene temperature u pojedinim stanovima koje su izvan raspona vrijednosti koje se mogu smatrati ugodnim (22-25 °C).

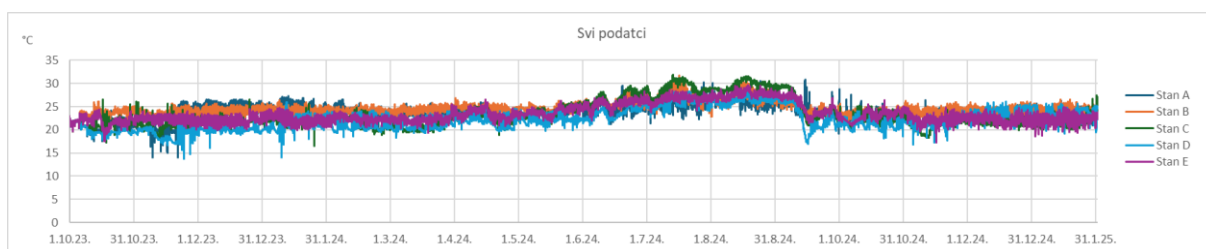
Prosječne temperature zraka u stanovima u ogrjevnj su sezoni niže no izvan ogrjevnj sezone i kreću se u rasponu od 18,4 °C do 24,1 °C. Izvan ogrjevnj sezone, temperature su u rasponu od 23,8 do 27,8 °C.

Najniža prosječna temperatura zraka u svim stanovima u ogrjevnj sezoni izmjerena je u neobnovljenoj zgradi u Vukovaru (19,8 °C), a najviša u neobnovljenoj zgradi u Zagrebu (prosječno u svim stanovima 23,1 °C). Najviša prosječna temperatura zraka u svim stanovima izvan ogrjevnj sezone izmjerena je u neobnovljenoj zgradi u Splitu (27,0 °C), a najniža u obnovljenoj zgradi u Vukovaru (25,0 °C).

Iz izmjerenih vrijednosti temperature zraka vidljive su razlike u individualnom osjećaju toplinske ugodnosti korisnika koje se odražavaju kroz razlike u ostvarenim temperaturama zraka u stanovima u ogrjevnj i rashladnoj sezoni. U nekim zgradama one su izraženije (sl. 2-85), a u nekima manje izražene (sl. 2-86).

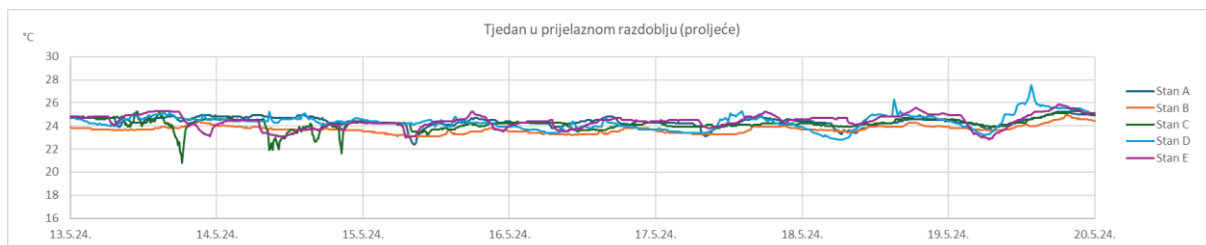


Sl. 2-85: Primjer zgrade u Vukovaru (HR-32000-0100-0) u kojem su zabilježene veće razlike u temperaturama zraka u stanovima



Sl. 2-86: Primjer zgrade u Vukovaru (HR-32000-0096-1) u kojem su zabilježene manje razlike u temperaturama zraka u stanovima

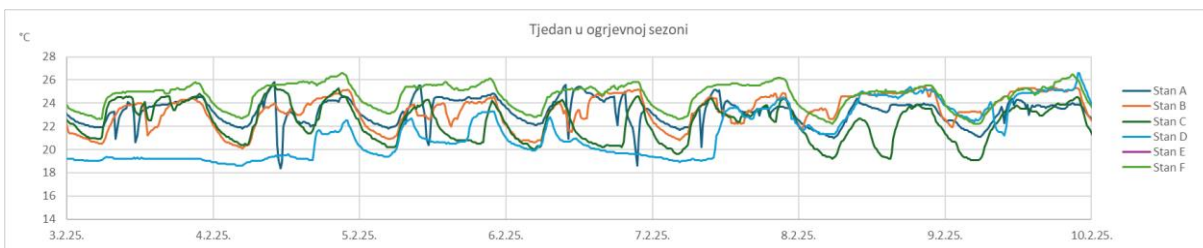
Izvan ogrjevne i rashladne sezone nema utjecaja sustava grijanja i hlađenja pa su temperature uglavnom ujednačenije (sl. 2-87).



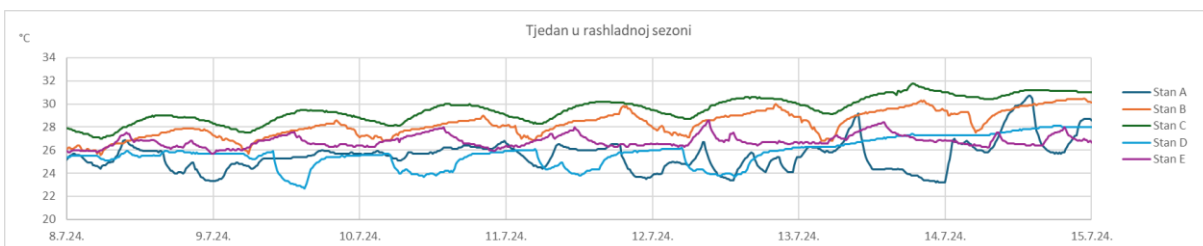
Sl. 2-87: Temperature zraka u stanovima u tjednu prijelaznog razdoblja u zgradi u Zagrebu (HR-10000-3296-1)

Razlike u temperaturi u prijelaznom razdoblju stoga su uglavnom posljedica preostalih utjecajnih faktora, a dnevni hod unutarnje temperature zraka uglavnom prati dnevni hod vanjske temperature zraka.

Tokom ogrjevne sezone, u zgradama s noćnim prekidom grijanja, u stanovima koji se neprekidno koriste, zapaža se karakteristično kretanje temperature unutarnjeg zraka tokom dana (sl. 2-88) – krajem dana, prestankom grijanja, temperatura pada i svoj minimum dostiže u ranim jutarnjim satima (oko 5 sati), a nakon toga postepeno raste da bi oko 10 sati ujutro postigla vrijednost koja se, uz manje ili veće oscilacije, održava tokom cijelog dana, sve do prestanka grijanja (oko 23 sata).



Sl. 2-88: Karakteristično kretanje temperature unutarnjeg zraka u tjednu ogrjevnje sezone u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0095-1) s noćnim prekidom grijanja

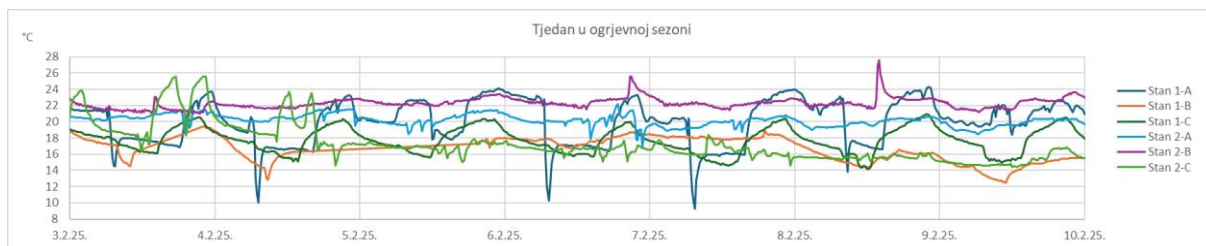


Sl. 2-89: Karakteristično kretanje temperature unutarnjeg zraka u tjednu rashladne sezone u hlađenim i nehlađenim stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0096-1)

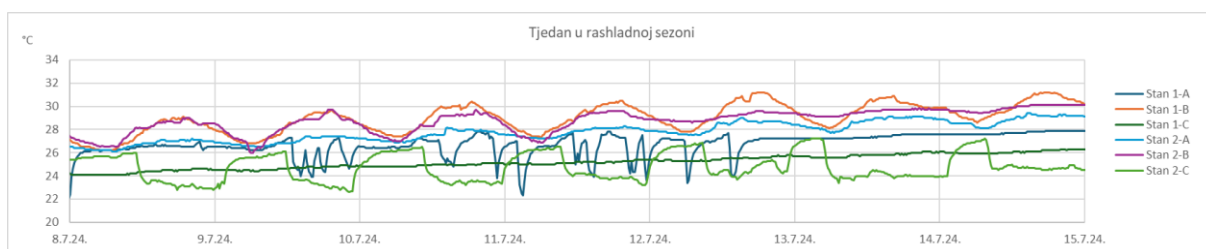
Tokom rashladne sezone vidljive su razlike u temperaturama unutarnjeg zraka hlađenih i nehlađenih stanova (sl. 2-89).

Iako su u većini stanova prosječne temperature unutar raspona vrijednosti koje se mogu smatrati ugodnim (22-25 °C) uz manje ili veće oscilacije tokom godine, u nekim stanovima izmjerene su relativno niske prosječne temperature tokom ogrjevnje sezone, kao i veoma visoke prosječne temperature izvan ogrjevnje sezone (sl. 2-90, sl. 2-91). Pri tome je izraženiji problem pregrijavanja stanova tokom ljeta.

Uz pretpostavku ispravnosti mjernog uređaja i samog mjerenja (mjerni uređaj postavljen uvijek na istom i adekvatnom mjestu, zaštićenom od izravnog utjecaja okoline – Sunca i vanjskog zraka), moguće je da je riječ o stanovima koji se rjeđe koriste pa se stoga zimi manje griju, a ljeti manje hlade ili da osjećaj toplinske ugodnosti korisnika odudara od većine drugih korisnika.



*Sl. 2-90: Temperature zraka u stanovima u tjednu ogrjevnj sezone
u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0100-0)*



*Sl. 2-91: Temperature zraka u stanovima u tjednu rashladne sezone
u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0099-0)*

Veće oscilacije u izmjerenoj temperaturi unutarnjeg zraka mogu biti posljedica povremenog prozračivanja prostorije ili izravnog utjecaja ogrjevnih i rashladnih uređaja ako su mjerni uređaji postavljeni u njihovoj neposrednoj blizini. Povišene temperature zraka ljeti ostvaruju se u stanovima koji nemaju ugrađen sustav hlađenja, ili se sustav hlađenja slabo koristi.

2.9.2.2. Vlažnost zraka

Relativna vlažnost unutarnjeg zraka također je pod utjecajem položaja, odnosno orijentacije stana u zgradi i okoline, korištenja sustava grijanja i hlađenja te načina korištenja prostora (posebice kuhanje i sušenje rublja).

Relativna vlažnost ovisi o temperaturi i tlaku zraka pa se također mijenja tokom godine i dana. Topliji zrak može sadržavati više vlage od hladnijeg. Stoga je zimi vanjski zrak hladniji i sadrži apsolutno manje vlage, ali je njegova relativna vlažnost veća no ljeti. Kada se u takav zrak u grijanoj prostoriji zagrije, njegova relativna vlažnost se smanjuje. Što je temperatura grijane prostorije viša u odnosu na temperaturu vanjskog zraka, to je relativna vlažnost unutarnjeg zraka niža. Za najhladnijih dana, kada okolni zrak sadrži vrlo malo vlage, relativna vlažnost unutarnjeg, zagrijanog zraka, može biti vrlo mala. Relativna se vlažnost zimi može povećati korištenjem ovlaživača zraka.

Ljeti zrak sadrži apsolutno više vlage ali je njegova relativna vlažnost manja no zimi jer je topliji. Kada se u takav zrak u rashladnom uređaju ohladi, njegova relativna vlažnost se povećava do te mjere da dolazi do izdvajanja viška vlage iz zraka. Stoga se u

hlađenim prostorijama istovremeno odvijaju dva procesa – hlađenje i odvlaživanje zraka. Relativna se vlažnost zraka kod hlađenja, međutim, ne mijenja tako znatno kao kod grijanja jer hladniji zrak može sadržavati manje vlage, a temperaturne su razlike između vanjskog i unutarnje zraka ljeti manje no zimi.

Tab. 2-39: Prosječna relativna vlažnost zraka u stanovima

Red. br. (APN)	ID zgrada (ISGE)	Grad	Godina izgradnje	Godina obnove	Godina energetske obnove	Prosječna relativna vlažnost zraka u stanovima u ogrjevnj sezoni (avg / min / max)			Prosječna relativna vlažnost zraka u stanovima van ogrjevnj sezone (avg / min / max)		
-	-	-	-	-	-	%	%	%	%	%	%
1	HR-32000-0101-0	Vukovar	1971.	2004.	2018.	54,8	54,3	55,3	54,2	52,5	56,0
2	HR-32000-0100-0	Vukovar	1964.	2004.	-	47,9	40,4	57,3	52,4	45,5	54,9
3	HR-32000-0096-1	Vukovar	1971.	2004.	2024.	42,0	34,4	50,5	53,3	47,6	55,9
4	HR-32000-0097-1	Vukovar	1972.	2004.	2024.	50,3	39,2	60,4	50,9	48,8	52,1
5	HR-32000-0095-1	Vukovar	1966.	1998.	-	38,5	34,1	43,0	51,7	47,7	57,1
6	HR-32000-0099-0	Vukovar	1953.	2004.	2018.	42,3	35,9	47,4	55,6	51,7	59,6
7	HR-10410-0327-1	Velika Gorica	1975.	-	2018.	48,2	42,9	57,4	56,5	52,1	62,8
8	HR-21000-0567-1	Split	1972.	-	2024.	49,8	45,9	58,2	49,5	46,6	53,4
9	HR-21000-0568-1	Split	1972.	-	-	49,6	43,8	62,5	50,4	49,9	51,2
10	HR-10000-3301-1	Zagreb	1970.	-	-	45,3	42,2	49,4	51,2	49,7	52,6
11	HR-10000-3296-1	Zagreb	1999.	-	-	39,9	32,7	48,3	51,3	48,2	53,9

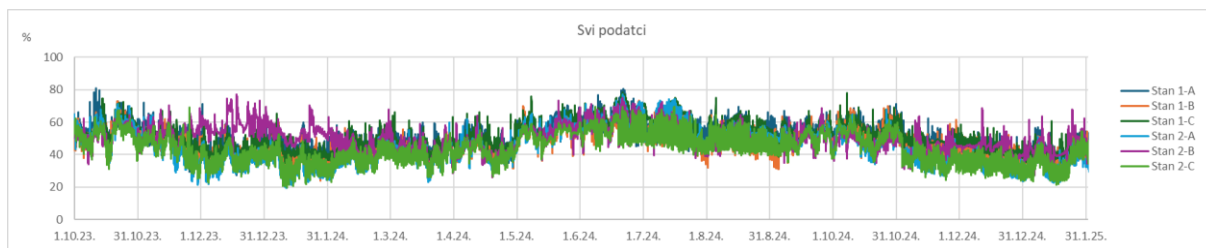
Napomena:

Zelenom i crvenom bojom su osjenčane minimalne i maksimalne prosječne vrijednosti za sve stanove u pojedinoj zgradi u kojoj se provodi mjerenje, a crvenom bojom su istaknute prosječne izmjerene relativne vlažnosti u pojedinim stanovima koje su izvan raspona vrijednosti koje se mogu smatrati ugodnim (35-60 %).

Dnevni hod relativne vlažnosti vanjskog zraka razlikuje se od dnevnog hoda temperature vanjskog zraka – danju je temperatura zraka veća, a vlažnost manja dok je noću temperatura zraka manja, a relativna vlažnost veća. Isto se odražava i na vlažnost unutarnjeg zraka. Korištenje termotehničkih sustava (ponajviše sustava grijanja, ali i sustava hlađenja) dodatno smanjuje relativnu vlažnost unutarnjeg zraka tokom dana.

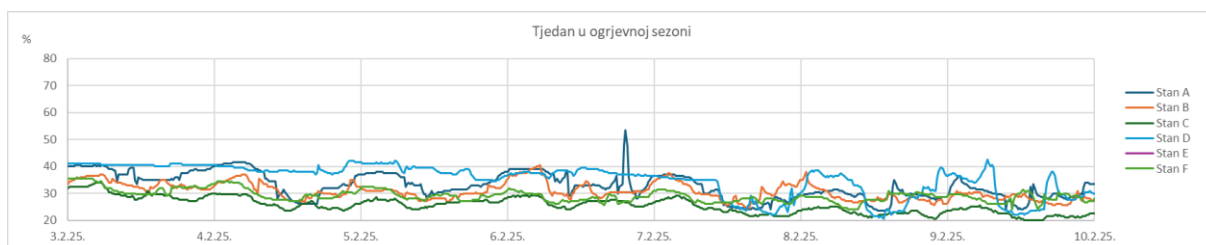
U tablici tab. 2-39 prikazana je prosječna izmjerena relativna vlažnost zraka u stanovima u ogrjevnj sezoni i izvan nje (prijelazni period i rashladna sezona).

Zbog utjecaja sustava grijanja, tokom ogrjevnj sezone je relativna vlažnost zraka uglavnom manja no izvan ogrjevnj sezone (sl. 2-92).

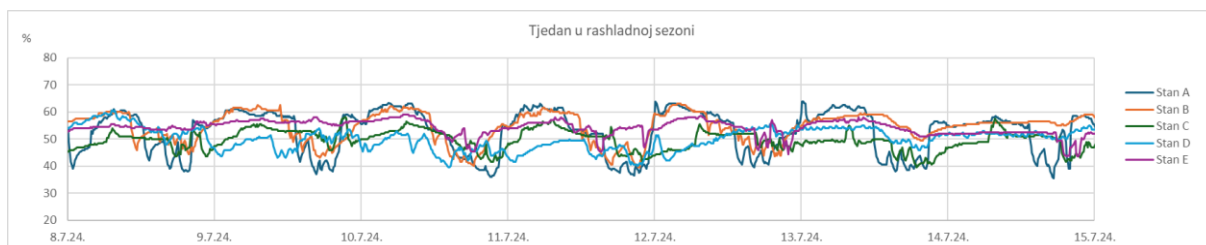


Sl. 2-92: Relativna vlažnost zraka u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0099-0)
– izražene razlike između ljetnog i zimskog perioda

Izmjerene prosječne vrijednosti relativne vlažnosti zraka u stanovima kreću se u rasponu od 32,7 do 62,5 % u ogrjevnj sezoni i od 45,5 do 62,8 % izvan ogrjevnj sezone.

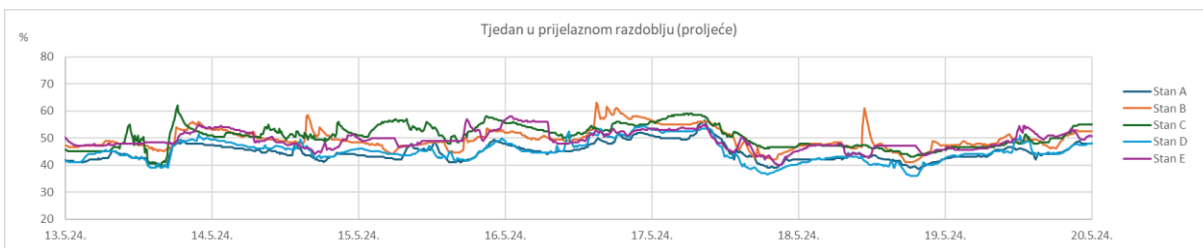


Sl. 2-93: Kretanje relativne vlažnosti unutarnjeg zraka u tjednu ogrjevnj sezone u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0095-1)



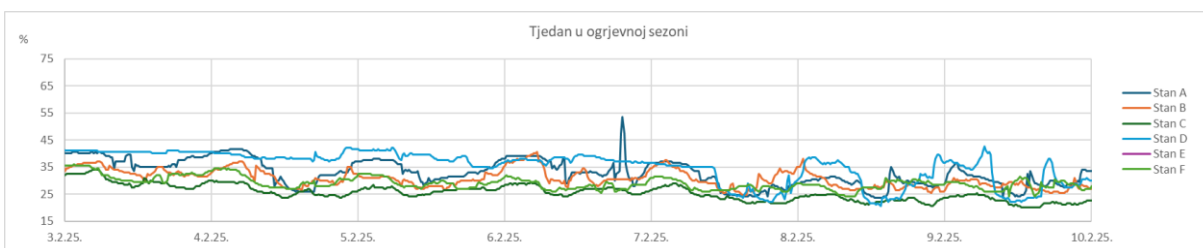
Sl. 2-94: Kretanje relativne vlažnosti unutarnjeg zraka u tjednu rashladnj sezone u stanovima u zgradi u Zagrebu (HR-10000-3301-1)

U sezoni grijanja, relativna je vlažnost unutarnjeg zraka niža od relativne vlažnosti vanjskog zraka. Također, vidljive su promjene relativne vlažnosti tokom dana koje prate dnevni hod relativne vlažnosti vanjskog zraka, ali su i pod utjecajem rada sustava grijanja – danju se stan grije pa je unutarnji zrak topliji i relativno suh, a noću kad grijanje prestane zrak je hladniji i relativno vlažniji (sl. 2-93). U sezoni hlađenja, također su vidljive promjene relativne vlažnosti tokom dana koje prate dnevni hod relativne vlažnosti vanjskog zraka, ali su i pod utjecajem ostalih faktora (sl. 2-94).

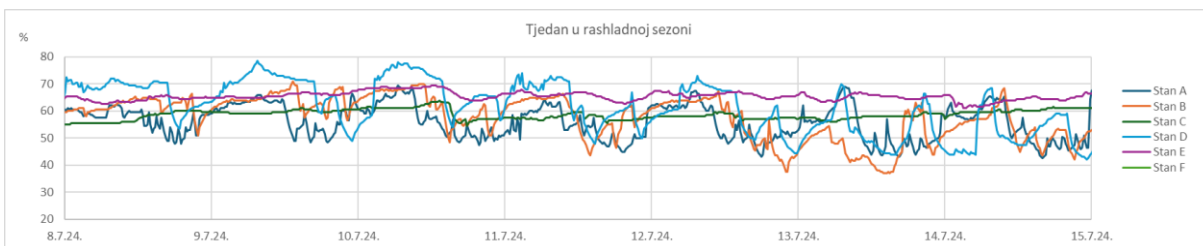


Sl. 2-95: Relativna vlažnost zraka u stanovima u tjednu prijelaznog razdoblja u zgradi u Zagrebu (HR-10000-3296-1)

Izvan ogrjevnog i rashladnog sezone nema utjecaja sustava grijanja i hlađenja pa je relativna vlažnost zraka u stanovima ujednačenija (sl. 2-95) i uglavnom prati dnevni hod relativne vlažnosti vanjskog zraka.



Sl. 2-96: Niska relativna vlažnost unutarnjeg zraka u nekim stanovima u tjednu ogrjevnog sezone u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0095-1)



Sl. 2-97: Visoka relativna vlažnost unutarnjeg zraka u nekim stanovima u tjednu rashladnog sezone u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0094-1)

Izmjerene prosječne vrijednosti relativne vlažnosti uglavnom su unutar raspona vrijednosti koje se mogu smatrati ugodnim (35-60 %), uz manje ili veće oscilacije tokom godine. U nekim stanovima izmjerena je i nešto niža prosječna relativna vlažnost tokom ogrjevnog sezone, kao i nešto viša prosječna relativna vlažnost izvan ogrjevnog sezone (sl. 2-96, sl. 2-97).

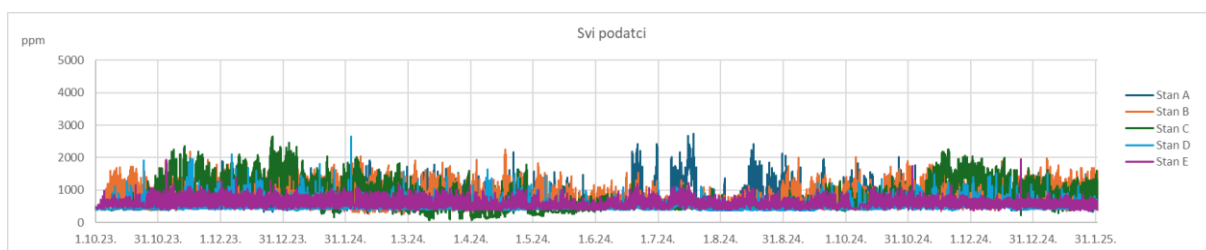
Najniža prosječna relativna vlažnost zraka u svim stanovima u ogrjevnog sezone izmjerena je u neobnovljenoj zgradi u Vukovaru (38,5 %), a najviša u obnovljenoj zgradi u Vukovaru (54,8 %). Najviša prosječna relativna vlažnost zraka u svim

stanovima izvan ogrjevnog sezone izmjerena je u obnovljenoj zgradi u Velikoj Gorici (56,5 %), a najniža u obnovljenoj zgradi u Splitu (49,5 %).

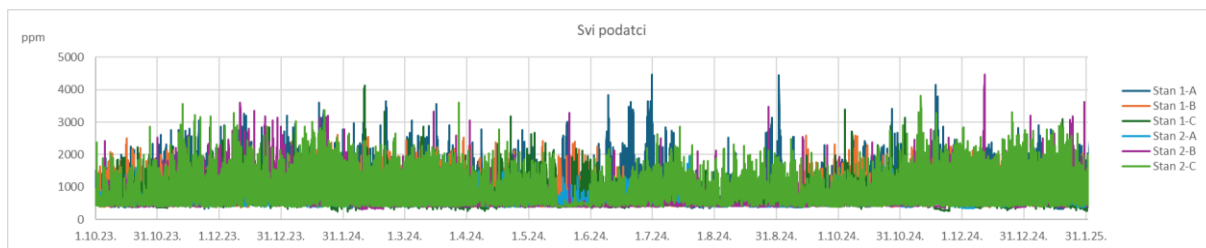
2.9.2.3. Koncentracija CO₂

Ako se zanemare oscilacije u koncentraciji CO₂ u vanjskom zraku, promjene u koncentraciji CO₂ u zraku u stanovima bit će uglavnom posljedica boravka i ponašanja ljudi (aktivnost, pušenje, kuhanje na otvorenom plamenu, prozračivanje). Kao minimalna vrijednost (u stanu u kojem nitko ne boravi), može se prihvatiti prosječna koncentracija CO₂ u okolnom zraku od 400 ppm.

