

SADRŽAJ

1	Pojam energetskega sertifikata, njegova uloga i zakonska regulativa	3
1.1	Evropska Direktiva o energetskim karakteristikama zgrada	3
2.1	Nacionalno zakonodavstvo	7
2	Energetski bilans	19
2.1	Oblici energije	19
2.2	Energetski bilans Republike Srbije	21
2.3	Toplotni bilans zgrade	25
2.4	Parametri koji utiču na potrošnju energije	28
2.5	Projektni uslovi	30
3	Metodologija proračuna potrebne energije koja se troši u zgradi	40
3.1	Metodologija proračuna potrebne toplotne energije	40
3.2	Metode proračuna godišnje potrebne toplote za grejanje	43
3.3	Proračun ukupne godišnje potrebne toplote	60
3.4	Potrebna godišnja energije za hlađenje i ventilaciju	63
3.5	Isporučena i primarna energija, godišnja emisija CO ₂	64
3.6	Primeri	66
4	Energetski pregled i elaborat energetske efikasnosti	72
4.1	Energetski pregled zgrada	72
4.2	Elaborat energetske efikasnosti zgrade	77
5	Finansijska analiza unapređenja energetske efikasnosti	79
5.1	Ocena rentabilnosti projekta	79
5.2	Finansijski pokazatelji	81
5.3	Primeri primene mera unapređenja energetske	86
6	Sistemi centralnog grejanja i pripreme STV u zgradama	97
6.1	Uređaji i oprema sistema centralnog grejanja	97
6.2	Sistemi toplovodnog grejanja	102
6.3	Centralna i lokalna regulacija toplotnog učinka	109
6.4	Armatura u sistemima centralnog grejanja	113
6.5	Sistemi za pripremu sanitarne tople vode	114
6.6	Primer primene solarnog sistema za pripremu stv	126
7	Sistemi hlađenja, ventilacije i klimatizacije	128
7.1	Rashladni uređaji	128
7.2	Toplotne pumpe	141
7.3	Godišnja potrebna energija za hlađenje	146
7.4	Vazdušni sistemi	147

8	Mere unapređenja energetske efikasnosti termotehničkih sistema	175
8.1	Mere unapređenja termotehničkih sistema	175
8.2	Mere optimizacije rada termotehničkih sistema	179
9	Intelligentne zgrade i energetska efikasnost.....	192
9.1	Definicije inteligentnih zgrada.....	192
9.2	Kako u realnosti napraviti inteligentnu zgradu	193
9.3	Facility management	194
9.4	Tehnološki sistemi i razvoj inteligentnih zgrada	194
9.5	Integracija funkcija sistema	195
9.6	Centralni sistemi nadzora i upravljanja	196
9.7	Standardizacija u oblasti	197
9.8	Uzroci energetske neefikasnosti.....	200
	Literatura	201

1. POJAM ENERGETSKOG CERTIFIKATA, NJEGOVA ULOGA I ZAKONSKA REGULATIVA

1.1 EVROPSKA DIREKTIVA O ENERGETSKIM KARAKTERISTIKAMA ZGRADA

Uvođenjem direktive o energetske karakteristika zgrada (**EPBD** – *Energy Performance of Buildings Directive* - 2002/91/EC) Evropska Unija pokušava da obezbedi mehanizme podstaknute tržištem kako bi poboljšala energetske efikasnost u zgradama, ili, drugim rečima, odredila ekonomsku vrednost očuvanja energije. Pokretačka snaga koja stoji iza ove Direktive jeste odlučan pokušaj Evrope da smanji količinu energije koja se koristi u zgradama. Prema raspoloživim podacima, u zgradama se trenutno troši 40% energije proizvedene u Evropi, i taj procenat stalno raste. Suština direktive je da se sistematski pristupi oceni energetske karakteristika određenog građevinskog objekta i da se, na osnovu toga, izda dokument sa oznakom o potrošnji energije (u žargonu – energetske pasoš zgrade). Ovakav dokument će biti od važnosti kad god se neki objekat gradi, prodaje ili se na njemu izvode veći radovi na renoviranju. Kao ključni deo cilja Direktive, koji se tiče započinjanja transformacije na tržištu, stanari zgrada će dobijati uverenje o energetske karakteristika zgrade u koju se useljavaju. Takođe će biti obavezno da zgrade državne administracije, koje imaju korisnu površinu preko 500 m², odnosno, kako se kaže u Direktivi "zgrade u koje građanstvo često dolazi", imaju uverenje koje pokazuje njihov stepen energetske efikasnosti. U Direktivi stoji i sledeće: "Treba bi da bude moguće da se u razumnom roku povrate dodatni troškovi uloženi u renoviranje, u odnosu na očekivani tehnički vek ulaganja kroz akumuliranu uštedu energije".

Pored "energetske" ocene za celu zgradu (ocene energetske efikasnosti zgrade imaju najčešće oznake od A do G, pri čemu je A najviša, a G najniža kategorija zgrada po pitanju energetske efikasnosti), Direktiva o energetske karakteristika stavlja akcenat na proveru sistema grejanja i klimatizacije. Inspekcije treba da obuhvate procenu efikasnosti sistema, kao i procenu veličine sistema u odnosu na potrebe za grejanjem i hlađenjem u zgradi. Kada je u pitanju projektovanje novih zgrada, Direktiva dodaje da treba uzeti u obzir tehničku, ekološku i ekonomsku izvodljivost alternativnih sistema za snabdevanje energijom, kao što su obnovljivi izvori energije. Ovakvi novi sistemi treba da uključe decentralizovano snabdevanje energijom, koje bi bilo zasnovano na obnovljivim izvorima, zatim daljinsko grejanje i/ili hlađenje, kao i toplotne pumpe pod određenim okolnostima.

Direktiva je donesena da bi izvršila najveći uticaj na to kako će izgledati buduća gradnja stambenih i poslovnih objekata u celoj Evropi. Teži se ka univerzalnemu rešenju, koje zahteva zajednički pristup i angažovanje svih članica Evropske Unije. To će doprineti ujednačavanju kriterijuma u ovoj oblasti u svakoj od zemalja, tako da energetske karakteristike budu transparentne za buduće vlasnike ili korisnike na tržištu nekretnina u Evropi. Zajednički pristup podrazumeva i zajedničko obrazovanje po tom pitanju u celoj Evropi, i pokrenuti projekat "Europrosper" bavi se načinima moguće primene oznake za energetske efikasnost zgrada. Određene su i neophodne metode koje se koriste za izračunavanje energetske karakteristike zgrada. One obuhvataju toplotne karakteristike, kao što su: hermetičnost, termička izolovanost, udeo prirodne ventilacije, primena pasivnih solarnih sistema i zaštita od Sunčevog zračenja, položaj i orijentacija zgrada.

Direktivu su morale primeniti zemlje članice EU najkasnije do 4. januara 2006. godine. Međutim, usled nedostatka standarda i kadrovskih potencijala u ovoj oblasti, koji bi dali podršku implementaciji Direktive, rok je produžen do kraja 2009. godine, kada je Direktiva postala aktivan deo zakonodavstva u oblasti izgradnje u zemljama EU. Godine 2010. EPBD je izmenjena i dopunjena, tako da je zamenjena direktivom EPBD II, odnosno Direktivom 2010/31/EU Evropskog Parlamenta i Saveta od 19. maja 2010. Nova direktiva uvodi striktnije obaveze, ograničenje emisije CO₂, postavlja nove zahteve za javni sektor i uvodi obavezu smanjenja finalne potrošnje za 20%, kao i povećanje udela obnovljivih izvora u ukupnoj proizvodnji energije na 20% do 2020. godine (tzv. princip 20-20-20, slika 1.1).

Energetska zajednica osnovana je Ugovorom o Energetskoj zajednici koji je potpisan u Atini (Grčka) 25. oktobra 2005. Cilj potpisivanja Ugovora jeste stvaranje najvećeg tržišta električne energije i gasa u svetu.

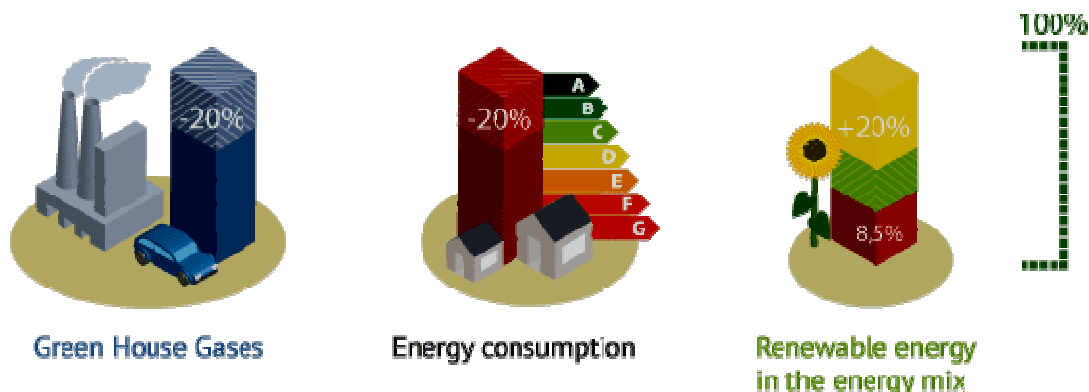
Osnivanjem Energetske zajednice Evropska unija proširila je svoje unutrašnje tržište energije na jugoistočnu Evropu, te otvorila mogućnost širenja na sve one koji iskažu interes. Ona se zasniva liberalizaciji domaćih energetske tržišta članica Zajednice. Članice Energetske zajednice su: 27 država Evropske unije, zatim Albanija, Crna Gora, Bosna i Hercegovina, Makedonija, **Srbija** i UNMIK-Kosovo. Status zemalja posmatrača imaju: Gruzija, Moldavija, Norveška, Turska i Ukrajina.

Potpisivanjem Ugovora sa energetske zajednicom Srbija je preuzela obavezu uvođenja evropskih Direktiva koje se odnose na energetske potrošnju u nacionalno zakonodavstvo. Te Direktive su:

- Direktiva 2006/32/EC o efikasnom korišćenju energije krajnjih korisnika i energetskim uslugama;

- Direktiva 2010/31/EU o energetske karakteristika zgrada (ovde: EPBD);

Direktiva 2010/30/EU o označavanju proizvoda koji troše energiju kroz standardnu informaciju o potrošnji energije.



Slika 1.1 Ciljevi energetske politike u EU do 2020. godine: smanjenje emisije gasova staklene bašte za 20%, smanjenje energetske potrošnje za 20% i povećanje udela OIE u ukupnoj proizvodnji na 20%

Odlukom Ministarskog Saveta Energetske zajednice od 18. decembra 2009. zahteva se od svih država potpisnica Ugovora da odredbe EPBD uvedu u nacionalno zakonodavstvo do 30.06.2012. godine. Nakon usvajanja EPBD II, odlukom Ministarskog Saveta Energetske zajednice od 24. septembra 2010. daju se rokovi za implementaciju pojedinih članova nove Direktive.

DIREKTIVA 2010/31/EU EVROPSKOG PARLAMENTA I SAVETA od 19. maja 2010. godine o energetskej efikasnosti zgrada (DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings – EPBD II) ima za cilj da promoviše poboljšanje energetske efikasnosti zgrada, uzimajući u obzir spoljašnje klimatske i lokalne uslove, kao i unutrašnje klimatske zahteve i ekonomičnost. Direktiva EPBD II o energetskej efikasnosti zgrada, kao Krovni dokument (engl. *Umbrella document*), podržana je nizom standarda (CEN).

U neposrednoj vezi sa Direktivom je Uredba o građevinskim proizvodima - (CPR-305/2011 Evropskog parlamenta i saveta, od 09.03.2011. godine), kojom je definisan zahtev da se objekti i odgovarajuće instalacije grejanja, hlađenja i ventilacije projektuju i izvedu tako da potrebe za energijom u toku korišćenja objekta budu što niže, pri čemu treba da se uvažavaju lokalni klimatski uslovi i specifičnosti korisnika - preuzimanje ove uredbe u naše zakonodavstvo je u pripremi (rok za donošenje: jun 2013.godine). U okviru nacionalnog

zakonodavstva prilagođavanje se vrši stepenasto, a na vrhu piramide je energetska sertifikacija zgrada.

EPBD II - propisuje zahteve koji se odnose na:

- (a) generalni okvir za metodologiju integrisanog proračuna energetske efikasnosti zgrada i samostalnih upotrebnih celina;
- (b) primenu minimalnih zahteva u pogledu energetske efikasnosti novih zgrada i samostalnih upotrebnih celina;
- (c) primenu minimalnih zahteva u pogledu energetske efikasnosti:
 - postojećih zgrada, samostalnih celina i delova zgrade koji podležu većim rekonstrukcijama;
 - kada se saniraju delovi zgrade koji čine omotač zgrade i koji imaju značajan uticaj na energetske efikasnost;
 - tehničke sisteme zgrada kada se ugrađuju, zamenjuju ili modernizuju;
- (d) nacionalne planove za povećanje broja zgrada sa skoro nultom potrošnjom energije;
- (e) energetske sertifikacije zgrada ili samostalnih upotrebnih celina;
- (f) redovne inspekcijske kontrole sistema za grejanje i klimatizaciju u zgradama i
- (g) nezavisne sisteme za inspekcijske kontrole energetskih sertifikata i izveštaja o inspekcijskim kontrolnim pregledima.

SADRŽAJ EPBD II:

1. Usvajanje metodologije za proračunavanje energetske efikasnosti zgrada
2. Utvrđivanje minimalnih zahteva EE
3. Obračun ekonomski opravdanih minimalnih zahteva energetske efikasnosti
4. Nove zgrade
5. Postojeće zgrade
6. Tehnički sistemi u zgradama
7. Zgrade sa skoro nultom potrošnjom energije (države članice EU do 31.12.2020. g. i sve zgrade koje koristi državna uprava i lokalna samouprava da posle 31.12.2018. g. – sve nove zgrade treba da budu u ovoj kategoriji)
8. Finansijski poticaji i tržišne prepreke
9. Energetski sertifikati zgrada
10. Izdavanje energetskog sertifikata
11. Izlaganje energetskog sertifikata (za sve zgrade državne uprave i lokalne samouprave preko 500m²)
12. Inspekcijski pregled sistema grejanja

13. Inspekcijski pregled sistema ventilacije
14. Izveštaji o pregledu sistema grejanja i klimatizacije
15. Nezavisni sistemi kontorle

2.1 NACIONALNO ZAKONODAVSTVO

U periodu 2009-2010 u Republici Srbiji se definišu se 4 zadatka (nadležna ministarstva su Ministarstvo rudarstva i energetike i Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja¹):

- Akcioni plan za energetske efikasnost (NEEAP 2010.);
- Praćenje sprovođenja Akcionog plana za energetske efikasnost;
- Mapa puta implementaciju direktiva – Zakon o efikasnom korišćenju energije;
- Povećanje svesti o energetske efikasnosti (Deo zgradarstvo – Zakon o planiranju i izgradnji, podzakonska akta: pravilnici o energetske efikasnosti zgrada).

1.2.1 Nacionalni akcioni plan za energetske efikasnost

Nacionalni akcioni plan za energetske efikasnost pripremljen bazi zahteva Direktive 2006/32/ES Evropskog parlamenta i Saveta o efikasnom korišćenju finalne energije u skladu sa preporučenim modelom pripremljenim od strane, kao i Radne grupe za energetske efikasnost osnovane pri Sekretarijatu Energetske zajednice. Usvojen je 29. jula 2010. od strane Vlade Republike Srbije. Ovim planom je obuhvaćena finalna ili krajnja energija (ili energija koju koriste "krajnji" korisnici): električna i toplotna energija i energenati: fosilna goriva (čvrsta, tečna i gasovita goriva), koja se koriste u sektorima potrošnje - industrija, saobraćaj (ali ne rečni i vazdušni saobraćaj), domaćinstva, javne i komercijalne delatnosti, poljoprivreda; ne odnosi na potrošače energije koji su obuhvaćeni Uputstvom 2003/87/ES od 13. oktobra 2003. godine, kojim se utvrđuje sistem trgovine emisijama gasova sa efektom staklene bašte u okviru Zajednice.

Osnovni (indikativni cilj), u slučaju Republike Srbije, (u skladu sa odlukom 2009/05/MS-Enc od 18. decembra 2009. godine Ministarskog saveta Energetske zajednice) je:

- ušteda od najmanje 9% potrošnje finalne energije u devetoj godini primene (od 2010. do 2019. godine)
- prema Prvom akcionom planu EE RS - ušteda od 1,5% potrošnje finalne energije iz 2008. godine u periodu od 2 godine (od 2010. do 2012. godine)

¹ Od 2012. nadležna Ministarstva su: Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine i Ministarstvo građevine i urbanizma

Za zemlje članice EU postizanje indikativnog cilja je da ostvare planiranu uštedu od 9% prosečne finalne energije za period od 2001. do 2005. godine za devetu godinu primene ove Direktive.

Nacionalnim akcionim planom za EE obuhvaćeni su sektori industrije, saobraćaja i sektor građevinskih objekata.

Osnovni instrumenti za sprovođenje plana su sledeći:

Za sektor industrije:

- uvođenje Sistema energetskeg menadžmenta (Zakon o racionalnoj upotrebi energije),
- osnivanje Fonda za EE (Zakon o racionalnoj upotrebi energije) - subvencionirani energetskegi pregledi,
- tržišni mehanizmi,
- uvođenje povoljnih kreditnih linija za sprovođenje mera EE u industriji.

Za sektor saobraćaja:

- Zakon o racionalnoj upotrebi energije,
- Uredbe,
- Zakoni i uredbe ministarstva zaduženog za poslove životne sredine i ministarstva zaduženog za poslove finansija,
- Ulaganje u infrastrukturne objekte železničkog i drumskog saobraćaja.

Za sektor građevinskih objekata:

- Zakon o racionalnoj upotrebi energije,
- Zakon o planiranju i izgradnji,
- Pravilnici o setrifiaciji objekata,
- Osnivanje fonda za EE,
- Povoljni krediti za povećanje EE objekata,
- ESCO kompanije.

ESCO (energy service company) - privredno društvo, odnosno drugo pravno lice za obavljanje energetskeih usluga koje svojom delatnošću povećava energetskeu efikasnost objekta, tehnološkog procesa i usluge, i koje prihvata finansijskei rizik za obavljene usluge, tako što naplatu svojih usluga, potpuno ili delimično, ostvaruje iz ušteda, nastalih na osnovu sprovedenih mera.

Energetskei usluga - usluga, tehnologija, upravljački sistem, uređaj ili druga roba primenjena u bilo kom delu procesa korišćenja energije, koja se pruža na osnovu ugovora i koja u uobičajenom načinu rada dovodi do proverljivog povećanja energetske efikasnosti, odnosno do uštede energije.

S obzirom da se u zgradama troši više od jedne trećine ukupne svetske proizvedene energije i da termotehnički sistemi predstavljaju najveće potrošače

energije u zgradama, od vitalnog je značaja da se tim sistemima, u analizi, pristupi na pravi način, kroz pravilno razumevanje i optimizaciju njihovih funkcija u cilju postizanja uštede energije.

Potrošnju energije u zgradama potrebno je minimizirati na način tako da ne dođe do narušavanja uslova komfora, što znači da je neophodno, tokom cele godine, održavati termičke parametre unutrašnje sredine, kvalitet vazduha, potreban nivo osvetljenosti, dovoljnu količinu tople sanitarne vode. Tehnički sistemi u zgradi, koji obezbeđuju uslove komfora jesu porošači energije. Primenom različitih mera moguće je poboljšati energetske efikasnost, pri čemu treba voditi računa o finansijskim efektima primenjenih mera.

Problemi koji dovode do neracionalne potrošnje energije u zgradama:

- Postoji trend porasta potrošnje ukupne energije u svim sektorima (za Republiku Srbiju se predviđa porast sa sadašnjih 8,412 Mtoe na 9,376 Mtoe do 2018. godine)
- Mnoga domaćinstva neefikasno koriste električnu energiju za grejanje i hlađenje prostora
- Rasipanju energije u domaćinstvima doprinosi neefikasno zagrevanje sanitarne vode i neefikasni uređaji za grejanje i osvetljenje prostora
- Neracionalno gazdovanje energijom za grejanje kroz neadekvatni tarifni sistem naplate troškova
- Problem redovnog investicionog održavanja zgrada i tehničkih sistema
- Problem nedostatka podsticajnih mera za sprovođenje projekata unapređenja energetske efikasnosti u zgradama
- Problem nedovoljne informisanosti finalnih korisnika
- Problem nedostatka obrazovanog kadra za upravljanje energetskim tokovima u javnom sektoru u lokalnim samoupravama.

Prilikom analize primene mera unapređenja energetskih performansi važno je problemu pristupiti određenim redosledom, počevši sa grupom mera poboljšanja karakteristika same zgrade, preko mera smanjenja gubitaka toplote pri proizvodnji i distribuciji toplote, do grupe mera koje podrazumevaju zamenu uređaja i opreme sistema za grejanje, klimatizaciju i pripremu sanitarne tople vode ili sistema osvetljenja, uz uvođenje regulacije rada sistema.

Primena svake pojedinačne mere zavisi od namene zgrade, kao i od trenutnog ukupnog stanja u kome se zgrada nalazi. Ako je zgrada građena u periodu kada nije bilo propisa o termičkoj zaštiti, čest je slučaj da su spoljni zidovi, krov, kao i konstrukcije ka negrejanim prostorima izvedeni bez termičke izolacije. Takođe je važno razmatrati efekte svake primenjene mere pojedinačno, a zatim zbirni efekat nekoliko primenjenih mera, u težnji da se postigne zadovoljavajući period otplate investicije.

U tabeli 1.1 dat je potencijal uštede prema sektoru potrošnje energije ukoliko se primene ekonomski opravdane mere unapređenja energetske svojstava zgrada.

Tabela 1.1 Potencijal uštede energije prema sektoru potrošnje

Sektor potrošnje energije	Ekonomski opravdan potencijal uštede
Grejanje	do 35 %
Snabdevanje toplom vodom	u zavisnosti od sistema (oko 10 ÷ 30 %)
Upravljanje potrošnjom	≈ 10 ÷ 15 %
Električna energija za grejne uređaje	≈ 15 %
Osvetljenje	do 30 %
Kancelarijska oprema	≈ 10 ÷ 15 % (u zavisnosti od korišćenih kapaciteta i ponašanja korisnika)
Interne mere/ ponašanje korisnika	
Klimatizacija	≈ 25%
Ventilacija	≈ 10 %
Interne mere	≈ 10 ÷ 30 %

1.2.2 Zakon o efikasnom korišćenju energije

Zakon o racionalnoj upotrebi energije (u daljem tekstu: Zakon o EKE) nastao je kao posledica prepoznate potrebe:

- Strategija razvoja energetike Republike Srbije
- Program ostvarivanja Strategije razvoja energetike Republike Srbije
- da se na organizovan i zakonom uređen način započne sa odgovornim ponašanjem ka energiji i energentima (racionalnija upotreba i efikasnije korišćenje)
- kao posledica obaveza Republike Srbije prema Ugovoru sa Energetskom zajednicom
- kao posledica saradnje sa *Japan International Cooperation Agency* (JICA) – uvođenje sistema upravljanja energijom, tj. sistema menadžmenta energijom

Ciljevi Zakona o EKE su da omogući i podstakne odgovorno, racionalno, efikasno i dugoročno održivo korišćenje energije, kao i stvaranje sistema za praćenje stanja u energetskom sektoru i učinka preduzetih mera. Takođe, Zakon treba da doprinese povećanju sigurnosti snabdevanja energijom, povećanju

konkurentnosti privrede i smanjenju negativnih uticaja energetskeg sektora na životnu sredinu.

Načini uspostavljanja Zakona o EKE:

- kroz razvoj sistema menadžmenta energijom;
- označavanje energetskeg klase i uspostavljanje minimalnih zahteva tehničkih uređaja, opreme, proizvoda i zgrada;
- minimalnih zahteva energetske efikasnosti pri proizvodnji, prenošenju i distribuciji električne i toplotne energije i prirodnog gasa:
 - merenja i naplate prema isporučenoj količini energije i
 - zabrane izgradnje neefikasnih objekata (zgrada, postrojenja)
- ekonomskih podsticaja:
 - ekonomskih podsticaja za racionalno i efikasno korišćenje energije,
 - ekonomskih sankcija za neracionalno ili neefikasno korišćenje energije i
 - Fonda za energetske efikasnost;
- Razvoj tržišta usluga energetske efikasnosti (ESKO).

Obveznici energetskeg menadžmenta su:

- Privredna društva sa pretežnom delatnošću u proizvodnom sektoru – industrijska postrojenja – ukoliko koriste više od propisne količine energije
- Privredna društva sa pretežnom delatnošću u sektoru trgovine i usluga – objekti – ukoliko koriste više od propisne količine energije
- Opštine sa brojem stanovnika većim od 20 000
- Zgrade i druge objekti u javnoj svojini – državne uprave

Obveznik sistema menadžmenta energijom imaju obavezu naročito da:

- Realizuje indikativni cilj propisan od strane Vlade,
- imenuje potreban broj energetskeg menadžera odnosno energetskeg saradnika,
- priprema planove i programe racionalne upotrebe energije – srednjoročni i dugoročni,
- dostavlja godišnje izveštaje Ministarstvu.

Fond za energetske efikasnost

Sredstva Fonda se koriste u svrhu finansiranja ili sufinansiranja projekata, programa i aktivnosti koje za cilj imaju efikasnije korišćenje i racionalniju upotrebu energije, a naročito:

- primenu tehničkih mera - u sektorima proizvodnje, prenošenja, distribucije i potrošnje energije,
- uvođenje sistema energetskeg menadžmenta,
- izgradnju sistema za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije.

Sredstva Fonda daju se korisnicima sredstava Fonda u svrhu finansiranja efikasnog korišćenja energije putem subvencija, pomoći, donacija, zajmova, nepovratnih sredstava, izdavanja garancija i drugih oblika jemstva, a na osnovu javnih konkursa koje objavljuje Fond.

Ograničenja koja se postavljaju prilikom korišćenja sredstava iz Fonda su sledeća:

- ukupan iznos pojedinačnog zajma ne može da bude veći od predviđenih investicionih ulaganja i
- ukupan iznos nepovratnih sredstava ne može da bude veći od 40% predviđenih investicionih ulaganja.

Ostali ekonomski podsticaji obuhvataju poreske, carinske i druge olakšice:

- smanjenje PDV-a na energetske efikasne opreme, materijale, uređaje i tehnologiju,
- smanjenje carinskih stopa na uvoz energetske efikasne opreme, materijala, uređaja i tehnologija,
- smanjenje poreza na dobit preduzeća za deo iznosa investiranog u energetske efikasne opreme, materijale, uređaje i tehnologiju, kao i u projekte energetske efikasnosti.

1.2.3 Zakon o planiranju i izgradnji i Pravilnici o energetskeg efikasnosti

Donošenjem Zakona u planiranju i izgradnji 2009. uvedena je obaveza unapređenja energetske efikasnosti u oblasti zgradarstva. Član 4. Zakona glasi:

“Objekat koji se u smislu posebnog propisa smatra objektom visokogradnje (u daljem tekstu: objekti visokogradnje), u zavisnosti od vrste i namene, mora biti projektovan, izgrađen, korišćen i održavan na način kojim se obezbeđuju propisana energetska svojstva.

Propisana energetska svojstva utvrđuju se izdavanjem sertifikata o energetske svojstvima objekta koji izdaje ovlašćena organizacija koja ispunjava propisane uslove za izdavanje sertifikata o energetske svojstvima objekata.

Sertifikat o energetske svojstvima objekta čini sastavni deo tehničke dokumentacije koja se prilaže uz zahtev za izdavanje upotrebne dozvole.

Ispunjenost uslova iz stava 2. ovog člana posebnim rešenjem utvrđuje ministar nadležan za poslove građevinarstva.

Na rešenje iz stava 4. ovog člana ne može se izjaviti žalba, ali se tužbom može pokrenuti upravni spor.

Obaveza iz stava 1. ovog člana ne odnosi se na objekte visokogradnje koje posebnim propisom odredi ministar nadležan za poslove građevinarstva.”

Na osnovu člana 201 Zakona, stav 1:

“Ministar propisuje bliže:

1) energetska svojstva i način izračunavanja toplotnih svojstava objekata visokogradnje, energetske zahteve za nove i postojeće objekte, kao i uslove, sadržinu i način izdavanja sertifikata (član 4)”;

doneseni su Pravilnici o energetske efikasnosti zgrada, kojima se bliže propisuju energetska svojstva zgrada, kao i uslovi, sadržina i način izdavanja sertifikata o energetske svojstvima zgrada.

Prilikom izrade podzakonskih akata (Pravilnika) postavljeni su sledeći zahtevi:

- poboljšanje termičke zaštite,
- ukupne energetske potrebe zgrade,
- indikator za određivanje energetske razreda,
- izmerena potrošnja u postojećim zgradama,
- nacionalni softver (mesečni model prema standardima: SRPS EN ISO 13790, SRPS EN 15316, SRPS EN 15241, SRPS EN 15243, SRPS EN 15316-3, SRPS EN 15193) i nacionalnim specifičnostima

Usvojena je sledeća strategija:

- Primena Direktive **2010/31/EU** (prema odluci Ministarskog Saveta Energetske Zajednice: *No 2010/02/MC-EnC, 24 September 2010.*)
- Implementacija “CEN” standarda (preuzetih kao SRPS EN i SRPS ISO)

- Do usvajanja nacionalnog softvera obaveza proračuna samo energije potrebne za grejanje i ispunjavanje postavnjenih uslova termičke zaštite zgrada

Doneseni su novi pravilnici:

- Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada (Sl. Glasnik 061/2011)
- Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada (Sl. Glasnik 069/2012)

Izvršena je izmena i dopuna važećih pravilnika:

- Pravilnika o uslovima i postupku za izdavanje i oduzimanje licence («Službeni glasnik RS», br.116/2004)
- Pravilnika o uslovima i načinu polaganja stručnog ispita
- Tehnički prijem, Stručni nadzor...

Pravilnici o energetske efikasnosti zgrada se primenjuju za:

- izgradnju novih zgrada;
- rekonstrukciju, dogradnju, obnovu, adaptaciju, sanaciju i energetsku sanaciju postojećih zgrada;
- rekonstrukciju, adaptaciju, sanaciju, obnovu i revitalizaciju kulturnih dobara od izuzetnog značaja i zgrada u njihovoj zaštićenoj okolini...
- zgrade ili delove zgrada koje čine tehničko-tehnološku ili funkcionalnu celinu, a koje se prodaju ili daju u zakup.

Kategorizacija zgrada je izvršena u skladu sa EPBD i domaćom praksom:

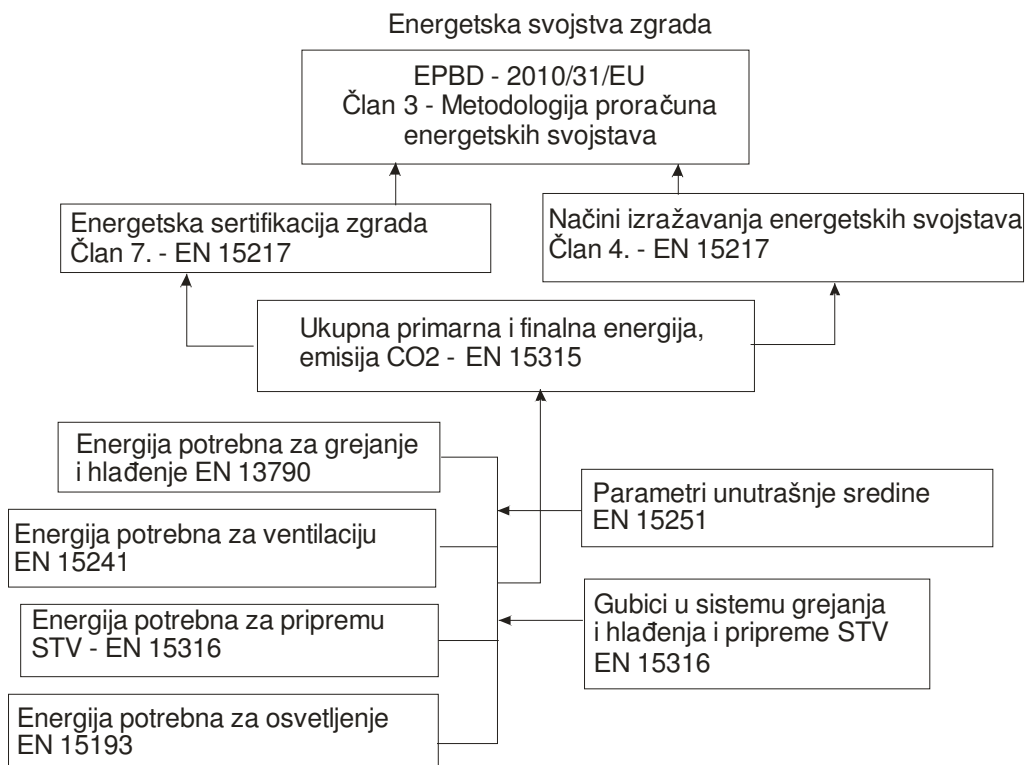
- stambene zgrade sa jednim stanom,
- stambene zgrade sa dva ili više stanova,
- upravne i poslovne zgrade,
- zgrade namenjene obrazovanju i kulturi,
- grade namenjene zdravstvu i socijalnoj zaštiti,
- zgrade namenjene turizmu i ugostiteljstvu,
- zgrade namenjene sportu i rekreaciji,
- zgrade namenjene trgovini i uslužnim delatnostima i
- zgrade mešovite namene i
- zgrade za druge namene koje koriste energiju.

Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada ima sledeću strukturu:

- Predmet uređivanja
- Definicije
- Primena pravilnika, kategorije zgrada i izuzeća
- Tehnički uslovi: urbane celine i arhitektonsko-urbanistički parametri
- Svojstva građevinskih materijala i elemenata (higrotermička, termička i parodifuzijska, toplotni mostovi)

- Karakteristike tehničkih sistema (grejanja, hlađenja, klimatizacije i ventilacije i sistema za pripremu sanitarne tople vode) - minimalni tehnički zahtevi
- Minimalni tehnički zahtevi za unutrašnje osvetljenje
- Metodologija proračuna indikatora EE (prema EN ISO 13790)
- Obnovljivi izvori i njihova primena
- Emisija CO₂
- Elaborat EE: ulazni podaci i sadržaj elaborata
- Prelazne i završne odredbe
- Stupanje na snagu
- Prilozi

Ovaj pravilnik propisuje tehničke uslove prilikom projektovanja zgrada, ostvarivanje minimalnih uslova komfora, higro-termička svojstva građevinskih materijala i elemenata – uz definisane maksimalne vrednosti koeficijenata prolaženja toplote elemenata termičkog omotača zgrade (tabela 1.2), minimalne tehničke zahteve za elektro-mašinske sisteme u zgradama, izradu elaborata energetske efikasnosti kao sastavnog dela glavnog projekta u cilju dobijanja građevinske dozvole, kao i metodologiju proračuna indikatora EE (šematski prikaz na slici 1.2), potrebnih za određivanje energetskog razreda zgrade.



Slika 1.2 Metodologija proračuna indikatora EE i veza sa CEN standardima

Tabela 1.2 – Najveće dozvoljene vrednosti koeficijenta prolaza toplote, U_{max} [W/(m²·K)], za elemente termičkog omotača zgrade

Opis elementa / sistema	Postojeće zgrade U_{max} [W/(m ² ·K)]	Nove zgrade U_{max} [W/(m ² ·K)]
<i>Elementi i sistemi u kontaktu sa spoljnim vazduhom</i>		
1. Spoljni zid	0,40	0,30
2. Zid na dilataciji (između zgrada)	0,50	0,35
3. Zidovi i međuspratne konstrukcije između grejanih prostorija različitih jedinica, različitih korisnika ili vlasnika	0,90	0,90
4. Ravan krov iznad grejanog prostora	0,20	0,15
5. Ravan krov iznad negrejanog prostora	0,40	0,30
6. Kosi krov iznad grejanog prostora	0,20	0,15
7. Kosi krov iznad negrejanog prostora	0,40	0,30
8. Međuspratna konstrukcija iznad otvorenog prolaza	0,30	0,20
9. Prozori, balkonska vrata grejanih prostorija i grejane zimske bašte	1,50	1,50
10. Stakleni krovovi, izuzimajući zimske bašte, svetlosne kupole	1,50	1,50
11. Spoljna vrata	1,60	1,60
12. Izlozi	1,80	1,80
13. Staklene prizme	1,60	1,60
<i>Unutrašnje pregradne konstrukcije</i>		
14. Zid prema grejanom stepeništu	0,90	0,90
15. Zid prema negrejanim prostorima	0,55	0,40
16. Međuspratna konstrukcija ispod negrejanog prostora	0,40	0,30
17. Međuspratna konstrukcija iznad negrejanog prostora	0,40	0,30
<i>Konstrukcije u tlu (ukopane, ili delimično ukopane)</i>		
18. Zid u tlu	0,50	0,35
19. Pod na tlu	0,40	0,30
20. Ukopana međuspratna konstrukcija	0,50	0,40
<i>Napomena 1: Za elemente – sisteme panelnog (podnog, zidnog, plafonskog) grejanja moraju se primeniti odgovarajući standardi i tehnički uslovi propisani tim standardima.</i>		
<i>Napomena 2: Vrednosti navedene za postojeće zgrade odnose se na najveće dopuštene vrednosti posle renoviranja, sanacija, rekonstrukcija.</i>		

Vrednosti U [W/(m²·K)] proračunavaju se u skladu sa standardom SRPS EN ISO 13789 i posebnim standardima: za netransparentne građevinske elemente, izuzev podova i zidova u tlu i zid-zavesa, u skladu sa standardom SRPS EN ISO 6946; za podove i zidove u tlu u skladu sa standardom SRPS EN

ISO 13370; za građevinske elemente tipa prozora, balkonskih vrata i roletni u skladu sa standardom SRPS EN ISO 10077-1 i SRPS EN ISO 10077-2; za zid-zavese u skladu sa standardom SRPS EN 13947; za stakla u skladu sa standardima SRPS EN 673 i SRPS EN 410; za elemente za zidanje zidanih zidova i zidane zidove, u skladu sa standardom SRPS EN 1745.

Koeficijent prolaza toplote transparentnog građevinskog elementa (spoljna građevinska stolarija: spoljni prozori i balkonska vrata; krovni prozori), U_w [W/(m²·K)], određuje se proračunom, saglasno standardu SRPS EN ISO 10077-1.

Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada takođe propisuje maksimalno dozvoljenu godišnju potrošnju finalne energije za grejanje, kako za nove, tako i za postojeće zgrade, što je prikazano u tabeli 1.3.

Tabela 1.3 – Dozvoljena godišnja potrošnja finalne energije

VRSTA OBJEKTA	NOVE ZGRADE	POSTOJEĆE ZGRADE
	Dozvoljena maksimalna godišnja potrošnja energije za grejanje [kWh/m ² a]	Dozvoljena maksimalna godišnja potrošnja energije za grejanje [kWh/m ² a]
1. stambene zgrade sa jednim stanom	65	75
2. stambene zgrade sa dva ili više stanova	60	70
3. upravne i poslovne zgrade	55	65
4. zgrade namenjene obrazovanju	65	75
5. zgrade namenjene zdravstvu i socijalnoj zaštiti	100	120
6. zgrade namenjene turizmu i ugostiteljstvu	90	100
7. zgrade namenjene sportu i rekreaciji	80	90
8. zgrade namenjene trgovini i uslužnim delatnostima	70	80
9. zgrade za druge namene koje koriste energiju uključujući i mešovite namene	/	/

Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada ima sledeću strukturu:

- Opšte odredbe
- Definicije
- Primena pravilnika (obaveza posedovanja energetskog pasoša, kategorije zgrada i izuzeća)
- Energetski razredi
- Energetski pasoš (stambene, nestambene i ostale zgrade; sadržaj)

- Postupak izdavanja i važenje
- Obaveza čuvanja energetskog pasoša
- Javno izlaganje energetskog pasoša
- Obaveze investitora/vlasnika zgrade
- Postupak sprovođenja sertifikacije (energetski pregled, izveštaj)
- Registar izdatih energetskih pasoša
- Prelazne i završne odredbe i stupanje na snagu.

Energetski pasoš za zgrade ima pet strana na kojima se prikazuju sledeći podaci:

- Prva strana - opšti podaci i podatak o energetskom razredu
- Druga strana - podaci o klimi, termotehničkim sistemima i elementima termičkog omotača zgrade
- Treća strana - energetske potrebe i izmerena potrošnja energije
- Četvrta strana - predlog mera za unapređenje EE zgrade
- Peta strana - objašnjenje korišćenih tehničkih pojmova

Energetski razred za stambene zgrade određuje se na osnovu maksimalne dozvoljene godišnje potrebne finalne energije za grejanje [kWh/(m²a)], koja je definisana Pravilnikom o energetkoj efikasnosti zgrada, i to posebno za nove i postojeće zgrade. Maksimalna dozvoljena godišnja potrebna finalna energija za grejanje $Q_{H,nd,max}$ [kWh/(m²a)] odgovara energetskom razredu „C“.

Energetski razred zgrade je pokazatelj energetskih svojstava zgrade. Izražen je preko relativne vrednosti godišnje potrošnje finalne energije za grejanje [%], i predstavlja procentualni odnos specifične godišnje potrebne toplote za grejanje $Q_{H,nd}$ [kWh/(m²a)] i maksimalno dozvoljene $Q_{H,nd,max}$ [kWh/(m²a)] za određenu kategoriju zgrada:

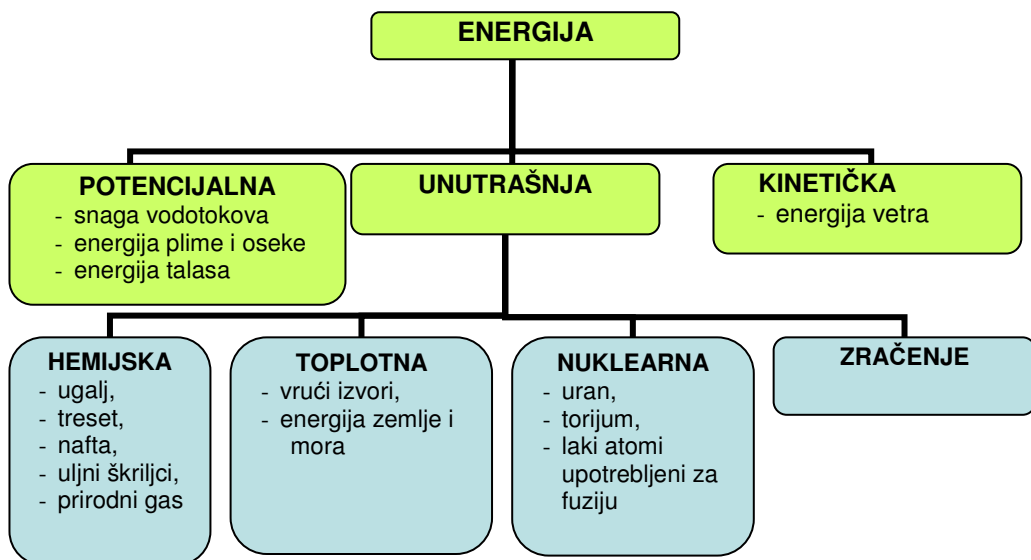
$$Q_{H,nd,rel} = (Q_{H,nd} / Q_{H,nd,max}) \times 100\%.$$

2 ENERGETSKI BILANS

2.1 OBLICI ENERGIJE

Sva iskoristiva energija potiče iz tri osnovna izvora energije: energije Sunca, energije iz Zemlje i energije gravitacije.

Energija Sunca nastaje procesima termonuklearne fuzije vodika koji se odvijaju u središtu Sunca. Produkti fuzije su helijum i velika količina energije koja se prenosi prema površini Sunca, prosečne temperature 5760 K. Sa površine Sunca energija se emituje u svemir elektromagnetskim talasima. Iako samo vrlo mali deo ukupne Sunčeve energije dolazi do površine Zemlje, na nju tokom jedne godine dospe veća količina energije od one sadržane u ukupnim rezervama uglja i nafte. Energija Sunčevog zračenja na Zemlji pretvara se u druge oblike energije procesima fotosinteze, isparivanja i strujanja.



Slika 2.1 Izvori energije

Energija iz Zemlje posledica je toplote Zemljinog jezgra koja se iz unutrašnjosti provodi prema površini. Zemlja se od svojih početaka, kada je postojala kao kugla užarene mase, hladi i stvara čvrsti deo Zemljine kore koji je deo do 50 km. Prosečna dnevna količina energije koja se iz središta Zemlje dovodi površini iznosi $5,4 \text{ MJ/m}^2$ (gustina toplotnog fluksa $0,063 \text{ W/m}^2$), što je niska vrednost i nije pogodna za tehničko iskorišćenje. Toplotni gradijent po dubini Zemljine kore može biti mestimično vrlo različit, a on je merodavan za iskorišćenje

Efikasno korišćenje energije u zgradama

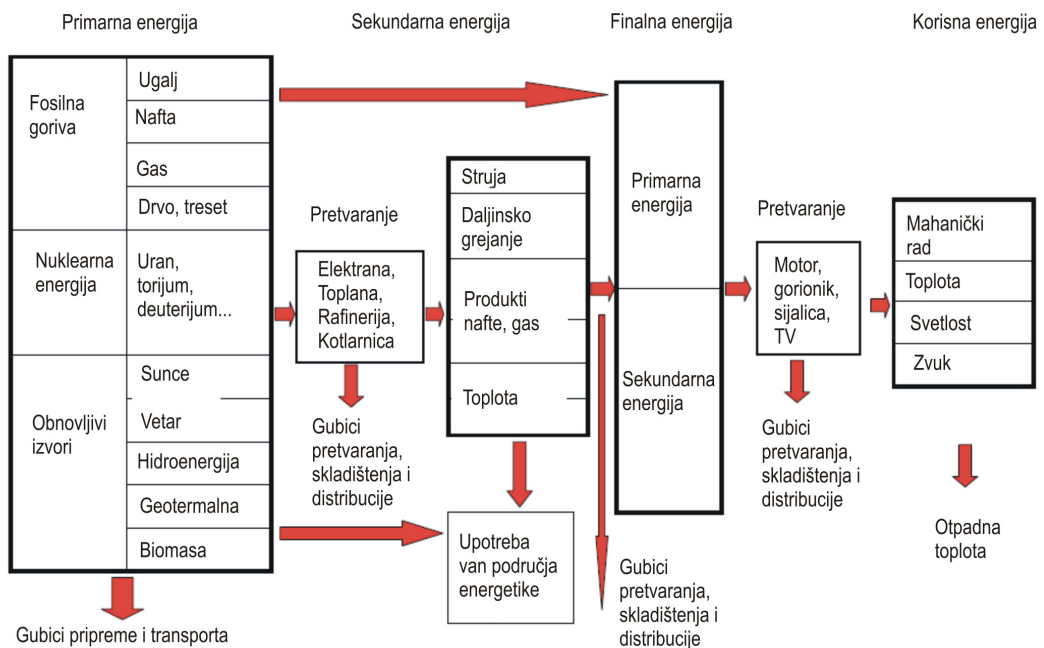
toplote iz Zemlje. Energija iz Zemlje se najčešće koristi kao toplota izvora vruće vode ili pare i kao toplotni izvor za rad toplotnih pumpi.

Energija gravitacije posledica je gravitacionih sila između Sunca, Meseca i Zemlje. Gravitacione sile uzrokuju promene nivoa mora i time promenu potencijalne energije morske vode. Amplituda plime i oseke mestimično varira, a može iznositi od nekoliko centimetara do šesnaest metara.

Izvori energije su prikazani dijagramom na slici 2.1.

Zakon o održanju energije: Energija se ne stvara niti uništava. U svim realnim (nepovratnim) procesima energija se pretvara iz jednog oblika u drugi, pri čemu gubitak predstavlja deo koji se pretvara u neiskoristivu energiju. Zbir svih energija na ulazu u neki sistem jednak je zbiru energija na izlazu iz njega.

Pretvaranje (transformacija) energije: prirodni oblici energije mogu se direktno koristiti ili se preko uređaja za transformaciju mogu pretvarati u korisne oblike, najčešće u mehaničku ili toplotnu energiju. Tu se može govoriti o primarnoj, sekundarnoj, finalnoj i korisnoj energiji.



Slika 2.2 Oblici energije i načini pretvaranja u sekundarnu i finalnu energiju

Primarnom energijom se smatra ona energija koja je sadržana u energentu (nosiocu energije, kao što je hemijska energija goriva). Sekundarna energija je dobijena energetskom transformacijom iz primarne energije i predstavlja primarnu energiju umanjenu za gubitke pretvaranja (npr. električna energija proizvedena

sagorevanjem goriva u termoelektrani). Finalna (ili neposredna) energija je ona energija koja dolazi do krajnjeg korisnika (sekundarna energija umanjena za gubitke pripreme i transporta). Konačno, korisna energija je ona koja je utrošena za zadovoljavanje potreba krajnjih korisnika (konačna energija umanjena za gubitke pretvaranja kod korisnika). Šematski prikaz tokova energije i međusobni odnosi navedenih oblika prikazani su na slici 2.2.

2.2 ENERGETSKI BILANS REPUBLIKE SRBIJE

Energetski bilans predstavlja dokument kojim se utvrđuju godišnji iznosi energije i energenata potrebni za uredno i sigurno snabdevanje korisnika energije (neposrednih potrošača) za period od tri godine. Ovaj dokument se izrađuje na osnovu podataka o proizvodnji, preradi i snabdevanju energijom i energentima u skladu sa metodologijom Eurostata.

Sve veličine iskazuju se u fizičkim jedinicama i to čvrsta goriva u milionima t, tečna goriva u milionima t, gasovita goriva u milionima Stm^3 (standardni metar kubni gasa), električna energija u GWh, toplotna energija u TJ i u milionima tona ekvivalentne nafte (Mtoe). Jedna tona ekvivalentne nafte iznosi 41,868 GJ ili 11,630 MWh električne energije ili dve tone kamenog uglja odnosno 5,586 t sirovog lignita.

U Tabeli 2.1 prikazani su faktori za konverziju jedinica energije u međunarodnoj statistici.

Tabela 2.1 – Faktori za konverziju jedinica energije u međunarodnoj statistici

	TJ	Gcal	Mtoe	MBtu	GWh
Teradžul (TJ)	1	238,8	$2,388 \times 10^{-5}$	947,8	0,2778
Gigakalorija (Gcal)	$4,1868 \times 10^{-3}$	1	10^{-7}	3,968	$1,163 \times 10^{-3}$
Mtoe	$4,1868 \times 10^4$	10^7	1	$3,968 \times 10^7$	11630
Miliona Btu ² (MBtu)	$1,0551 \times 10^{-3}$	0,252	$2,52 \times 10^{-8}$	1	$2,931 \times 10^{-4}$
Gigavat sati (GWh)	3,6	860	$8,6 \times 10^{-5}$	3412	1

Svi tokovi energije posmatraju se u okviru tri sistema energije:

- Sistem primarne energije u okviru koje se daje struktura ukupno raspoložive primarne energije za potrošnju. To je domaća proizvodnja na bazi

² Miliona tona britanske toplotne jedinice.

korišćenja sopstvenih resursa primarne energije (ugalj, nafta, prirodni gas, hidropotencijal, obnovljivi izvori energije) i neto uvoza³ primarne energije, uključujući i neto uvoz električne energije. Prikaz korišćenja obnovljivih izvora energije obuhvata statistiku iskorišćenosti hidropotencijala, proizvodnju i potrošnja tečnih biogoriva, proizvodnju i korišćenje geotermalne i solarne energije i proizvodnju čvrste biomase, odnosno ogrevnog drveta. Obaveze koje Republika Srbija ima po Ugovoru o Energetskoj zajednici nameću da se što pre sprovede potpuno evidentiranje korišćenja svih oblika obnovljivih izvora energije;

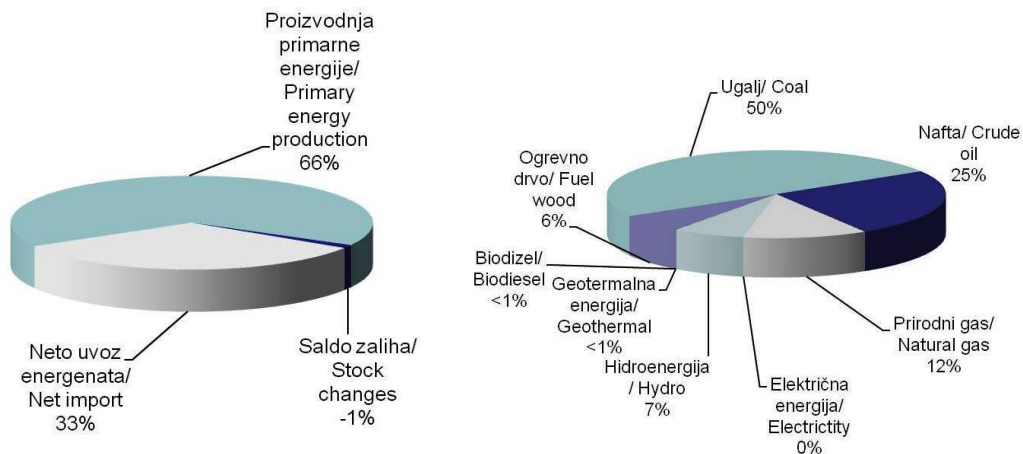
- Sistem transformacija primarne energije u okviru kojeg se prikazuju energenti potrebni za procese transformacije primarne energije, te proizvodnja energije (uključujući sopstvenu potrošnju, gubitke u transformaciji, prenosu i distribuciji energije do krajnjih potrošača). Strukturu ovog nivoa čine termoelektrane, hidroelektrane, termoelektrane - toplane, toplane, industrijske energane, rafinerije nafte, prerada uglja i visoke peći.

- Sistem finalne energije objedinjuje potrošnju energije za neenergetske svrhe (neenergetska potrošnja) i potrošnju finalne energije u energetske svrhe. Potrošnja finalne energije u energetske svrhe iskazuje se na dva načina. Prvi način obuhvata strukturu sektora potrošnje, a to su industrija, saobraćaj i ostalo (domaćinstva, javne i komercijalne delatnosti i poljoprivreda). Zbog nedovoljnih i nepouzdanih podataka ovu strukturu nije moguće prikazati detaljnije. Drugi način obuhvata strukturu energenata: čvrsta goriva, tečna goriva, gasovita goriva, električna energija, toplotna energija, OIE. Budući da nema dovoljno pouzdanih podataka o strukturi potrošnje finalne energije u energetske svrhe, ova struktura je u najvećoj meri procenjena.

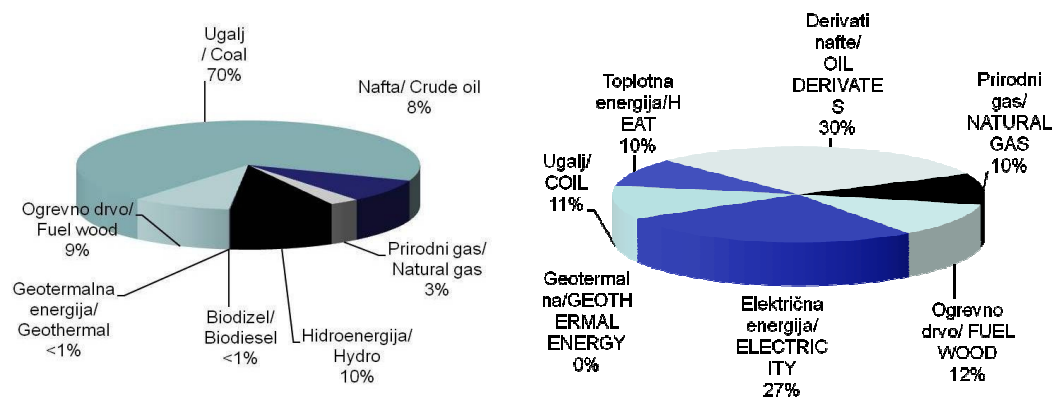
Za izradu Energetskog bilansa Republike Srbije za 2010. godinu korišćeni su podaci Pokrajinskog sekretarijata za energetiku i mineralne sirovine Autonomne pokrajine Vojvodine, podaci Republičkog zavoda za statistiku, Uprave carina, JP „Elektroprivreda Srbije” (JP EPS), JP „Elektromreža Srbije”, JP „Srbijagas”, JP „Transnafta”, „NIS” a.d, JP PEU „Resavica”, Poslovnog Udruženja toplana Srbije i toplana u okviru sistema daljinskog grejanja, proizvođača visokopećnog gasa, proizvođača tečnih biogoriva.

Na osnovu dobijenih podataka i njihove obrade, ustanovljeni su pojedinačni, odnosno sektorski bilansi nafte i naftnih derivata, prirodnog gasa, uglja, električne, toplotne energije i bilans OIE. Na slici 2.3 prikazano je snabdevanje primarnom energijom i data njena struktura. Dijagramima na slici 2.4. prikazana je proizvedena i potrošena finalna energija, prema podacima energetskog bilansa za 2010. godinu.

³ Neto uvoz predstavlja razliku između uvoza i izvoza energenata.



Slika 2.3 Struktura primarne energije: a) Zavisnost od uvoza; b) Struktura prema vrsti energenta



Slika 2.4 Struktura energije: a) Proizvedena primarna energija; b) Potrošena finalna energija

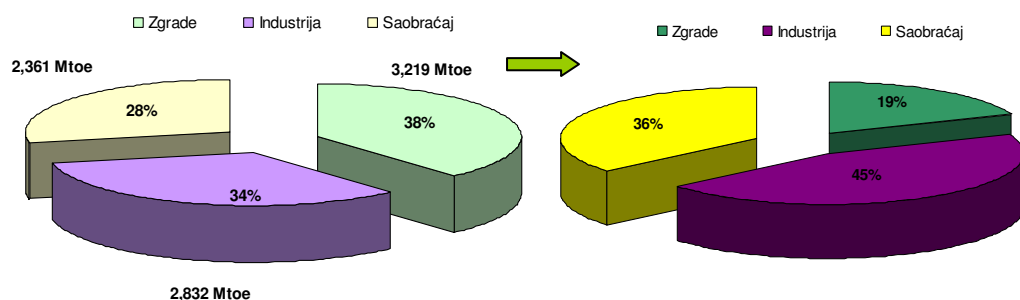
Prema podacima energetskeg bilansa, u 2010. godini primarna potrošnja iznosi 15,531 Mtoe, dok je potrošnja finalne energije iznosila 8,889 Mtoe.

Kada je u pitanju korišćenje energetskeg resursa, danas su u primeni brojna tehnička rešenja koja doprinose efikasnom sagorevanju fosilnih goriva, uz smanjenje gubitaka i povećanje stepena korisnosti. Međutim, na početku trećeg milenijuma, uz velike tehničke i tehnološke prodore u mnogim oblastima, čovečanstvo se suočava sa sve većim problemima iscrpljenja resursa energije i sirovih materijala, posebno minerala, oštećenjem i zagađenjem životne sredine - vazduha, vode, zemlje i sve bržim smanjivanjem šumskih i obradivih poljoprivrednih površina. Interes za iskorišćavanjem prirodnih resursa u uslovima intenzivnog tehničkog i ekonomskog razvoja je u porastu, a cilj je dostići održivost, odnosno, zadovoljiti potrebe danas, ne dovodeći u opasnost mogućnost budućih

Efikasno korišćenje energije u zgradama

generacija da zadovolje svoje potrebe za energijom. Pored racionalizacije potrošnje energije unapređenjem energetske efikasnosti u svim oblastima, danas se teži razvijanju što nezavisnijeg, vitalnijeg i elastičnijeg sistema energetike u kome primena obnovljivih izvora energije može da ima važnu ulogu u zadovoljavanju energetske potrebe. U tom smislu, intenzivirano je korišćenje alternativnih i obnovljivih izvora energije, kao što su: solarna energija (aktivni i pasivni sistemi), energija vetra, energija biomase, geotermalna energija, hidroenergija, kao i korišćenje "otpadne" toplote.

Analize i studije energetike Beograda i drugih gradova u Srbiji su pokazale da se samo na toplotne svrhe (grejanje, klimatizacija, priprema tople sanitarne vode) kod nas odnosi čak 38% ukupnih potreba za energijom, obuhvatajući sve objekte, kako stambene, tako javne i industrijske (slika 2.5). Pri tome se najveći deo energije koristi za grejanje.



Slika 2.5 Potrošnja energije u Republici Srbiji i ciljevi za budućnost

Potrošnju energije u zgradama potrebno je minimizirati na način tako da ne dođe do narušavanja uslova komfora, što znači da je neophodno, tokom cele godine, održavati termičke parametre unutrašnje sredine, kvalitet vazduha, potreban nivo osvetljenosti, dovoljnu količinu tople sanitarne vode. Tehnički sistemi u zgradi, koji obezbeđuju uslove komfora jesu porošači energije. Primenom različitih mera moguće je poboljšati energetske efikasnosti, pri čemu treba voditi računa o finansijskim efektima primenjenih mera.

Od ukupne potrošnje energije u zgradama 70% se troši u domaćinstvima i stambenim zgradama, 18% u komercijalnim, dok se u zgradama javne namene potroši oko 12% energije.

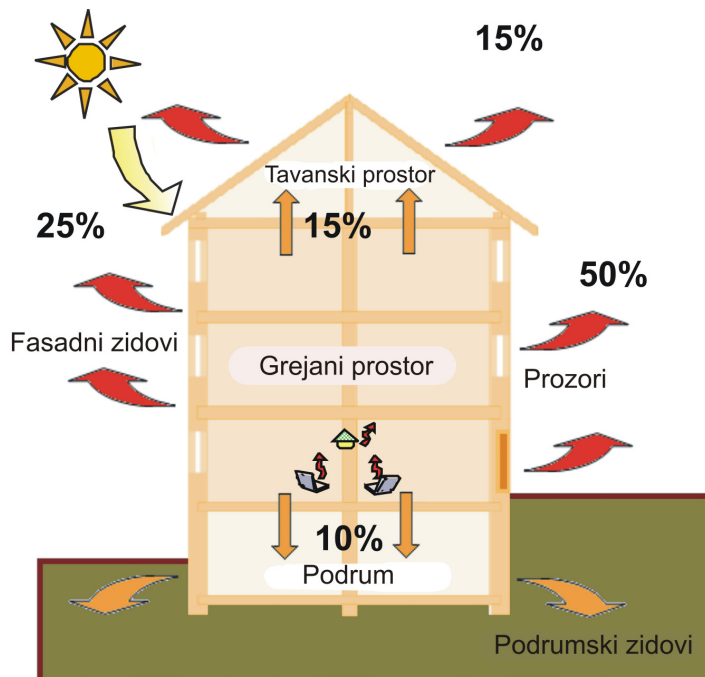
2.3 TOPLOTNI BILANS ZGRADE

Prilikom postavljanja toplotnog bilansa zgrade granicu sistema čini termički omotač, koji grejani prostor deli od spoljašnje okoline (vazduha i tla) i negrejanih prostorija u zgradi (tavanski i/ili podrumski prostor). Za zimski režim korišćenja zgrade potrebno je imati u vidu sledeće:

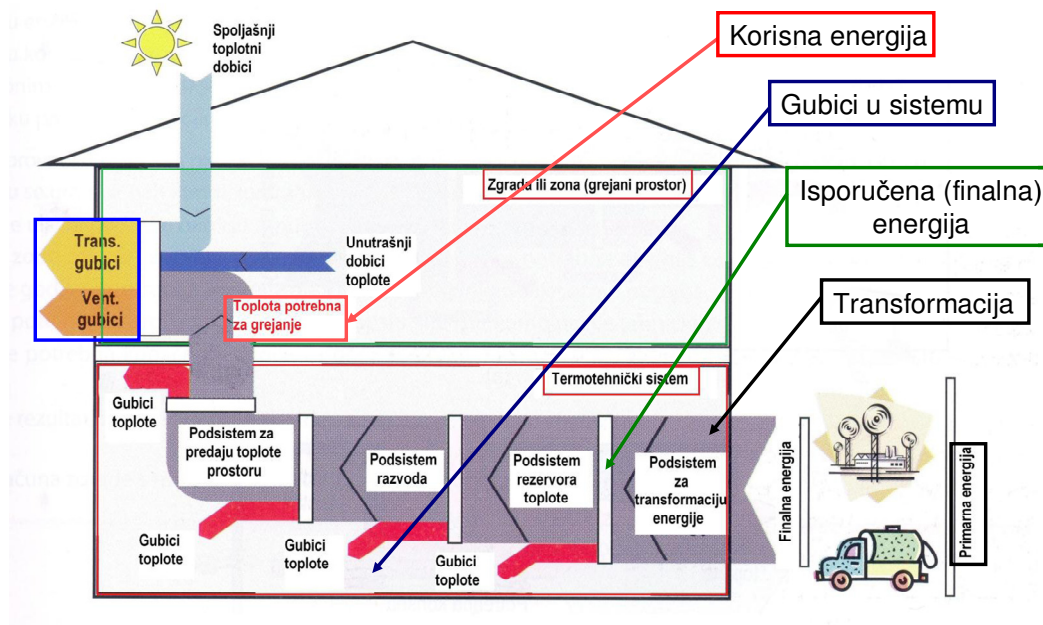
- Prozori i zastakljene površine - termički najosetljiviji deo termičkog omotača, utiču na ventilacione i transmisione gubitke;
- Uzimaju se u obzir korisni dobici toplote od Sunca i unutrašnjih izvora;
- Sistem za grejanje treba da nadoknadi samo trenutne gubitke toplote tokom cele grejne sezone, kroz pravilnu regulaciju toplotnog učinka;
- Izvor snabdevanja toplotom treba da bude efikasan.