Izmjerena koncentracija CO₂ u unutarnjem zraku upućuje na bolju ili lošiju kvalitetu zraka u stanovima kao što je prikazano na slikama sl. 2-98 i sl. 2-99.



*Sl. 2-98: Koncentracija CO₂ u zraku u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0096-1)
– niže vrijednosti i bolja kvaliteta zraka*



*Sl. 2-99: Koncentracija CO₂ u zraku u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0099-0)
– više vrijednosti i lošija kvaliteta zraka*

U tablici tab. 2-40, prikazana je prosječna izmjerena relativna vlažnost zraka u stanovima u ogrjevnoj sezoni i izvan nje (prijelazni period i rashladna sezona).

Tab. 2-40: Prosječna koncentracija CO₂ u zraku u stanovima

Red. br. (APN)	ID zgrada (ISGE)	Grad	Godina izgradnje	Godina obnove	Godina energetske obnove	Prosječna koncentracija CO ₂ u zraku u stanovima u ogrjevnj sezoni (avg / min / max)			Prosječna koncentracija CO ₂ u zraku u stanovima van ogrjevnj sezone (avg / min / max)		
						ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
-	-	-	-	-	-						
1	HR-32000-0101-0	Vukovar	1971.	2004.	2018.	1 029	1 006	1 052	601	508	693
2	HR-32000-0100-0	Vukovar	1964.	2004.	-	982	591	1 402	701	509	910
3	HR-32000-0096-1	Vukovar	1971.	2004.	2024.	788	491	1 041	578	457	700
4	HR-32000-0097-1	Vukovar	1972.	2004.	2024.	1 213	891	2 031	714	525	997
5	HR-32000-0095-1	Vukovar	1966.	1998.	-	891	616	1 879	772	511	1 039
6	HR-32000-0099-0	Vukovar	1953.	2004.	2018.	902	590	1 120	662	481	910
7	HR-10410-0327-1	Velika Gorica	1975.	-	2018.	950	719	1 229	577	489	717
8	HR-21000-0567-1	Split	1972.	-	2024.	910	733	1 064	815	605	981
9	HR-21000-0568-1	Split	1972.	-	-	971	737	1 624	705	465	1 325
10	HR-10000-3301-1	Zagreb	1970.	-	-	872	719	1 015	572	519	664
11	HR-10000-3296-1	Zagreb	1999.	-	-	790	672	1 033	588	463	909

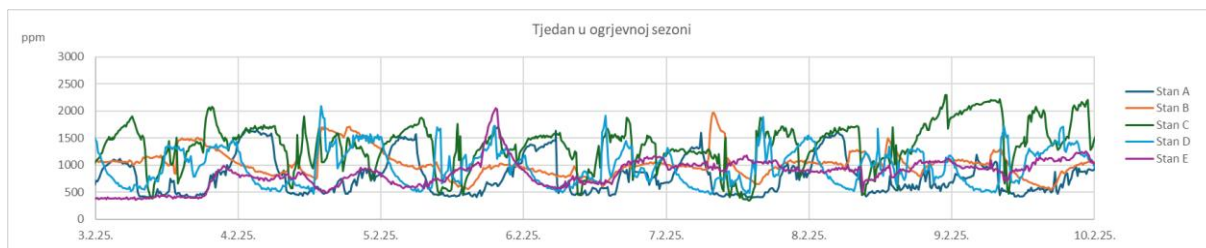
Napomena:

Zelenom i crvenom bojom su osjenčane minimalne i maksimalne prosječne vrijednosti za sve stanove u pojedinoj zgradi u kojoj se provodi mjerenje, a crvenom bojom su istaknute prosječne izmjerene koncentracije CO₂ u pojedinim stanovima koje su iznad vrijednosti koja se može smatrati maksimalno prihvatljivom u vidu zadovoljavajuće kvalitete zraka (1500 ppm).

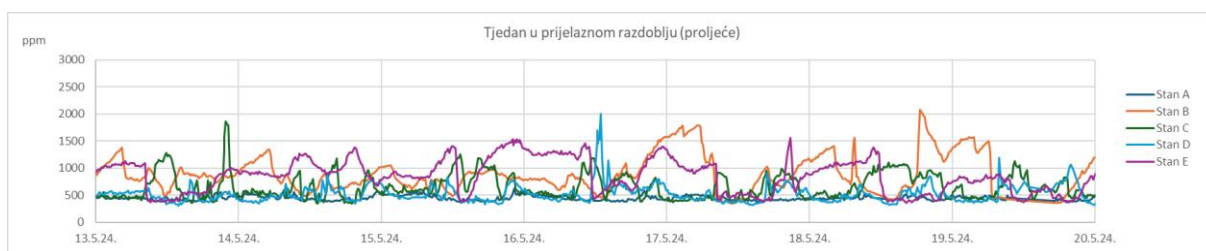
Prosječna izmjerena koncentracija CO₂ u zraku u stanovima u ogrjevnj je sezoni veća no izvan ogrjevnj sezone, a kreće se u rasponu od 491 do 2 031 ppm. Izvan ogrjevnj sezone prosječna izmjerena koncentracija CO₂ kreće se u rasponu od 457 do 1 325 ppm.

Prosječna koncentracija niža od 400 ppm izmjerena je u jednom stanu u zgradi u Vukovaru i vrlo je vjerojatno riječ o neispravnom mjernom uređaju te ove vrijednosti nisu uzete obzir.

U većini stanova koncentracija CO₂ u ogrjevnj je sezoni veća no van ogrjevnj sezone (sl. 2-100, sl. 2-101), a jedan od razloga može biti i u slabijem prozračivanju stanova u hladnijim mjesecima, kao i češćem izbivanju iz stanova tokom toplijih mjeseci.

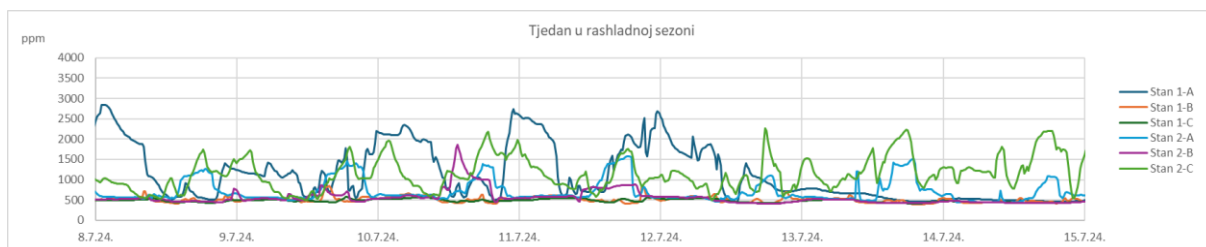


Sl. 2-100: Kretanje koncentracije CO₂ u unutarnjem zraku u tjednu ogrjevnje sezone u stanovima zgradi u Velikoj Gorici (HR-10410-0327-1)



Sl. 2-101: Kretanje koncentracije CO₂ u unutarnjem zraku u tjednu izvan ogrjevnje sezone u stanovima zgradi u Velikoj Gorici (HR-10410-0327-1)

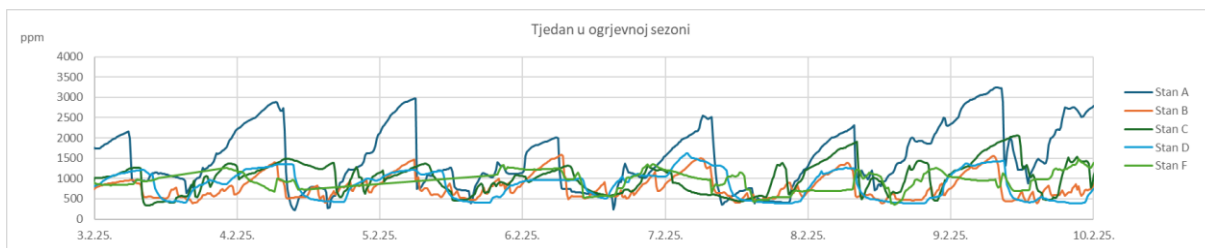
Također, kod stanova s veoma niskim koncentracijama CO₂ može se pretpostaviti da je ona posljedica slabijeg korištenja, odnosno manjeg broja osoba koje k tome i rjeđe borave u stanu, a za stanove s visokim koncentracijama CO₂ da u njima češće boravi veći broj osoba (sl. 2-102).



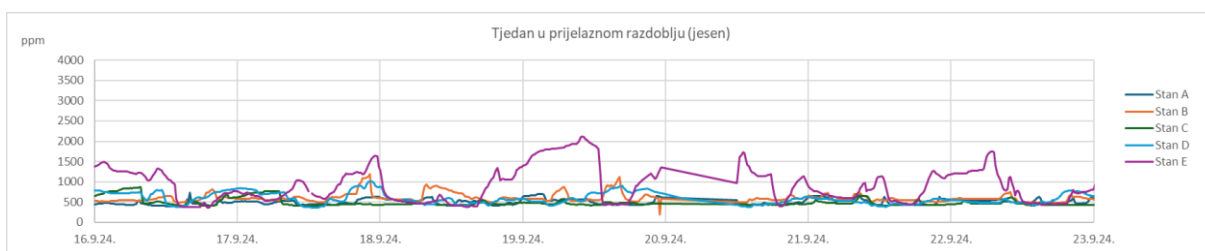
Sl. 2-102: Koncentracija CO₂ u unutarnjem zraku kao indikator boravka osoba u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0099-0)

Najniža prosječna koncentracija CO₂ u zraku u svim stanovima u ogrjevnoj sezoni izmjerena je u neobnovljenoj zgradi u Zagrebu (790 ppm), a najviša u obnovljenoj zgradi u Vukovaru (1 213 ppm). Najniža prosječna koncentracija CO₂ u zraku u svim stanovima izvan ogrjevnje sezone izmjerena je u neobnovljenoj zgradi u Zagrebu (572 ppm), a najniža u obnovljenoj zgradi u Splitu (815 ppm).

Smjernice
za primjenu modela primjenu modela sustavnog gospodarenja
energijom i vodom u višestambenim zgradama



Sl. 2-103: Kretanje koncentracije CO_2 u unutarnjem zraku u tjednu ogrjevnje sezone u stanovima zgradi u Vukovaru (HR-32000-0097-1)



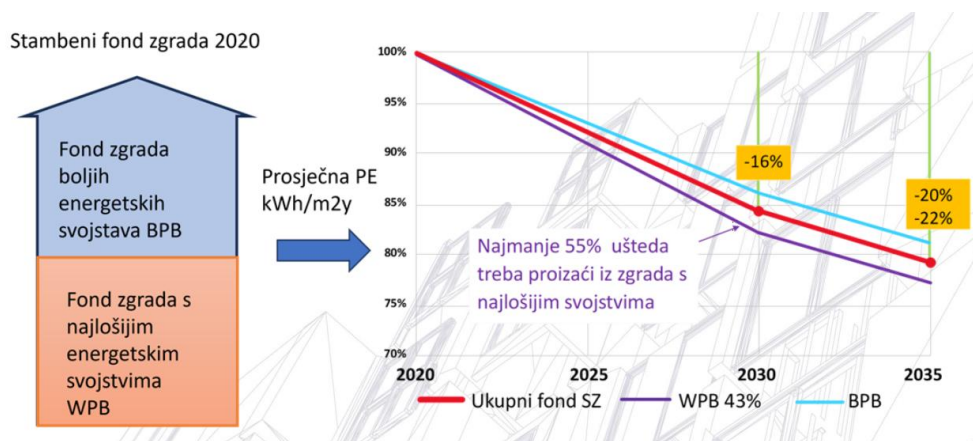
Sl. 2-104: Kretanje koncentracije CO_2 u unutarnjem zraku u tjednu izvan ogrjevnje sezone u stanovima zgradi u Splitu (HR-21000-0568-1)

Iako su u većini stanova prosječne koncentracije unutar raspona vrijednosti koje se mogu smatrati prihvatljivim (<1500 ppm) uz manje ili veće oscilacije tokom godine, u nekim stanovima izmjerene su učestale veoma visoke prosječne koncentracije CO_2 (sl. 2-103), što upućuje na nedovoljno prozračivanje, dok zabilježene vrlo niske koncentracije u određenim razdobljima tokom godine (sl. 2-104) upućuju pak na slabije korištenje stanova.

3. UTEMELJENE MJERE I PREPORUKE ZA USPOSTAVU I PROVEDBU BUDUĆIH ENERGETSKIH OBNOVA NA NACIONALNOJ RAZINI, UKLJUČUJUĆI UŠTEDE ENERGIJE I VODE

3.1. IZMJENE I DOPUNE ZAKONODAVNO-REGULATORNOG OKVIRA VEZANOG UZ PROVOĐENJE MJERA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI, TJ. ENERGETSKE OBNOVE, UKLJUČUJUĆI INSTALACIJU FOTONAPONSKE ELEKTRANE I DIJELJENJE ENERGIJE

Prema Direktivi o energetske svojstvima zgrada (EPBD), svaka država članica do 29. svibnja 2026. mora definirati nacionalni plan za postupnu obnovu stambenih zgrada. Plan treba biti usklađen s ciljevima za 2030., 2040. i 2050. godinu te voditi prema fondu zgrada s nultim emisijama do 2050. Putanja obnove mjeri se kroz **smanjenje prosječne potrošnje primarne energije** (u kWh/m² godišnje) za sve stambene zgrade od 2020. do 2050. godine. U planu se određuje koliko će se zgrada ili stanova godišnje obnavljati, uključujući 43 % zgrada s najlošijim energetske svojstvima.



Sl. 3-1: Putanja obnove stambenih zgrada prema EPBD (izvor: L 18)

Države članice trebaju osigurati da se prosječna potrošnja primarne energije smanji:

- najmanje 16 % do 2030.,
- najmanje 20 – 22 % do 2035. te
- nastavi smanjivati do 2050., kada bi sve zgrade trebale biti s nultim emisijama.

Najmanje 55 % tog smanjenja mora se postići obnovom 43 % zgrada s najlošijim svojstvima (sl. 3-1).

Za ostvarenje ciljeva, države uvode mjere poput minimalnih standarda energetske učinkovitosti, tehničke pomoći i financijskih potpora. Plan se temelji na pouzdanim podacima o nacionalnom fondu zgrada, prikupljenima kroz statistička istraživanja i energetske certifikate.

Metodologija i kriteriji za određivanje stambenih zgrada s najlošijim energetske svojstvima, kao i način praćenja ostvarenih ušteda, bit će definirani u Nacionalnom planu obnove zgrada koji je trenutno u izradi.

Vlada je 30. listopada 2025. u Sabor uputila paket triju zakona – o prostornom uređenju, gradnji i energetske učinkovitosti u zgradarstvu – s ciljem zaštite prostora, suzbijanja nezakonite gradnje i poticanja energetske samodostatnosti.

Zakon o energetske učinkovitosti u zgradarstvu ključan je za energetske neovisnost Hrvatske. Njime se prenosi revidirana Direktiva o energetske svojstvima zgrada (EPBD) i postavljaju preduvjeti za:

- smanjenje troškova energije za građane i javni sektor,
- smanjenje energetske siromaštva kroz obnovu i ulaganja u održive zgrade,
- razvoj Nacionalnog plana obnove zgrada i poticanje obnovljivih izvora energije,
- otvaranje novih zelenih radnih mjesta u graditeljstvu i energetici.

Zakon je važan korak prema održivoj i energetske samodostatnoj Hrvatskoj, dok paket zakona u cjelini uvodi digitalizirane i pojednostavljene procedure gradnje te planiranja prostora, omogućuje priuštivo stanovanje i zaštitu najvrjednijih nacionalnih resursa.

Ovim zakonom se po prvi put definira pojam **zgrada s nultim emisijama (ZEB)**, koje imaju vrlo visoka energetske svojstva, zahtijevaju vrlo malo ili nimalo energije, ne proizvode emisije ugljika iz fosilnih goriva na lokaciji te ne proizvode ili proizvode vrlo malu količinu operativnih emisija stakleničkih plinova⁵. Zahtjevi za ZEB zgrade bit će utvrđeni novim tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštiti u zgradama, a sve nove zgrade za koje se zahtjev za izdavanje lokacijske ili građevinske dozvole podnosi od 1. siječnja 2030., odnosno od 1. siječnja 2028. za zgrade u vlasništvu javnih tijela, moraju biti zgrade s nultim emisijama

Zakon također propisuje da se energetske obnova višestambenih zgrada provodi u skladu s nacionalnim programima te da sredstva za obnovu koriste suvlasnici zgrade, osim ako se drugačije dogovore s izvođačima radova ili pružateljima usluga. Odluke o sklapanju ugovora o izvođenju radova donosi natpolovična većina suvlasnika, računajući udjele u vlasništvu. Za sklapanje ugovora određuje se ovlaštena osoba, a ako takva osoba nije imenovana, ugovor potpisuje upravitelj zgrade.

⁵ emisije povezane s potrošnjom energije tehničkih sustava zgrade tijekom njezinog korištenja i rada

Ugovor o radovima mora biti pisan i sadržavati podatke o svim suvlasnicima i njihovim udjelima, izvođaču radova, opis mjera energetske obnove, procjenu energetske učinkovitosti i očekivane uštede, način financiranja te rokove provedbe. Obvezan prilog ugovoru je glavni projekt glavni projekt s tehničkim rješenjem zgrade, troškovnikom i dokazima o projektiranim uštedama energije prema propisanoj metodologiji utvrđenoj pravilnikom kojim se uređuje praćenje mjerenje i verifikaciju ušteda energije. Zajednica suvlasnika je obvezna dostavljati podatke o potrošnji energije nadležnom nacionalnom tijelu.

Za projekte energetske obnove višestambenih zgrada koji se financiraju iz EU fondova i drugih javnih sredstava, sredstva se dodjeljuju temeljem ugovora o bespovratnim sredstvima. Korisnik ugovora je zajednica suvlasnika, zastupana preko upravitelja ili izabranog predstavnika, a odluku o sklapanju ugovora donose suvlasnici natpolovičnom većinom glasova po suvlasničkim dijelovima. Ugovor utvrđuje iznos dodijeljenih sredstava, financijske i provedbene uvjete projekta te posebni račun zgrade na koji se uplaćuju sredstva, koja su zaštićena od ovrhe.

Projekti energetske obnove višestambenih zgrada financirani iz EU fondova i drugih javnih ili privatnih sredstava koji koriste financijske instrumente (npr. zajmove, jamstva, vlasnički kapital) provode se temeljem sporazuma o potpori. Krajnji primatelj sporazuma je zajednica suvlasnika, zastupana preko upravitelja ili izabranog predstavnika, a odluku o sklapanju donose suvlasnici natpolovičnom većinom glasova po suvlasničkim dijelovima. Sporazum može predviđati poseban račun zgrade za sredstva potpore, koja su također zaštićena od ovrhe

Zakon tako osigurava da energetska obnova višestambenih zgrada bude jasno regulirana, transparentna i da uključuje sve važne informacije – od odluka suvlasnika, financiranja, opisa mjera do kontrole i praćenja ušteda energije.

Primarna energija je ključni parametar za ocjenu energetske svojstva zgrada, a izračunava se složenim proračunima koji uključuju toplinske potrebe, gubitke tehničkih sustava, električnu energiju za pogon uređaja i rasvjetu, te energiju iz obnovljivih izvora proizvedenu na lokaciji. U obzir se uzima i energija utrošena izvan zgrade za isporuku energenata, kako bi se dobila potpuna slika potrošnje i utjecaja zgrade na okoliš. Primarna energija koristi se za energetske certificiranje i provjeru ispunjavanja minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti, a zajedno s investicijskim troškovima utječe na odabir tehničkih rješenja i nositelja energije. Zbog različitih metodologija izračuna u državama članicama, Europska komisija je standardizirala postupke kroz normu EN 17423:2020, omogućujući transparentno određivanje faktora primarne energije i emisije CO₂. Time se osigurava ravnopravna primjena obnovljivih i visokoučinkovitih rješenja te uključivanje energije proizvedene na lokaciji u izračun primarne energije prema HRN ISO EN 52000-1.

Algoritam za izračun energetske svojstva zgrada, koji je objavljen 15. svibnja 2017., a u obveznoj je primjeni od 30. rujna 2017. uključuje i faktore primarne energije i emisija CO₂. Ovi faktori primarne energije i faktori emisija CO₂ se koriste isključivo za izračun primarne energije i godišnje emisije CO₂ za potrebe izračuna energetske svojstva zgrade sukladno važećem tehničkom propisu, kao i u svrhu izrade energetske certifikata i Izvješća o provedenom energetskom pregledu zgrade. Faktori primarne energije iskazani su putem jedne, jedinstvene vrijednosti za pojedini energent.

Novi faktori primarne energije i CO₂, objavljeni 1. travnja 2022. koji još nisu u obveznoj primjeni, određeni su primjenom postupka iz norme EN 17423:2020. U usporedbi s aktualnim faktorima primarne energije, novi faktori iskazani su kroz obnovljivu, neobnovljivu i ukupnu komponentu. Vrijednosti faktora primarne energije i faktora emisije CO₂ određene su za tekuća, kruta i plinovita goriva koristeći dostupne podatke o potrošnji energije u Republici Hrvatskoj koje objavljuje Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske i Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske.

S obzirom na sve veći udio obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne i toplinske energije u Republici Hrvatskoj, novi faktori primarne energije za električnu energiju i toplinsku energiju iz centralnih i zatvorenih toplinskih sustava (neobnovljiva komponenta) su povoljniji. Analize su pokazale da se s ovim faktorima primarne energije mogu zadovoljiti važeći zahtjevi energetske učinkovitosti za većinu tipologija zgrada i sustava. Najpovoljnije rezultate pokazali su sustavi na biomasu (pelete) i dizalice topline, dok kombinacija centralnog toplinskog sustava s kogeneracijom i fotonaponskih sustava postiže niže vrijednosti primarne energije i od plinskih sustava i od dizalica topline.

Faktori primarne energije od 1. travnja 2022. bit će u obveznoj primjeni nakon prijenosa nove Direktive o energetskim svojstvima zgrada (EU) 2024/1275 u zakonske i podzakonske propise, a što je u planu tijekom iduće godine.

Direktiva o energetskoj učinkovitosti (EED) propisuje kriterije za učinkovite sustave centraliziranog grijanja i hlađenja, koji će se postupno pooštavati s krajnjim ciljem postizanja ugljične neutralnosti do 2050. godine. U skladu s tim, očekuje se da će isporučena energija iz sustava centraliziranog grijanja u Republici Hrvatskoj s vremenom sadržavati sve veći udio obnovljive komponente primarne energije, uz istodobno smanjenje faktora emisije CO₂. Ove promjene potrebno je pratiti putem faktora primarne energije i emisije CO₂ koji će se obvezno primjenjivati u zgradarstvu te ih redovito ažurirati.

Redovito ažuriranje faktora primarne energije nužno je za uspostavu realnih odnosa između različitih tehničkih rješenja termotehničkih sustava u zgradama, s obzirom na potrošnju primarne energije i emisiju CO₂, a istovremeno je ključno kako bi vrijednosti energetske svojstva zgrada pružile realističan prikaz ukupnih aktivnosti koje Republika Hrvatska provodi na svom putu prema postizanju ugljične neutralnosti.

Određivanje energetske svojstva zgrada vrlo visokih energetske svojstava (nZEB, a uskoro i ZEB) zahtijeva precizniju i osjetljiviju metodologiju proračuna sa satnim vremenskim korakom. Stoga bi jednostavna satna metoda trebala biti zamijenjena metodom satnog proračuna koja obuhvaća svih 8760 sati godišnje. Do sada su već poduzeti konkretni koraci prema primjeni nove proračunske metode. Tako je 2021. izrađen projektni zadatak za ažuriranje i nadogradnju računalnog programa za proračun energetske svojstva zgrada, uključujući pripadajući dijagram toka, pri čemu su svi proračunski algoritmi ažurirani i dopunjeni algoritmom za pripremu meteoroloških podataka kod izračuna energijske svojstva zgrada te algoritmom za određivanje energijskih zahtjeva te učinkovitosti zrak-zrak dizalica topline.

Nove europske EPB norme prihvaćene su 2017. godine i od tada imaju status hrvatskih normi. Njihova integracija u zakonske i podzakonske propise planira se provesti čim na tržištu bude dostupan prikladan i verificiran proračunski alat. U skladu s obvezama iz Direktive o energetskim svojstvima zgrada (EPBD), Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine izradilo je i na službenim internetskim stranicama objavilo usporedni opis nacionalne metodologije izračuna, temeljen na nacionalnim prilogima općih normi ISO 52000-1, 52003-1, 52010-1, 52016-1 i 52018-1, razvijenih prema mandatu M/480 dodijeljenom Europskom odboru za normizaciju (CEN). Zaključci iz provedenih analiza u ovim Smjernicama i usporedbe postojećeg algoritma za izračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrada s algoritmom propisanih normi i novim izračunom prema normi HRN EN ISO 52016-1 mogu pomoći pri integraciji novih normi u zakonske i podzakonske propise Republike Hrvatske.

Članak 15. u Pravilniku o općim uvjetima za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom u stavicima (1) i (2) definirano je da shema dijeljenja električne energije mora dostaviti najkasnije 15 dana prije početka obračunskog razdoblja te se tijekom obračunskog razdoblja ne može mijenjati. Nigdje nije navedeno kako se shema dijeljenja može definirati, odnosno mogu li to biti samo fiksni udjeli ili se može koristiti višestupanjska raspodjela električne energije. Proračuni su pokazali da se u pojedinim primjerima s fiksnim udjelima dodijeljene električne energije javlja neiskorišteni višak na pojedinom OMM koji se prodaje opskrbljivaču po niskoj cijeni. Preporuka je omogućiti u drugom koraku trgovinu viškom energije unutar zgrade između pojedinih OMM jer analize time pokazuju povećanu samodostatnost uz 5 godina kraći period povrata investicije.

3.2. PRAĆENJE POTROŠNJE VODE

Potrošnja vode u višestambenim zgradama obično uključuje:

- sanitarnu potrošnju (toaleti, tuševi, umivaonici),
- kućanske potrebe (kuhanje, pranje rublja, posuđa) i
- zajedničke prostore (čišćenje stubišta, navodnjavanje okoliša, tehnički sustavi).

Voda iz sustava vodoopskrbe je hladna (10-15 °C) te se po potrebi dodatno zagrijava (tuševi, umivaonici, kuhanje, pranje posuđa) i koristi kao potrošna, odnosno sanitarna topla voda. Priprema potrošne tople vode može biti centralna – na razini cijele zgrade (npr. u toplinskoj podstanici ili kućnoj kotlovnici), etažna – na razini pojedinog stana (npr. priprema kombiniranim plinskim uređajem za grijanje i pripremu PTV) ili lokalna, putem plinskih ili električnih bojlera u svakoj prostoriji (kuhinja i kupaonica). Zgrade priključene na toplinski sustav najčešće imaju i centralnu pripremu potrošne tople vode.

Prosječna potrošnja vode u Hrvatskoj iznosi oko 100–150 litara po osobi dnevno, pri čemu se vrijednosti razlikuju ovisno o načinu mjerenja, tehničkoj opremljenosti zgrade i ponašanju korisnika.

Mjerenje potrošnje vode u višestambenim zgradama može biti izvedeno putem jednog glavnog vodomjera (zajedničko mjerenje) pa se potrošnja i troškovi raspodjeljuju prema broju članova kućanstva svakog pojedinog stana. Za pravedniju raspodjelu troškova preporučuje se ugradnja zasebnih vodomjera za svaki stan (zasebno mjerenje). U novijim zgradama to je i zakonski propisano, dok u starijima često izostaje.

Mjerenje, obračun i naplata prema stvarnoj potrošnji potiče korisnike na racionalnije ponašanje i omogućuje otkrivanje nepravilnosti (npr. propuštanje, neučinkoviti uređaji).

Uvođenje sustava za daljinsko očitavanje potrošnje omogućava bolju kontrolu, ranu detekciju problema i povećava transparentnost.

Daljinsko mjerenje vode vrši se na obračunskom vodomjeru. Većina zgrada uključenih u Pilot projekt nema daljinska očitavanja vode, stoga se na određenom uzorku obračunskih mjernih mjesta, odnosno na pojedinim vodomjerima, ugrađuju davači impulsa i komunikatori ili se vodomjeri zamjenjuju u potpunosti novima koji imaju mogućnost impulsnog izlaza (u suradnji s lokalnim distributerom). Mjereni podaci o potrošnji vode (m³) se prema ISGE dostavljaju na satnoj razini. Nadalje, na određenom uzorku zgrada iz Pilot projekta postoje vodomjeri na ulazu u stanove. Svrha ovih tzv. sekundarnih vodomjera je mjerenje potrošnje hladne i tople vode svakog stana. Predmetni vodomjeri zamjenjuju se vodomjerima s radijskim modulima, te se zgrada oprema koncentратором radijskih modula.

Mjerenje i bilježenje podataka u ISGE za zgrade u Vukovaru je započelo u rujnu 2023., za zgradu u Velikoj Gorici u travnju 2024., za zgrade u Splitu u lipnju, odnosno u listopadu 2024., a u Zagrebu u listopadu, odnosno u studenom 2024. Analizirani su prikupljeni podatci zaključno sa sredinom veljače 2025. godine. Prikupljeni podatci o potrošnji vode agregirani na godišnjoj razini za svaku zgradu prikazani su tablično (tab. 3-1) i odnose se na potrošnju u 2024. godini. Uz ukupnu potrošnju, iskazana je i specifična godišnja potrošnja po jedinici, odnosno samostalnoj uporabnoj cjelini – stanu ili poslovnom prostoru te po osobi (stvarni broj korisnika nije poznat pa je

specifična potrošnja određena uz pretpostavku da su svi stanovi nastanjeni i da je broj članova kućanstva jednak prosječnom broju članova kućanstva prema podacima iz Popisa stanovništva iz 2021.) te podatci o potrošnji prema očitanjima zasebnih brojila tople i hladne vode (vodomjera).

Tab. 3-1: Izmjerena godišnja potrošnja vode

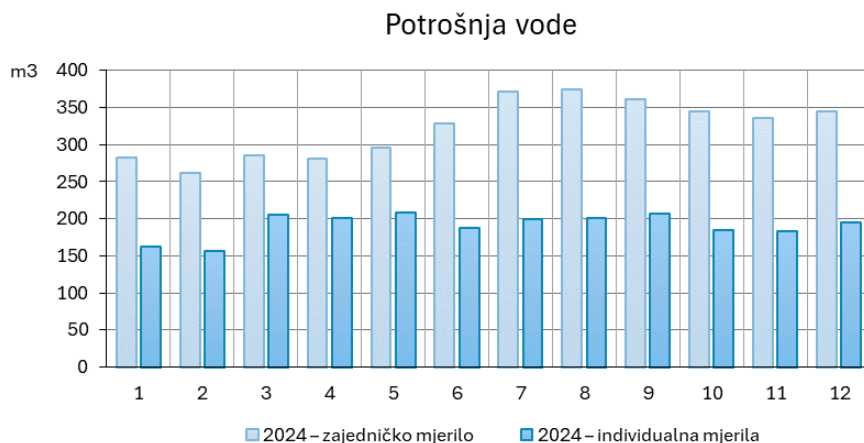
Red. br. (APN)	ID zgrada (ISGE)	Grad	Godina izgradnje	Godina energetske obnove	Godišnja potrošnja vode (2024.)			
					Zajedničko mjerilo			Zasebna mjerila
					m ³ /a	l/ (jed. dan)	l/ (osoba dan)	m ³ /a
1	HR-32000-0101-0	Vukovar	1971.	2018.	1 244	121,71	58,01	1 090
2	HR-32000-0100-0	Vukovar	1964.	-	1 225 ¹⁾	76,31 ¹⁾	32,47 ^{1),6)}	1 760
3	HR-32000-0096-1	Vukovar	1971.	2024.	3 871	265,16	118,77	2 292
4	HR-32000-0097-1	Vukovar	1972.	2024.	1 769	167,09	73,64	-
5	HR-32000-0095-1	Vukovar	1966.	-	3 025	116,73	49,67	-
6	HR-32000-0099-0	Vukovar	1953.	2018.	2 258	154,67	65,82	-
7	HR-10410-0327-1	Velika Gorica	1975.	2018.	10 652 ²⁾	256,00 ²⁾	93,41 ^{2),6)}	-
8	HR-21000-0567-1	Split	1972.	2024.	5 182 ³⁾	208,79 ³⁾	78,79 ^{3),6)}	-
9	HR-21000-0568-1	Split	1972.	-	5 483 ⁴⁾	220,93 ⁴⁾	83,37 ^{4),6)}	-
10	HR-10000-3301-1	Zagreb	1970.	-	-	-	-	-
11	HR-10000-3296-1	Zagreb	1999.	-	3 487 ⁵⁾	227,45 ⁵⁾	108,83 ^{5),6)}	-
12	HR-51000-0358-1	Rijeka	1976.	2016.	-	-	-	-
13	HR-51000-0357-1	Rijeka	1976.	2019.	-	-	-	-

Napomene:

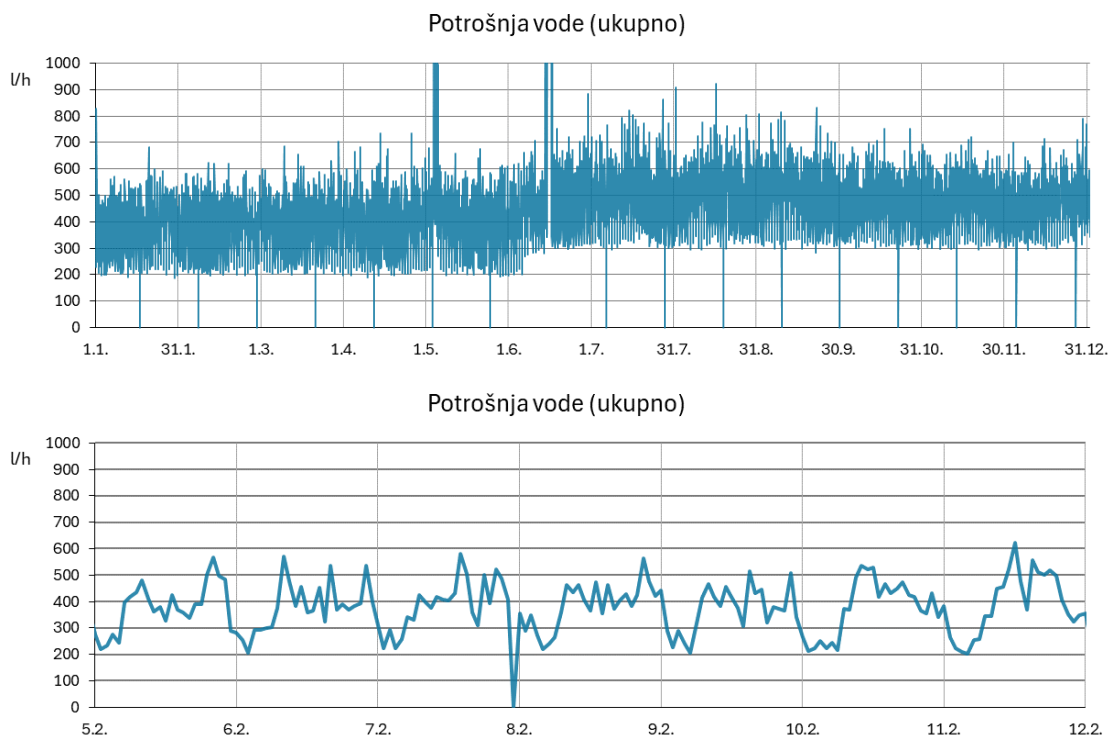
- 1) Bez potrošnje vode za PTV
- 2) Procijenjena potrošnja u 2024. godini prema izmjerenoj potrošnji od 5. do 8. mjeseca
- 3) Procijenjena potrošnja u 2024. godini prema izmjerenoj potrošnji od 6. mjeseca 2024. do 1. mjeseca 2025.
- 4) Procijenjena potrošnja u 2024. godini prema izmjerenoj potrošnji od 10. mjeseca 2024. do 1. mjeseca 2025.
- 5) Procijenjena potrošnja u 2024. godini prema izmjerenoj potrošnji od 11. mjeseca 2024. do 2. mjeseca 2025.
- 6) Uz pretpostavku da su svi stanovi nastanjeni i da je broj članova kućanstva jednak prosječnom broju članova kućanstva prema podacima iz Popisa stanovništva iz 2021., potrošnja poslovnih prostora zanemaruje se

U zgradama u kojima nisu bili dostupni podatci o potrošnji na razini cijele 2024. godine, načinjena je procjena potrošnje prema izmjerenoj potrošnji u preostalom razdoblju i broju dana u pojedinom mjesecu.

Izmjerene vrijednosti specifične godišnje potrošnje kreću se u rasponu od 76,31 l/(jed'dan) u neobnovljenoj zgradi u Vukovaru do 265,16 l/(jed'dan) u obnovljenoj zgradi u Vukovaru.



Sl. 3-2: Velika razlika između potrošnje vode izmjerene na zajedničkom i na zasebnim mjerilima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0096-1)

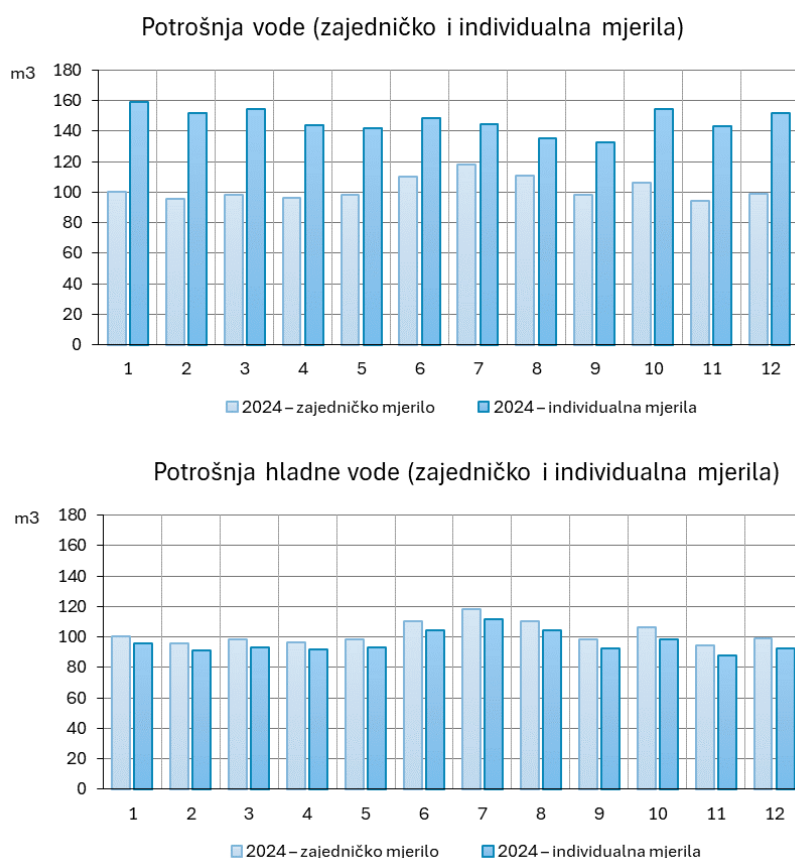


Sl. 3-3: Velika potrošnja vode u noćnom periodu u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0096-1) (satne vrijednosti)

U obje zgrade uočava se velika razlika između izmjerene potrošnje na zajedničkom brojilu i sume pojedinačnih potrošnji svih stanova prema zasebnim mjerilima

(vodomjerima) pri čemu je u jednoj zgradi potrošnja na zajedničkom brojilu veća od zbirne potrošnje stanova za 68,9 %, a u drugoj je manja za 30,4 %.

Veća izmjerena potrošnja na zajedničkom brojilu (sl. 3-2) može biti posljedica potrošnje drugih korisnika (poslovnih prostora) ili pak nekontroliranog propuštanja vode na zajedničkom dijelu instalacije. Analizom satnih vrijednosti izmjerene potrošnje vode na zajedničkom mjerilu u zgradi u kojoj je potrošnja na zajedničkom brojilu veća od zbirne potrošnje stanova uočava se neuobičajeno velika, stalna potrošnja vode u noćnim satima (sl. 3-3) što upućuje na zaključak o mogućem propuštanju vode.



Sl. 3-4: Usporedba potrošnje vode izmjerena na zajedničkom i na zasebnim mjerilima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0100-0)

Izmjerena manja potrošnja na zajedničkom mjerilu upućuje na možebitnu nemjerenu potrošnju vode. Usporede li se izmjerene vrijednosti potrošnje hladne vode i ukupne potrošnje s zasebnih i zajedničkog mjerila (sl. 3-4), uočava se da potrošnja hladne vode s zasebnih mjerila dobro prati izmjerenu potrošnju na zajedničkom mjerilu, ali zbirna potrošnja tople i hladne vode ne. Može se stoga zaključiti da se potrošnja vode u toplinskoj podstanici za pripremu PTV zasad još ne mjeri i/ili ne bilježi u ISGE.

Uz pretpostavku da su svi stanovi u zgradama nastanjeni i da je broj članova kućanstva jednak prosječnom broju članova kućanstva prema podacima iz Popisa stanovništva iz 2021. (tab. 3-2), godišnja potrošnja vode po osobi iznosi između 32,47 i 118,77 l/dan.

Tab. 3-2: *Prosječan broj osoba u kućanstvu prema podacima Popisa stanovništva 2021.*

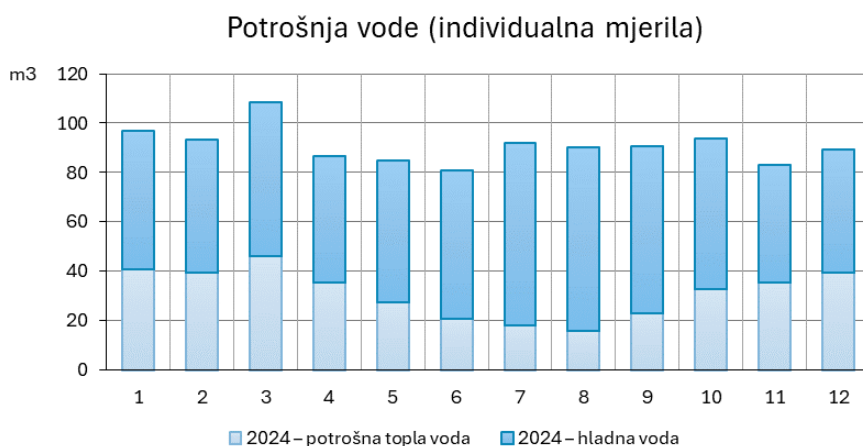
Grad/općina	Prosječan broj osoba u kućanstvu
Velika Gorica	2,92
Rijeka	2,24
Vukovar	2,35
Split	2,65
Novi Zagreb – istok	2,24
Trešnjevka – jug	2,31

U usporedbi sa specifičnom potrošnjom vode u zgradama u Zagrebu, Velikoj Gorici i Splitu, potrošnja vode u zgradama Vukovaru je manja, što je kao i kod potrošnje toplinske energije, vrlo vjerojatno, dijelom i posljedica slabijeg korištenja, odnosno većeg broja nenastanjenih stanova (sl. 3-5).

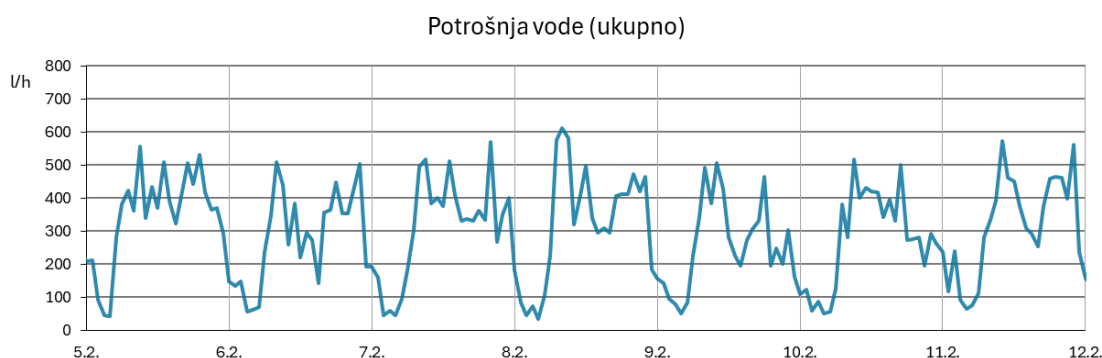


Sl. 3-5: *Potrošnja hladne vode u stanovima u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0100-0)*

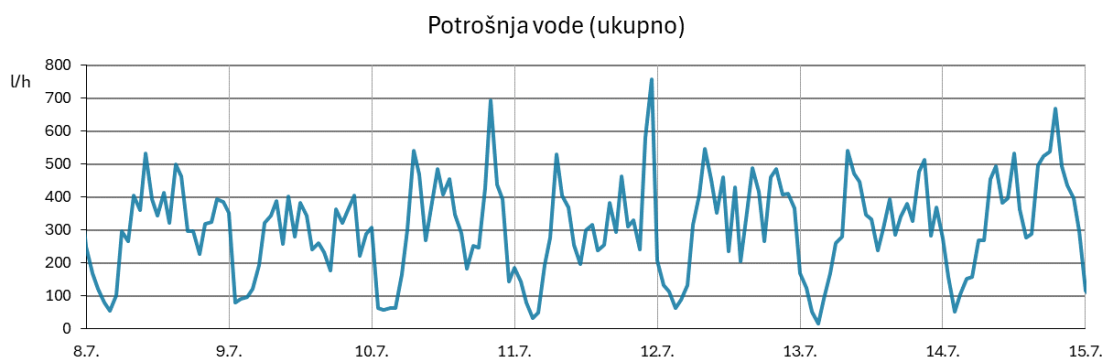
Određene oscilacije u potrošnji vode tokom godine postoje, a posljedica su promjena broja korisnika (godišnji odmor, početak i završetak nastave u školama i na fakultetima, turistička sezona, državni praznici i blagdani, itd.) te načina korištenja hladne i potrošne tople vode. U zgradama u kojima se odvojeno mjeri potrošnja hladne i potrošne tople vode, odnosno hladne vode iz koje se priprema potrošna topla voda, može se pratiti način korištenja hladne i tople vode tokom godine (sl. 3-6).



Sl. 3-6: Potrošnja hladne i potrošnje tople vode u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0101-0)



Sl. 3-7: Potrošnja vode u tjednu ogrjevnog razdoblja u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0095-1)



Sl. 3-8: Potrošnja vode u tjednu izvan ogrjevnog razdoblja u zgradi u Vukovaru (HR-32000-0095-1)

Hladna se voda više koristi u mjesecima prijelaznog razdoblja i ljeti, dok se potrošnja topla voda više koristi tokom ogrjevnog razdoblja. Iz satnih se vrijednosti može vidjeti

dnevna dinamika potrošnje vode (sl. 3-7, sl. 3-8). Najveća potrošnja vode tokom dana bilježi se u jutarnjim i večernjim satima, a najmanja tokom noći.

3.3. POSTIZANJE UKUPNE GARANTIRANE UŠTEDE OD 50 %

Prema ocjeni iz Nacionalnog plana oporavka i otpornosti 2021-2026, povećanje energetske učinkovitosti, posebice u zgradarstvu, posebno je važno s obzirom na to da bez povećanja postotka obnove zgrada Hrvatske neće moći postići temeljne uvjete za dekarbonizaciju gospodarstva do 2050. godine. Energetska obnova zgrada preduvjet je za postizanje zelenih ciljeva EU jer zgrade troše 40% primarne energije i emitiraju 36% emisija CO₂.

Komponentom 6.1. *Dekarbonizacija zgrada* predviđene su reforme i investicije koje će doprinijeti efikasnijoj provedbi obnove zgrada, a što će za rezultat imati povećanje intenziteta obnove zgrada, smanjenje potrošnje energije u sektoru zgradarstva (toplinske, električne i dr.) te smanjenje negativnih emisija u zrak i negativnih učinaka na stanje klime.

U okviru Mehanizma za oporavak i otpornost (engl. *Recovery and resilience facility*), energetskom obnovom zgrada će se podupirati mjere povećanja energetske učinkovitosti i korištenje OIE u javnim i višestambenim zgradama koje će rezultirati smanjenjem potrošnje energije za grijanje ($Q_{H,nd}$) na godišnjoj razini (kWh/god) od najmanje 50% u odnosu na godišnju potrošnju energije za grijanje prije provedbe navedenih mjera, kroz integrirani pristup uz primjenu horizontalne mjere pojačanja otpornosti od potresa i požara, uz poticanje ESCO modela. Analiza energetskih ušteda prema godišnjoj potrebnoj energiji za grijanje ($Q_{h,nd}$) u odnosu na zahtjeve srednje-dubinske obnove iz 2021. pokazala je da ušteda u potrebnoj energiji za grijanje od 50% odgovara prosječnom smanjenju godišnje primarne energije (E_{prim}) od 30% u odnosu na potrošnju energije prije obnove (uključuje tehničke sustave poput grijanja, hlađenja, potrošne tople vode, osvjetljenja i dr.)

Provedeni projekti pokazuju kako ukupna ušteda toplinske energije (grijanje i PTV) nakon obnove iznosi između 20 % i 30 %, dok ušteda na grijanju iznosi oko 40%.

3.3.1. Preporuke mjera na vanjskoj ovojnici s ciljem postizanja uštede potrebne energije za grijanje (arhitektonsko-građevinski dio)

S arhitektonsko građevinskog stajališta, preporuke mjera koje se mogu provesti na vanjskoj ovojnici višestambenih zgrada s ciljem postizanja uštede potrebne energije za grijanje, ali i hlađenje se mogu svesti pod zajednički nazivnik poboljšanja toplinske izolacije vanjske ovojnice zgrade te smanjenja zrakopropusnosti vanjske ovojnice zgrade.

Spomenuto poboljšanje toplinske izolacije podrazumijeva i rješavanje toplinskih mostova, ali i projektiranje i izvođenje sustava koji neće uzrokovati pojavu građevinske

štete na ili unutar građevnih dijelova vanjske ovojnice višestambenih zgrada. Tu se ponajprije misli na prijenos vlage kroz vanjsku ovojnicu zgrade. S obzirom da uvijek postoji određena zrakopropusnost, te da su transport topline, vlage i zraka međusobno fizikalno povezani, dakle postoje međusobni utjecaji, potrebno je promatrati istovremeni prijenos topline, vlage i zraka kroz vanjsku ovojnicu zgrade.

Njemačka norma DIN 4108-3:2014 propisuje projektiranje elemenata ovojnice u pogledu prolaska vlage u tri razine.

1. U prvoj razini za zgrade koje nisu klimatizirane ili stambene zgrade naveden je niz građevnih elemenata koji ne zahtijevaju računsku provjeru opasnosti od kondenzacije. Za ove elemente ovojnice ne treba provoditi niti izračun prema Glaseru, jer postoji rizik da neće zadovoljiti iako su se dokazali u praksi. To se posebno odnosi na zidane konstrukcije s izraženim svojstvima kapilarnog vođenja, koje nije obuhvaćeno u proračunu difuzije vodene pare u stacionarnom stanju.
2. Građevni elementi koji nisu oslobođeni provjere i koji ne spadaju u gore navedene mogu se procijeniti korištenjem srednje mjesečne metode (Glaserova metoda s određenim ograničenjima). To se definira kao druga razina.
3. Ukoliko konstrukcija ne zadovolji u drugoj fazi, može se ući u treću razinu provjere u skladu s Prilogom D norme DIN 4108-3:2014, što konkretno podrazumijeva da se mogu provesti higrotermalne simulacije. S druge strane, elementi klimatiziranih zgrada ili izuzetih posebnih elemenata ovojnice poput zelenih krovova mogu se procijeniti samo primjenom higrotermalnih metoda spomenutih u Prilogu D. Dodatno, istovremeni prijenos topline vlage i zraka preporučljivo je provjeriti kod slijedećih situacija:
 - ako je u građevnim dijelovima akumulirana vlaga koja se tijekom energetske obnove zatvara u fasadne sustave ili sustave krovova
 - složeni sustavi građevnih dijelova zgrade, npr. ETICS na ETICS
 - kada se radi o obnovi povijesnih građevina,
 - kod konstrukcija s vrlo malim marginama tolerancije za vlagu

Međutim, provedba higrotermalnih proračuna je kompliciranija, nego izračun prema Glaseru i zahtijeva više ulaznih podataka, koji nisu uvijek dostupni. Uz to, korisnik bi trebao imati iskustva u radu s numeričkim metodama proračuna.