Prilikom postavljanja toplotnog bilansa zgrade granicu sistema čini termički omotač, koji odvaja grejani deo objekta od spoljašnjeg prostora i negrejanih prostorija u zgradi.

Na slici 2.6 prikazani su ukupni gubici toplote kroz termički omotač zgrade (transmisioni i ventilacioni) sa okvirnim procentualnim udelom gubitaka kroz pojedine građevinske elemente.



Slika 2.6 Gubici toplote kroz termički omotač zgrade



Slika 2.7 Toplotni bilans zgrade u zimskim uslovima

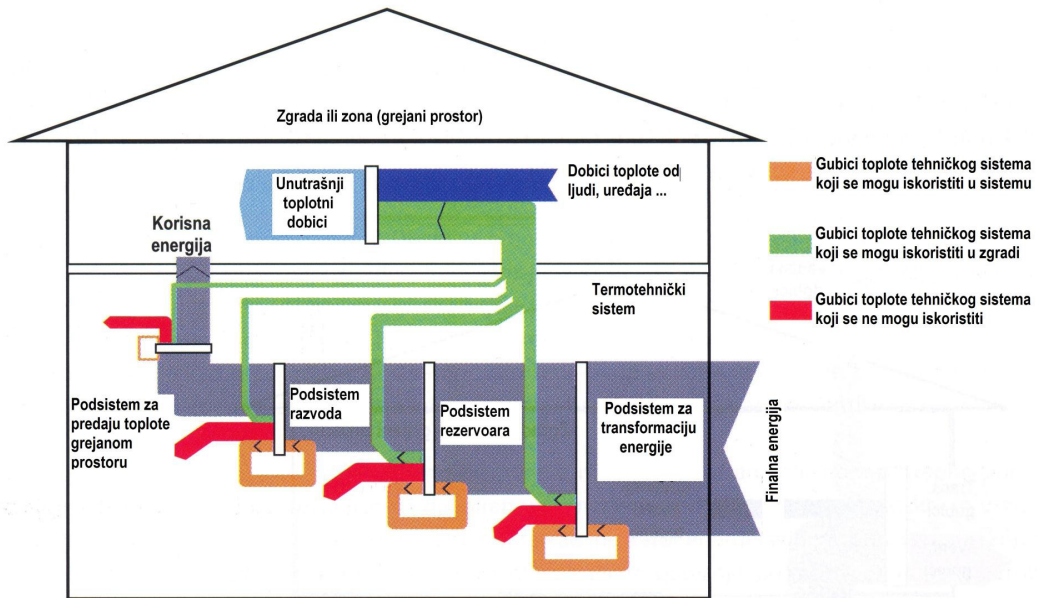
Toplota koju je potrebno isporučiti zgradi radi finalne potrošnje uvećava se zbog tehničkih gubitaka (u proizvodnji, transformaciji i distribuciji), dok se, sa druge strane, umanjuje usled korisnih dobitaka toplote od unutrašnjih izvora, dobitaka toplote od Sunčevog zračenja koje prodire u grejane prostorije i eventualnog korišćenja otpadne toplote (povraćaj toplote nazad u grejani prostor), što je prikazano na slici 2.7.

Proračun tokova energije vrši se za određeni prostor – tzv. zonu (npr. stan, zgrada, i sl.). Redosled proračuna potrebne energije vrši se u obrnutom smeru od toka energije.

Tok proračuna može se predstaviti u nekoliko koraka:

1. Najpre se izračunava **potrebna toplota** za grejanje koju treba dovesti ili odvesti u svrhu ostvarivanja željenog stanja u prostoru;
2. Zatim se pristupa proračunu potrebne energije za pogon termotehničkog sistema **za isporuku** potrebne energije za grejanje.
3. Gubici koji se javljaju u sistemu grejanja potiču usled: proizvodnje (transformacije hemijske energije goriva u toplotu i toplotnih gubitaka kotla u okolinu), prilikom distribucije (toplotnih gubitaka u okolinu prilikom transpota grejnog fluida od izvora do grejnih tela), prilikom skladištenja (toplotni gubici u okolinu od rezervoara za skladištenje tople vode) i usled gubitaka u razmini toplote u samom grejanom prostoru.

4. Na kraju se određuje potrebna količina primarne energije, koristeći faktore konverzije u zavisnosti od izvora energije.



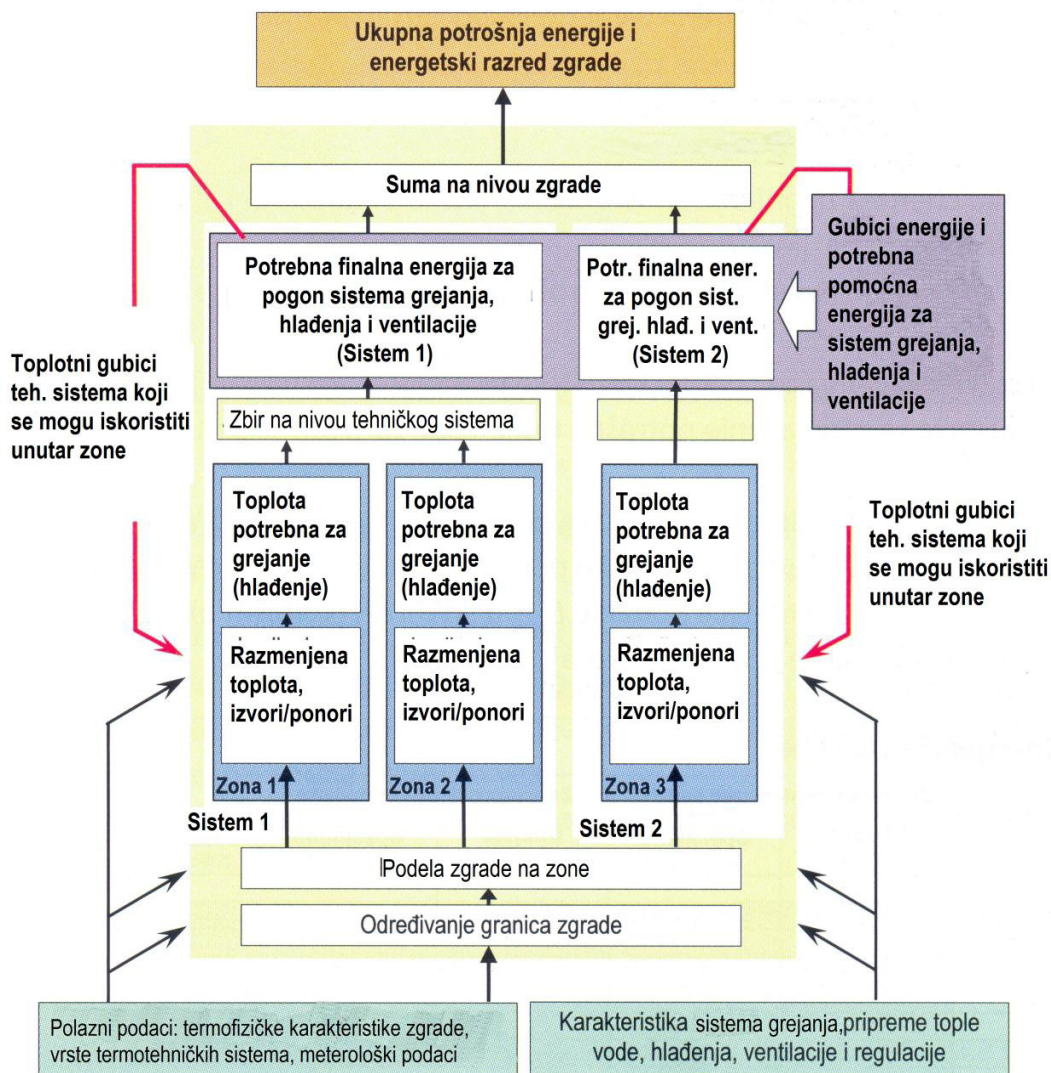
Slika 2.8 Energetski tokovi u zgradi i gubici energije

Podatak o toplotnim gubicima **ulazni je parametar** za bilans termotehničkih sistema. Neki od gubitaka koji se javljaju mogu se iskoristiti u samom sistemu, kao što je npr. povraćaj otpadne toplote u rekuperativnim/regenerativnim zagrejačima vazduha ili korišćenje opadne toplote kondenzacije rashladne mašine. Takođe, gubici toplote se mogu iskoristiti u samoj zgradi, kao što su gubici toplote u cevnoj mreži za distribuciju grejnog fluida koja se vodi kroz grejani deo objekta. Ipak, deo gubitaka koji nastaje u sistemu ne može se iskoristiti (slika 2.8).

Na slici 2.9 dat je šematski prikaz toka proračuna potrošnje energije u zgradi u cilju određivanja indikatora EE i energetskog razreda zgrade.

Prilikom projektovanja zgrade vrši se toplotno zoniranje, odnosno grupisanje grejanih prostorija prema unutrašnjoj projektnoj temperaturi. Grejane prostorije na istu unutrašnju projektnu temperaturu (do 4K razlike) odvojene su termičkim omotačem od:

- spoljašnjeg prostora i
- negrejanog prostora / druge toplotne zone.



Slika 2.9 Šematski prikaz toka proračuna potrošnje energije u zgradi

2.4 PARAMETRI KOJI UTIČU NA POTROŠNJU ENERGIJE

Najvažniji uticajni parametri na potrošnju energije termotehničkih sistema u zgradi (sistema grejanja, ventilacije i klimatizacije) mogu se podeliti u pet grupa:

1. Klimatski faktori, koji su određeni lokacijom na kojoj se zgrada nalazi;
2. Termički omotač i geometrija zgrade,
3. Karakteristike KGH sistema, izvora energije i nivoa automatske regulacije,
4. Režim korišćenja i održavanja zgrade i tehničkih sistema i
5. Eksploatacioni troškovi, odnosno cene energenata i energije.

Klimatski faktori, kao što je godišnje kretanje temperature vazduha i relativne vlažnosti, insolacija i dozračeni intenzitet sunčevog zračenja, vetrovitost, i drugo, odlika su lokacije na kojoj se zgrada nalazi. Prema tome, prilikom projektovanja zgrade i tehničkih sistema u njoj, neophodno je poznavati klimatske karakteristike podneblja, koje se, na određen način, uzimaju kao ulazni podaci za proračune. Kada su u pitanju KGH (**K**limatizacija, **G**rejanje, **H**lađenje) sistemi, neophodni ulazni podaci su: podaci o termičkom omotaču (koeficijenti prolaza toplote građevinskih elemenata, zaptivenost prozora i vrata), spoljna projektna temperatura za zimu i leto, dužina perioda grejanja i hlađenja, vetrovitost predela, položaj i orijentacija zgrade, itd. Zgrade iste namene, a koje se nalaze u bitno različitim klimatskim podnebljima, veoma se razlikuju, kako po arhitekturi i primenjenim materijalima, tako i po tehničkim rešenjima instalacija u njima.

Termički omotač, geomerija zgrade, njen položaj u odnosu na izloženost Suncu i vetrovima direktno utiču na energetske potrebe zgrade. Što je bolja termička izolacija i zaptivenost prozora i vrata, a manji faktor oblika, potrebna instalisana snaga sistema za grejanje će biti manja. Dobra zaptivenost prozora može značajno umanjiti ventilacione gubitke toplote. Podatak o specifičnom potrebnom instalisanom kapacitetu grejnih tela q (W/m^2) govori o tome koja vrsta sistema za grejanje se može primeniti u zgradi. Način postavljanja termičke izolacije i korišćenje toplotne inercije zgrade takođe je važan podatak. Veličina prozora i korišćenje dnevnog svetla utiče na veštačko osvetljenje, potrošnju električne energije i dobitke toplote od unutrašnjih izvora. Načini zaštite od Sunčevog zračenja tokom leta u velikoj meri mogu sniziti toplotno opterećenje zgrade, kao i instalisani kapacitet rashladnog postrojenja. Raspored prostorija unutar zgrade, atrijumski prostori i galerije mogu imati značajan uticaj prilikom korišćenja prirodnog provetravanja zgrade.

Pažljivim i stručnim izborom KGH sistema, izvora snabdevanja energijom i nivoa automatske regulacije moguće je ostvariti značajne uštede energije koju ovi sistemi troše tokom godine. Dve zgrade „bliznakinje“, koje su identične po nameni, geometriji i energetskim potrebama, mogu imati značajno različitu potrošnju energije u zavisnosti od vrste izvedenih tehničkih sistema u njima. Samo prilikom formiranja konceptualnog rešenja neophodno je uzeti veliki broj ulaznih podataka u razmatranje. Namena, režim korišćenja, geomerija, termička zaštita zgrade, kao i klimatski podaci samo su deo ulaznih parametara. Potrebno je razmotriti prostor za smeštaj uređaja i opreme, načine vođenja instalacija kroz zgradu i uklapanje u enterijer, raspoložive načine snabdevanja energijom, primenu obnovljivih izvora energije, integraciju rada različitih sistema, kao i potreban nivo nadzora i upravljanja sistemima u zgradi. Kod složenih i velikih zgrada, velikih investicionih

vrednosti, često se razmatraju varijantna rešenja, na kojima rade multidisciplinarni timovi – arhitekta, mašinski i inženjeri elektrotehnike.

Kako bi zgrada, tokom svog životnog veka, imala zadovoljavajuće energetske performanse, potrebno je redovno i pravilno održavanje zgrade i sistema u njoj. Ukoliko izostane redovno održavanje a ne naruši se u potpunosti funkcionalnost sistema, gotovo redovno se javlja slučaj neracionalne potrošnje energije. Osnovni primeri su: oštećenje ili potpuno uklanjanje termičke izolacije uređaja, cevovoda i kanala za vazduh, što za posledicu ima povećane gubitke toplote sistema, kondenzaciju vlage iz vazduha i oštećenja uređaja i enterijera; zaprljanje distributivne mreže i elemenata opreme, što rezultuje povećanim naporima pumpi i ventilatora a dovodi do veće potrošnje električne energije za njihov pogon; uklanjanje zaprljanih filtera za vazduh umesto njihove zamene dovodi do lošeg kvaliteta vazduha; prestanak funkcije regulacione armature ili opreme, osim pogoršanja termičkih parametara sredine (pregrevanja zimi ili pothlađivanja ljeti) neminovno utiče na povećanu potrošnju energije, dok u ekstremnim slučajevima može izazvati havarijska oštećenja sistema i veliku štetu, a ponekad ugroziti i ljudske živote. Koliko je važno dobro projektovati i izvesti sisteme u zgradi, od jednake je važnosti njihovo održavanje i pravilno gazdovanje, kako bi oni mogli da pruže svoj maksimum.

Prilikom projektovanja novih sistema, a češće prilikom izvođenja projekata rekonstrukcije postojećih, sastavni deo procedura je sprovođenje tehno-ekonomske analize, odnosno sagledavanja investicionih i eksploatacionih troškova kroz životni vek projekta. Međutim, ne može se uvek sa dovoljnom preciznošću predvideti na duži rok kretanje cena energije i energenata. Ukoliko postoji disparitet cena na tržištu, doći će do pojave neracionalne potrošnje energije. Osnovna motivacija korisnika jeste cena koju plaćaju za grejanje, odnosno klimatizaciju. Ekstremni primer je paušalna naplata troškova grejanja zgrada koje se toplotom snabdevaju iz sistema daljinskog grejanja. Fiksni mesečni trošak za grejanje nije uslovljen potrošenom energijom, pa samim tim ne postoji motiv korisnika da se racionalno odnosi prema potrošnji energije. Isto važi za ponašanje korisnika poslovnih zgrada u kojima sam korisnik ne plaća račune, već to čini vlasnik. Niska cena pojedinog energenta usloviće neracionalnu potrošnju jer je ona jeftinija nego sprovođenje mera koje bi doprinele uštedama.

2.5 PROJEKTNII USLOVI

2.5.1 Termički komfor i termički parametri sredine

U čovekovom telu se neprekidno odvijaju fizičko-hemijski procesi koji se nazivaju metabolizam. Pri tim procesima razvija se toplota koju čovek neprekidno mora da odaje okolini da bi ostvario stanje termičke ravnoteže, odnosno da bi

održao stalnu temperaturu tela. Da bi se čovek osećao prijatno u zatvorenom prostoru u zgradi, neophodno je da termički parametri sredine budu u određenim granicama, kojima se definišu uslovi termičkog komfora.

Generalno, na odavanje toplote čoveka utiču dve grupe parametara, a to su:

1. Uticaj sredine – TERMIČKI PARAMETRI SREDINE

- temperatura vazduha (θ_a),
- temperatura okolnih površina (θ_{si}),
- relativna vlažnost vazduha (ϕ) i
- brzina strujanja vazduha (w)

2. Lični (subjektivni) uticaji

- stepen fizičke aktivnosti,
- odevenost,
- zdravstveno stanje,
- uzrast (starosna dob),
- pol,
- telesna težina, itd.

Najznačajniji lični uticaji su stepen fizičke aktivnosti i odevenost.

Termički parametri sredine koji utiču na uslove ugodnosti ljudi u zatvorenom prostoru su:

Temperatura vazduha utiče na odavanje suve toplote *konvekcijom*, proporcionalno razlici temperatura tela i vazduha:

$$Q_{konv} = A_{Du} \cdot f_{cl} \cdot h_c (\theta_{cl} - \theta_v) \quad (2.1)$$

gde su:

Q_{konv} – toplota koju čovek odaje konvekcijom,

A_{Du} – spoljna površina telesnog omotača (prema Dubois-u),

f_{cl} – stepen odevenosti koji predstavlja odnos površine odevenog tela prema površini nagog tela,

h_{cl} – koeficijent prelaza toplote sa površine odeće na vazduh,

θ_{cl} – temperatura površine odeće i

θ_a – temperatura okolnog vazduha.

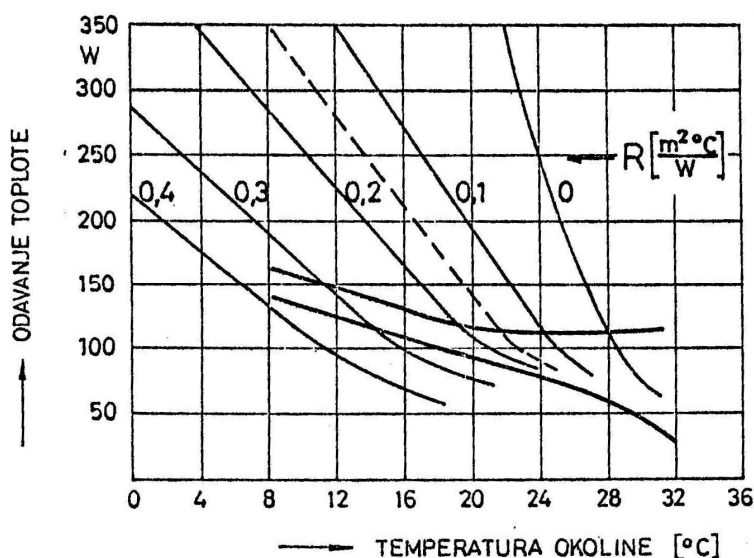
Za čoveka prosečne visine ($h = 1,73m$) i težine ($m = 70$ kg) vrednost spoljne površine telesnog omotača iznosi $A_{Du} = 1,8$ m². Odeća utiče na smanjenje odavanja toplote čoveka time što povećava otpor provođenju toplote od tela ka okolini. Temperatura površine odeće je niža od temperature tela, ali je površina razmene toplote (konvekcijom i zračenjem) nešto veća. Kada je koža prekrivena odećom, onda se javlja složeni prenos toplote sa kože na spoljnu površinu odeće, koji obuhvata unutrašnje procese zračenja i konvekcije u sloju iza kože i odeće, kao i kondukciju kroz sloj odeće. Zbog lakšeg definisanja ovog načina prenosa

toplote uvedena je bezdimenzionalna veličina R_{cl} , kao odnos ukupnog otpora prolazu toplote sa površine kože do spoljne površine odeće prema toplotnom otporu odeće od $0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$. Jedinica ovog bezdimenzionalnog otpora prolazu toplote kroz odeću je $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$ (jedan klo). U tabeli 2.2 prikazane su neke vrednosti otpora prolazu toplote kroz odeću R_{cl} i stepena odevenosti f_{cl} za pojedine kompletne odeće.

Tabela 2.2 Vrednosti toplotnog otpora odeće i stepena odevenosti

Vrsta odeće	R_{cl} (clo)	f_{cl} (-)
Naga osoba	0,0	1,00
Šorts	0,1	1,00
Veoma laka odeća (šorts, laka košulja – kratak rukav, lake pamučne čarape i sandale)	0,3-0,4	1,05
Laka radna odeća (laki pamučni donji veš, tanke pantalone, pamučna košulja, pamučne ili vunene čarape i lake cipele)	0,6	1,10
Tipično poslovno odelo (Pamućni donji veš, košulja, pantalone, sako, kravata, čarape i cipele)	1,0	1,15
Tipično poslovno odelo sa lakim kaputom	1,5	1,15
Teška vunena odeća sa jaknom (polarna)	3,0-4,0	1,30-1,50

Na slici 2.10 prikazan je uticaj odevenosti na odavanje toplote čoveka i postizanje termičke ravnoteže. Očito je da se pri određenoj fizičkoj aktivnosti čoveka, stanje termičke ravnoteže uspostavlja pri nižim temperaturama okoline ukoliko je čovek više odeven.



Slika 2.10 Odavanje toplote čoveka u zavisnosti od odevenosti i temperature vazduha

Jedan deo toplote koji se odaje **disanjem**, takođe predstavlja suhu toplotu, koja se javlja kao posledica razlike temperatura između izdahnutog i udahnutog vazduha. Ova količina toplote još zavisi od ventilacionog masenog protoka vazduha tokom disanja, i upravo je proporcionalna razlici temperatura i masenom protoku vazduha:

$$Q_{sd} = f(m_d, \theta_{iz}, \theta_{ud}) \quad (2.2)$$

Latentno odavanje toplote (vlage) čoveka odvija se putem disanja i znojenja. Disanjem, vodena para sa sluzokože disajnih organa prenosi se na udahnut vazduh, koji se u plućima dodatno obogaćuje vodenom parom. Izdisanjem, vazдушna masa struji kroz respiratorni trakt, gde se određena količina pare kondenzuje i vraća telu. I pored toga, izdahnut vazduh je topliji i vlažniji od udahnutog. Prema tome, odata latentna toplota disanjem proporcionalna je razlici sadržaja vlage izdahnutog i udahnutog vazduha, kao i masenom protoku vazduha prilikom disanja:

$$Q_{ld} = f(m_d, x_{iz}, x_{ud}) \quad (2.3)$$

Prilikom znojenja se takođe odaje latentna toplota. Jedan deo te toplote se odaje usled difuzije vodene pare kroz kožu i proporcionalan je razlici pritiska zasićenja vodene pare na temperaturi kože i parcijalnog pritiska vodene pare u vazduhu:

$$Q_{lz, dif} = f(p_s, p_d) \quad (2.4)$$

Drugi deo latentne toplote koji se predaje vazduhu sa površine kože usled znojenja jeste toplota odata isparavanjem znoja. Ova veličina zavisi od stepena fizičke aktivnosti, odnosno unutrašnje produkcije toplote, temperature i vlažnosti okolnog vazduha.

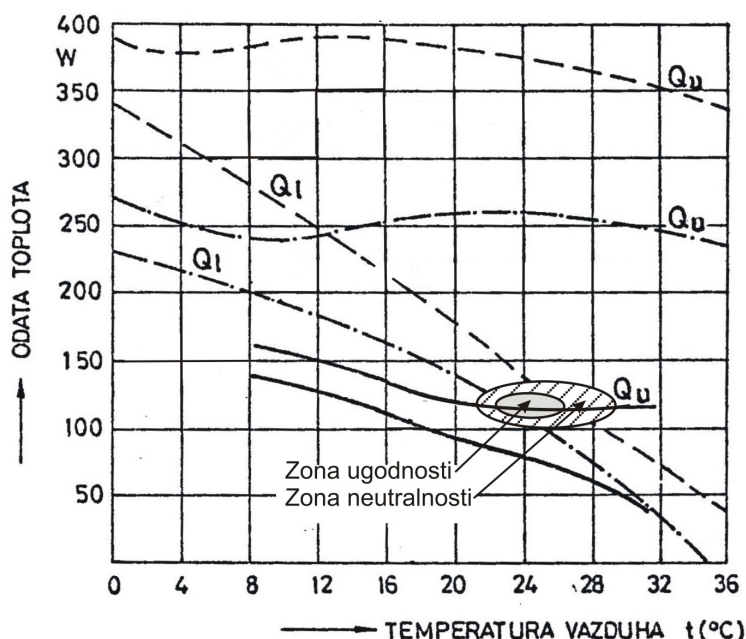
Kao mera fizičke aktivnosti čoveka uvedena je jedinica *met* i ona odgovara odavanju toplote čoveka od 58,2 W/m² površine tela. Prosečna površina kože odraslog čoveka iznosi 1,8 m². U tabeli 2.3 prikazane su prosečne vrednosti odavanja toplote odraslog čoveka pri različitim aktivnostima.

Tabela 2.3 Odavanje toplote čoveka

Aktivnost	Odavanje toplote	
	met	W
spavanje	0,7	75
sedenje	1,0	105
hodanje brzinom 3,2 km/h	2,0	210
hodanje brzinom 6,4 km/h	3,8	400
kancelarijski rad	1,0 – 1,4	105 – 150
spremanje kuće	2,0 – 3,4	210 – 355
plesanje	2,4 – 4,4	250 – 460
košarka	5,0 – 7,6	580 – 800
maksimalna (kratkotrajna)	11,5	1200

Toplotu stvorenu metabolizmom čovek odaje okolini koristeći više osnovnih mehanizama prenosa toplote. Suva (osetljiva) toplota predaje se uglavnom preko kože i odeće konvekcijom i zračenjem, a manjim delom kondukcijom i zagrevanjem vazduha u plućima. Latentna (vlažna) toplota predaje se u plućima i preko kože. Pri tome treba razlikovati da li je koža suva ili okvašena (oznojena).

Na slici 2.11 prikazan je dijagram odavanja toplote ljudi u funkciji temperature vazduha za različite fizičke aktivnosti.



Slika 2.11 Odavanje toplote čoveka u zavisnosti od temperature vazduha

Odavanje toplote čoveka (i ukupno, a posebno suve toplote) opada sa porastom temperature vazduha. U jednom intervalu temperatura okoline, ukupno odavanje toplote čoveka se ne menja i ta oblast se naziva **zona neutralnosti**. Unutar zone neutralnosti, i to pomereno ka oblasti nižih temperatura okoline gde je odavanje suve toplote veće a latentne umereno, nalazi se **zona ugodnosti**. To je oblast koju pokušavamo da ostvarimo radom klimatizacionih uređaja.

Temperatura okolnih površina

Temperatura okolnih površina (unutrašnje površine zidova, prozora, poda i tavanice) utiče na razmenu toplote zračenjem. Toplota razmenjena zračenjem proporcionalna je razlici četvrtih stepena apsolutne temperature tela i srednje vrednosti temperature okolnih površina:

$$Q_R = A_{ef} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left[\left(\frac{T_{body}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{si}}{100} \right)^4 \right] \quad (2.5)$$

gde su:

- A_{ef} – efektivna površina zračenja (m^2), $A_{ef} = f_{ef} \cdot f_{cl} \cdot A_{Du}$
 f_{ef} – efektivni faktor zračenja površine koji predstavlja odnos između efektivne površine odeće i ukupne spoljne površine odeće, zavisi od položaja tela,
 ε – koeficijent emisije zračenja spoljne površine odeće,
 σ – Štefan-Bolcmanova konstanta, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{K}^4\text{)}$,
 T_{body} – temperatura tela (K),
 T_o – temperatura okolnih površina (K).

S aspekta uslova ugodnosti čoveka, najbolje je kada je zračenje što ravnomernije u svim pravcima, tj. kada temperatura svih okolnih površina malo odstupa od srednje vrednosti. Međutim, u praksi je čest slučaj da su pojedine površine u prostoriji različitih temperatura, pa se može dogoditi da čovek jednim delom tela prima toplotu zračenjem, a drugim odaje (tzv. asimetrično zračenje). Ukoliko se čovek ne kreće, asimetrično zračenje je vrlo neugodno. Na primer, kada čovek sedi jednom stranom okrenut peći na unutrašnjem zidu, a drugom stranom ka termički loše izolovanom prozoru.

Mada temperatura vazduha i temperatura okolnih površina utiču na različite mehanizme odavanja toplote čoveka, s obzirom da se radi o istim fizičkim veličinama, uvedena je **rezultujuća temperatura** koja objedinjuje obe ove karakteristične temperature.

$$\theta_{rez} = A \cdot \theta_a + B \cdot \theta_{si} \quad (2.6)$$

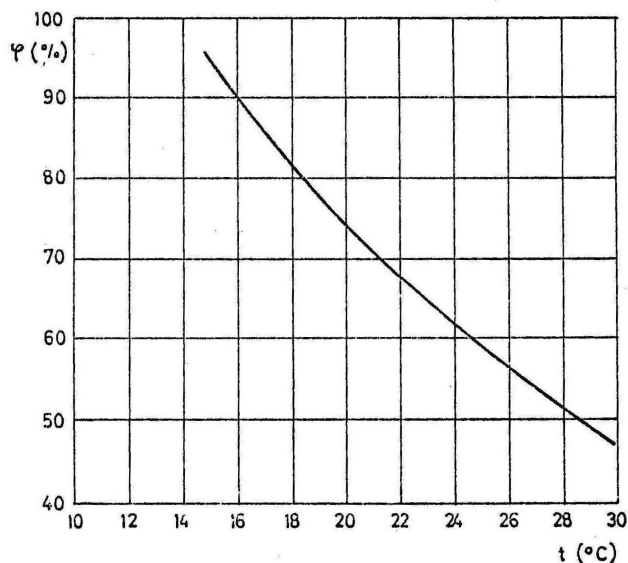
Različiti autori navode različite vrednosti konstanti A i B. Najčešće se smatra da su sličnog uticaja pa se usvaja $A=B=1/2$. Generalni je stav da što je niža srednja temperatura okolnih površina, potrebna je viša temperatura vazduha (i obrnuto) za isti osećaj ugodnosti. Najbolje je kada su obe karakteristične temperature približno jednake.

Relativna vlažnost vazduha φ

Relativna vlažnost vazduha utiče, pre svega, na odavanje latentne toplote. Odavanje latentne toplote čoveka proporcionalno je razlici parcijalnog pritiska zasićenja za temperaturu površine tela i parcijalnog pritiska vodene pare u okolnom vazduhu. Naime, oubičajeno se smatra da je vazduh u neposrednom

dodiru sa površinom kože, usled znojenja čoveka, primio maksimalno moguću količinu vodene pare, tj. da je zasićen.

Uticaj relativne vlažnosti na osećaj ugodnosti čoveka treba posmatrati u "sadejstvu" sa temperaturom vazduha. Pri visokim temperaturama visoka relativna vlažnost nije dobra jer onemogućava odavanje latentne toplote (znojenjem) što je najvažniji način hlađenja tela pri visokom temperaturama okoline (slika 2.12).



Slika 2.12 Maksimalno dozvoljene vrednosti relativne vlažnosti vazduha

Visoka relativna vlažnost vazduha nije dobra ni pri niskim temperaturama, jer izaziva vlaženje odeće čime se smanjuje otpor provođenju toplote i povećava odavanje toplote čoveka što nije ugodno pri niskim temperaturama okoline. Zbog toga se ograničava maksimalno dozvoljena vrednost relativne vlažnosti u funkciji temperature okolnog vazduha (slika 2.13). Sa dijagrama se može uočiti da mnogo značajniji uticaj relativne vlažnosti pri višim temperaturama okoline, pa su tada dozvoljene niže vrednosti ϕ .

Ni preniska vlažnost vazduha nije ugodna za čoveka jer može izazvati preterano sušenje (isušivanje) kože i naročito sluzokože (očiju i disajnih puteva). Zato se propisuje i minimalna dozvoljena vlažnost vazduha (30%, a u poslednje vreme, zbog štednje energije, i 20%). Smatra se da je u opsegu uobičajenih temperatura vazduha, optimalna vlažnost vazduha za čoveka 50%. Za zadovoljavajuće uslove ugodnosti, granice relativne vlažnosti vazduha treba da budu:

$$(30) \ 35 \leq \phi \leq 65 \ (70) \ %$$

Brzina strujanja vazduha w

Brzina strujanja vazduha utiče na prenos toplote konvekcijom i odavanje latentne toplote. Povećanjem brzine kretanja vazduha raste koeficijent prelaza toplote, pa se time povećava i količina toplote predata konvekcijom. Takođe, intenzivira se i odavanje latentne toplote jer se pri većoj brzini vazduha pospešuje isparavanje sa kože time što se zasićen vazduh koji je u dodiru s površinom kože brže odvodi a na njegovo mesto dolazi okolni suvlji vazduh.

Veće brzine vazduha mogu izazvati neprijatan osećaj naročito kada se radi o struji hladnog vazduha. Zbog toga se propisuju maksimalne brzine strujanja vazduha u zoni boravka ljudi. Preporučuje se da u komfornoj klimatizaciji ta brzina ne prelazi 0,25 m/s, dok se u industrijskoj klimatizaciji i brzina vazduha od 0,35 m/s smatra prihvatljivom. Dalje od zone boravka ljudi (na primer na mestima ubacivanja vazduha u klimatizovani prostor) brzine strujanja vazduha mogu imati znatno veće vrednosti.

2.5.2 Unutrašnja projektna temperatura

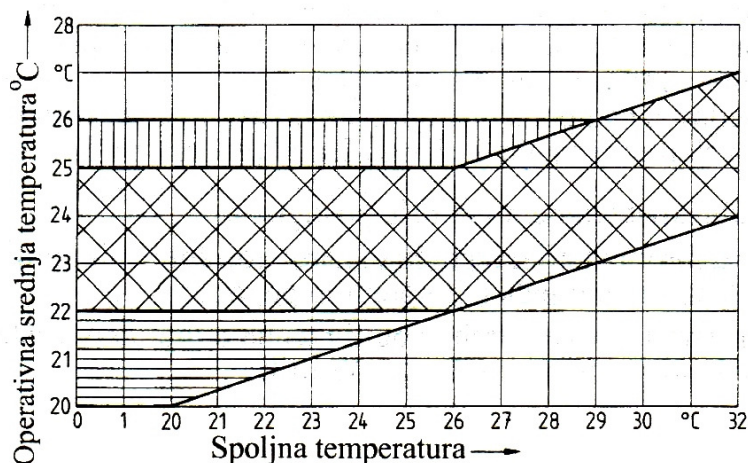
Unutrašnja projektna temperatura se određuje prema nameni prostorija. Namena prostorije govori o tome kojom se aktivnosti bave ljudi u određenoj prostoriji i kakva je njihova odevenost. Pod unutrašnjom projektnom temperaturom se obično podrazumeva temperatura vazduha merena u sredini prostorije na određenoj visini od poda, praktično u zoni boravka ljudi (kod nas – na polovini visine). Termometar kojim se meri temperatura vazduha mora biti zaštićen od uticaja zračenja. Međutim, danas postoje tendencije da se unutrašnja projektna temperatura računa kao rezultujuća temperatura – što više odgovara uslovima ugodnosti. Unutrašnja projektna temperatura ima različite vrednosti za zimski i letnji period za istu prostoriju u zgradi. Tokom zimskog perioda (trajanja grejne sezone) odevenost ljudi je prilagođena spoljnim uslovima, a tokom boravka u zatvorenom prostoru uglavnom ima vrednost koja odgovara približno 1 clo. Za letnji period, kada je potrebno hlađenje prostora, unutrašnja projektna temperatura ima višu vrednost, u odnosu na period grejanja, i takođe je prilagođena spoljnim uslovima i manjom odevenošću koja se kreće oko vrednosti od 0,5 clo.

Za stambene i poslovne objekte uobičajena vrednost unutrašnje projektne temperature za period grejanja i za naše klimatsko podneblje, kreće se od 18 do 22°C. Na primer:

- sobe, predsoblja, kuhinje, kancelarije $\theta_i = 20^\circ\text{C}$,
- kupatila i WC-i $\theta_i = 22 - 24^\circ\text{C}$,
- hodnici i stepeništa, čekaonice $\theta_i = 15 - 18^\circ\text{C}$,
- magacini, arhive, ostave $\theta_i = 10 - 12^\circ\text{C}$.

U literaturi i standardima postoje podaci i preporuke za izbor unutrašnje projektne temperature za prostorije raznih namena (bolnice, škole, vrtići, pozorišta, bioskopi, hoteli...).

U posebno toplim letnjim danima, kada spoljna temperatura prelazi vrednosti od 30°C i kada je čovek lako obučen, sobna temperatura u opsegu $18\text{--}22^{\circ}\text{C}$ će mu biti previše niska. Za letnji period vrednost unutrašnje projektne temperature kreće se u opsegu od $22\text{--}27^{\circ}\text{C}$, što je uslovljeno namenom prostorije, ali i kretanjem spoljne temperature vazduha. Na slici 2.13 prikazane su vrednosti dopuštene unutrašnje projektne temperature u funkciji spoljne temperature vazduha, koje važe za lakši kancelarijski rad u sedećem položaju i brzinu strujanja vazduha do $0,2\text{ m/s}$.



Slika 2.13 Granice unutrašnje temperature vazduha u prostoriji

2.5.3 Model toplotne ravnoteže

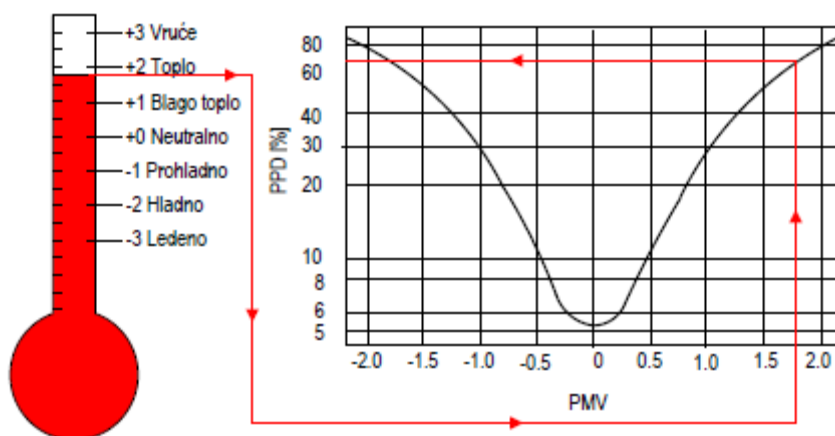
Prema standardu SRPS EN ISO 7730 uvode se indeksi kojima se ocenjuje ugodnost boravka u prostoriji. PMV indeks (*engl. Predicted Mean Vote*) predviđa kako će grupa ljudi oceniti ugodnost boravka u prostoriji. Kod određivanja PMV indeksa fiziološki odziv termoregulacionog sistema osobe povezan je sa statističkim vrednovanjem termičke ugodnosti glasovima prikupljenim od najmanje 1300 ispitanika. Njegovo predviđanje je relativno složen matematički postupak, koji se sprovodi prema jednačinama datim u pomenutom standardu. Jednostavniji način određivanja PMV indeksa je očitavanjem vrednosti iz tablica za relativnu vlažnost vazduha 50% i različite temperature vazduha, brzine strujanja, nivoa fizičke aktivnosti i odevenosti. Nivo ugodnosti vrednuje se na skali od 7 tačaka. Grupa ispitanika određuje brojevima na skali prikazanoj na slici 2.14 svoj

subjektivan osećaj termičke ugodnosti. Osobe koje su se izjasnile brojevima ± 2 ili ± 3 spadaju u grupu nezadovoljnih stanjem u prostoriji.

Kada je poznat PMV indeks, moguće je odrediti PPD (engl. *Predicted Percentage of Dissatisfied*) indeks koji predviđa procenat nezadovoljnih osoba u nekoj prostoriji. Određuje se pomoću jednostavnog matematičkog izraza kao funkcija od PMV indeksa:

$$PPD = 100 - 95^{-e^{(0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2)}} [\%] \quad (2.7)$$

S obzirom da su PMV i PPD indeksi međusobno zavisni, moguće je napraviti dijagram prikazan na slici 2.14. Pomoću takvog dijagrama jednostavno se grafički odredi PPD indeks ako je već poznat PMV indeks.



Slika 2.14 Skala ugodnosti prema PMV indeksu i Međusobna zavisnost PMV i PPD indeksa

U tabeli 2.4 prikazane su različite kategorije termičkog komfora prema kriterijumima PMV i PPD indeksa, kao i oblast osetne temperature tokom zimskog i letnjeg perioda.

Tabela 2.4 Kriterijum ugodnosti prema PMV i PPD za standardne prostore

Kategorija	Kriterijum ugodnosti		Raspon osetne temperature	
	PPD [%]	PMV [-]	Zima (1,0 clo i 1,2 met) [°C]	Leto (0,5 clo i 1,2 met) [°C]
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$	$22 \pm 1,0$	$24,5 \pm 1,0$
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$	$22 \pm 2,0$	$24,5 \pm 1,5$
C	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$	$22 \pm 3,0$	$24,5 \pm 2,5$

3 METODOLOGIJA PRORAČUNA POTREBNE ENERGIJE KOJA SE TROŠI U ZGRADI

3.1 METODOLOGIJA PRORAČUNA POTREBNE TOPLOTNE ENERGIJE

Donošenjem Pravilnika o energetskej efikasnosti zgrada i Pravilnika o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada (Sl. Glasnik RS, br. 61/2011 I 69/203), detaljnije se uređuje oblast postupka energetske sertifikacije zgrada.

Praktična primena Direktive o energetskim karakteristikama zgrada (EPBD) zahtevala je niz standarda koji bi pomogli u njenoj implementaciji.

Standard EN ISO 13790 daje metodologiju proračuna potrebne energije za grejanje i hlađenje u zgradama i pokriva tri različita pristupa proračuna:

- potpuno definisani kvazi-stacionarni mesečni metod proračuna (posebna opcija je sezonski metod);
- potpuno definisani uprošćeni dinamički proračun baziran na časovnim vrednostima i
- metod proračuna koji podrazumeva detaljnu dinamičku simulaciju ponašanja zgrade u termičkom smislu.

Mesečni metod daje korektne vrednosti na godišnjem nivou, ali rezultati dobijeni za pojedine mesece, naročito u prelaznim periodima (proleće, jesen) mogu imati velika relativna odstupanja. Uprošćeni časovni metod je ponuđen kako bi se proračuni dopunili časovnim rasporedima u korišćenju prostora, uređaja, osvetljenja, sistema za grejanje i hlađenje, ventilaciju, senčenja zgrade, itd. Ovaj metod daje časovne vrednosti potrebne energije za grejanje i hlađenje, ali pojedine vrednosti dobijene ovom metodom mogu imati velika relativna odstupanja. Dinamička simulacija termičkog ponašanja zgrade je svakako najbolja opcija, ali je dobijanje korektnih rezultata usko povezano sa korektno unetim ulaznim podacima za proračun. Ulazni podaci za dinamičke simulacije su brojni, pa modeliranje svakog objekta ponaosob zahteva značajno vreme i stručnost u ovoj oblasti. Ukoliko se primenjuje časovni proračun ili dinamička simulacija, neophodno je imati ulazne podatke o spoljnoj klimi lokacije na kojoj se objekat nalazi u vidu tipične meteorološke godine (TMG), u kojoj se daju časovne vrednosti uticajnih parametara na razmenu toplote sa okolinom.

Direktiva se odnosi na nove objekte, kao i na postojeće koji se rekonstruišu, izdaju ili prodaju, sa posebnim osvrtom na zgrade javne namene. Data je podela zgrada prema nameni i definisano je 8 kategorija objekata:

1. Porodične kuće sa jednom stambenom jedinicom;
2. Stambene zgrade sa više stanova;
3. Administrativne i druge poslovne zgrade sa kancelarijskim prostorom,

4. Školske i fakultetske zgrade, vrtići i druge vaspitno-obrazovne ustanove,
5. Bolnice i ostale zgrade za zdravstvenu zaštitu,
6. Hoteli i slične zgrade ugostiteljske namene,
7. Sportski centri i dvorane,
8. Zgrade veleprodaje i maloprodaje i
9. Ostale vrste zgrada koje troše energiju radi ostvarivanja određenih

uslova.

Definisanje energetske performansi podrazumeva, pre svega, definisanje potrebne energije za:


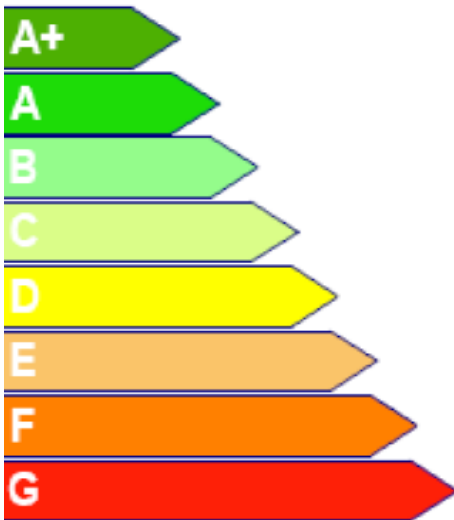

- grejanje,
- hlađenje,
- ventilaciju,
- pripremu potrošne tople vode i
- ovetljenje.

Nakon određivanja potreba objekta za energijom (na osnovu EN ISO 13790), pristupa se analizi elektro-mašinskih instalacija, odnosno tehničkih sistema koje obezbeđuju uslove komfora i ujedno predstavljaju potrošače energije. U zavisnosti od primenjenog sistema i nivoa automatske regulacije, računaju se gubici (u transformaciji energije, transportu...) svakog pojedinog sistema, kako bi se došlo do podatka o energiji koja treba da bude isporučena iz odgovarajućeg izvora. Zbog različitosti izvora snabdevanja energijom, izračunava se godišnja potrebna primarna energija, preko odgovarajućeg faktora primarne energije.

Način izražavanja energetske svojstava vrši se preko energetske sertifikata (pasoša), što preporučuju standardi EN 15217 i EN 15603, na način koji je prepoznatljiv i lako razumljiv. Izražavanje energetske svojstava se vrši preko određenih indikatora koji određuju energetski razred, ili su izraženi strelicom na skali u boji. Na slici 3.1 prikazana je prva strana energetske pasoša Republike Srbije.

Nacionalni energetski pasoš za stambene i nestambene zgrade se razlikuje, ali oba imaju pet strana na kojima se prikazuju sledeći podaci:

- Prva strana - opšti podaci i podatak o energetske razredu;
- Druga strana - podaci o klimi, termotehničkim sistemima i elementima term. omotača;
- Treća strana - energetske potrebe, primarna energija i izmerena potrošnja energije;
- Četvrta strana - predlog mera za unapređenje EE zgrade i
- Peta strana - objašnjenje korišćenih tehničkih pojmova.

	ЗГРАДА		<input type="checkbox"/> нова <input checked="" type="checkbox"/> постојећа	
	Категорија зграде		1. Зграда са једним станом 2. Зграда са више станова	
	Место, адреса:			
	Катастарска парцела:			
	Власник/инвеститор/правни заступник:			
	Извођач:			
	Година изградње:			
	Година реконструкције/енергетске санације:			
	Нето површина A_N [m ²]:			
	Енергетски пасош за стамбене зграде	Прорачун		$Q_{H,nd,rel}$ [%] 45
		≤ 15 ≤ 25 ≤ 50 ≤ 100 ≤ 150 ≤ 200 ≤ 250 > 250		
Подаци о лицу које је издало енергетски пасош				
Овашћена организација:				
Потпис овлашћеног лица и печат организације:				
_____		М.П.		
(потпис)				
Одговорни инжењер:				
Потпис и печат одговорног инжењера ЕЕ :				
_____		М.П.		
(потпис)				
Број пасоша:				
Датум издавања/рок важења:				

3.1 Izgled prve strane energetskog pasoša Republike Srbije

3.2 METODE PRORAČUNA GODIŠNJE POTREBNE TOPLOTE ZA GREJANJE

3.2.1 Metod stepen dana

Sam pojam STEPEN-DAN, koji je ključni element ove metode, predstavlja, na neki način, pokazatelj kretanja spoljne temperature vazduha u nekom mestu tokom perioda grejanja.

Ako sa q označimo potrebnu količinu toplote za grejanje pri jediničnoj temperaturskoj razlici (temperatura vazduha spolja i unutra), onda se može napisati:

$$q = \frac{Q_{GUB}}{\theta_u - \theta_{s\ p}} \text{ [W/K]}, \quad (3.1)$$

onda je potrebna količina toplote za grejanje po danima:

$$Q_1 = q \cdot (\theta_u - \theta_{s1}) \cdot 24 \text{ [Wh/dan]}$$

(3.2)

$$Q_2 = q \cdot (\theta_u - \theta_{s2}) \cdot 24 \text{ [Wh/dan]}$$

$$Q_3 = q \cdot (\theta_u - \theta_{s3}) \cdot 24 \text{ [Wh/dan]}$$

...

$$Q_n = q \cdot (\theta_u - \theta_{sn}) \cdot 24 \text{ [Wh/dan]} \quad (3.2)$$

pa je energija potrebna za ceo grejni period, odnosno celu grejnu sezonu:

$$Q_g = \sum_{n=1}^{HD} Q_n = 24 \cdot q \cdot \sum_{n=1}^{HD} (\theta_u - \theta_{sn}) \text{ [Wh/god]}, \quad (3.3)$$

gde je HD – broj dana u grejnoj sezoni (engl. **Heating Days**).

Broj STEPEN-DANA (engl. **Heating Degree Days**) je:

$$HDD = \sum_{n=1}^Z (\theta_u - \theta_{sn}), \quad (3.4)$$

pa izraz (3.3) ima oblik:

$$Q_g = \sum_{n=1}^Z Q_n = 24 \cdot q \cdot HDD \text{ [Wh/god]}, \quad (3.5)$$

Ako se uvede pojam **srednje temperature grejnog perioda** θ_g , onda se broj stepen-dana može napisati u obliku:

$$HDD = HD \cdot (\theta_u - \theta_g), \quad (3.6)$$

Ako se dodatno usvoji (što je odgovara realnim uslovima i zadatku sistema za grejanje) da je temperatura vazduha u prostoriji – unutrašnja temperatura – konstantna vrednosti, onda se može napisati:

$$HDD = HD \cdot \theta_u - \sum_{n=1}^{HD} \theta_{sn} , \quad (3.7)$$

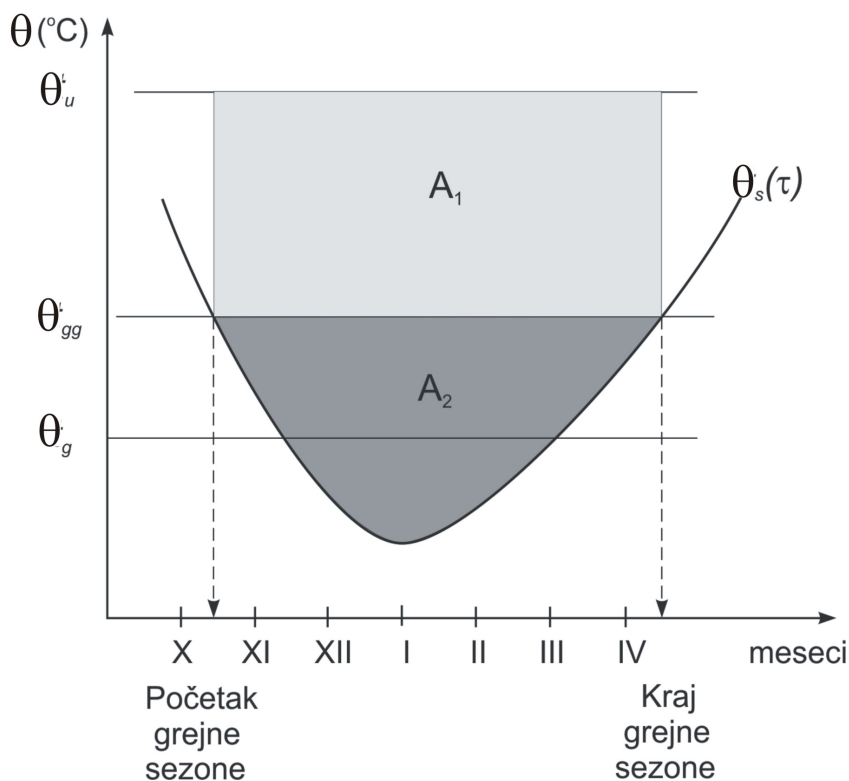
Ovde se uvodi još jedan pojam: **temperatura granice grejanje** θ_{gg} , što predstavlja temperaturu spoljnog vazduha pri kojoj počinje i pri kojoj se završava grejna sezona. Ako se ima u vidu da je grejna sezona ograničena temperaturom granice grejanja, onda se može napisati izraz za broj stepen dana u sledećem obliku:

$$HDD = HD \cdot (\theta_u - \theta_{gg}) + \sum_{n=1}^{HD} (\theta_{gg} - \theta_{sn}) , \quad (3.8)$$

Izraz (3.8) se koristi za praktično izračunavanje broja HDD, što je grafički prikazano na slici 3.2.

Kada se računa broj stepen-dana, polazi se od sledećih pretpostavki:

- srednja unutrašnja temperatura vazduha u prostorijama iznosi $\theta_u = 19^\circ\text{C}$ (u većini prostorija je unutrašnja temperatura 20°C , ali tu su i sporedne prostorije, čija je temperatura vazduha niža, pa se za prosečnu vrednost usvaja 19°C);
- temperatura granice grejanje iznosi $\theta_{gg} = 3^\circ\text{C}$.



Slika 3.2 Grafički prikaz broja stepen-dana

Ono što se razlikuje od mesta do mesta jeste:

- tok spoljne temperature vazduha $\theta_s = \theta_s(\tau)$,
- srednja temperatura grejnog perioda θ_g i
- dužina trajanja grejne sezone, odnosno broj dana u grejnoj sezoni HD .

Proračun godišnje potrošnje energije za grejanje metodom broja stepen-dana određuje se na sledeći način:

$$Q_g = \frac{24 \cdot Q_{GUB} \cdot HDD}{\theta_u - \theta_{sp}} \cdot y \cdot e \text{ [Wh/god]}, \quad (3.9)$$

gde su:

- y – korekcionni faktor jednovremenosti, koji uzima u obzir činjenicu da se svi nepovoljni uticaji (velika brzina vetra, visoka oblačnost...) ne javljaju istovremeno, a pri proračunu gubitaka toplote su uzeti u obzir (Tabela 3.2),
- e – korekcionni faktor koji uzima u obzir prekid u zagrevanju (smatra se da u toku 24 časa dolazi do prekida u zagrevanju tokom noći od oko 8 časova), tako da postoji njegov uticaj na smanjenje potrošnje energije:

$$e = e_t \cdot e_b, \quad (3.10)$$

gde je:

- e_t – faktor **temperaturskog ograničenja** (Tabela 3.3), koji uzima u obzir ograničeno zagrevanje tokom noći kada se ne troši gorivo za grejanje. Noćni prekid u zagrevanju utiče na sniženje unutrašnje temperature u odnosu na projekttnu vrednost i izražava se na sledeći način:

$$e_t = \frac{\theta_{um} - \theta_g}{\theta_u - \theta_g}, \quad (3.11)$$

gde je:

θ_{um} – snižena unutrašnja temperatura tokom noći.

Međutim, računski je jako teško odrediti θ_{um} , jer ona zavisi od više uticajnih faktora, tako da se faktor e_t određuje empirijski i usvaja se u zavisnosti od namene zgrade, odnosno dnevnog korišćenja postrojenja za grejanje u zgradi;

- e_b – faktor **eksploatacionog ograničenja**, koji uzima u obzir prekid u zagrevanju (ili ograničeno zagrevanje) tokom vikenda, praznika, raspusta ili kolektivnog odmora, i sl.

Broj stepen-dana HDD, broj dana HD i srednja temperatura θ_g za gradove u Srbiji prikazani su u tabeli 3.1. Koeficijenti jednovremenosti, temperaturskog i eksploatacionog ograničenja dati su u tabelama od 3.2 do 3.4.

Tabela 3.1 Broj stepen-dana HDD, broj dana grejne sezone HD i srednja temperatura θ_g za gradove u Srbiji

MECTO	HDD	HD	θ_g	MESTO	HDD	HD	θ_g
Aleksinac	2517	176	5,7	Leskovac	2625	181	5,5
Beograd	2520	175	5,6	Požarevac	2588	181	5,7
Bečej	2797	184	4,8	Negotin	2818	183	4,6
Bor	3100	200	4,5	Niš	2613	179	5,4
Valjevo	2784	192	5,5	Novi Sad	2679	181	5,2
Vranje	2675	182	5,3	Pančevo	273	182	5,1
Vršac	2556	180	5,8	Piroć	2610	180	5,5
G. Milanovac	3078	208	5,2	Prokuplje	2604	186	6
Divčibare	3839	243	4,2	Senta	2824	187	4,9
Zaječar	2880	192	5	Smederevo	2610	180	5,5
Zlatibor	3728	239	4,4	Sombor	2850	190	5
Zrenjanin	2748	182	4,9	Sremski Karlovci	2496	177	5,9
Jagodina	2599	178	5,4	Srem. Mitrovica	2738	185	5,2
Kikinda	2763	183	4,9	Užice	3015	201	5
Kopaonik	5349	311	2,8	Čačak	2755	190	5,5
Kragujevac	2610	180	5,5	Čuprija	2380	163	5,4
Kraljevo	2628	180	5,4	Šabac	2588	181	5,7
Kruševac	2654	183	5,5	Šid	2686	184	5,4

Tabela 3.2 Koeficijent jednovremenosti

Koeficijent y	vrednost
normalno vetroviti predeli i zaklonjen položaj	0,63
normalno vetroviti predeli i otvoren položaj	0,60
vetroviti predeli i zaklonjen položaj	0,58
vetroviti predeli i otvoren položaj	0,55

Tabela 3.3 Koeficijent temperaturskog ograničenja e_t

Vrsta zgrade	e_t
Bolnice i zgrade slične namene	1,00
Stambene zgrade sa grejanjem svih prostorija	0,95
Stambene zgrade sa noćnim ograničenjem u zagrevanju, administrativne zgrade, trgovine i sl., velikih akumulacionih sposobnosti	0,90
Administrativne zgrade sa manjom akumulacionom sposobnosti u području oštre klime	0,85
Škole sa jednom smenom nastave i velikom akumulacionom sposobnošću	0,80
Škole sa jednom smenom nastave i malom akumulacionom sposobnošću	0,75

Tabela 3.4 Koeficijent eksploatacionog ograničenja e_b

Vrsta zgrade	e_b
Stalno grejani objekti (stambene zgrade, bolnice)	1,00
Stambene zgrade sa noćnim ograničenjem u zagrevanju subotom, nedeljom i praznicima (kancelarije, administrativne zgrade, banke, trgovine i sli.)	0,90
Škole	0,75

3.2.2 Proračun metodom potpuno definisanog mesečnog modela

Godišnja potrebna toplota za grejanje, $Q_{H,nd}$ se prema SRPS EN ISO 13790:2008, za sisteme koji rade bez prekida u zagrevanju, računa po sledećoj formuli:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad [\text{kWh/a}] \quad (3.12)$$

gde su:

$Q_{H,ht}$ - Godišnja potrebna toplota za nadoknadu gubitaka toplote [kWh/a]

$\eta_{H,gn}$ - Faktor iskorišćenja dobitaka toplote za period grejanja

$Q_{H,gn}$ - Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja [kWh/a]

Specifična godišnja potrebna toplota za grejanje, $Q_{H,an}$ predstavlja količnik godišnje potrebne toplote za grejanje i korisne površine zgrade:

$$Q_{H,an} = \frac{Q_{H,nd}}{A_f} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})] \quad (3.13)$$

gde je:

A_f – korisna površina grejanog dela zgrade [m^2]

Godišnja potrebna toplota za nadoknadu gubitaka toplote obuhvata toplotu koja je potrebna za nadoknadu transmisionih i ventilacionih gubitaka toplote:

$$Q_{H,ht} = Q_T + Q_v \quad [\text{kWh/a}] \quad (3.14)$$

Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [\text{kWh/a}] \quad (3.15)$$

gde su:

Q_{int} - Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote [kWh/a]

Q_{sol} - Godišnja količina toplote od dobitaka usled Sunčevog zračenja [kWh/a]

pa se godišnja potrebna toplota za grejanje može izraziti na sledeći način:

$$Q_{H,nd} = (Q_T + Q_v) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \quad [\text{kWh/a}] \quad (3.16)$$

Godišnja potrebna toplota za nadoknadu gubitaka toplote računa kao:

$$Q_{H,ht} = (H_T + H_V) \cdot 24 \cdot HDD \cdot 10^{-3} \quad [\text{kWh/a}] \quad (3.17)$$

gde su:

H_T - Koeficijent transmisionog gubitka toplote [W/K]

H_V - Koeficijent ventilacionog gubitka toplote [W/K]

HDD - broj stepen dana za lokaciju zgrade (Tabela 3.1)

Koeficijent transmisionog gubitka toplote:

$$H_T = H_D + H_g + H_U + H_A \quad [\text{W/K}] \quad (3.18)$$

gde su:

H_D – Koeficijent transmisionog gubitka toplote za površine u dodiru sa spoljnim vazduhomu;

H_g – Koeficijent transmisionog gubitka toplote za površine u dodiru sa tlom;

H_U – Koeficijent transmisionog gubitka toplote za površine u dodiru sa negrejanim prostorom;

H_A – Koeficijent transmisionog gubitka toplote za površine u dodiru sa susednom zgradom.