Mogućnosti i ograničenja higrotermalnih proračuna, kao i njihova primjena za procjenu zaštite ovojnice od vlage, predmet su norme koju je usvojila i Republika Hrvatska – HRN EN 15026:2008.

Dodatno, s obzirom na činjenicu da postoji „energy performance gap“ između stvarno ostvarenih ušteda toplinske i električne energije na višestambenim zgradama u Hrvatskoj u odnosu na projektirane vrijednosti, očigledno je da postoje određene stvari

i parametri koje je potrebno dodatno uvesti kao preporuke uz klasične mjere poboljšanja toplinske ovojnice zgrade.

Taj tzv. energy performance gap proizlazi iz kombinacije faktora:

- nedostatke kvalitete početnih podataka o zgradama
 - (nedostatak mjerenja početnog stanja, često nepotpuna izvorna dokumentacija o zgradama (oštećena, nestala,...), nekvalitetno proveden pregled zgrade s uvedenim pretpostavkama o parametrima koji su skriveni unutar građevnih dijelova zgrada),
- pojednostavljenih proračunskih modela,
- odstupanja u izvedbi, te
- utjecaja korisničkog ponašanja.
- uvidi u projekte obnove za analizirane zgrade su pokazali da ima nedostataka i u projektima koja se očituju u kompetencijama (znanju i vještinama) projektanata.
- želja da se ostvare projektne uštede zahtijevane u natječajima za sufinanciranje energetske obnove zgrada.

U nastavku su navedene preporuke mjera i postupaka kojima se ta odstupanja može sustavno smanjiti, temeljem uvida iz prakse i suvremenih europskih smjernica (EPBD Recast, BPIE, IEE projekti, IEA EBC Annex 58).

Jedan od ključnih uzroka odstupanja u ostvarenim uštedama je nepouzdanost početnih ulaznih podataka o postojećem stanju zgrade. Projektanti često raspolažu nepotpunom dokumentacijom, oštećenim nacrtima i neprovjerenim podacima o stvarnim materijalima i slojevima ovojnice.

Preporučene mjere:

- Provesti detaljnu energetska dijagnostiku prije izrade projekta obnove, koja obuhvaća:
 - o termografsko snimanje cijele ovojnice radi identifikacije toplinskih mostova i propusnih zona,
 - o ispitivanje zrakopropusnosti zgrade (blower-door test),
 - o uzorkovanje postojećih slojeva zidova i stropova radi utvrđivanja stvarnih toplinskih svojstava,
 - o mjerenje svojstava postojeće vanjske ovojnice zgrade,
 - o evidentiranje režima grijanja i unutarnjih temperatura po reprezentativnim stanovima.

Bez kvalitetnih ulaznih podataka (realne vrijednosti) nema smisla očekivati smanjenje „energy performance gap-a“.

Realističnije modeliranje i proračun energetske ušteda je slijedeća ključna preporuka. U većini projekata energetske obnove proračuni su temeljeni na statičkim modelima (prema HRN EN ISO 13790) s idealiziranim uvjetima definiranim kroz u Hrvatskoj doneseni niz Algoritama za proračun. To dovodi do sustavnog pogrešnog procjenjivanja učinaka mjera.

Preporučene mjere:

- Kalibrirati referentni energetski model pomoću stvarne potrošnje energije u prethodnim godinama (tzv. calibrated baseline model).
- Uvesti parametre nesigurnosti (zrakopropusnost, toplinski mostovi, korisničko ponašanje) u proračune, umjesto korištenja tipiziranih vrijednosti.
- Primjenjivati dinamičke simulacije energetskih bilanci, koje uključuju varijabilnost vanjskih i unutarnjih uvjeta.
- Proračune izražavati kao raspon očekivanih ušteda (npr. 35–50 %) umjesto kao jedinstvenu točkastu vrijednost.

Nadalje, iako je kroz regulativu uveden sustav osiguranja kvalitete izvođenja radova i neovisnog nadzora, praksa pokazuje mnoge probleme i primjere zaobilaženja propisa.

Očigledni su primjeri zaobilaženja propisa npr. prilikom mjerenja zrakopropusnosti ovojnice zgrade, koja se u velikom broju slučajeva ne provodi nakon energetskih obnova ili se provodi suprotno od procedura definiranih normama za ispitivanje. Iako navedeni parametar ima značajni utjecaj na potrošnju energije u zgradama, kao i osjećaj ugodnosti u zgradama te je ispitivanjem zrakopropusnosti u kombinaciji s drugim metodama moguće provjeriti kvalitetu gradnje, investitori (stanari, suvlasnici stanova u zgradama) često nisu upoznati s benefitima takvog ispitivanja.

Također, vrlo je čest slučaj da nadzorni inženjeri nemaju dovoljno znanja vezano uz izvođenje radova poboljšanja toplinske izolacije na vanjskoj ovojnici zgrade, ugradnje stolarije itd. pa samim time često zbog nedostatka znanja ne znaju niti provjeriti jesu li radovi izvedeni prema pravilima struke.

Poznata je činjenica da ponašanje stanara izravno utječe na potrošnju energije i može poništiti tehničke uštede ostvarene obnovom. Zbog toga se preporučuje organizirati edukaciju korisnika o optimalnom korištenju sustava grijanja i hlađenja, ventilacije i otvaranja prozora. Primjeri dobrih praksi u zemljama članicama EU da kratka brošura o optimalnom ponašanju u stanovima te čak i prikaz trenutnih uvjeta u obliku malih meteo-stanica koje stanari dobivaju kao znak pažnje nakon energetske obnove puno doprinose.

Česti su slučajevi da arhitekti, građevinari, strojar i stručnjaci zaštite od požara rade odvojeno, što dovodi do kolizija mjera i smanjenja učinkovitosti. Preporučuje se

primijeniti integrirano projektiranje (u budućnosti svakako i u BIM okruženju), uz sudjelovanje svih relevantnih struka od najranije faze projekta.

Završno, postoji i problematika i normativni i proceduralnih aspekata s obzirom da trenutni sustav sufinanciranja često potiče na „optimistične“ proračune radi ispunjavanja minimalnih uvjeta natječaja za sufinanciranje energetske obnove, što posljedično povećava „energy performance gap“. Preporučuje se uvesti neki sustav neovisne revizije projekata obnove koji bi smanjio mogućnosti pogrešaka u samim proračunima prije i nakon obnove zgrada. Dodatno se preporučuje osigurati da postoji odgovornost projektanata u slučaju prevelikog „energy performance gap-a“, odnosno osigurati provođenje pozitivnih propisa koji su već na snazi vezanih za preuzimanje odgovornosti projektanata, izvođača, nadzornih inženjera.

3.3.2. Preporuke mjera na sustavima grijanja i pripreme potrošne tople vode (PTV) s ciljem postizanja uštede primarne energije

Isporučena energija je energija potrebna za rad tehničkih sustava zgrade, ovisna o potrebama i učinkovitosti sustava, te kod višestambenih zgrada računa za grijanje, pripremu PTV i ventilaciju ako je prisutna. Primarna energija obuhvaća energiju sadržanu u energentu, uključujući utrošak za prikupljanje, obradu i transport do korisnika. Računa se kao umnožak isporučene energije i faktora primarne energije. Faktore primarne energije svaka država članica određuje samostalno, prema utjecaju na okoliš ili energetske ciljeve. Obnovljivi energenti imaju niske, a neobnovljivi visoke vrijednosti faktora primarne energije.

Ušteda primarne energije, bit će ovisna dakle o postignutim uštedama potrebne energije te o poboljšanju termotehničkih sustava, i to kroz zamjenu postojećeg sustava učinkovitijim i/ili o korištenju obnovljivih izvora energije.

3.3.2.1. Sustav grijanja

Ogrjevna tijela su važni elementi sustava grijanja jer se njima toplinska energija predaje izravno u grijani prostor. U višestambenim zgradama najčešće su zastupljeni člankasti i pločasti radijatori (sl. 3-9), a znatno rjeđe ventilatorski konvektori ili panelna ogrjevna tijela (npr. podno grijanje). Parametri koji utječu na energetske učinkovitost su temperaturni režim, protok ogrjevnog medija i način regulacije učina.



Sl. 3-9: Aluminijski člankasti radijator

Kod radijatorskog grijanja će razlika temperatura ogrjevnog medija biti relativno visoka, a kod ostalih sustava manja te će općenito protok ogrjevnog medija kod radijatorskog grijanja biti manji, kao i potrebna električna snaga cirkulacijske pumpe. Povrh toga, kao regulacijski elementi, kod radijatorskog se grijanja koriste termostatski ventili, koji ne koriste dodatnu energiju te je potrošnja električne energije takvog sustava predaje općenito mala. No, radijatori su, zbog relativno male ogrjevne površine, neprikladni za korištenje u niskotemperaturnim sustavima grijanja (npr. polazna temperatura ogrjevnog medija 35 °C) te se sustavi radijatorskog grijanja projektiraju uglavnom za više temperature ogrjevnog medija (temperatura polaza iznad 60 °C).

Nakon poboljšanja toplinske zaštite zgrade, smanjit će se potrebna toplinska energija za grijanje te postojeća ogrjevna tijela postaju predimenzionirana. Tada je moguće smanjiti temperaturni režim grijanja i prilagoditi ga stvarnim potrebama zgrade. Pritom valja težiti što nižem temperaturnom režimu grijanja kako bi se smanjili toplinski gubitci u sustavu proizvodnje i distribucije toplinske energije.



*Sl. 3-10: Ventilokonvektor u niskotemperaturnom sustavu grijanja
(npr. s dizalicom topline)*

Radijatorsko grijanje najčešće se koristi kod sustava s kotlovima te u zgradama priključenim na toplinski sustav (daljinsko grijanje). Kod rekonstrukcije takvih sustava i prelazak na korištenje obnovljivih izvora energije za grijanje poput dizalica topline, koji iziskuju niže temperaturne režime (temperatura polaza niža od 60 °C), bit će

neophodno rekonstruirati i sustav predaje toplinske energije, odnosno ogrjevna tijela. U tom slučaju mogu se koristiti razne vrste ventilatorskih konvektora (sl. 3-10) kod kojih se prijelaz topline pospješuje intenzivnijim strujanjem zraka oko ogrjevnog tijela ili panelna ogrjevna tijela velike površine (podno grijanje). Uz sustav predaje će se, pritom, često morati rekonstruirati i sustav distribucije zbog promjene (povećanja) protočne količine ogrjevnog medija.

Sustav grijanja mora uvijek biti hidraulički uravnotežen kako bi se u svim stanovima osigurali uvjeti toplinske ugodnosti u prostoru, uz minimalnu potrošnju energije. Kod radijatorskog grijanja, ovo podrazumijeva i ugradnju termostatskih ventila s predpodešenjem.

Osim hidrauličkog uravnoteženja, primarna je funkcija termostatskih ventila regulacija učina ogrjevnog tijela prema potrebama korisnika, odnosno zahtjevima toplinske ugodnosti. Smještaj ogrjevnog tijela može imati utjecaja na osjećaj toplinske ugodnosti u prostoru te ona smještena na vanjskom zidu (ispod prozora) općenito postižu bolji osjećaj toplinske ugodnosti od onih smještenih na unutarnjim zidovima.

Osim što obavlja svoju primarnu funkciju distribucije ogrjevnog medija do ogrjevnih tijela u stanovima, **sustav distribucije toplinske energije** u zgradi je i generator dodatnih toplinskih gubitaka, osim ako sav cijevni razvod ne prolazi kroz grijani prostor. Dio razvoda smješten u kotlovnici ili toplinskoj podstanici u svakom slučaju mora biti toplinski izoliran, a ako je postojeća toplinska izolacija dotrajala i izgubila svoja toplinsko-izolacijska svojstva, potrebno ju je zamijeniti (sl. 3-11).



Sl. 3-11: Toplinska izolacija cjevovoda u toplinskoj podstanici

Potrebne debljine toplinske izolacije cijevnog razvoda definira Tehnički propis o racionalnoj uporabi toplinske energije i toplinskoj zaštiti. Sustav distribucije treba biti hidraulički uravnotežen, a najbolji se učinak postiže dinamičkim uravnoteženjem, uz automatske balansirajuće ventile na svakom usponskom vodu (vertikali).

Prilagodba snage cirkulacijske pumpe promjenjivim uvjetima rada sustava grijanja (toplinskog opterećenja) može se postići promjenom broja okretaja elektromotora pumpe. Kod starijih rješenja koja su još uvijek često zastupljena broj okretaja mijenja se stupnjevano (najčešće u 3 stupnja), a novija i učinkovitija rješenja podrazumijevaju pumpe s kontinuiranom promjenom broja okretaja (frekventno upravljane). Smanjenjem broja okretaja, smanjuje se dobava i visina dobave pumpe i njena snaga, a u konačnici i potrošnja električne energije.

Kod frekventno upravljane pumpe broj okretaja elektromotora mijenja se tako da u svakoj radnoj točki održava postavnu vrijednost neke od reguliranih veličina. Na taj način može se regulirati npr. visina dobave, temperatura ili volumni protok. Visina dobave pokazuje se osobito prikladnom kao kontrolna veličina u sustavima grijanja s promjenjivim protokom. Visina dobave pritom se može održavati konstantnom ili se smanjivati s protokom. Regulacija s konstantnom visinom dobave pogodna je za sustave grijanja s malim padom tlaka u cijevnom razvodu, a regulacija s promjenjivom visinom dobave za sustave s većim padom tlaka.

U višestambenim zgradama priključenim na toplinski sustav, kod kojih je ugrađen sustav individualnog mjerenja potrošnje (razdjelnici ili kalorimetri) i radijatori su opremljeni termostatskim ventilima, u toplinskim podstanicama se ugrađuju i frekventno upravljane cirkulacijske pumpe (sl. 3-12).



Sl. 3-12: Cirkulacijske pumpe u sustavu grijanja – frekventno upravljana radna pumpa (lijevo) i trostupanjska rezervna pumpa (desno)

Uz hidraulički uravnotežen sustav, ugradnjom frekventno upravljanih pumpi moguće je znatno smanjiti potrošnju električne energije za pogon pumpi.

Mjerama u **sustavu proizvodnje toplinske energije** moguće je postići znatne uštede energije u sustavu grijanja. Kod zgrada s centralnim izvorom toplinske energije na fosilno gorivo (kotlovnica), moguća je zamjena kotla energetski učinkovitijim ili kotlom na obnovljivo gorivo. Energetski učinkovitiji kotlovi na fosilna goriva (ponajprije plin), u odnosu na danas još uvijek često zastupljene standardne kotlove su niskotemperaturni i kondenzacijski kotlovi. Standardni kotlovi naime, zbog svoje konstrukcije, rade s povišenom temperaturom ogrjevnice tople vode od 70 °C do 90 °C. Godišnji stupanj djelovanja standardnih kotlova obično je manji od 85 %.

Kod niskotemperaturnih kotlova se temperatura ogrjevnice tople vode smanjuje s opterećenjem, čime se smanjuje i temperatura dimnih plinova te toplinski gubitci. Niskotemperaturni kotlovi postižu godišnji stupanj djelovanja od 91 – 95%, a veći s moduliranim plamenicima i do 96%.



Sl. 3-13: Plinski kondenzacijski kotao

Kondenzacijski kotlovi (sl. 3-13) su učinkovitiji i od standardnih i niskotemperaturnih kotlova zbog iskorištavanja latentne topline sadržane u vodenoj pari dimnih plinova. Ta topline kod kondenzacijskih se kotlova predaje sustavu grijanja. Kod sniženja temperature na stijenkama ogrjevnih površina ispod temperature rošnja, dolazi do stvaranja kondenzata iz vodene pare u dimnim plinovima.



Sl. 3-14: Izvedba novog dimnjaka za kondenzacijski kotao u kotlovnici

Temperatura kod koje dolazi do kondenzacije vodene pare u dimnim plinovima kod prirodnog plina je oko 57°C, dok je za loživo ulje oko 47°C. Zbog niske temperature dimnih plinova, uzgon u dimnjaku kod kondenzacijskih je kotlova je manji, a nastali kondenzat je kiseo pa se kod zamjene standardnog ili niskotemperaturnog kotla kondenzacijskim mora izvesti i rekonstrukcija postojećeg dimnjaka, najčešće uvođenjem dimovodne cijevi od kiselootpornog materijala ili izgradnja novog dimnjaka (sl. 3-14). Da bi se odredila mogućnost primjene kondenzacijskog kotla u sustavu grijanja i ocijenili učinci moguće zamjene, treba utvrditi međusobnu ovisnost potrošnje energije i polaznih temperatura u sustavu grijanja o vanjskim temperaturama. Za potpuno iskorištenje prednosti kondenzacijskih kotlova potreban je niskotemperaturni režim grijanja, zbog čega će kod zamjene postojećih standardnih kotlova najčešće biti potrebna i rekonstrukcija sustava predaje, a često i sustava distribucije toplinske energije. Godišnji stupanj djelovanja kotla, sveden na donju ogrjevnu vrijednost goriva, tada može biti veći od 100 %.



Sl. 3-15: Kotao na biomasu u prostoru nekadašnje uljne kotlovnice

Kotlovi na biomasu koriste obnovljivo gorivo u vidu drvene sječke ili peleta. Kod zamjene kotla na fosilno gorivo kotlom na biomasu potrebno je prethodno provjeriti mogućnost

smještaja kotla i skladišta biomase u prostor kotlovnice te korištenja postojećeg dimnjaka.

Kapacitet skladišta biomase valja dimenzionirati tako da osigura dovoljnu autonomiju rada između dvije dopreme goriva. Potrebno je omogućiti i pristup kamionima za dobavu biomase (što je kod uljnih kotlovnica već osigurano). Potrebno je redovan odvoz pepela kao i čišćenje ogrjevnih površina kotla. Zbog elemenata za manipulaciju gorivom (pužni transporter), postrojenja na biomasu troše više električne energije od postrojena na plinovita i tekuća goriva. Biomasa ima nižu ogrjevnu vrijednost od fosilnih goriva pa su kotlovi na biomasu zbog veće ogrjevne površine većih dimenzija, što ponekad otežava njihov smještaj u prostor postojeće kotlovnice. Kotlovi rade s većim pretičkom zraka te su temperature u ložištu niže, a stupanj djelovanja niži od plinskih niskotemperaturnih i kondenzacijskih kotlova.

Dizalica topline je uređaj za proizvodnju toplinske energije, čiji rad se temelji na iskorištavanju topline okolišnog zraka, vode ili zemlje, odnosno obnovljivih izvora energije uz dovodenje dodatne energije. Sustavi grijanja s dizalicom topline mogu biti izvedeni tako da dizalica topline bude jedini izvor topline (monovalentni način rada), a dizalica topline može se koristiti u sprezi s drugim izvorima topline (bivalentno-paralelni ili bivalentno-alternativni način rada). Kod bivalentno-paralelnog načina rada, do određene vrijednosti vanjske temperature zraka dizalica topline je jedini izvor topline, a daljnjim padom vanjske temperature zraka (projektna ili bivalentna točka, npr. -3°C ili niže) uključuje se paralelno još jedan toplinski izvor (npr. plinski kotao). Kod bivalentno-alternativnog načina rada, daljnjim padom vanjske temperature zraka uključuje se drugi izvor topline koji tada samostalno pokriva ukupne toplinske potrebe.



Sl. 3-16: Sustav grijanja s dizalicama topline (voda-voda, tlo-voda)

Najčešće se u praksi susreću kompresijske dizalice topline koje koriste električnu energiju te je kod zamjene kotla dizalicom topline prethodno potrebno provjeriti zadovoljavaju li postojeći elektroenergetski priključak i instalacija potrebe dizalice topline i ostalih uređaja (cirkulacijskih pumpi, električnog grijača, itd.) i je li neophodno

povećanje priključne snage. Kako dizalica topline ne bi radila u režimu s učestalim paljenjem, gašenjem i promjenama opterećenja, potrebno je koristiti spremnik ogrjevnog tople vode.

Dizalice topline mogu biti vrlo učinkovite ako im se osiguraju optimalni uvjeti rada. Za učinkovit rad dizalice topline potrebno je osigurati izvor topline što više temperature i što nižu temperaturu ogrjevnog medija. S obzirom na temperaturu izvora topline, nepovoljnije je korištenje topline okolnog zraka (dizalica topline zrak-voda) naspram vode (dizalica topline voda-voda) ili zemlje (dizalica topline tlo-voda), no investicijski su takvi sustavi najmanje zahtjevnii. Kod dizalica topline voda-voda i tlo-voda potrebno je prethodno provesti ispitivanja i utvrditi potencijal (kapacitet, izdašnost) izvora topline. Geotermalne dizalice mogu biti izvedene s površinskim kolektorima ili sa dubinskim sondama, i zahtijevaju dodatnu slobodnu zemljanu površinu u neposrednoj blizini zgrade što nije uvijek moguće osigurati, posebno u gradskim područjima.

Kao i kod kondenzacijskih kotlova, da bi se u potpunosti iskoristile prednosti dizalica topline potreban je niskotemperaturni režim grijanja, što kod zamjene kotla dizalicom topline gotovo uvijek iziskuje rekonstrukciju postojećeg sustava predaje i sustava distribucije toplinske energije. Kod kompresijskih dizalica topline za pogon kompresora koristi se električna energija. S obzirom na to da je električna energija znatno skuplja od prirodnog plina, kod zamjene kotla dizalicom topline, tim više treba težiti k ostvarivanju što većeg sezonskog (godišnjeg) faktora grijanja dizalice topline kako troškovi električne energije ne bi nadmašili prethodne troškove goriva (faktor grijanja veći od 3,5).

Prema odredbama Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada, postojeće zgrade na kojima se provodi značajna obnova ispunjavaju zahtjeve u pogledu primjene obnovljivih izvora energije ako je najmanje 10 % godišnje isporučene energije za rad tehničkih sustava u zgradi podmireno iz obnovljivih izvora energije, a koji mogu uključivati učinkoviti sustav centraliziranog grijanja, odnosno učinkovitog sustava centraliziranog grijanja i hlađenja, koji upotrebljava: najmanje 50 % obnovljive energije, 50 % otpadne topline, 75 % topline dobivene kogeneracijom ili 50 % kombinacije takve energije i topline, osim u slučaju kada postizanje ovih uvjeta nije gospodarski, tehnički i funkcionalno izvedivo. Prema odredbama Direktive o energetske učinkovitosti, kriteriji za ostvarivanje statusa učinkovitog sustava centraliziranog grijanja se vremenom će se postrožiti s krajnjim ciljem da do 2050. godine ti sustavi budu ugljično neutralni. Učinkoviti sustavi centraliziranog grijanja će s vremenom dakle imati sve povoljniji faktor primarne energije (neobnovljiva komponenta) i faktor emisije CO₂ te se priključenjem na takav sustav također može smanjiti potrošnja primarne energije.

3.3.2.2. Sustav pripreme potrošne tople vode

U sustavima pripreme potrošne tople vode s recirkulacijom znatan toplinski gubitak se ostvaruje u sustavu distribucije. Potrošna topla voda koristi se tokom cijele godine pa će se gubici u sustavu distribucije zimi djelomično iskoristiti i za zagrijavanje prostora dok će ljeti ovi gubici povećati potrebe za hlađenjem. Dodatnom toplinskom izolacijom cijevi ili zamjenom postojeće, dotrajale (ako je izvedivo) i pravilnim podešavanjem rada recirkulacijske pumpe moguće ove gubitke smanjiti.



Sl. 3-17: Veliki ležeći spremnik PTV u višestambenoj zgradi

Potrebno je provjeriti stanje toplinske izolacije i ako je dotrajala, zamijeniti je. Također je potrebno sanirati sva eventualna oštećenja i propuštanja vode iz spremnika, i po potrebi spremnik zamijeniti.



Sl. 3-18: Korištenje energije Sunca za pripremu PTV

U sustavima distribucije potrošne tople vode potrebno je također provesti hidrauličko uravnoteženje kako bi se na svakom izljevnom mjestu osigurala potrebna količina i temperatura potrošne tople vode uz najmanju potrošnju energije.

Akumulacijski spremnici u višestambenim zgradama s većim brojem nenastanjenih stanova često su predimenzionirani te zbog relativno velike površine mogu stvarati i velike toplinske gubitke.

Za pripremu potrošne tople vode također se mogu koristiti obnovljivi izvori energije. Primjer je korištenje energije Sunca, odnosno solarnih kolektora. Potrebno je prethodno ispitati kolika je slobodna površina krova za smještaj solarnih kolektora i jesu li osigurani uvjeti za nesmetan i učinkovit rad (povoljna orijentacija i nagib, izostanak zasjenjenja od okolnih zgrada i vegetacije). Također, potrebno je dobro odrediti potrebnu površinu kolektora i volumen solarnog spremnika spram potreba zgrade, posebice ljeti kada se potrošna topla voda rjeđe koristi (više se koristi hladna voda, korisnici su na godišnjem odmoru, itd.). Treba ispitati i mogućnost smještaja opreme u prostor postojeće kotlovnice ili toplinske podstanice.

3.3.3. Preporuke mjera na sustavima potrošnje električne energije s ciljem postizanja uštede primarne energije

Ušteda primarne energije može se postići kroz više aspekata. Prvi je povećanje energetske učinkovitosti, konkretnije u višestambenim zgradama uz bolju toplinsku izolaciju, zamjenu prozora, te korištenjem energetski učinkovitijih uređaja i zamjenom postojeće rasvjete LED rasvjetom. Drugi je korištenje energije proizvedene iz obnovljivih izvora. Primary Energy Factor (PEF) je konverzijski faktor koji pokazuje koliko se primarne energije (iz prirodnih izvora poput ugljena, plina, nafte, vjetra, sunca, vode itd.) mora utrošiti da bi se proizvela jedinica korisne (krajnje) energije, najčešće električne energije. Ukoliko pretpostavimo da ukupna instalirana snaga solarnih elektrana na krovovima zgrada iznosi 1 MW, to je dovoljno za pokrivanje 1314 GWh električne potrošnje. Uz opće prihvaćenu pretpostavku da je PEF 2,5, ukupne godišnje uštede primarne energije iznose 3 285 GWh godišnje. Treći aspekt obuhvaća kogeneraciju, istodobnu proizvodnju topline i električne energije kojom se postiže čak i do 20-30% uštede primarne energije u odnosu na odvojenu proizvodnju. Četvrti aspekt je pametno upravljanje potrošnjom, odnosno mjera smanjenja potrošnje ili pomicanje potrošnje iz razdoblja visokog opterećenja elektroenergetskog sustava u razdoblja s izraženom proizvodnjom iz OIE.

3.4. POTROŠNJA ENERGIJE ZA PRIPREMU POTROŠNE TOPLE VODE (PTV) I NJEN NESRAZMJER U ODNOSU NA ENERGIJU POTREBNU ZA GRIJANJE

Potrošna topla voda u stanovima koristi se za sanitarne i kućanske potrebe. Mjerenje i bilježenje podataka u ISGE-u za zgrade u Zagrebu i Velikoj Gorici započelo je u ožujku 2023., u Vukovaru u rujnu 2023., dok se za zgrade u Rijeci podaci prikupljaju od proljeća 2025. godine. U dvije zgrade u Vukovaru te u obje zgrade u Splitu ugrađeni su lokalni (pojedinačni) sustavi pripreme PTV-a koji koriste električnu energiju.

Tab. 3-3: Izmjerena godišnja potrošnja toplinske energije za pripremu PTV

Red. br. (APN)	ID zgrada (ISGE)	Grad	Godina izgradnje	Godina energetske obnove	Godišnja potrošnja toplinske energije za pripremu PTV (2024.)		Udio u ukupnoj potrošnji toplinske energije
					Zajedničko mjerilo		
					kWh/a	kWh(m ² ·a)	%
1	HR-32000-0101-0	Vukovar	1971.	2018.	20 957 ⁶⁾	16,73 ⁶⁾	29,51 ⁶⁾
2	HR-32000-0100-0	Vukovar	1964.	-	36 848 ¹⁾	18,86 ¹⁾	24,82 ¹⁾
3	HR-32000-0096-1	Vukovar	1971.	2024.	27 409 ⁷⁾	12,97 ⁷⁾	23,83 ⁷⁾
4	HR-32000-0097-1	Vukovar	1972.	2024.	36 526 ⁷⁾	15,05 ⁷⁾	33,97 ⁷⁾
5	HR-32000-0095-1	Vukovar	1966.	-	- ⁵⁾	- ⁵⁾	- ⁵⁾
6	HR-32000-0099-0	Vukovar	1953.	2018.	- ⁵⁾	- ⁵⁾	- ⁵⁾
7	HR-10410-0327-1	Velika Gorica	1975.	2018.	305 050 ²⁾	52,78 ²⁾	52,64 ²⁾
8	HR-21000-0567-1	Split	1972.	2024.	- ⁵⁾	- ⁵⁾	- ⁵⁾
9	HR-21000-0568-1	Split	1972.	-	- ⁵⁾	- ⁵⁾	- ⁵⁾
10	HR-10000-3301-1	Zagreb	1970.	-	181 377 ³⁾	38,82 ³⁾	30,41 ³⁾
11	HR-10000-3296-1	Zagreb	1999.	-	63 215 ³⁾	28,86 ³⁾	24,86 ³⁾
12	HR-51000-0358-1	Rijeka	1976.	2016.	187 440 ⁴⁾	35,21 ⁴⁾	49,04 ⁴⁾
13	HR-51000-0357-1	Rijeka	1976.	2019.	221 290 ⁴⁾	40,68 ⁴⁾	41,27 ⁴⁾

Napomene:

- 1) Za razdoblje od 12/2023 do 11/2024
- 2) Za razdoblje od 11/2023 do 10/2024
- 3) Mjeri se zbirna potrošnja toplinske energije za grijanje i pripremu PTV, raspodjela je načinjena na temelju podataka o mjesečnoj potrošnji u ljetnim mjesecima
- 4) Podatci opskrbljivača toplinskom energijom
- 5) Etažni i lokalni (pojedinačni) sustavi pripreme PTV
- 6) Korištenje energije Sunca za pripremu PTV (mjereno)
- 7) Korištenje energije Sunca za pripremu PTV (nemjereno)

Analizirani su prikupljeni podatci zaključno sa sredinom veljače 2025. godine. Prikupljeni podatci o potrošnji toplinske energije za pripremu PTV agregirani na godišnjoj razini za svaku zgradu prikazani su tablično (tab. 3-3) i odnose se na potrošnju u 2024. godini. Uz ukupnu potrošnju, iskazana je i specifična potrošnja toplinske energije za pripremu PTV po jedinici ploštine grijane površine (A_k) te udio u ukupnoj potrošnji toplinske energije.

Najmanja specifična potrošnja toplinske energije za grijane zabilježena je u energetske obnovljenoj zgradi u Vukovaru ($12,97 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$), a najveća u energetske obnovljenoj zgradi u Velikoj Gorici ($52,78 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$). U usporedbi s proračunskim vrijednostima specifične toplinske energije potrebne za pripremu PTV iz Algoritma za izračun energetskih svojstava zgrada, koja iznosi $16 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ za zgrade s više od 3 stambene jedinice, izmjerena je potrošnja uglavnom veća.

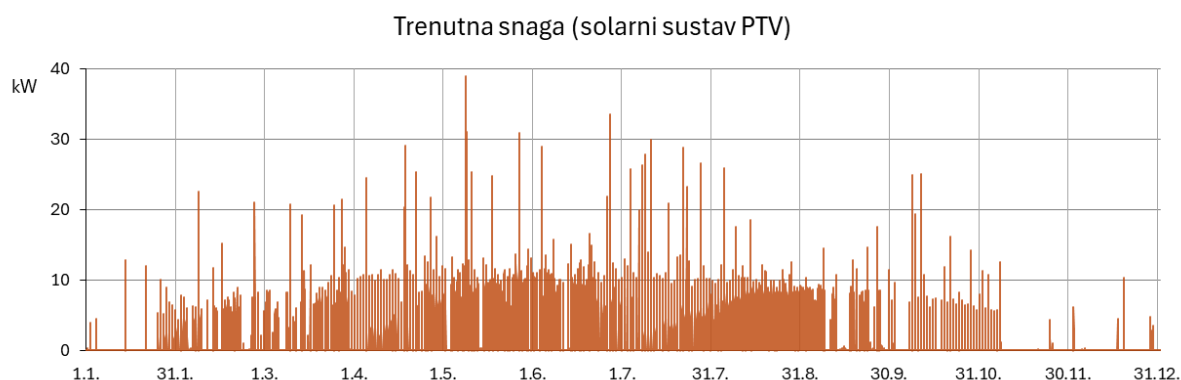
Povećana potrošnja toplinske energije za pripremu PTV-a može biti posljedica veće potrebe za potrošnom toplom vodom (uslijed većeg broja korisnika i/ili njihovih povećanih potreba), nekontroliranog propuštanja vode na izljevnim mjestima ili u instalacijama PTV-a te toplinskih gubitaka u distribuciji (velika duljina razvoda PTV, neizolirane cijevi i spremnici, gubici uslijed recirkulacije).

Odnos potrošnje toplinske energije za pripremu PTV i ukupne potrošnje toplinske energije ovisi i o potrošnji toplinske energije za grijanje. U zgradama s malim potrebama za toplinskom energijom za grijanje (npr. toplinski dobro izolirane zgrade, zgrade u mjestima s toplijom klimom, itd.). Budući da je u gotovo svim zgradama u promatranom razdoblju zabilježena relativno niska potrošnja toplinske energije za grijanje, udio potrošnje toplinske energije za pripremu PTV-a u ukupnoj potrošnji ispada razmjerno visok.

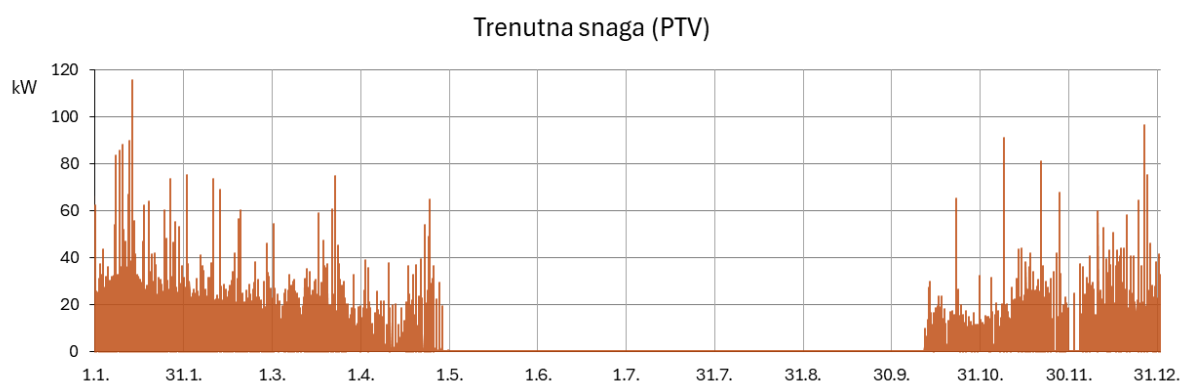
Najmanja potrošnja toplinske energije za pripremu PTV-a zabilježena je u zgradama u Vukovaru, što se dijelom može pripisati većem broju nenastanjenih stanova, kao i korištenju solarnih kolektora za pripremu PTV-a.

U zgradama u kojima se proizvodnja toplinske energije za pripremu PTV-a putem solarnih kolektora mjeri, vidljiv je doprinos tih sustava tijekom ljetnih mjeseci te u mjesecima prijelaznog razdoblja (proljeće i jesen) (sl. 3-19, sl. 3-20, sl. 3-21, sl. 3-22).

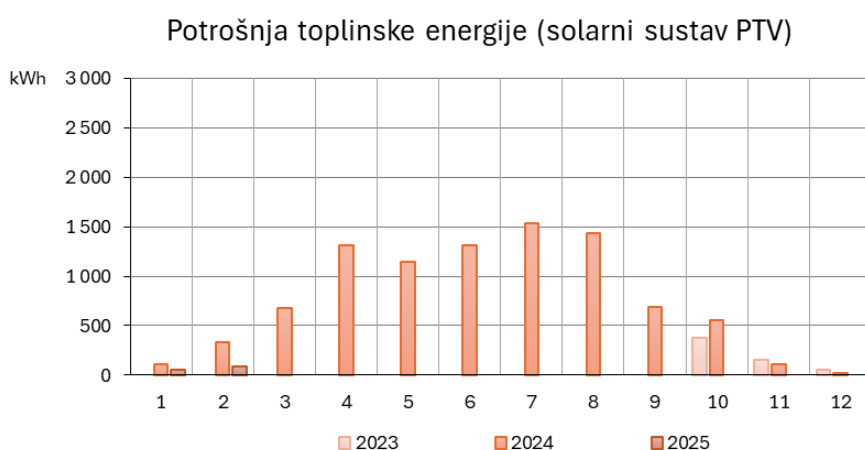
U zgradama s centralnom pripremom PTV-a sustavi su uglavnom akumulacijskog tipa, a veličina (volumen) akumulacijskog spremnika određuje se prema broju korisnika. Spremnici se projektiraju na temelju dnevnih potreba, uzimajući u obzir da se potrebe svih korisnika ne javljaju istovremeno. Općenito vrijedi da faktor istovremenosti opada s porastom broja korisnika. Toplinska snaga potrebna za pripremu PTV-a, odnosno za zagrijavanje akumulacijskog spremnika, u pravilu prati dnevnu dinamiku potrošnje, s određenim vremenskim pomakom, uz dodatnu snagu potrebnu za održavanje željene temperature PTV-a na izljevnim mjestima, što uključuje i gubitke uslijed recirkulacije (sl. 3-23).



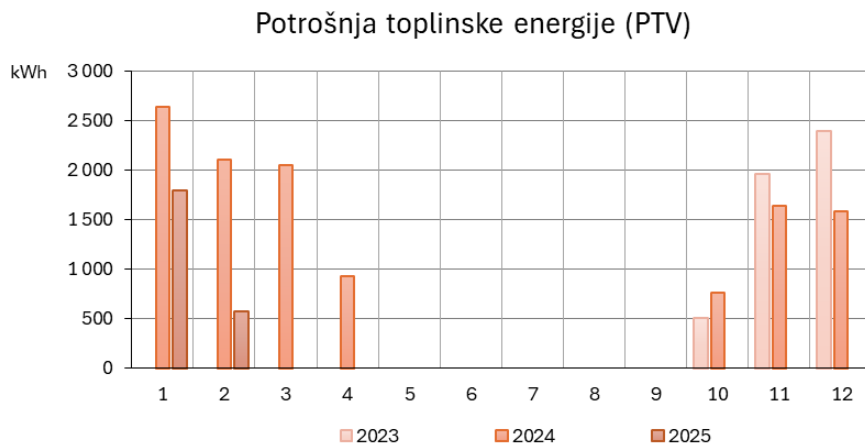
Sl. 3-19: Trenutna snaga solarnog sustava za pripremu PTV u energetske obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0101-0) u 2024. godini



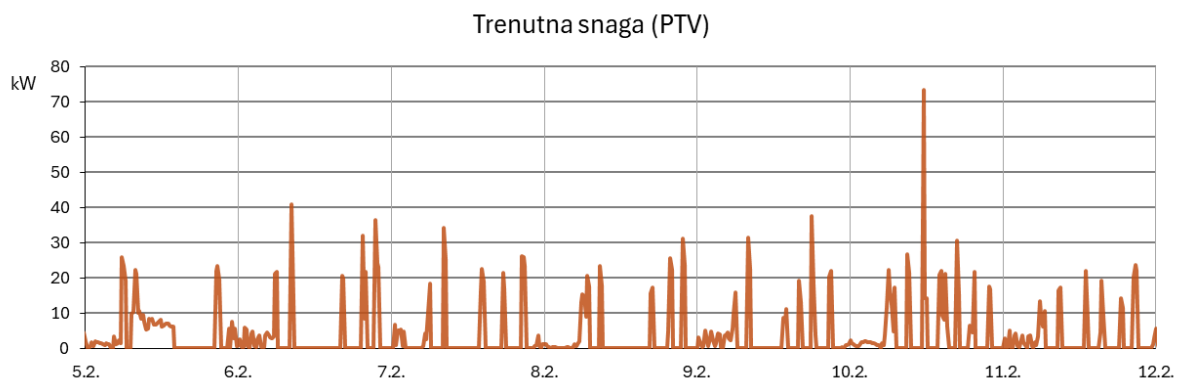
Sl. 3-20: Trenutna snaga centralnog toplinskog sustava za pripremu PTV u energetske obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0101-0) u 2024. godini



Sl. 3-21: Mjesečna potrošnja toplinske energije za pripremu PTV iz solarnog sustava u energetske obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0101-0)



Sl. 3-22: Mjesečna potrošnja toplinske energije za pripremu PTV iz centralnog toplinskog sustava u energetske obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0101-0)



Sl. 3-23: Trenutna snaga centralnog toplinskog sustava za pripremu PTV u energetske obnovljenoj zgradi u Vukovaru (HR-32000-0101-0) u karakterističnom tjednu ogrjevnog sezone u 2024. godini

Toplinski gubici uslijed recirkulacije PTV nastaju zato što potrošna topla voda neprekidno kruži kroz instalaciju, kako bi na izljevnim mjestima (slavinama, tuševima) topla voda uvijek bila dostupna odmah nakon otvaranja.

Ako su cijevi nedovoljno toplinski izolirane ili je recirkulacija kontinuirana, dolazi do znatnih gubitaka topline, koja odlazi u okolni prostor. Ti gubici ovise o:

- načinu polaganja cijevi (unutar ili izvan zidova),
- duljini i promjeru recirkulacijskih cjevovoda,
- debljini toplinske izolacije,
- temperaturi vode u sustavu i temperaturi okoline,

- načinu regulacije (kontinuirana ili vremenski/programski upravljana recirkulacija).

U praksi to znači da se dio toplinske energije stalno troši kako bi se održavala temperatura vode u cjevovodima, čak i kada nema stvarne potrošnje PTV. Kod većih sustava s lošom izolacijom i stalnom recirkulacijom, gubici mogu biti vrlo veliki, ponekad i usporedivi s energijom koja je potrebna za pripremu PTV iz hladne vode.

3.5. STANJE I POTREBNE ZAMJENE STROJARSKIH INSTALACIJA U STARIJIM VIŠESTAMBENIM ZGRADAMA, KAKO U DIJELU PROIZVODNJE TAKO I U DIJELU DISTRIBUCIJE I PREDAJE TOPLINSKE ENERGIJE

U starijim višestambenim zgradama strojarske instalacije često su zastarjele i djelomično nefunkcionalne, što negativno utječe na energetska učinkovitost, pouzdanost sustava i kvalitetu grijanja za krajnje korisnike. Dugotrajna eksploatacija dovodi do trošenja ključnih komponenti, korozije cijevnih sustava, nakupljanja naslaga unutar cijevi i izmjenjivača topline, nepreciznog rada regulacijskih uređaja i neadekvatnog hidrauličkog uravnoteženja. Sve to uzrokuje nepravilnu raspodjelu toplinske energije, povećane toplinske gubitke, veću potrošnju energije te otežano održavanje sustava.

3.5.1. Proizvodnja toplinske energije

Kotlovi su središnji element sustava grijanja. U starijim zgradama često se još uvijek koriste standardni kotlovi, koji imaju nizak stupanj djelovanja uz nedostatak suvremenih sustava regulacije, što znači da znatan dio toplinske energije iz goriva odlazi u dimne plinove i okolni prostor, a ne u sustav grijanja. Nizak stupanj djelovanja povećava potrošnju goriva i operativne troškove te doprinosi većoj emisiji onečišćujućih tvari u zrak, kao i emisiji stakleničkih plinova (CO₂).



Sl. 3-24: Kotao na biomasu u kotlovnici višestambene zgrade u Vukovaru (lijevo) i modularni kondenzacijski plinski kotao toplane u Rijeci (desno)

Stari kotlovi i kotlovski plamenici često nemaju učinkovite sustave regulacije, što dovodi do nepotpunog izgaranja i dodatnog povećanja emisije onečišćujućih tvari u zrak.

Dotrajali kotlovi i pripadajući sustavi (cijevi, ventili, osjetnici) povećavaju rizik od havarija, propuštanja i hidrauličkih problema, a nedostatak modernih sigurnosnih sustava može dovesti do pregrijavanja medija ili opasnih situacija u slučaju kvarova.



Sl. 3-25: Ionski omekšivač vode

Nedostatak ili neispravan rad sustava omekšavanja vode značajno povećava taloženje kamenca u kotlovima, smanjuje njihov vijek trajanja i smanjuje energetske učinkovitost sustava grijanja. Time se povećavaju potrebe za servisiranjem i čišćenjem, a potrošnja energije se povećava, čime se povećavaju operativni troškovi i rizik od nepredviđenih kvarova.

Zbog svega navedenog, stari kotlovi u pravilu zahtijevaju češće održavanje, čišćenje i servisiranje.

Preporučene mjere modernizacije stoga uključuju:

- zamjenu ili ugradnju novih, energetski učinkovitijih kotlova (kondenzacijski ili niskotemperaturni kotlovi),
- zamjena dotrajalih sustava automatske regulacije temperature ogrjevnice tople vode i ugradnja plamenika s modulirajućom regulacijom snage prema opterećenju sustava,
- ugradnju sustava za daljinski nadzor i upravljanje, kao i automatsko bilježenje parametara rada za planiranje održavanja i
- integraciju obnovljivih izvora energije (OIE), npr. korištenje obnovljivih goriva poput biomase, dizalica topline ili solarnih sustava za pripremu tople vode, radi smanjenja potrošnje fosilnih goriva i operativnih troškova.

Modernizacija kotlovskih postrojenja u starijim višestambenim zgradama ključna je za povećanje energetske učinkovitosti sustava grijanja, smanjenje emisija, pouzdan rad i smanjenje operativnih troškova.

3.5.2. Toplinske podstanice

Toplinske podstanice predstavljaju ključnu točku prijenosa toplinske energije s primarnog sustava grijanja (kotlovnice ili centralnog toplinskog sustava) na sekundarni sustav unutar zgrade. One omogućuju preuzimanje toplinske energije iz primarnog sustava prema stvarnim potrebama korisnika uz kontrolu protoka i temperature ogrjevnog medija, kao i mjerenje potrošnje toplinske energije.



Sl. 3-26: Starija toplinska podstanica direktnog tipa (lijevo) i novija indirektna KOMPAKT toplinska podstanica (desno)

Kod starih toplinskih podstanica mogu se pojaviti problemi s dotrajalom opremom. Stari izmjenjivači topline, ventili, pumpe i regulacijski sustavi s vremenom postaju energetske neučinkoviti zbog korozije, nakupljanja naslaga, trošenja i gubitka svojstava toplinske izolacije.



Sl. 3-27: Vidljivi tragovi korozije u cijevima sekundara izmjenjivača topline (lijevo) i propuštanje na ventilu dovoda hladne vode u spremnik PTV (desno)

Također, neprimjerena regulacija učina uzrokuje nepravilan protok i/ili temperaturu ogrjevnog medija, što uzrokuje nedostatnu ili pretjeranu, a često i neravnomjernu predaju toplinske energije u zgradi. Odsutnost sustava za praćenje protoka, tlaka i

temperature ogrjevnog medija onemogućuje kontrolu potrošnje energije i otežava optimizaciju rada sustava. Zbog svega toga dolazi do nepotrebnih gubitaka energije i povećane potrošnje.



Sl. 3-28: Ekspanzijska posuda (lijevo) i ekspanzijski uređaj (desno)

Povećanje volumena vode u sustavu grijanja pri zagrijavanju kompenzira ekspanzijska posuda. U otvorenim je sustavima ekspanzijska posuda u neposrednoj vezi s atmosferom, a smještena je na najvišem mjestu. U zatvorenim uređajima za grijanje toplom vodom ne postoji nikakva veza s atmosferom, ekspanzijska posuda je zatvorena pa se može smjestiti i u kotlovnici ili toplinskoj podstanici. Sustavi sa zatvorenim ekspanzijskim posudama moraju biti opremljeni posebnim sigurnosnim napravama.

Danas se u sustavima grijanja često koriste posebni ekspanzijski uređaji čiji su osnovni elementi atmosferska ekspanzijska posude, prestrujni ventil i tlačna pumpa. Prestrujni ventil i tlačna pumpa rade u sprezi i održavaju potreban statički tlak u sustavu, a ekspanzijska posuda služi za kompenzaciju povećanja volumena vode. Membrana u ekspanzijskoj posudi sprječava kontakt vode sa zrakom iz okoline, a otopljeni plinovi se iz vode uklanjaju uređajem za vakuumsko otplinjavanje.

Otopljeni plinovi u vodi (najčešće kisik, dušik i ugljični dioksid) imaju znatan utjecaj na rad i dugotrajnost sustava grijanja. Otopljeni kisik uzrokuje koroziju metalnih dijelova (kotlova, izmjenjivača topline, cjevovoda) i stvara naslage hrđe koje smanjuju prijenos topline i uzrokuju začepjenja. Povećani sadržaj ugljičnog dioksida u vodi dodatno povećava njenu korozivnu sposobnost. Stoga se otvoreni sustavi grijanja više ne izvode, a postojeći se rekonstruiraju ugradnjom ekspanzijskih uređaja.

U toplinskim podstanicama s centralnom pripremom PTV, čest je problem propuštanja spremnika PTV pa je u tom slučaju neophodna njegova zamjena.



Sl. 3-29: Spremnici PTV u toplinskoj podstanici

Preporučene mjere modernizacije stoga uključuju:

- zamjenu dotrajalih izmjenjivača topline kako bi se osigurao optimalan prijenos toplinske energije,
- zamjenu dotrajalih regulatora, ventila i pumpi kako bi se omogućila precizna regulacija protoka i temperature ogrjevnog tople vode prilagođena potrebama zgrade i korisnika,
- zamjenu dotrajalih spremnika PTV,
- korištenje frekventno upravljanih cirkulacijskih pumpi radi smanjenja potrošnje električne energije prilagođavanjem brzine vrtnje stvarnim potrebama sustava, čime se povećava energetska učinkovitost i produžuje vijek trajanja opreme,
- zamjenu otvorenih ekspanzijskih posuda ekspanzijskim uređajima,
- zamjenu dotrajalih sustava za mjerenje i nadzor potrošnje toplinske energije kako bi se omogućilo točno praćenje potrošnje toplinske energije (u toplinskim podstanicama s centralnom pripremom potrošne tople vode preporuča se odvojeno mjerenje potrošnje toplinske energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode) i
- integraciju obnovljivih izvora energije (OIE), npr. ugradnja solarnih kolektora ili dizalica topline, radi smanjenja potrošnje fosilnih goriva i operativnih troškova.

Modernizacijom toplinskih podstanica osigurava se pouzdan prijenos toplinske energije, ravnomjerna distribucija i optimalna kontrola protoka i temperature ogrjevnog medija prema stvarnim potrebama korisnika.

3.5.3. Distribucija toplinske energije

Distribucijska mreža prenosi toplinsku energiju od toplinske podstanice do ogrjevnih tijela u stanovima i predstavlja ključni element za učinkovit rad sustava grijanja.

U starijim višestambenim zgradama distribucijska mreža često je hidraulički neuravnotežena, što dovodi do povećanih toplinskih gubitaka, nepravilne raspodjele toplinske energije i smanjene energetske učinkovitosti. Neuravnoteženi sustavi uzrokuju prevelik protok medija kroz bliže usponske vodove (vertikale) i nedostatak protoka kroz udaljenije dijelove zgrade. Posljedica je pregrijavanje stanova u donjim etažama i kašnjenje u dostizanju željene temperature u višim ili udaljenim prostorijama.

Dodatno, korozija, trošenje i oštećenje cijevi smanjuju pouzdanost sustava i povećava rizik od propuštanja, a povećana hrapavost cijevi i naslage hrđe stvaraju dodatne hidrauličke otpore strujanja, a u najgorem slučaju mogu uzrokovati i začepljenja.

Također, i dotrajala toplinska izolacija cjevovoda povećava toplinske gubitke.

Preporučene mjere modernizacije distribucijske mreže stoga obuhvaćaju:

- zamjenu dotrajale toplinske izolacije cjevovoda i spojnih elemenata kako bi se smanjili toplinski gubici u okolinu,
- hidrauličko uravnoteženje sustava koje omogućuje ravnomjernu raspodjelu toplinske energije, sprječava pregrijavanje bližih prostorija i osigurava dovoljno toplinske energije za zagrijavanje najudaljenijih dijelova zgrade,
- ugradnju mjerila protoka i tlaka koji omogućuje precizno praćenje rada sustava i identifikaciju problematičnih dijelova mreže i
- ugradnju sustava za daljinski nadzor i upravljanje koji omogućuju optimalno podešavanje protoka i temperature u svim usponskim vodovima i stanovima, čime se povećava energetska učinkovitost i udobnost stanovanja.