Koeficijent transmisionog gubitka toplote za površine u dodiru sa spoljnim vazduhom računa se prema Proračunu transmisionih gubitaka usled toplotnih mostova prema SRPS ISO 10211:

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \psi_k + \sum_j \chi_j \quad [\text{W/K}] \quad (3.19)$$

gde su:

A_i [m²] - površina i-tog elementa omotača zgrade

U_i [W/(m²·K)] - koeficijent prolaza toplote i-tog elementa omotača zgrade

l_k [m] - dužina k-tog linijskog toplotnog mosta

ψ_k [W/m·K] - linijski koeficijent prolaza toplote k-tog linijskog toplotnog mosta

χ_j [W/K] - tačkasti koeficijent prolaza toplote j-tog tačkastog toplotnog mosta

Za proračun se može koristiti i uprošćeni metod uticaja toplotnih mostova. U tom slučaju koeficijent transmisionog gubitka toplote zgrade (ili dela zgrade), H_T [W/K], izračunava se po obrascu:

$$H_T = \sum_i (F_{xi} \cdot U_i \cdot A_i) + H_{TB} \quad (3.20)$$

Tabela 3.5 – Otpori prelazu toplote i korekcija temperature

Toplotni protok ka spoljnoj sredini, preko građevinskog elementa određenog tipa		Otpor prelazu toplote, u m ² ·K/W			Faktor korekcije temperature, F _{xi}
		R _{si}	R _{se}	R _{si} + R _{se}	
Građevinski elementi koji se graniče sa spoljnim vazduhom					
Spoljni zid					
neventilisan		0,13	0,04	0,17	1,0
ventilisan		0,13	0,13	0,26	1,0
Ravni krovovi:					
neventilisano		0,10	0,04	0,14	1,0
ventilisano		0,10	0,10	0,20	1,0
Međuspratna konstrukcija iznad otvorenog prolaza:					
neventilisano		0,17	0,04	0,21	1,0
ventilisano		0,17	0,17	0,34	1,0
Kosi krovovi:					
neventilisani		0,10	0,04	0,14	1,0
ventilisani		0,10	0,10	0,20	1,0
Toplotni protok ka spoljnoj sredini, preko građevinskog elementa određenog tipa		Otpor prelazu toplote, u m ² ·K/W			Faktor korekcije temperature, F _{xi}
		R _{si}	R _{se}	R _{si} + R _{se}	
Građevinski elementi koji se graniče sa negrejanim prostorima					
Zid ka negrejanom prostoru		0,13	0,13	0,26	0,5
Međuspratna konstrukcija ka negrejanom krovnom prostoru		0,10	0,10	0,20	0,8
Međuspratna konstrukcija iznad negrejanog prostora		0,17	0,17	0,34	0,5
Zid ka negrejanoj zimskoj bašti (stakleniku)		0,13	0,13	0,26	
Jednostruko staklo, U > 2,5 W/(m ² ·K)					0,7
Izolaciono staklo, U ≤ 2,5 W/(m ² ·K)					0,6
Poboljšano staklo, U ≤ 1,6 W/(m ² ·K)					0,5
Građevinski elementi u kontaktu sa tlom					
Zid u tlu, ili delimično ukopan		0,13	0,0	0,13	0,6
Pod na tlu		0,17	0,0	0,17	0,5
Međuspratna konstrukcija u tlu		0,10	0,0	0,10	0,6
Građevinski elementi između dva grejana prostora različite temperature					
Zid između zgrada, zid koji razdvaja prostore različitih korisnika, ili zid ka grejanom stepeništu		0,13	0,08	0,21	0,8
Međuspratna konstrukcija koja razdvaja prostor između različitih korisnika		0,10	0,08	0,18	0,8

gde su:

F_{xi} - faktor korekcije temperature za i -ti građevinski element, koji se usvaja prema Tabeli 3.5;

U_i [W/(m²·K)] - koeficijent prolaza toplote i -tog građevinskog elementa, površine A_i [m²].

Transmisioni toplotni gubitak zgrade (ili dela zgrade) usled uticaja toplotnih mostova u termičkom omotaču zgrade (ili dela zgrade), H_{TB} [W/K], iznosi:

$$H_{TB} = \Delta U_{TB} \cdot A \quad (3.21)$$

gde je A [m²] zbirna površina spoljnih građevinskih elemenata (termički omotač objekta – spoljne mere).

Usvaja se vrednost $\Delta U_{TB} = 0,10$ W/(m²·K).

Ukoliko je uticaj toplotnih mostova već uzet u obzir pri proračunu koeficijenta prolaza toplote U , građevinskog elementa, granična površina kroz koju se toplota prenosi A , kod uvažavanja uticaja toplotnog mosta može se umanjiti za površinu građevinskog elementa za koji je koeficijent prolaza toplote na taj način određen. Transmisioni toplotni gubitak usled uticaja toplotnog mosta, H_{TB} [W/K], tada iznosi:

$$H_{TB} = \Delta U_{TB} \cdot A_{cor} \quad (3.22)$$

gde je A_{cor} [m²] zbirna površina spoljnih građevinskih elemenata (spoljni omotač objekta), umanjena za površine građevinskih elemenata za koje su izračunati koeficijenti prolaza toplote sa uključenim toplotnim mostovima.

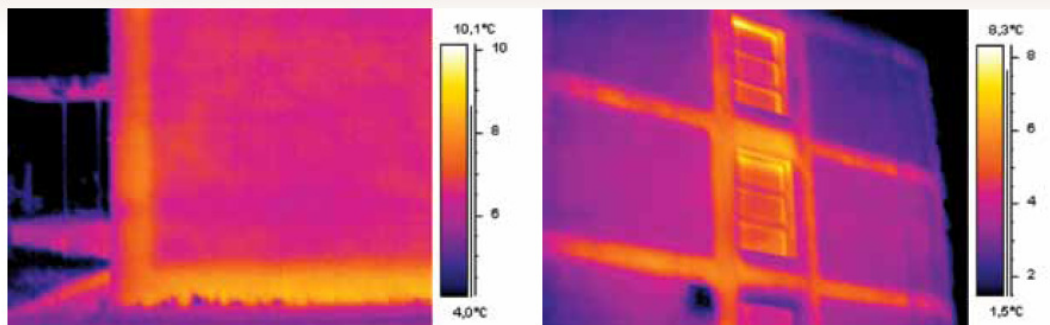
Toplotni mostovi

Toplotni most je mesto smanjenog otpora prolazu toplote u odnosu na konstrukciju u kojoj se nalazi, odnosno mesto u termičkom omotaču na kome se javlja povećani toplotni fluks. Pojava toplotnih mostova može značajno uticati na povećanje transmisionih gubitaka toplote zgrade.

U zavisnosti od toga šta prouzrokuje pojavu toplotnog mosta, razlikujemo:

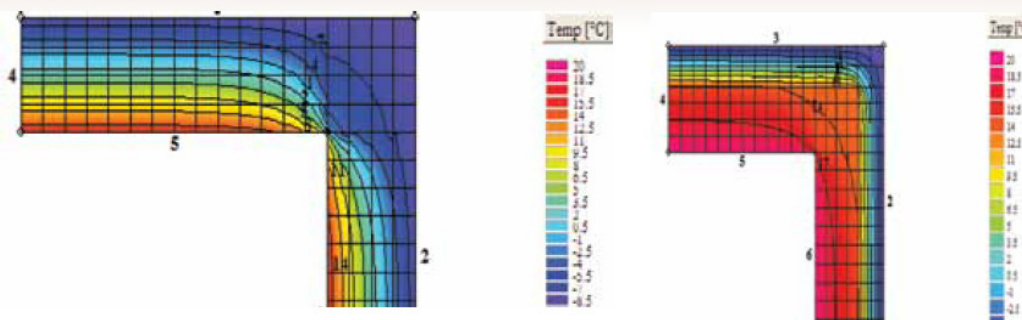
- konstruktivni toplotni most (promena vrste materijala u konstrukciji, kao na sl.3.3)
- geometrijski toplotni most (promena oblika konstrukcije, na primer uglovi, žljebovi, ispupčenja...)

Toplotni mostovi prouzrokuju povećane gubitke toplote, pojavu kondenzacije na unutrašnjoj površini spolnog zida, kao i unutar same konstrukcije. Posledice koje se javljaju zbog pojave toplotnih mostova su: oštećenja konstrukcije usled pojave vlage i buđi, mehanička oštećenja materijala zida i toplotne izolacije usled pojave smrzavanja kondenzata, narušavanje mehaničke stabilnosti konstrukcije.

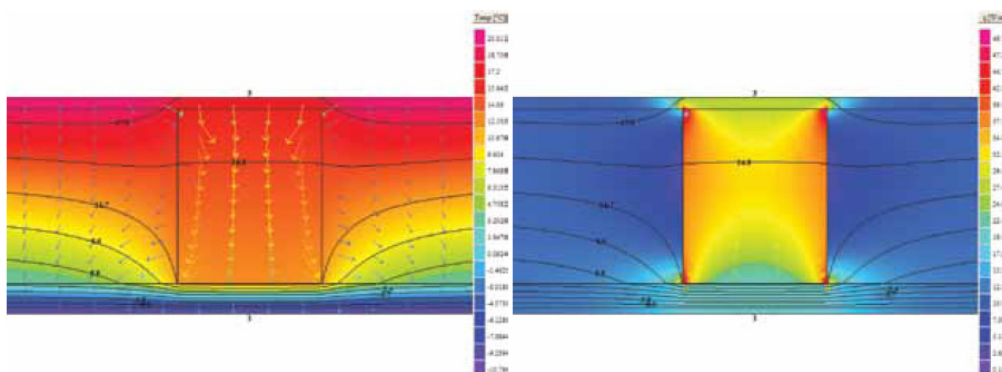


Slika 3.3 Prikaz termovizijskog snimka fasade na kome se uočava toplotni most

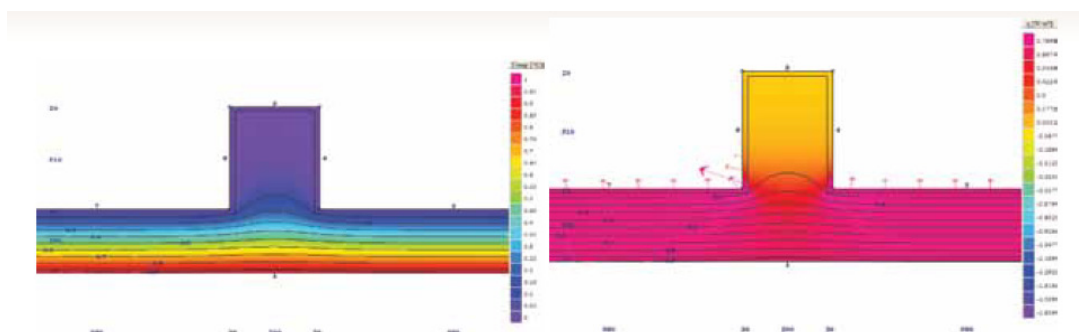
Na slikama 3.4 do 3.6 prikazani su tipični toplotni mostovi.



Slika 3.4 Geometrijski toplotni most na uglu kada nema toplotne izolacije (levo) i saniran toplotni most ugradnjom izolacije sa spoljne strane (desno)



Slika 3.5 Temperatura (levo) i toplotni fluks (desno) u preseku toplotnog mosta prouzrokovanog promenom materijala



Slika 3.6 Temperatura (levo) i toplotni fluks (desno) u preseku toplotnog mosta prouzrokovanog promenom geometrije konstrukcije (kod ispupčenja na fasadi)

Proračun toplotnih mostova moguće je izvršiti na nekoliko načina:

- paušalnim dodatkom na koeficijent transmisijonog gubitka toplote;
- pojednostavljenim metodama prema SRPS EN ISO 14683:2008 (katalog)
- detaljnim proračunom prema SRPS EN ISO 10211:2008.

Specifični transmisijoni gubitak toplote:

Srednja vrednost koeficijenta prolaza toplote za zgradu:

$$H_T' = \frac{H_T}{A_f} \text{ [W/(m}^2\text{K)]} \quad (3.23)$$

gde su:

H_T - Koeficijent transmisijonog gubitka toplote [W/K]

A_f - površina termičkog omotača zgrade [m²]

Koeficijent ventilacionog gubitka toplote:

$$H_V = \rho_a \cdot c_p \cdot \sum_i V_i \cdot n_i \text{ [W/K]} \quad (3.24)$$

gde su:

V - zapremina grejanog prostora [m³]

n - broj izmena vazduha na čas [h⁻¹]

$$\rho_a \cdot c_p = 1200 \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^3 \text{K}} \right]$$

ρ_a - gustina vazduha [kg/m³]

c_p - specifični toplotni kapacitet vazduha pri konstantnom pritisku [J/kgK]

Broj izmena vazduha na čas se određuje u zavisnosti od zaklonjenosti i klase zaptivenosti zgrade (prema SRPS EN ISO 13789) prema tabelama 3.6 i 3.7.

Tabela 3.6 Broj izmena vazduha na čas u zavisnosti od zaklonjenosti i klase zaptivenosti zgrade (prema SRPS EN ISO 13789) – Stambene zgrade sa više stanova i prirodnom ventilacijom

	Broj izmena vazduha n [h^{-1}]			Broj izmena vazduha n [h^{-1}]		
Izloženost fasade vetru	Više od jedne fasade			Samo jedna fasada		
Zaptivenost	Loša	Srednja	Dobra	Loša	Srednja	Dobra
Otvoren položaj zgrade	1,2	0,7	0,5	1,0	0,6	0,5
Umereno zaklonjen položaj	0,9	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5
Veoma zaklonjen položaj	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabela 3.7 Broj izmena vazduha na čas u zavisnosti od zaklonjenosti i klase zaptivenosti zgrade (prema SRPS EN ISO 13789) – Pojedinačne porodične kuće sa prirodnom ventilacijom

	Broj izmena vazduha n [h^{-1}]		
Zaptivenost	Loša	Srednja	Dobra
Otvoren položaj zgrade	1,5	0,8	0,5
Umereno zaklonjen položaj	1,1	0,6	0,5
Veoma zaklonjen položaj	0,76	0,5	0,5

Faktor iskorišćenja dobitaka toplote za period grejanja računa se pomoću sledeće formule:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{(a_H+1)}} \quad (3.25)$$

gde su:

γ_H - bezdimenzioni odnos toplotnog bilansa

a_H - bezdimenzioni numerički parametar koji zavisi od vrednosti vremenske konstante

Bezdimenzioni odnos toplotnog bilansa predstavlja odnos godišnje količine toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja i godišnje potrebne toplote za nadoknadu gubitaka toplote:

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (3.26)$$

Bezdimenzioni numerički parametar a_H zavisi od vrednosti vremenske konstante τ i računa se prema formuli:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (3.27)$$

gde je:

τ - vremenska konstanta [h]

i računa se kao odnos dinamičkog toplotnog kapaciteta i zbira koeficijenata transmisivnih i ventilacionih gubitaka toplote:

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_T + H_V} \quad (3.28)$$

C_m - dinamički toplotni kapacitet [J/K]

Prosečne vrednosti faktora iskorišćenja dobitaka toplote za period grejanja (za sezonski ili mesečni metod) se usvajaju prema tipu gradnje, prema sledećim preporukama:

$\eta_{H,gn} = 1,00$ - Teški tip gradnje;

$\eta_{H,gn} = 0,98$ - Srednje-teški tip gradnje;

$\eta_{H,gn} = 0,90$ - Laki tip gradnje.

Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \text{ [kWh/a]} \quad (3.29)$$

Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote predstavlja zbir dobitaka toplote od ljudi i električnih uređaja (Tabela 3.9) i računa se prema:

$$Q_{int} = A_f \cdot (q_P + q_E) \text{ [kWh/a]} \quad (3.30)$$

gde su:

A_f – korisna površina zgrade [m^2],

q_P - dobici toplote od ljudi,

q_E - dobici toplote od električnih uređaja.

Godišnja količina toplote koja potiče od dobitaka usled Sunčevog zračenja:

$$Q_{sol} = F_{sh} \cdot A_{sol} \cdot I_{sol} \cdot \tau_{sol} \text{ [kWh/a]} \quad (3.31)$$

gde su:

F_{sh} - faktor osenčenosti zgrade (iz Tabela 3.10, 3.11 i 3.3):

$$F_{sh} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin} \quad (3.32)$$

gde su F_{hor} , F_{ov} , F_{fin} korekcionni faktori za 45° SGŠ.

Za staklene spoljne površine:

$$A_{sol,gl} = g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_W, \quad (3.33)$$

gde su:

g_{gl} - faktor propustljivosti Sunčevog zračenja u zavisnosti od vrste stakla;

F_F - faktor rama;

A_W - površina prozora (građevinskog otvora)

Za spoljne zidove:

$$A_{sol,C} = \alpha_{s,C} \cdot R_{s,C} \cdot U_C \cdot A_C \quad (3.34)$$

gde su:

$\alpha_{s,C}$ - emisivnost spoljne površine zida (kratkotalasno zračenje Sunca);

$\alpha_{s,C} = 0,6$ - vrednost za svetlije boje fasade i mermer

$R_{s,C} = \frac{1}{h_e}$ - otpor prelazu toplote za spoljnu stranu zida [m^2K / W]

Srednja vrednost otpora prelazu toplote za spoljnu stranu zida:

$$R_{s,C} = \frac{1}{25} \quad [m^2 \cdot K / W]$$

$I_{sol} \cdot \tau_{sol}$ [kWh/m^2] – srednje mesečne sume zračenja, vrednosti date u tabeli 3.8.

Tabela 3.8 Srednje mesečne temperature vazduha, srednje mesečne sume zračenja i broj stepen dana za svaki mesec grejne sezone

	Mesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	θ_{ms} (°C)	0.9	3.0	7.3	12.5	17.6	20.6	22.3	17.7	12.7	7.2	2.6	5.6
Sunčevo zračenje	HOR (kWh/m ²)	42.7	60.4	103.9	133.6	170.4	181.2	192.8	170.4	127.6	88.9	45.5	33.9
	JUG (kWh/m ²)	64.2	77.0	96.4	86.7	86.3	81.4	90.3	99.4	107.4	109.2	66.5	52.8
	ISTOK, ZAPAD (kWh/m ²)	32.6	55.4	79.8	96.1	112.9	116.8	125.2	114.4	91.3	67.2	34.7	25.5
	SEVER (kWh/m ²)	17.4	22.4	36.0	44.6	55.7	56.9	58.3	52.8	38.8	29.2	17.9	14.3
	HDD	585	458	370	102	0	0	0	0	0	101	373	531

Tabela 3.9 – Ulazni podaci za proračun (prema SRPS EN ISO 13790)

Tip zgrade	1	2	3	4	5	6	7	8	9) Ostale zgrade			
Ulazni podaci	Stambena zgrada sa jednim stanom	Stambena zgrada sa više stanova	Poslovna zgrada	Zgrade namenjene obrazovanju	Bolnice	Restorani	Trgovinski centri	Sportski centri	Sale za sastanke i prezentacije	Industrijske zgrade	Skladišta	Unutrašnji bazeni
Unutrašnja projektna temperatura za zimski period (°C)	20	20	20	20	22	20	20	18	20	18	18	28
Unutrašnja projektna temperatura za letnji period (°C)	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	28
Površina po osobi (m ² /per)	60	40	20	10	30	5	10	20	5	20	100	20
Odavanje toplote po osobi (W/per)	70	70	80	70	80	100	90	100	80	100	100	60
Odavanje toplote ljudi po jedinici površine (W/m ²)	1,2	1,8	4,0	7,0	2,7	20	9,0	5,0	16	5,0	1,0	3,0
Prisutnost tokom dana - prosečno mesečno (h)	3	3	6	4	16	3	4	6	3	6	6	4
Godišnja potrošnja električne energije po jedinici površine grejanog prostora (kWh/m ²)	20	30	20	10	30	30	30	10	20	20	6	60
Protok svežeg vazduha po jedinici površine grejanog prostora (m ³ /h·m ²)	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	1,2	0,7	0,7	1,0	0,7	0,3	0,7
Protok svežeg vazduha po osobi (m ³ /h·peri)	42	28	14	7	30	6	7	14	5	14	30	14
Toplota potrebna za pripremu STV po jedinici površine grejanog prostora (kWh/m ²)	10	20	10	10	30	60	10	80	10	10	1,4	80

Tabela 3.10 - Faktor osenčenosti zgrade usled okolnih objekata

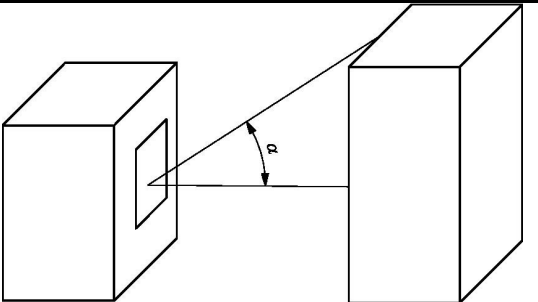
Korekcionni faktor F_{hor} za 45° SGŠ				
Ugao [°]	J	I,Z	S	
0	1,00	1,00	1,00	
10	0,97	0,95	1,00	
20	0,85	0,82	0,98	
30	0,62	0,70	0,94	
40	0,46	0,61	0,90	

Tabela 3.11 - Faktor osenčenosti zgrade usled nastrešica

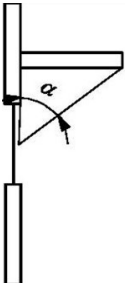
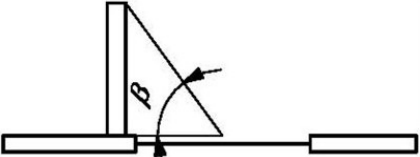
Korekcionni faktor F_{ov} za 45° SGŠ				Vertikalni presek 
Ugao [°]	J	I,Z	S	
0	1,00	1,00	1,00	
30	0,90	0,89	0,91	
45	0,74	0,76	0,80	
60	0,50	0,58	0,66	

Tabela 3.3 - Faktor osenčenosti zgrade usled vertikalnih ispusta na fasadi

Korekcionni faktor F_{fin} za 45° SGŠ				Horizontalni presek 
Ugao [°]	J	I,Z	S	
0	1,00	1,00	1,00	
30	0,94	0,92	1,00	
45	0,84	0,84	1,00	
60	0,72	0,75	1,00	

Vrednosti koeficijenta prolaza toplote prozora bez termoizolacionog stakla („staklopaketi“) usvajaju se sa vrednostima: $U_w = 3,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ (za prozore krilo na krilo); $U_w = 5,0 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ (za prozore sa jednostrukim staklom). Vrednosti koeficijenta prolaza toplote za okvire prozora date su tabelama 3.14 do 3.16.

Koeficijent prolaza toplote transparentnog građevinskog elementa (spoljna građevinska stolarija: spoljni prozori i balkonska vrata; krovni prozori), $U_w [\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}]$, određuje se proračunom, saglasno standardu SRPS EN ISO 10077-1:

$$U_w = \frac{A_g \times U_g + A_f \times U_f + l_g \times \psi_g}{A_g + A_f} \quad (3.35)$$

Tabela 3.13 – Toplotna svojstva transparentnih građevinskih elemenata - STAKLO

Tip stakla	U_g [W/(m ² ·K)]	g
jednostruko, 6 mm	5,8	0,83
2-struko, prozirno, 6-8-6 mm	3,2	0,71
2-struko, prozirno, 4-3-4 mm	3,0	0,71
2-struko, prozirno, 6-3-6 mm	2,9	0,71
2-struko, prozirno, 6-16-6 mm	2,7	0,72
3-struko, prozirno, 6-3-6-3-6 mm	1,9	0,63
2-struko, niskoemisiono, 4-3-4 mm (vazduh)	1,6	0,63
2-struko, niskoemisiono, 4-16-4 mm (vazduh)	1,5	0,61
2-struko, niskoemisiono, 4-15-4 mm (Ar)	1,3	0,61
2-struko, niskoemisiono, 4-3-4 mm (Kr)	1,1	0,62
2-struko, niskoemisiono, 4-3-4 mm (Xe)	0,9	0,62
3-struko, niskoemisiono, 4-8-4-8-4 mm (Kr)	0,7	0,48
3-struko, niskoemisiono, 4-8-4-8-4 mm (Xe)	0,5	0,48
2-struko, reflektujuće, 6-15-6 mm (Ar)	1,3	0,25 – 0,48
2-struko, reflektujuće, 6-3-4 mm (Ar)	1,4	0,27 – 0,44

Tabela 3.14 – Koeficijent prolaza toplote okvira – drveni okvir

debljina d_f mm	U_f [W/(m ² ·K)]	
	meko drvo, $\lambda = 0,13$ W/(m·K)	tvrd drvo, $\lambda = 0,18$ W/(m·K)
30	2,3	2,7
50	2,0	2,4
70	1,8	2,0
90	1,6	1,8
110	1,4	1,6

Tabela 3.15 – Koeficijent prolaza toplote okvira – PVC-okvir

Materijal	Tip okvira - profil	U_f [W/(m ² ·K)]
PVC-šuplji profili	2-komorni	2,2
	3-komorni	1,7 - 1,8
	5-komorni	1,3 - 1,5
	6-komorni	1,2 – 1,3

Tabela 3.16 – Koeficijent prolaza toplote okvira – metalni okvir

Vrsta metalnog okvira	U_f [W/(m ² ·K)]
čelični, sa termičkim prekidom	4,0
čelični, bez termičkog prekida	6,0
aluminijumski, sa termičkim prekidom	2,8 - 3,5
aluminijumski, poboljšani	1,4 – 1,5
specijalni sistemi profila za pasivne kuće	0,7 – 0,8

Faktor korekcije za toplotne mostove između stakla i okvira prozora je dat u tabeli 3.17 u zavisnosti od vrste okvira i načina spajanja.

Tabela 3.17 – Koeficijenti korekcije za toplotne mostove između okvira i stakla

	Koeficijent korekcije, ψ_g	
	2-struko i višestruko staklo, bez sloja za poboljšanje	2-struko i višestruko staklo, sa slojem za poboljšanje
Drveni i PVC –okviri	0,04	0,06
Metalni okviri, sa prekinutim toplotnim mostom	0,06	0,08
Metalni okviri, bez prekinutog toplotnog mosta	0,00	0,02

Godišnja potrebna toplota za grejanje za sisteme koji rade sa prekidom:

$$Q_{H,nd,interm} = a_{H,red} \cdot Q_{H,nd} \text{ [kWh/a]} \quad (3.36)$$

gde su:

$Q_{H,nd,interm}$ - Godišnja potrebna toplota za grejanje za sisteme koji rade sa prekidom [kWh/a]

$a_{H,red}$ - bezdimenzijski faktor redukcije u zagrevanju;

Bezdimenzijski faktor redukcije u zagrevanju računa se kao:

$$a_{H,red} = 1 - 3 \left(\frac{\tau_{H,0}}{\tau} \right) \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}) \quad (3.37)$$

gde je:

$f_{H,hr}$ - odnos broja sati rada sistema za grejanje u toku nedelje prema ukupnom broju sati u nedelji ,

γ_H - bezdimenzioni odnos toplotnog bilansa i računa se po formuli (3.26),

$\tau_{H,0}, \tau$ - vremenske konstante [h].

Odnos vremenskih konstanti za(za sezonski ili mesečni metod) se usvajaju prema tipu gradnje, prema sledećim preporukama:

$(\tau_{H,0} / \tau) = 0.4$ - za teški tip gradnje;

$(\tau_{H,0} / \tau) = 0.33$ - za srednje-teški tip gradnje i

$(\tau_{H,0} / \tau) = 0.2$ - za laki tip gradnje.

Faktor redukcije u zagrevanju u zavisnosti od vrste i dužine prekida, kao i od tipa gradnje.

3.3 PRORAČUN UKUPNE GODIŠNJE POTREBNE TOPLOTE

Ukupna godišnja potrebna toplota obuhvata finalnu toplotnu energiju potrebnu grejanje tokom zimske sezone, kao i toplotnu energiju za pripremu sanitarne tople vode. S obzirom da od izvora toplote pa do krajnjeg korisnika postoje gubici koji se javljaju u sistemu, neophodno je i njih uzeti u obzir.

Metodologija proračuna data je tabelom 3.18.

3.3.1 Potrebna godišnja energija za pripremu STV

Tabela 3.18 – Metodologija za određivanje ukupne godišnje potrebne toplote:

Veličina	Način proračuna	Primenjeni gran. uslovi
Godišnja potrebna toplota za pripremu sanitarne tople vode, Q_W [kWh/a]	$Q_W = \rho_W \cdot c_W \cdot V_W \cdot (\theta_W - \theta_o)$ V_W - godišnja potrošnja vode [m ³ /a] θ_W - temperatura vode u rezervoaru [°C] θ_o - temperatura vode iz vodovoda [°C]	Prema SRPS EN 15316-3-1 $\rho_W \cdot c_W = 1,16$ [kWh/(m ³ K)]
Godišnji toplotni gubici sistema za grejanje, $Q_{H,ls}$ [kWh/a]	$Q_{H,ls} = Q_{H,em,ls} + Q_{H,dis,ls} + Q_{H,st,ls} + Q_{H,gen,ls}$, $Q_{H,em,ls}$ - gubici toplote pri razmeni u prostoru prema 15316-2-1 [kWh/a], $Q_{H,dis,ls}$ - gubici toplote u cevnoj mreži prema 15316-2-3 [kWh/a], $Q_{H,st,ls}$ - gubici toplote pri skladištenju u rezervoaru prema 15316-3-3 [kWh/a], $Q_{H,gen,ls}$ - gubici toplote pri proizvodnji prema 15316-4-1 [kWh/a].	Prema SRPS EN 15316
Godišnji toplotni gubici sistema za pripremu sanitarne tople vode, $Q_{W,ls}$ [kWh/a]	$Q_{W,ls} = Q_{W,dis,ls} + Q_{W,st,ls} + Q_{W,gen,ls}$ $Q_{W,dis,ls}$ - gubici toplote u cevnoj mreži razvoda tople vode prema 15316-3-2 [kWh/a], $Q_{W,st,ls}$ - gubici toplote pri skladištenju u rezervoaru prema 15316-3-3 [kWh/a], $Q_{W,gen,ls}$ - gubici toplote pri proizvodnji ili pripremi tople vode prema 15316-3-3 [kWh/a].	Prema SRPS EN 15316
Godišnja potrebna toplota Q_H [kWh/a]	$Q_H = Q_{H,nd} + Q_W + Q_{H,ls} + Q_{W,ls}$	Prema SRPS EN 15316

Gubici koji se javljaju u sistemu grejanja potiču usled proizvodnje (transformacije hemijske energije goriva u toplotu i toplotnih gubitaka kotla u

okolinu), prilikom distribucije (toplotnih gubitaka u okolinu prilikom transpotra grejnog fluida od izvora do grejnih tela), prilikom skladištenja (toplotni gubici u okolinu od rezervoara za skladištenje tople vode) i usled gubitaka u razmini toplote u samom grejanom prostoru (koji su vezani za sistem regulacije rada grejnog sistema). Prema tome, ukupni stepen korisnosti postrojenja za grejanje obuhvata stepen korisnosti kotla, cevne mreže i sistema automatske regulacije:

$$\eta = \eta_k \cdot \eta_c \cdot \eta_r [-], \text{ čime su obuhvaćeni gubici sistema za grejanje } Q_{H,ls}.$$

Tabela 3.19 – Stepent korisnosti postrojenja za grejanje

1. Kotlovi		
Čvrsto gorivo	Kotlovi bez regulacije	0,65
	Kotlovi do 50 kW sa ručnom regulacijom	0,68
	Kotlovi preko 50 kW sa dobrom ručnom regulacijom	0,72
	Kotlovi do 175 kW sa mehaničkom regulacijom	0,75
	Kotlovi preko 175 kW sa dobrom mehaničkom regulacijom	0,83
Tečno gorivo	Kotlovi do 50 kW sa ručnom regulacijom	0,81 – 0,83
	Kotlovi preko 50 kW sa automatskom regulacijom	0,83 – 0,87
Gasovito gorivo	Kotlovi do 100 kW sa prirodnom promajom	0,80 – 0,88
	Kotlovi preko 100 kW sa prinudnom promajom	0,88 – 0,94
	Kondenzacioni kotlovi	1,08
2. Cevna mreža		
Neizolovana cevna mreža unutar termičkog omotača zgrade		0,95
Izolovana cevna mreža u delu negrejanog prostora zgrade		0,98
Predizolovane cevi toplovodne mreže daljinskog grejanja		0,88 – 0,92
3. Sistem regulacije		
Način regulacije	sa podelom na zone	bez podele na zone
Automatska centralna i lokalna regulacija	1,0	0,95
Automatksa centralna regulacija	0,95	0,92
Ručna centralna regulacija	0,92	0,90

Izolacija cevovoda

Zadatak izolacije je da se gubici toplote svedu na minimalne vrednosti ili da se iz drugih razloga ograniči površinska temperatura cevi. Ugrađuje se na kotlovima, rezervoarima tople vode, cevovodima, armaturi, razmenjivačima toplote i uređajima smeštenim u negrejanim prostorima.

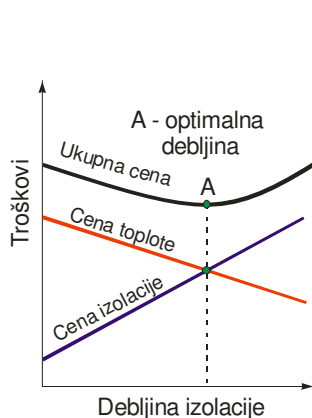
Dimenzionisanje debljine izolacije može biti izvršeno po različitim kriterijimima:

- da se ostvari ekonomski optimalno snabdevanje toplotom (ulaganja u izolaciju trebaju biti opravdana uštedom na toploti u toku vremenu rada postrojenja),

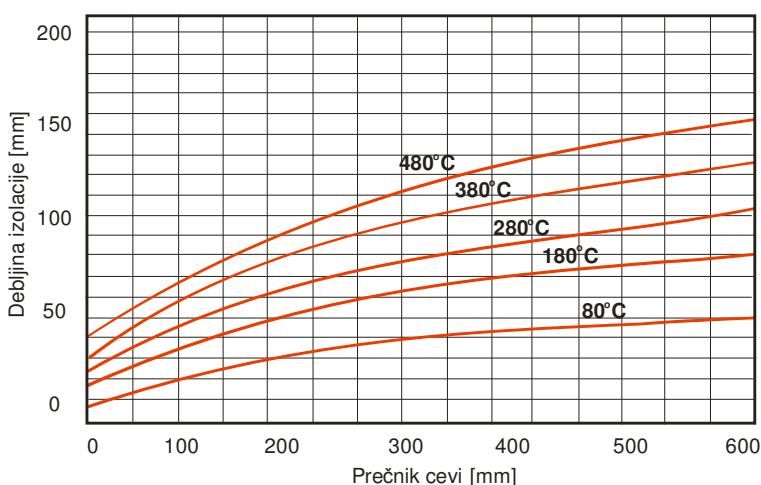
- da se osigura promena temperature grejnog fluida u odgovarajućim granicama,
- da se ograniči uticaj na okolinu (npr. ograničeno zračenje, ograničena površinska temperatura - dodir).

Optimalna debljina izolacije

Rast cena energije nameće potrebu da se vodi računa o ekonomičnosti. S povećanjem debljine izolacije rastu i troškovi izvođenja, a troškovi usled gubitaka toplote se smanjuju (slika 3.7). Najekonomičnija debljina izolacije je ona kod koje je suma za obe vrste troškova najniža. Optimalna debljina zavisi od cene energije, ali i od cene izolacionog materijala sa ugradnjom. Problem kod izbora može predstavljati činjenica da optimalnu debljinu izolacije treba odrediti za duži vremenski period nakon ugradnje, uz nepoznate tržišne uslove u budućnosti. Često se u različitim priručnicima, katalozima i sl. pronalaze podaci takve vrste. Jedan primer prikazan je na slici 3.8.



Slika 3.7 Optimalna izolacija u funkciji ukupne cene



3.8 Optimalna izolacija u zavisnosti od nazivnog prečnika cevi i temperature fluida koji se transportuje

U tabeli 3.20 prikazane su ekonomski opravdane debljine izolacije za cevi nazovnog prečnika do DN 40, koje važe za današnje cene energije i izolacije.

U tabeli 3.21 prikazana je potrebna debljina termičke izolacije cevovoda i rezervoara koji se koriste u centralnim sistemima grejanja i sistemima za pripremu sanitarne tople vode.

Tabela 3.20 - Ekonomski opravdane debljine izolacije za različite tipove cevi

Navojne čelične cevi	-	-	DN 10	DN 15	DN 20	-	DN 25	DN 32	-	DN 40	
Šavne čelične cevi	-	-	-	-	-	DN 25	-	DN 32	-	DN 40	
Bakrene cevi*	3	15	18	22	-	28	35	-	44	-	
POTREBNA DEBLJINA IZOLACIJE CEVI u [mm]											
Toplotna provodljivost λ [W/mK]	0.025	10	11	11	11	3	17	18	18	23	24
	0.030	15	15	15	15	15	23	23	24	31	31
	0.035	20	20	20	20	20	30	30	30	40	40
	0.040	27	27	26	26	25	38	38	38	51	50
	0.045	36	35	34	33	30	49	47	47	63	69
	0.050	48	45	43	41	39	61	59	57	78	77

* Spoljni prečnik cevi

Tabela 3.21 Potrebna minimalna debljina termičke izolacije cevovoda i rezervoara

Spoljašnji prečnik [mm]	30 - 83	89 - 159	191 - 267	292 - 394	219 – 521 rezervoari
Debljina izolacije [mm]	40	50	60	70	80

3.4 POTREBNA GODIŠNJA ENERGIJE ZA HLAĐENJE I VENTILACIJU

Ukupna godišnja potrebna energija za hlađenje obuhvata potrebnu finalnu energiju uvećanu za gubitke koji nastaju u sistemu. Toplota hlađenja koju je potrebno odvesti iz prostorija odgovara količini toplote koja u letnjem periodu opterećuje prostor usled dobitaka toplote koji potiču iz različitih izvora (unutrašnjih i spoljnih). Rashladni učinak postrojenja se određuje na osnovu maksimalnog toplotnog opterećenja u projektnim uslovima (kao što se grejni učinak postrojenja za grejanje određuje na osnovu gubitka toplote u zimskim uslovima).

Kod klimatizacionih sistema koji rade sa svežim vazduhom potrebnim za ventilaciju, odvaja se ona količina toplote koja je potrebna za pripremu spolnog vazduha (bilo da je reč o zagrevanju vazduha u zimskom ili o hlađenju u letnjem periodu. Kod ventilacionih sistema, putem kojih se mehanički ubacuje vazduh u prostorije, potrebno je izračunati potrebnu energiju za pripremu svežeg vazduha. Kod ventilacionih sistema kojima se vazduh samo izvlači iz prostorija (tako da se one nalaze u podpritisku), računa se uticaj rada mehaničkog sistema ventilacije na povećanu infiltraciju spoljašnjeg vazduha.

Iz navedenih razloga, metodologija proračuna potrebne energije za hlađenje i potrebne energije za ventilaciju i klimatizaciju tretirana je različitim standardima, što je prikazano u tabeli 3.22.

Tabela 3.22 Metodologija proračuna godišnje potrebne energije za hlađenje, ventilaciju i klimatizaciju

Veličina	Način proračuna	Primenjeni gran. uslovi
1	2	3
Godišnja potrebna energija za hlađenje, $Q_{C,nd}$ [kWh/a]	$Q_{C,nd} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_T + Q_V)$, Specifična vrednost: $Q_{C,an} = \frac{Q_{C,nd}}{A_f}$ [kWh/(m ² a)], $\eta_{C,ls}$ - faktor iskorišćenja gubitaka toplote [-] A_f – korisna površina zgrade [m ²]	Prema SRPS EN ISO 13790
Godišnji gubici sistema za hlađenje $Q_{C,ls}$ [kWh/a]	Prema SRPS EN 15243	Prema SRPS EN 15243
Godišnja potrebna energija za hlađenje, Q_C [kWh/a]	$Q_C = Q_{C,nd} + Q_{C,ls}$	
Godišnja potrebna energija za ventilaciju i klimatizaciju, Q_{Ve} [kWh/a]	Prema: SRPS EN 15243, SRPS EN 15241, SRPS EN ISO 13790	Prema: SRPS EN 15243, SRPS EN 15241, SRPS EN ISO 13790
Godišnja energija za osvetljenje, E_l [kWh/a]	Prema: SRPS EN 15193	Prema: SRPS EN 15193

3.5 ISPORUČENA I PRIMARNA ENERGIJA, GODIŠNJA EMISIJA CO₂

Ukupna godišnja isporučena energija računa se kao zbir energija potrebnih za grejanje i pripremu sanitarne tople vode, za hlađenje, za ventilaciju i klimatizaciju, za grejanje, za osvetljenje i za rad pomoćnih sistema (kao što su pumpe i ventilatori sistema grejanja i klimatizacije):

$$E_{del} = Q_H + Q_C + Q_{Ve} + E_l + Q_{aux} \text{ [kWh/a]}. \quad (3.38)$$

Važno je napomenuti da nije moguće sabiranje potrebnih energija različitog oblika, kao na primer toplotne energije i električne energije, tako da prethodno navedena jednačina ima figurativni karakter. Sabiranje je moguće tek kada se svi vidovi energije svedu na primarnu energiju, uz poznavanje iz kog izvora je dobijena finalna energija i kakvi su gubici nastali prilikom transformacije i distribucije.

Za konverziju finalne energije u primarnu se koriste faktori pretvaranja za pojedine izvore toplote koji se koriste u sistemima grejanja, koji su prikazani u tabeli 3.27.

Tabela 3.23 Faktori pretvaranja za proračunavanje godišnje primarne energije za pojedine vrste izvora toplote

ENERGENT	FAKTOR PRETVARANJA
Ulje za loženje	1,2
Gas	1,1
Ugalj	1,3
Drvena biomasa	0,1
Električna energija	2,5
Daljinsko grejanje na fosilna goriva	1,8
Daljinsko grejanje kogeneracijom	1,0

Godišnja primarna energija za funkcionisanje zgrade određuje se tako što se godišnja isporučena energija za rad sistema u zgradi pomnoži sa faktorom pretvaranja određenim u tabeli 3.23, u zavisnosti od izvora snabdevanja energijom. Specifične emisije CO₂ prikazane su u tabeli 3.24.

Tabela 3.24 – Specifične emisije CO₂ za pojedine vrste energenata

Energent	Po jedinici goriva	Po jedinici energije
zemni gas	1,9 kg/m ³	0,20 kg/kWh
tečni naftni gas	2,9 kg/kg	0,215 kg/kWh
ekstra lako ulje za loženje	2,6 kg/l	0,265 kg/kWh
lako ulje za loženje	3,2 kg/kg	0,28 kg/kWh
daljinska toplota	0,33 kg/kWh	0,33 kg/kWh*
električna energija	0,53 kg/kWh	0,53 kg/kWh
smeđi ugalj (domaći)	1,5 kg/kg	0,32 kg/kWh
smeđi ugalj (strani)	1,88 kg/kg	0,40 kg/kWh
lignit (domaći)	1,0 kg/kg	0,33 kg/kWh

***Napomena:** Podaci se koriste u slučaju kada isporučilac energenta ne navede emisiju za svoj izvor energenata, odnosno energije.

Proračun emisije CO₂ i pokazatelji:

- 1) Emisije CO₂, koje nastanu tokom funkcionisanja objekta, određuju se na osnovu podataka specifične emisije CO₂ za pojedine izvore energije, tako što se godišnja potrebna primarna energija za funkcionisanje objekta, prema određenom izvoru energije, pomnoži pripadajućim podatkom specifične emisije CO₂, koji je dat u tabeli 6.13 ovog pravilnika i vrednosti saberu.
- 2) Pokazatelji emisije CO₂ izražavaju se u obliku godišnjih emisija CO₂ [kg/a] i specifičnih godišnjih emisija na jedinicu površine CO₂ [kg/m²a].

3.6 PRIMERI

3.6.1. Porebna toplota za grejanje - primeri proračuna na pilot objektu

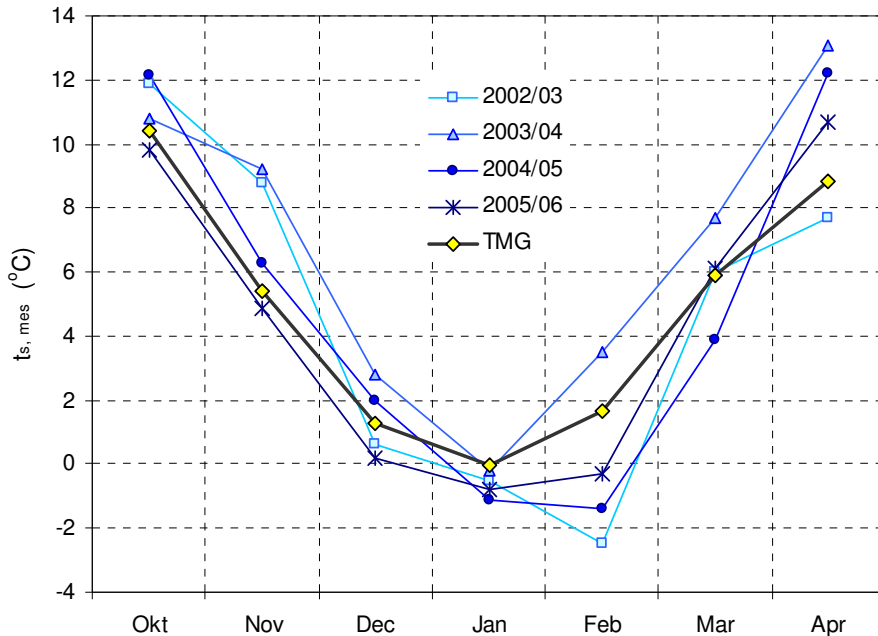
Merenja potrošnje toplote za grejanje u zgradi koja se nalazi na Novom Beogradu započela su sa grejnom sezonom 2002/03, nakon rekonstrukcije toplotne podstanice. Saradnja sa JKP "Beogradske elektrane" i Mašinskog fakulteta u Beogradu podržana je od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije kroz dvogodišnji istraživački projekat. Zatim je usledio novi projekat u okviru Nacionalnog Programa Energetske Efikasnosti u oblasti zgradarstva, a merenja su nastavljena na istom pilot objektu. Podstanica je rekonstruisana u potpunosti uz ugradnju cirkulacionih pumpi sa promenljivim brojem obrtaja koje rade sa promenljivim protokom grejnog fluida i ugrađeno je merilo urošene toplote. Sva grejna tela kućne instalacije opremljena su radijatorskim ventilima sa termostatskim glavama i deliteljima toplote. Na taj način je omogućena lokalna regulacija toplotnog učinka, kao i praćenje potrošnje toplote za grejanje na svakom grejnom telu, odnosno u svakom stanu. Stambena zgrada je blokovskog tipa gradnje, iz 80-tih godina prošlog veka, sastoji se iz 5 lamela (sa zasebnim ulazima), spratnosti P+5+Pot, sa 135 stambenih jedinica i ukupne korisne površine stambenog prostora od 6653 m².

Srednje mesečne temperature su prikazane na slici 3.9, i dato je poređenje sa vrednostima dobijenim iz TMG.

Jasno se može uočiti da je model godina dobar reprezent vremenskih prilika tokom zime u Beogradu. Najveća odstupanja javljaju se tokom februara, što se takođe odrazilo na proračunsku vrednost potrebne toplote za grejanje.

Proračun porebne toplote za grejanje sproveden je uz korišćenje 3 različite metode:

1. Metod stepen-dana,
2. Mesečni metod prema EN ISO 13790 i
3. Časovni metod prema EN ISO 13790.

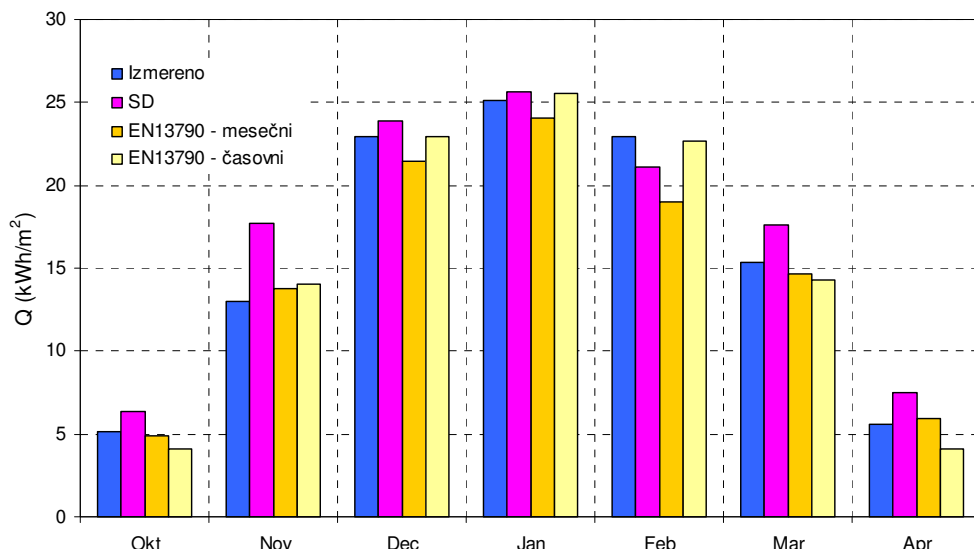


Slika 3.9 Srednje mesečne temperature spoljnog vazduha tokom 4 grejne sezone u poređenju sa srednjim mesečnim temperaturama prema TMG

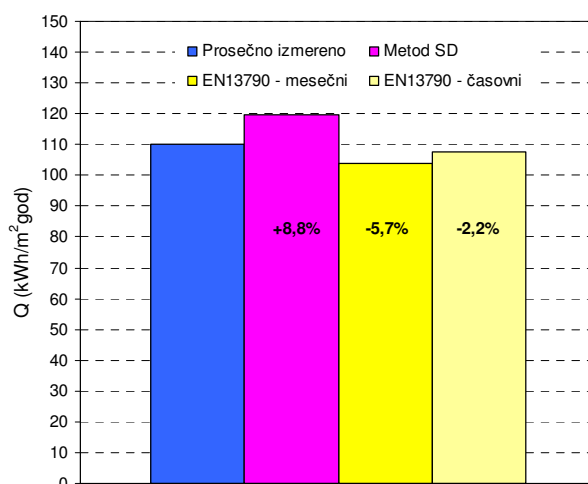
Na slikama 3.10 i 3.11 date su uporedno vrednosti potrebne toplote za grejanje dobijene merenjem i putem 3 različite metode. Metod stepen-dana daje najveće vrednosti, što se i moglo očekivati, s obzirom da ovaj metod ne uzima u obzir dobitke toplote koji doprinose smanjenju toplotnih gubitaka i potrebe za grejanjem. Najveća odstupanja se javljaju u prelaznom periodu, kada je uticaj toplotnih dobitaka veći.

Odstupanja koja se dobijaju primenom mesečne i časovne metode prema EN ISO 13790 manja su u odnosu na metod broja stepen-dana. Ipak, primenom ovih metoda dobijaju se niže vrednosti od izmerenih, što je posledica sledećih uticaja:

- Proračunske vrednosti su dobijene korišćenjem klimatskih podataka iz TMG,
- Dnevni rasporedi korišćenja prostora i dobitaka toplote od unutrašnjih izvora usvojeni su za tipičnu stambenu zgradu,
- proračunske vrednosti su dobijene za unutrašnju projektnu temperaturu od 20°C, dok su izmerene temperature vazduha u pojedinim stanovima tokom grejnih sezona iznosile iznad 22°C.



Slika 3.10 Prosečno izmerena vrednost mesečne potrošnje toplote za grejanje u poređenju sa izračunatim vrednostima prema različitim metodama



Slika 3.11 Prosečno izmerena vrednost potrošnje toplote za grejanje na godišnjem nivou u poređenju sa računskim vrednostima

Kada je u pitanju proračun potrebne količine toplote za grejanje, uprošćene metode mogu dati zadovoljavajuće rezultate na godišnjem nivou, sa određenim odstupanjima tokom grejne sezone. Prilikom unosa ulaznih podataka mora se voditi računa o izboru onih vrednosti koje se preporučuju i koje se uzimaju iz tablica za određeni tip objekta. Izbor klimatskih podataka je takođe važan i mora biti ažuriran i u skladu sa lokacijom na kojoj se objekat nalazi. Dinamika promene spoljnih uslova, koji diktiraju potrebu za grejanjem, nije izražena za razliku od letnjeg perioda.

Najveća odstupanja proračunskih vrednosti za grejnu sezonu dobijaju se upravo u prelaznim periodima. Tokom leta, uticaj Sunčevog zračenja je got

$$\left(\frac{\tau_{H,0}}{\tau}\right) = 0.2 - \text{za laki tip gradnje,}$$

$$CO_2 = \frac{4234}{494} = 8.57 \text{ kg/m}^2\text{a.}$$

4 ENERGETSKI PREGLED I ELABORAT ENERGETSKE EFIKASNOSTI

4.2 ELABORAT ENERGETSKE EFIKASNOSTI ZGRADE

Elaborat energetske efikasnosti je definisan Pravilnikom o energetske efikasnosti zgrada (Sl. Glasnik 061/2011 od 19.08.2011) članovima 17 do 23.

Utvrđivanje ispunjenosti uslova energetske efikasnosti zgrade vrši se izradom elaborata energetske efikasnosti, koji je sastavni deo tehničke dokumentacije, koja se prilaže uz zahtev za izdavanje građevinske dozvole ili uz zahtev za izdavanje rešenja, kojim se odobrava izvođenje radova na adaptaciji ili sanaciji objekta, kao i energetske sanaciji.

Metodologija za proračun energetske karakteristika zgrade daje način proračuna sle

Dozvoljena je ugradnja samo građevinskih materijala, elemenata i sistema, mašinske i elektro opreme i uređaja dokazanog kvaliteta, ispitanog i potvrđenog u akreditovanoj ispitnoj laboratoriji, u skladu sa važećim tehničkim propisima.

Elaborat energetske efikasnosti obavezno sadrži:

1. podatke navedene u članu 22 Pravilnika,
2. tehnički opis koji sadrži spisak primenjenih tehničkih mera i rešenja u projektu prema kriterijumima ovog pravilnika i to:
 - a. funkcionalnih i geometrijskih karakteristika zgrade;
 - b. primenjenih materijala;
 - c. ugrađenih sistema;
 - d. vrsta izvora energije za grejanje, hlađenje i ventilaciju
 - e. termotehničkih instalacija,
 - f. sistema rasvete,

5 FINANSIJSKA ANALIZA PRIMENE MERA UNAPREĐENJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI

5.1 OCENA RENTABILNOSTI PROJEKTA

Primenom različitih mera moguće je poboljšati energetska efikasnost, pri čemu treba voditi računa o finansijskim efektima primenjenih mera. Svaka zgrada, bilo nova ili postojeća, može se dovesti na nivo koji je blizak "nultoj" potrošnji, ali su često investiciona ulaganja visoka i nisu ekonomski isplativija. Zato je potreban sistematičan pristup prilikom izbora mera koje će dovesti do smanjenja potrošnje energije u zgradi na godišnjem nivou, a sa druge strane biti isplativije i imati "razuman" period povraćaja investicije.

Mere koje se primenjuju za poboljšanje energetske efikasnosti u zgradama mogu se podeliti u tri osnovne grupe (slika 5.1):

1. **Mere poboljšanja karakteristika same zgrade** kroz smanjenje potreba za grejanjem u zimskom i hlađenja u letnjem periodu (termička izolovanosti i zaptivenost, zaštita od Sunčevog zračenja leti);
2. **Mere unapređenja termotehničkih instalacija** kroz primenu opreme i uređaja sa visokim stepenom korisnosti, korišćenje otpadne toplote i obnovljivih izvora energije (bolje iskorišćenje primarne energije);
3. **Mere optimizacije eksploatacije tehničkih sistema** kroz uvođenje automatskog upravljanja rada instalacija grejanja, hlađenja, ventilacije i veštačkog osvetljenja (termički parametri sred

- II grupa: izolacija toplovoda i dela cevne i kanalske mreže (rezultat: smanjenje gubitaka u distribuciji toplote i potrebne primarne energije)
- III grupa: zamena izvora / energenta (rezultat: povećanje ukupnog stepena korisnosti postrojenja)
- IV grupa: centralna regulacija sistema grejanja - kvalitativna regulacija prema spoljnoj temperaturi (rezultat: smanjenje pregrevanja prostorija - 1°C viša temperatura unutrašnjeg vazduha dovodi do povećanja potrošnje toplote za cca. 6%)
- V grupa: lokalna regulacija - termostatski ventili i cirkulacione pumpe sa promenljivim brojem obrtaja (kod zgrada sa više zona i različitog režima korišćenja)
- VI grupa: uvođenje CSNU sistema (kod zgrada sa složenim termotehničkim sistemima: grejanje, ventilacija, STV, klimatizacija; mogućnost povezivanja ostalih servisa: osvetljenje

FV_n – buduća vrednost novca posle n-godina,
n – broj godina,
p – referentna stopa prinosa ili kamatna stopa.

Sadašnja vrednosti novca ostvaruje se u budućim godinama, dobija se diskontovanjem odnosno svođenjem na sadašnji trenutak.

Diskontovanje je umanjenje vrednosti očekivanog budućeg novca, za prihod (npr. kamatu), koji je propušten u svakoj godini čekanja da se priliv novca ostvari. Diskontna stopa zavisi od načina finansiranja projekta.

Diskontna stopa kada se projekat u potpunosti finansira iz kredita:

diskontovanje projektovanih budućih prihoda projekta. Dinamički period povraćaja investicije računa se kao:

$$POP = \frac{\ln(1 - d \cdot PBP)}{\ln(1 + d)}, \quad (5.7)$$

gde je:

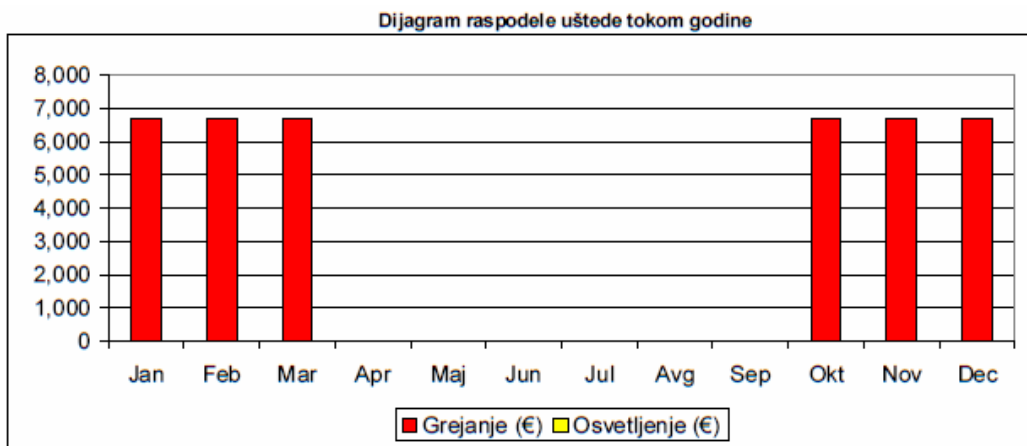
d – realna diskontna stopa.

Neto sadašnja vrednost dobija se kada se od sadašnje vrednosti prihoda projekta oduzme sadašnja vrednost ukupnih investicionih troškova projekta:

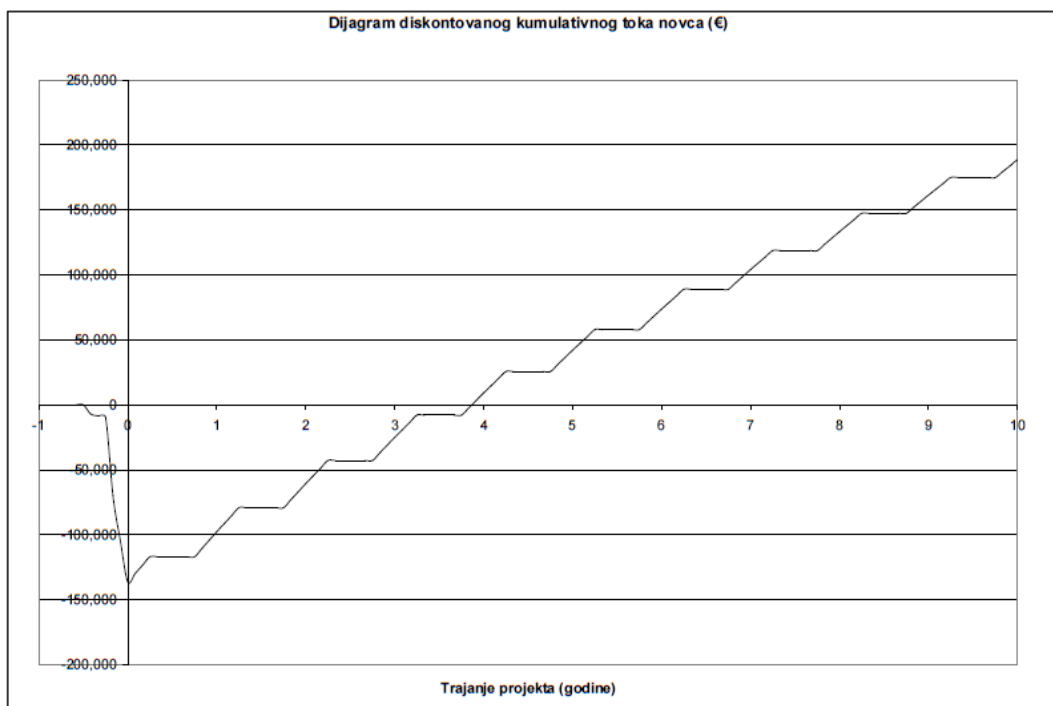
$$NPV = \frac{B_0}{(1+d)^0} + \$$

ulaganja sredstava. Kriterijum IRR favorizuje projekte koji zahtevaju manje investicije i rezultiraju manjim prihodima u apsolutnom iznosu.

Odlučivanje o finansiranju projekta vrši se na osnovu finansijskih pokazatelje, najčešće uvidom u vrednost koeficijenta neto sadašnje vrednosti i interne stope rentabilnosti. Ako projekat ima visoku stopu finansijske rentabilnosti, odluka o finansiranju projekta se može doneti na osnovu finansijske analize projekta. Ako projekat ima nisku/negativnu stopu finansijske rentabilnosti, odluka o finansiranju projekta se donosi, tek na osnovu ekonomske analize projekta. Obe analize su sastavni deo „*Cost-benefit*“ analize projekta unapređenja energetske efikasnosti. Ova analiza odnosi se na ukupne društveno-ekonomske tro



Slika 5.2 Uštede u novcu tokom kalendarske godine koje se ostvaruju kao rezultat energetske sanacije sistema grejanja



Slika 5.3 Dijagram diskontovanog kumulativnog toka novca

Analiza osetljivosti se sprovodi radi procene uticaja:

1. Promene cena energije
2. Promene projektovane inflacije
3. Ekonomskog životnog veka projekta (kvalitet opreme)
4. Veličine investicija (uspešnost tendera)

na finansijske parametre projekta: **NPV, NPV_c, PBP, POP, IRR.**

5.3 PRIMERI PRIMENE MERA UNAPREĐENJA ENERGETSKE

5.3.1 Unapređenje sistema grejanja

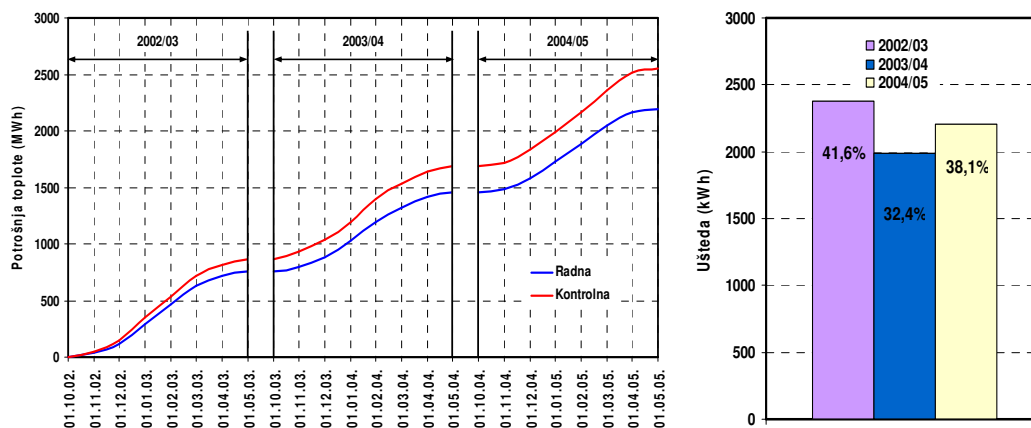
Merenja potrošnje toplote za grejanje u zgradi koja se nalazi na Novom Beogradu (slika 5.4) i koja je povezana na sistem daljinskog grejanja, započela su sa grejnom sezonom 2002/03, nakon rekonstrukcije toplotne podstanice. Podstanica je rekonstruisana u potpunosti uz ugradnju cirkulacionih pumpi sa promenljivim brojem obrtaja koje rade sa promenljivim protokom grejnog fluida i ugrađeno je merilo urošene toplote. Sva grejna tela kućne instalacije opremljena su radijatorskim ventilima sa termostatskim glavama i deliteljima toplote. Na taj način je omogućena lokalna regulacija toplotnog učinka, kao i praćenje potrošnje toplote za grejanje na svakom grejnom telu, odnosno u svakom stanu. Stambena zgrada je blokovskog tipa gradnje, iz 80-tih godina prošlog veka, sastoji se iz 5 lamela (sa zasebnim ulazima), spratnosti P+5+Pot, sa 135 stambenih jedinica i ukupne korisne površine stambenog prostora od 6580 m².