Modernizacija distribucijske mreže u višestambenim zgradama, uključujući hidrauličko uravnoteženje, toplinsku izolaciju te ugradnju mjernih i regulacijskih elemenata, ključna je za pouzdan, energetski učinkovit i ravnomjeran rad sustava grijanja. Pravilno projektirana i uravnotežena mreža omogućuje optimalno korištenje toplinske energije, smanjuje operativne troškove i poboljšava komfor stanovanja.

3.5.4. Predaja toplinske energije

Predaja toplinske energije predstavlja završnu fazu u kojoj se toplinska energija iz sustava ogrjevnim tijelima predaje u grijani prostor. Kvaliteta predaje topline izravno utječe na udobnost stanovanja i energetska učinkovitost zgrade.

Problemi kod starijih sustava predaje toplinske energije su u uglavnom u dotrajalim ogrjevnim tijelima koja često imaju smanjenu učinkovitost zbog korozije, začepljenja i nakupljenih naslaga. Dodatno, odsustvo termostatskih ventila ili njihov neispravan rad dovodi do neujednačenog grijanja prostorija i nemogućnosti preciznog podešavanja temperature, a korisnici nemaju individualnu kontrolu nad potrošnjom toplinske

energije. Ako pritom nije ugrađen sustav individualnog mjerenja potrošnje toplinske energije, onemogućena je pravedna raspodjela troškova među korisnicima.

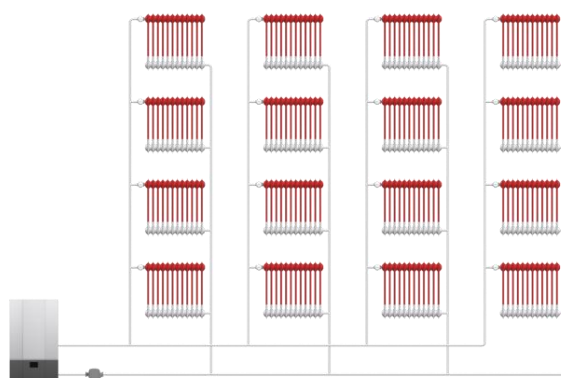
Preporučene mjere modernizacije sustava predaje stoga obuhvaćaju:

- zamjenu dotrajalih ogrjevnih tijela (korozija, začepljenja, nakupine naslaga, propouštanje),
- ugradnju termostatskih ventila koji omogućuje preciznu regulaciju temperature u svakoj prostoriji, smanjenje potrošnje i povećanje udobnosti i
- ugradnju sustava individualnog mjerenja potrošnje (razdjelnici ili kalorimetri), koji omogućuje pravednu raspodjelu troškova među korisnicima.

Modernizacijom sustava predaje toplinske energije postiže se ravnomjerno grijanje svih prostorija, veća udobnost stanovanja i značajne uštede energije. Ugradnjom termostatskih ventila i sustava individualnog mjerenja potrošnje toplinske energije, korisnike se potiče na racionalno korištenje toplinske energije.

3.6. HIDRAULIČKO URAVNOTEŽENJE SUSTAVA DISTRIBUCIJE TOPLINSKE ENERGIJE

Tipična konfiguracija sustava distribucije toplinske energije kod toplovodnog radijatorskog grijanja s vertikalnim razvodom u višestambenim zgradama prikazana je na sl. 3-30. Sustav se sastoji od cijevnog razvoda unutar kotlovnice ili toplinske stanice kojim se ogrjevni medij dovodi do glavnog razdjelnika/sabirnika na koji je priključen niz usponskih vodova (vertikala) kojima se ogrjevna topla voda potom distribuira po visini zgrade te priključnih cjevovoda ogrjevnih tijela na svakom usponskom vodu (ponekad su na jednom usponskom vodu priključena dva ili više ogrjevnih tijela).



Sl. 3-30: Tipična konfiguracija sustava distribucije toplinske energije kod toplovodnog radijatorskog grijanja s vertikalnim razvodom u višestambenim zgradama

Svaki sustav grijanja u svom radu treba ispuniti dva osnovna uvjeta:

- osigurati uvjete toplinske ugodnosti u prostoru i
- ostvariti prvi uvjet uz minimalnu potrošnju energije

Za dimenzioniranje sustava grijanja, odnosno određivanje potrebnog toplinskog učina ogrjevnih tijela, ključni su podatci o toplinskim gubitcima i potrebnoj temperaturi grijanih prostorija te polaznoj i povratnoj temperaturi ogrjevnog medija. Iz toplinskog učina te polazne i povratne temperature ogrjevnog medija, određuje se potreban protok ogrjevnog medija (tople vode) svakog ogrjevnog tijela. Da bi se taj protok u konačnici i ostvario, posebice u vrlo razgranatim i složenim instalacijama kao što su one u višestambenim zgradama, neophodno je provesti hidrauličko uravnoteženje sustava distribucije toplinske energije.

Hidrauličko uravnoteženje osigurava da do svakog ogrjevnog tijela dolazi odgovarajuća protočna količina ogrjevnog medija, čime se ispunjavaju oba navedena uvjeta, odnosno postiže optimalno korištenje toplinske energije.

Negativni učinci hidraulički neuravnoteženih sustava su višestruki. Cijevnom mrežom prenosi se toplinska energija od izvora do ogrjevnih tijela pa kod neuravnoteženih

sustava dolazi do nepravilnog rada sustava grijanja i povećane potrošnje energije. Naime, ako je protok ogrjevnog medija kroz ogrjevno tijelo nedovoljan, grijanje prostora neće biti zadovoljavajuće – povratna voda iz ogrjevnog tijela je hladnija, što smanjuje temperaturu površine ogrjevnog tijela pa se toplinska ravnoteža između ogrjevnog tijela i prostorije uspostavlja pri nižoj temperaturi prostorije kod koje su i toplinski gubici prema okolini manji (sl. 3-31).



Sl. 3-31: Hidraulički neuravnotežen sustav grijanja (izvor: IMI Heimeier, Danfoss)

Zbog niže temperature prostorije, ne postiže se kod korisnika zadovoljavajući osjećaj toplinske ugodnosti (sl. 3-32). Suprotna je situacija kada je protok ogrjevnog medija veći od potrebnog, no iskustvo pokazuje da takvi slučajevi obično ne izazivaju pritužbe korisnika (stanara), za razliku od problema s nedovoljnim protokom.



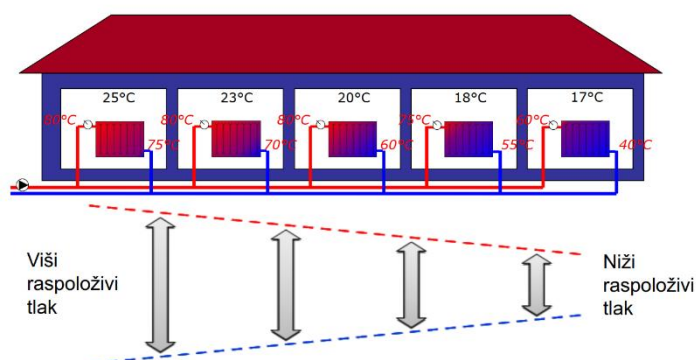
Sl. 3-32: Kod nedostatnog protoka ogrjevnog medija kroz ogrjevno tijelo, njegov učinak će biti manji, a grijanje prostora nezadovoljavajuće

Negativne posljedice zanemarivanja hidrauličkog uravnoteženja u pravilu su razmjerne veličini objekta te se mogu manifestirati na različite načine:

- Neujednačena raspodjela topline po visini i uzduž objekta, pri čemu su odstupanja izraženija u udaljenijim prostorijama.

- Otežana centralna regulacija učina zbog nepravilne distribucije ogrjevnog medija.
- Nedostatan kapacitet cirkulacijske pumpe koja bi u standardnim uvjetima bila dostatna, što dovodi do potrebe za ugradnjom snažnije pumpe.
- Povećana vjerojatnost pojave buke u dijelu instalacije najbližem cirkulacijskoj pumpi.
- Smanjena energetska učinkovitost sustava uslijed korištenja predimenzionirane pumpe i pojave lokalnog pregrijavanja u dijelu objekta.

S obzirom na to da su danas dostupna odgovarajuća tehnička znanja i oprema, ne postoje opravdani razlozi za izostavljanje hidrauličkog uravnoteženja u sustavima centralnog grijanja. Kod hidrauličkog uravnoteženja prioritet je osigurati dovoljan protok za ogrjevna tijela koja se nalaze najdalje od izvora topline i zbog toga rade u najnepovoljnijim uvjetima. Istovremeno je potrebno spriječiti da višak protoka uzrokuje pregrijavanje prostorija bliže cirkulacijskoj pumpi. Samo hidraulički uravnotežen sustav može osigurati odgovarajuću toplinsku ugodnost uz racionalne troškove rada sustava centralnog grijanja. Stoga je hidrauličko uravnoteženje od vitalne važnosti, a što je sustav grijanja veći, to je njegova primjena važnija. Već u fazi projektiranja sustava centralnog grijanja potrebno je precizno definirati sve ključne elemente za uravnoteženje sustava, način njihova podešavanja, kao i neophodna mjerenja.



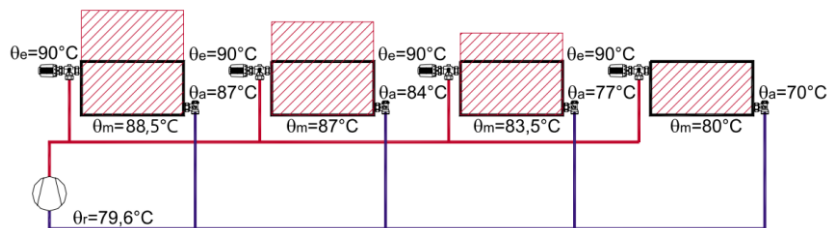
*Sl. 3-33: Razlika tlaka između polaznog i povratnog voda
uzduž instalacije grijanja (izvor: L 51)*

Cirkulacijskom se pumpom ostvaruje protok ogrjevnog medija stvaranjem razlike tlaka između polazne i povratne grane. Zbog pada tlaka uslijed otpora strujanja u cijevima, ta je razlika najveća na početku, a najmanja na kraju instalacije grijanja (sl. 3-33). Što je grana sustava dulja, to su razlike tlaka na početku i kraju veće. Da bi se ostvario potreban protok ogrjevnog medija kroz svako ogrjevno tijelo, potrebno je osigurati dovoljnu razliku tlaka za savladavanje otpora strujanja medija kroz ogrjevno tijelo. Kako bi se pri tome kompenzirao utjecaj pada tlaka kroz cijevnu mrežu, prilikom hidrauličkog uravnoteženja sustava, potrebno je smanjiti razliku tlaka između polaza i povrata i na taj način prigušiti protok ogrjevnog medija kroz pojedini usponski vodovi,

pri čemu kroz one najbliže cirkulacijskoj pumpi najviše, a kroz one najudaljenije najmanje. Isti se princip primjenjuje i pojedinačno na ogrjevna tijela priključena na cijevni razvod na pojedinom usponskom vodu.

Problem hidrauličkog uravnoteženja ne može se riješiti samo dimenzioniranjem cijevne mreže. Odabirom profila cijevi pojedinih dionica u pravilu se ne može postići potpuna hidraulička ravnoteža sustava jer se cijevi proizvode u unaprijed definiranim standardnim promjerima te se ne može računati da će svaka pojedina dionica vlastitim hidrauličkim otporom automatski djelovati tako da se kroz nju uspostavlja traženi protok ogrjevnog medija. Osim toga, i regulacijski elementi na samim ogrjevnim tijelima, kontinuirano mijenjaju otpore strujanja i hidrauličke prilike u cijevnoj mreži tokom sezone grijanja te na taj način aktivno djeluju na distribuciju protoka ogrjevnog medija kroz pojedine dionice.

U nedostatku posebne opreme, hidrauličko uravnoteženje nekada je bilo vrlo zahtjevno, pa su projektanti i izvođači često od njega odustajali. Kao privremeno rješenje primjenjivala se ugradnja cirkulacijskih pumpi većeg kapaciteta (sl. 3-34), što je uzrokovalo povećane protoke i razlike tlakova, pregrijavanje bližih prostorija te veću potrošnju električne energije⁶.

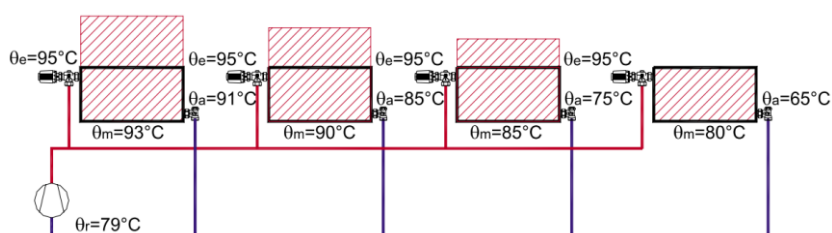


Sl. 3-34: Povećanje protoka ogrjevnog medija (izvor: Herz)

Katkad se problem hidrauličkoga neuravnoteženja pokušava riješiti i povišenjem polazne temperature ogrjevnog medija (sl. 3-35). Iako se na taj način može dijelom ublažiti negativan utjecaj premalog protoka kod kritičnih prostorija, preostali se dijelovi zgrade pregrijevaju, a potrošnja energije povećava⁷.

⁶ Pad tlaka u cjevovodu raste s kvadratom, a potreba snaga pumpe s kubom volumnog protoka ogrjevnog medija

⁷ Povećanje polazne temperature ogrjevnog medija za 1 °C povećava pogonske troškove za 5-10 %

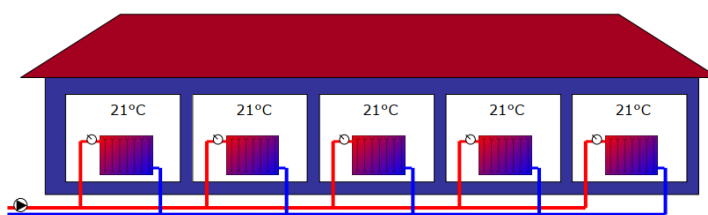


Sl. 3-35: Povećanje polazne temperature ogrjevnog medija (izvor: Herz)

Problem hidrauličkog uravnoteženja ne može se, dakle, adekvatno riješiti samo ugradnjom veće cirkulacijske pumpe ili povišenjem polazne temperature ogrjevnog medija. Takav pristup nepotrebno povećava troškove pogona i smanjuje energetske učinkovitost sustava.

Za ostvarenje traženog protoka u svakoj dionici potrebno je ugraditi dodatne regulacijske elemente u sustav distribucije toplinske energije u zgradi.

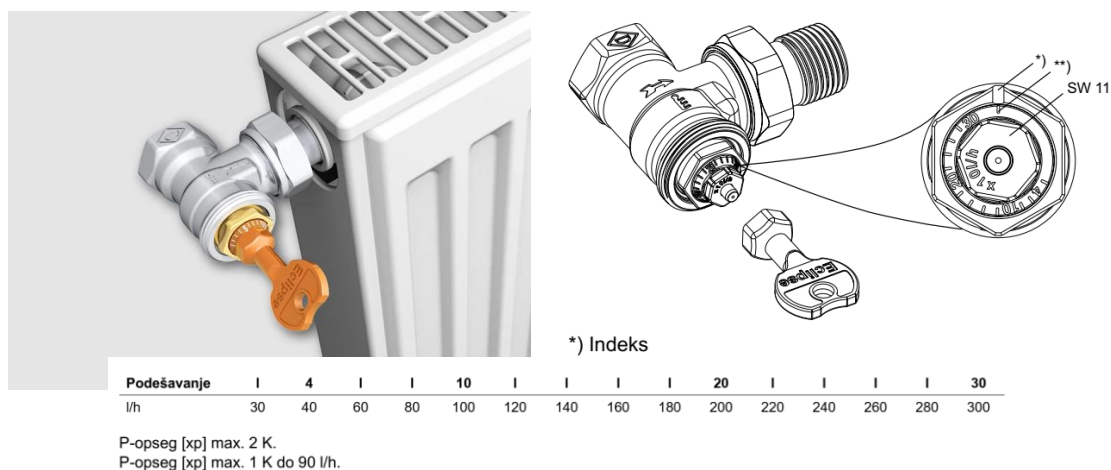
Kod vrlo jednostavnih sustava s manje ogrjevnih tijela, hidrauličko se uravnoteženje do određene mjere može postići termostatskim ventilima s funkcijom predpodešenja (sl. 3-36).



Sl. 3-36: Jednostavan sustav grijanja s termostatskim ventilima s predpodešenjem

Predpodešenjem termostatskog ventila se, naime, podešava maksimalna moguća otvorenost svakog ventila na način da se na radijatorima bliže izvoru topline i cirkulacijskoj pumpi podesi manja, a onima dalje od izvora veća maksimalna otvorenost ventila (sl. 3-37).

Sustavi s termostatskim ventilima djelomično se uravnotežuju njihovim radom, no i u tom slučaju, neuravnoteženi sustav neće raditi optimalno, osobito pri paljenju i gašenju sustava i/ili kod centralne regulacije polazne temperature ogrjevnog medija. Posljedica je da najudaljenije prostorije dosežu željenu temperaturu tek nakon što bliže prostorije postignu zadanu temperaturu i njihovi termostatski ventili počnu smanjivati protok. No, ispravnim predpodešenjem termostatskih ventila može se olakšati rad drugih regulacijskih elemenata u složenim hidraulički uravnoteženim sustavima.



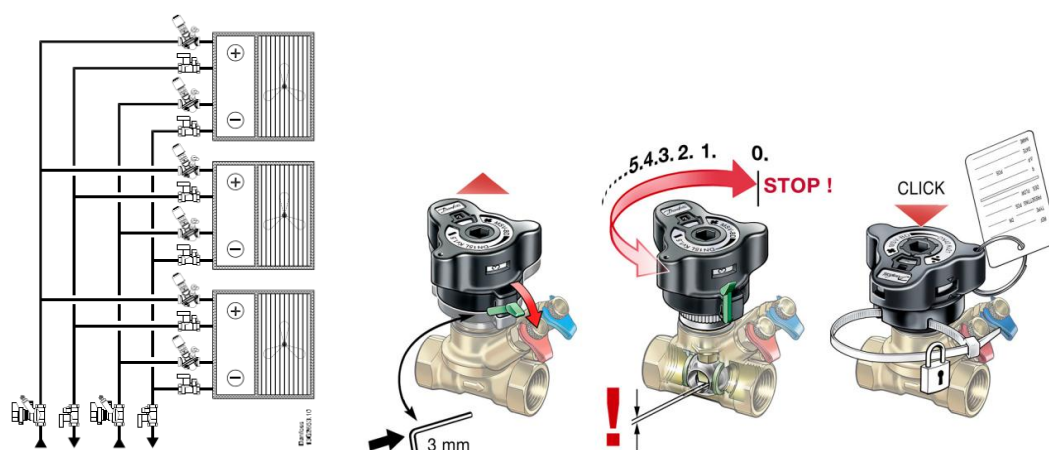
Sl. 3-37: Predpodešenje termostatskog ventila (izvor: IMI Heimeier)

No, kod složenijih sustava, u koje spadaju i oni u višestambenim zgradama, neophodna je ugradnja regulacijskih elemenata u sustavu distribucije. Osnovni regulacijski elementi u hidraulički uravnoteženim složenim sustavima distribucije toplinske energije s ogrjevnom vodom, kao što su oni u višestambenim zgradama, su:

- ručni i automatski balansirajući ventili,
- frekventno upravljana pumpa s promjenjivim brojem okretaja i
- termostatski regulacijski ventili na ogrjevnim tijelima (radijatorima).

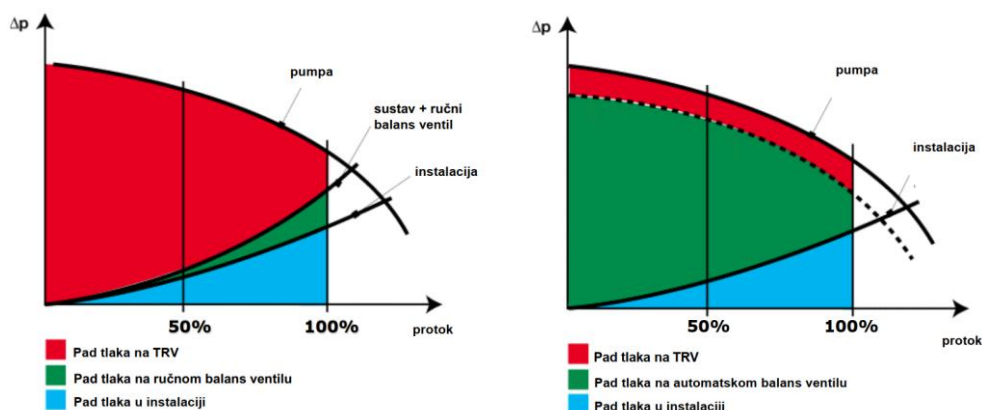
Ručni i automatski balansirajući ventili djeluju tako da u svakom usponskom vodu osiguraju potreban protok ogrjevnog medija. Da bi se u cijelom rasponu toplinskog opterećenja sustava mogla ostvariti ukupna tražena protočna količina ogrjevnog medija potrebna je i frekventno upravljana cirkulacijska pumpa. Kod radijatorskog grijanja, osnovni element kojim se regulira učin pojedinog ogavnog tijela u prostoriji je termostatski ventili. Kod grijanja ventilatorskim konvektorima, koriste se troputni i prolazni regulacijski ventili.

U sustavima s konstantnim protokom cirkulacijskog medija (primjerice kod ručno reguliranih ventila na radijatorima ili kod ventilokonvektorskog grijanja gdje se regulacija učina ostvaruje po zračnoj strani) mogu se ugraditi samo ručni balansirajući ventili kako bi se reducirao protok ogrjevnog medija kroz usponske vodove i horizontalne grane bliže izvoru topline i cirkulacijskoj pumpi. Kod takvog, **statičkog hidrauličkog uravnoteženja**, protok se regulira ručno, preko tlačno ovisnih ventila (sl. 3-38). Ventil ima funkciju predpodešavanja za postavljanje/prilagođavanje protoka, a ima i priključna mjesta za mjerenje protoka. Protoci se podešavaju isključivo za uvjete punog opterećenja, čime se optimizira distribucija ogrjevne vode samo pri maksimalnom iskorištenju sustava grijanja. To znači da se slučaj djelomičnog opterećenja ili promjenjive raspodjele opterećenja po pojedinim dijelovima zgrade, ne može riješiti na ovaj način.



Sl. 3-38: Princip rada ručnog balansirajućeg ventila u statički uravnoteženim sustavima grijanja s ventilatorskim konvektorima

Kod sustava s promjenjivim protokom, primjerice onih opremljenih termostatskim ventilima, potrebno je ugraditi automatske regulatore diferencijalnog tlaka na usponskim vodovima, budući da ručni regulacijski ventili ne mogu održavati stabilnu razliku tlaka u cijelom rasponu protoka ogrjevnog medija (sl. 3-39).

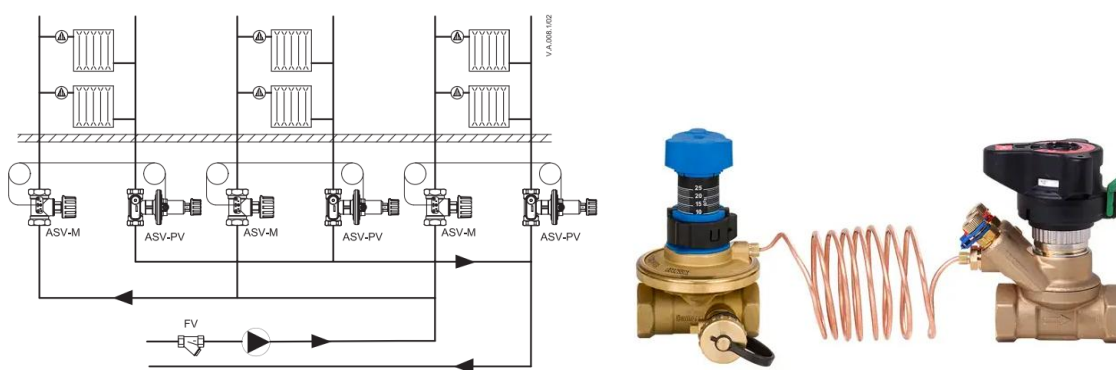


Sl. 3-39: Razlika tlaka u sustavu grijanja s ručnim i automatskim balansirajućim ventilima

Naime, ručni balansirajući ventil ima mogućnost promjene hidrauličkog otpora, ali je on u pravilu uvijek podešen za maksimalni protok te će kod manjih protoka (manjih toplinskih opterećenja) i pad tlaka kroz njega biti manji. S obzirom na to da je pad tlaka proporcionalan kvadratu protoka, kod dvostruko manjeg protoka ogrjevnog medija pad tlaka kroz ručni balansirajući ventil će biti četiri puta manji. To znači da će kod manjih toplinskih opterećenja, termostatski ventili morati preuzeti veći dio ukupnog pada tlaka, odnosno da su u tom slučaju termostatski ventili jedini elementi kojima se aktivno prigušuje protok. Međutim, termostatski ventili ne koriste dodatnu energiju za svoj rad te nisu u mogućnosti nadvladati velike razlike tlaka koje im postavlja cirkulacijska

pumpa. Područje normalnog rada termostatskih ventila je od 5 do 25 kPa te je cijelom rasponu opterećenja potrebno ovu razliku tlaka održavati unutar tih vrijednosti.

Zato se u takvim sustavima najčešće primjenjuje kombinacija oba rješenja – ručni balansirajući ventili ograničavaju maksimalni protok, dok automatski balansirajući ventili na usponskim vodovima osiguravaju da je razlika tlaka uvijek unutar područja optimalnog rada termostatskih ventila (sl. 3-40). Istovremeno, ovi elementi omogućuju dodatne funkcije, uključujući zatvaranje, ispuštanje medija te precizna mjerenja protoka i diferencijalnog tlaka. Takav sustav naziva se **dinamički hidraulički uravnotežen sustav**.



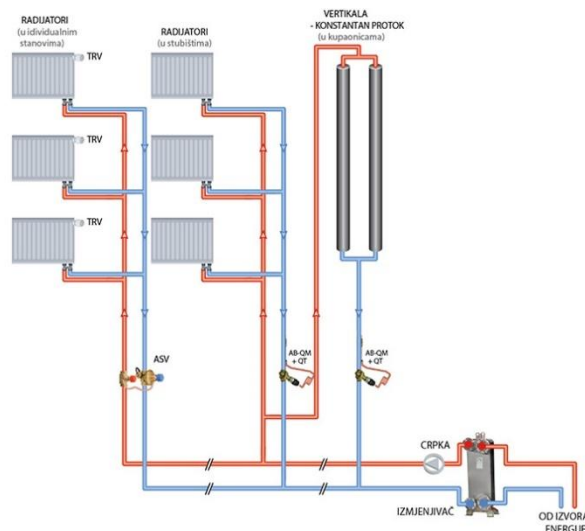
Sl. 3-40: Dinamički uravnotežen sustav grijanja
s automatskim balansirajućim ventilima (izvor: Danfoss)

Automatski balansirajući ventil montira se na povratnu cijev, a ručni balansirajući ventil (partner ventil) na cijev polaza. Međusobno su povezan impulsnom cijevi. Pri djelomičnom opterećenju, kada su protoci u instalaciji smanjeni, automatski balansirajući ventil reagira na promjene uvjeta i osigurava konstantnu razliku tlaka među vodovima. Putem unutarnjeg spoja i zajedno s oprugom tlak u cijevi povrata djeluje na donju stranu regulacijske membrane, dok putem impulsne cijevi tlak u cijevi polaza djeluje na gornju stranu membrane. Na taj način balans ventil održava podešeni diferencijalni tlak. Za ograničavanje protoka na radijatorima koristi se termostatski radijatorski ventil s funkcijom predpodešenja.

Postavna vrijednost diferencijalnog tlaka namješta se ovisno o vrsti sustava grijanja, odnosno ogrjevnih tijela:

- 5-25 kPa kod sustava grijanja s radijatorima,
- 20-40 kPa kod sustava grijanja s radijatorima, ventilokonvektorima, klima komorama i individualnim stambenim podstanicama,
- 35-75 kPa kod sustava grijanja i hlađenja s individualnim stambenim toplinskim podstanicama, ventilokonvektorima i kazetnim ventilokonvektorima te
- 60-100 kPa kod sustava s velikim terminalnim jedinicama, kao što su klima komore, ventilokonvektori i sl.

Kod višestambenih zgrada, u grijanim stubištima i hodnicima se uglavnom nalaze ogrjevna tijela koja nemaju termostatske ventile. Na tim se usponskim vodovima također preporuča ugraditi automatske balansirajuće ventile koji će ograničiti protok kada su protoci na ostalim usponskim vodovima smanjeni zbog djelovanja termostatskih ventila na ogrjevnim tijelima u stanovima (sl. 3-41). Na taj se način smanjuju toplinski gubici i potrošnja električne energije za rad cirkulacijskih pumpi.



Sl. 3-41: Ugradnja automatskih balansirajućih ventila na usponske vodove grijanih stubišta u višestambenim zgradama

Za sustave s nižim vertikalama i manjim brojem ogrjevnih tijela, moguća je i ugradnja tlačno neovisnih regulacijskih ventila (engl. *Pressure Independent Control Valve*) ispred svakog ogrjevnog tijela (ako postoji dovoljan prostor – priključak sa strane).



Sl. 3-42: Ugradnja tlačno neovisnog regulacijskog ventila (izvor: Danfoss)

Automatsko hidrauličko uravnoteženje može se koristiti kao dodatak ili kao alternativa statičkom ili dinamičkom uravnoteženju. Maseni protoci se kontinuirano izračunavaju i podešavaju putem automatskog sustava, odnosno inteligentnog elektroničkog upravljanja sustavom.

Provedba hidrauličkog uravnoteženja u postojećim višestambenim zgradama izazovna je zbog potrebe postizanja konsenzusa među vlasnicima, no kontinuirano informiranje, edukacija i stručni savjeti mogu donijeti znatne uštede. Dokazano je da hidraulički uravnoteženi sustavi mogu smanjiti potrošnju energije te istovremeno poboljšati uvjete stanovanja.

Novi prijedlog Pravilnika o tehničkim zahtjevima za ugradnju uređaja za obračun troškova toplinske energije, propisuje da u svrhu postizanja ravnomjerne raspodjele toplinske energije krajnji kupci mogu provesti dinamičko hidrauličko uravnoteženje na unutarnjim instalacijama, pri čemu odgovarajući način izvedbe dinamičnog hidrauličkog uravnoteženja određuje ovlašteni inženjer strojarske struke, na zahtjev krajnjih kupaca.

3.7. MOGUĆNOST PRIKLJUČENJA VEĆIH POTROŠAČA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA POSTOJEĆU INFRASTRUKTURU UNUTAR ZGRADE, KAO I NA TS X/0,4 KV

Postojeće zgrade najčešće su projektirane i građene za točno određenu namjenu bez dugoročnih planova o mogućim nadogradnjama velikih potrošača jer bi takav pristup znatno povećao troškove gradnje. Postojeći razvod električnih instalacija i sam priključak najčešće nisu dovoljni za ugradnju velikih trošila pa je potrebno planirati troškove povećanja snage, dogradnje opreme u TS-u, novog razvoda električnih instalacija i novih elektro-ormara.

3.8. MOGUĆNOST PROJEKTIRANJA I INSTALACIJE FOTONAPONSKIH ELEKTRANA NA KROV ZGRADE

Prije odluke o gradnji elektrane na krovu potrebno je izraditi analizu mogućnosti ugradnje fotonaponske elektrane koja uključuje analizu krovne konstrukcije, zaštite od požara i mogućnost priključenja elektrane na postojeći elektroenergetski razvod zgrade. Nakon te analize potrebno je provesti analizu isplativosti investicije koja uključuje sve dodatne troškove ako postoje. Primjeri mogućih dodatnih troškova su:

- rekonstrukcija krovišta ako građevinar (statičar) procijeni da postojeće krovište ne zadovoljava postojeće propise ili ako procijeni da ne može podnijeti dodatni teret elektrane na krovu,
- rekonstrukcija građevinskih slojeva krovišta ako projektant zaštite od požara procijeni da ne zadovoljavaju propisane uvjete vatrootpornosti,
- rekonstrukcija vanjskih otvora ako projektant zaštite od požara procijeni da ne zadovoljavaju propisane udaljenosti od planirane instalacije elektrane,
- povećanje snage elektroenergetskog priključka i zamjena elektrotehničke instalacije zgrade ako projektant elektrotehničkih instalacije procijeni da postojeća instalacija ne zadovoljava potrebe za priključenje elektrane - instalacija zajedničke potrošnje zgrade je obično izvedena za priključenje potrošača malih snaga jer se ne očekuju veliku potrošači u zajedničkim prostorijama. Dodatno, ako zgrada ima 1f priključak ne može se priključiti elektrana snage veće od 3,8kW.
- arhitekt provjerava da li je dozvoljena gradnja prema zakonima o prostornom uređenju, gradnji, prostornim planovima.

Nakon provedene instalacije suvlasnici zgrade donose odluku o gradnji elektrane.

Prvi korak je izrada idejnog projekta koji se predaje u sustav edozvola za ishođenje posebnih uvjeta gradnje i uvjeta priključenja.

Nakon dobivenih uvjeta izrađuje se glavni projekt koji uključuje sve navedene mape - Elektro, građevinska (projekt konstrukcije), zaštita od požara, arhitektura.

3.9. MOGUĆNOST DIJELJENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZMEĐU SUVLASNIKA S OGRANIČENJEM I BEZ GEOGRAFSKOG OGRANIČENJA, TJ. OGRANIČENJA NA RAZINI PRIKLJUČENJA

Prema Zakonu o tržištu električne energije skupina krajnjih kupaca koji djeluju zajedno troše ili skladište električnu energiju proizvedenu u vlastitom prostoru smještenom unutar definiranih granica. Skupinu krajnjih kupaca koji zajednički nastupaju čine obračunska mjerna mjesta krajnjih kupaca u istoj zgradi s više stanova i/ili poslovnih prostora na čiju instalaciju je priključeno proizvodno postrojenje ili postrojenje za skladištenje energije preko obračunskog mjernog mjesta pojedinog krajnjeg kupca, obračunskog mjernog mjesta zajedničke potrošnje ili preko posebnog obračunskog mjernog mjesta za proizvodno postrojenje ili postrojenje za skladištenje energije.

Ukupna priključna snaga u smjeru predaje električne energije u mrežu na obračunskim mjernim mjestima skupine krajnjih kupaca koji zajednički nastupaju ne smije biti veća od 80% ukupne priključne snage u smjeru preuzimanja električne energije iz mreže na tim obračunskim mjernim mjestima.

Samoopskrba višestambene zgrade, skupni aktivni kupac te skupina krajnjih kupaca koji djeluju zajedno ograničeni su na prostor višestambene zgradu i dijeljenje energije na razini priključka zgrade. Za dijeljenje energije koja se dobiva iz proizvodnog postrojenja (solarne elektrane) koja se nalazi na krovu zgrade ne koriste se distribucijska i prijenosna mreža. Zbog toga se za dodijeljenu energiju iz solarne elektrane OMM koja su uključena u shemu dijeljenja ne obračunava naknada za korištenje mreže.

3.10. ISKORIŠTAVANJE POTENCIJALA VIŠESTAMBENIH ZGRADA U DIJELU PRUŽANJA USLUGA FLEKSIBILNOSTI

Višestambene zgrade imaju značajan potencijal za pružanje usluga fleksibilnosti. Fleksibilnost na strani višestambenih zgrada može se podijeliti na fleksibilnost potrošnje, proizvodnje i pohrane. Višestambene zgrade mogu pružiti usluge fleksibilnosti odgovaranjem na cjenovne signale od strane opskrbljivača ili operatora sustava. Zahvaljujući toplinskoj inerciji prostora u zgradama, one mogu služiti kao toplinski spremnici te pružati fleksibilnost bez narušavanja udobnosti krajnjih korisnika.

Jedan od najvećih izazova jest motivirati krajnje korisnike da pružaju usluge fleksibilnosti kad je to potrebno. Zbog toga fleksibilnost postaje tržišni proizvod u kojem potrošači ostvaruju financijske ili druge koristi. Postoje dva tržišna mehanizma za pružanje usluga fleksibilnosti na strani potrošnje. U slučaju implicitnog odziva potrošnje, potrošači odlučuju biti izloženi vremenski promjenjivim cijenama električne energije i/ili mrežnim tarifama. U slučaju eksplicitnog odziva potrošnje, potrošači odlučuju sudjelovati na energetske tržištima (npr. putem agregatora) i primaju naknadu u zamjenu za ponuđenu i prihvaćenu promjenu opterećenja.

U oba slučaja – implicitnog i eksplicitnog odziva potrošnje – zahtjevi za fleksibilnošću od strane OPS-a ili ODS-a često se ne mogu ispuniti od strane jednog potrošača. Stoga se većina zgrada treba agregirati i putem agregatora pruža objedinjenu fleksibilnost. U tom slučaju, OPS-i i ODS-i definiraju proizvode koje manje jedinice fleksibilnosti mogu ponuditi, dok su agregatori odgovorni za razvoj poslovnog modela i tehničkog rješenja za agregaciju. Ipak, vlasnici stanovi, upravitelji zgrada ili korisnici prostora ponekad mogu biti motivirani okolišnim ili drugim nefinancijskim razlozima.

Fleksibilne usluge mogu se razlikovati prema tehničkim značajkama, uključujući smjer usluge (povećanje/smanjenje), snagu i energiju usluge (kW naspram kWh), dostupnost i predvidljivost, vrijeme aktivacije i lokaciju pružatelja fleksibilnosti (prijenosna/distribucijska mreža). Iako su fleksibilne usluge koje pružaju zgrade i općenito potrošači često tržišno utemeljene, njihov glavni cilj je izbjegavanje problema u mreži. Stoga se definiraju kao mrežne usluge, tj. usluge koje podupiru proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije te ostvaruju vrijednost kroz izbjegnute troškove elektroenergetskog sustava. Sve mrežne usluge pridonose mreži unutar tri glavne kategorije koje se mogu dispečirati: energija, kapacitet i pomoćne usluge. Neke od tih usluga donose koristi izbjegavanjem ili odgađanjem ulaganja u prijenosnu i distribucijsku infrastrukturu i pripadajućih kapitalnih troškova, čime se mogu spriječiti povećanja naknade za korištenje mreže za krajnje korisnike.

Brojne su koristi koje elektroenergetski sustav i društvo mogu ostvariti korištenjem strategija upravljanja potrošnjom, uključujući:

- povećanu pouzdanost i otpornost sustava,

- veću integraciju distribuiranih izvora energije,
- poboljšanu kvalitetu napajanja i smanjenje prekida za korisnike,
- smanjene troškove proizvodnje, energije i pomoćnih usluga,
- smanjene troškove rada i održavanja operatora sustava,
- smanjeni troškove gubitaka u prijenosu i distribuciji,
- smanjene utjecaje na okoliš, uključujući emisije CO₂,
- smanjene troškove usklađivanja s okolišnim propisima i veći gospodarski razvoj.

Mrežne usluge odnose se na usluge koje podupiru proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije i pružaju vrijednost kroz izbjegnute troškove sustava (bilo troškove proizvodnje ili isporuke). Neke od tih mrežnih usluga obuhvaćaju:

- regulacija napona,
- upravljanje kapacitetom mreže,
- upravljanje zagušenjima,
- kontrolirano otočno djelovanje.

Višestambene zgrade mogu pomoći operatorima sustava kombinacijom mjera koje smanjuju ili prilagođavaju potrošnju električne energije i time izbjegavaju dodatne troškove. Mrežne usluge koje mogu pružiti ekonomsku vrijednost mogu se okarakterizirati kao usluge koje:

- smanjuju troškove proizvodnje zamjenom ulaganja u proizvodni kapacitet, izbjegavanjem troškova goriva elektrana, operativnih i održavanja, ili pružanjem pomoćnih usluga kao što su podrška frekvenciji ili naponu te pričuvne rezerve po nižoj cijeni
- smanjuju troškove isporuke zamjenom ulaganja u prijenosne i distribucijske kapacitete, povećanjem životnog vijeka opreme, smanjenjem održavanja, ili podržavanjem pomoćnih usluga kao što je regulacija napona na distribucijskoj razini po nižoj cijeni.

4. ZAKLJUČAK

Mjere za poboljšanje energetske učinkovitosti višestambene zgrade, odnosno smanjenje toplinskih gubitaka kroz vanjsku ovojnicu zgrade mogu se provesti korištenjem širokog raspona različitih pristupa u smislu materijala, proizvoda, tehnologija. Pri tome, faktori koji mogu utjecati na odabir koncepta obnove, između ostalog, uključuju i stvarno stanje zgrade u smislu izmjerene potrošnje energije te stvarno stanje postojećeg sastava slojeva vanjske ovojnice zgrade te strukturno i funkcionalno stanje vanjske ovojnice zgrade (vanjskih zidova, krovova, prozora, itd.).

Ove smjernice daju pregled mogućih naprednih tehnologija za izradu arhitektonskog snimka postojećih zgrada u slučajevima kada ne postoji vjerodostojna projektna dokumentacija (npr. kod starijih zgrada) ili kada je postojeće stanje značajno odstupilo od dokumentiranog. Primjena suvremenih tehnologija 3D skeniranja i izrade digitalnih blizanaca (digital twin) poput LiDAR-a (Light Detection and Ranging) značajno unapređuje proces arhitektonskog snimanja i energetskog pregleda zgrade.

Neosporna je činjenica da tijekom faze projektiranja energetske obnove višestambenih zgrada, arhitekti i inženjeri moraju odlučiti kako će obnoviti zgradu. Ove odluke moraju se donijeti korištenjem pretpostavki o svojstvima postojeće vanjske ovojnice višestambene zgrade, djelovanjima iz okoliša, ponašanju stanara, promjenjivim troškovima energije, ekonomskim koristima i drugim faktorima. Sve ove pretpostavke utječu na uspjeh projekta energetske obnove zgrade, malen „energy performance gap“ ali i dugoročne koristi. Nedostatak točnih i pouzdanih informacija o ponašanju zgrade prije energetske obnove te korištenje pretpostavki otežava projektiranje energetske obnove višestambenih zgrada i dobivanje jasne procjene budućih troškova i koristi. Zbog navedenog, ove smjernice daju primjere mjernih metoda koje je moguće koristiti za određivanje stanja vanjske ovojnice zgrade, ali i kontrolu kvalitete izvedenih radova. Kroz smjernice je moguće vidjeti cijeli niz primjera prikupljenih na višestambenim zgradama obuhvaćenima predmetnom analizom. Moguće je vidjeti primjere potvrđivanja i odbacivanja pretpostavki koje su projektanti energetske obnove prihvatili temeljem često nepouzdatih informacija, ali potvrde kvalitete izvedenih radova.

Pri tome su pokazane usporedbe izmjerenih i teorijskih vrijednosti parametara vanjske ovojnice zgrade poput U-vrijednosti ili n50 vrijednosti iz kojih su očigledna značajna odstupanja realnog stanja od pretpostavljenih vrijednosti. Pri tome se zaključuje da su stvarna mjerenja pouzdanija od proračuna temeljenih na idealiziranim pretpostavkama.

Također, smjernice diskutiraju problematiku „energy performance gap-a“ sa stajališta arhitektonsko-građevinske struke te ističe potencijalne uzroke pojave istog na analiziranim višestambenim zgradama.

U okviru ISGE sustava prikupljaju se satni podaci o potrošnji toplinske energije, trenutačnoj snazi te temperaturi polaza i povrata za zgrade priključene na toplinski sustav. U Vukovaru su dostupni i podaci s pojedinačnih mjerila (kalorimetara) po stanovima, što omogućuje detaljniju analizu potrošnje vode unutar svake zgrade. Analiza podataka pokazuje da je specifična potrošnja toplinske energije za grijanje u svim zgradama relativno niska (od 29,26 do 88,85 kWh/m²·a). Specifična potrošnja toplinske energije u neobnovljenim zgradama pilot projekta manja je od prosječnih vrijednosti specifične potrebne energije za grijanje prostora ($Q''_{H,nd}$) u višestambenim zgradama u Hrvatskoj, prema Programu energetske obnove višestambenih zgrada za razdoblje do 2030. godine.

Manja potrošnja toplinske energije može se pripisati nekoliko čimbenika: provedena energetska obnova, ugradnja uređaja za regulaciju temperature i mjerenje potrošnje, blage vremenske prilike te prisutnost nenastanjenih stanova. Energetski obnovljene zgrade troše znatno manje toplinske energije od neobnovljenih, a ugradnja termoregulacijskih ventila omogućava korisnicima racionalnije korištenje grijanja.

Godišnja dinamika potrošnje pokazuje da je potrošnja najveća u zimskim mjesecima, dok satni podaci otkrivaju dnevne i tjedne varijacije – jutarnji i popodnevni maksimum te prekid grijanja noću. Distribucija toplinske energije prilagođava se vanjskoj temperaturi i vremenskim uvjetima, a dodatno utjecaj imaju sunčeva zračenja, vjetar, naoblaka i oborine. Neki distributeri toplinske nude različite režime grijanja, uključujući cjelodnevno grijanje i noćni nisko-temperaturni režim, što utječe na specifičnu potrošnju toplinske energije između zgrada sličnih karakteristika i obnove. Razlike u potrošnji povezane su s različitim unutarnjim temperaturama i trajanjima grijanja tijekom dana.

Kod zgrada priključenih na toplinski sustav analizirani su i podatci o potrošnji toplinske energije za pripremu potrošne tople vode (PTV) koji pokazuju da specifična godišnja potrošnja iskazana po jedinici grijane površine iznosi između 12,97 i 52,78 kWh/(m²·a). U većini slučajeva potrošnja je viša od proračunskih vrijednosti iz Algoritma za izračun energetske svojstava zgrada, što može biti posljedica većih potreba korisnika, propuštanja vode, ili toplinskih gubitaka u distribuciji, posebno u sustavima s recirkulacijom te dugim razvodima i neizoliranim cijevima. U zgradama s malom potrošnjom energije za grijanje, udio energije za pripremu PTV u ukupnoj potrošnji je relativno visok. Najmanja potrošnja zabilježena je u Vukovaru, dijelom zbog nenastanjenih stanova i korištenja solarnih kolektora, gdje je vidljiv doprinos tih sustava u ljetnim i prijelaznim mjesecima.

U Smjernicama je prikazana usporedba postojećeg algoritma za izračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema algoritmu i algoritmom propisanih normi s novim izračunom prema normi HRN EN ISO 52016-1, kao i mjerenjima na predmetnim višestambenim zgradama. Skup novih EPB normi temelji se na holističkom, odnosno sustavnom pristupu procjeni ukupne energetske učinkovitosti

zgrade. Ovaj pristup podrazumijeva cjelovito razmatranje svih oblika potrošnje energije povezanih s uporabom zgrade – poput grijanja, rasvjete, hlađenja, klimatizacije i ventilacije – uz istovremeno uvažavanje vanjskih klimatskih i lokalnih uvjeta te zahtjeva za unutarnju ugodnost. Posebna se pažnja pridaje i složenim, često dinamičnim međudjelovanjima između navedenih čimbenika.

Usporedba je napravljena na primjeru stambeno-poslovne zgrade u Zagrebu i stambene zgrade Rijeci. Proračun prema normi HRN EN ISO 13790:2008 proveden je računalnim programom KI Expert Plus Verzija 7.11.4.0. - 24.09.2022, a prema normi HRN EN ISO 52016-1:2017 računalnim programom Edilclima EC700 verzija 6.25.2 (Italija). Proračun prema normi HRN EN ISO 52016-1:2017 daje veće vrijednosti potrebne energije za grijanje i hlađenje u odnosu na HRN EN ISO 13790:2008. a usporedba toplinskih gubitaka i dobitaka pokazuje znatne razlike u solarnim dobitcima. Glavni su razlozi drugačiji meteorološki podaci i način modeliranja pomične zaštite od Sunca, što posebno dolazi do izražaja kod proračuna za referentnu klimu primorske Hrvatske. Dodatni proračun bez korištenja pomične zaštite od Sunca pokazao je da rezultati proračuna po obje norme pokazuju bolje međusobno podudaranje. Modeliranjem potrošnje toplinske energije prema Algoritmu, za stvarne klimatske podatke i stvarni režim korištenja i režim rada tehničkih sustava, dobivaju vrijednosti koji se dobro slažu sa stvarnom potrošnjom.

U sklopu pilot-projekta prikupljaju se podatci o unutarnjim klimatskim uvjetima u stanovima. U odabranim stanovima ugrađeni su mjerni uređaji za temperaturu, tlak, relativnu vlažnost te koncentracije CO₂, VOC, PM_{2,5}, PM₁₀ i formaldehida.

Izmjerene temperature zraka pokazuju razlike u toplinskoj ugodnosti korisnika i variraju između ogrjevnice i rashladne sezone. Izvan sezonskih razdoblja temperature su ujednačenije i prate dnevni hod vanjske temperature. Tijekom ogrjevnice sezone u zgradama s noćnim prekidom grijanja temperatura noću pada, a jutrom raste do stabilnih dnevnih vrijednosti. U rashladnoj sezoni razlikuju se stanovi s aktivnim i bez sustava hlađenja. Većina stanova održava prosječnu temperaturu unutar 22–25 °C, no u nekima su zabilježene niže ili više vrijednosti, što može biti povezano s rijetkim korištenjem stanova, individualnim preferencijama ili pozicijom mjernih uređaja. Veće oscilacije temperature mogu nastati zbog prozračivanja ili neposrednog utjecaja sustava grijanja i hlađenja, dok povišene ljetne temperature prevladavaju u nehladenim stanovima.

Tokom ogrjevnice sezone, relativna vlažnost zraka u stanovima je uglavnom niža nego izvan sezone. Tijekom dana vlažnost prati dnevni hod vanjske vlažnosti, ali je pod utjecajem sustava grijanja – danju grijanje suši zrak, a noću, kada grijanje prestane, zrak je hladniji i vlažniji. U sezoni hlađenja vidljive su slične dnevne promjene vlažnosti, pod utjecajem drugih faktora. Izvan sezona grijanja i hlađenja vlažnost zraka je ujednačenija i uglavnom prati vanjsku vlažnost. Prosječne vrijednosti relativna vlažnost zraka kod većine stanova uglavnom su unutar raspona vrijednosti koje se mogu

smatrati ugodnim (35–60 %), iako su u nekim stanovima nešto niže zimi ili nešto više ljeti.

Prosječne koncentracije CO₂ u stanovima veće su tijekom ogrjevnog sezone nego izvan nje. Više koncentracije CO₂ tijekom zime mogu ukazivati na slabije prozračivanje zbog izraženog osjećaja hladnoće, dok niže koncentracije ljeti upućuju na rjeđe korištenje stanova ili manji broj korisnika (godišnji odmori). U većini stanova koncentracije su unutar prihvatljivog raspona (<1 500 ppm), no u nekima su zabilježene učestale vrlo visoke koncentracije CO₂, što upućuje na nedovoljno prozračivanje, dok vrlo niske koncentracije ukazuju na slabije korištenje stanova.

Daljinsko mjerenje potrošnje vode u zgradama provodi se putem obračunskih vodomjera. Budući da većina zgrada uključenih u Pilot projekt još nema daljinska očitavanja, na određenom uzorku ugrađuju se davači impulsa i komunikatori ili se postojeći vodomjeri zamjenjuju novima s impulsnim izlazom. Na odabranim zgradama postoje i sekundarni vodomjeri na ulazu u stanove, kojima se prati potrošnja hladne i tople vode po stanu. Ti se vodomjeri zamjenjuju verzijama s radijskim modulima, a zgrada se oprema koncentратором za prikupljanje podataka.

Izmjerena godišnja potrošnja vode po jedinici (stanu) kreće se od 76,31 do 265,16 l/dan. Kod nekih zgrada uočene su znatne razlike između potrošnje na zajedničkom brojilu i zbirne potrošnje stanova. Veća potrošnja na zajedničkom brojilu može upućivati na potrošnju poslovnih prostora kod stambeno-poslovnih zgrada ili propuštanje vode, dok manja potrošnja može biti posljedica nemjerene potrošnje.

Potrošnja vode varira tijekom godine zbog promjena broja korisnika i sezonskih obrazaca korištenja. Hladna voda koristi se više ljeti i u prijelaznim mjesecima, dok je potrošnja tople vode najveća tijekom ogrjevnog sezone. Satni podaci pokazuju karakterističnu dnevnu dinamiku – najveća potrošnja javlja se u jutarnjim i večernjim satima, a najmanja noću. Potrošnja u Vukovaru niža je dijelom zbog većeg broja nenastanjenih i/ili slabo korištenih stanova.