Izmerena potrošnja toplote za grejanje u reprezentativnoj zgradi, koja je tokom projekta nazvana „radna“ poređena je sa potrošnjom u zgradi bliznakinji, u kojoj nije vršena nikakva rekonstrukcija, osim ugradnje merila utrošene toplote („kontrolna“ zgrada), i na taj način je omogućeno praćenje ušteda koje su postignute rekonstrukcijom grejnog sistema.



Slika 5.4 Reprezentativna zgrada na Novom Beogradu na kojoj su vršena merenja

Prosečna godišnja ostvarena ušteda u potrošnji energije se kreće na nivou od 10%. Na dijagramu prikazanom na slici 5.5 levo vidi se uporedna kumulativna potrošnja toplote radne i kontrolne zgrade. Ušteda električne energije za pogon cirkulacionih pumpi sa promenljivim brojem obrtaja je značajna i iznosi oko 2 MWh na godišnjem nivou odnosno oko 40% (slika 5.5.desno).



Slika 5.5 Kumulativna potrošnja toplote za grejanje u radnoj i kontrolnoj zgradi tokom 3 grejne sezone (levo) i ušteda električne energije za pogon cirkulacionih pumpi (desno)

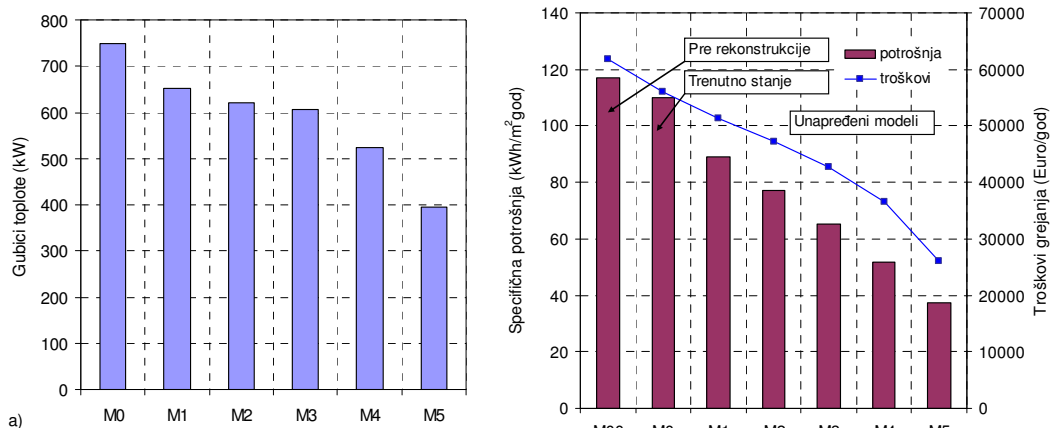
5.3.2 Unapređenje termičkog omotača

Za istu zgradu, na kojoj se prati potrošnja toplote iz godine u godinu, urađena je simulacija mera poboljšanja termičkog omotača. Osnovni model zgrade M0 postavljen je za trenutno stanje zgrade, dok su unapređeni modeli označni kao M1 do M5, kao što je prikazano u tabeli. Dodatno, model M00 je takođe uzet u razmatranje, i odnosi se na stanje zgrade pre rekonstrukcije sistema grejanja 2002. godine.

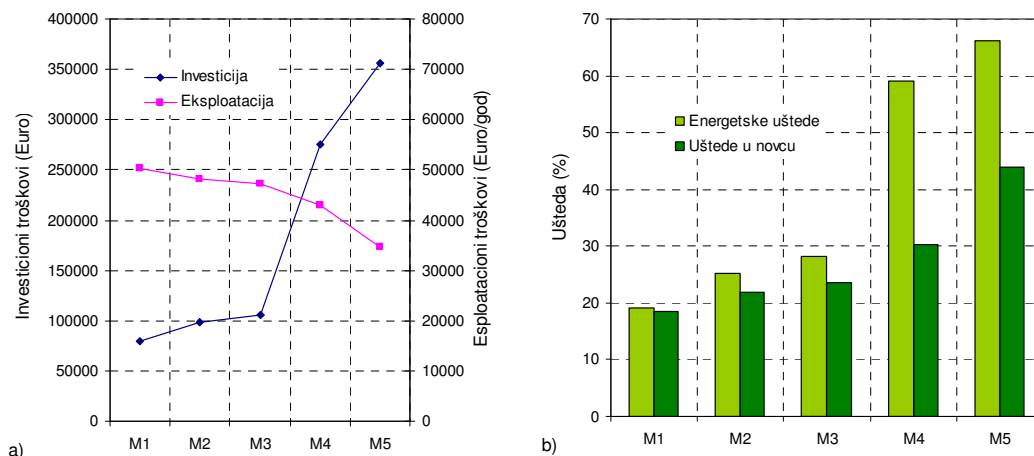
Kao mere unapređenja razmatrano je poboljšanje termičke izolovanosti spoljnih zidova (dve različite debljine i vrste termičke izolacije), izolacija krova mineralnom vunom, zamena prozora i balkonskih vrata, kao i zbirni uticaj predloženih mera.

Model	Mere unapređenja
M00	Stanje pre rekonstrukcije 2002 (bez lokalne regulacije)
M0	Postojeće stanje
M1	Izolacija spoljnih zidova: 5 cm stiropor ($\lambda=0.037$ W/mK)
M2	Izolacija spoljnih zidova: 8 cm neopor ($\lambda=0.031$ W/mK)
M3	Izolacija spoljnih zidova: 8 cm neopor + Izolacija krova: 10 cm mineralna vuna ($\lambda=0.041$ W/mK)
M4	Zamena drvenih prozora i balkonskih vrata ($U=2.9$ W/m ² K) novim PVC prozorima i balkonskim vratima ($U=1.1$ W/m ² K)
M5	Izolacija spoljnih zidova: 8 cm neopor + Zamena drvenih prozora i balkonskih vrata

Dijagramima prikazanim na slikama 5.6 i 5.7 dati su rezultati analize primene mera unapređenja termičkog omotača zgrade.



Slika 5.6 Uticaj mera na gubitke toplote zgrade (a) i na specifičnu potrošnju toplote za grejanje i troškove grejanja (b)

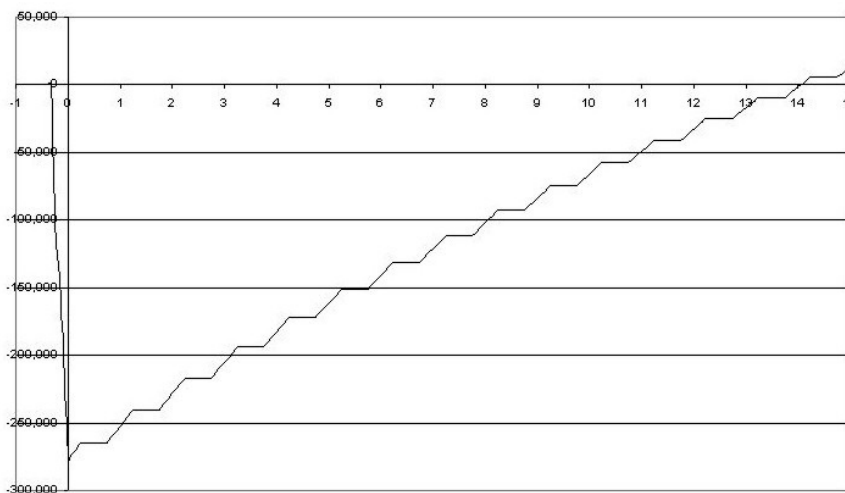


Slika 5.7 Investicioni i eksploatacioni troškovi (a) i uštede u energiji i novcu (b)

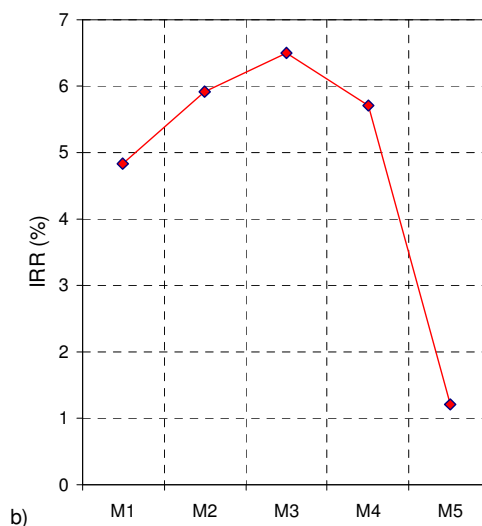
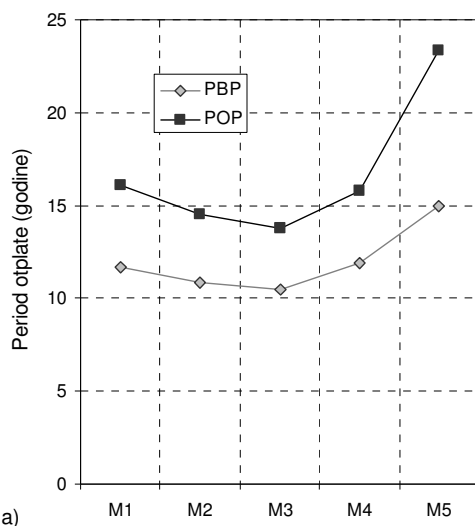
Sa energetskog aspekta najbolji je model M5, međutim, ozimajući u obzir finansijske aspekte, najisplativije je rešenje koje nudi model M3, jer je period povraćaja investicije najkraći.

5.3.3 Finansijski pokazatelji i analiza osetljivosti

Za predložene setove mera unapređenja energetske efikasnosti zgrade (modeli od M1 do M5) sprovedena je analiza isplativosti i finansijske opravdanosti projekta unapređenja. Životni vek projekta procenjen je na 20 godina. Na dijagramima koji slede (slika 5.8 i 5.9) prikazan je kumulativni tok novca (za model M3), kao i prost i dinamički period povraćaja investicije i interna stopa rentabilnosti za sve modele.

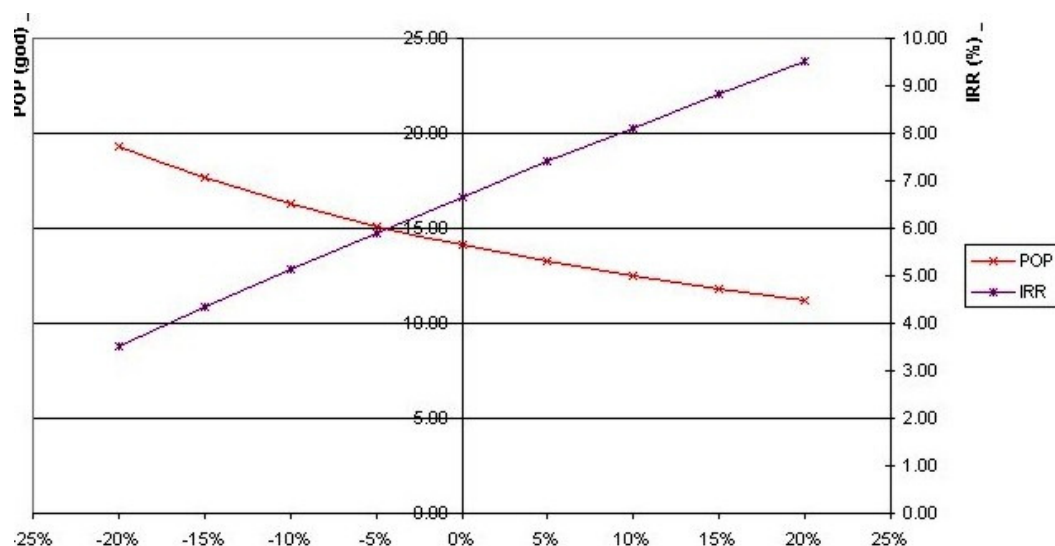


Slika 5.8 Kumulativni tok novca od trenutka ulaganja u unapređenje

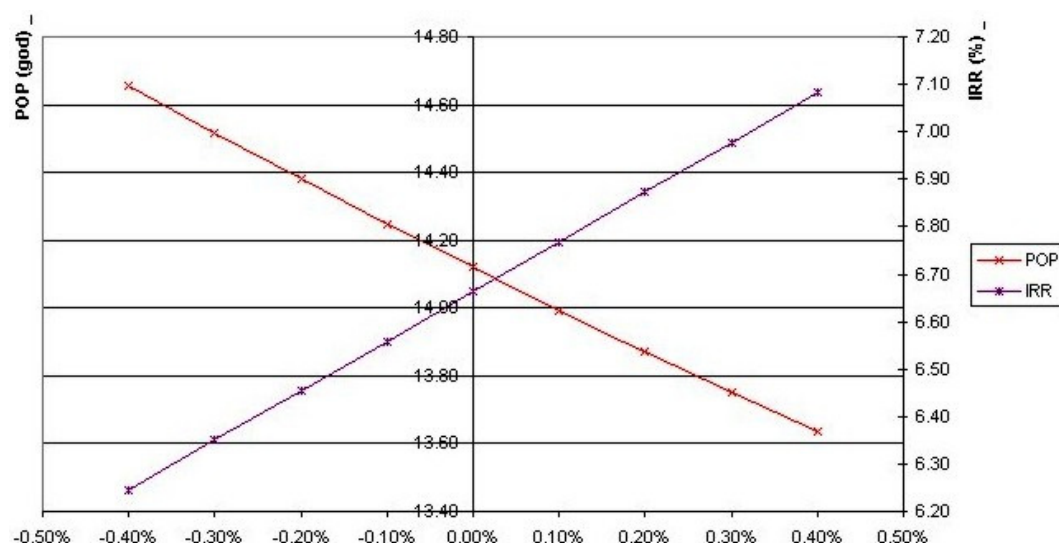


Slika 5.9 Period povraćaja investicije (a) i interna stopa rentabilnosti (b)

Na dijagramima 5.10 i 5.11 prikazana je analiza osetljivosti, odnosno promena finansijskih pokazatelja (POP i IIR) u funkciji promene cene energije i promene stope inflacije.



Slika 5.10 Uticaj promene cene energije na dinmički period otplate investicije i internu stopu rentabilnosti

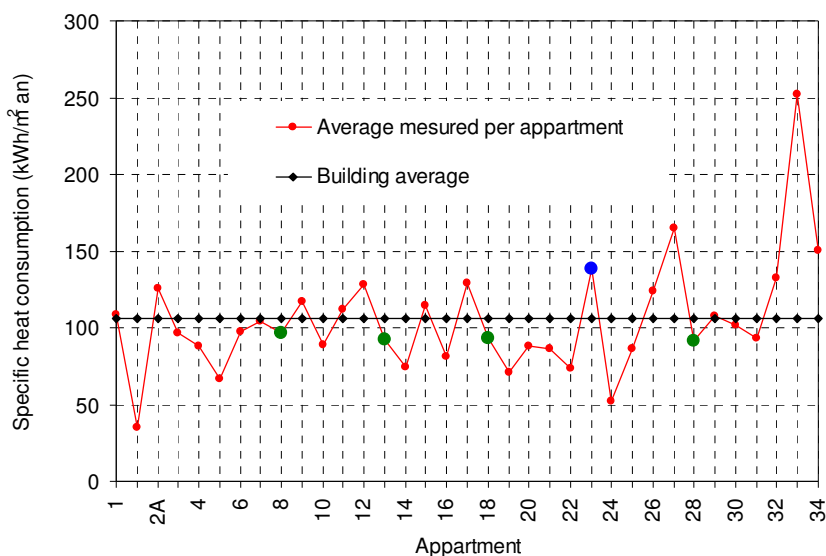


Slika 5.11 Uticaj promene stope inflacije na dinmički period otplate investicije i internu stopu rentabilnosti

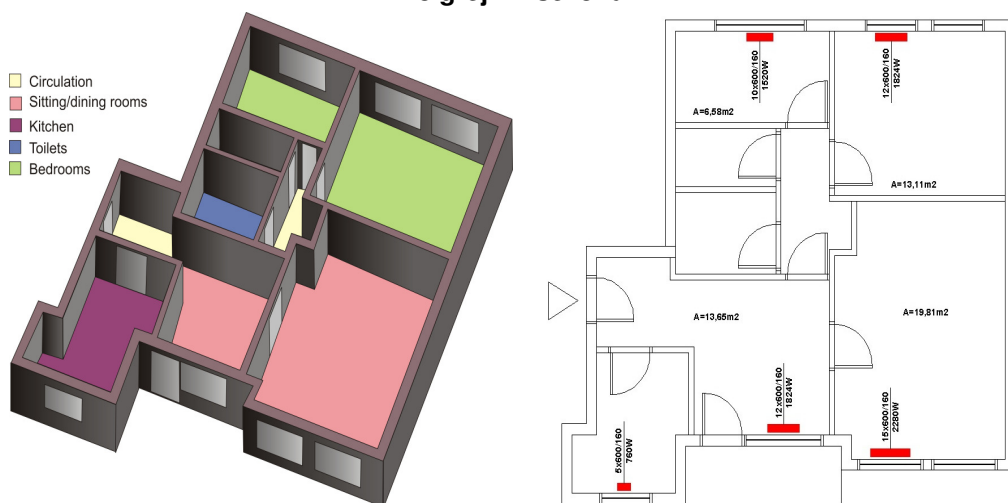
5.3.4 Uticaj ponašanja korisnika

Na istom objektu praćena je godišnja potrošnja energije po svakom radijatoru. Na osnovu rezultata merenja tokom 8 grejnih sezona bilo je moguće uočiti prosečnu potrošnju po stanovima, kao i navike korisnika. Sa dijagrama na slici 5.12 uočava se da pojedini stanovi imaju povećanu potrošnju toplote za grejanje iz godine u godinu. Iz tog razloga analizirani su identični stanovi u zgradi (po svojoj veličini, geometriji i rasporedu prostorija, orijentaciji i položaju – između

dva sprata). Izabrani stanovi, čija kvadratura iznosi 69 m^2 , obeleženi su zelenim tačkama na dijagramu, dok je plavom tačkom obeležen stan sa potrošnjom toplote iznad proseka.



Slika 5.12 Srednja izmerena godišnja potrošnja toplote za grejanje po stanovima za 8 grejnih sezona



Slika 5.13 Reprezentativni stan u zgradi – 3D (a) i osnova stana sa rasporedom radijatora (b)

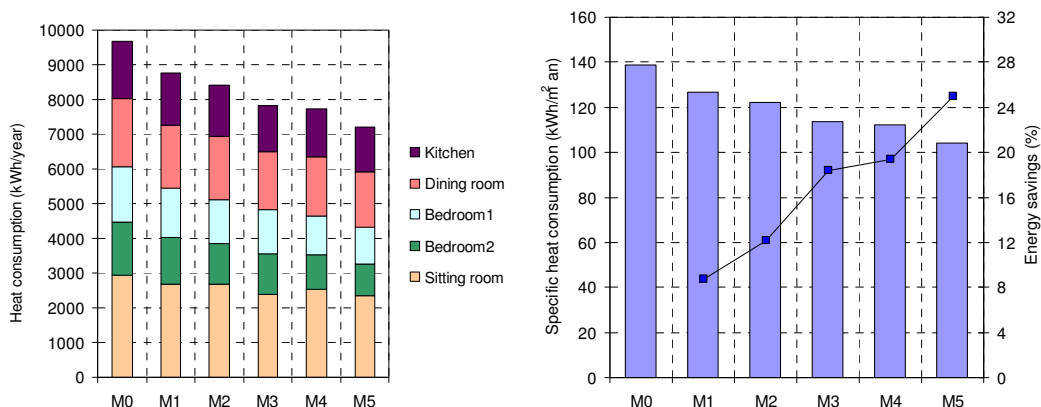
Postavljen je osnovni model ponašanja korisnika, u smislu održavanja unutrašnje temperature vazduha u stanu, koji je kalibrisan prema izmerenoj potrošnji u zgradi. Ostali modeli su prikazani u tabeli.

Prema postavljenim modelima ponašanja korisnika, određen je potencijal uštede energije i izračunati su troškovi grejanja kada bi se primenio tarifni sistem naplate troškova prema utrošenoj toploti. Dodatno je razmatran potencijal uštede

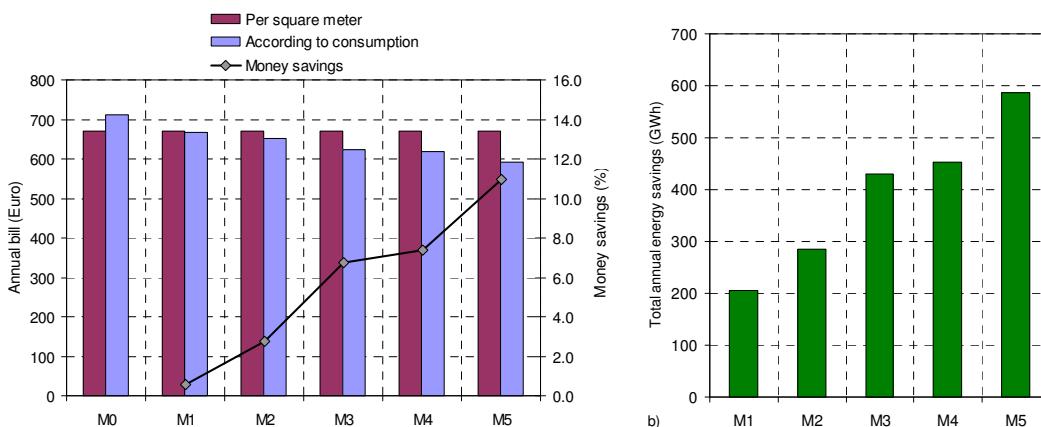
na nivou grada Beograda, odnosno ušteda koja se postiže u zgradama priključenim na sistem daljinskog grejanja.

Rezultati su prikazani dijagramima na slikama 5.14 i 5.15.

Model	Ponašanje korisnika
M0	Trenutno stanje – unutrašnja temperatura od 24°C u celom stanu
M1	Unutrašnja temperatura od 22°C u celom stanu
M2	Unutrašnja temperatura od 22°C u dnevnoj sobi/trpezariji i kuhinji Unutrašnja temperatura od 20°C u spavaćim sobama
M3	Unutrašnja temperatura od 20°C u celom stanu
M4	Unutrašnja temperatura od 21°C u dnevnoj sobi/trpezariji i kuhinji Unutrašnja temperatura od 19°C u spavaćim sobama
M5	Unutrašnja temperatura od 21°C u dnevnoj sobi/trpezariji i kuhinji Unutrašnja temperatura od 19°C u spavaćim sobama + Unutrašnja temperatura od 12°C tokom 10 dana godišnjeg odmora



Slika 5.14 Modeli ponašanja korisnika i njihov uticaj na potrošnju energije i potencijal uštede



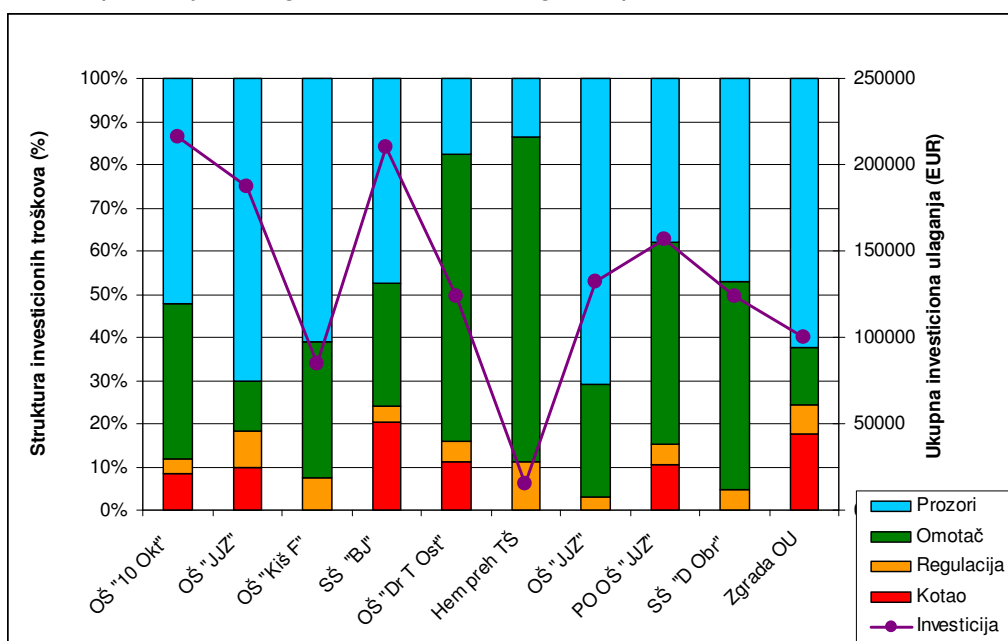
Slika 5.15 Modeli ponašanja korisnika, njihov uticaj račun za grejanje (levo) i moguće uštede u stambenom sektoru povezanom na sistem daljinskog grejanja (desno)

5.3.5 Setovi mera unapređenja i finansijski pokazatelji

Kao primer je korišćeno deset postojećih zgrada na teritoriji opština Kanjiža, Čoka i Novi Kneževac, za koje je sprovedena analiza potrošnje energije i primena mera unapređenja energetske efikasnosti. Na osnovu postojećeg stanja zgrada koje su obuhvaćene analizom unapređenja energetske efikasnosti pristupilo se primeni sledećih mera:

- izolacija spoljnih zidova mineralnom vunom debljine 10 mm;
- zamena prozora sa drvenim ramom novim PVC prozorima sa dvostrukim staklom ili zaptivanje postojećih prozora;
- uvođenje centralne regulacije rada sistema centralnog grejanja;
- ugradnja radijatorskih ventila sa termostatskim glavama i novih cirkulacionih pumpi kod sistema grejanja koji ne koriste čvrsto gorivo;
- zamena starih kotlova novim, bez promene energenta.

Dijagramom na slici 5.16 prikazani su ukupni investicioni troškovi primene mera unapređenja energetske efikasnosti zgrada po strukturi.

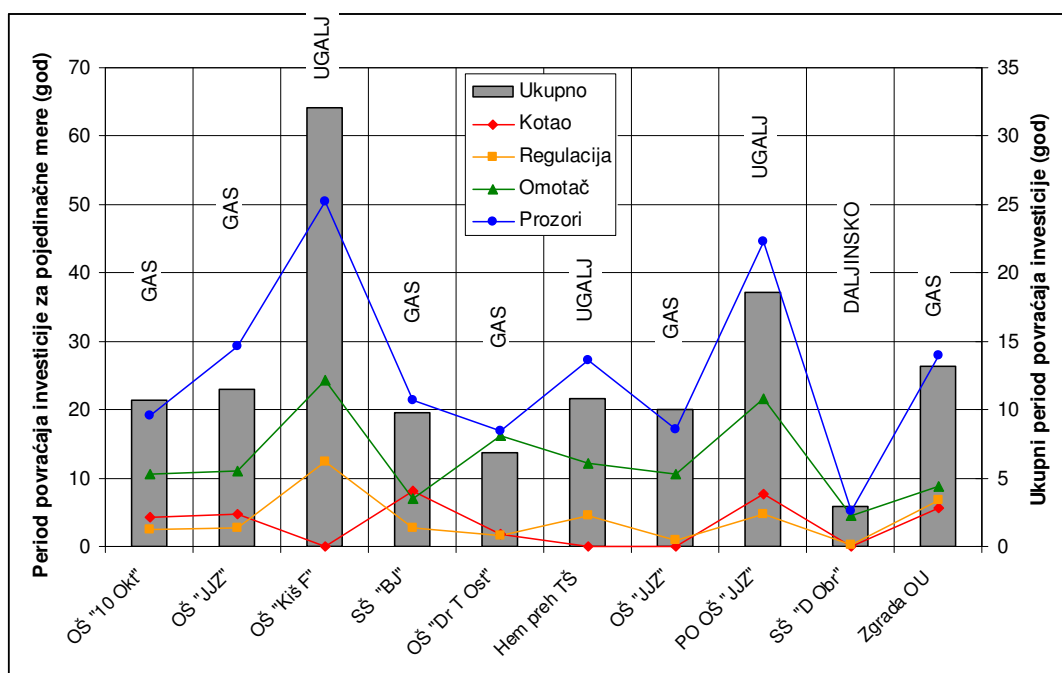


Slika 5.16 Struktura investicionih troškova mera unapređenja za deset postojećih zgrada

Ušteda u potrebnoj toploti za grejanje koja se postiže na godišnjem nivou razlikuje se u zavisnosti od stanja zgrade i termotehničkih instalacija u njoj, koje je zatečeno pre rekonstrukcije. Većina zgrada nije imala nikakvu izolaciju spoljnih zidova i krova, dok su kotlarnice i kotlovi bili u prilično nezavidnom stanju. Zbirnom primenom navedenih mera ukupni gubici u zgradama smanjeni su za preko 30%,

osim u hemisko-prehrambenoj srednjoj školi, gde su ulaganja minimalna i odnosila su se samo na izolaciju dela termičkog omotača i zaptivanje postojećih prozora. Zaptivanje prozora, umesto kompletne zamene predviđeno je i u O.Š. „Tihomir Ostojić“ u Čoki.

Dijagramom na slici 5.17 prikazan je period povraćaja investicije za svaku od primenjenih mera pojedinačno, kao i zbirni period povraćaja investicije za sve primenjene mere.



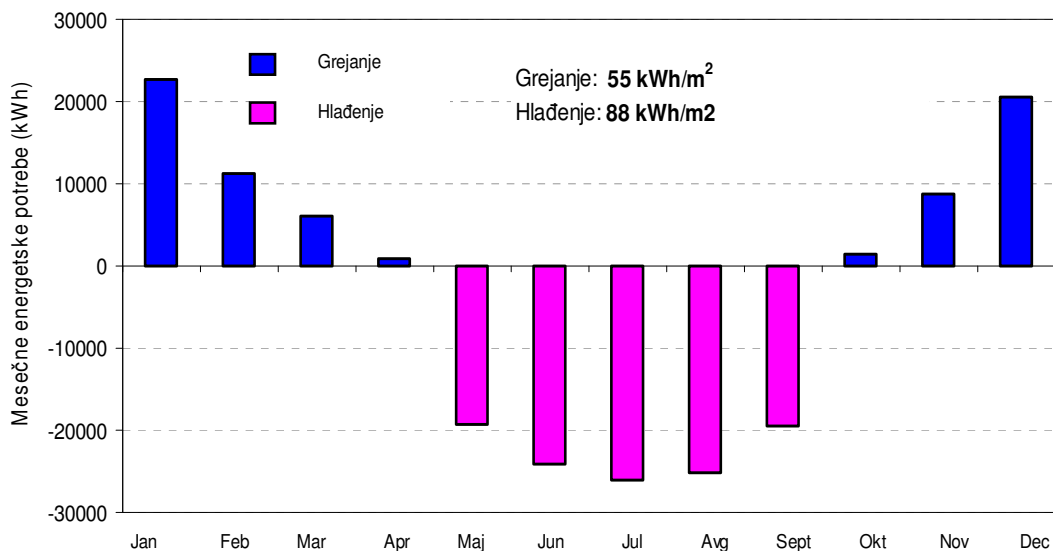
Slika 5.17 Period povraćaja investicionih ulaganja za pojedinačne mere i zbirni period povraćaja investicionih troškova

Kada se analizira mera unapređenja sistema grejanja, kroz zamenu postojećeg kotla i uvođenje automatske regulacije rada sistema, može se zaključiti da je ova mera izuzetno značajna sa aspekta racionalnog korišćenja energije, povećanja stepena korisnosti, sprečavanja pregrevanja prostorija, kao i njihovo grejanje u periodima kada se ne koriste, kao što su časovi tokom noći i tokom vikenda. To se jasno uočava kroz period povraćaja investicije. Ulaganje u termičku izolaciju i zamenu prozora značajno umanjuje toplotne gubitke zgrade, naročito kod zgrada čiji su spoljni zidovi izvedeni bez izolacije. Najveći uticaj na period povraćaja investicije ima vrsta energenta koji se koristi u sistemu centralnog grejanja. S obzirom da je cena uglja značajno niža od cene gasa, zgrade kod kojih se koristi ugalj kao energent imaju jako nepovoljan period povraćaja investicionih ulaganja u sanaciju termičkog omotača zgrade.

5.3.6 Uticaj izbora izvora snabdevanja energijom za novu zgradu

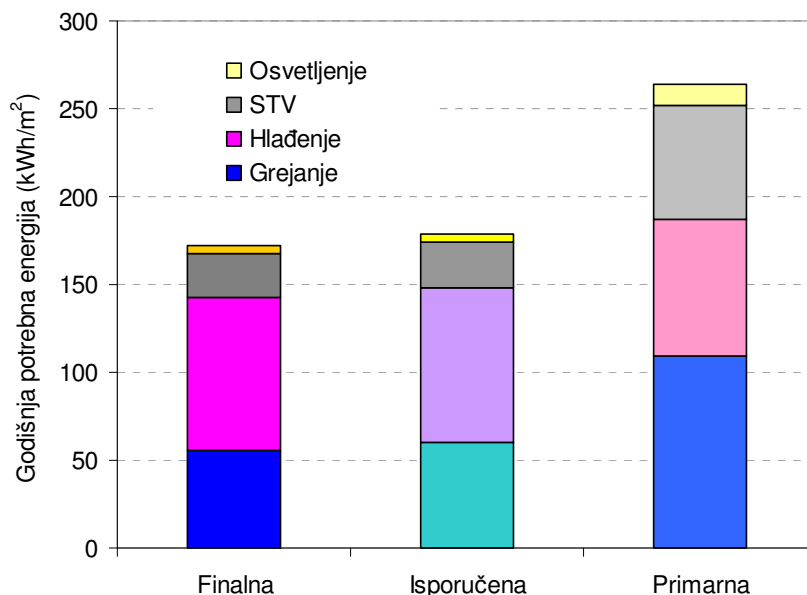
Zgrada koja se koristi u ovom primeru je novo projektovana zgrada u centru Beograda. U pitanju je stambeno poslovni objekat ukupne korisne površine 1300m^2 . Termički omotač zgrade je projektovan sa dobrom termičkom zaštitom ($U = 0.37\text{ W/m}^2\text{K}$ za spoljne zidove), i prosečnim kvalitetom prozora ($U_w = 1.8\text{ W/m}^2\text{K}$, $a = 0.4\text{ m}^3/\text{mhPa}^{2/3}$).

Na slici 5.18 prikazana je potrebna finalna energija za grejanje i hlađenje zgrade tokom godine, a na slici 5.19 struktura potrebne finalne i primarne energije – za bazni model M0.



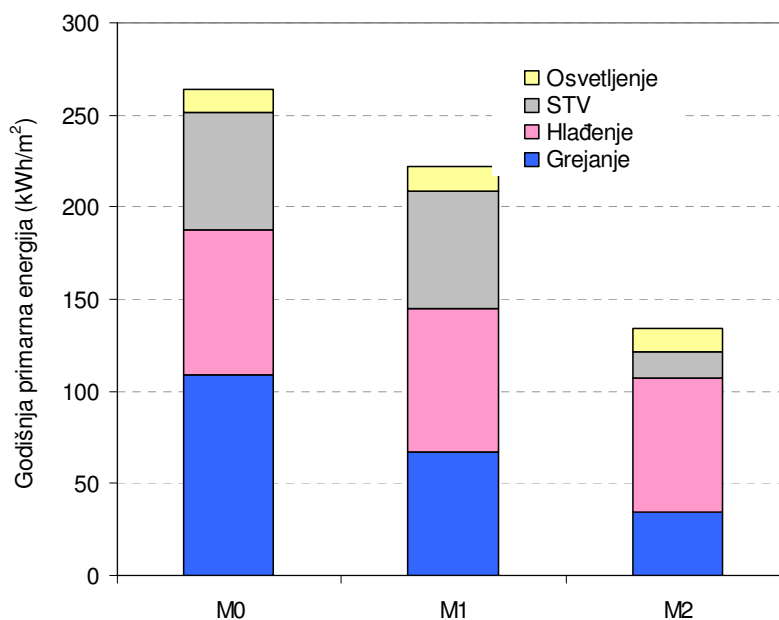
Slika 5.18 Potrebna finalna energija za grejanje i hlađenje – model M0

- **Osnovni model (M0):** Priključak na daljinsko grejanje, Lokalni klimatizeri (split-sistemi), individualna priprema STV po stanovima kotišćenjem električnih bojlera;
- **Model M1:** lokalna kotlarnica na gas, Lokalni klimatizeri (multi split sistemi) za svaki stan, individualna priprema STV po stanovima kotišćenjem električnih bojlera;
- **Model M2:** geotermalna toplotna pumpa sa tlom kao izvorom toplote, koja se koristi i u režimu hlađenja, centralni solarni sistem sa rezervoarom za pripremu STV i dodatnim električnim grejačem.



Slika 5.19 Potrebena finalna i primarna energija – model M0

Na slici 5.20 dat je prikaz potrebne primarne energije za funkcionisanje tehničkih sistema u zgradi na godišnjem nivou, u zavisnosti od različitih izvora snabdevanja energijom, uz poređenje osnovnog modela M0, sa unapređenim modelima M1 i M2.



Slika 5.20 Potrebena primarna energija za modele M0, M1 i M2

6 SISTEMI CENTRALNOG GREJANJA I PRIPREME SANITARNE TOPLE VODE U ZGRADAMA

6.1 UREĐAJI I OPREMA SISTEMA CENTRALNOG GREJANJA

6.1.1 Kotlovi za centralno grejanje

Kotlovi su uređaji u kojima se vrši sagorevanje goriva i pretvaranje hemijske energije goriva u toplotu. Dobijena toplota se predaje radnom fluidu, koji može biti voda, vodena para, vazduh ili termalno ulje. Bitno se razlikuju kotlovi za vodu – tzv. **toplovodni** i **vrelvodni** kotlovi od kotlova za paru – tzv. **parni** kotlovi.

Ako je radni fluid vazduh, kao što je to slučaj sa vazдушnim grejanjem, onda je zagrevanje vazduha obično indirektno, preko razmenjivača toplote, a ako je direktno, onda se češće koriste peći za zagrevanje vazduha nego kotlovi. Vazduh je loš kao radni medijum, jer ima malu vrednost specifičnog toplotnog kapaciteta u odnosu na vodu. Ako bi došlo do kratkotrajnog prekida u protoku (prestanka strujanja vazduha), temperatura vazduha u kotlu bi naglo porasla, pa bi moglo doći do pregrevanja i oštećenja materijala kotla.

U tehnici grejanja, u postrojenjima za centralno i daljinsko grejanje, mnogo češće se koriste toplovodni i vrelvodni kotlovi nego parni, jer se danas skoro isključivo primenjuje centralno toplovodno grejanje. Kotlovi koji se koriste u sistemima centralnog grejanja mogu biti jako različite veličina i kapaciteta. Za male instalacije često se koriste i električni toplovodni kotlovi, čiji se kapaciteti kreću od 6 do 24 kW – za etažno grejanje stanova i manjih porodičnih kuća. Kotlovi na čvrsto i tečno gorivo kapaciteta od 20-30 kW uglavnom se koriste za grejanje porodičnih kuća, a u gradskim toplanama, u sistemima daljinskog grejanja koriste se kotlovi kapaciteta do 50 MW. U poslednje vreme se puno radi na povećanju stepena korisnosti kotla, i to na sledeći način:

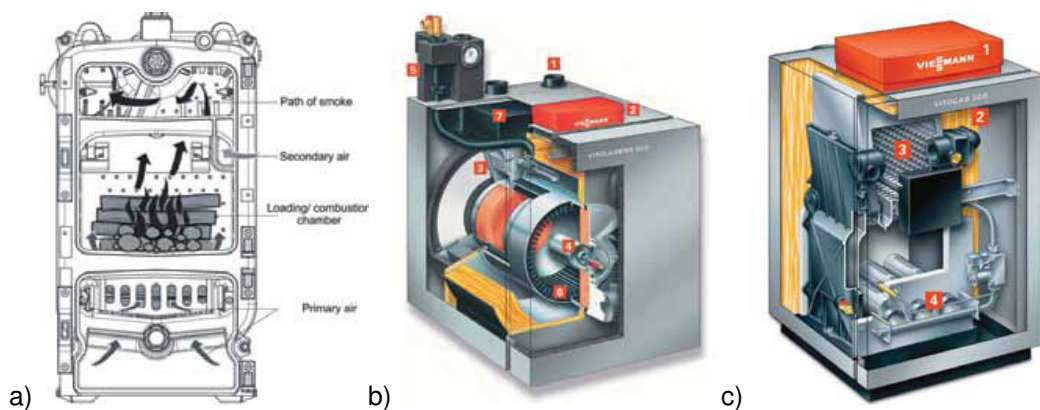
- usavršavaju se konstrukciona rešenja,
- rade se precizniji proračuni,
- koriste se novi materijali i tehnologije za izradu elemenata kotla.

Kako bi se što bolje iskoristila energija sadržana u gorivu, neophodno je da kotao bude **u potpunosti prilagođen gorivu**. To ne znači samo poznavanje vrste goriva – čvrsto, tečno ili gasovito, već i specifičnosti svake od vrsta goriva – toplotnu moć, hemijski sastav, udeo jalovine, itd. Osim toga, ukoliko je u pitanju čvrsto gorivo – potrebno je poznavati vrstu uglja (lignit, kameni, mrki ugalj ili briketi i pelete od biomase) kao i način sagorevanja u ložištu (u sloju - na rešetki – nepokretnoj ili pokretnoj; u prahu – specijalni gorionici i mlinovi za ugljeni prah, kao dodatna oprema; u fluidizovanom sloju – materijal ispune sloja, veličina čestica uglja, itd.)

S druge strane, korisnici kotla bi želeli da imaju što fleksibilniji kotao, u kome bi mogli da sagorevaju različito gorivo – npr. ono koje je trenutno najjeftinije ili ono koje je dostupno na tržištu. Proizvođači kotlova obično deklarišu da se njihov kotao može koristiti za sva goriva – ukoliko je u pitanju sagorevanje čvrstog goriva na rešeci, a za tečno i gasovito gorivo se mogu naknadno ugraditi odgovarajući gorionici. Jasno je da takav kotao ne može imati visok stepen korisnosti, jer je konstrukcija kotla za čvrsto i tečno gorivo jako različita.

Specifičnosti goriva određuju specifičnosti konstrukcije kotla, kao na primer:

- za goriva sa visokim procentom volatila (isparljivih gorivih materija) potrebno je dovoditi sekundarni vazduh radi potpunijeg sagorevanja,
- kvalitetni ugljevi (koks, antracit i kameni) mogu dobro i potpuno da sagorevaju u sloju
- kotlovi na tečno i gasovito gorivo mogu selakše regulisati, pa su i prekidi u radu kod njih mnogo jednostavniji,
- razlikuju se gorionici za tečno i gasovito gorivo,
- električni kotlovi su potpuno različiti od kotlova na konvencijalno gorivo; više su nalik bojlerima, nego kotlovima za sagorevanje goriva.



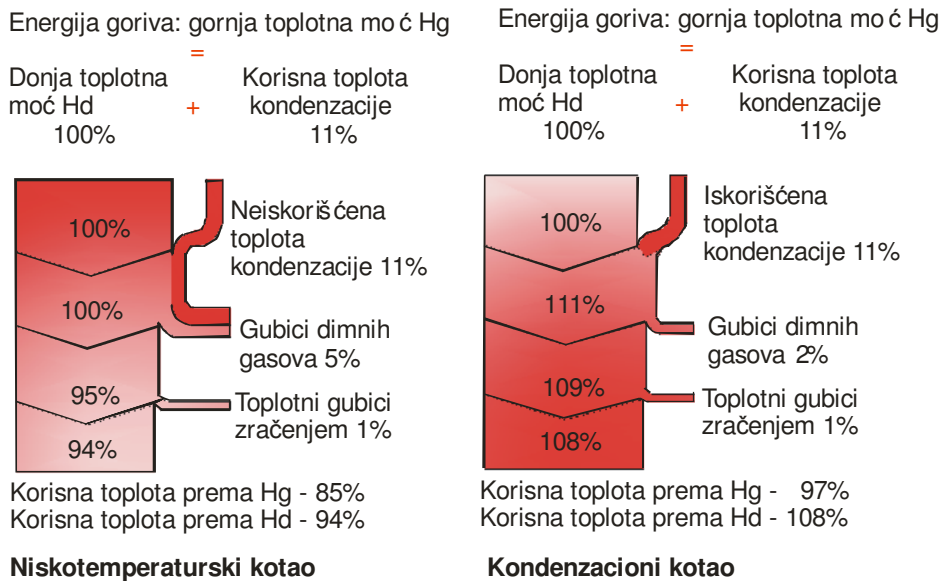
Slika 6.1 Kotlovi za cntralno grejanje: a) kotao od livenog gvožđa za sagorevanje sečke i uglja u sloju; b) čelični kondenzacioni kotao na lako lož-ulje, c) niskotemperaturnski kotao sa atmosferskim gorionikom na gas

Kondenzacioni kotlovi su kotlovi kod kojih se toplota sadržana u vodenoj pari i dimnim gasovima koristi putem kondenzacije.

Donja toplotna moć goriva H_d je toplota oslobođena procesom sagorevanja goriva bez dodatnog iskorišćenja toplote kondenzacije vodene pare (dimni plinovi su svedeni na standardno stanje, a vodena para se ne kondenzuje). Kod goriva koja u sastavu sadrže vodonik, pa iz tog razloga u dimnim gasovima sadrže vodenu paru, razlikuje se gornja toplotna moć od donje toplotne moći. Gornja

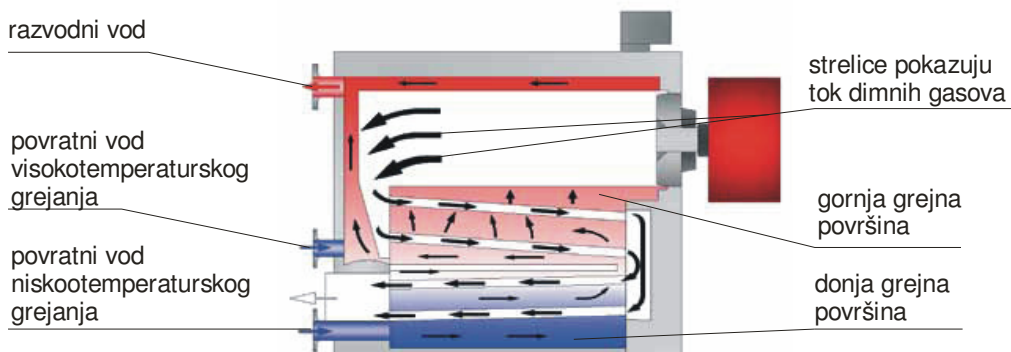
toplotna moć predstavlja toplotu oslobođenu procesom sagorevanja goriva s dodatnim iskorišćenjem toplote kondenzacije vodene pare (dimni plinovi su svedeni na standardno stanje, a vodena para se kondenzuje). Gornja toplotna moć veća je od donje za količinu toplote kondenzacije vodene pare sadržane u dimnim gasovima.

Pored vode nastale sagorevanjem vodonika, i vlaga znatno utiče na toplotnu moć. Iskorišćenje toplote kondenzacije moguće je i opravdano kod goriva koja sadrže vodonik (npr. gasovita goriva), ali je povezano sa problemima sumporne korozije u slučaju kada goriva sadrže i sumpor (lož ulje).



Slika 6.2 Poređenje stepena korisnosti niskotemperaturnog i kondenzacionog kotla

Na slici 6.3. prikazana je funkcionalna šema jednog kondenzacionog kotla.



Slika 6.3 Funkcionalna šema prolaza tople vode i dimnih gasova kod kondenzacionog kotla

6.1.2 Pumpe u sistemima centralnog grejanja

Strujanje vode u sistemima centralnog grejanja može se ostvariti prirodnim i prinudnim putem. U prvom slučaju gravitacioni napor je taj koji stvara tok vode od kotla ka grejnim telima i nazad. Kod pumpnog grejanja, u rad se uključuje pumpa koja prenosi mehaničku energiju na tečnost i time se ostvaruje strujanje.

Prednosti pumpnog sistema u odnosu na gravitacioni su:

- veći raspoloživi napor, što kao rezultat daje cevnu mrežu sa manjim prečnicima cevi, pa je samim tim cevna mreža jeftinija (uključujući i pripadajuću armaturu);
- manja inertnost sistema (veće brzine strujanja vode u instalaciji; s obzirom da su manji prečnici cevnih deonica, u instalaciji ima manje vode pa je zato i uzgrevanje brže).

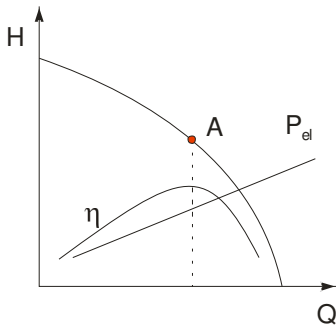
Nedostaci pumpnog sistema u odnosu na gravitacioni su:

- pumpa troši električnu energiju za pogon;
- problem u radu sistema ukoliko dođe do prekida u snabdevanju električnom energijom (kada je izvor toplote kotao na čvrsto gorivo, čija je regulacija sporija, pa je teško trenutno smanjiti kapacitet – može doći do pregrevanja);
- buka u sistemu – kada su brzine strujanja velike stvara se buka usled strujanja; za prigušenje buke koriste se elastične veze između pumpe i cevovoda, kako bi se smanjilo prenošenje vibracija sa pumpe na cevnu mrežu.

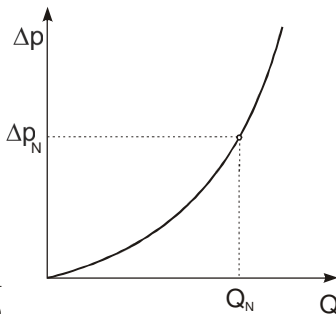
Pumpno grejanje je danas skoro isključivo u primeni kada su u pitanju toplovodni sistemi centralnog grejanja. Primena pumpi u sistemima omogućava projektovanje i izvođenje velikih razgranatih mreža. Takođe, u pumpnim sistemima moguće je imati "potopljena" grejna tela (koja se nalaze na manjoj koti u odnosu na kotao, npr. u podrumskim prostorijama ili etažama ispod podruma). Kod pumpnog grejanja napor pumpe je taj koji ostvaruje cirkulaciju vode u sistemu. Zato se pumpe u sistemima centralnog grejanja nazivaju cirkulacionim pumpama.

Karakteristika pumpe i radna tačka

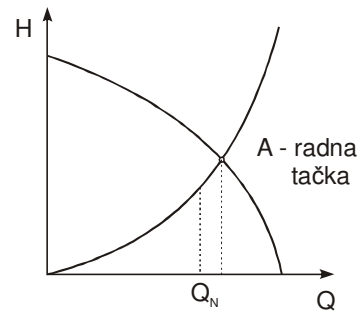
Krive koje predstavljaju odnos između napora, protoka, snage i stepena korisnosti pumpe nazivaju se karakterističnim krivama (slika 6.4). Kriva koja pokazuje odnos napora i protoka koji pumpa ostvaruje naziva se karakteristikom pumpe (Q-H kriva). Napor se može dati u sledećim jedinicama: [Pa] ili [kPa] i [mmH₂O], a protok u [l/h], [l/s] ili [m³/h]. Za tačku A na dijagramu prikazanom na slici 6.7 pumpa ima najvišu vrednost stepena korisnosti i ona definiše uslove za koje je pumpa konstruisana, pa treba težiti da se za takve uslove i primenjuje. Pri svakoj promeni uslova stepen korisnosti će biti lošiji.



Slika 6.4 Karakteristika pumpe



Slika 6.5 Karakteristika cevovoda



Slika 6.6 Sprega pumpe i cevovoda

Radna tačka pumpe dobija se kombinacijom karakteristike pumpe i karakteristike cevovoda, koja je prikazana na slici 6.6. Karakteristika cevovoda je kriva drugog stepena u pravougloj sistemu, gde je na ordinati vrednost pada pritiska kroz cevovod, a na apscisi vrednost protoka:

$$\Delta p = \Delta p_{tr} + \Delta p_{lok} = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2 \rho}{2} + (\xi_1 + \xi_2 + \dots) \frac{w^2 \rho}{2} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \xi_1 + \xi_2 + \dots \right) \frac{w^2 \rho}{2}, \quad (6.10)$$

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{w^2 \rho}{2}. \quad (6.11)$$

gde su:

λ – koeficijent trenja,

l – dužina deonice,

d – prečnik deonice,

ρ – gustina vode,

w – brzina strujanja fluida,

ξ – koeficijent lokalnog otpora.

Kako je protok kroz cev:

$$Q = w \frac{d^2 \pi}{4} \Rightarrow w = \frac{4Q}{d^2 \pi} \quad (6.12)$$

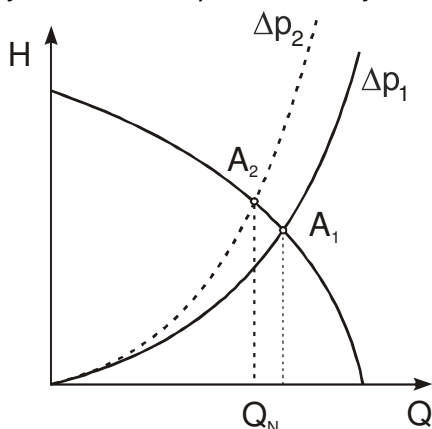
sledi zavisnost pada pritiska i protoka kroz cevovod:

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{8 \cdot \rho}{d^4 \cdot \pi^2} \cdot Q^2 = k \cdot Q^2. \quad (6.13)$$

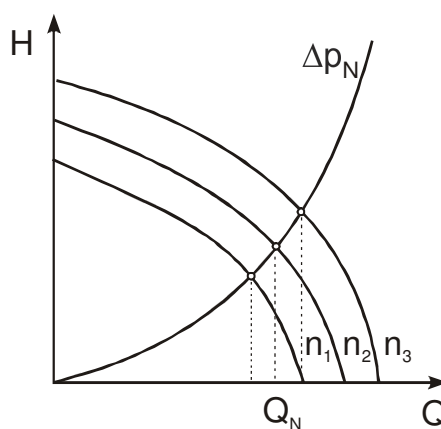
Sprega pumpe i cevovoda prikazana je na slici 6.6. Pri tome se stvarni protok kroz instalaciju Q može razlikovati od nominalnog protoka Q_N .

Svođenje stvarnog protoka na nominalni može se izvršiti na dva načina (koji su prikazani na slikama 6.7 i 6.8). Prvi način je "**prigušenjem**", odnosno povećanjem otpora strujanja u instalaciji (npr. smanjenjem otvorenosti balansnog ventila), tako da karakteristika cevovoda bude strmija u odnosu na prethodni

slučaj. Na taj način se dobija radna tačka A_2 u preseku karakteristika tako da je protok kroz instalaciju je sveden na nominalni. Drugi način je **promenom broja obrtaja pumpe** – postoje pumpe koje mogu raditi sa više brzina (obično 3) ili koje imaju kontinualnu promenu broja obrtaja.



Slika 6.7 Svođenje na nominalni protok "prigušenjem"



Slika 6.8 Svođenje na nominalni protok promenom broja obrtaja

Pumpe sa kontinualnom promenom broja obrtaja koriste se kod sistema koji rade sa promenljivim protokom grejnog fluida. Promena protoka, napora i snage pumpe (koju preuzima iz elektro mreže) sa promenom broja obrtaja kreću se na sledeći način:

$$\begin{aligned} Q &= Q_N \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right) \\ H &= H_N \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 \\ P &= P_N \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^3 \end{aligned} \quad (6.14)$$

Promenljiv broj obrtaja tokom rada sistema može značajno smanjiti potrošnju električne energije potrebne za rad pumpe, kao što je to prikazano u primeru 5.3.2.

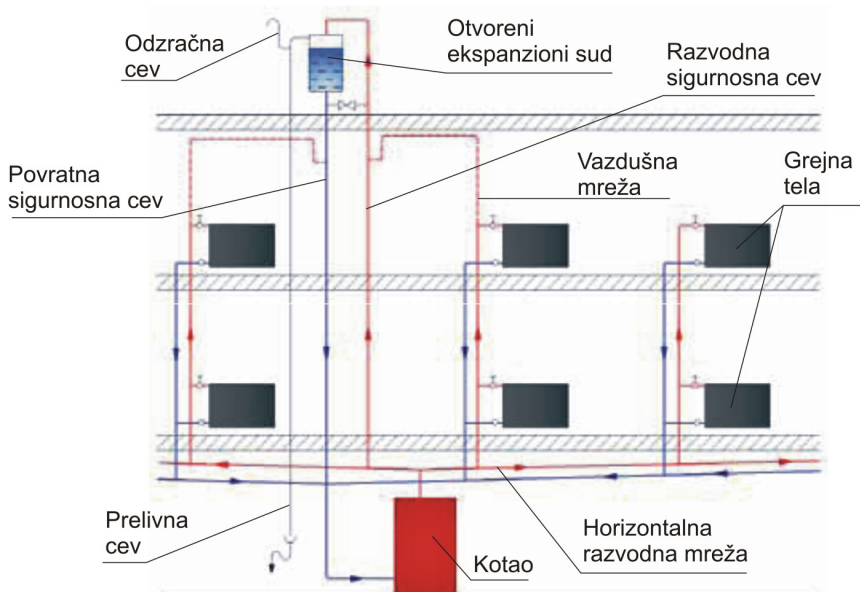
6.2 SISTEMI TOPLOVODNOG GREJANJA

Sistemi toplovodnog grejanja rade sa toplom vodom kao nosiocem toplote do maksimalne temperature 110°C. Voda se zagreva u kotlovima i kroz cevnu mrežu se dovodi do grejnih tela u prostorijama, gdje se hladi, a zatim se ponovno vraća u kotao na zagrevanje.

Podele se mogu napraviti na bazi različitih kriterijuma:

- Prema sili koja osigurava cirkulaciju vode: gravitaciona i pumpna;
- Prema načinu vođenja cevovoda: jednocevna i dvocevna;
- Prema položaju razvodne horizontalne cevne mreže: s gornjim i donjim razvodom
- Prema vezi s atmosferom: otvorena i zatvorena toplovodna grejanja.

U sistemu **gravitacionog grejanja** strujanje vode kroz cevnu mrežu ostvaruje se usled uzgonske sile, prirodnim putem, odnosno bez utroška mehaničke energije. Sva grejna tela na istom nivou (istom spratu) nalaze se na istoj visinskoj razlici u odnosu na kotao, pa prema tome imaju i isti raspoloživi napor H_{rasp} . Međutim, dužina cevne mreže kojom je grejno telo povezano sa kotlom (strujni krug) razlikuje se za skoro svako grejno telo. Izborom odgovarajućeg prečnika cevi deonica u strujnom krugu teži se ka tome da ukupan pad pritiska (usled trenja i usled lokalnih otpora) bude jednak raspoloživom naporu – to važi sa sve strujne krugove. **Strujni krug** čine sve deonice cevne mreže od kotla do grejnog tela i od grejnog tela nazad do kotla – čime je formiran jedan zatvoreni krug u kome struji grejni fluid. Na slici 6.9 prikazana je šema sistema gravitacionog grejanja sa donjim razvodom.

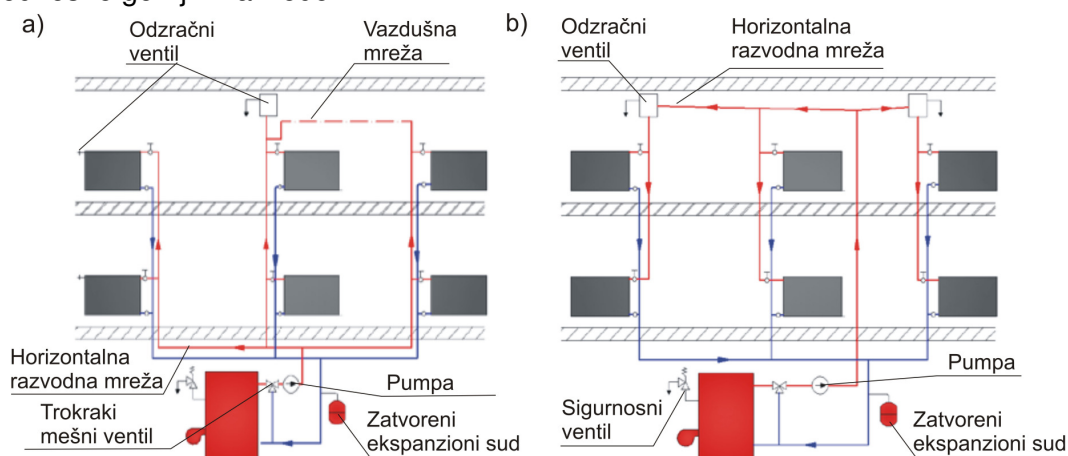


Slika 6.9 Šema sistema otvorenog gravitacionog grejanja sa donjim razvodom

Donji razvod podrazumeva da se horizontalna cevna mreža vodi ispod tavanice podrumskih prostorija, odnosno na nivou ispod grejnih tela. Sve horizontalne deonice cevne mreže se izводе pod nagibom od 5%, što je neophodno zbog pražnjenja cevne mreže i odzračivanja instalacije (odvođenja vazduha iz sistema pri samom punjenju instalacije vodom, ali i kasnije – u toku

rada, ukoliko se u sistemu jave mehurići vazduha). Horizontalne cevi u mreži su postavljene tako da omogućavaju kretanje vazduha u smeru naviše (s obzirom da je vazduh lakši od vode). Cevna mreža se u svojim najvišim tačkama (na vrhovima svih usponskih vodova) povezuje sa vazdušnom mrežom (na crtežima u projektu se obično prikazuje linijom crta – tačka – crta). Vazdušna mreža je povezana sa otvorenim ekspanzionim sudom preko razvodne sigurnosne cevi, tako da se izbacivanje vazduha van sistema vrši preko odzračne cevi na otvorenom ekspanzionom sudu. Na samoj vazdušnoj mreži su izvedene cevne petlje, koje omogućavaju prolaz vazduha naviše i stvaranje "vazdušnih čepova" radi sprečavanja eventualnog strujanja vode kroz vazdušnu mrežu.

Na slici 6.10 prikazane su šeme sistema pumpnog grejanja sa donjim, odnosno gornjim razvodom.



Slika 6.10 Šema sistema grejanja sa prinudnom cirkulacijom: a) donji razvod i b) gornji razvod

Cirkulaciona pumpa je na šemama postavljena u glavni razvodni vod, iza kotla, što obezbeđuje nadpritisk u većem delu instalacije. Pumpa se može postaviti i u glavni povratni vod, pa se tada veći deo instalacije nalazi u "potpritisu". Izgled polja pritiska u mreži zavisi od mesta povezivanja ekspanzionog suda sa instalacijom.

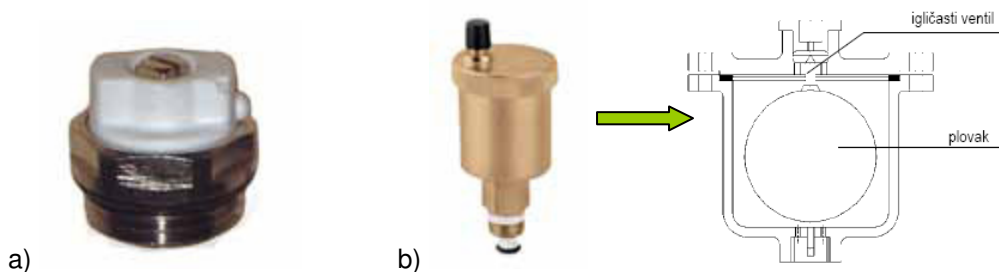
Radijatorski ventili su postavljeni na razvodnim priključcima grejnih tela i imaju ulogu smanjenja protoka kroz grejno telo ili potpuno zatvaranje – isključivanje grejnog tela iz sistema.