U Smjernicama su dane preporuke za smanjenja godišnje potrošnje energije za grijanje i primarne energije kod energetske obnove višestambenih zgrada. Naime, u okviru Mehanizma za oporavak i otpornost, energetska obnova javnih i višestambenih zgrada usmjerena je na povećanje energetske učinkovitosti i korištenje obnovljivih izvora energije, s ciljem smanjenja godišnje potrošnje energije za grijanje za najmanje 50 % u odnosu na stanje prije obnove, pri čemu se primjenjuje integrirani pristup uključujući pojačanje otpornosti na potrese i požare te poticanje ESCO modela; analiza pokazuje da takvo smanjenje energije za grijanje prosječno odgovara smanjenju godišnje primarne energije za oko 30 %, a provedeni projekti pokazali su da ukupna ušteda toplinske energije, uključujući grijanje i pripremu potrošne tople vode, iznosi između 20 % i 30 %, dok sama ušteda na grijanju doseže oko 40 %. Ušteda primarne energije, bit će ovisna o postignutim uštedama potrebne energije te o poboljšanju

termotehničkih sustava, i to kroz zamjenu postojećeg sustava učinkovitijim i/ili o korištenju obnovljivih izvora energije.

U starijim višestambenim zgradama strojarske instalacije često su zastarjele i djelomično nefunkcionalne, što negativno utječe na energetske učinkovitost, pouzdanost sustava i kvalitetu grijanja za krajnje korisnike. Dugotrajna eksploatacija dovodi do trošenja ključnih komponenti, korozije cijevnih sustava, nakupljanja naslaga unutar cijevi i izmjenjivača topline, nepreciznog rada regulacijskih uređaja i neadekvatnog hidrauličkog uravnoteženja. Sve to uzrokuje nepravilnu raspodjelu toplinske energije, povećane toplinske gubitke, veću potrošnju energije te otežano održavanje sustava. Stoga su u Smjernicama dane preporuke za modernizaciju. Modernizacija kotlovskih postrojenja, toplinskih podstanica i distribucijske mreže u višestambenim zgradama ključna je za povećanje energetske učinkovitosti, smanjenje emisija i operativnih troškova te pouzdan rad sustava grijanja; pravilno projektirana i hidraulički uravnotežena mreža s toplinskom izolacijom, mjernim i regulacijskim elementima omogućuje ravnomjernu distribuciju toplinske energije, optimalnu kontrolu temperature i protoka, veći komfor stanovanja te u kombinaciji s termostatskim ventilima i individualnim mjerenjem potrošnje potiče racionalno korištenje toplinske energije.

U Smjernicama su dane preporuke za provedbu hidrauličkog uravnoteženja sustava centralnog grijanja. Svaki sustav grijanja mora osigurati toplinsku ugodnost u prostoru uz minimalnu potrošnju energije, a hidrauličko uravnoteženje predstavlja ključni preduvjet za postizanje tih ciljeva jer garantira optimalan protok ogrjevnog medija do svih ogrjevnih tijela. Neuravnoteženi sustavi dovode do nepravilnog rada, povećane potrošnje energije i neadekvatne temperature u prostorijama, posebno kod ogrjevnih tijela udaljenih od izvora topline. S obzirom na dostupnost suvremenih tehničkih znanja i opreme, provedba hidrauličkog uravnoteženja u sustavima centralnog grijanja nužna je kako bi se spriječilo pregrijavanje prostorija bližih cirkulacijskoj pumpi, osigurala zadovoljavajuća toplinska ugodnost i racionalizirali operativni troškovi. Precizno definiranje svih ključnih elemenata sustava, način njihova podešavanja te potrebna mjerenja potrebno je planirati već u fazi projektiranja sustava.

Prema Direktivi o energetske svojstvima zgrada (EPBD), svaka država članica do 29. svibnja 2026. mora definirati nacionalni plan za postupnu obnovu stambenih zgrada. Plan treba biti usklađen s ciljevima za 2030., 2040. i 2050. godinu te voditi prema fondu zgrada s nultim emisijama do 2050. Putanja obnove mjeri se kroz smanjenje prosječne potrošnje primarne energije (u kWh/m² godišnje) za sve stambene zgrade od 2020. do 2050. godine. U planu se određuje koliko će se zgrada ili stanova godišnje obnavljati, uključujući 43 % zgrada s najboljim energetske svojstvima.

Za ostvarenje ciljeva, države uvode mjere poput minimalnih standarda energetske učinkovitosti, tehničke pomoći i financijskih potpora. Plan se temelji na pouzdanim

podacima o nacionalnom fondu zgrada, prikupljenima kroz statistička istraživanja i energetske certifikate.

Metodologija i kriteriji za određivanje stambenih zgrada s najlošijim energetske svojstvima, kao i način praćenja ostvarenih ušteda, bit će definirani u Nacionalnom planu obnove zgrada koji je trenutno u izradi.

Vlada je 30. listopada 2025. u Sabor uputila paket triju zakona – o prostornom uređenju, gradnji i energetske učinkovitosti u zgradarstvu – s ciljem zaštite prostora, suzbijanja nezakonite gradnje i poticanja energetske samodostatnosti. Zakon o energetske učinkovitosti u zgradarstvu ključan je za energetske neovisnost Hrvatske jer prenosi revidiranu Direktivu o energetske svojstvima zgrada (EPBD) i postavlja preduvjete za smanjenje troškova energije za građane i javni sektor, smanjenje energetske siromaštva kroz obnovu i ulaganja u održive zgrade, razvoj Nacionalnog plana obnove zgrada te poticanje obnovljivih izvora energije, kao i otvaranje novih zelenih radnih mjesta u graditeljstvu i energetici.

Potrošnja primarne energije je ključni parametar za ocjenu energetske svojstva zgrada, koji obuhvaća toplinske potrebe, gubitke sustava, električnu energiju i energiju iz obnovljivih izvora, uključujući i energiju utrošenu izvan zgrade za isporuku energenata. Određuje se nacionalnim algoritmom temeljenim na proračunskim normama u svrhu energetske certificiranja zgrada te za provjeru zadovoljenja minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti i odabir optimalnih tehničkih rješenja. Novi faktori primarne energije, objavljeni 2022., određeni prema normi EN 17423:2020, bit će obvezni nakon implementacije revidirane Direktive EU o energetske svojstvima zgrada 2024/1275 u hrvatske zakonske propise, iskazani su obnovljivom i neobnovljivom komponentom i omogućuju realniju usporedbu sustava grijanja i hlađenja, posebno u kontekstu povećanog udjela obnovljivih izvora u Hrvatskoj, pri čemu najbolje rezultate postižu sustavi na biomasu (pelete), dizalice topline te kombinacije centralnog toplinskog sustava s kogeneracijom i fotonaponskih sustava.

Direktiva o energetske učinkovitosti (EED) postavlja kriterije za učinkovite sustave centraliziranog grijanja i hlađenja, koji će se postupno pooštravati kako bi se do 2050. godine postigla ugljična neutralnost. To znači da će isporučena energija iz toplinskih sustava u Hrvatskoj sadržavati sve veći udio obnovljive primarne energije uz smanjenje emisija CO₂, što zahtijeva redovito praćenje i ažuriranje faktora primarne energije i emisije CO₂. Takvo ažuriranje ključno je za realno vrednovanje različitih tehničkih rješenja u zgradama i za prikaz ukupnog doprinosa Hrvatske u smanjenju emisija i postizanju ugljične neutralnosti.

Određivanje energetske svojstva zgrada visokih standarda (nZEB i ZEB) zahtijeva preciznu satnu metodologiju koja pokriva svih 8760 sati godišnje. Već su poduzeti koraci, uključujući projektni zadatak za ažuriranje i nadogradnju računalnog programa za proračun energetske svojstva zgrada s pripadajućim dijagram toka, pri čemu su

svi proračunski algoritmi ažurirani i dopunjeni algoritmom za pripremu meteoroloških podataka kod izračuna energijskog svojstva zgrada te algoritmom za određivanje energijskih zahtjeva te učinkovitosti zrak-zrak dizalica topline. Nove europske EPB norme, prihvaćene 2017. godine i od tada priznate kao hrvatske norme, planira se integrirati u zakonske i podzakonske propise čim bude dostupan verificiran proračunski alat. Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine objavilo je usporedni opis nacionalne metodologije izračuna, temeljen na nacionalnim priložima normi ISO 52000-1, 52003-1, 52010-1, 52016-1 i 52018-1. Analiza i usporedba postojećeg algoritma za izračun energijskih potreba zgrada s algoritmom prema normi HRN EN ISO 52016-1 pruža smjernice za učinkovitu integraciju novih normi u hrvatske propise.

Kako bi se ostvarili ciljevi niskouglične tranzicije, potrebno je aktivno uključiti i krajnje potrošače električne energije koji od pasivnih korisnika postaju aktivni sudionici u elektroenergetskom sustavu. To se može ostvariti upravljanjem potrošnjom energije i proizvodnjom energije. Time se povećava energetska učinkovitost te veće korištenje obnovljivih izvora energije na lokalnoj razini. Prilikom zajedničke investicije u solarnu elektranu na krovu višestambene zgrade moguće je provoditi dijeleljenje energije na temelju različitih oblika statičkog ključa. Na temelju mjesečnog ključa svakom OMM dodjeljuje se proizvedena električna energija čiji je udio u ukupnoj proizvedenoj energiji jednak udjelu potrošnje promatranog OMM u ukupnoj potrošnji svih OMM-ova u tom mjesecu. Udio u investiciji za pojedino OMM računa se kao prosječna vrijednost ključeva tijekom promatranih 12 mjeseci. Godišnji ključ definira se jednom u godini dana kao udio potrošnje promatranog OMM u ukupnoj potrošnji svih OMM-ova u toj godini.

Na temelju provedenih proračuna može se zaključiti da ne postoji značajna razlika u periodu povrata investicije između mjesečnog ključa koji se mijenja kontinuirano tijekom godine te godišnjeg ključa koji je stalan. Zbog jednostavnosti komunikacije i izmjene podataka između ODS-a, opskrbljivača te predstavnika SAK-a i samoopskrbe višestambene zgrade preporuča se definiranje statičkog godišnjeg ključa dijeljenja koji se treba revidirati uspoređujući ga s podacima na kraju kalendarske godine.

Ukoliko svaki član samoopskrbe višestambene zgrade investira jednaki iznos u solarnu elektranu te se svakom dodjeljuje jednaka količina proizvedene električne energije, zbog niske cijene po kojoj opskrbljivač otkupljuje višak električne energije krajnji kupci s malom potrošnjom imat će vrlo dug i nepovoljan period povrata investicije. Ovaj ključ se preporuča jedino ako je višak električne energije moguće prodati unutar višestambene zgrade. Zbog neplaćanja mrežarina na tu energiju i mogućnosti dogovora cijene koja svima odgovara, i krajnji kupci s viškom energije i krajnji kupci s manjkom energije će profitirati. Ukoliko sve viškove otkupljuje opskrbljivač i dodatna raspodjela energije unutar zgrade nije moguća, ovakav ključ nije isplativ.

Dodatno se promatrala ugradnja i isplativost baterijskog spremnika. Zbog niskih maloprodajnih cijena te mogućnosti odabira između jednotarifnog i dvotarifnog sustava, simulacije su pokazale da premještanjem potrošnje u iznosu od 5,4 kWh iz VT u NT na svakodnevnoj razini se godišnje može uštediti oko 140 eura. Za takvo premještanje potrošnje promatrali smo baterijski spremnik kapaciteta 5,4 kWh čija cijena iznosi 2 800 eura te se jednostavnim periodom povrata investicije pokazalo da je period povrata 20 godina. Ugradnja baterijskog spremnika koji se koristi samo za pomicanje potrošnje iz VT u NT nije isplativa. Uvođenjem dinamičkih cijena na maloprodajno tržište te omogućavanje pružanja usluge fleksibilnosti operatorima sustava putem agregatora povećat će isplativost baterijskog spremnika u budućnosti.

Popis korištene literature

- L 1 Direktiva 2010/31/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 19. svibnja 2010. o energetske učinkovitosti zgrada (preinaka) (SL L 153, 18.6.2010.),
- L 2 Direktiva (EU) 2018/844 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. svibnja 2018. o izmjeni Direktive o energetske svojstvima zgrada i Direktive 2012/27/EU o energetske učinkovitosti (Tekst značajan za EGP) (SL L 156, 19.6.2018.),
- L 3 Direktiva 2024/1275 Europskog parlamenta i Vijeća od 24. travnja 2024. o energetske svojstvima zgrada (preinaka) (Tekst značajan za EGP) (SL L, 8.5.2024.)
- L 4 Nacionalni plan oporavka i otpornosti 2021.-2026., Vlada Republike Hrvatske, srpanj 2021.
- L 5 Program energetske obnove višestambenih zgrada za razdoblje do 2030. godine, Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, prosinac 2021.
- L 6 Zakon o energetske učinkovitosti („Narodne novine” br. 127/14, 116/18, 25/20, 32/21 - Odluka Ustavnog suda, 41/21, 40/25)
- L 7 Zakon o gradnji („Narodne novine” br. 153/13, 20/17, 39/19, 125/19 i 145/24)
- L 8 Zakon o tržištu toplinske energije („Narodne novine” br. 80/13, 14/14, 67/25)
- L 9 Prijedlog zakona o prostornom uređenju, Zagreb, Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, 30. listopada 2025.
- L 10 Prijedlog zakona o gradnji, Zagreb, Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, 30. listopada 2025.
- L 11 Prijedlog zakona o energetske učinkovitosti u zgradarstvu, Zagreb, Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, 30. listopada 2025.
- L 12 Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštiti u zgradama (Narodne novine br. 128/15, 70/18, 73/18, 86/18 i 102/20)
- L 13 Pravilnik o energetske pregledu zgrade i energetske certificiranju („Narodne novine” br. 88/17, 125/19, 90/20, 1/21, 45/21 i 40/25)
- L 14 Pravilnik o općim uvjetima za opskrbu toplinske energijom („Narodne novine” br. 131/25)
- L 15 Pravilnik o općim uvjetima za isporuku toplinske energije („Narodne novine” br. 131/25)
- L 16 Mrežna pravila za distribuciju toplinske energije („Narodne novine” br. 35/14)

- L 17 Pravilnik o načinu raspodjele i obračunu troškova za isporučenu toplinsku energiju („Narodne novine” br. 99/14, 27/15, 124/15)
- L 18 Križ Šelendić Irena: Val obnove (prezentacija), Sastanak - radna skupina pokrovitelja i partnera projekta OSUNČAJMO HRVATSKU i energetski obnovimo - ZAJEDNO, Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, Zagreb, 2. lipnja 2025.
- L 19 Grupa autora: Metodologija provođenja energetskog pregleda zgrada, Zagreb, Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, lipanj 2021.
- L 20 Soldo Vladimir, Novak Silvio, Horvat Ivan: Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, svibanj 2017.
- L 21 Dović Damir, Horvat Ivan, Rodić Alan, Soldo Vladimir, Švaić Srećko: Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama - Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, svibanj 2017.
- L 22 Lončar Dražen, Dović Damir, Horvat Ivan: Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama - Sustavi kogeneracije, sustavi daljinskog grijanja, fotonaponski sustavi, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, svibanj 2017.
- L 23 Dović Damir, Ferdelji Nenad, Horvat Ivan, Rodić Alan: Algoritam za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, svibanj 2017.
- L 24 Prebeg Filip, Horvat Ivan: Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava rasvjete u zgradama - energijski zahtjevi za rasvjetu, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, svibanj 2017.
- L 25 Grupa autora: Metodologija izračuna faktora primarne energije, Zagreb, Energetski institut Hrvoje Požar, 2017.
- L 26 Faktori primarne energije i emisija CO₂ (u primjeni od 30. rujna 2017.)
- L 27 Dović Damir, Duić Neven, Pukšec Tomislav, Dorotić Hrvoje, Matak Nikola, Horvat Ivan: ELABORAT: Faktori primarne energije i emisije CO₂ za izračun energetskog svojstva zgrada, Zagreb, Centar za transfer tehnologije d.o.o., prosinac 2021.
- L 28 Faktori primarne energije i emisije CO₂, Objavljeno 1. travnja 2022. - do daljnjega nije u obveznoj primjeni

- L 29 Dović Damir: Projektni zadatak - potrebna ažuriranja i nadogradnje računalnog programa za proračun energetskog svojstva zgrade, Zagreb, Centar za transfer tehnologije d.o.o., lipanj 2021.
- L 30 Dović Damir, Horvat Ivan: Dijagrami toka proračuna za Algoritme za izračun energetskih svojstava zgrada, Zagreb, Centar za transfer tehnologije d.o.o., svibanj 2021.
- L 31 Dović Damir: Algoritam za pripremu meteoroloških podataka kod izračuna energijskog svojstva zgrada, Zagreb, Centar za transfer tehnologije d.o.o., listopad 2020.
- L 32 Soldo Vladimir, Bertović Iva, Boban Luka: Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti dizalica topline zrak-zrak (Sustavi grijanja prostora), Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, listopad 2021.
- L 33 Andrassy Mladen, Balen Igor, Boras Ivanka, Dović Damir, Hrs Borković Željka, Lenić Kristian, Lončar Dražen, Pavković Branimir, Soldo Vladimir, Sučić Boris, Švaić Srećko: Priručnik za energetska certificiranje zgrada, Program Ujedinjenih naroda za razvoj - UNDP, 2010.
- L 34 HRN EN ISO 52016-1:2017: Energijska svojstva zgrada -- Energija potrebna za grijanje i hlađenje, unutarnje temperature i osjetna i latentna toplinska opterećenja -- 1. dio: Postupci proračuna (ISO 52016-1:2017; EN ISO 52016-1:2017)
- L 35 HRN EN ISO 52016-3:2023/A1:2025: Energijska svojstva zgrada -- Energija potrebna za grijanje i hlađenje, unutarnje temperature i osjetna i latentna toplinska opterećenja -- 3. dio: Postupci proračuna s obzirom na adaptivne elemente ovojnice zgrade -- Amandman 1: Referentni kontrolni scenariji za adaptivne elemente ovojnice zgrade s pokretnim sustavima za zaštitu od sunca ili kromogenim ostakljenjem (ISO 52016-3:2023/Amd 1:2025; EN ISO 52016-3:2023/A1:2025)
- L 36 HRI CEN ISO/TR 52016-2:2017: Energijska svojstva zgrada -- Energija potrebna za grijanje i hlađenje, unutarnje temperature i osjetna i latentna toplinska opterećenja -- 2. dio: Objašnjenje i obrazloženje norma ISO 52016-1 i ISO 52017-1 (ISO/TR 52016-2:2017; CEN ISO/TR 52016-2:2017)
- L 37 Opis nacionalne metodologije izračuna na temelju nacionalnih priloga općih normi ISO 52000-1, 52003-1, 52010-1, 52016-1 i 52018-1, razvijenih na temelju mandata M/480 dodijeljenog Europskom odboru za normizaciju (CEN), Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, Zagreb, 10. ožujka 2020.
- L 38 De Luca, G.; Bianco Mauthe Degerfeld, F.; Ballarini, I.; Corrado, V. Improvements of simplified hourly models for the energy assessment of buildings: The application of EN ISO 52016 in Italy. Energy Reports 2022, 8, 7349–7359

- L 39 Van Dijk, D.; Hogeling, J. The new EN ISO 52000 family of standards to assess the energy performance of buildings put in practice. REHVA J. 2019, 111, 04047
- L 40 Zakula T., Bagaric M., Ferdelji N., Milovanovic B., Mudrinic S., and Ritosa K.. Comparison of dynamic simulations and the ISO 52016 standard for the assessment of building energy performance, Applied Energy, Vol. 254, 113553 (2019)
- L 41 Vujnović Nikola, Vidak Dean, Jakšić Fran, Kedmenec Željko, Dović Damir, Horvat Ivan: Differences in Calculations of Annual Heating and Cooling Energy Need Carried out by Modified Simple Hourly Method and Dynamic Simulations, Transactions of FAMENA, Vol. 45 No. SI-1, 2021.
- L 42 Novak Silvio, Stapić Zlatko, Lenić Kristian, MijačMarko, Džeko Mišo, Jeđud Dajana: Upute za rad s računalnim programom KI Expert Plus, Verzija 1809, Knauf Insulation d.o.o., 2017.
- L 43 MANUALE D'USO – EC700 CALCOLO PRESTAZIONI ENERGETICHE DEGLI EDIFICI - Versione 13, EC701 PROGETTO E VERIFICHE EDIFICIO IMPIANTO - Versione 14, EC705 ATTESTATO ENERGETICO - Versione 7, EC709 PONTI TERMICI - Versione 5, EC712 Solare termico - Versione 3, EC713 Solare fotovoltaico - Versione 3, Revisione 11/2024, EDILCLIMA S.r.l
- L 44 Podatci o potrošnji toplinske energije i vode u višestambenim zgradama uključenim u Pilot projekt uspostave i provedbe sustavnog gospodarenje energijom na području jedinice lokalne (regionalne) samouprave te razvoj novog modela financiranja koji se prate putem nacionalnog Informacijskog sustava za gospodarenje energijom (ISGE)
- L 45 Podatci o uvjetima komfora u stanovima (unutarnji klimatski uvjeti) u višestambenim zgradama uključenim u Pilot projekt uspostave i provedbe sustavnog gospodarenje energijom na području jedinice lokalne (regionalne) samouprave te razvoj novog modela financiranja koji se prate putem nacionalnog Informacijskog sustava za gospodarenje energijom (ISGE)
- L 46 Meteorološki podaci (primjenjuju se od 1. siječnja 2016.) – meteorološke veličine za klimatski mjerodavne meteorološke postaje potrebne za proračun fizikalnih svojstava zgrade u pogledu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite (Meteorološki parametri u tablicama po postajama, Reprezentativna godina Zagreb Maksimir, Reprezentativna godina Split Marjan, Brzine vjetra - referentne postaje, Brzine vjetra - ostale postaje, Satni podaci o smjeru i brzini vjetra za Zagreb i Satni podaci o smjeru i brzini vjetra za Split), Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja, 2015.
- L 47 Set podataka za potrebe provedbe satne simulacije korisne energije za grijanje i hlađenje, te proračuna isporučene energije u skladu s Metodologijom o provođenju energetske pregleda zgrada 2017. – 24 satna distribucija za 12 karakterističnih dana (koji reprezentiraju 12 mjeseci), Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja, 9. ožujka 2018.

- L 48 Klimatski atlas Hrvatske 1961 - 1990., 1971 - 2000., Zagreb, Državni hidrometeorološki zavod, 2008.
- L 49 Agroklimatski atlas Hrvatske u razdobljima 1981.–2010. i 1991.–2020., Zagreb, Državni hidrometeorološki zavod, 2021.
- L 50 Cetinić Ivan, Rengel Tihomir, Prodan-Abramović Damir: Instalacije grijanja – skripta za studente Arhitektonskog fakultet – 1.dio, Zagreb, Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, svibanj 2022.
- L 51 Balen Igor: Hidrauličko uravnoteženje sustava grijanja i hlađenja (prezentacija), Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, veljača 2019.
- L 52 Uravnotežite hidraulički neuravnotežen sustav regulacijom bez pomoćne energije, Za sustave grijanja, daljinskog grijanja i hlađenja, Danfoss Heating Segment | Pravda.dk | 2015
- L 53 Lojo Kemal: Danfoss – Rješenja za dodatne uštede i povećanje udobnosti, energetika-net, 2013.
- L 54 Jauschowitz Rudolf: HERZ Toplovodno grijanje - hidraulika, Beč, Herz Armaturen Ges.m.b.H, 2004
- L 55 Malovrh Matjaž, Praznik Miha: The importance of hydraulic balance of hot water heating systems for efficient energy use, Ljubljana, Civil Engineering Institute ZRMK, 2002.
- L 56 Popis stanovništva, kućanstava i stanova u Republici Hrvatskoj 2021. godine, Državni zavod za statistiku
- L 57 “HEP ODS Nadomjesne krivulje opterećenja.” <https://www.hep.hr/ods/opskrbljivaci/pravila-primjene-nadomjesnih-krivulja-opterecenja/65>.
- L 58 “Baterijski spremnik.” <https://medijmurka-bs.hr/proizvod/5kwh-lifepo4-baterija-za-solarni-inverter-48v-100ah/>.
- L 59 Bienvenido-Huertas, D., Rubio-Bellido, C., 2021. Optimization of the Characterization of the Thermal Properties of the Building Envelope: Analysis of the Characterization of the Façades using Artificial Intelligence, Springer Briefs in Applied Sciences and Technology, Springer, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-63629-6>
- L 60 Dall'O', G., 2015. Green Energy Audit of Buildings - A guide for a sustainable energy audit of buildings, Springer-Verlag London, <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5064-0>
- L 61 Deconinck, A.H., 2017. Reliable thermal resistance estimation of building components from on-site measurements, PhD thesis, KU Leuven Faculty of Engineering Science Department of Civil Engineering.

- L 62 Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP). (2013). WUFI® – Wärme und Feuchte instationär Pro Ver 5.2 [Computer software]. Holzkirchen, Germany: Fraunhofer IBP. Dostupno na: <https://wufi.de/en/>
- L 63 Gaši, M. 2023., Određivanje koeficijenta prolaska topline elemenata vanjske ovojnice zgrade korištenjem infracrvene termografije, doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb
- L 64 Giebeler, G., Fisch, R., Krause, H., Musso, F., Petzinka, K.H., Rudolphi, A.: 2009 Refurbishment Manual - MAINTENANCE, CONVERSIONS, EXTENSIONS, Birkhäuser Architecture
- L 65 Guyot, G., Carrié, R., Schild, P., 2010., Stimulation of good building and ductwork airtightness through EPBD - Summary report, Assessment and improvement of the EPBD impact (for new buildings and building renovation) (ASIEPI project)
- L 66 Langevin, J., Wen, J., Gurian, P.L., 2015. Quantifying the human-building interaction: considering the active, adaptive occupant in building performance simulation. Energy Build. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.026>.
- L 67 Nicol, J.F., Humphreys, M.A., 2002. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. Energy Build. 34, 563–572. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3)
- L 68 Pacheco Torgal, F., Mistretta, M., Kaklauskas, A., Granqvist, C.G., Cabeza, L.F., Editors, Nearly Zero Energy Building Refurbishment - A Multidisciplinary Approach, Springer-Verlag London, 2013 <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5523-2>