Radijatorski navijci se postavljaju na povratnim priključcima grejnih tela. Slično kao i regulacioni ventili na vertikalama, i radijatorski navijci mogu imati dvostruku ulogu: zatvaranje – odvajanje grejnog tela od mreže ukoliko se želi izvršiti bilo kakva intervencija na grejnom telu ili njegova zamena (u paru se zatvaraju sa radijatorskim ventilima) i regulisanje – kada se vrši balansiranje mreže, pa je potrebno izvršiti prigušenje na grejnom telu (povećati otpor strujanju

u strujnom krugu posmatranog grejnog tela). Kod velikih sistema ovo je veoma važna funkcija.

Trokraki mešni ventil je regulacioni ventil koji ima ulogu centralne regulacije rada sistema. Mešanjem povratne i razvodne vode u pogodnom odnosu snižava se temperatura razvodne vode i time se ostvaruje kvalitativna centralna regulacija rada sistema.

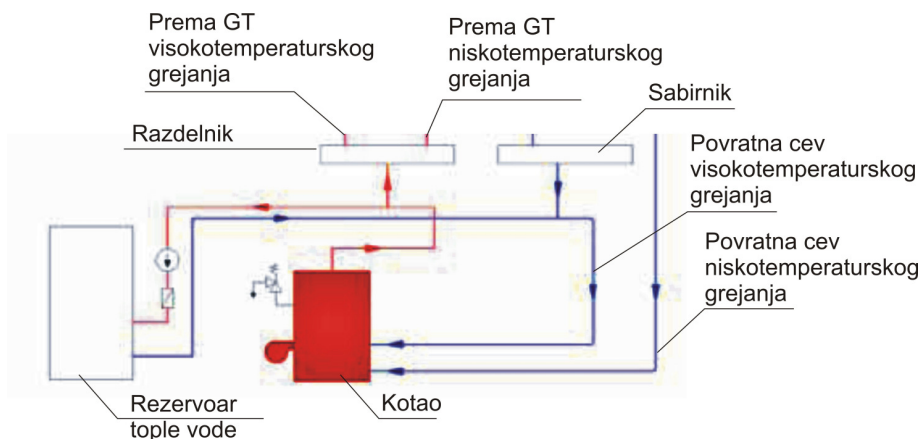
Vazдушna mreža se vodi na isti način kao i kod gravitacionog grejanja kada je u pitanju otvoren sistem, ali nema cevnih petlji, već se na vertikale postavljaju ventili, koji su sasvim malo otvoreni. Razlog za to je veći nadpritisak u sistemu pumpnog u odnosu na gravitaciono grejanje. Drugi način odzračivanja, koji je takođe često u primeni je postavljanje odzračnih ventila (radijatorskih) na sva grejna tela, kao što je prikazano na šemi sistema sa donjim razvodom i zatvorenim ekspanzionim sudom (slika 6.10 a). Kod takvog načina odzračivanja sistema nagib razvodnih priključaka grejnih tela je suprotan (ka grejnom telu). Odzračni ventili (automatski) u sistemu sa zatvorenim ekspanzionim sudom mogu se postaviti i na vrhu vertikala (slika 6.10). U tom slučaju nagib razvodnih priključaka je kao i u slučaju postavljanja vazdušne mreže. Dakle, odzračni ventil se uvek postavlja u najvišoj tački (tačkama) instalacije, pri čemu cevna mreža mora imati takvu konfiguraciju (u pogledu nagiba) da ne postoje mesta sa kontra nagibom u kojima bi se mogli formirati vazdušni čepovi. Odzračni ventili prikazani su na slici 6.11.



Slika 6.11 Odzračni ventili: a) radijatorski i b) automatski sa plovkom

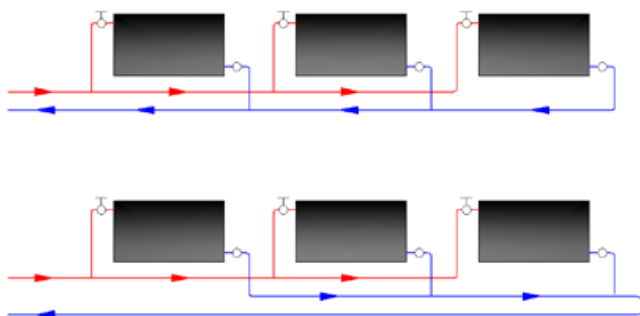
Kada su u pitanju velike zgrade i razgranate cevne mreže koje se vode kroz zgradu, u kotlarnici se postavljaju razdelnik i sabirnik, odnosno snabdevanje toplotom se deli na zone na način da ka svakoj zoni ide po jedna grana – glavna razvodna cev, koja kreće iz razdelnika. Paralelno sa njom vodi se i povratna grana. Obično se, kod velikih sistema, u svaku razvodnu granu postavlja posebna cirkulaciona pumpa koja se naziva granska pumpa i ona obezbeđuje potreban napor i protok u grani. Nekada se iz istog izvora toplote mogu snabdevati različiti potrošači, koji se razlikuju po temperaturskom režimu (na primer: sistem radijatorskog grejanja, sistem podnog grejanja, sistem centralne pripreme tople sanitarne vode, itd.). U tom slučaju, svaki sistem ima svoje glavne grane i

cirkulacione pumpe. Na slici 6.12 prikazana je šema povezivanja kondenzacionog kotla sa potrošačima toplote koji rade u različitim temperatirskim režimima.



Slika 6.12 Šema povezivanja kondenzacionog kotla sa različitim potrošačima

Kod zgrada male spratnosti a velike površine, razgranatost cevne mreže je dominantna u horizontalnom pružanju. Tada se povezivanje grejnih tela kod dvocevnih sistema može vršiti na način prikazan na slici 6.23. Radijatori na slici 6.23 gore povezani su sa horizontalnom mrežom na način tako da najudaljenije grejno telo ima najveću dužinu strujnog kruga, a najbliže ima najmanju dužinu deonice. Na taj način, pad pritiska do najudaljenijeg grejnog tela prilikom strujanja vode u mreži je najveći, dok je u ostalim strujnim krugovima potrebno praviti prigušenja. Na slici 6.13 dole radijatori su povezani u Tiechelman-ov strujni krug. Karakteristika Tiechelman-ovog kruga je da je ukupna dužina deonice (razvodni i povratni) od razdelnika do svakog grejnog tela ista, pa su hidraulički otpori ujednačeni a mogućnost balansiranja mreže bolja.



Slika 6.13 Horizontalni dvocevni razvod: običan (gore) i Tiechelman-ov (dole)

Dvocevni sistemi toplovodnog centralnog grejanja imaju poseban cevovod za razvod vode, tako da svako grejno telo dobija vodu iste temperature θ_r .

Povratna voda temperature θ_p se skuplja posebnim cevovodom – povratnom mrežom, i vraća nazad u kotao. Cevna mraža kod dvocevnog sistema ima promenljiv prečnik, pri čemu se u razvodnom cevovodu poprečni presek deonica smanjuje, a u povratnom povećava u smeru strujanja vode. Takva cevna mreža zahteva više posla oko montaže i vođenje po dve cevi kroz zgradu, što može biti otežano kada se grejanje naknadno uvodi u već postojeću zgradu.

Jednocevni sistemi ublažavaju navedene nepovoljne efekte dvocevnih sistema, kod kojih su razvodna i povratna mreža jedinstven cevovod. Kod jednocevnog razvoda, bez obzira na broj grejnih tela, ima isti prečnik i isti protok. Voda koja prođe kroz jedno grejno telo zatim ulazi u sledeće i tako redom, pri čemu u svako sledeće grejno telo voda ulazi sa nižom temperaturom nego u prethodno, sve dok ne izađe iz poslednjeg grejnog tela sa temperaturom koja odgovara temperaturi povratne vode celog sistema θ_p . Prema tome, temperaturski pad u svakom grejnom telu kod jednocevnih sistema manji je nego kod dvocevnih sistema, a srednja temperatura vode u grejnim telima opada u smeru strujanja vode, tako da se njihova površina povećava. Grejna tela u jednocevnom sistemu koja su bliže kotlu imaju manju površinu (jer je srednja temperatura vode u njima viša), a ona koja su dalje imaju veću površinu u odnosu na dvocevne sisteme. Ukupna površina grejnih tela kod jednocevnih sistema je ipak nešto veća u odnosu na ukupnu površinu dvocevnih grejnih sistema.

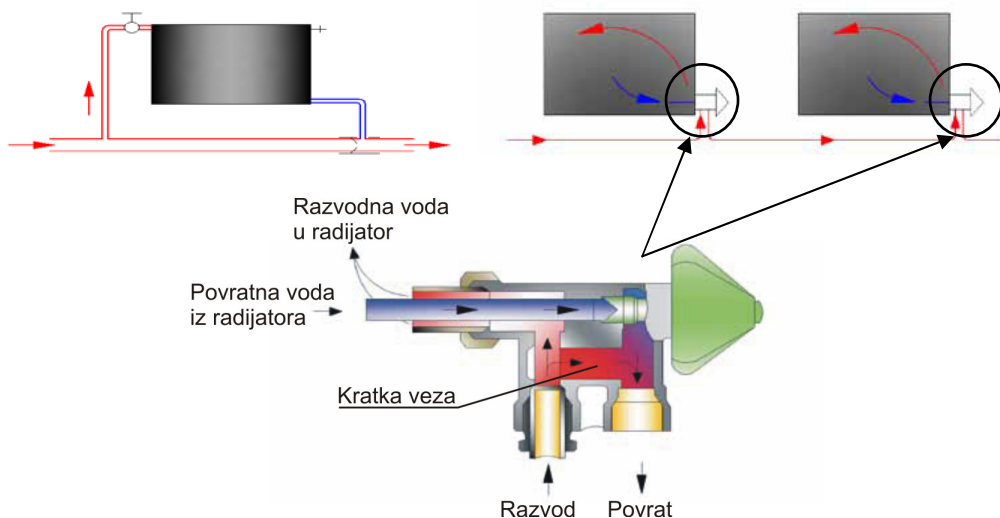
Prednosti jednocevnih sistema u odnosu na dvocevne:

- kraća cevna mreža (manja dužina cevovoda – niža cena),
- bolje i lakše uravnoteženje mreže (uregulisanje),
- jednostavnije merenje potrošnje toplote (pogotovo kod horizontalnih sistema).

Jednocevni sistemi bez razdeljivanja protoka kroz grejna tela i mrežu, i bez lokalne regulacije mogu se uvoditi kod manjih simetričnih sistema. Opciono je moguće postaviti regulacione ventile na vertikalama ili horizontalnim granama. Mana ovakvog sistema je loša lokalna regulacija zbog nepostojanja mogućnosti "razdeljivanja" protoka, već ukupan protok kroz vertikalnu, odnosno granu odgovara protoku kroz sva grejna tela. Jednocevni sistemi bez kratke veze kod nas nisu u primeni. Razdeljivanje protoka moguće je ostvariti drugačijim povezivanjem (slika 6.14 levo) ili postavljanjem kratke veze između razvodnog i povratnog priključka radijatora, što je, u novije vreme, obezbeđeno ugradnjom posebnih radijatorskih ventila za jednocevno grejanje (slika 6.14 desno). Na slici 6.15 dole prikazan je presek kroz radijatorski ventil za jednocevno grejanje.

Jednocevno grejanje je jako povoljno za primenu za etažno grejanje. Horizontalni jednocevni sistemi imaju znatno veću primenu od vertikalnih sistema. Kod horizontalnih sistema grejna tela se naizmenično vezuju formirajući horizontalne cirkulacione grane. Svaka grana zagreva po deo grejane površine

zgrade na jednom spratu, tako da ih na jednom nivou može biti i više. U ovakvom sistemu sa horizontalnim granama skraćuje se, u poređenju sa vertikalnim sistemima, dužina vertikalnog i horizontalnog dela. Broj vertikalnih deonica je manji. Vertikale za horizontalne grane se postavljaju u pomoćnim prostorijama zgrade (stepeništa, šahtovi). Horizontalne deonice se uglavnom vode kroz samu konstrukciju poda prostorija koje se greju (nisu vidno postavljene), pa se u prostoriji vide samo cevi priključaka radijatora.



Slika 6.14 Razdeljivanje protoka kroz grejno telo: načinom povezivanja (levo) i kratkom vezom uz pomoć ventila sa uronskom cevi (desno)

Primena jednocevnih sistema u velikim zgradama omogućava izdvajanje svakog stana (ili posebne zone jednog korisnika ili vlasnika) u poseban horizontalni cirkulacioni krug, čime je omogućeno jednostavno i precizno merenje utrošene toplote za grejanje. U razvijenim zemljama je već godinama praksa da se račun za grejanje (kod stanova i poslovnih prostora povezanih na sistem daljinskog grejanja) plaća prema stvarno potrošenoj količini toplote, a ne paušalno – prema površini stana.

Ukoliko na jednom spratu zgrade ima više stanova, postavlja se razvodni orman sa razdelnikom i sabirnikom, kako bi svaki stan imao svoj zaseban cirkulacioni krug. Razvodni orman predstavlja vezu između glavnih usponskih vodova i strujnih krugova stanova na posmatranom spratu zgrade. Merilo utrošene toplote – kalorimetar – postavlja se na ulazu cevi u svaki stan. Meri se protok vode, temperatura razvodne i temperatura povratne vode, pa se na osnovu toga dobija podatak o utrošenoj toploti za grejanje.

6.3 CENTRALNA I LOKALNA REGULACIJA TOPLOTNOG UČINKA

Tokom rada centralnih sistema grejanja, zbog promene klimatskih uticaja (prevashodno temperature spoljnog vazduha i brzine vetra) toplotne potrebe se stalno menjaju. Isporuka toplote iz kotla stalno mora da se prilagođava trenutnim toplotnim potrebama potrošača. Toplotne potrebe se menjaju i u toku dana i u toku grejne sezone. Postavlja se pitanje: Kako sistem centralnog grejanja treba da prati te potrebe?

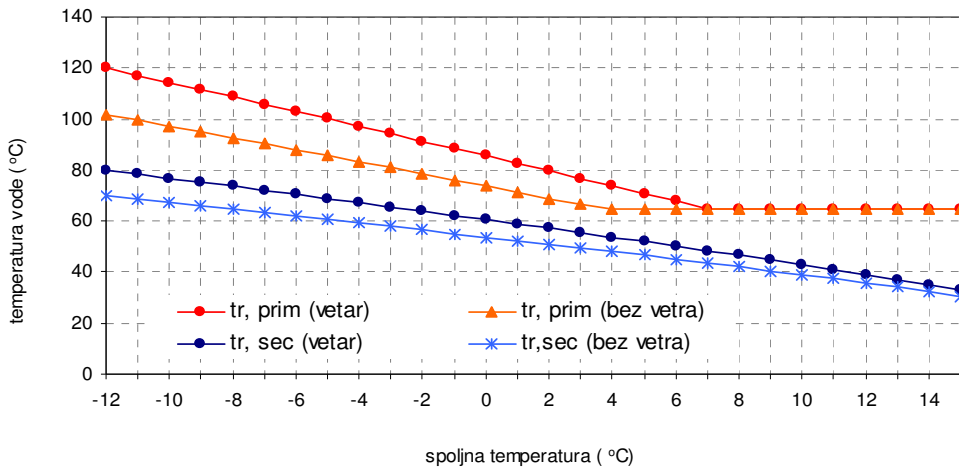
Usled dnevnih i godišnjih promena u potrebama za toplotom potrošača u sistemu daljinskog grejanja potrebno je uskladiti dinamiku isporuke toplote iz toplane. Centralna regulacija količine toplote koja se isporuči u jedinici vremena može se ostvariti na sledeće načine:

1. Promenom temperature razvodne vode, pri konstantnom protoku;
2. Promenom protoka vode, pri konstantnoj temperaturi razvoda;
3. Kombinovano, promenom oba parametra $\theta_r \neq \text{const}$ i $\dot{m} \neq \text{const}$.

Prvi način regulacije omogućava smanjenje isporučene količine toplote snižavanjem temperature razvodne i povratne vode, što je povoljno sa aspekta smanjenih gubitaka toplote u transportu (cevovodu). Osim toga, pri održavanju konstantnog protoka povoljna je raspodela toplote u sistemu (pod uslovom da je cevna mreža dobro izbalansirana) - svaki potrošač dobija onu količinu toplote koja mu je potrebna, u skladu sa trenutnim gubicima (Klizini dijagram promene temperature razvodne vode u funkciji spoljne temperature i vetra dat je na slici 6.15. Po ovom dijagramu vrši se centralna regulacija toplotnog učinka u Beogradskim elektranama). Nedostatak ovog načina regulacije je što kroz sistem cirkuliše nepotrebno velika količina vode tokom cele sezone, pa su veći troškovi za pogon cirkulacionih pumpi. Ovaj način regulacije se primenjuje kod nas i u velikom broju evropskih zemalja.

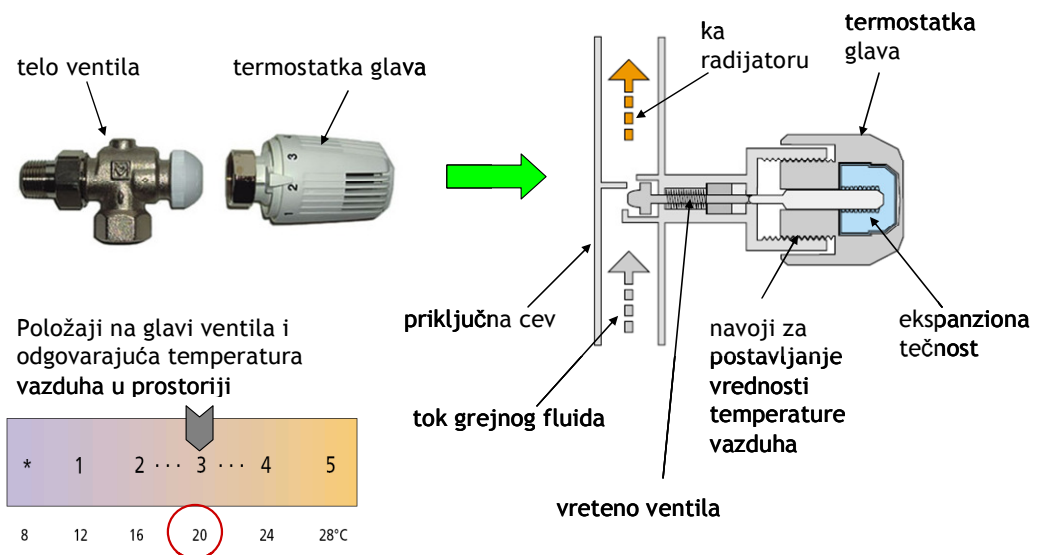
Smanjenjem protoka vode takođe je moguće ispratiti smanjenje toplotnog konzuma. Primenom ovog načina regulacije dolazi do smanjenja brzina strujanja cevovodu, pa je pad pritiska usled trenja i lokalnih otpora manji, što dovodi do manjeg napora pumpe i značajno manje potrošnje električne energije za pogon pumpi (električna snaga pumpe se menja sa trećim stepenom u odnosu na promenu protoka). S druge strane, nedostatak ovakvog načina regulacije su povećani gubici toplote u transportu.

Kombinovana regulacija promenom protoka i temperature razvodne vode je najpovoljniji način regulacije - nedostaci prva dva načina su umanjeni.



Slika 6.15 Klizni dijagram

Lokalna regulacija podrazumeva održavanje željene unutrašnje temperature vazduha u pojedinim prostorijama u zgradi. Zbog svojih međusobnih razlika u orijentaciji, nameni, broju ljudi koji u njima boravi i dobitaka toplote od osvetljenja i drugih električnih uređaja, prostorije koje se greju iz istog izvora toplote imaju različite potrebe za isporučenom toplotom. Kada ne postoji lokalna regulacija toplotnog učinka, prostorije orijentisane ka jugu i velikim dobitcima od unutrašnjih izvora se “pregrevaju”, pa korisnici često primenjuju “regulaciju” čestim provetravanjem otvaranjem prozora. Najčešći način primene lokalne regulacije je postavljanje sobnog termostata ili radijatorskih ventila sa termostatskim glavama. Na slici 6.16 je prikazan princip rada termostatskog radijatorskog ventila.



Slika 6.16 Radijatorski ventil sa termostatskom glavom - princip rada

Sobni termostati, slika 6.17, mogu da budu klasični bimetalni termostati ili pak elektronski, sa displejem za prikazivanje željene i stvarne temperature. Elektronski sobni termostati imaju mogućnost izbora 4 režima rada: komfori, stand by, noćni i režim zaštite od smrzavanja. Osim toga, mogu da imaju i mogućnost međusobne komunikacije i komunikacije sa centralnim sistemom. Na taj način, izbor režima rada može da se vrši lokalno, ali i iz centralnog sistema. Oni takođe mogu da budu i multifunkcijski, za jednovremeno upravljanje i drugih elektromašinskih instalacija u objektu.



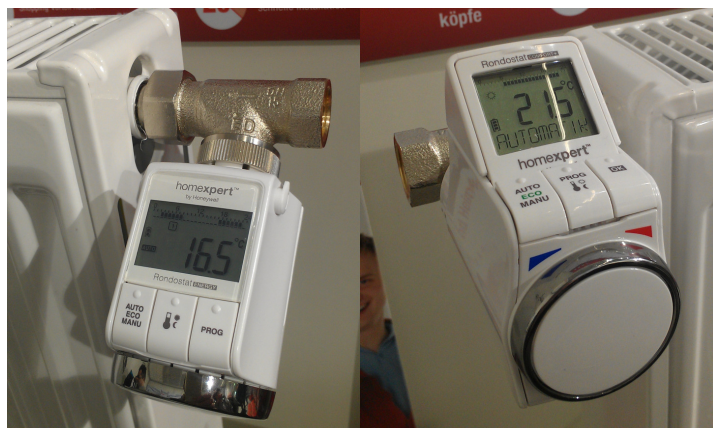
Slika 6.17 Različite vrste sobnih termostata

Kao izvršni organi, u kombinaciji sa sobnim termostatima se koriste pokretači upravljačkih ventila i to: ON/OFF termoelektrični izvršni elementi, proporcionalni izvršni elementi i motorizovani pogoni, slika 6.18.



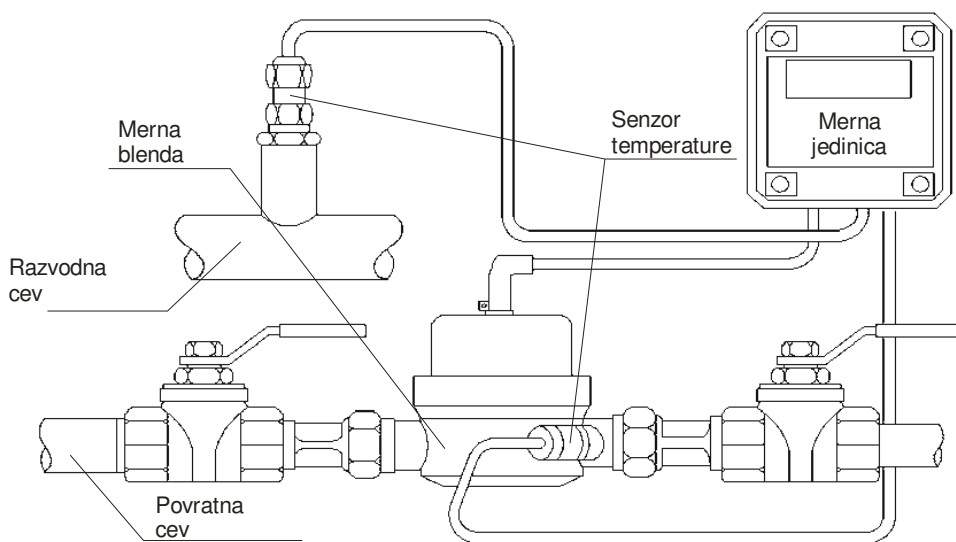
Slika 6.18 Pokretači upravljačkih ventila

Konačno, postoje elektronske termostatske glave (slika 6.19), gde su u jednom uređaju udružene funkcije programabilnog sobnog termostata i pokretača ventila.



Slika 6.19 Elektronske termostatske glave

Kako bi korišćenje energije za grejanje u sistemu bilo efikasno, neophodan preduslov je da postoji merenje utrošene toplote. Na taj način, korisnik ima mogućnost da prati potrošnju tokom određenog vremenskog perioda, kao i da koriguje svoje ponašanje, a u cilju racionalne potrošnje. Uređaj za merenje utroška toplote naziva se kalorimetar i šematski je prikazan na slici 6.20.



Slika 6.20 Kalorimetar za merenje potrošnje utrošene toplote za grejanje

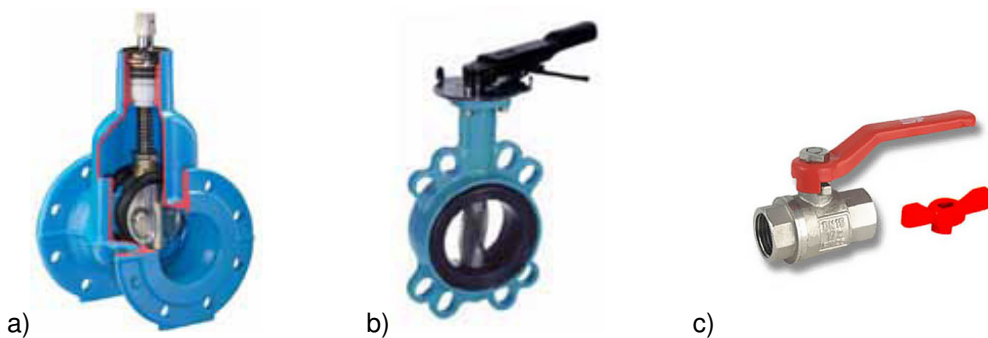
Uređaj se sastoji od merne jedinice, koja dobija podatke o temperaturi vode u razvodnom i povratnom vodu, preko odgovarajućih senzora, kao i podatak o trenutnom protoku vode, preko merne blende. Integraljenjem jednačine toplotnog protoka u vremenu, dobija se podatak o utrošenoj toploti.

6.4 ARMATURA U SISTEMIMA CENTRALNOG GREJANJA

U zavisnosti od funkcije koju treba da obavlja u sistemu, postoji sledeća podela armature:

- **zaporna** (ima funkciju ON/OFF, tj. postavlja se u položaj otvoreno/zatvoreno;
- **balansna** (ima funkciju pri balansiranju sistema prilikom puštanja u rad)
- **regulaciona** (ima funkciju regulacije toplotnog učinka tokom grejne sezone) i
- **sigurnosna** (ima zaštitnu funkciju – obično štiti elemente sistema od previsokog pritiska).

Zaporna armatura mogu biti različite vrste zasuna i slavina (slika 6.21)



Slika 6.21 Zaporna armatura: a) Zasun, b) leptir slavinu, c) kuglasta slavinu

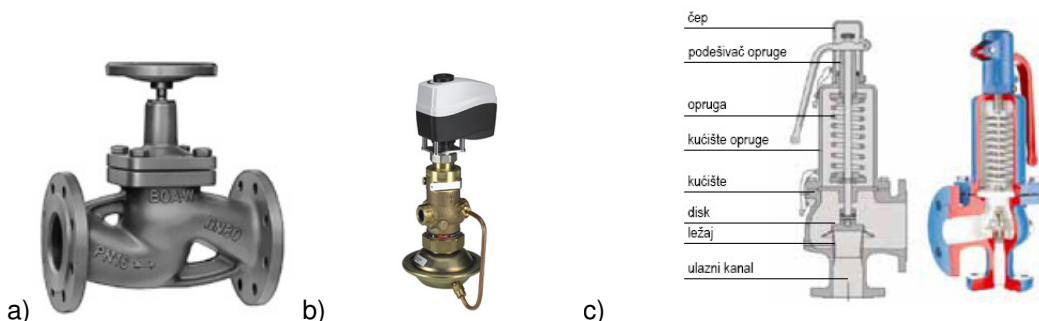
Balansna armatura su različite vrste ventila, najčešće sa kosim sedištem zbog opreza prigušenja koji se postužu (slika 6.22). To su ventili na kojima se preko priključaka za merni instrument može meriti protok i koji se može postaviti na projektnu vrednost.



Slika 6.22 Balansni ventili za regulaciju protoka

Regulaciona armatura ima ulogu podešavanja određenih parametara sistema na osnovu signala o uticajnoj izmerenoj veličini. Na primer, na osnovu izmerene temperature u razvodu i postavljene vrednosti u regulatoru, šalje se

signal pogonu ventila koji pokreće vreteno i po potrebi zatvara ili otvara ventil. Pogoni ventila mogu biti ručni, magnetni, pneumatski ili elektro-motorni.



Slika 6.23 Regulacioni ventili: a) ručni regulacioni ventil, b) regulator protoka sa motornim pogonom, c) sigurnosni ventil sa oprugom

6.5 SISTEMI ZA PRIPREMU SANITARNE TOPLE VODE

U zgradama namenjenim boravku i radu ljudi neophodan tehnički sistem, pored sistema grejanja, hlađenja, ventilacije i klimatizacije, jeste i sistem za pripremu sanitarne tople vode. U zavisnosti od namene zgrade razlikuje se i poreba za potrošnjom tople vode, što utiče i na izbor samog sistema. Osnovna podela ovih sistema, slično kao kod sistema grejanja i klimatizacije, jeste na lokalne i centralne sisteme. Ostale podele mogu se formirati u zavisnosti od načina pripreme – na protočne i akumulacione sisteme, zatim, u zavisnosti od vrste grejača – na sisteme sa električnim grejačima, toplovodnim ili parnim grejačima, i konačno, u zavisnosti od izvora snabdevanja toplotnom energijom – na sisteme koji koriste konvencijalna goriva i sisteme sa obnovljivim izvorima energije.

6.5.1 Konvencionalni sistemi za pripremu sanitarne tople vode

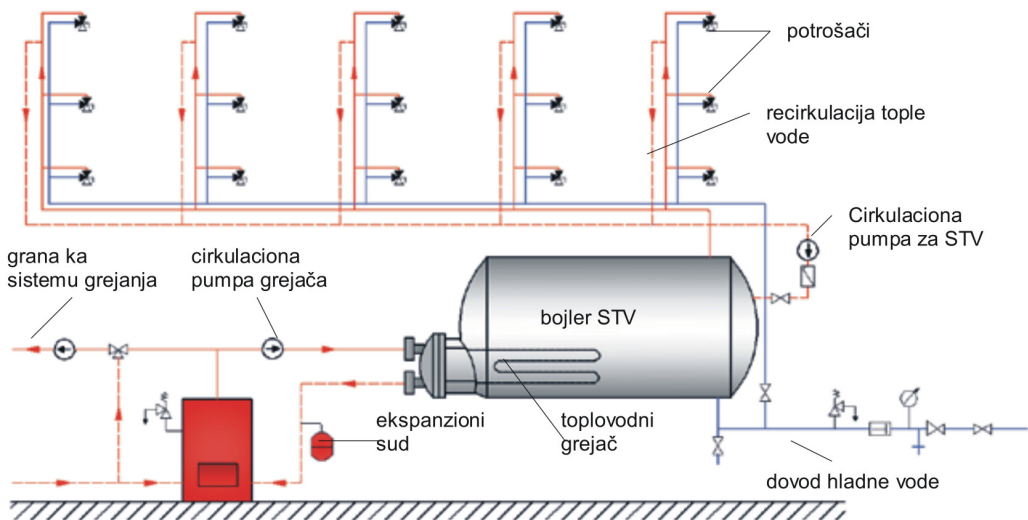
Zagrevanje sanitarne potrošne vode može se izvesti lokalnim (decentralizovanim) ili centralnim sistemima. Decentralizovano grejanje potrošne vode koristi se za pojedinačne potrošače, npr. za jedno potrošno mesto, pa se tu zbog niže potrošnje vode, a time i manjeg potrebnog toplotnog učinka za njeno grejanje, mogu koristiti protočni električni zagrejači vode. Ako se radi o grupi potrošača, mogu se koristiti protočni plinski grejači vode ili akumulacioni električni bojleri manje zapremine. Lokalni uređaji za pripremu sanitarne tople vode često su u primeni u stambenim zgradama sa manjim brojem stambenih jedinica.

Zagrejači vode mogu se izvesti kao protočni ili akumulacioni. Kod protočnog zagrejača njegov učinak treba biti takav da svu količinu vode koja se u određenom trenutku troši, može zagrejati na željenu temperaturu. Zbog potrebnih

većih učinaka primena ovih zagrejača češća je za manje, pojedinačne potrošače. Cevni grejač u protočnom uređaju treba da ima dovoljnu površinu da zagreje svu potrošnu vodu koja kroz njega protiče, dok sanitarna topla voda (STV) unutar omotača bojlera osigurava određenu akumulaciju, u zavisnosti od zapremine bojlera. Centralna priprema sanitarne tople vode protočnim grejačem uobičajena je u slučaju kad se koristi tzv. kombinovani gasni kotao, namenjen za grejanje i pripremu STV, koji ima dovoljan toplotni učinak da osigura grejanje potrošne vode i kod istovremenog rada više potrošača.

Akumulaciono zagrevanje koristi se za centralne sisteme, kod kojih je potrošnja veća i može se računati s faktorima istovremenosti potrošnje. Bojler kod manjih sistema može biti sastavni deo kotla. U bojleru može biti ugrađen cevni grejač ili kompletan bojler može biti uronjen u kotlovsku vodu, pri čemu se razmena toplote između kotlovske i potrošne vode odvija preko omotača bojlera.

U praksi je ipak češće zastupljen sistem centralne pripreme STV kod kojih se bojler (sa akumulacijom tople vode) ugrađuje nezavisno od kotla. Od kotla se vodi posebna grana namenjena grejaču STV, a posebne grane se vode ka drugim potrošačima toplote u zgradi (to mogu biti grejna tela, grejači u ventilacionim ili klima komorama, itd). Na slici 6.24 prikazana je šema centralnog sistema za zagrevanje sanitarne vode sa posebnim rezervoarom (bojlerom) za toplu vodu.



Slika 6.24 Centralni sistem pripreme potrošne tople vode s izdvojenim rezervoarom (bojlerom)

Centralni sistemi za pripremu potrošne vode smešteni su obično u kotlarnici ili toplotnoj podstanici. U sistemu centralnog snabdevanja toplotom je kotao (odnosno razmenjivač toplote, ukoliko se radi o sistemu daljinskog grejanja) namenjen i za zadovoljenje grjenog učinka za grejanje zgrade, pumpa grejača

STV, rezervoar tople vode (bojler sa grejačem), razvodni cevovodi tople i hladne vode sa sigurnosnom, zapornom i regulacionom armaturom, cirkulacioni cevovod tople vode s cirkulacionom pumpom. Kotao je najčešće toplovodni, a kao gorivo se mogu koristiti čvrsta, tečna ili gasovita goriva. Najčešće su u rezervoru (bojleru) tople vode nalazi i dodatni električni grejač, koji se koristi: za dogrevanje vode u ekstremnim periodima povećane potrošnje toplote i sanitarne vode, za rad sistema za pripremu STV tokom letnjeg perioda kada kotao ne radi i u režimu zaštite od legionele.

Cirkulaciona pumpa za STV ugrađuje se kako bi se na udaljenim mestima potrošnje osigurala topla voda odmah nakon otvaranja slavine. Nije poželjno da je cirkulaciona pumpa uvek uključena, pa se njeno uključivanje reguliše vremenskim programom u zavisnosti od potrošnje tople vode u zgradi, ili što je još bolje, na osnovu temperature vode na povratu recirkulacionog voda u bojler. Razvodni cevovodi tople vode i cirkulacioni cevovodi, po pravilu, treba da budu toplotno izolovani kako bi se sprečili gubici toplote u okolinu, kao i zbog obebeđivanja potrebne temperature potrošne vode na mestima potrošnje. Razvodni cevovodi hladne vode takođe treba da budu izolovani zbog sprečavanja smrzavanja vode, kao i zbog sprečavanja rošenja na cevima usled kondenzacije vlage iz prostora.

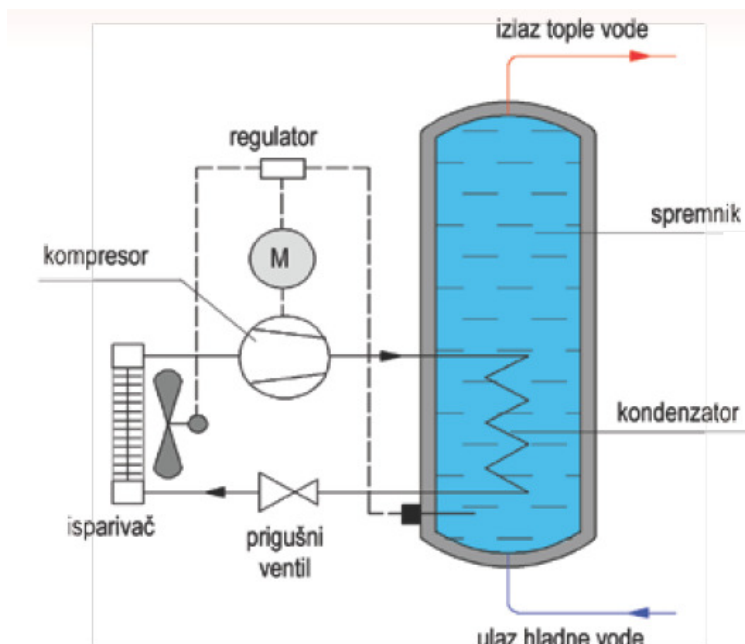
6.5.2 Nekonvencionalni sistemi za pripremu sanitarne tople vode

6.5.2.1 Toplotne pumpe za pripremu sanitarne vode

Za zagrevanje sanitarne vode mogu se koristiti i toplotne pumpe, kao nekonvencionalni izvor toplote. Njihovom primenom mogu se očekivati uštede na troškovima grejanja, s obzirom da kompresorske toplotne pumpe koriste toplotnu energiju iz okoline i uz utrošak mehaničkog rada, dobija se pogodna temperatura (koristi se toplota kondenzacije rashladnog fluida u toplotnoj pumpi) za grejanje. Izvedbe mogu biti raznovrsne, pa kondenzator toplotne pumpe može biti ugrađen u obliku cevnog grejača u samom bojleru sanitarne tople vode (slika 6.25) ili potrošna voda iz bojlera može pomoću pumpe cirkulisati kroz kondenzator toplotne pumpe.

Pri izboru toplotne pumpe za grejanje sanitarne tople vode, treba voditi računa o potrebi celogodišnjeg rada na vrlo promenljivim temperaturama toplotnog izvora (ako je to vazduh, temperatura može tokom godine varirati od oko -18°C pa do oko $+35^{\circ}\text{C}$). Iz toga razloga toplotna pumpa treba da bude posebno prilagođena takvom načinu rada. Pored toga, toplotne pumpe koje rade s jednostepenom kompresijom i danas uobičajenim rashladnim fluidima (najčešće freonima), mogu ostvariti temperature vode do oko 50°C , što nije dovoljno za obezbeđenje potrebne temperature vode u nekim slučajevima. Tada treba primeniti toplotne pumpe sa dvostepenom kompresijom ili toplotne pumpe koje

rade po transkritičnom procesu sa CO_2 i koje mogu postići značajno više temperature sanitarne vode.



Slika 6.25 Funkcionalna šema rada toplotne pumpe za pripremu STV

Za potrošnju energije važan je izbor temperature potrošne vode, koji zavisi ne samo od vrste potrošača, već je ograničen i uslovima zaštite od legionele. Legionele su bakterije koje izazivaju tzv. legionarsku bolest (jednu vrstu upale pluća), koja može biti smrtonosna. Legionele se razmnožavaju na temperaturama između 32°C i 42°C , a uništavaju se na temperaturama od oko 60°C do 70°C . U akumulacionim sistemima potrebno je barem na kratko, uglavnom u noćnom periodu postići takve temperature, kako bi došlo do uništavanja legionele (termička dezinfekcija). Termičku dezinfekciju potrebno je izvršiti jednom nedeljno u trajanju od oko sat vremena. To se obično može sprovesti vremenskim programom za rad sistema, tako što se, na primer, podesi povišenje temperature u rezervoaru na 70°C od 3 do 4h ujutro svake subote (ili nekog drugog dana u nedelji).

Moguća je i dezinfekcija ultraljubičastim zrakama. U centralnim sistemima moguće je ugrađenim dodatnim električnim grejačem povremeno zagrejati vodu na višu temperaturu.

6.5.2.2 Solarni sistemi za pripremu sanitarne vode

Solarni sistemi se generalno mogu podeliti na aktivne i pasivne. Pasivni solarni sistemi podrazumevaju da se ne koristi nikakav dodatni uređaj ili element u sistemu koji bi trošio dodatnu energiju za rad sistema. U pitanju su uglavnom

različita arhitektonsko-građevinska rešenja koja imaju ulogu boljeg prikupljanja Sunčeve energije, njene akumulacije i korišćenja u svrhu grejanja. U okviru ovog poglavlja pažnju ćemo posvetiti aktivnim solarnim sistemima.

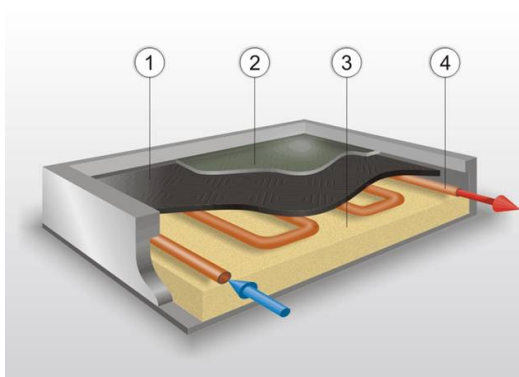
Osnovni uređaj aktivnog solarnog sistema je *prijemnik sunčeve energije (u daljem tekstu PSE)* ili, kako se još često naziva *solarni kolektor*. Po svojoj konstrukciji prijemnici može biti:

- ravan PSE,
- cevni ili
- parabolični.

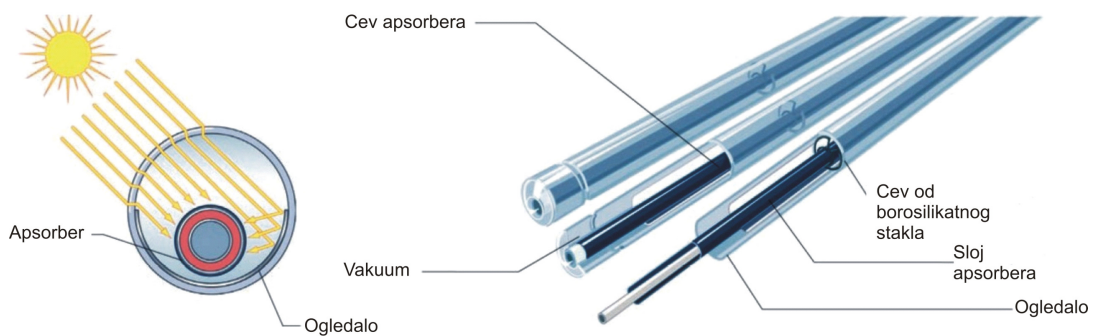
RAVAN PSE može imati različite konstrukcije, tehničke detalje i većina proizvođača ima patentom zaštićeno svoje tehničko rešenje. U principu, svi ravni PSE imaju iste osnovne elemente (slika 6.26), a to su kućište, prekrivka koja propušta Sunčevo zračenje, izolacija sa donje strane koja sprečava gubitke toplote i - apsorber, koji predstavlja srce uređaja.

Apsorber je element PSE koji ima ulogu intenzivnog apsorbovanja Sunčeve energije i provođenja toplote do radnog fluida. Izrađen je od specijalnih materijala ili prevučen selektivnim premazima koji pospešuju apsorpciju Sunčevih zraka. Obično je crne ili tamne boje. Kod ravnih PSE apsorber je izveden u obliku ploče u koju su utisnute cevi kroz koje protiče radni fluid. Radni fluid je često voda, a ako se sistem koristi kao zatvoren, sa posebnim strujnim krugom, radni fluid može biti i neki drugi fluid. Prekrivka je obično od specijalnog stakla, čija je uloga da propusti Sunčevo zračenje do apsorbera, spreči propuštenje infracrvenog (toplotnog) zračenja u okolinu i smanji gubitke toplote. Kao i kod apsorbera i za prekrivke postoje različita rešenja – izbor vrste stakla (obično silikatna stakla), broj slojeva, itd. Termička izolacija se postavlja sa tamne strane (na poledini) PSE, kako bi se sprečilo odavanje toplote sa apsorbera ka okolini i smanjili gubici toplote.

CEVNI PSE se sastoje od staklenih cevi u kojima se nalaze uski metalni apsorberi (slika 6.27). Prostor između staklene cevi i apsorbera je obično vakuumiran – izvučen je vazduh. Na taj način je sprečeno odavanje toplote konvektivnim putem. Sa donje strane cevi, ispod apsorbera postavlja se visokoreflektujuća folija (ogledalo) koja omogućuje refleksiju Sunčevih zraka i njihovo dospevanje do apsorbera, čime se povećava efikasnost prijemnika. Step en korisnosti cevni h PSE je veći nego kod ravnih, ali je i cena znatno viša.



1 – Apсорber; 2 – Prekrivka; 3 – Izolacija; 4 – Bakarna cev
Slika 6.26 Ravan prijemnik Sunčeve energije



Slika 6.27 Cevni prijemnik Sunčeve energije

Termička efikasnosti prijemnik a Sunčeve energije određuje se kao:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{I \cdot A}, \quad (6.25)$$

dge su:

\dot{Q}_k - korisno predata toplota radnom fluidu (W),

I - dozračeni intenzitet ukupnog Sunčevog zračenja (W/m^2),

A - površina prijemnika Sunčeve energije (m^2).

Prijemnici Sunčeve energije se obično postavljaju na krov zgrade (bilo da je krov ravan ili kos), ali se mogu postaviti i na drugim dostupnim mestima – terase, dvorišta, itd. Ugao nagiba pod kojim se postavlja PSE zavisi od geografske širine i perioda korišćenja solarnog sistema (tokom leta ili tokom cele godine). U svakom slučaju se teži da se PSE postavi tako da upadni zraci Sunca sa površinom prijemnika zaklapaju ugao od 90° veći deo vremena. Obično su orijentisani ka jugu, jer je tada najveći stepen iskorišćenja Sunčevog zračenja. Ukoliko se sistem koristi cele godine, ugao nagiba kolektora se može promeniti u zavisnosti od sezone.

AKTIVNI SOLARNI SISTEMI

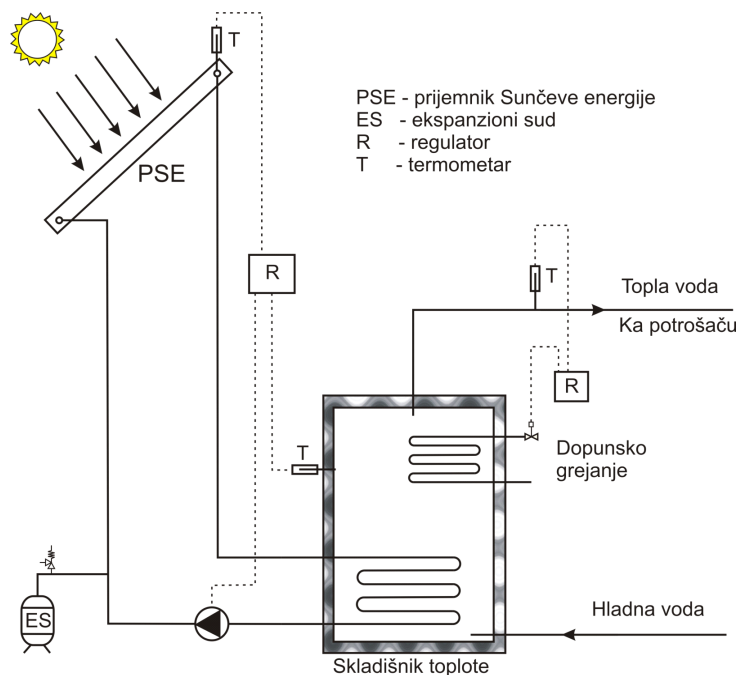
Za naše klimatsko podneblje solarni sistemi se uglavnom koriste za pripremu tople sanitarne vode. Kada su u pitanju sistemi grejanja, veoma je teško izvesti solarni sistem koji može da pokriva gubitke toplote tokom cele grejne sezone bez nekog dopunskog izvora toplote. Postoji i varijanta sprege solarnih kolektora i toplotne pumpe, kada se mogu dobiti nešto više temperature grejnog fluida, ali je i u tom slučaju potreban dodatni izvor toplote – u periodima jako malih intenziteta zračenja Sunca i veoma niskih temperatura spoljnog vazduha. U nastavku će biti reči o nekoliko najčešće primenjivanih solarnih sistema. Solarni sistemi za pripremu STV mogu biti sa prirodnom ili prinudnom cirkulacijom vode, i mogu biti direktni i indirektni.

Često su potrebe za sanitarnom toplom vodom nepredvidive, stohastički se menjaju u vremenu, pogotovo kada su u pitanju komercijalni i poslovni objekti. Tada se može desiti da se u određenom trenutku jave veće potrebe za toplom vodom od onih koje može da obezbedi solarni sistem. U tim slučajevima se postavlja dodatni izvor za grejanje STV, koji može biti električni grejač ili toplovodni (što je slučaj kod sistema koji rade preko cele godine).

Na slici 6.28 prikazana je šema solarnog sistema sa jednim rezervoarom i dopunskim grejanjem.

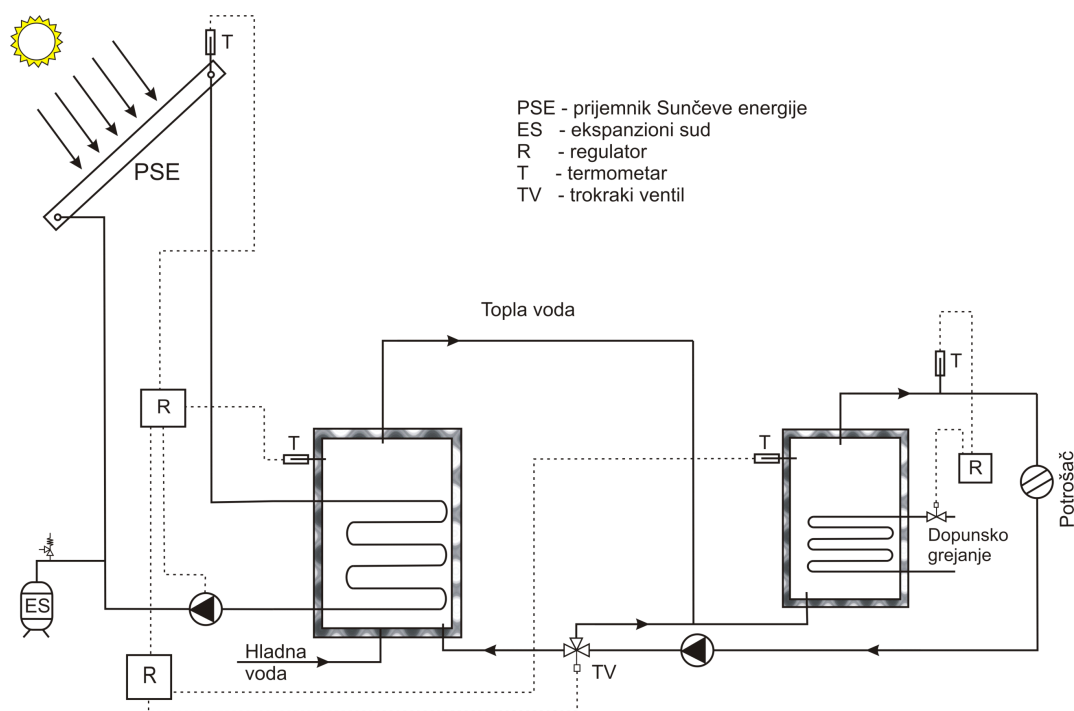
Regulator koji dobija signale o temperaturi radnog fluida i vode u rezervoaru šalje impuls za uključivanje, tj. isključivanje cirkulacione pumpe primarnog kruga. Sa druge strane, meri se temperatura potrošne tople vode koja ide ka potrošačima; ukoliko se temperatura STV snizi ispod dozvoljene, regulator

koji prima signal o ovoj vrednosti temperature, šalje impuls za uključivanje dodatnog izvora za grejanje vode u rezervoaru. Kada temperatura STV poraste, regulator isključuje dodatni izvor toplote.



Slika 6.28 Indirektni sistem sa PSE i jednim skladišnikom toplote i dopunskim izvorom za grejanje

Na slici 6.29 prikazan je solarni sistem sa dva rezervoara tople vode. Kod ovakvog sistema, kada postoji više različitih potrošača toplote, u prvom rezervoaru se vrši zagrevanje vode solarnim sistemom. Temperatura vode u prvom rezervoaru zavisi od dozračenog intenziteta Sunčeve energije i regulator na osnovu signala o vrednostima temperatura radnog fluida i vode u rezervoaru održava ovu temperaturu na maksimalnom nivou. Zagrejana voda iz prvog rezervoara se transportuje u drugi, odakle ide direktno ka potrošačima. U drugom rezervoaru se nalazi dodatni izvor za grejanje. Usled oscilacija u potrošnji tople vode i raspoložive Sunčeve energije za grejanje, dolazi do oscilacija u vrednostima temperatura vode u rezervoarima. Ukoliko je temperatura u prvom rezervoaru niska, trokraki ventil će otvoriti gornji krak i cirkulacija vode će se odvijati u cirkulacionom krugu drugog rezervoara. Suprotno tome, trokraki ventil će otvoriti krak ka prvom rezervoaru, šaljući ohlađenu vodu na dogrevanje pomoću PSE. Ovakav sistem je ekonomičniji od sistema sa jednim rezervoarom.



Slika 6.29 Sistem sa PSE i dva skladišnika toplote

6.5.3 Projektni uslovi i dinamika potrošnje STV

Kod projektovanje centralnih sistema za pripremu sanitarne tople vode, važno je poznavati njenu ukupnu potrošnju, kao i dnevnu dinamiku potrošnje. Vrednosti potrošnje i temperatura za različite potrošače prikazane su u tabelama 6.1, 6.2 i 6.3.

Tabela 6.1 Potrošnja i temperatura STV za različite zgrade

Zgrada	Potrebna količina vode	Temperatura vode [°C]
Bolnica	100 - 300 l/dnevno krevet	60
Kasarna	30 - 50 l/dnevno osoba	45
Poslovna zgrada	10 - 40 l/dnevno osoba	45
Spa centar/banjско lečilište	200 - 400 l/dnevno osoba	45
Robna kuća	10 - 40 l/dnevno osoba	45
Škola bez tuševa	5 - 15 l/dnevno učenik	45
Škola s tuševima	30 - 50 l/dnevno učenik	45
Sportski tereni s tuševima	50 - 70 l/dnevno osoba	45
Frizerski salon	150 - 200 l/dnevno osoba	45
Perionica veša	250 - 300 l/100 kg veša	75

Tabela 6.2 Potrošnja i temperatura STV za ugostiteljske objekte

Potrošno mesto	Dnevna potrošnja po osobi [l/dnevno]	
	60 °C	45 °C
Restorani po gostu	8 – 20	12 - 30
Hoteli - sobe s kupatilom i kadom	100 – 150	140 - 220
Hoteli - sobe s tušem	50 -100	70 - 120
Hoteli - sobe s umivaonikom	10 – 15	15 - 20
Odmarališta i pansioni	25 – 50	35 - 70

Tabela 6.3 Potrošnja i temperatura STV za stambene zgrade

Potrošno mesto	Količina pri jednom uzimanju [l]	Temperatura vode [°C]	Trajanje [min]
Ispusni ventil			
DN10 poluotvoren	5	40	1
DN10 potpuno otvoren	10	40	1
DN15 poluotvoren	10	40	1
DN15 potpuno otvoren	18	40	1
DN20 poluotvoren	25	40	1
DN20 potpuno otvoren	45	40	1
Sudopera			
jednodelna	30	55	5
dvodelna	50	55	5
Umivaonik			
samo pranje ruku	5	35	1.5
umivaonik, mali	10	35	2
umivaonik jednodelni	15	40	3
umivaonik dvodelni	25	40	3
Kada za kupanje			
mala (100)	100	40	15
srednja (160)	150	40	15
velika (180)	250	40	20
Tuširanje	50	40	6
Kada za sedenje	50	40	5
Bide	25	40	8
Ukupna dnevna potrošnja za domaćinstva			
Manji zahtevi		10 - 20 l/dnevno osoba	
Srednji zahtevi		20 - 40 l/dnevno osoba	
Veliki zahtevi		40 - 80 l/dnevno osoba	

Prema Pravilniku o energetskej efikasnosti zgrada, prilikom proračuna potrebne finalne energije za pripremu STV, kada se primenjuje pojednostavljeni

sezonski ili mesečni metod proračuna, potrebna toplota za pripremu STV može se usvojiti iz tabele date u prilogu 6, a u zavisnosti od kategorije zgrade. Preporučene vrednosti date su i u ovom priručniku, u tabeli 3.9.

Godišnja potrebna energija za pripremu STV se izračunava preko jednačine, a prema standardu SRPS EN 15316, što je već prikazano u ovom priručniku, u tabeli 3.18.

Naravno, ne koristi se voda na svim potrošnim mestima istovremeno, pa je potreban učinak za koji se projektuju centralni sistemi za pripremu sanitarne tople vode manji. Zato se u obzir uzima faktor jednovremenosti koji zavisi od broja potrošača povezanih na zajednički centralni sistem. Pretpostavlja se da je dnevna potrošnja vode ograničena na razdoblje od z_A sati, pri čemu je realna pretpostavka da ova vrednost varira $z_A = 0,5 - 2,5$ h. U tabeli 6.4 date su vrednosti faktora jednovremenosti u zavisnosti od broja stanova, kao i potrebni kapaciteti kotlova i zapremine rezervoara (bojlera) za toplu vodu.

Tabela 6.4 Vrednosti faktora jednovremenosti, kapaciteti kotla i veličina bojlera

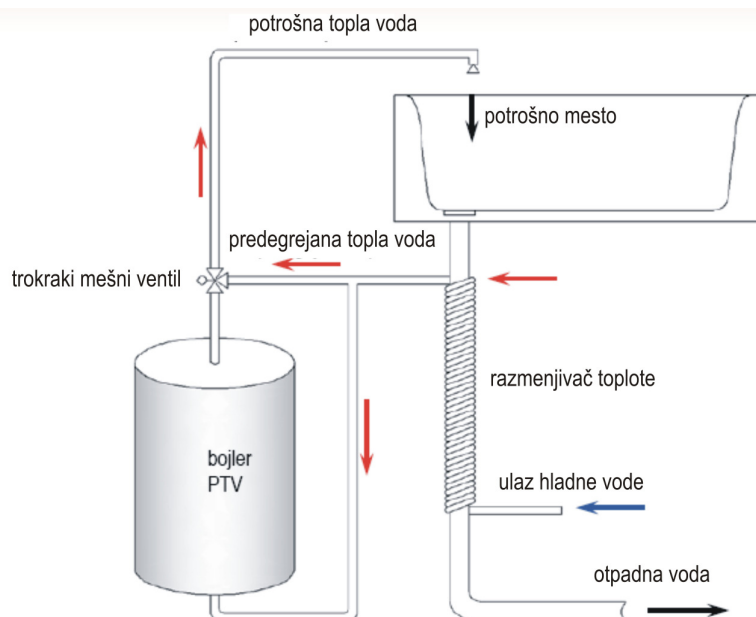
Broj stanova	Faktor jednovremenosti	Kapacitet kotla Q _k [kW] pri z _A [h]			Veličina bojlera Vs [m ³] za z _A [h]					
					0,5		1		2,5	
					θ _w – θ _o [K]					
n		0,5	1	2,5	30	50	30	50	30	50
1	1,15	14	12	8	200	150	350	200	600	350
2	0,86	21	17	12	300	200	500	300	900	500
4	0,65	31	26	7	450	300	750	450	1200	750
6	0,56	40	34	22	600	400	1000	600	1600	950
8	0,50	48	40	27	700	450	1150	700	2000	1200
10	0,47	56	47	31	800	500	1350	800	2200	1400
12	0,47	68	57	38	1000	600	1650	1000	2700	1600
15	0,44	79	66	44	1150	700	1900	1150	3200	1900
18	0,42	91	78	50	1300	800	2300	1350	3600	2200
20	0,40	96	80	53	1400	850	2400	1400	3800	2300
25	0,38	114	95	63	1600	1000	2700	1700	4500	2700
30	0,36	130	108	72	1900	1200	3100	1900	5200	3100
36	0,36	151	127	84	2200	1300	3600	2200	6000	3600
50	0,32	192	161	106	2800	1700	4600	2800	7600	4600
60	0,31	223	187	124	3200	2000	5400	3200	8900	5300
80	0,29	278	233	155	4000	2400	6700	4000	11100	6700
100	0,28	336	281	186	4800	2900	7100	4800	13300	8000
120	0,27	389	326	215	5600	3400	9400	5600	15400	9300
150	0,26	468	392	260	6700	4100	11300	6700	18600	11200
200	0,25	600	502	333	8600	5200	14400	8600	23900	14300

Zapremina bojlera za pripremu potrošne tople vode značajna je i za potrošnju energije. Suviše mala zapremina bojlera za potrošnu vodu često se u

korišćenju kompenzuje povišenjem temperature vode, kako bi se mešanjem sa hladnom vodom na mestu potrošnje došlo do željene temperature, a predviđena akumulacija zadovoljila kapacitetom. Povišena temperatura vode ima za posledicu veće toplotne gubitke u bojleru i mreži, gubitke vode vezane za ostvarenje željene temperature na potrošaču mešanjem (veće kod primene dvoručnih nego kod primene jednoručnih slavina) i u nepovoljnim rasponima temperature povećano taloženje kamenca u bojleru i na grejnim površinama grejača. Za potrošnju energije takođe je važno osigurati merenje potrošnje sanitarne tople vode. Praćenjem potrošnje mogu se utvrditi odstupanja od uobičajenih vrednosti ili neracionalno trošenje, a uz dodatno merenje temperature i udeo toplote za pripremu sanitarne tople vode u energetsom bilansu zgrade.

6.5.4 Korišćenje otpadne toplote sanitarne vode

Oko 80% toplote utrošene za pripremu sanitarne tople vode neiskorišćeno odlazi u kanalizaciju. Ako se odvodi vode iz kada, tuševa i umivaonika izvedu odvojeno od fekalne kanalizacije, moguće je ostvariti povraćaj toplote otpadne vode od umivanja i tuševa, kao što je prikazano na slici 6.30. To je prikladno projektovati i izvoditi za veće potrošače (npr. hoteli, velike stambene zgrade i sl.), a instalacija ovakvih uređaja jeftinija je u novogradnjama nego što je to slučaj za postojeće zgrade. Važno je da sistem bude izveden tako da osigurava pouzdan rad imajući u vidu da otpadna voda sadrži nečistoće i masnoću.



Slika 6.30 Sistem za povraćaj otpadne toplote sanitarne vode

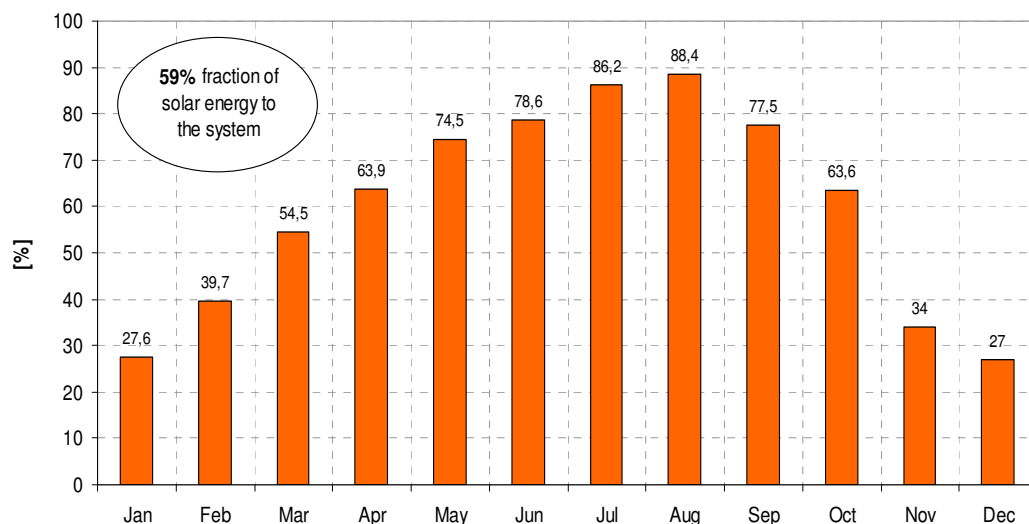
6.6 PRIMER PRIMENE SOLARNOG SISTEMA ZA PRIPREMU STV

Zgrada koja se koristi u ovom primeru je novo projektovana zgrada u centru Beograda. U pitanju je stambeno poslovni objekat neto korisne površine grejanog prostora od 494 m².

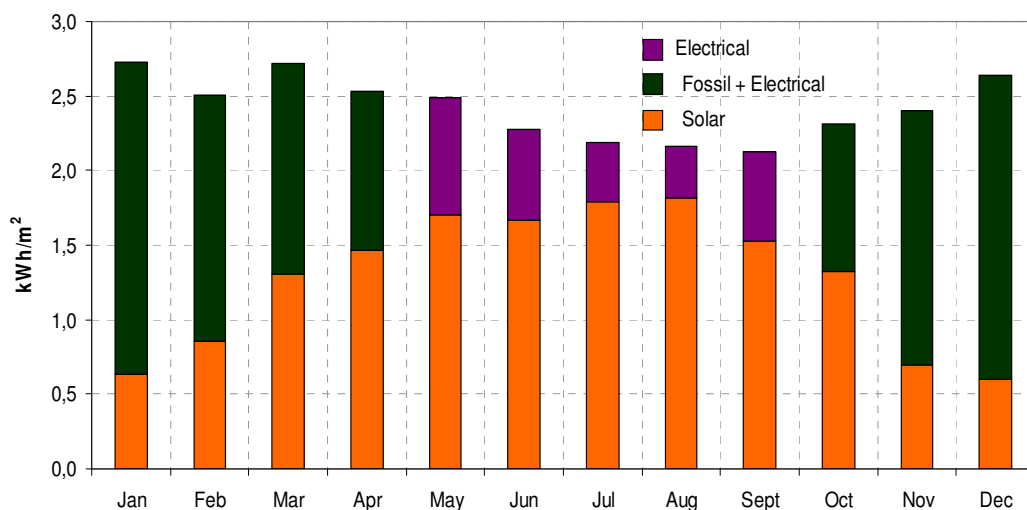
Umesto individualnih električnih bojlera za pripremu STV predviđen je kombinovani solarni sistem sa dodatnim električnim i toplovodnim grejačem. Tokom zimskog perioda, kao dopunski izvor koristi se toplovodni grejač, dok se tokom letnjeg perioda za dogrevanje koristi električni grejač. Prijemnici solarne energije smeđeni su na krovu zgrade i zauzimaju površinu od 31 m². Korišćeni su ravni PSE ukupnog efikasnosti 78,5%.

Na slici 6.31 prikazan je dijagram koji pokazuje udeo pokrivanja ukupnih potreba potrošača STV iz solarnog sistema tokom godine za projektne uslove, dok je na slici 6.32 prikazan odnos količine toplote potrebne za pripremu STV iz različitih izvora tokom godine.

Sa dijagrama se vidi da tokom letnjih meseci sistem pokriva oko 88% potreba za toplom vodom. Na ovaj način se izbegava predimenzionisanje sistema, kao i režimi u kojima može doći do pregrevanja, kada je potrebno rasterećenje sistema. U realnim uslovima eksploatacije sistema, u zavisnosti od broja sunčanih sati tokom dana i potrošnje tople vode, javiće se periodi kada sistem može da zadovolji 100% potreba za toplom vodom. Čak i u najhladnijim zimskim mesecima, solarni sistem nadoknađuje preko četvrtine potreba za zagrevanjem sanitarne vode. Tokom godine, ovako projektovan solarni sistem može pokriti 59% potrebne toplote za zagrevanje STV.



Slika 6.31 Udeo solarnog sistema u pripremi STV tokom 12 meseci



Slika 6.32 Odnos udela u pripremi STV iz različitih izvora

Poređenjem potrebne primarne energije potrebne za rad centralnog sistema za pripremu STV u odnosu na lokalnu pripremu sa električnim bojlerima, dolazi se do podatka o uštedi od 78%, odnosno smanjenje potrebe za primarnom energijom sa 64 kWh/m²a na svega 14 kWh/m²a. Period otplate ovakve investicije za primenu na novoprojektovanim zgradama kreće se od 1,7 do 3 godine, što pokazuje veoma dobru ekonomsku opravdanost primene solarnih sistema.

7 SISTEMI HLAĐENJA, VENTILACIJE I KLIMATIZACIJE

7.1 RASHLADNI UREĐAJI

Zadatak mašina za hlađenje jeste da ohlade izvesna tela ili predmete do temperature niže od temperature okoline i da ih na toj temperaturi održavaju.

Hlađenjem se naziva proces pri kome se od nekog tela (*hlađeni objekat*) odvodi toplota i predaje nekom drugom telu (*toplotni ponor*). Ako se pri tome hlađenom objektu ne dovodi tehnički rad, njegova entalpija će opadati, a kada nema ni promene faze⁴ opadaće i njegova temperatura.

Toplota odvedena od hlađenog tela naziva se *toplotom hlađenja* (J ili kJ), a odvedena toplota hlađenja u jedinici vremena naziva se *rashladnim učinkom* (W ili kW).

Pošto se trajno hlađenje može obezbediti jedino ponorom beskonačnog toplotnog kapaciteta, najpre će biti razmotren slučaj kada je *okolina* toplotni ponor. Ako je temperatura θ_h hlađenog objekta viša od temperature θ_{ok} okoline proces se može odvijati spontano (sam od sebe), tj. bez utroška rada i bez ikakvih promena na telima van sistema hlađeni objekat - okolina (toplotni ponor). Takvo hlađenje naziva se *prirodnim hlađenjem*; kako se ono odvija samo od sebe, ono se jedino može ubrzavati (intenziviranjem razmene toplote) ili usporavati (npr. postavljanjem toplotne izolacije između hlađenog objekta i toplotnog ponora).

Međutim, kada je $\theta_h < \theta_{ok}$, iz iskustva je poznato da hlađenje ne može biti spontano, tj. ne može se odvijati samo od sebe⁵, već se mora uključiti u neki pogodan *kompensacioni proces*.

Kada kompensacioni proces obavlja neka radna materija, prelaz toplote sa izvora niže na ponor više temperature se može trajno (neprekidno) odvijati jedino ako se ta radna materija periodički vraća u početno stanje, tj. ako mašina obavlja kružni kompensacioni proces.

Kompensacioni proces je najčešće neki od klasičnih levokretnih kružnih procesa (levokretnih ciklusa) sa utroškom mehaničkog rada. Po takvim ciklusima rade tzv. kompresorske mašine; one prema vrsti radne materije mogu biti gasne (kada radna materija tokom kružnog procesa ne menja agregatno stanje) ili parne kompresorske mašine (čiji se ciklus najvećim delom odvija u području vlažne pare). Ako se u kompensacionom procesu koristi toplota, rashladna mašina radi po nekom kombinovanom (integrisanom) ciklusu, koji u stvari predstavlja spregu desnokretnog i levokretnog ciklusa. Po kombinovanim ciklusima rade ejektorske i sorpcione mašine.

⁴ Ако не настаје кондензација, односно десублимација или очвршћавање (залеђивање).

⁵ Ова искуствена спознаја представља један од исказа II закона Термодинамике.

Kao kompenzacioni proces se može iskoristiti i otvoreni proces kod koga se smanjenje entropije hlađenog objekta usled odvođenja toplote u potpunosti kompenzuje porastom entropije usled trajne promene fizičkog stanja i/ili hemijske strukture neke materije (tzv. rashladne smese). Pošto je za odvijanje otvorenog procesa potrebno potrošiti određene količine takve rashladne materije, otvoreni procesi se još nazivaju i potrošnim procesima.

Razmatranja slična prethodnim se mogu sprovesti i kada nekom telu (*grejani objekat*) treba dovoditi toplotu iz nekog izvora toplote. Ako je temperatura izvora viša od temperature grejanog objekta, proces grejanja se odvija spontano, tj. sam od sebe; takvo je npr. tradicionalno grejanje kada su toplotni izvor produkti sagorevanja fosilnih goriva ili biomase.

Međutim, ako se za grejanje želi koristiti termodinamički bezvredna toplota iz okoline, pri čemu je temperatura grejanog objekta viša od temperature okoline, u takvo grejanje se mora uključiti u neki pogodan kompenzacioni proces (npr. levokretni) sa utroškom rada. Uređaji pomoću kojih se to ostvaruje nazivaju se *toplotnim pumpama*.

Dakle, sve toplotne mašine koje rade po nekom levokretnom ciklusu odvođe toplotu (*rashladni učinak*) od izvora niže temperature i predaju toplotu (*grejni učinak*) ponoru više temperature ($T_G > T_H$).

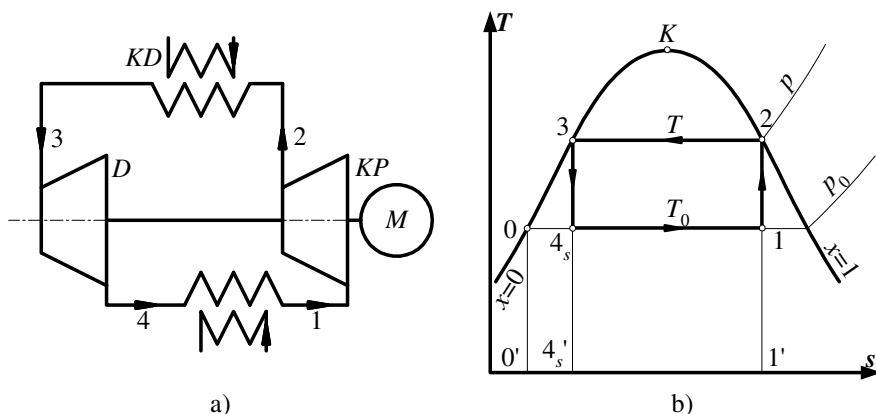
Ako je pri tome ponor okolina ($T_G = T_{ok}$), njoj se predaje termodinamički bezvredna toplota, pa po rashladnom učinku Φ_H , koji je jedino koristan, mašina se naziva rashladnom mašinom, a izvor hlađenim objektom.

Analogno tome, ako je izvor okolina ($T_H = T_{ok}$), od nje se uzima termodinamički bezvredna toplota, koristan je grejni učinak i mašina se po njemu naziva *toplotnom pumpom*, a ponor *grejanim objektom*.

7.1.1 Levokretni procesi sa utroškom rada

Levokretni ciklusi sa utroškom rada su kompenzacioni procesi koji omogućavaju trajno prebacivanje toplote iz izvora niže u ponor više temperature. Kada su i izvor i ponor beskonačnih toplotnih kapaciteta, promene stanja izvora i ponora su izotermске. Povratan ciklus u tom slučaju može biti levokretni ciklus Carnot koji sačinjavaju dve izentrope i dve izoterme.

Procese izotermškog dovođenja odnosno odvođenja toplote levokretnog ciklusa *Carnot* je relativno lako ostvariti kada se radi o vlažnoj pari jednokomponentne radne materije. Tada se ti procesi poklapaju sa izobarskim procesima isparavanja, odnosno kondenzacije. Šema parne kompresorske mašine koja radi po levokretnom ciklusu *Carnot* i ciklus u $T-s$ dijagramu prikazani su na sl. 7.1.a i sl. 7.1.b; mašina se sastoji od kompresora (proces 1-2), kondenzatora (proces 2-3), ekspanzione mašine (proces 3-4) i isparivača (proces 4-1).



Sl. 7.1. Parna kompresorska mašina koja radi po ciklusu Carnot:
a) šema (KP - kompresor; KD - kondenzator; D – detander; R - isparivač); b) T-s
dijagram

Po definiciji, koeficijent hlađenja rashladnog ciklusa je

$$\varepsilon_h(EER) = \frac{q_0}{w} = \frac{q_0}{w_c - w_d} = \frac{q_0}{q - q_0} \quad (7.1)$$

i predstavlja toplotu hlađenja (odvedenu od hlađenog objekta) po jedinici utrošenog rada.

Iako nema problema pri izotermskoj razmeni toplote ciklus **Carnot** sa vlažnom parom nije pogodan za praktičnu primenu jer ima tehničkih problema pri sabijanju i ekspanziji. Zato se ciklus tehnički pojednostavljuje na sledeći način:

1) detander se zamenjuje neuporedivo jevtinijim prigušnim ventilom, tj. izentropska ekspanzija se zamenjuje adijabatskim prigušivanjem (sl. 7.2); pošto je to izentalpski proces ($h = \text{const}$) biće $h_3 = h_4 > h_{4s}$;

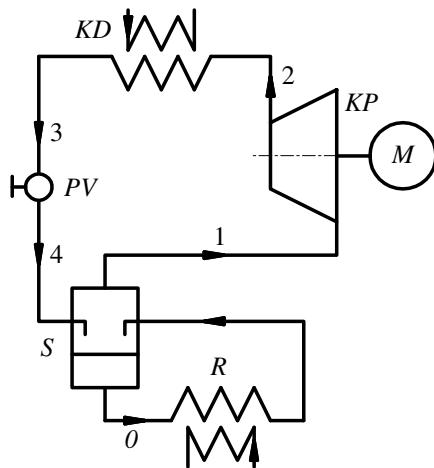
2) da bi se izbegli problemi usled usisavanja vlažne pare uvodi se tzv. *suvo usisavanje*; tj. *kompresor usisava suvozasićenu paru* stanja 1 (sl. 7.2b), koja, nakon izentropskog sabijanja, u kondenzator ulazi kao *pregrejana para* stanja 2, kondenzuje se i u prigušni ventil ulazi kao *ključala tečnost* stanja 3; posle adijabatskog prigušivanja iz prigušnog ventila izlazi *vlažna para* stanja 4.

Opisani ciklus sa prigušivanjem i suvim usisavanjem pri umerenim razlikama temperature kondenzacije i isparavanja je tehnički izvodljiv i često ima prihvatljiv koeficijent hlađenja. Stoga se on koristi i kao *uporedni ciklus* sa čijim se koeficijentom hlađenja upoređuju koeficijenti hlađenja drugih modifikovanih ciklusa.

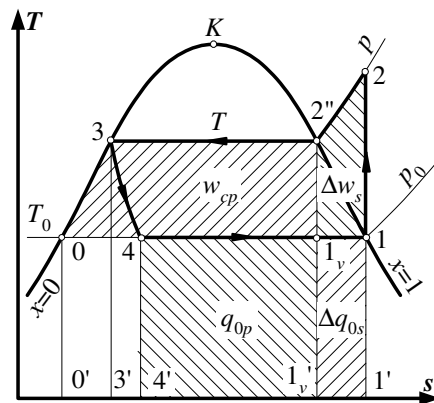
Sa porastom razlike između temperatura kondenzacije i isparavanja dolaze sve više do izražaja osnovni nedostaci uporednog ciklusa (*prigušivanje i razmena toplote pri konačnim razlikama temperature kod hlađenja pregrejane pare u kondenzatoru, padovi pritiska pri strujanju rashladnog fluida. itd*). pa se primenjuju

određene mere u cilju povećanja koeficijenta hlađenja. One se mogu svrstati u tri kategorije:

- prehlađivanje kondenzata;
- višestepeno prigušivanje;
- višestepeno sabijanje sa međuhlađenjem.

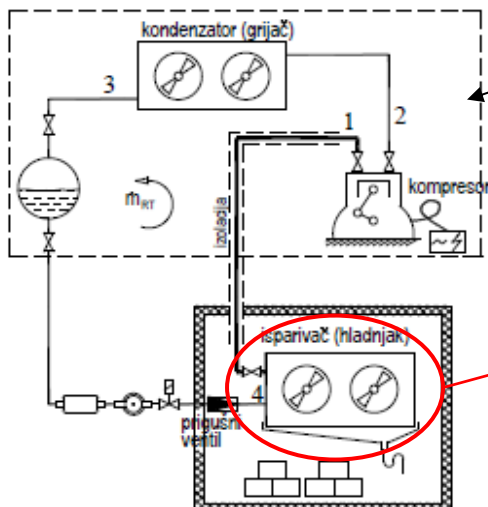


a)



b)

Sl. 7.2 Parna kompresorska mašina sa prigušnim ventilom i suvim usisavanjem: a) šema mašine (S - separator); b) ciklus u „T-s“ dijagramu

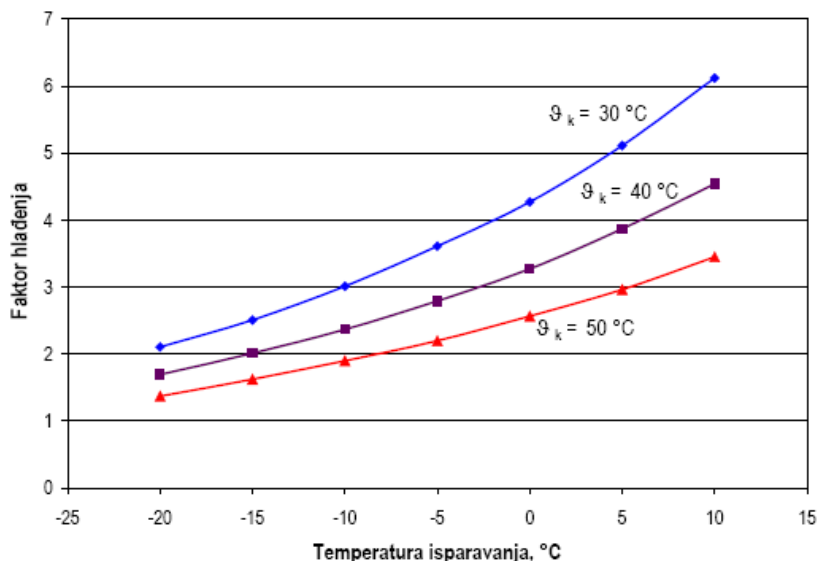


Okolina – spoljašnji vazduh



Slika 7.3 Šema kompresorske rashladne instalacije i izgled hlađenog prostora sa isparivačem (hladnjakom)

U zavisnosti od temperatura isparavanja i kondenzacije rashladnog fluida, kao i karakteristika rashladnog kompresora i samog ciklusa, razlikuju se vrednosti koeficijenta hlađenja.



Slika 7.4 Zavisnost koeficijenta hlađenja u funkciji temperature isparavanja i kondenzacije za rashladni fluid R134a

Koeficijent hlađenja postiže vrednosti od 1,5 (kod rashladnih uređaja koji se koriste za duboko zamrzavanje robe), do 3,5 i više kod rashladnih uređaja koji se koriste za komforno hlađenje. Vrednosti koeficijenta hlađenja u graničnim slučajevima mogu biti manje od jedan, ali i veće od 6. Na slici 7.4 prikazana je zavisnost koeficijenta hlađenja u funkciji temperature isparavanja i kondenzacije za rashladni fluid R134a.

Primene veštačkog hlađenja se razvrstavaju u tri grupe :

- za održavanje kvaliteta materijala, tj. za usporavanje nepoželjnih promena hemijskih, biohemijskih strukturnih karakteristika raznih proizvoda, u prvom redu za konzervisanje namirnica;
- za stvaranje i održavanje karakteristika ambijenta, tj. da bi se ostvarila klimatizacija prostora u kojima se živi, radi i/ili obavljaju razne proizvodne aktivnosti;
- kada veštačko hlađenje predstavlja glavni ili sporedni proces pri ostvarivanju neke aktivnosti (proizvodnja, istraživanje, lečenje, sport itd.).

7.1.2 Rashladni fluidi

Radna materija koja u rashladnoj mašini ili toplotnoj pumpi obavlja levokretni ciklus naziva se *primarni rashladni fluid*, ili, kraće, *rashladni fluid*.

Sekundarni rashladni fluid je fluid koji oduzima toplotu hlađenja od hlađenog objekta (izvora toplote) i predaje je (obično isparavajućem) primarnom rashladnom fluidu. Pri tome sekundarni rashladni fluid kruži kao posrednik, u zatvorenom toku, između hlađenog objekta i rashladne mašine (npr: rastvori raznih soli ili etilen glikola u vodi).

Uvođenjem u upotrebu halogenih derivata parafinskih ugljovodonika (poznatih pod široko prihvaćenim zajedničkim komercijalnim nazivom "**freoni**"), tridesetih godina prošlog veka, broj rashladnih fluida silno se povećao; za freone je (najpre u SAD) uveden sistem trocifrenih brojeva oznaka iza zajedničke oznake **F** ("**Freon**"); kasnije, taj sistem je međunarodno prihvaćen, prilagođen je za sve rashladne fluide, a oznaka **F** zamenjena je novom opštom oznakom **R** („refrigerant”).

U novije vreme se ponekad u literaturi umesto oznake **R** koristi grupa od dva do četiri velika slova koja ukazuju na to koji su elementi zastupljeni u molekulu, tj. ukazuje na tzv. "tip" jedinjenja. Npr. **HC** (ugljovodonici), **CFC** (potpuno halogenizovani hlorofluorouglenici), **HCFC** (delimično halogenizovani hidrohlorofluorouglenici), **FC** (potpuno halogenizovani fluorouglenici) i **HFC** (delimično halogenizovani hidrofluorouglenici). Ovakav sistem označavanja, pored toga što pruža očigledniju informaciju o sastavu, ima dodatnog opravdanja u slučajevima kad se jedno te isto jedinjenje koristi u različite svrhe (kao rashladni fluid, ispenjivač izolacije, rastvarač, itd.).

Neki primeri označavanja rashladnih fluida:

- Brojevima od 400 do 499 označavaju se razne *zeotropske smeše*.
- Brojevima od 500 do 599 označavaju se razne *azeotropske smeše*.
- Brojevima od 600-699 obeležavaju se po proizvoljnom redosledu razna *organska jedinjenja*, koja se koriste ili mogu da se iskoriste kao rashladni fluidi. Tako npr. Za n-butan i izobutan koriste se oznake R 600 odnosno 600a.

Brojevima od 700 pa nadalje označavaju se *neorganski rashladni fluidi*, tako što se posle prve cifre (7) koja ukazuje da se radi o neorganskom rashladnom fluidu dodaju još dve cifre koje pokazuju njegovu relativnu molekulsku masu. Npr. amonijak (NH₃) ima oznaku R 717, ugljendioksid (CO₂) ima oznaku R 744 itd.

Brojni rashladni fluidi štetno deluju na razgradnju ozonskog omotača. Ozonski omotač je važan jer upija ultraljubičasto (UV) zračenje sa

Hlorofluorugljici (CFC) su materije koje imaju najveći uticaj na razgradnju ozona. CFC su se od vremena njihove sinteze (1928. godine) koristili na različite načine: kao radne materije u hladnjacima i klimatizacionim uređajima, kao potisni gas u limenkama aerosola, kao sredstvo za ekspaniranje u proizvodnji fleksibilnih pena za jastuke i madrace, i kao sredstvo za čišćenje u elektronskoj industriji.

Delimično halogenizovani hlorofluorougļjovodonici (HCFC) su slični CFC-ima, pa su se u velikoj meri proizvodili kao zamena u uređajima za hlađenje i za ekspaniranje. HCFC-i manje uništavaju ozon od CFC-a, jer ih atom vodonika čini manje stabilnim i podložnijim razgradnji u donjim slojevima atmosfere, sprečavajući da većina njihovog hlora dospe do stratosfere. Freoni iz grupe fluorougļjenika (HFC i FC) ne sadrže hlor i nemaju štetan uticaj na razgradnju ozonskog omotača.

Potencijal razgradnje ozona - ODP

Potencijal razgradnje ozona, ODP (*engl. Ozone Depletion Potential*) zavisi od sposobnosti oslobađanja hlora (Cl) i broma (Br), kao i od vremenske postojanosti u atmosferi. Kao jedinična (referentna) vrednost uzeto je delovanje freona R-11. Ovaj faktor je posledica svih potencijalnih delovanja na ozon koja traju do potpune razgradnje (vrijeme raspada) za ozon štetne materije. Vodonik u molekulama HCFC smanjuje njihovu postojanost u atmosferi na 2 do 20 godina. HFC ne sadrže hlor, pa zato ne razaraju ozon, pa je njihov ODP=0.

Potencijal globalnog zagrevanja - GWP

Atmosfera poput stakla uglavnom propušta kratkotalasno Sunčevo zračenje, ali je slabo propusna za dugotalasno zračenje kojim zrači Zemljina površina. Zato deo energije koja je dozračena u sistem Zemlja-atmosfera ostaje u njemu kao u stakleniku i pretvara se u toplotu. Ovaj efekat se naziva efektom staklene bašte. Potencijal globalnog zagrevanja, GWP (*engl. Global Warming Potential*) neke materije je relativni uticaj te materije na efekt staklene bašte u odnosu na uticaj CO₂. Kao referentna vrednost uzeto je delovanje CO₂ jer se u atmosferu emituje u najvećim količinama. CO₂ trajno ostaje u atmosferi, pa je zato uvek potrebno navesti za koje je vremensko razdoblje GWP izražen (20, 100 ili 500 godina). Najznačajniji gasovi staklene bašte su: CO₂, CH₄, N₂O, HFC-i, PFC-i i SF₆.

U tabeli 7.1 date su vrednosti ODP i GWP za različite rashladne fluide.

Iako rashladni fluidi iz grupe HFC-a nemaju uticaja na razgradnju ozonskog omotača (ODP = 0), svi halogenizovani ugljovodonici, pa tako i materije iz grupe HFC-a su gasovi staklene bašte sa velikim GWP potencijalom.

Tabela 7.1 Vrednosti ODP i GWP za različite rashladne fluide

Rashladni fluid	ODP	GWP		
		20 god	100 god	500 god
R-11	1	4500	3400	1400
R-12	1	7100	7100	4100
R-502	0.34	-	4300	-
R-22	0.055	4200	1700	540
R-134a	0	3100	1300	-
R-404a	0	-	3800	-
R-407C	0	-	1600	-
R410A	0	-	1725	-
R-717	0	0	0	0

7.1.3 Osnovne komponente rashladnih mašina

Kompresori su osnovni elementi onih rashladnih mašina čiji se kompenzacioni proces zasniva na utrošku mehaničkog rada. U njima se radna materija (rashladni fluid) sabija kako bi se dostigli i u neophodnoj meri premašili: temperatura ponora i pritisak koji vlada u razmenjivaču toplote sa ponorom.

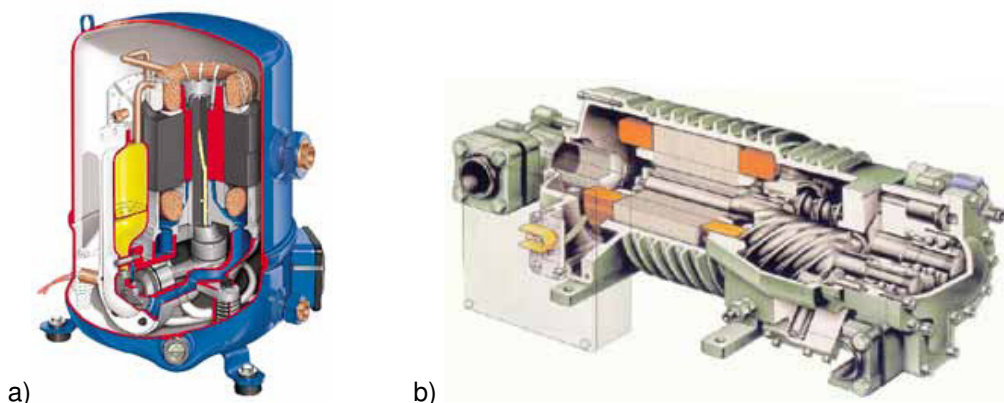
Rashladni kompresori mogu da se podele prema principu rada, veličini rashladnog učinka, načinu hermetizacije, broju stupnjeva sabijanja, vrsti rashladnog fluida i tako dalje.

Prema principu rada kompresori mogu biti:

Kompresori zapreminskog dejstva u kojima se usisana para (odn. gas) sabija usled smanjivanja zatvorene radne zapremine (tzv. "ćelije") u kojoj se para nalazi. Prema načinu formiranja (odn. obliku) ćelija i kinematskim karakteristikama koje iz toga proizilaze, ovi kompresori se dele na:

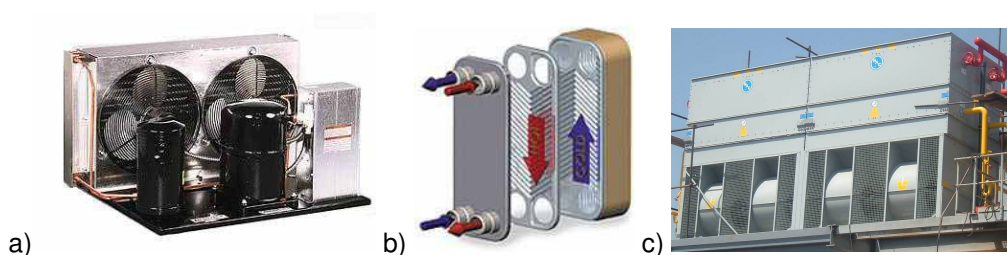
- *(klasične) klipne kompresore* sa translatorskim kretanjem klipova,
- *rotacione kompresore*, kod kojih se radna zapremina formira između (jednog ili više) *rotora* i zidova cilind(a)ra (kućišta), i
- *spiralne kompresore*, kod kojih se radne zapremine formiraju između spregnutih cilindričnih spiralnih površi u zahvatu, pri čemu pokretna spirala ne rotira već *orbitira* unutar nepokretne spirale.

Strujni kompresori,



Slika 7.5 Izgled kompresora: a) klipni, b) spiralni (vijčani)

Kondenzatori parnih kompresorskih rashladnih mašina su razmenjivači toplote u kojima se rashladni fluid kondenzuje predajući toplotu sredstvu za hlađenje kondenzatora. U zavisnosti od konstrukcije kondenzatora i pregrevanja pare na ulazu, u kondenzatoru se, osim zone kondenzacije zasićene pare, (ponekad) mogu uočiti i zone hlađenja i kondenzacije pregrevane pare, kao i zona prehlađivanja kondenzata.



Slika 7.6 Izgled kondenzatora: a) vazduhom hlađeni, b) vodom hlađeni - pločasti, c) evaporativni

Kod uobičajenih rashladnih instalacija kondenzatori se hlade vazduhom i/ili vodom, pri čemu se kod kombinovanog hlađenja koristi efekat vetrenja (ishlapljivanja) vode u vazduh – evaporativni kondenzatori. Kondenzatori toplotnih pumpi namenjenih grejanju, hlade se najčešće vodom ili vazduhom, dok se kod specijalnih toplotnih pumpi kondenzatori hlade onim fluidom čijem je zagrevanju toplotna pumpa namenjena.

Isparivači parnih rashladnih mašina su razmenjivači toplote u kojima se isparavajućem rashladnom fluidu dovodi toplota, bilo neposredno od hlađenog objekta, bilo posredno - od sekundarnog rashladnog fluida. Zbog raznovrsne primene rashladnih uređaja, postoji i veliki broj raznovrsnih konstrukcija isparivača.

Klasifikacija (podela) isparivača se obično vrši **prema nameni** (vrsti hlađenog objekta), rashladnom fluidu i prema konstrukciji, dok su ostale klasifikacije najčešće od manjeg značaja. Međutim, imajući u vidu da namena i rashladni fluid u mnogome predodređuju konstrukciju, te podele se dobrim delom podudaraju, i zato je najpogodnija opšta podela prema nameni sa potpodelama prema konstrukciji i vrsti rashladnog fluida (gde je to svrsishodno):

Isparivači za hlađenje tečnosti: Isparivači za hlađenje tečnosti se najčešće izrađuju kao dobošasti isparivači sa cevnim snopom unutar doboša, kao pločasti isparivači, ili kao potopljeni bazenski isparivači; postoje još i specijalne konstrukcije isparivača namenjene za hlađenje tečnosti preko zida suda u kome se ona nalazi; to su obično isparivačke cevne zmiје ili plaštovi oko hlađenog suda.

Isparivači za hlađenje gasova (najčešće vazduha) izrađuju se od orebrenih cevi. Rashladni fluid isparava unutar cevi; orebrenje je sa strane vazduha, a rebra su tanka i visoka, pa su koeficijenti orebravanja dosta veliki (obično između 8 i 15). Zbog velike visine (reda veličine prečnika cevi), rebra se najčešće izrađuju posebno, od lima ili limene trake, pa se nakon toga navlače odnosno namotavaju na cevi i na pogodan način fiksiraju na zadatom međusobnom rastojanju;

Specijalni isparivači - pored navedenih, u praksi se koriste i isparivači specijalne namene: za *proizvodnju ljuspičastog leda*, za *brzu proizvodnju leda u kalupima* (tzv. "rapid-ice" uređaji) itd.

Veoma važna podela isparivača je prema *količini rashladnog fluida* koja im se dovodi:

- **suvi**, kada se u isparivač dovodi onoliko tečnosti koliko u njemu može da ispari (u stvari, zbog nesavršenosti regulisanja protoka, dovodi se neznatno manje, tako da iz njega izlazi vrlo malo pregrejane para), ili
 - **preplavljeni** (kada im se dovodi višestruko više tečnosti); pri tome se *koeficijent cirkulacije n* (odnos količine dovedene prema količini isparene tečnosti rashladnog fluida) bira u zavisnosti od vrste hlađenog objekta. Cirkulacija tečnosti kroz preplavljene isparivače može biti *pumpna* ili *gravitaciona*.
- </

Pomoćni aparati

Za razliku od glavnih elemenata instalacije, u kojima se ostvaruju osnovne promene stanja koje karakterišu ciklus rashladnog fluida (npr. isparavanje, sabijanje, kondenzacija...), pomoćni aparati su *opcionalni elementi* rashladne mašine čiji je zadatak da poboljšaju njene termodinamičke i/ili eksploatacione karakteristike.

Prvu grupu pomoćnih aparata sačinjavaju razni razmenjivači toplote (spoljašnji i unutrašnji prehladivači kondenzata, međuhladnjaci, hladnjaci ulja i sl.), prigušni separatori i/ili njihove kombinacije koje omogućavaju *modifikovanje ciklusa* u cilju *povećanja učinka i/ili koeficijenta hlađenja*.

Drugu grupu sačinjavaju razni pomoćni aparati čiji je osnovni zadatak da spreče neželjene režime rada, ublaže ili eliminišu posledice usled nesavršenosti konstrukcije i/ili postupaka montaže i time omoguće dugotrajan i nesmetan rad, kao i lakše opsluživanje (npr. odvajači ulja, odvajači vazduha, filteri, sušači...). Pri tome, pojedini pomoćni aparati iz ove grupe doprinose i uštedi energije, zato što, intenzivirajući razmenu toplote, omogućavaju povoljnije temperaturske režime rada.

Cevovodi povezuju sve relevantne komponente u jedinstvenu rashladnu instalaciju, odnosno toplotnu pumpu.

Pri strujanju u cevovodima, eksergija rashladnog fluida opada zbog trenja (odnosno pada pritiska) i razmene toplote pri konačnim razlikama temperatura. Međutim, pad eksergije rashladnog fluida i investicioni troškovi nisu jedini parametri o kojima treba voditi računa pri izboru brzine strujanja (čime se u stvari određuje unutrašnji prečnik cevi): u nekim slučajevima brzina strujanja mora biti dovoljno velika da obezbedi transport tečne faze ili ulja i time spreči njihovo nagomilavanje u cevovodu, dok je u drugim ograničena dopuštenim padom pritiska (npr. u usisnim vodovima prema kompresorima). Zbog toga, pri optimizaciji brzine u cevovodima, postoje *ograničenja u izboru brzine* koja nameću zahtevi za nesmetanim funkcionisanjem instalacije u svim relevantnim režimima rada

Automatika rada rashladnih instalacija

Pouzdan, ekonomičan i energetski efikasan rad rashladne instalacije podrazumeva stalan nadzor, održavanje relevantnih parametara u zadatim gran

Za prikazivanje radnog stanja instalacije i objekta koristi se se često tzv. sinoptička šema instalacije na kojoj se lampicama raznih boja označava pogonsko stanje elemenata instalacije.

Uređaji automatske zaštite i/ili upozoravanja, koji *automatski isključuju iz rada* pojedine delove ili celokupnu instalaciju i/ili aktiviraju odgovarajući zvučni i/ili svetlosni alarm ako neki od relevantnih parametara rada izađe iz predviđenog opsega, te može da uzrokuje oštećenje ili havariju mašine, opasnost po zdravlje ljudi ili hlađene proizvode i/ili izazove ekološke posledice. Kao zaštitni uređaji se najčešće koriste termostati i presostati; to su termometri, odnosno manometri, sa električnim prekidačem, koji automatski prekidaju rad štice mašine kada predmetna temperatura ili pritisak dobiju neželjene vrednosti;

Uređaji za automatsku regulaciju, koji služe za *održavanje relevantnih parametara rada* rashladnog postrojenja i hlađenog objekta, najčešće u unapred zadatim granicama ili (ređe) po unapred zadatom programu. U novije vreme raste trend primene tzv. optimalnih regulatora kod kojih je zadata vrednost regulisane veličine funkcija izmerenih vrednosti jednog ili više uticajnih parametara i određuje se računom po zadatom, prethodno unetom programu.

Merenje relevantnih parametara

Najznačajniji relevantni parametri rada rashladne instalacije su pritisci i temperature rashladnog fluida ili ulja, protoci fluida i nivoi tečnosti (rashladnog fluida ili ulja) u sudovima; kod klimatizovanih objekata, koji se hlade (ili greju), najznačajniji su temperatura i vlažnost vazduha, a kod ostalih objekata temperatura, protok, pritisak i/ili nivo tečnosti fluida koji se hladi (ili greje).

Za merenje temperature koriste se stakleni termometri sa tečnošću (živa, alkohol ili neka druga tečnost, zavisno od temperaturskog područja), električni termometri (najčešće otpornički, termoelektrični termometri (sa pojedinačnim ili redno vezanim termoparovima) ili, znatno ređe, bimetalni ili gasni termometri.

Za merenje pritiska koriste se najčešće manovakuummetri (sa burdonovom cevi, sa pjezoelektričnim davačima, ili membranski); Pošto u području vlažne pare postoji jednoznačna veza između temperature i pritiska, manovakuummetri za rashladni fluid su opremljeni i sa temperaturskom funkcionalnom skalom koja pokazuje ravnotežnu temperaturu zasićenja za izmereni pritisak.

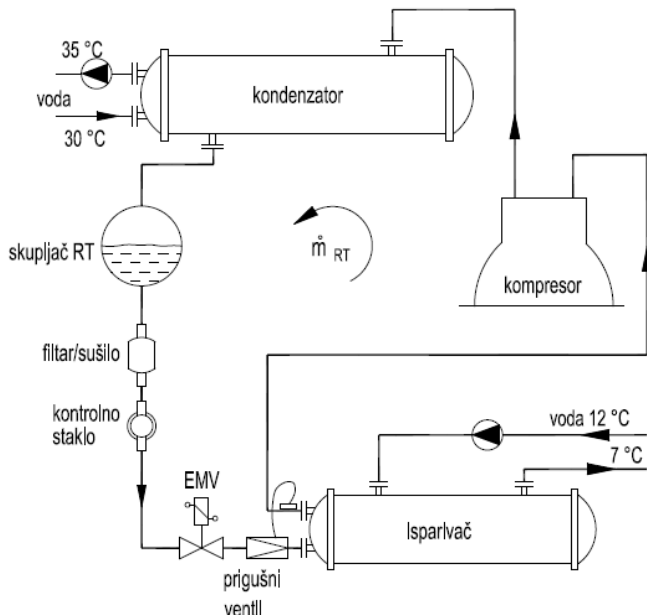
Za merenje vlažnosti vazduha se najčešće koriste električni higrometri bazirani na principu merenja elektroprovodnosti rastvora neke higroskopne soli (najčešće vodeni rastvor LiCl) u ravnoteži sa vazduhom čija se vlažnost meri. Za merenje vlažnosti koriste se i psihometri, kao i razne vrste indikatora tačke rose;

Za merenje protoka koriste se uglavnom razni rotametri, standardne prigušnice ili mlaznice kao i razni protokomeri sa obrtnim kolom; u novije vreme se koriste i protokomeri koji se baziraju na **Doppler**-ovom efektu.

Za merenje nivoa tečnosti koriste se davači sa plovkom i kapacitivne sonde.

7.1.4 Indirektni sistemi hlađenja

Kod direktnih sistema hlađenja isparivač rashladne mašine je ujedno i hladnjak koji se koristi za odvođenje toplote od hlađenog objekta. Međutim, kada se želi izbeći kontakt rashladnog fluida i hlađenog objekta ili smanjenje količine rashladnog fluida u instalaciji (i njegovog cevnog razvoda kroz objekat), primenjuju se sekundarni rashladni fluidi u indirektnim sistemima. Kao što je već bilo pomenuto, sekundarni rashladni fluid kruži kao posrednik, u zatvorenom toku, između hlađenog objekta i rashladne mašine – hladi se u isparivaču rashladne mašine, a zagreva u hladnjaku, oduzimajući toplotu hlađenom objektu. Kada su u pitanju relativno visoke temperature hlađenja (iznad 0°C), kao što je slučaj u komfornoj klimatizaciji, kao sekundarni rashladni fluid se koristi voda. U cilju sniženja temperature mržnjenja sekundarnog rashladnog fluida, prilikom primene za niže temperaturske režime, mogu se koristiti vodeni rastvori glikola i soli. Rashladne mašine koje se koriste za pripremu hladne vode nazivaju se čilerima. Uobičajeni temperaturski režim hladne vode za klimatizacione sisteme je $7/12^{\circ}\text{C}$. Na slici 7.8 prikazana je šema čilera sa vodom hlađenim kondenzatorom.

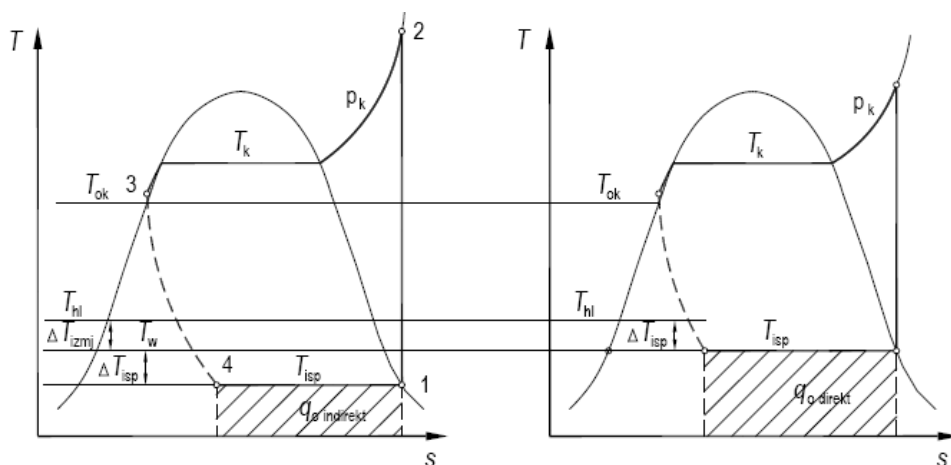


Slika 7.8 Šema čilera sa vodom hlađenim kondenzatorom

Hladna voda pripremljena u čileru vodi se do hladnjaka u uređajima za klimatizaciju, a to mogu biti hladnjaci u klima komorama ili hladnjaci koji se nalaze

u klimatizovanim prostorijama (kao što su ventilator konvektori ili cevne zmiје panela ugrađenih u tavanice ili zidove prostorija koje se hlade). Ukoliko se izvodi sistem panelnog hlađenja, temperaturski režim hladne vode je viši nego u drugim slučajevima, jer se mora izbeći kondenzacija vlage iz vazduha na rashladnim površinama (tzv. visokotemperatursko hlađenje).

Termodinamički gledano direktni sistem hlađenja je u prednosti u odnosu na indirektni sistem. S obzirom da indirektni sistem sadrži jedan razmenjivač više, postiže niže temperature isparavanja u odnosu na direktni, (poređenje ciklusa je dato na slici 7.9). Time je za isti rashladni učinak potrebno sistemu dovesti veću pogonsku snagu, što za posledicu ima manji koeficijent hlađenja indirektnih sistema.



Slika 7.9 Prikaz poređenja indirektnog i direktnog sistema hlađenja

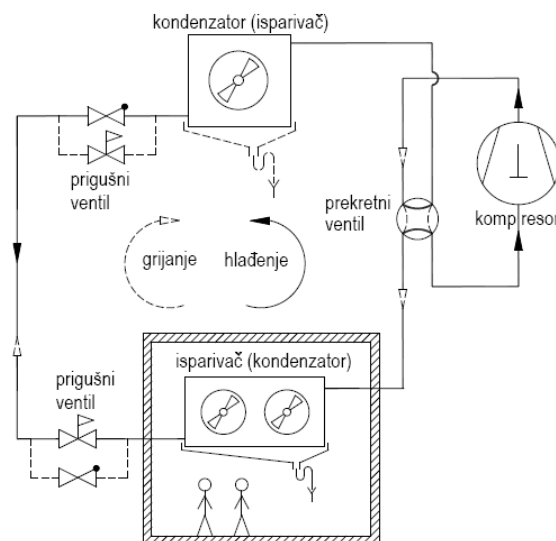
7.2 TOPLITNE PUMPE

Toplotne pumpe su rashladni uređaji koji rade po levokretnom ciklusu, ali se kod njih toplota kondenzacije (koja je kod rashladnih mašina termodinamički beskorisna toplota koja se odvodi u okolinu) koristi za zagrevanje objekta, a toplota potrebna za isparavanje rashladnog fluida se oduzima od okoline (koja se kod rashladne mašine oduzima od hlađenog prostora). Okolina (spoljni vazduh, podzemne i nadzemne vode ili tlo) predstavljaju toplotni izvor. Prema tome, jedna instalacija sa mašinom koja radi po levokretnom ciklusu može se koristiti i u svrhu hlađenja i u svrhu grejanja. Na slici 7.10 dat je prikaz rada rashladnog uređaja u režimu toplotne pumpe.

Opravdanost primene toplotnih pumpi u svrhe grejanja prostora je velika. Toplotne pumpe se smatraju obnovljivim izvorom energije, jer se koristi raspoloživa toplota iz okoline. Efikasnost toplotne pumpe izražava se koeficijentom

grejanja ε_g ili COP (engl. *Coefficient of Performance*), koji predstavlja odnos dobijene toplote i uloženog rada (električne energije za pogon kompresora):

$$\varepsilon_g (COP) = \frac{q_{kond}}{w} = \frac{\dot{Q}_{kond}}{P_{komp}} \quad (7.2)$$



Slika 7.10 Prikaz rada rashladnog uređaja u režimu toplotne pumpe

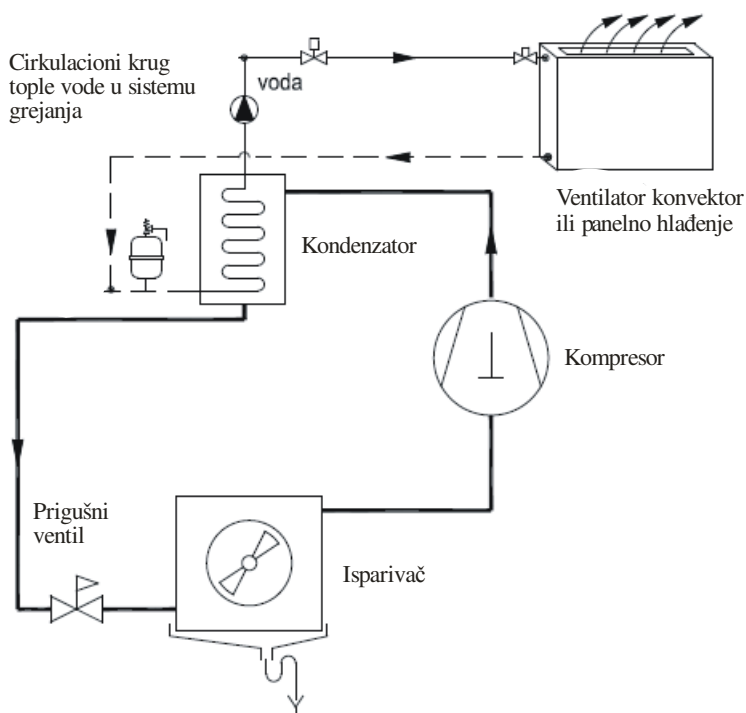
7.2.1 Izvori toplote toplotnih pumpi

Za postrojenje toplotne pumpe od najvećeg su značaja svojstva toplotnog izvora. Može se reći da je postrojenje za grejanje sa toplotnom pumpom onoliko dobro, koliko je dobar njegov toplotni izvor. Kao niskotemperaturski toplotni izvori koriste se voda (rečna, jezerska, morska i podzemna), vazduh, otpadna toplota, Sunce ili se isparivač zakopava u zemlju, pri čemu tlo predstavlja izvor toplote. Da bi se osigurao ekonomičan rad toplotne pumpe, za izvor toplote se postavlja niz zahteva, među kojima su najvažniji sledeći:

- toplotni izvor treba da osigura potrebnu količinu toplote u svako doba i na što višoj temperaturi,
- troškovi za priključenje toplotnog izvora na toplotnu pumpu treba da budu što niži,
- energija za transport toplote od izvora do isparivača treba biti što manja.

Vazduh kao izvor toplote toplotne pumpe je jako povoljan sa aspekta raspoloživosti i pristupačnosti. Orebreni razmenjivač toplote sa prinudnom cirkulacijom vazduha koristi se za razmenu toplote između vazduha i rashladnog fluida (slika 7.11). Razlika temperature spoljnog vazduha, kao izvora toplote i rashladnog fluida kreće se od 6 do 10°C. Kod izbora ovakve izvedbe toplotne

pumpe, potrebno je voditi računa o sledeće dve stvari: temperaturi spoljnog vazduha za posmatranu lokaciju i stvaranju inja i leda na orebrenim sekcijama isparivača.

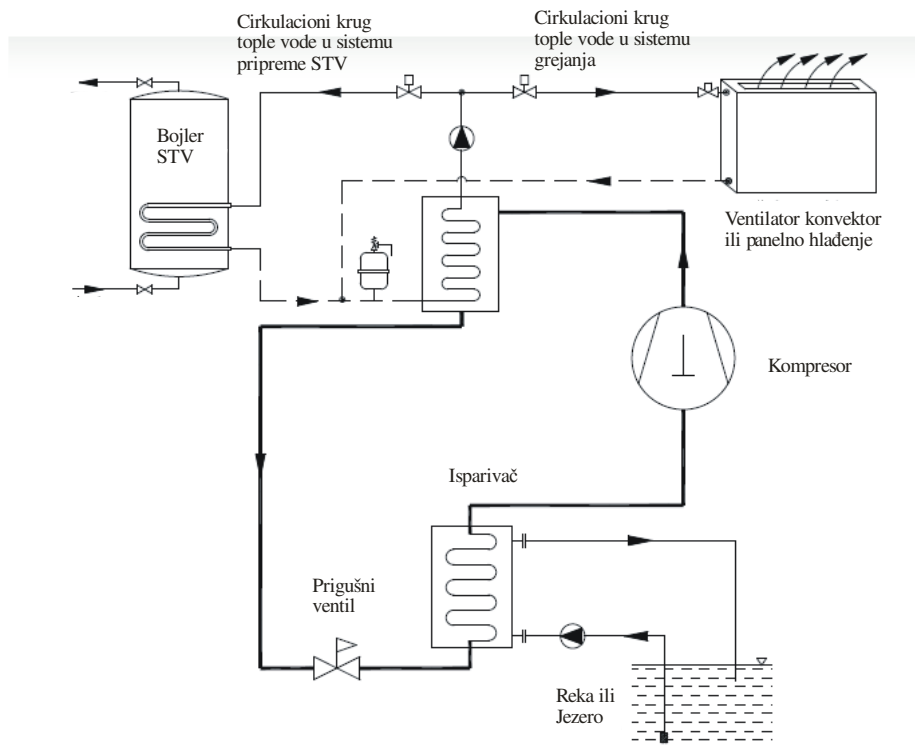


Slika 7.11 Šema toplotne pumpe sa vazduhom kao izvorom toplote

Loša strana vazduha kao izvora toplote su varijacije njegove temperature, što znatno utiče na koeficijent grejanja. Snižavanjem temperature okoline smanjuje se i grejni učinak toplotne pumpe. Ovi uređaji se ne dimenzionišu na puno opterećenje, odnosno za najnepovoljniju radnu tačku, jer bi u najvećem delu godine sistem bio predimenzionisan. U zavisnosti od temperaturi spoljnog vazduha, koeficijent grejanja se kreće od 2,5 do 3,5. Nedostatak toplotnih pumpi koje rade s spoljnim vazduhaom kao izvorom toplote su visoka buka i velika količina vazduha koja je potrebna zbog male vrednosti specifičnog toplotnog kapaciteta. Hlađenjem vazduha za 6 do 8°C dobijaju se optimalni odnosi između: količine vazduha, veličine ventilatora, veličine isparivača i koeficijenta grejanja. Važno je primetiti da ugradnjom četvorokrakog ventila uređaj u tokom leta može raditi u režimu hlađenja.

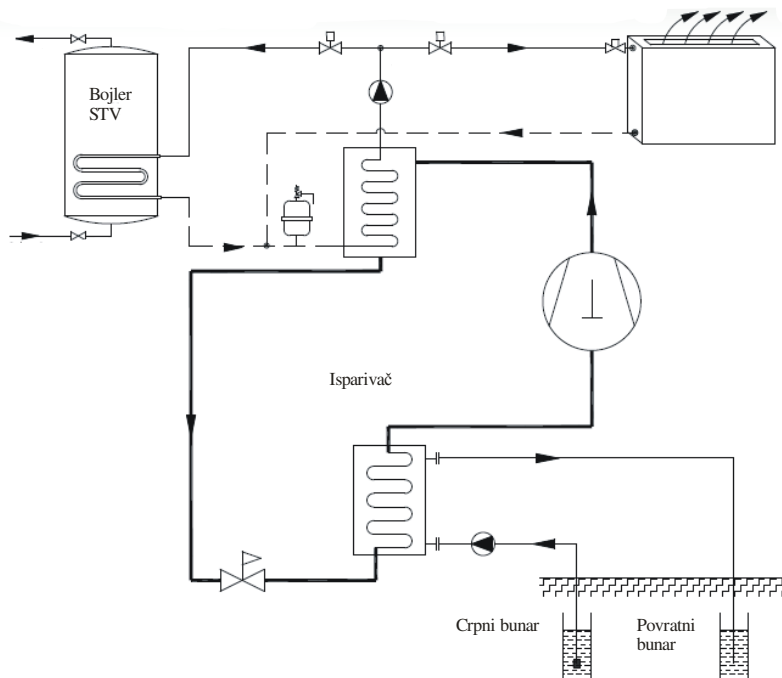
Nadzemne vode kao izvor toplote u mnogim slučajevima su pristupačne i jeftine za primenu (slika 7.12). Takve vode se mogu uobičajeno koristiti pri temperaturama višim od +4°C. Na osnovu iskustva i proračuna, temperaturska razlika vode ohlađene u isparivaču ne bi trebala biti manja od 4°C (npr. od 4 do 6°C). Korišćenje toplotne pumpe sa ovakvim izvorima toplote ekonomski je

opravdano kod spoljnih temperatura iznad granice od 0°C. Pri tome veliku ulogu imaju položaj i veličina reke ili jezera. Nedostatak ovog izvora je ograničenost njegove primene samo na mali broj potrošača koji leže uz samo jezero. Za potrošače koji su udaljeni od jezera investicioni i pogonski troškovi za crpljenje i povratak vode u jezero su preveliki.



Slika 7.12 Šema toplotne pumpe sa površinskom vodom kao izvorom toplote

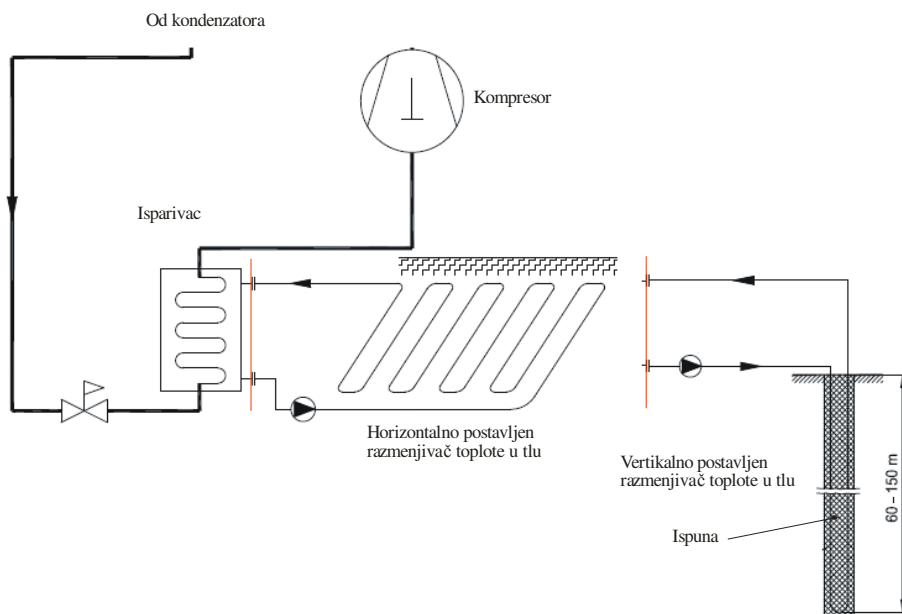
Podzemne vode kao izvor toplote su povoljne za primenu zbog visoke i relativno ujednačene temperature, koja u većini slučajeva iznosi između 8 i 12°C, što zavisi od dubine sa koje se crpi. Za crpljenje podzemne vode potrebna su dva bunara, crpni i povratni (slika 7.13). Razmak između ovih bunara treba biti što je moguće veći, a po mogućnosti ne manji od 10 m. Crpni bunar treba da daje u svim vremenima pogona dovoljnu količinu vode, odnosno izdašnost crpnog bunara je najvažnija za projektovanje ove toplotne pumpe. Potopljena crpna pumpa se ugrađuje obično do dubine 15 m kako bi se smanjili pogonski troškovi pumpe. Ispod pumpe, ostavlja se slobodna visina bunara koja omogućuje nakupljanje peska i nečistoća. Prečnik bunara je obično 220 mm ili veći. Protok pumpe za vodu proračunava se na temperaturskoj razlici vode na isparivaču od 4 do 5°C.



Slika 7.13 Šema toplotne pumpe sa podzemnom vodom kao izvorom toplote

Tlo kao izvor toplote predstavlja ogroman toplotni izvor koji se može koristiti kako za grejanje tako i za hlađenje prostora. Iako se hlađenje može ostvariti neposrednim korišćenjem razmenjivača toplote u tlu, u svrhu grejanja je po pravilu potrebno upotrebiti toplotnu pumpu. Ugradnjom četvorokrakog ventila, toplotna pumpa se načelno zimi može koristiti za grejanje, a ljeti za hlađenje. Glavna prednost zemlje kao izvora ili ponora toplote je u relativno konstantnoj temperaturi već na dubini od 2 m (od 7 do 13°C), koja omogućuje rad u optimalnoj projektnoj tački, bez dnevnih i sezonskih varijacija.

Horizontalna izvedba razmenjivača toplote (slika 7.14) zahteva nešto niže investicione troškove, ali zbog nedostatka potrebne slobodne površine često nije primenljiva, osim u ruralnim područjima. Potrebna slobodna površina je otprilike dvostruko veća od grejane površine objekta. Najčešće se razmenjivač toplote polaže u tlo u obliku snopa vodoravnih cevi na dubini od 1,2 do 1,5 m, sa međusobnim razmakom cevi od 0,5 do 1 m, u zavisnosti od sastava i vrste tla. Približno na svaki m² grejanog prostora treba u zemlju položiti 1,5 do 2 m cevi. Razmenjivačke sekcije koje se paralelno spajaju, treba da budu podjednake dužine radi lakšeg balansiranja razmenjivača. Dužina jedne razmenjivačke sekcije iznosi do 100 m. Prečnik polietilenske cevi uglavnom iznosi 25 ili 32 mm. Učinak razmenjivača, kreće se u granicama od 15 do 35 W/m², pri čemu se najbolja efikasnost dobija za glineno tlo i tlo sa podzemnim vodama.



Slika 7.14 Šema toplotne pumpe sa tlom kao izvorom toplote

Vertikalna izvedba razmenjivača do dubina od 60 do 150 m (200 m) često je prihvatljiva u gusto naseljenim područjima, pogotovo na mestima gde je prostor uređen, pri čemu dolazi do minimalnih promena spoljnog izgleda okoline. Ovakvi su sistemi široko prihvaćeni u razvijenom svetu, u čemu prednjače Švedska, SAD, Austrija, Nemačka, Švajcarska, Francuska. Koliko se toplote može oduzeti tlu zavisi od njegovog sastava i vlažnosti, kao i od mesta polaganja cevi. Do sada sprovedena istraživanja, kao i u praksi instalirani sistemi pokazuju da je temperatura tla na dubini od 2 m otprilike 7 do 10°C, a na dubini do 100 m temperatura tla se kreće između 12 i 15°C. Razmenjivač (fabrički predmontiran) se u tlo polaže u dve osnovne izvedbe: kao dvostruka U cev ili kao koaksijalna cev pri čemu kroz unutrašnju PE cev struji hladni fluid (voda + glikol), dok se kroz spoljnu metalnu cev zagrejani fluid vraća na isparivač.

7.3 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA HLAĐENJE

Godišnja potrebna energija za hlađenje izračunava se prema standardu SRPS EN ISO 13790, analogno potrebnoj finalnoj energiji za grejanje, pri čemu se mogu primeniti sezonski (tj. mesečni) model ili časovni model proračuna. Potrebna godišnja energija za hlađenje je zapravo količina toplote koju tokom letnjeg perioda treba odvesti iz zgrade kako bi se održavala željena temperatura unutrašnjeg vazduha. Za razliku od zimskog perioda, tokom leta je značajno više

izražena nestacionarnost razmene toplote sa okolinom, pa je od velike važnosti uzeti pravilno u obzir akumulaciona svojstva zgrade kroz odgovarajuće dinamičke parametre.

Metodologija proračuna godišnje potrebne energije za hlađenje prikazana je ranije, u tabeli 3.22.

7.4 VAZDUŠNI SISTEMI

Kao nosilac toplote (radni fluid) u vazдушnim sistemima javlja se vazduh. Vazduh se zagreva u grejaču ili hladi, vlaži ili suši, filtrira i, pripremljen na odgovarajući način, ubacuje se direktno u prostoriju. U prostoriji se ubačen vazduh meša sa sobnim i na taj način se postiže željena temperatura i vlažnost vazduha u prostoriji. Za razliku od vodenih sistema, kod kojih se prenos toplote odvija zračenjem i prirodnom konvekcijom, kod vazдушnih sistema je prisutna prinudna konvekcija – vazduh se u prostoriju ubacuje određenom brzinom, koja je veća nego kod prirodne konvekcije. Brzina strujanja vazduha u zoni boravka ljudi je ograničena, kako se ne bi stvorili nepogodni uslovi za boravak ljudi (promaja).

Prednosti vazдушnih sistema u odnosu na vodene su:

- mala inertnost sistema – vrlo brzo stupaju u dejstvo;
- dobra centralna i lokalna regulacija rada;
- mogućnost obavljanja funkcije provetravanja (ventilacije) prostora;
- "curenje" radnog fluida ne predstavlja problem (kao curenje vode).

Nedostaci vazdušnog grejanja su:

- podizanje prašine u prostoriji (ukoliko su brzine strujanja neprilagođene);
- nedostatak razmene toplote zračenjem;
- velike dimenzije kanala u poređenju sa dimenzijama cevi za toplu vodu (problem smeštanja u objektu).

Vazduh, kao grejni fluid, u termičkom pogledu je lošiji od vode:

- mali specifični toplotni kapacitet ($c_v = 1005 \text{ J/kgK}$; $c_w = 4186 \text{ J/kgK}$) i
- mala gustina vazduha ($1 \text{ m}^3 \text{ vode} \rightarrow 1000 \text{ kg} \rightarrow \text{oko } 4 \times 10^6 \text{ J/K}$;
 $1 \text{ m}^3 \text{ vazd.} \rightarrow 1,2 \text{ kg} \rightarrow \text{oko } 10^3 \text{ J/K}$)

Kada se uzmu u obzir gore navedeni podaci poređenja vazduha i vode kao grejnih fluida, dolazi se do zaključka da je voda bolji radni fluid od vazduha, i to oko 4000 puta! Odnosno, da bi se prenela (dovela prostoriji) ista količina toplote, za vazdušne sisteme je potreban kanal dimenzija 400x500 mm, a za vodene cev prečnika $\phi 25 \text{ mm}$.

Međutim, bez obzira na ovu manu, postoje slučajevi gde su vazdušni sistemi nezamenljivi, a pre svega zbog mogućnosti ventilacije prostora, dobrog uklapanja u enterijer i dobre regulacije. Vazdušni sistemi se često koriste u

postrojenjima za grejanje, a u klimatizaciji su nezamenljivi. Klimatizacija je mnogo širi pojam od grejanja, jer se, pre svega, može koristiti cele godine – zimi za grejanje, a leti za hlađenje. Osim obezbeđenja željene temperature u klimatizovanom prostoru (npr. zimi 20°C, a leti 26°C) uloga sistema za klimatizaciju je i obezbeđenje:

- odgovarajuće relativne vlažnosti vazduha,
- odgovarajuće količine svežeg vazduha za ventilaciju,
- potrebnog nivoa čistoće vazduha (eliminacija mehaničkih nečistoća, neprijatnih mirisa, štetnih gasova, itd.)

Prema svojoj strukturi (načinu izvođenja) osnovna podela vazdušnih sistema je na:

- lokalne sisteme i
- centralne vazdušne sisteme klimatizacije.

U lokalne sisteme vazdušnog grejanja spadaju svi oni uređaji koji su locirani u samim prostorijama koje se greju. Tu spadaju: kaloriferi, vazdušne zavese i "split" sistemi (u izvedbi kao toplotna pumpa vazduh-vazduh).

7.4.1 Ventilacioni sistemi

Ventilacioni sistem podrazumeva zamenu vazduha u prostoriji spoljnim vazduhom. Uobičajen je naziv **svež vazduh** za spoljni vazduh koji se u prostoriju uvodi centralnim sistemom.

Ventilacioni sistemi se mogu podeliti na:

- sisteme sa prirodnom ventilacijom i
- sisteme mehaničke (prinudne) ventilacije.

Prirodno provetravanje moguće je ostvariti kroz procepe (fuge) spoljnih prozora i vrata, otvaranjem prozora ili kroz posebne ventilacione otvore. Provetravanje prirodnim putem je moguće usled dejstva vetra ili uzgonske sile, što nekada nije dovoljno u odnosu na zahteve koji se postavljaju za određene prostore, bilo da je u pitanju boravak većeg broja ljudi ili neki proces koji se obavlja u posmatranoj prostoriji.

Kada se primenjuje prirodna ventilacija svakako treba uzeti u obzir brzinu i smer vetra, kao i izbor odgovarajućeg mesta na fasadi zgrade gde će biti postavljeni otvori za ventilaciju. Na taj način se može uticati na količinu spoljašnjeg vazduha koji će prirodnim putem prodirati u zgradu i ventilirati prostoriju. Protok vazduha je slučajno promenljiva veličina koja zavisi od temperaturske razlike, brzine i smera vetra, kao i razlike pritisaka unutrašnje i spoljašnje sredine. Broj izmena vazduha na čas jako varira, i može se kretati od 0,3 (već samom infiltracijom spoljašnjeg vazduha kroz procepe prozora i vrata) do čak 20 (kada su prozori širom otvoreni). Prilikom korišćenja prirodne ventilacije neophodno je uzeti u razmatranje više uticajnih faktora – od geometrije zgrade, rasporeda protorija,

orijentacije zgrade u odnosu na dominantne vetrove, kao i načine uvođenja spoljnog vazduha. Prirodna ventilacija najčešće se ostvaruje otvaranjem otvora na fasadi i može se postići:

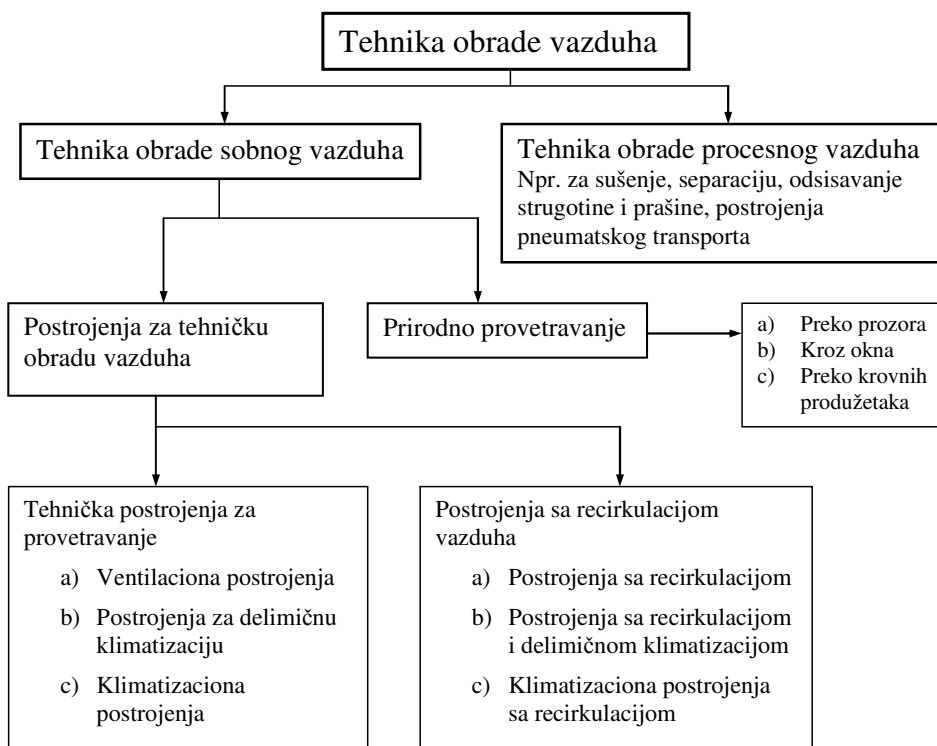
- ventilacija cirkulacijom vazduha u prostoriji (*single-sided ventilation*) ili
- ventilacija prostrujavanjem vazduha (*cross-ventilation*)

Prema nameni, ventilacioni sistemi mogu biti:

- za komforne uslove ili
- industrijski sistemi ventilacije.

Na slici 7.15 dat je prikaz pripreme vazduha u zavisnosti od namene vazdušnog sistema:

Mehaničkom (prinudnom) ventilacijom se uz pomoć ventilatora (aksijalnog ili centrifugalnog) prinudno dovodi potrebna količina svežeg vazduha u prostoriju. Postrojenja za mehaničku ventilaciju se najčešće izvode kao centralni sistem vazdušnog grejanja, mada to nije obavezno.



Slika 7.15 Tehnike obrade vazduha u zavisnosti od namene sistema

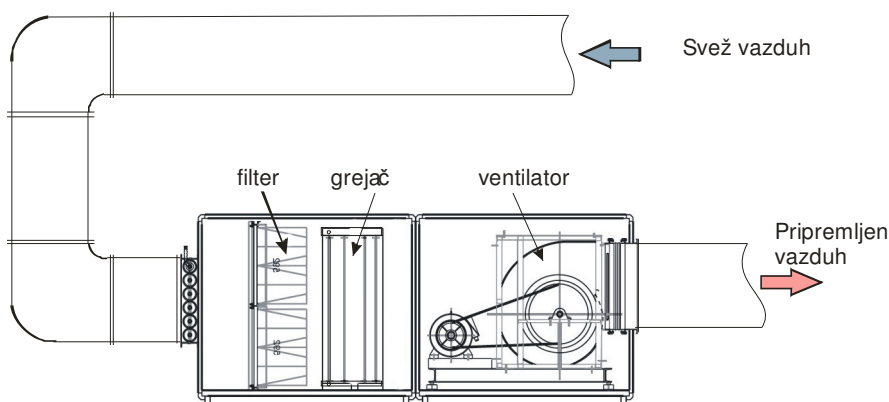
Kod centralnih sistema priprema vazduha se obavlja centralno – na jednom mestu, a zatim se pripremljen vazduh razvodi do pojedinih prostorija.

Centralna priprema vazduha se obavlja u KOMORI za pripremu vazduha (najčešće se koriste pojmovi *ventilaciona komora* i *klima komora*). Šematski prikaz

jedne ventilacione komore koja radi samo sa svežim vazduhom tokom zimskog perioda dat je na slici 7.16. Vazduh se u komori filtrira, zagreva do sobne temperature i zatim distribuira do ventilisanih prostorija. Grejači u komorama mogu biti:

- toplovodni,
- parni ili
- električni.

Filter koji se nalazi u komori služi za izdvajanje čestica nečistoća iz vazduha (obično je to filter srednje klase izdvajanja EU2-EU3). Konstrukcije filterskih sekcija u komorama mogu biti različite: ravanski, kasetni, vrećasti, itd.



Slika 7.16 Ventilaciona komora za rad sa svežim vazduhom

7.4.2 Određivanje količine vazduha za klimatizaciju

U vazдушnim sistemima klimatizacije, u kojima je vazduh jedini radni fluid, količina vazduha koja se koristi za klimatizaciju prostorija određuje se na osnovu tri kriterijuma:

- gubitaka toplote u zimskom periodu;
- toplotnog opterećenja u letnjem periodu;
- potrebne količine vazduha za provetravanje (ventilaciju).

Provetravanje (ventilacija) obavlja se svežim (spoljnim) vazduhom. Potrebna količina svežeg vazduha diktirana je uslovima obezbeđivanja kvaliteta vazduha u zatvorenim prostorijama. U komfornoj klimatizaciji zadatak klimatizacionog postrojenja je da ostvari povoljne uslove za disanje i eliminiše stvorene mirise i nečistoće. Količina svežeg vazduha može se odrediti jednim od sledećih načina:

- preko "obroka" po čoveku;
- preko dozvoljene koncentracije zagađivača;
- preko broja izmena vazduha na sat.

7.4.2.1 Obrok svežeg vazduha po čoveku

Ovaj metod primenjuje se u komfornoj klimatizaciji gde su ljudi osnovni, a često i jedini zagađivači. Zadatak ventilacije je da se obezbede odgovarajući uslovi za disanje, odnosno, u širem smislu, povoljni uslovi za ugodan boravak ljudi u zatvorenom prostoru. Preporučene vrednosti svežeg vazduha po čoveku iznose:

- 20 do 30 m³/h ako se u prostoriji ne puši;
- 30 do 40 m³/h ako je u prostoriji dozvoljeno pušenje ili ima drugih zagađivača.

U izvesnim slučajevima vrednost može dosta da se odstupa od prethodno navedenih preporučenih vrednosti za obrok svežeg vazduha po čoveku:

- u skloništima se računa sa količinom svežeg vazduha 6 m³/h po čoveku u normalnom rešimu korišćenja, a 2,5 m³/h po čoveku u zaštitnom režimu rada;
- kancelarije modernih poslovnih zgrada obično se rade sa 50 m³/h svežeg vazduha po čoveku;
- u hotelima visoke kategorije radi se sa 100 i više m³/h svežeg vazduha po čoveku.

7.4.2.2 Maksimalna dozvoljena koncentracija zagađivača – MDK

Ovaj kriterijum za određivanje količine svežeg vazduha za ventilaciju obično se primenjuje u industrijskim objektima u kojima su definisani izvori zagađenja (po vrsti zagađivača i intenzitetu zagađivanja). Ventilacijom treba obezbediti onu koncentraciju štetnih materija u vazduhu koja neće štetno delovati na čoveka, tj. neće izazvati trovanje, eksploziju ili požar. Otpadnim vazduhom izvlače se zagađivači iz prostora, a ubacivanjem svežeg vazduha koncentracija zagađivača u vazduhu se smanjuje dok ne bude manja od maksimalno dozvoljene – MDK.

Potrebna količina vazduha za ventilaciju određuje se iz bilansa zagađivača:

$$V \cdot k_s + K = V \cdot k_{\max} \quad (7.2)$$

gde je:

- | | |
|--|---|
| V [m ³ /h] | – potrebna količina svežeg vazduha za ventilaciju |
| k_s [m ³ /m ³] | – koncentracija određenog zagađivača (zbog koga se vrši ventilacija) u svežem vazduhu |
| k_{\max} [m ³ /m ³] | – maksimalna dozvoljena koncentracija (MDK) određenog zagađivača u ventilisanoj (klimatizovanoj) prostoriji |
| K [m ³ /h] | – časovno zagađenje od izvora u prostoriji |

Minimalan časovni protok svežeg vazduha za ventilaciju iznosi:

$$V = \frac{K}{k_{\max} - k_s} \quad (7.3)$$

Jedinice za merenje i izražavanje koncentracije zagađivača su mg/m³ ili ppm (parts per million = cm³/m³). Maksimalne dozvoljene koncentracije zagađivača (MDK) usvajaju se prema preporukama Instituta za zaštitu zdravlja (tabela 7.2).

Tabela 7.2 Vrednosti maksimalno dozvoljene količine zagađivača

Zagađivač	ppm	mg/m ³
aceton	1000	2400
amonijak	50	35
fluor	0,1	0,2
hlor	0,5	1,5
naftalin	10	50
nikotin	0,07	0,5
ozon	0,1	0,2
sumpordioksid	2	5
ugljendioksid	5000	
ugljenmonoksid	50	

Navedene vrednosti su podložne promenama, i pri svakoj promeni, po pravilu, Zakonodavac ih pooštrava u cilju bolje zaštite zdravlja radnika.

Vrednosti navedene u tabeli 1 predstavljaju tzv. maksimalno dozvoljene trajne koncentracije kojima radnici mogu biti izloženi tokom celokupnog radnog vremena. Postoje i kratkotrajne dozvoljene koncentracije zagađivača na radnom mestu, ali je njihovo vreme trajanja ograničeno.

7.4.2.3 Broj izmena vazduha na sat

Broj časovnih izmena vazduha u prostoriji predstavlja odnos količine svežeg vazduha koja se uvodi u prostoriju u toku jednog sata i zapremine prostorije:

$$n = \frac{\dot{V}_{vazd}}{V_{prost}} \quad [1/h] \quad (7.4)$$

Preporučeni broj izmena vazduha na sat zavisi od:

- namene prostorije;
- vrste zagađivača;
- veličine (zapremine) prostorije.

Određivanje količine svežeg vazduha za klimatizaciju (ventilaciju) prema broju izmena vazduha na sat koristi se kadgod izvori zagađenja nisu dovoljni

definisani. Takođe, koristi se i kao kontrolni metod kada se količina svežeg vazduha za ventilaciju određuje nekim drugim metodom. Preporučene vrednosti broja izmena vazduha za tipične namene prostorija date su u tabeli 7.3.

Tabela 7.3 Broj izmena vazduha na sat

Namena objekta	n [1/h]
toaleti (u stanovima, ustanovama, javni)	4 – 6 – 15
kupatila	4 – 6
biblioteke	3 – 5
kancelarije	3 – 6
farbare	5 – 15
lakirnice (prostorije za prskanje bojom)	20 – 50
garaže	4 – 5
robne kuće	4 – 6
bolnice (zavisno od odeljenja)	3 – 20
laboratorije	8 – 15 (25)
komercijalne kuhinje	15 – 20
zatvoreni bazeni	3 – 6

Treba napomenuti da se broj izmena vazduha na sat često navodi ne prema količini svežeg vazduha, nego prema ukupnoj količini vazduha koja se izvlači ili ubacuje u prostoriju (svež + recirkulacioni). Broj izmena vazduha u prostoriji definisan na ovaj način ukazuje na kvalitet ispiranja prostorije pripremljenim vazduhom. Broj izmena vazduha na sat određen prema ukupnoj količini vazduha koji se dovodi klimatizovanoj prostoriji može biti višestruko veći od broja izmena svežeg vazduha. Na primer, u prostorijama sa laminarnom ventilacijom, ukupan broj izmena vazduha može biti i do 600 1/h.

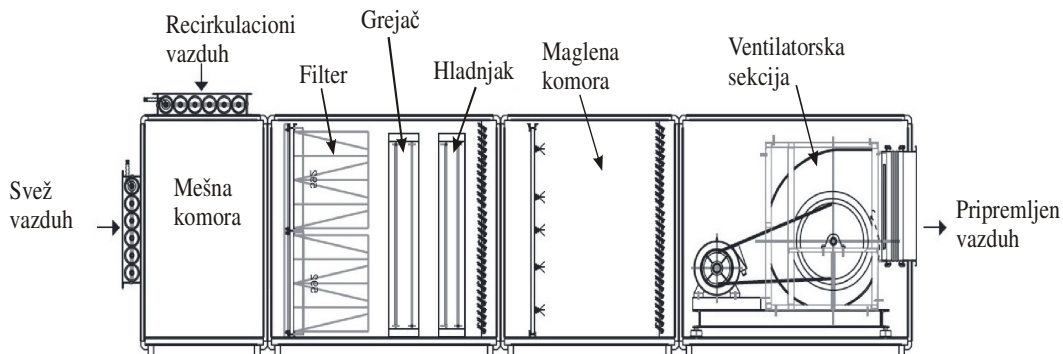
7.4.3 Elementi klima komore

Na slici 7.17 je dat šematski prikaz jedne horizontalne klima komore, koja radi sa mešavinom svežeg i recirkulacionog vazduha. Konstrukcija klima komore i broj i vrsta elemenata koje komora sadrži zavise od namene samog sistema za klimatizaciju (npr. da li se želi rad samo sa svežim vazduhom, da li se želi samo hlađenje tokom letnjeg perioda, da li je potrebno vlaženje vazduha, da li se želi korišćenje otpadne toplote, da li je potrebno prigušivanje buke i vibracija, itd.).

Osnovni elementi klima komore su:

- **mešna sekcija** (kao opcija, ako se vrši recirkulacija sobnog vazduha),
- **filterska sekcija** (za prečišćavanje vazduha koji se uvodi u sistem),
- **grejač** (koji može biti podeljen na predgrejač i dogrejač – što je čest slučaj kada se vrši vlaženje vodom,
- **hladnjak** (koji najčešće u klimatizaciji koristi hladnu vodu kao radni fluid),

- **maglena komora** za vlaženje vazduha vodom,
- **ventilatorska sekcija** (najčešće su u pitanju centrifugalni ventilatori).



Slika 7.17 Šematski prikaz klima komore

GREJAČ služi za zagrevanje vazduha u zimskom i prelaznim periodima (mada se nekad i tokom leta može koristiti). Zagrevanje vazduha se kreće u granicama od -20°C do $+50^{\circ}\text{C}$. U sistemu klimatizacije može postojati jedan ili više grejača, što zavisi od izbora samog sistema klimatizacije. Mesto ugradnje grejača može biti:

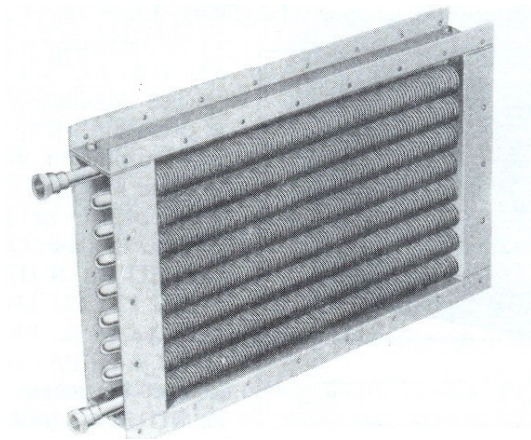
- klima komora (jedan grejač ili predgrejač i dogrejač),
- kanal pripremljenog vazduha (kanalski grejač, koji je najčešće dogrejač kod zonskih sistema),
- uređaj u prostoriji (najčešće dogrejač kod vodenih ili vazdušno-vodenih sistema; tada se u prostoriji nalaze aparati kao što je ventilator-konvektor (*fan-coil*) ili indukcionni aparat).

Kao radni fluid u grejaču najčešće se koristi topla voda. Mogu se koristiti različiti temperaturni režimi ($90/70^{\circ}\text{C}$, $80/60^{\circ}\text{C}$, $60/45^{\circ}\text{C}$ u kanalskim dogrejačima...). Grejni fluidi takođe može biti i vodena para niskog pritiska.

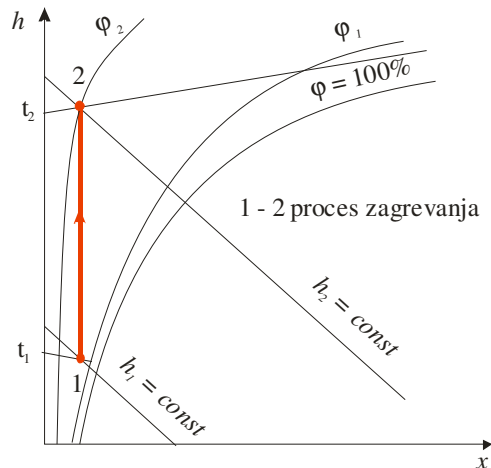
Zahtevi koje mora da ispuni grejač su:

- da bude kompaktan (što veće odavanje toplote po jedinici zapremine grejača),
- da ima što manji pad pritiska sa vazdušne strane (brzina vazduha po fasadnom preseku se kreće u granicama $w = 2 \div 4 \text{ m/s}$),
- da ima što manji pad pritiska sa vodene strane (brzina vode u cevima se kreće u granicama $w = 0,5 \div 1 \text{ m/s}$).

Na slici 7.18 je prikazan izgled grejača klima komore.



Slika 7.18a Spoljni izgled grejača sa spiralnim rebrima koji se postavlja u klima komoru



Slika 7.18b Priprema vazduha u h-x dijagramu

Kada je u pitanju konstrukcija grejača, oni se najčešće izrađuju od orebrenih cevi, kako bi se povećala razmena toplote pri konvekciji sa strane vazduha. Koeficijent prelaza toplote sa vodene strane – sa tople vode na zid cevi je reda veličine 100 puta veći u odnosu na koeficijent prelaza toplote sa zida cevi na vazduh ($\alpha_{un} \sim 10^3 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\alpha_{sp} \sim 10 \text{ W/m}^2\text{K}$). Zbog toga je neophodno povećanje površine za razmenu toplote sa strane vazduha.

Određivanje grejne površine grejača:

$$Q = k \cdot F_s \cdot \Delta\theta_m, \quad (7.5)$$

gde je:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_s} + \left[\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_u} \right] \cdot \frac{F_s}{F_u} - \text{otpor prolazu toplote sa grejnog fluida na vazduh}$$

$$\Delta\theta_m = \frac{\Delta\theta_{ul} - \Delta\theta_{iz}}{\ln \frac{\Delta\theta_{ul}}{\Delta\theta_{iz}}} - \text{srednja temperaturska razlika.}$$

Srednja temperaturska razlika zavisi od tipa strujanja koji može biti:

1. Istosmerni tok,
2. Suprotnosmerni tok i
3. Unakrsni tok.

Kod grejača se javlja kombinacija suprotnosmerno-unakrsnog toka grejnog i grejanog fluida, Tačna vrednost koeficijenta prolaza toplote može se odrediti samo eksperimentalno. Zbog navedenih razloga projektanti ne vrše proračun površine grejača, već taj podatak daje proizvođač na osnovu sledećih podataka:

- protoka vazduha kroz grejač,

- temperature vazduha na ulazu i izlazu iz grejača
- temperaturskog režima grejnog fluida.

Na bazi datih podataka, odnosno uslova u kojima grejač mora da radi, proizvođač određuje:

- površinu grejača,
- maseni protok grejnog fluida,
- pad pritiska sa vodene i vazdušne strane
- brzinu strujanja vazduha kroz grejač.

Regulacija odavanja toplote grejača je **kvalitativna** – maseni protok grejnog fluida ostaje konstantan, dok se menja temperatura tople vode na ulazu u grejač:

$$\dot{m}_w = const, \theta_{w,ul} \neq const$$

Regulacija se vrši pomoću trokrakog ventila koji je smešten u razvodnom vodu grejača i koji radi kao mešni – u potrebnom odnosu meša razvodnu i povratnu toplu vodu i na taj način se dobija željena temperatura vode na ulazu u grejač. Trokraki ventil može biti postavljen i u povratnom vodu, spojen kratkom vezom sa razvodnim.

HLADNJAK služi za hlađenje vazduha u letnjem i prelaznim periodima. Konstruktivno se ne razlikuje od grejača. I hladnjaci su, kao i grejači izrađeni od orebrenih cevi. Mogu se izrađivati od bakarnih cevi, što je dobro zbog otpornosti na koroziju. Rebra bakarnih cevi se izrađuju od aluminijuma ili bakra. Takođe se mogu izrađivati od čeličnih cevi sa čeličnim orebrenjem. Oblik rebara može biti pravougaoni, kružni ili spiralni.

Kod hladnjaka se, u odnosu na grejač, razlikuju uslovi razmene toplote:

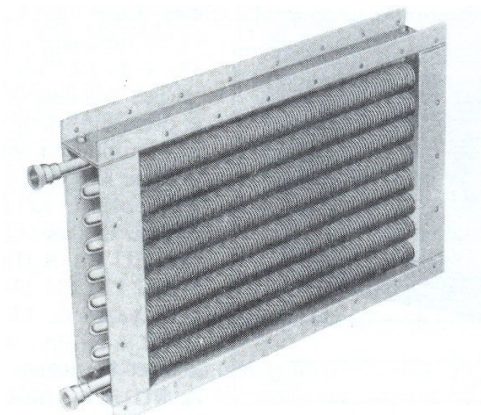
- manja je temperaturska razlika između vazduha i površine hladnjaka

$$\Delta\theta_{HL} = (\theta_{V,sr} - \theta_{W,sr})_{HL} < (\theta_{W,sr} - \theta_{V,sr})_{GR} = \Delta\theta_{GR}$$

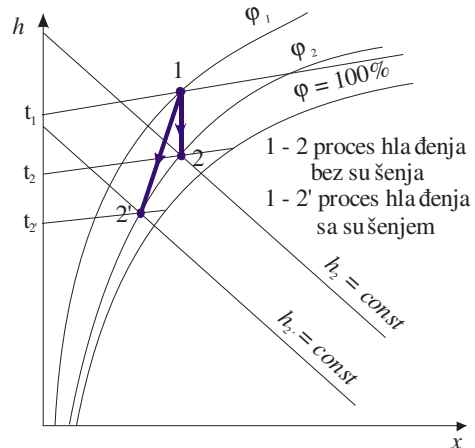
$$\sim 16 \quad \sim 25 \quad \sim 9 \quad < \quad \sim 80 \quad \sim 10 \quad \sim 70, \text{ što ima za posledicu:}$$

$F_{HL} > F_{GR}$, tj. površina hladnjaka je veća od površine grejača;

- uz hlađenje se obično vrši i sušenje vazduha, tj. dolazi do izdvajanja vlage iz vazduha koji se hladi i stvaranja kondenzata na površini hladnjaka. To ustvari znači da se u hladnjaku odvodi i **suva** i **latentna** toplota (slika 7.19).



Slika 7.19a Spoljni izgled hladnjaka



Slika 7.19b Proces hlađenja u h-x dijagramu

Da li će doći do izdvajanja vlage prilikom hlađenja vazduha zavisi od:

- stanja vazduha koji struji preko površine hladnjaka (temperature tačke rose θ_{TR})
- temperature površine hladnjaka θ_{PH} .

Kada je : $\theta_{TR} > \theta_{PH}$ doći će do izdvajanja vlage iz vazduha prilikom hlađenja.

Prema vrsti rashladnog fluida hladnjaci se mogu podeliti na:

- Hladnjake sa direktnim isparavanjem**, kada je radni fluid neki od rashladnih fluida (freon, amonijak, CO_2 ...) Tada je isparivač rashladne mašine hladnjak u klima komori i tada je površina hladnjaka na konstantnoj temperaturi koja odgovara temperaturi isparavanja;
- Protočne hladnjake**, kada je radni fluid hladna voda (ili vodeni rastvor antifrizu ako su potrebne niže temperature radnog fluida). U ovom slučaju temperatura površine hladnjaka nije konstantna, već se menja kako se voda zagreva od temperature na ulazu u hladnjak do temperature na izlazu iz hladnjaka. Danas se u klima komora pretežno koristi ovaj tip hladnjaka (sa sekundarnim rashladnim fluidom). Voda potrebna za hlađenje celog objekta se priprema u rashladnoj mašini. Na ovaj način se izbegava opasnost od curenja freona u klima komori i obezbeđuje centralna priprema hladne vode, čime je smanjena količina primarnog rashladnog fluida u sistemu. Međutim, rad sa sekundarnim rashladnim fluidom je termodinamički nepovoljniji zbog dodatnog posrednika u predaji toplote.

Prema mestu ugradnje hladnjaci se mogu podeliti na:

- Hladnjake u klima komori**, kada je hladnjak jedna od sekcija klima komore
- Hladnjake u elementima** za doradu ili ubacivanje vazduha u prostoriju; tada se obično u hladnjacima vrši samo odvođenje suve toplote bez izdvajanja vlage.

HLADNJACI KOJI RADE SA VODOM kao rashladnim fluidom obavezno koriste suprotnosmerno-unakrsno strujanje rashladnog i hlađenog fluida jer je tada veći efekat razmenjene količine toplote.

Uobičajene temperature koje se javljaju prilikom procesa hlađenja su:

$$\text{VAZDUH} : \theta_{V,ul} = 26 \div 35^{\circ} C ,$$

$$\theta_{V,iz} = 10 \div 15^{\circ} C ;$$

$$\text{VODA} : \theta_{W,ul} = 5 \div 6^{\circ} C ,$$

$$\theta_{W,iz} = 11 \div 12^{\circ} C ; \text{ što daje uobičajenu vrednost } \Delta\theta_w = 5 \div 6^{\circ} C .$$

Efekat hlađenja nekog hladnjaka može tačno da se odredi jedino eksperimentalnim putem. Ipak postoje izrazi za jedan približan, krajnje uprošćen proračun, koji pokazuje uticaj pojedinih parametara na razmenjenu količinu toplote.

Ukupno odvedena toplota u hladnjaku jednaka je zbiru suve i latentne:

$$Q = Q_s + Q_l \quad (7.6)$$

$$Q_s = \alpha_s \cdot F \cdot \Delta\theta_m \quad (7.7)$$

$$Q_l = \sigma \cdot F \cdot r \cdot \Delta x_m \quad (7.8)$$

gde su:

α_s - koeficijent prelaza suve toplote sa vazduha na površinu hladnjaka,

F - površina hladnjaka,

$\Delta\theta_m$ - srednja temperautska razlika rashladnog i hlađenog fluida,

$\sigma = \frac{\alpha_s}{c_p}$ - Luisov broj,

r - toplota promene faze (kondenzacije vlage)

Δx_m - razlika apsolutnih vlažnosti vazduha koji se hladi i zasićenog vazduha na t_{PH} ,

Korišćenjem Luisovog zakona dobija se izraz:

$$Q = \alpha_s \cdot F \cdot \left(\Delta\theta_m + \frac{r \cdot \Delta x_m}{c_p} \right) = \frac{\alpha_s \cdot F \cdot \Delta h_m}{c_p} , \quad (7.9)$$

gde je:

Δh_m - srednja razlika entalpija vazduha koji se hladi i zasićenog vazduha.

Ako se uvede neki fiktivni, korigovani koeficijent prelaza toplote α_k , koji obuhvata prelaz i suve i latentne toplote, onda se može napisati:

$$\alpha_k \cdot F \cdot \Delta \theta_m = \frac{\alpha_s \cdot F \cdot \Delta h_m}{c_p}, \text{ odakle sledi:}$$

$$\alpha_k = \alpha_s \cdot \frac{\Delta h_m}{c_p \cdot \Delta \theta_m}, \text{ odnosno sledi da je } \alpha_k > \alpha_s.$$

U projektantskoj praksi potrebnu veličinu hladnjaka određuje proizvođač na osnovu sledećih podataka koje dostavlja projektant:

- protoka vazduha kroz hladnjak,
- stanja vazduha na ulazu i izlazu iz hladnjaka (temperature i vlažnosti)
- temperaturskog režima hladne vode.

Na bazi datih podataka, odnosno uslova u kojima hladnjak radi, proizvođač određuje:

- površinu hladnjaka,
- maseni protok rashladnog fluida (vode),
- pad pritiska sa vodene i vazdušne strane i
- brzinu strujanja vazduha kroz hladnjak.

HLADNJACI SA DIREKTNIM ISPARAVANJEM rade sa primarnim rashladnim fluidom. Toplota potrebna za isparavanje rashladnog fluida oduzima se od vazduha koji struji kroz hladnjak. Smer strujanja nije bitan kao kod vodenih hladnjaka, jer je temperatura površine hladnjaka konstantna. Temperatura isparavanja rashladnog fluida (a samim tim i pritisak isparavanja) određuje se iz uslova hlađenja vazduha. Analizom potrebnog hlađenja vazduha u "h-x" dijagramu određuje se i usvaja temperatura površine hladnjaka, dok se za temperaturu isparavanja usvaja vrednost koja je za oko 3°C niža.

Temperatura isparavanja mora biti iznad 0°C, inače bi došlo do smrzavanja izdvojene vlage iz vazduha, što prouzrokuje:

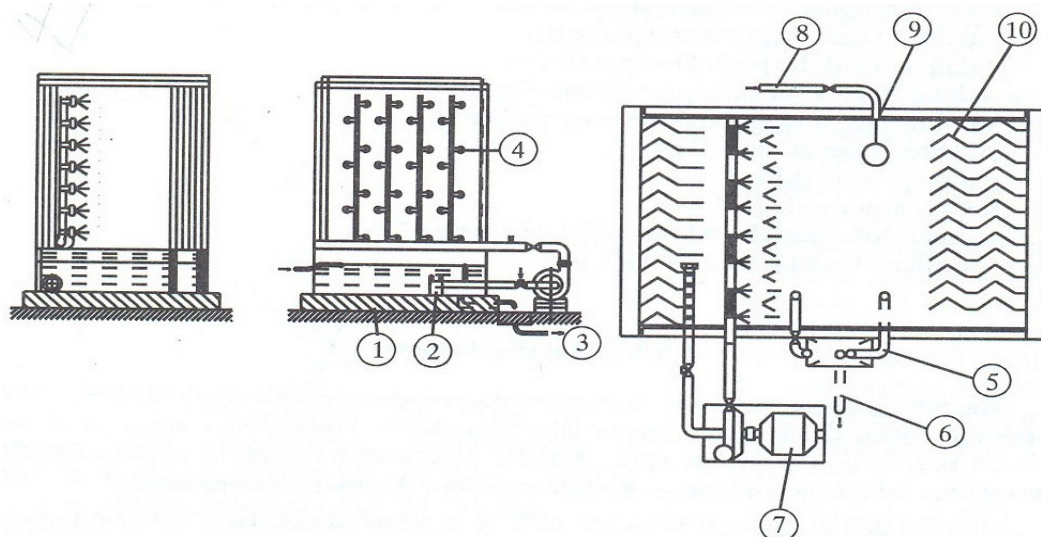
- smanjenje poprečnog preseka za strujanje vazduha kroz hladnjak,
- smanjenje kapaciteta hladnjaka, jer se povećava otpor provođenju toplote zbog naslage leda,
- prekid rada postrojenja zbog otapanja leda.

Regulacija rashladnog učinka hladnjaka vrši se **kvantitativno**, promenom protoka rashladnog fluida, dok temperatura na ulazu u hladnjak ostaje nepromenjena:

$$\bullet \\ m_w \neq const, \theta_{w,ul} = const.$$

Zbog malih razlika temperatura vode na ulazu i izlazu iz hladnjaka kvalitativna regulacija nije dobra - bila bi jako gruba - povišenjem temperature vode u razvodu za samo 1°C rezultovalo bi smanjenjem rashladnog učinka hladnjaka za 17%.

MAGLENA KOMORA je deo klima komore u kome se vrši vlaženje vazduha vodom. Maglena komora se sastoji od kućišta od pocinkovanog lima ili nekog veštačkog materijala (plastike). Donji deo maglene komore je kada za skupljanje i dopunu vode. Na jednoj strani maglene komore nalaze se mlaznice čija je uloga raspršivanje vode u što sitnije kapi. Da bi se intenzivirao proces razmene materije (ostvarilo bolje vlaženje), potrebno je da raspršene kapi vode budu jako sitne, u cilju povećanja površine kontakta između vode i vazduha. Šematski prikaz maglene komore u 3 projekcije (sa strane, frontalno i odozgo) prikazan je na slici 7.20.



Osnovni elementi: 1 - kada za vodu, 2 - korpa na usisnoj cevi, 3 - odvod za pražnjenje, 4 - cevni registar sa mlaznicama, 5 - prelivna cev, 6 - odvod viška vode, 7 - cirkulaciona pumpa, 8 - priključak za dolivanje, 9 - plovak, 10 - eliminator kapi

Slika 7.20 Maglena komora sa osnovnim elementima

Većina mlaznica za raspršivanje vode je sa unutrašnje strane obrađena u obliku spirale, pa struja vode dobija rotaciju i postiže se bolje raspršivanje. Mlaznica je vezana za cevni registar (verikalne cevi koje su povezane sa horizontalnim razdelnikom). Često se stavlja zaštitna mrežica kako bi se sprečio prodor nečistoća koje mogu da zapuše mlaznicu. Mlaznice se izrađuju od mesinga, bronzе, čelika, porcelana, plastičnih materijala, otvora 1÷5 mm. Veličina raspršenih kapi vode kreće se od 0,01÷1 mm u prečniku.

Kadica ima priključak za dolivanje vode, sa ventilom koji je povezan sa plovkom za regulisanje nivo vode u kadi. Kada nivo vode u kadi opadne, otvara se ventil na priključku za dolivanje. Na kadi se nalazi i prelivna cev, kao i cev za pražnjenje, koja je vezana za dno kade. U kadu je potopljen usisni deo cevovoda koji je zaštićen mrežom za sprečavanje prodora nečistoća. Cirkulaciona pumpa usisava vodu iz kade i šalje je u cevni registar.

Izlazni presek (a nekada i ulazni) snabdeven je eliminatorom kapi, čija je uloga da izdvoji iz stuje vazduha kapi vode koje nisu isparile. Eliminator kapi je sačinjen od paralelnih ploča u koje udaraju kapljice vode i slivaju se u kadu, dok struja vazduha prolazi kroz eliminator. Ploče eliminatora mogu biti izrađene od pocinkovanog lima ili od nekog veštačkog materijala. Važno je da je materijal eliminatora kapi otporan na koroziju.

Dužina maglene komore je od 1÷2 m, a brzina strujanja vazduha je 2÷3 m/s, tako da je vreme kontakta između vode i vazduha nešto ispod 1s. Voda u maglenoj komori se, po pravilu, termički ne obrađuje – niti se zagreva, niti se hladi.

Regulacija vlaženja se može vršiti na dva načina:

1. Uključivanjem i isključivanjem pumpe (ON/OFF sistem)
2. Delovanjem na ventil na dovodnoj cevi – prigušivanjem (pritvaranjem ventila) smanjuje se protok vode koji dolazi do mlaznica.

Smer strujanja vazduha kroz maglenu komoru može biti istosmeran ili suprotnosmeran. Pri suprotnosmernom strujanju vazduha, u odnosu na pravac raspršivanja vode, ostvaruje se bolji efekat vlaženja.

Proces vlaženja vodom u maglenoi komori smatra se izentalpskim procesom ($h = \text{const}$) jer je entalpija vode zanemarljivo mala ($h_w = c_w \cdot \theta_w = 4,19 \cdot 10 \approx 40 \text{ kJ/kg}$) i ne utiče bitno na pravac promene stanja prilikom vlaženja (slika 7.21).

S obzirom da se pri procesu vlaženja vodom vazduh hladi (što se vidi sa dijagrama na slici 7.21), često se dešava da proizvođači lokalnih ovlaživača reklamiraju svoje uređaje kao ekološke uređaje za hlađenje leti, koji troše jako malo energije (potrebne za rad ventilatora, koji je obično jako male instalisane snage), bez kompresora i freona! Njihov efekat i efikasnost su za diskusiju - tačno je da hlade vazduh, ali i povećavaju vlažnost; nekada je mnogo ugodnije imati nižu relativnu vlažnost pri višoj temperaturi, nego obrnuto.

Pored maglene komore postoje i lokalni ovlaživači vazduha sa vodom. U kućištu, koje je uglavnom lepo oblikovano, nalazi se posuda sa vodom i mali aksijalni ventilator kojim se ostvaruje cirkulacija vazduha kroz aparat. Često se može naći u literaturi ili čuti u praksi za pojam **adijabatsko hlađenje**, što nije ništa drugo nego izentalpsko vlaženje vodom.

VLAŽENJE VAZDUHA VODENOM PAROM

Uporeba vode za vlaženje vazduha povlači zauzimanje znatnog prostora u klima komori, kao i cirkulisanje veće količine vode od one koja ispari. Pri tome dolazi do snižavanja temperature vazduha u procesu vlaženja, pa je porebno imati ukupno veću površinu grejača (ili dva stupnja zagrevanja vazduha - predgrejač i dogrejač). Ako se tome dodaju i problemi higijenske prirode - povoljni uslovi za razvoj bakterija i mikroorganizama u toploj i vlažnoj atmosferi maglene komore, onda ima dovoljno razloga da se ovakav način vlaženja izbegava.

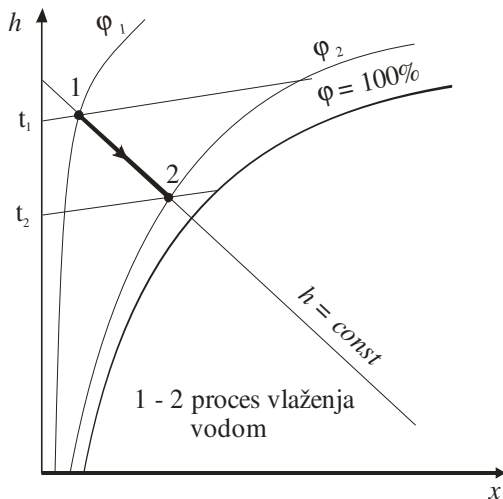
Uvođenje vodene pare direktno u struju vazduha znatno je jeftiniji i jednostavniji način vlaženja vazduha, koji pruža znatno bolje mogućnosti za regulaciju. Zbog toga se u praksi mnogo češće koriste parni ovlaživači, pogotovo kada su u pitanju objekti u kojima su strogi zahtevi po pitanju održavanja relativne vlažnosti u određenim granicama, npr. elektronska industrija, računski centri, farmacija, bolnice, muzeji, itd.

Neophodno je da se proces vlaženja obavlja suvom parom, pošto vlažna para i kondenzat mogu dovesti do pojave neprijatnih mirisa, kao i do mogućnosti razvoja algi i bakterija u kondenzatu. Uvođenjem suve pare u struju vazduha dolazi do mešanja vlažnog vazduha i pare, pa se iz bilansa mešanja dolazi do izraza:

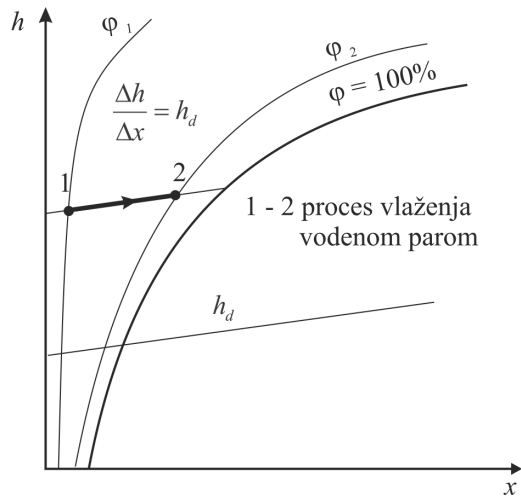
$$\frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta h}{\Delta x} = h_d, \quad (7.10)$$

koji određuje pravac procesa vlaženja parom. Pravac promene stanja prilikom vlaženja parom je određen entalpijom pare kojom se vrši vlaženje, što je prikazano na dijagramu na slici 7.22. U zavisnosti od entalpije vodene pare h_d , temperatura vazduha nakon vlaženja može da poraste.

Postoje i uređaji za vlaženje parom koji imaju električni grejač za proizvodnju vodene pare (ne koriste paru iz centralnog izvora). Jedan od tih uređaja je i HYGROMATIC, koji se sastoji od: parnog cilindra, u kome se pomoću električnog grejača proizvodi vodena para; cilindar je rastavljiv, tako da može lako da se čisti; električnog grejača koji se nalazi u cilindru; ima elektrode od nerđajućeg čelika velike površine; pumpe za odmuljivanje cilindra, s obzirom da se isparavanjem vode u cilindru povećava koncentracija soli i nečistoća u preostaloj vodi, pa se povremeno izbacuje jedan deo vode, kako bi se sprečilo taloženje kamenca, i solenoidnog ventila na cevovodu za dovod vode, radi dopunjavanja cilindra.



Slika 7.21 Proces vlaženja vodom u h-x dijagramu



Slika 7.22 Proces vlaženja parom u h-x dijagramu

FILTRIRANJE VAZDUHA

Pored održavanja termičkih uslova sredine, zadatak klimatizacionih postrojenja je i održavanje čistoće vazduha. Ovo je posebno značajno u današnje vreme sve veće zagađenosti okoline i sve strožim zahtevima za čistoćom vazduha u mnogim oblastima i granama industrije.

Prečišćavanje vazduha (eliminisanje čvrstih, tečnih i gasovitih nečistoća) može se ostvariti na više načina:

- filtriranjem;
- apsorpcijom;
- otprašivanjem.

Filtriranjem se iz vazduha odstranjuju čvrste (i tečne) čestice, i to je proces prečišćavanja koji se obavezno primenjuje u klimatizacionim postrojenjima. Izdvajanje gasovitih primesa apsorpcijom vrši se u skruberima. Pod otprašivanjem se podrazumeva izdvajanje prašine veće koncentracije. Poslednja dva navedena načina prečišćavanja vazduha primenjuju se u industrijskoj klimatizaciji.

Ne postoji univerzalni filter koji efikasno izdvaja čestice prašine svih dimenzija. Filteri se proizvode za odstranjivanje čestica određene veličine, pa je u skladu sa dimenzijama prašine i osnovna podela filtera:

- filter za grubu prašinu;
- filter za finu prašinu;
- filter visokog učinkaza finu prašinu;
- apsolutni filter.

Da bi se kvalitet pojedinih filtera mogao realno porediti, bilo je potrebno razviti i standardizovati metodologiju za ispitivanje efikasnosti tih filtera. Metod ispitivanja filtera zavisi od veličine čestica prašine za koju je namenjen.

Filteri za grubu i finu prašinu ispituju se pomoću veštačke probne prašine koja se sastoji od 72% kamenog brašna, 25% čađi i 3% pamuka. Meri se gravimetrijski stepen izdvajanja (efikasnosti) definisan na sledeći način:

$$\eta = \left(1 - \frac{c_{iza}}{c_{ispred}}\right) \cdot 100\% \quad (7.11)$$

gde je:

c_{iza} – koncentracija prašine iza filtera (posle filtriranja)

c_{ispred} – koncentracija prašine ispred filtera (pre filtriranja)

Podela filtera i osnovne karakteristike prikazane su u tabeli 7.4.

Tabela 7.4 Klasifikacija filtera za vazduh

Klasa filtera	Efikasnost filtera η	Stepen korisnosti filtera E_m	Stara oznaka	Naziv filtera
EU1	$\eta < 65$		A	za grubu prašinu
EU2	$65 \leq \eta < 80$		B ₁	za finu prašinu
EU3	$80 \leq \eta < 90$		B ₂	
EU4	$90 \leq \eta$			
EU5		$40 \leq E_m < 60$	C ₁	visokoučinski filter za finu prašinu
EU6		$60 \leq E_m < 80$	C ₂	
EU7		$80 \leq E_m < 90$		
EU8		$90 \leq E_m < 95$	C ₃	
EU9		$95 \leq E_m$	–	
EU10	85		Q	Apsolutni filter (filter za lebdeću prašinu)
EU11	95		R	
EU12	99,5		S	
EU13	99,95			
EU14	99,995		ST	
EU15	99,9995		T	
EU16	99,99995		U	
EU17	99,999995		V	
EU18	99,9999995		–	

Za ispitivanje visokoučinskih filtera za finu prašinu koristi se prirodno zagađeni vazduh. U struju vazduha, ispred i iza filtera koji se ispituje, postavi se visokokvalitetni filter papir i meri se vreme za koje se svaki papir zaprlja (dostigne određenu zacrnjenost). Upoređivanjem ovih vremena dobija se stepen korisnosti filtera E_m .

Apsolutni filteri ispituju se DOP testom. Naziv metode ispitivanja potiče od hemijske supstance koja se koristi – di-okti-ftalat. Pri stvaranju aerosola ove supstance dobijaju se čestice približno istog prečnika (0,3 μm).

EFEKTI FILTRIRANJA VAZDUHA

U zavisnosti od veličine čestica prašine, u tehnici klimatizacije primenjuju se različiti efekti za odstranjivanje zagađivača iz vazduha:

- prosejavanje;
- taloženje;
- inercija;
- difuzija;
- intercepcija.

Efekat prosejavanja se koristi za izdvajanje najkrupnijih čestica prašine. Kada je prečnik čestice nečistoće veći od otvora filtera, ta čestica ne može da prođe i zadržava se na filteru.

Efekat taloženja je takođe karakterističan za čestice prašine veće mase. Na svaku česticu koja se kreće deluju dve sile. Pored sile koja izaziva kretanje čestice u struji vazduha, na česticu deluje i sila zemljine teže koja uslovljava taloženje pre svega krupnijih čestica (slika 7.23a).

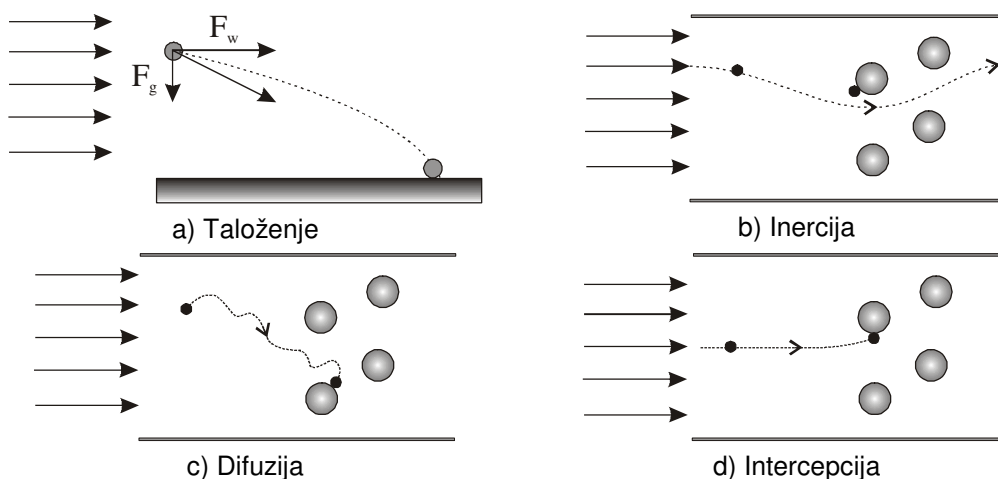
Efekat inercije je takođe karakterističan za čestice prašine veće mase, ali manje nego u prethodna dva slučaja. Pri strujanju kroz filtersku masu, zbog prirode materijala od kog je filter izrađen, vazduh mora često da menja pravac strujanja. Čestice prašine zbog inercije teško mogu da prate ove česte promene pravca strujanja, pa se sudaraju s vlaknima filtera, "lepe se" i ostaju na njima (slika 7.23b).

Efekat difuzije karakterističan je za čestice prašine vrlo male mase (prečnika manjeg od $0,1 \mu\text{m}$). Nastaje usled Braunovog kretanja molekula. Usled neravnomernog sudara molekula i submikronskih čestica dolazi do haotičnog kretanja, nezavisno od smera strujanja vazduha (slika 7.23c). Kada čestica prašine dospe blizu filterskog vlakna, ona "trpi" veći broj udara sa suprotne strane, pa se usmerava ka vlaknu, sudara s njim i ostaje na njemu.

Efekat intercepcije nastaje kada čestica prašine prolazi pored filterskog vlakna na rastojanju manjem od poluprečnika čestice. Usled dejstva elektrostatičkih sila, čestica se "lepi" za vlakno (slika 7.23d). Efekat intercepcije naziva se i efekat kačenja.

Ne koristi svaki filter za vazduh sve navedene efekte izdvajanja čestica prašine, ali se često istovremeno koristi više efekata filtriranja. Efikasnost filtera zavisi od:

- vrste filterske mase;
- veličine čestica;
- brzine strujanja vazduha kroz filter.



Slika 7.23 Efekti filtriranja

Pri strujanju vazduha kroz filter dolazi do pada pritiska. Vrednost pada pritiska na filteru u klimatizacionim postrojenjima može da se kreće u vrlo širokom opsegu: od 20 Pa za grube filtere do 500 Pa za apsolutne. Tokom rada filter se prlja. Čestice prašine koje se lepe na filterska vlakna smanjuju svetli presek za strujanje vazduha, pa se pad pritiska u filteru povećava.

Za nominalni (projektni) protok vazduha kroz čist filter, pad pritiska je $\Delta p_{N\check{c}}$. Tokom rada, usled izdvajanja čestica prašine na filterskim vlaknima, pad pritiska se povećava i kada se dostigne granična vrednost koja odgovara maksimalno zaprljanom filteru, na kontrolnoj tabli uključuje se alarm koji upozorava rukovaoca postrojenja da je potrebno da zameni ili opere filter.

MATERIJALI ZA FILTERE

Materijali za izradu filtera treba da ispune sledeće zahteve:

- velika sposobnost akumulacije lestica prašine u filterskoj masi;
- dobra propustljivost vazduha (što manji pad pritiska pri strujanju)
- dobra fizička svojstva (mehanička čvrstoća, otpornost na habanje, savitljivost, postojanost na visokim temperaturama, itd.);
- da nije higroskopan;
- da zadržava svoje osobine pri obradi.

Materijali od kojih se izrađuju filteri:

- prirodni (pamuk, vuna, celuloza,...)
- veštački (poliamid, poliestar, polipropilen, polietilen, fiber vlakna, teflon,...)

Postoje različite izvedbe filtera koji se koriste u tehnici ventilacije i klimatizacije:

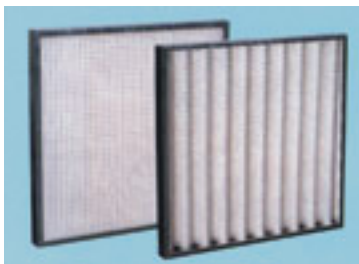
- **Žičani filter** – izrađuje se od isprepletane žice. Broj otvora po cm^2 može biti različit zavisno od veličine čestica koje treba da izdvoji. Ovo su vrlo grubi filteri i uglavnom imaju zaštitnu funkciju.
- **Kasetni filter** – u metalni ram postavlja se filterski materijal (slika 7.24). Često se koriste u klimatizaciji. Zauzimaju malo prostora u klima komori.
- **Vrećasti filter** – izrađuje se od istog materijala kao i kasetni. Za isti poprečni presek ima znatno veću površinu od kasetnog filtera, tako da može da izdvoji mnogo više prašine (duži period između zamene filtera), ali zauzima više mesta u klima komori (slika 7.24). Ovo je danas najčešće korišćeni tip filtera u klima komorama.
- **Filter sa pokretnom trakom**, tzv. rol filter – koristi se uglavnom u industriji. Filterska masa može biti i nauljena.
- **Elektrofilteri** – imaju vrlo visok stepen izdvajanja prašine. Izrađuju se u širokom opsegu veličina: od najmanjih za primenu u kućnim klima uređajima do najvećih za prečišćavanje dimnih gasova u termoelektranama.
- **Filter s aktivnim ugljem** – koristi se za izdvajanje gasovitih zagađivača iz vazduha (slika 7.24).



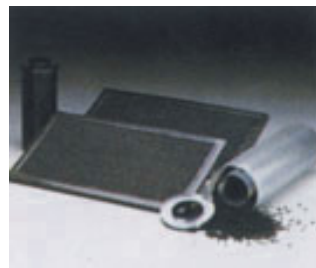
Vrećasti filteri



Vrećasti filter sa 4 ćelije



Kasetni filteri



Filteri sa aktivnim ugljem

Slika 7.24 Vrste filtera

7.4.4 Elementi za distribuciju vazduha

Kod vazдушnih sistema se transport pripremljenog vazduha do mesta ubacivanja vrši kanalskom mrežom, koja se deli na razvodnu i povratnu. U klimatizacionim sistemima, u kojima je vazduh radni fluid, neophodno je izvršiti

distribuciju vazduha od mesta na kome se priprema do mesta koje se klimatizuje. Vazduh cirkuliše kroz sistem kanala - kanalsku mrežu, a razliku pritisaka za njegovo stujanje obezbeđuju ventilatori. Kanalska mreža koja povezuje klima komoru sa klimatizovanim prostorom, kroz koju struji pripremljen vazduh naziva se razvodnom kanalskom mrežom. Pored razvodne kanalske mreže postoji i sistem kanala za odvođenje vazduha iz klimatizovanog prostora, kojim se odvodi otpadni vazduh i koji se naziva odsisna ili odvodna kanalska mreža.

Zadatak kanlske mreže je:

- dovođenje vazduha do svake klimatizovane prostorije što kraćim putem;
- da proizvede i/ili prenese što manje šumova (dozvoljeni nivo buke);
- da obezbeđuje lako održavanje (tokom eksploatacije kanali se prljaju, pa ih je potrebno s vremena na vreme očistiti);
- da gubici i dobici toplote budu svedeni na minimum;
- dobro uklapanje u arhitektonsko-građevinsku celinu objekta;
- da investicioni i eksploatacioni troškovi budu minimalni.

Materijali koji se koriste za izradu kanala su čelični, pocinkovani, aluminijumski i crni lim, zatim azbestni cement, beton, sintetički materijali, plastične i fleksibilne cevi. Ti materijali moraju ispunjavati sledeće uslove:

- unutrašnje površine kanala treba da su glatke (manji pad pritiska usled trenja pri strujanju);
- kanali moraju biti otporni na koroziju i moraju biti nezapaljivi;
- kanali ne treba da proizvode šumove, a treba da apsorbuju one koji potiču od klima komore;
- da proizvodnja i montaža kanala bude što jeftinija;
- da težina kanala bude mala;
- da ne smeju biti higroskopni;
- da budu dugotrajni i da se lako čiste.

Najpogodniji materijal za izradu kanala je čelični lim, koji se koristi u preko 90% slučajeva. Lim može biti pocinkovan ili češće premazan zaštitnim slojem. Crni lim, koji je otporan na visoke temperature koristi se za kanale za izvlačenje vazduha iz kuhinja.

Kanali mogu biti kružnog poprečnog preseka (manje dimenzije) i kvadratniog ili pravougaonog poprečnog preseka. Debljina lima od koga se kanali izrađuju zavisi od prečnika kanala, što je važno zbog ukrućenja i širenja buke. Sa povećanjem prečnika kanala raste i debljina lima od koga su kanali izrađeni.

Postoji veliki broj različitih elemenata za ubacivanje pripremljenog vazduha u prostoriju. Neki od njih su prikazani na slici 7.25. U zavisnosti od geometrije prostorije, položaja mesta za ubacivanje i izvlačenje (odsisavanje) vazduha i željene strujne slike projektant bira odgovarajuće elemente.

Najčešće se primenjuju anemostati i rešetke. Anemostati su predviđeni za plafonsku ugradnju i imaju fiksne prereze kroz koje vazduh prostrujava. Rešetke za ubacivanje vazduha se mogu postavljati na plafonu, zidovima i podu. U zavisnosti od željenog načina usmeravanja vazduha koji se ubacuje mogu imati jedan ili dva reda usmeravajućih žaluzina. Ukoliko se želi postići veći domet mlaza vazduha (kada su u pitanju prostorije velikih gabarita) koriste se difuzori. Brzina struje vazduha prilikom ubacivanja difuzorom je znatno veća u odnosu na rešetke i anemostate, ali se vodi računa da u zoni boravka ljudi ona bude u odgovarajućim granicama.

Svaki element za ubacivanje vazduha može se isporučiti sa odgovarajućim regulatorom protoka, ako se želi regulacija na svakom mestu ubacivanja. Regulatori protoka mogu biti i kanalski, kada je kanalska mreža razgranata, pa je potrebno balansiranje sistema (slika 7.26).

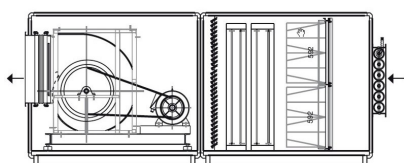


Slika 7.26 Elementi za regulaciju protoka – na rešetki (levo) i kanalski (desno)

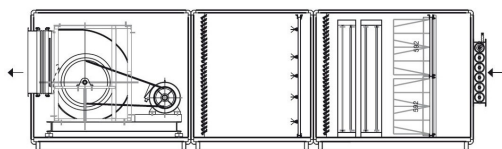
Postoje različite vrste komora, koje po svojoj strukturi odgovaraju zahtevanom procesu pripreme vazduha. Komore se proizvode u standardnim

veličinama u zavisnosti od protoka vazduha i modularnog su tipa – to znači da se sastvaljaju iz sekcija. Postoje čisto ventilacione komore, koje se sastoje samo od ventilatorskih sekcija (kao što je spratna komora prikazana na slici 7.27 gore). Ventilacione komore najčešće imaju i filtersku sekciju, koja sprečava unošenje nečistoća iz spoljašnje sredine. U koliko je prostorija namenjena za boravak ljudi, ne može se dozvoliti ubacivanje termički nepripremljenog vazduha – pogotovo zimi pri niskim spoljnim temperaturama. Takve komore imaju obavezni grejačku sekciju, tako da se u prostoriu ubacuje vazduh na temperaturi prostorije (kao što je komora na slici 7.28 gore levo).

Horizontalne komore

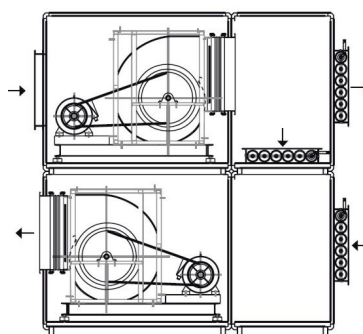


Ventilaciona komora za rad sa SV
(žaluzine, filter, grejač, hladnjak, ventilator)



Ventilaciona komora za rad sa SV
(žaluzine, filter, grejač, hladnjak, maglena
komora za vlaženje, ventilator)

Spratne komore



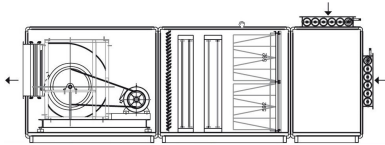
Ventilaciona komora za rad sa SV i RV
(žaluzine, mešna sekcija MS, potisni
ventilator PV i odsisni ventilator OV)

Slika 7.27 Ventilacione komore za rad sa svežim vazduhom

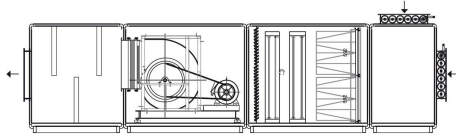
Ukoliko se želi vazdušno grejanje, odnosno da sistem nadoknadi i gubitke toplote prostorije, kapacitet grejača mora biti veći i u prostoriu se ubacuje vazduh temperature više od one u prostoriji. Kada je potrebno održavati relativnu vlažnost vazduha na datom nivo, komora može imati i sekciju za vlaženje – tzv. maglenu komoru. Ukoliko je propisan određen nivo buke u ventiliranom prostoru dodaje se sekcija prigušivača buke. Komora može imati i mešnu sekciju, ukoliko se (zbog uštede energije za grejanje) može raditi sa određenim udelom svežeg i recirkulacionog vazduha.

Na slici 7.29 prikazane su dve spratne komore, koje pored navedenih sekcija imaju ugrađen razmenjivač toplote vazduh-vazduh. Ovi razmenjivači toplote (koji su posebno prikazani na slici 7.30) imaju ulogu korišćenja otpadne toplote, odnosno imaju za cilj uštedu energije.

Horizontalne komore

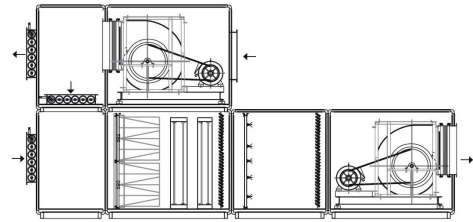


Ventilaciona komora za rad sa SV i RV
(žaluzine, mešna sekcija, filter, grejač,
hladnjak, ventilator)



Ventilaciona komora za rad sa SV i RV
(žaluzine, mešna sekcija, filter, grejač,
hladnjak, ventilator, prigušivač buke)

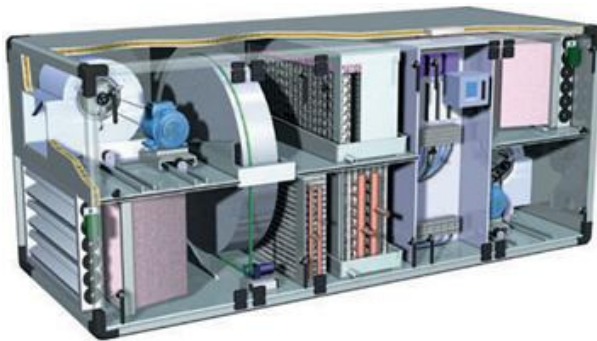
Spratne komore



Ventilaciona komora za rad sa SV i RV
(MS, F, GR, HL, MK, PV i OV)

Slika 7.28 Ventilacione komore za rad sa svežim i recirkulacionim vazduhom

Vazduh koji se izvlači iz prostorije, pre nego što se izbací van objekta kao **otpadni vazduh**, vraća se nazad u komoru, prolazi kroz razmenjivač i predaje toplotu hladnom spoljnom vazduhu.



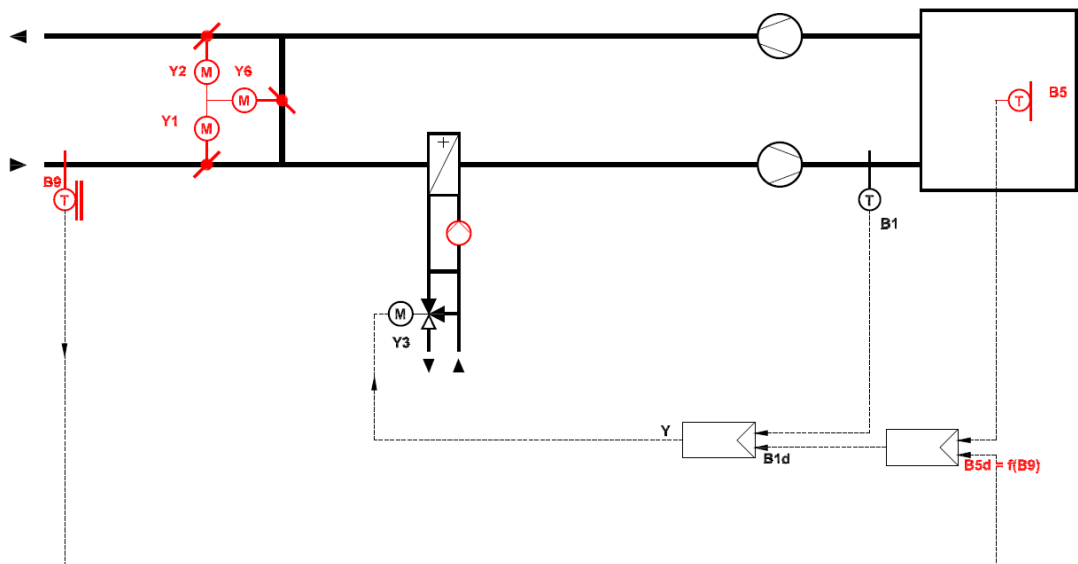
Slika 7.29 Izgled komora sastvaljenih od različitih sekcija



Slika 7.30 Razmenjivači toplote vazduh/vazduh – rotacioni (levo) i unakrsni pločasti (desno)

7.4.5 Kaskadno upravljanje u sistemima klimatizacije

Kaskadno upravljanje se koristi u slučaju kada postoji nekoliko merenih signala i jedna upravljačka veličina. Kaskadno upravljanje je posebno korisno kada je prisutno veliko vremensko kašnjenje između upravljačkog signala i izlazne veličine, ili kada objekat ima velike vremenske konstante. U prvom redu se koristi kod prostorno regulisanih objekata, za regulisanje temperature i vlažnosti vazduha u klimatizovanim prostorima. Kaskadno upravljanje je pogodno kako u slučajevima kada se želi brzo regulisanje objekta, tako i u slučaju sporih objekata.



Slika 7.31 Funkcionalna šema kaskadnog upravljanja temperature u prostoru

Kaskadno upravljanje dovodi do toga, da pri pojavi odstupanja upravljane veličine, se ne upravlja direktno hod izvršnog organa, već se menja željena vrednost dodatnog regulatora. Krajnji ishod ovog izaziva veoma brz rad izvršnog organa.

U spoljašnjoj, glavnoj (master) regulatorskoj petlji na slici 7.31 se koristi regulator koji na osnovu merenja temperature spoljašnjeg vazduha i temperature u regulisanom prostoru računa željenu vrednost temperature ubacnog vazduha. Ova vrednost se u unutrašnjem (slave) regulatoru poredi sa izmerenom vrednošću temperature vazduha u ubacnom kanalu, na osnovu čega se formira signal upravljanja mešnog ventila vodenog grejača. Obično se u glavnoj petlji koristi P, dok se u unutrašnjoj koristi PI algoritam upravljanja, pa se takvo upravljanje naziva P+PI kaskadno upravljanje. U današnje vreme, većina programabilnih upravljačkih sistema koristi PI+PI kaskadno upravljanje.

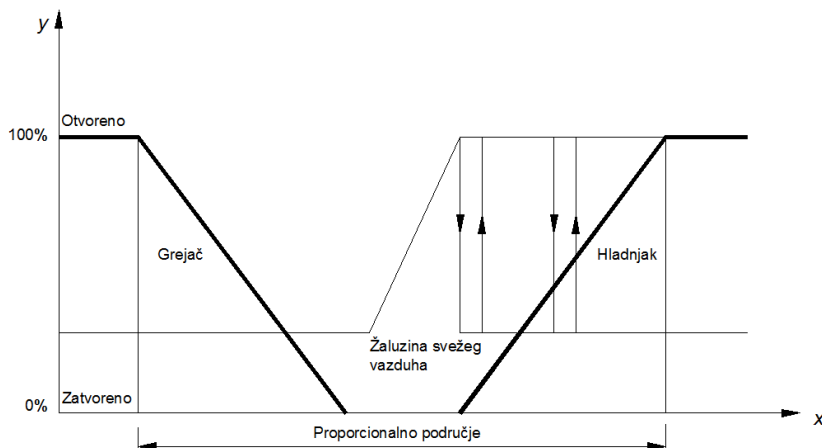
Osim navedenog, kaskadno regulisanje može da vrši funkciju ograničavanja vrednosti temperature, pa se ne zahteva ugradnja dodatnog zaštitnog termostata.

7.4.6 Sekvencijalno upravljanje u sistemima klimatizacije

Za razliku od kaskadnog upravljanja, koje se koristi kada postoji jedna upravljačka i nekoliko merenih signala, sekvencijalno upravljanje se koristi kada postoji jedna merena veličina i nekoliko upravljačkih. Drugim rečima, regulišući elementi se uvode u sekvencu kada se želi da oni deluju na istu regulisanu veličinu u unapred tačno određenom redu. Pri tome je moguće da se njihovo delovanje, s obzirom da regulisanu veličinu, poklapa ili ne poklapa. Ovakvo upravljanje se veoma često koristi, a u sekvencu su vezana obično najmanje dva regulišuća elementa, i to:

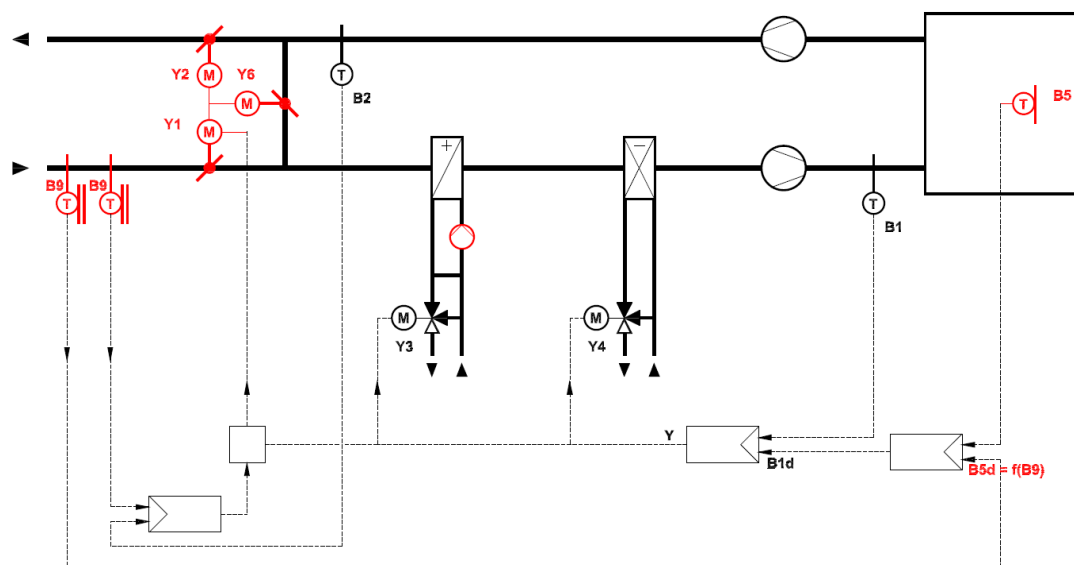
- žaluzine za mešanje vazduha i hladnjak vazduha;
- grejač i hladnjak vazduha;
- žaluzine za mešanje vazduha i ovlaživač vazduha;
- žaluzine za mešanje vazduha i grejač vazduha;
- hladnjak vazduha i ventilator sa promenljivim brojem obrtaja.

Ovakvi sistemi su običajeni u upravljanju klima komora kada su istovremeno prisutni grejač i hladnjak (i/ili žaluzina svežeg vazduha). Princip podeljenog sekvencijalnog upravljanja je ilustrovan na slici 7.32, na kojoj se vidi statička karakteristika između merene veličine i upravljanja. Sekvencijalnim upravljanjem se izbegava jednovremeno grejanje i hlađenje. Međutim, prelaz između grejanja i hlađenja je i dalje kritičan, jer može da izazove oscilacije i jednovremeni rad grejača i hladnjaka. Da bi se ovo izbelgo, uvodi se odgovarajuća zona neosetljivosti.



Slika 7.32 Sekvencijalno upravljanje grejača, hladnjaka i žaluzina svežeg vazduha sa zonom neosetljivosti

Primer sekvencijalnog upravljanja je dat na slici 7.33. Željena vrednost temperature ubacnog vazduha se kaskadno upravlja. Regulatorsko kolo ubacnog vazduha se sastoji od ubacnog kanala, grejača i hladnjaka sa odgovarajućim mešnim ventilima, ventilatora i mešne sekcije sa upravljanjem žaluzina radi tzv. free cooling-a. Recirkulaciona žaluzina i hladnjak vazduha rade u sekvenci.



Slika 7.33 Funkcionalna šema sekvencijalnog upravljanja temperature u prostoru

8 MERE UNAPREĐENJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI TERMOTEHNIČKIH SISTEMA

8.1 MERE UNAPREĐENJA TERMOTEHNIČKIH SISTEMA

Kada je bilo reči o uticajnim parametrima na potrošnju energije KGH sistema, pomenuto je da veliki uticaj na potrošnju energije za rad sistema tokom godine ima izbor projektnog rešenja samog sistema, izvora energije, režima korišćenja i nivoa automatskog regulisanja. Kako bi bilo moguće pravilno projektovati sistem i integrisati ga u zgradu, potrebno je poznavati mogućnosti primene određenih tehničkih rešenja koja značajno mogu doprineti energetske performansama sistema, uštedama energije za pogon tokom godine i smanjenju eksploatacionih troškova.

Analiza mogućih mera za unapređenje energetske efikasnosti sistema uključuje analize:

- mogućnosti zamene energenta i korišćenja OIE,
- poboljšanja energetske svojstava sistema za grejanje,
- poboljšanja energetske svojstava sistema za hlađenje,
- poboljšanja energetske svojstava sistema za klimatizaciju i ventilaciju,
- poboljšanja energetske svojstava sistema za pripremu potrošne tople vode,
- poboljšanja energetske svojstava sistema potrošnje električne energije (elektroinstalacija, osvetljenje, kućni aparati i dr.),
- poboljšanja energetske svojstava specifičnih podsistema,
- poboljšanja sistema regulisanja i upravljanja,

Sprovedena analiza svake od predloženih mera mora dati odgovore na sledeća pitanja:

- kolike su godišnje uštede energije i koliko je smanjenje emisije ugljen-dioksida,
- koliki su investicioni troškovi, uključujući troškove projektovanja, javne nabavke (tendera), montaže i demontaže postojeće opreme,
- koliki je period povrata investicije (prost i dinamički),
- kakva je specifikacija opreme i radova (u smislu dostupnosti na tržištu),
- kakvi su troškovi održavanja novoprojektovanih sistema.

Moguće mere za unapređenje energetske efikasnosti sistema KGH mogu biti:

- Zamena standardnih kotlova niskotemperaturnim ili kondenzacionim kotlovima ili kotlovima za sagorevanje biomase;

- Primena niskotemperaturnih sistema grejanja (panelnog ili sistema sa ventilator-konvektorima);
- Primena visokotemperaturnih sistema hlađenja (panelni sistemi zidnog i plafonskog hlađenja, kao i temperiranje betonskog jezgra);
- Povraćaj toplote iz otpadnog vazduha u sistemima ventilacije i klimatizacije (ptimenom razmenjivača toplote vazduh-vazduh);
- Prirodno provetravanje ili mehanička noćna ventilacija, u cilju smanjenja toplotnog opterećenja sistema hlađenja tokom leta;
- Priprema potrošne tople vode pomoću energije Sunca;
- Priprema potrošne tople vode pomoću toplotnih pumpi koje kao izvor toplote koriste toplotu otpadne vode;
- Primena inverterskih uređaja za hlađenje prostora (Uređaja sa frekventnom regulacijom rada kompresora);
- Primena toplotnih pumpi u pasivnom režimu rada za pasivno hlađenje (bez uključivanja u rad rashladnog agregata);
- Iskorišćenje otpadne toplote sa kondenzatora rashladnih agregata za zagrevanje potrošne tople vode;
- Omogućavanje predgrevanja vazduha u zimskom periodu za rad toplotne pumpe vazduh – voda, ukopavanjem dovodnog kanala za vazduh;
- Omogućavanje predgrevanja spoljnog vazduha za sagorevanje toplotom dimnih gasova ugradnjom dimljaka sa koaksijalnom cevi;
- Toplotna izolacija neizolovanih delova sistema (cevne mreže sa pripadajućom armatourom, razmenjivača toplote, kanalske mreže);
- Domaćinsko rukovanje (uz uvođenje automatskog regulisanja rada sistema), upotreba i održavanje sistema za grejanje, hlađenje, ventilaciju i pripremu sanitarne tople vode.

8.1.1 Zamena izvora i energenta za snabdevanje energijom

Kada je u pitanju razmatranje mogućnosti zamene energenta za snabdevanje energijom ili primena obnovljivih izvora energije, pre svega treba imati u vidu dostupnost određene vrste energenta na lokaciji na kojoj se zgrada nalazi. Na primer, ako se želi zamena kotlova na ugalj i nabavka novih kotlova na gas, potrebno je prikupiti informaciju o mogućnosti priključenja zgrade na gasovodnu mrežu, ili mogućnosti formiranja kotlarnice sa rezervoarom za gas. Svakako, analiza treba da sadrži ulazne podatke o mogućnostima i preprekama zamene izvora energije i korišćenju OIE, kao što su:

- decentralizovani sistem snabdevanja energijom na bazi korišćenja OIE (biomasa, solarna energija, geotermalna energija, vetar),
- kogeneracija (kombinovan proizvodnja toplote i električne energije),

- apsorpciono hlađenje,
- daljinsko grejanje/hlađenje (ako postoje infrastrukturne mogućnosti),
- toplotne pumpe koje kao izvor toplote koriste okolinu (vazduh, vodu ili zemlju),
- prelazak na ekološki prihvatljivije gorivo (uz smanjenje emisije CO₂, pri nepromenjenom instalisanom kapacitetu izvora).

Prilikom razmatranja zamene starih konvencionalnih kotlova koji kao gorivo koriste prirodni gas, lož-ulje ili mazut, kondenzacionim kotlom na prirodan gas, postižu se sledeći efekti:

- Energetska ušteda u odnosu na novi konvencionalni kotao istih parametara iznosi oko 10 – 15 %;
- Energetska ušteda u odnosu na stari konvencionalni kotao istih parametara iznosi oko 25 - 30 %;
- Ušteda u troškovima za energent se kreće i do 50 % u zavisnosti od sistema grejanja i pripreme STV koji je zastupljen u objektu;
- Prosečni povraćaji investicije se kreću od 2 – 5 godina, dok je procenjeni životni vek mere za povraćaj investicije 15 – 20 godina;
- Značajno se smanjuje emisija ugljen-dioksida;
- Veće uštede se postižu kod niskotemperaturnih sistema grejanja (što podrazumeva i rekonstrukciju postojeće kućne instalacije sistema visokotemperaturnog radijatorskog grejanja instalacijom panelnog grejanja ili sistema sa ventilator-konvektorima).

U slučajevima kada se razmatra zamena starih konvencionalnih kotlova koji kao gorivo koriste prirodni gas, lož-ulje ili mazut, kotlom na biomasu, postižu se sledeći efekti:

- Ušteda u troškovima za energent se kreće i do 40 % u zavisnosti od sistema grejanja koji je zastupljen u objektu;
- Prosečni povraćaji investicije se kreću od 2,5 – 5 godina, dok je procenjeni životni vek mere za povraćaj investicije 15 – 20 godina;
- Značajno se smanjuje emisija ugljen-dioksida.

Zamena starih kotlova koji koriste električnu energiju, toplotnom pumpom koja koristi kao izvor toplote vazduh, zemlju ili podzemnu vodu i dodatnim električnim grejačima, postiže se:

- Ušteda u troškovima za energent se kreće i do 85 % u zavisnosti od sistema KGH koji je zastupljen u objektu;
- Prosečni povraćaji investicije se kreću od 10 – 20 godina u zavisnosti od sistema grejanja i tipa toplotne pumpe, dok je procenjeni životni vek mere za povraćaj investicije 20 godina;
- Značajno se smanjuje emisija ugljen-dioksida.

8.1.2 Poboljšanje sistema za regulisanje i upravljanje

Moguće mera za unapređenje energetske efikasnosti sistema poboljšanjem sistema za regulisanje i upravljanje mogu biti:

- Ugradnja radijatorskih ventila sa termostavima radi lokalne regulacije toplotnog učinka;
- Ugradnja sobnog termostata sa programatorom u cilju zonske regulacije;
- Ugradnja regulatora kotla sa kompenzacijom po spoljašnjoj temperaturi i stvarnim zahtevima u prostoru;
- Ugradnja regulacionih ventila sa motornim pogonom za upravljanje pripreme polaznog voda prema spoljašnjoj temperaturi i stvarnim zahtevima u prostoru;
- Ugradnja merača utroška toplote, sa ciljem praćenja utroška toplotne energije u sistemu;
- Ugradnja pumpi sa promenljivim brojem obrtaja u cilju smanjenja potrošnje električne energije za pogon cirkulacionih pumpi u sistemima.
- Integracija sistema upravljanja grejanja/hlađenja/klimatizacije sa upravljanjem osvetljenja i zaštite od sunčevog zračenja.

8.1.3 Primena panelnih sistema za grejanje i hlađenje

Primena panelnih sistema za grejanje i hlađenje podrazumeva niskotemperaturni sistem grejanja i visokotemperaturni sistem hlađenja. Naime temperaturni režim tople vode u sistemu panelnog grejanja je znatno niži (45/35°C) u odnosu na sisteme radijatorskog grejanja (90/70°C). Na taj način se postiže niz prednosti, kao što su:

- Dobra raspodela temperatura vazduha po zapremini prostorije;
- Veoma ugodno niskotemperaturno zračenje;
- Aktiviranje termičke mase zgrade;
- Moguća niža temperatura vazduha u prostoriji (ušteda energije);
- Niža temperatura panela – bolji higijenski uslovi;
- Mogućnost korišćenja alternativnih izvora energije, odnosno obnovljivih izvora energije (solarna, geotermalna, toplotne pumpe);
- Zadovoljavajući estetski kriterijumi – nema vidinih grejnih tela u prostoriji;
- U letnjem periodu se panelni sistem može koristiti za hlađenje (plafonsko i zidno, ali se pri tome mora voditi računa da ne dođe do kondenzacije vlage iz vazduha).

Visokotemperaturno hlađenje se ostvaruje panelnim sistemima, pri čemu je temperatura sekundarnog rashladnog fluida (vode) znatno viša (18/23°C) u odnosu na standardne režime hlađenja (7/12°C). Uslov visok temperature

rashladnog fluida je, pre svega, diktiran temperaturom tačke rose vazduha u prostoriji tokom letnjih meseci, kako bi se sprečila kondenzacija vlage iz vazduha na rashladnim površinama. Međutim, ovakvim sistemom se postižu znatno bolji uslovi termičkog komfora.

Najveći nedostatak primene panelnih sistema jeste velika inertnost u radu, što dovodi do otežavanja regulacije toplotnog/rashladnog učinka sistema. Iz tog razloga, panelni sistemi se često kombinuju sa vazdušnim sistemom, koji ima za cilj:

- Održavanje relativne vlažnosti vazduha u optimalnim granicama i sprečavanje pojave kondenzata na rashladnim površinama tokom leta;
- Podmirivanje vršnih toplotnih/rashladnih opterećenja tokom godine;
- Dovođenje potrebne količine svežeg vazduha za ventilaciju;
- Brzu i laku regulaciji toplotnog/rashladnog učinka i
- Korišćenje otpadne toplote vazduha.

Primena pasivnih rashladnih sistema sa indukcionim uređajima daje niz prednosti:

- Mogućnost ugradnje u postojeće objekte;
- Veliki broj različitih konstrukcija koje se mogu prilagoditi svakom enterijeru;
- Manje dimenzije kanalske mreže;
- Manja količina pripremljenog svežeg vazduha (smanjenje potrošnje energije za pripremu svežeg vazduha);
- Manje zauzimanje prostora u zgradi za smeštaj klima komora;
- Lako održavanje;
- Nema izdvajanja kondenzata u unutrašnjoj jedinici, s obzirom na visokotemperaturni režim hlađenja;
- Ekonomičniji rad u odnosu na sistem sa ventilator-konvektorima i
- Nema potrošnje električne energije za pogon ventilatora.

8.2 MERE OPTIMIZACIJE RADA TERMOTEHNIČKIH SISTEMA

Ova grupa mera jesu mere optimizacije eksploatacije tehničkih sistema.

Neke od mera koje se mogu primeniti kod klimatizacionih postrojenja, o kojima će biti reči, su:

- primena cirkulacionih pumpi i ventilatora sa promenljivim brojem obrtaja;
- korišćenje otpadne toplote vazduha, kako u letnjem tako i u zimskom režimu;
- primena indirektnog adijabatskog hlađenja;
- korišćenje otpadne toplote kondenzacije rashladnih uređaja i
- primena tehnike noćne ventilacije zgrada.

O primeni cirkulacionih pumpi sa kontinualno promenljivim brojem obrtaja, koje omogućavaju kvantitativnu regulaciju rada sistema, bilo je reči u poglavlju 5, kada su razmatrane mere unapređenja sistema toplovodnog grejanja. U praksi se pokazalo da, osim smanjenja gubitaka prilikom rada sistema pravilnom regulacijom, pumpe sa varijabilnim protokom znatno štede električnu energiju za pogon, i to od oko 40% godišnje, u poređenju sa pumpama koje rade sa konstantnim brojem obrtaja. Isto važi za ventilatore, kada se radi o vazдушnim sistemima klimatizacije koji rade sa varijabilnom količinom vazduha - VAV sistemi (*engl. Variable Air Volume*).

8.2.1 Korišćenje otpadne toplote vazduha

Generalno, povratom otpadne toplote iz otpadnih medijuma koristi se toplotna energija sadržana u njima, koja bi se inače neiskorišćena bacila u okolinu. Na taj način se smanjuju pogonski troškovi: ušteda goriva i električne energije, smanjuje se instalisana snaga i gabariti opreme i doprinosi se očuvanju životne sredine. Zbog toga, pitanje koje se nameće nije da li je potrebno koristiti sisteme povrata otpadne toplote, već kada i kako ih koristiti. Odgovori na ovo pitanje zavise od niza uticajnih parametara, pa je za svaki slučaj ponaosob potrebno sprovesti analizu isplativosti. Svakako, za velike sisteme je isplativo koristiti otpadnu toplotu. Kada su u pitanju vazdušni sistemi centralne klimatizacije, korišćenje otpadne toplote vazduha je gotovo obavezno kod sistema koji imaju protok spoljnog vazduha preko 3000 m³/h.

Sistem povrata toplote u vazдушnim klimatizacionim sistemima funkcioniše po principu razmene toplote prilikom strujanja otpadnog i svežeg vazduha. Proces razmene toplote između svežeg i otpadnog vazduha može se koristiti i u letnjem i u zimskom režimu, pri čemu se leti svež vazduh predhlađuje, a zimi predgreva strujanjem kroz razmenjivač toplote. Za ocenu efikasnosti povrata toplote koriste se veličine kao što su: stepen povrata toplote, stepen povrata vlage i dodatni pad pritiska pri strujanju svežeg vazduha kroz razmenjivač toplote. Razmenjivač toplote u kome se koristi otpadna toplota predstavlja dodatni otpor za strujanje vazduha i ne sme značajno povećati napor i snagu potisnog ventilatora u sistemu. Na slici 8.1 prikazana je podela sistema za korišćenje otpadne toplote vazduha. Stepen povrata toplote definiše se kao toplota koja se predala svežem vazduhu i toplote koja se baca u okolinu:

$$\eta = \frac{Q_P - Q_S}{Q_R - Q_{SV}} \quad (8.1)$$

Kada dolazi do razmene samo osetne toplote (u rekuperativnim razmenjivačima) onda se stepen rekuperacije može definisati preko odnosa promene temperatura vazduha koji struje kroz razmenjivač toplote, i to:

- na strani otpadnog vazduha:

$$\eta_t = \frac{\theta_C - \theta_D}{\theta_C - \theta_A}, \quad (8.2)$$

- na strani svežeg vazduha:

$$\eta_t = \frac{\theta_B - \theta_A}{\theta_C - \theta_A}, \quad (8.3)$$

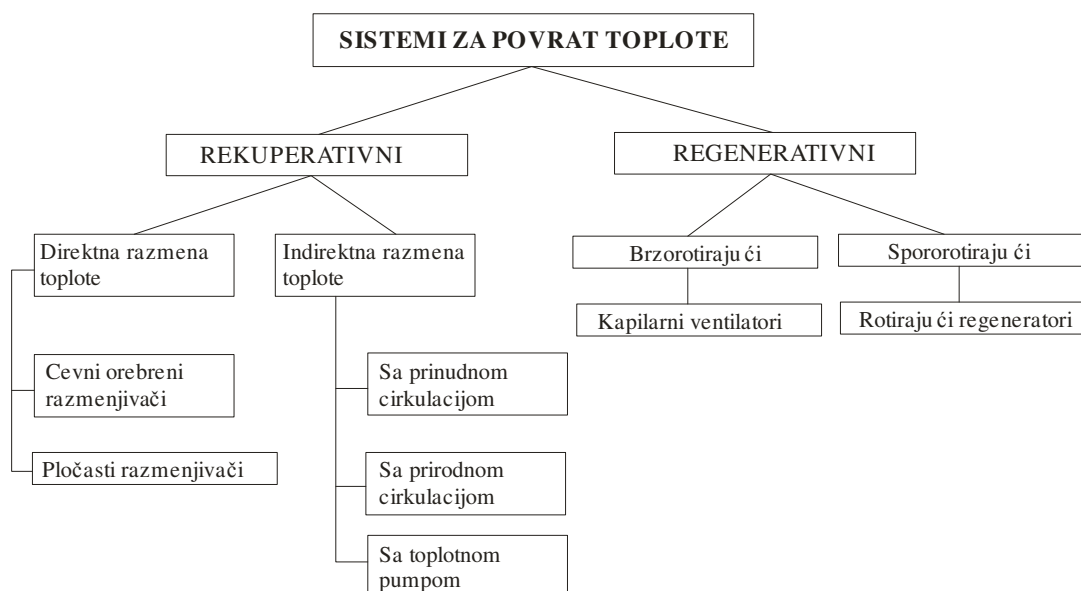
gde su temperature vazduha:

A – svež vazduh na ulazu u rekuperator,

B – svež vazduh na izlazu iz rekuperatora,

C – recirkulacioni vazduh (odvodni vazduh iz prostorije) i

D – otpadni vazduh.



Slika 8.1 Podela sistema za korišćenje otpadne toplote vazduha

Kod regenerativnih razmenjivača dolazi do prenosa ukupne količine toplote – suve i latentne, tj, razmenjuje se i toplota i vlaga. Tada se stepen povrata toplote mora definisati preko odnosa promene entalpija vazduha:

- na strani otpadnog vazduha:

$$\eta = \frac{h_C - h_D}{h_C - h_A}, \quad (8.4)$$

- na strani svežeg vazduha:

$$\eta = \frac{h_B - h_A}{h_C - h_A}. \quad (8.5)$$

Na slici 8.2 dat je šematski prikaz strujanja vazduha kroz pločasti rekuperativni razmenjivač toplote i rotacioni regenerativni razmenjivač toplote.



Slika 8.2 Šematski prikaz strujanja vazduha kroz pločasti rekuperativni razmenjivač toplote (levo) i rotacioni regenerativni razmenjivač toplote (desno)

Rekuperativni razmenjivači omogućavaju razmenu osetne toplote preko ploča ili cevi bez međusobnog dodira dve struje vazduha. Prednost ovakvih razmenjivača je što su struje otpadnog vazduha (koji može biti zagađen) i svežeg vazduha potpuno odvojene i nema mogućnosti mešanja. Nedostaci su manji stepen povrata toplote, veći pad pritiska za srujanje svažeg i otpadnog vazduha, kao i veći prostor za ugradnju u poređenju sa regenerativnim razmenjivačima. Izvedba klima komore sa razmenjivačima toplote koji koriste otpadnu toplotu su spratne komore, pa je potrebno obezbediti dovoljno prostora u mašinskim salama za smeštaj opreme i kanala za vazduh.

Na slici 8.3 dat je izgled pločastog rekuperatora i procesi promene stanja svežeg (crvena linija) i otpadnog vazduha (zeleno linija) prilikom stujanja kroz rekuperator (zimski režim).



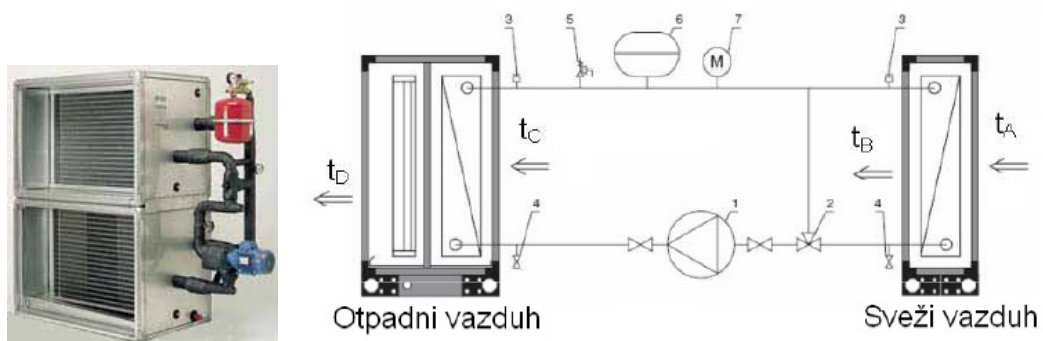
Slika 8.3 Pločasti rekuperator i promena stanja svežeg i otpadnog vazduha

Ako struja otpadnog vazduha ima veći sadržaj vlage, tj. stanje čija je temperatura tačke rose iznad temperature spoljnog vazduha, doći će do pojave kondenzacije u rekuperatoru na strani otpadnog vazduha. Zato se rekuperator izvodi sa kadicom i mogućnošću odvoda kondenzata. Pri jako niskim temperatura spoljnog vazduha može doći do pojave leda na površini razmenjivača, a to negativno utiče na razmenu toplote i može dovesti do začepljenja kanala za stujanje vazduha. kako bi se ova pojava izbegla, postavlja se obilazni vod oko rekuperatora ili električni predgrejač spoljnog vazduha.

Pločasti rekuperatori se izrađuju od aluminijumskog lima, nerđajućeg čelika ili plastike. Debljina ploča je oko 1mm, a razmak između njih je od 5 do 10 mm. Širina razmenjivača može ići i do 3 m za komore protoka vazduha do 100 000 m³/h. Stepenn povrata toplote pločastih rekuperatora kreće se od 50 do 75% uz brzine strujanja vazduha od 2 do 3 m/s.

U indirektno rekuperatore (sa posrednim medijumom između struja vazduha) spada zatvoreni kružni sistem sa glikolnim razmenjivačima toplote. Ovaj sistem ima dva razmenjivača vazduh-glikol (najčešće rastvor glikola, jer se voda izbegava zbog mogućnosti smrzavanja). Razmenjivači su lamelastog tipa, od bakarnih cevi sa aluminijumskim rebrima na strani vazduha ili čeličnih cevi sa rebrima od čeličnog lima. Glikol je posrednik koji cirkuliše kroz razmenjivače koji su povezani cevovodom. U zimskom režimu, otpadni vazduh zagreva glikol u prvom razmenjivaču, a onda se tako zagrejan glikol dovodi u drugi razmenjivač, gde predaje toplotu svežem vazduhu. Ovakva izvedba je povoljna kada su mesta dovoda svežeg vazduha i odvoda otpadnog vazduha udaljena. Razmenjivači se obično sastoje od 2 do 8 redova cevi.

Na slici 8.4 prikazan je izgled glikolnog rekuperatora i šema povezivanja.



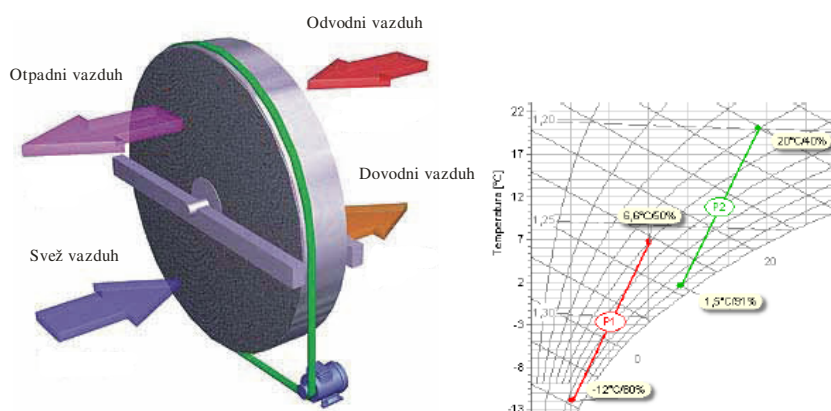
Slika 8.4 Glikolni rekuperator sa prinudnom cirkulacijom

Stepenn povrata toplote glikolnih rekuperatora kreće se od 40 do 60% uz brzine strujanja vazduha od 2 do 3 m/s.

Regenerativni razmenjivači toplote omogućavaju razmenu suve i latentne toplote na taj način što se razmena toplote odvija preko akumulacione mase, uz međusovni direktni kontakt struja vazduha. Prednost je mogućnost povrata vlage i veći stepen povrata toplote, kao i kompaktnija izvedba u poređenju sa rekuperatorima. Nedostatak je nemogućnost potpunog razdvajanja otpadnog i svežeg vazduha. Takođe, ukoliko izostane redovno održavanje ili nastupi kvar motora za pogon rotacionog razmenjivača, on nije u funkciji i ne koristi se otpadna toplota.

Kod rotirajućeg regeneratora (slika 8.5), toplota se između struja vazduha prenosi rotirajućom akumulacijskom masom u obliku saća izrađenog najčešće od aluminijuma i smeštenog u čelično kućište. Pola regeneratora nalazi se u jednoj, a druga polovina u drugoj struji vazduha, međusobno različitih temperatura. Strujanje u uređaju je protvstrujno i koristi se za prenos toplote između gasova temperatura do 200°C . Prečnik rotora je do 6 m, brzina rotacije 5 do 20 min^{-1} s protocima gasa do $150\,000\text{ m}^3/\text{h}$. Sistemom je moguće ostvariti stepen povrata toplote i stepen povrata vlage od 65 do 85%.

Dve osnovne izvedbe rotirajućeg regeneratora su sorpcijska i kondenzaciona izvedba. Kod sorpcijskog regeneratora površina saća presvučena je higroskopskim materijalom (npr. silikagel), pa higroskopna ispunja preuzima vlagu iz vlažne struje gasa i predaje je suvoj struji. Sistem se može koristiti za povrat osetne i latentne toplote zimi, te hlađenje i odvlaživanje ljeti. Kondenzacijski regeneratori imaju glatku površinu saća izrađenu od aluminija ili čelika čime je omogućen povrat latentne toplote samo zimi, tj. samo u slučaju hlađenja ispod temperature tačke rose stanja otpadnog vazduha, pri čemu vlaga kondenzuje u toploj a isparava u hladnoj struji.



Slika 8.5 Rotacioni regenerativni razmenjivač toplote i promena stanja u h-x dijagramu

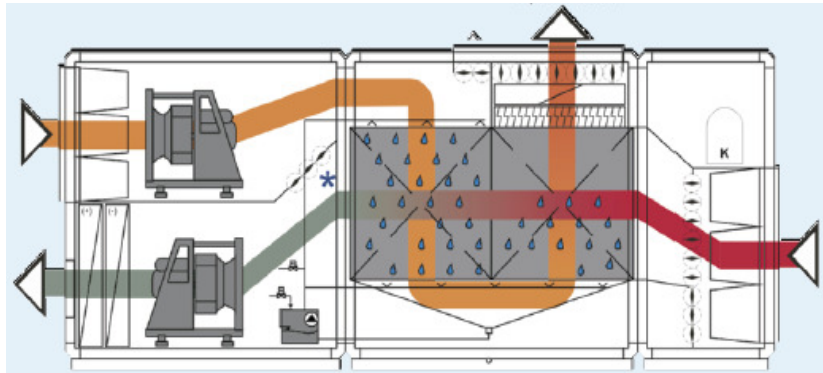
Problemi koji nastaju pri radu rotirajućeg regeneratora su opasnost od smrzavanja pri niskim spoljnim temperaturama, što dovodi do smanjenja stepena

povrata toplote i vlage i porasta pada pritiska. Osim toga, dolazi do mešanja povratnog i svežeg vazduha u iznosu 2 do 5%. Mešanje se može smanjiti zaptivanjem, čime se mešanje smanjuje na manje od 0,5%. Sprečavanje smrzavanja i regulacija učinka rešavaju se promenom brzine rotacije.

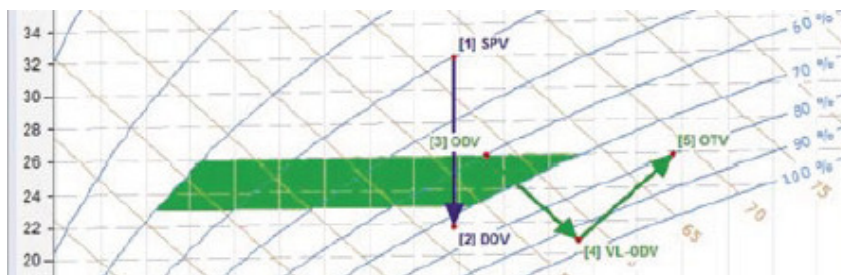
Analize i praksa pokazuju kako su sistemi povrata toplotne energije po pravilu isplativi, a za optimalan izbor tipa sistema, potrebno je sprovesti celovitu analizu za konkretan slučaj ugradnje uključujući i investicione i eksploatacione troškove, troškove održavanja i uštedu energije. Analiza sistema se bazira na radnim uslovima sistema klimatizacije, dužine korišćenja, geografskoj lokaciji i nameni zgrade.

8.2.2 Primena indirektnog adijabatskog hlađenja

Jedna od posebnih izvedbi (slika 8.6) je postavljanje dva pločasta rekuperatora jedan iza drugog, uz raspršivanje vode sa strane otpadnog vazduha u letnjem režimu. Tako se u letnjem režimu rada korišćenjem evaporativnog hlađenja postiže stepen povrata toplote hlađenja do 90%. Na slici 8.7 prikazan je proces promene stanja vazduha u h-x dijagramu (plava linija pokazuje hlađenje svežeg vazduha, dok zelena linija prikazuje proces adijabatskog vlaženja otpadnog vazduha i njegovo zagrevanje).



Slika 8.6 Klima komora sa indirektnim adijabatskim hlađenjem



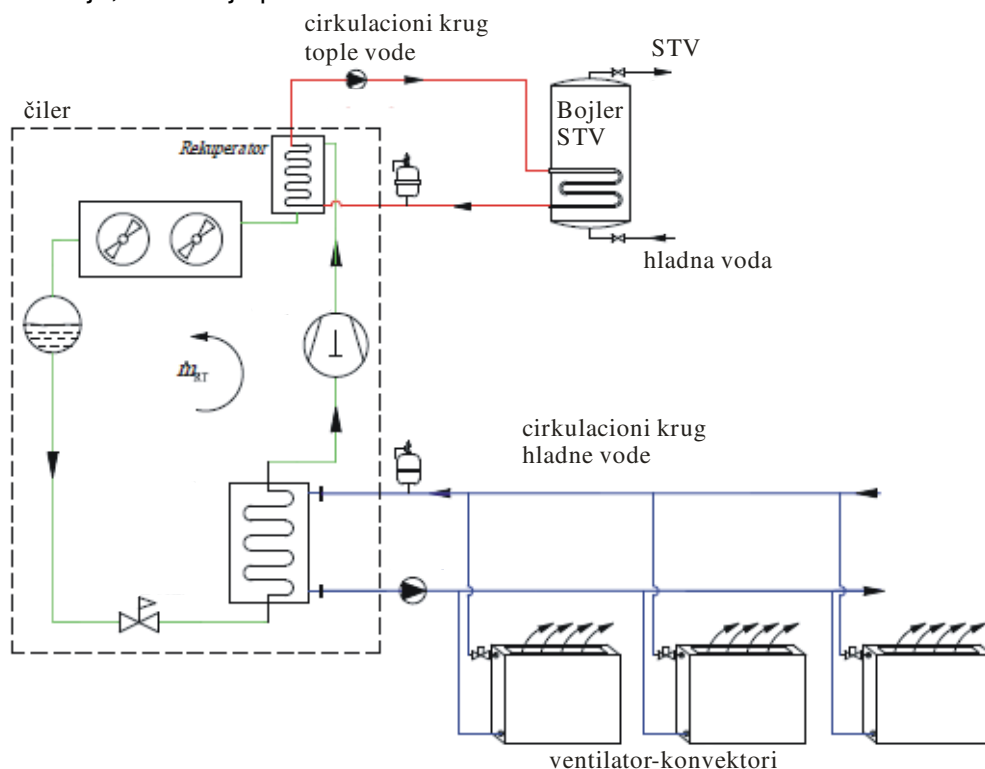
Slika 8.7 Proces promena stanja prilikom indirektnog adijabatskog hlađenja u rekuperatoru

Promena stanja pri vlaženju odvodnog vazduha odvija se duž linije entalpije odvodnog vazduha ($h = \text{const}$), pri istovremenom sniženju temperature sve do relativne vlažnosti od 90% do 95%. U nastavku se u razmenjivaču toplote, u koji s jedne strane ulazi spoljašnji topli vazduh a sa druge ohlađeni odvodni vazduh, ekvivalentno temperaturskom stepenu povrata toplote, spoljašnji vazduh hladi, a na drugoj strani odvodni vazduh zagreva. Obe promene stanja, adijabatsko vlaženje vazduha i prenos toplote moguće je izvoditi istovremeno.

8.2.3 Korišćenje otpadne toplote kondenzacije

U praksi je čest slučaj da se istovremeno javlja potreba za hlađenjem i grejanjem. U takvim slučajevima je pogodno koristiti otpadnu toplotu kondenzacije za predgrevanje ili zagrevanje radnog fluida koji se koristi kao grejni fluid. Instalacija rashladnog sistema se može izvesti sa vodom hlađenim kondenzatorom, tako da se zagrejana voda, koja je primila toplotu kondenzacije, može direktno koristiti u zatvorenom krugu grejanja (npr. u predgrejaču ili grejaču bojlera STV).

Ukoliko se koristi čiler za pripremu hladne vode za sistem hlađenja ili klimatizacije koji ima vazduhom hlađeni kondenzator, može se koristiti dodatni razmenjivač toplote (rekuperator vazduh - voda) za korišćenje otpadne toplote kondenzacije, kao što je prikazano na slici 8.8.



Slika 8.8 Šema sistema za korišćenje otpadne toplote kondenzacije

U praksi je sve veći broj jedinica koji delimično ili potpuno koriste toplotu kondenzacije za zagrevanje sanitarne tople vode. Najviše su u primeni rashladni fluidi R407C i R410A.

8.2.4 Primena noćne ventilacije

Hlađenje prostorija uvođenjem noćne ventilacije, tokom letnjeg perioda kada je temperatura spoljašnjeg vazduha niža od temperature vazduha u prostoriji, ključna je tehnika za smanjenje toplotnog opterećenja i eliminaciju akumulisane toplote u masi zidova prostorije. Samim tim, dolazi i do smanjenja potrošnje energije za pripremu vazduha za klimatizaciju prostorije tokom dana. Energetski uticaj uvođenja noćne ventilacije ogleda se u smanjenju dnevnog toplotnog opterećenja, kao i u smanjenju dnevnog vršnog opterećenja. Efikasnost noćne ventilacije najviše zavisi od temperature spoljašnjeg vazduha tokom noći, načina uvođenja vazduha u prostoriju (prirodna ili mehanička ventilacija), količine vazduha, načina strujanja vazduha u prostoriji (cirkulacijom ili prostrujavanjem – promajom), kao i od građevinske mase zidova posmatrane prostorije.

Za efikasnu primenu noćne ventilacije ključni parametar je temperatura spoljašnjeg vazduha tokom noći. Taj parametar određuje u kojoj meri spoljašnja okolina objekta može da preuzme ulogu toplotnog ponora i primi određenu količinu toplote koja se akumulirala u masi zidova zgrade tokom dana. Učinak pomenutog toplotnog ponora određen je, dakle, razlikom između temperatura unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha. Drugi veoma bitan parametar je protok vazduha za noćnu ventilaciju. Efikasnost hlađenja primenom noćne ventilacije uglavnom je bazirana na vrednosti protoka vazduha za ventilaciju. U zavisnosti od protoka vazduha koji se koristi za noćnu ventilaciju, postoje tri osnovna koncepta:

- Prirodna ventilacija tokom noći kroz otvore na fasadi objekta,
- Mehanička ventilacija korišćenjem ventilatora za ubacivanje i izvlačenje vazduha i
- Kombinovana tehnika, korišćenjem prirodne i mehaničke ventilacije.

Kada se primenjuje prirodna ventilacija svakako treba uzeti u obzir brzinu i smer vetra, kao i izbor odgovarajućeg mesta na fasadi zgrade gde će biti postavljeni otvori za ventilaciju. Na taj način se može uticati na količinu spoljašnjeg vazduha koji će prirodnim putem prodirati u zgradu i ventilirati prostoriju. Protok vazduha je slučajno promenljiva veličina koja zavisi od temperaturske razlike, brzine i smera vetra, kao i razlike pritisaka unutrašnje i spoljašnje sredine. Broj izmena vazduha na čas jako varira, i može se kretati od 0,3 (već samom infiltracijom spoljašnjeg vazduha kroz procepe prozora i vrata) do čak 20 (kada su prozori širom otvoreni).

Mehanička ventilacija podrazumeva puštanje u pogon ventilatora za ubacivanje i izvlačenje vazduha iz prostorije. Ventilator za ubacivanje vazduha obezbeđuje konstantan protok i cirkulaciju vazduha u prostoriji. Odsisni ventilator je takođe u funkciji, kako bi se sprečio prekomeran nadpritisak u prostoriji, koji ujedno utiče na sniženje efikasnosti ventilatora. Primenom mehaničke ventilacije protok vazduha se tačno može odrediti, ovom veličinom se može upravljati, odnosno, protok se može povećavati u cilju efikasnije ventilacije. Korišćenje mehaničke ventilacije je u tom smislu pogodnije, ali je neophodan utrošak električne energije za pogon ventilatora. Proces mehaničke noćne ventilacije obično se reguliše korišćenjem termostatskih regulatora, koji puštaju u pogon ventilatore i postavljaju žaluzine spoljašnjeg vazduha u maksimalno otvoren položaj kada je temperatura spoljašnjeg vazduha niža od unutrašnje, i obrnuto. Mehanička noćna ventilacija se može i vremenski upravljati, podešavanjem programa za uključivanje ventilacije tokom noći.

Kombinovana tehnika noćne ventilacije podrazumeva korišćenje ventilatora i fasadnih otvora na zgradi u isto vreme. U ovom slučaju koristi se samo ventilator za ubacivanje ili ventilator za odsisavanje vazduha, dok otvori na fasadi imaju ulogu izbacivanja, odnosno ubacivanja vazduha, u zavisnosti od toga koji je ventilator u pogonu. I u ovom slučaju regulacija procesa se može izvesti pomoću termostatskih regulatora koji će uključivati i isključivati ventilator u funkciji razlike unutrašnje i spoljašnje temperature vazduha.

Na osnovu dinamičke simulacije tipične klimatizovane prostorije, koja je uključila režime rada bez primene i sa uvođenjem mehaničke noćne ventilacije, dobijeni su rezultati koji pokazuju koliko se energije za rad klimatizacionog sistema može uštedeti za klimatsko podneblje Brograda. Simulacije su obuhvatile period od pet meseci (maj - septembar) a korišćeni su časovne vrednosti meteoroloških podataka za tipičnu meteorološku godinu za Beograd.

Dijagramima na slici 8.9 prikazan je uticaj dužine trajanja noćne ventilacije na smanjenje potrošnje električne energije za rad sistema.

Električna energija potrebna za rad sistema troši se za pogon rashladnog agregata za eliminaciju toplotnog optrećenja i pripremu spoljnog vazduha, kao i za pogon ventilatora tokom rada klimatizacije i mehaničke noćne ventilacije:

$$P(\tau) = \int_0^{\tau} Q_{OPT}(\tau) \cdot d\tau + \int_0^{\tau} Q_{SV}(\tau) \cdot d\tau + \int_0^{\tau} p_{FAN}(\tau) \cdot d\tau. \quad (8.6)$$

Energija potrebna za hlađenje vazduha, bilo da se radi o svežem ili recirkulacionom vazduhu, svedena je na jedinicu električne energije, tako što je toplotno optrećenje podeljeno sa koeficijentom hlađenja EER (**E**nergy **E**fficiency **R**atio) kako bi bilo moguće sabiranje sva tri člana u jednačini (8.6). Trenutno

toplotno opterećenje prostorije računa se iz toplotnog bilansa i predstavlja količinu toplote koju vazduh u prostoriji primi u posmatranom trenutku:

$$Q_{OPT}(\tau) = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i [t_i(\tau) - t_{UV}(\tau)] + b_{ST} Q_{SU}(\tau) \right) \cdot \frac{1}{EER}, \quad (8.7)$$

gde je $i = 1, \dots, n$ broj unutrašnjih površina prostorije sa kojih se konvekcijom predaje toplota vazduhu u prostoriji, a b_{ST} konvektivni udeo odavanja toplote sijalice.

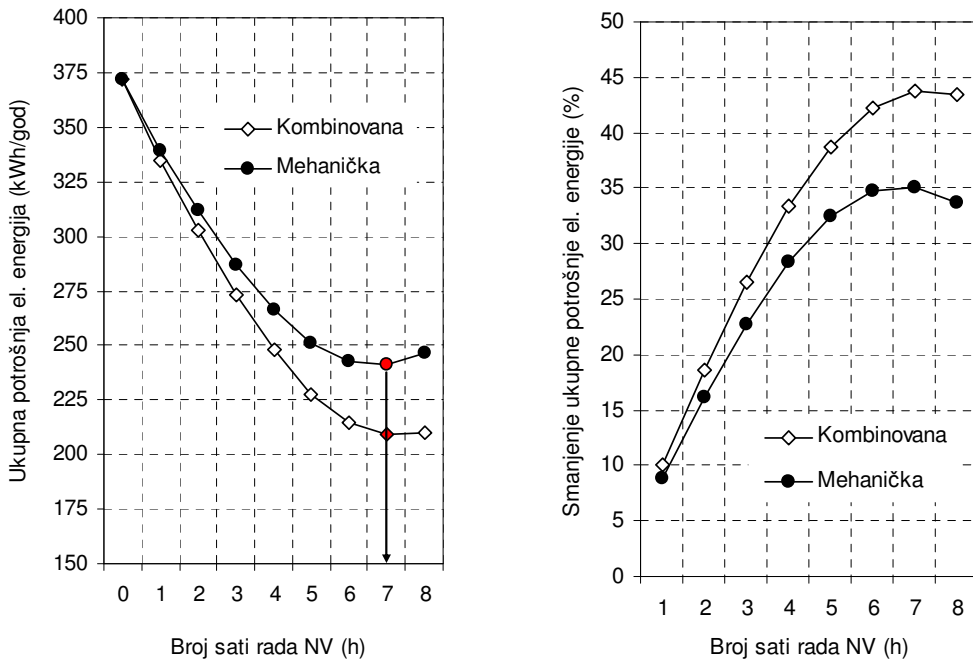
Količina toplote potrebna za pripremu svežeg vazduha zavisi od udela svežeg vazduha u ukupnoj količini vazduha za klimatizaciju i od razlike spoljne i željene unutrašnje temperature vazduha u prostoriji:

$$Q_{SV}(\tau) = \left[m_{SV} \cdot \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{SV}(\tau) - t_{UV}(\tau)) \right] \cdot \frac{1}{EER}. \quad (8.8)$$

Potrošnja električne energije za pogon ventilatora računa se kao proizvod angažovane snage elktromotora za pogon ventilatora i vremena rada:

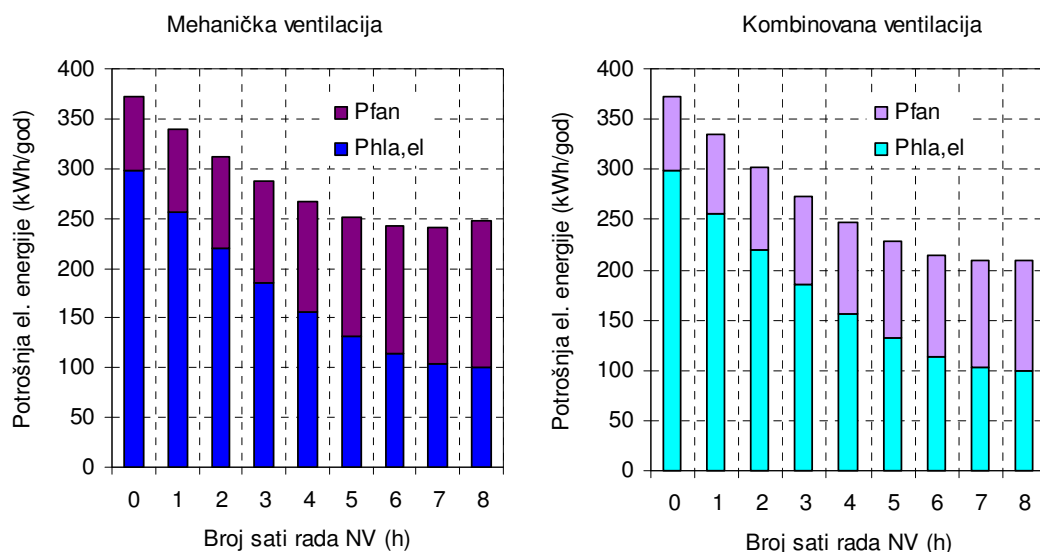
$$P_{FAN}(\tau) = p_{EL} \cdot \tau \quad (8.9)$$

Ukoliko bi se za noćnu ventilaciju koristio samo jedan od ventilatora klima komore (kombinovana ventilacija), odnos potrošnje energije za hlađenje i rad ventilatora tokom sedmočasovne ventilacije gotovo je izjednačen (slika 8.9 desno).



Slika 8.9 Uticaj dužine trajanja NV na smanjenje potrošnje električne energije za kombinovanu i me

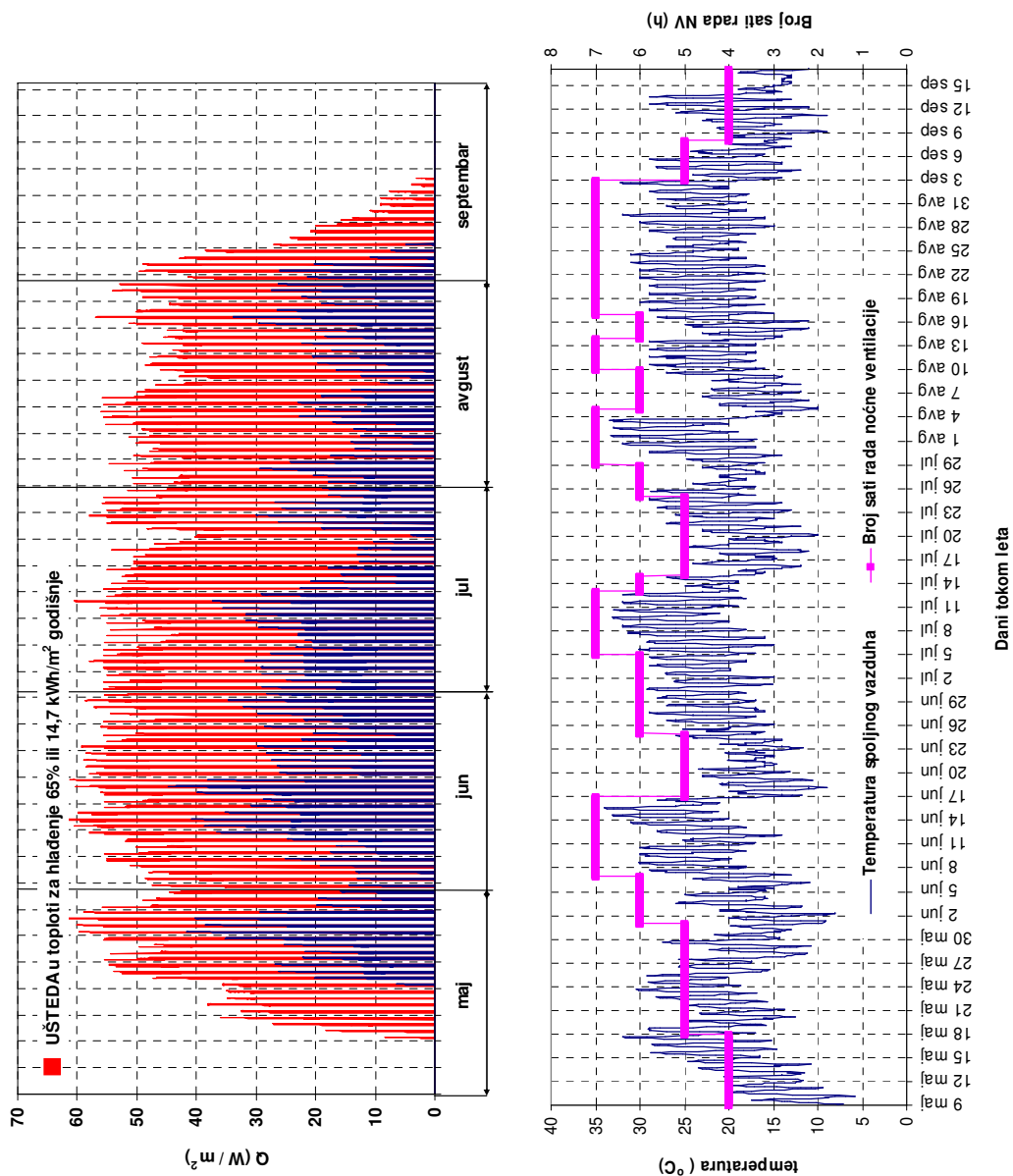
Dijagramima na slici 8.10 prikazana je potrošnja električne energije potrebne za hlađenje svežeg i recirkulacionog vazduha i za pogon ventilatora u zavisnosti od dužine trajanja NV i primenjene tehnike noćne ventilacije.



Slika 8.10 Potrošnja električne energije potrebne za hlađenje i za pogon ventilatora u zavisnosti od dužine trajanja NV i primenjene tehnike noćne ventilacije

Prikaz potrebne toplote hlađenja tokom cele letnje sezone za režime bez noćne ventilacije i sa primenom mehaničke noćne ventilacije dat je uporedo na slici 8.11 levo. Primenjivan je režim vremenski vođene noćne ventilacije (od ponoći do 7 h ujutro). Ušteda ukupne energije potrebne za rad sistema iznosi 35% ili 6,52 kWh/m² godišnje.

Kako se tokom letnje sezone smenjuju topliji i hladniji periodi, tako se menja i dnevno toplotno opterećenje klimatizovanog prostora. Na osnovu vremenske prognoze, moguće je tokom letnjeg perioda postaviti nedeljne rasporede rada noćne ventilacije, sa različitom dužinom trajanja (slika 8.11 desno).



Slika 8.11. Ušteda u finalnoj energiji za hlađenje tokom godine kada se primenjuje mehanička noćna ventilacija i vremenski vođena noćna ventilacija

9 INTELIGENTNE ZGRADE I ENERGETSKA EFIKASNOST

9.1 DEFINICIJE INTELIGENTNIH ZGRADA

Inteligentne zgrade i sistemi automatskog upravljanja igraju esencijalnu ulogu u većini sofisticiranih modernih zgrada. Nadzor i automatsko upravljanje tehničkih sistema u zgradama je od ključne važnosti kako bi se u eksploataciji postigli projektovani uslovi.

Razvojem različitih tehnologija koje se koriste u savremenim zgradama, koncept inteligentnih zgrada poslednjih dvadesetak godina privlači sve veću pažnju, pa se samim tim javlja potreba za razumevanjem koncepta inteligentnih zgrada. Međutim, sa razvojem tehnologije i one same su podložne promeni.

Praktično je nemoguće formulisati jedinstvenu definiciju inteligentnih zgrada koja bi bila prihvaćena u celom svetu. Međutim, nije ni neophodno potrebno imati standardu definiciju inteligentnih zgrada, premda je od vitalne važnosti imati jasnu predstavu o terminologiji koja se koristi. Različiti pristupi definisanju inteligentnih zgrada se ipak mogu grupisati u tri kategorije:

1. Definicije na osnovu performansi;
2. Definicije na osnovu servisa;
3. Definicije na osnovu sistema.

9.1.1 Definicije na osnovu performansi

Definicije na osnovu performansi polaze od performansi koju zgrada treba da poseduje. Tipična definicija na osnovu performansi može da bude ona koju predlaže European Intelligent Building Group (EIBG) sa središtem u Velikoj Britaniji, koja definiše inteligentnu zgradu kao zgradu stvorenu da pruži njenim korisnicima najefikasnije okruženje, efikasno koristeći i upravljajući njene resurse, minimizujući troškove životnog ciklusa opreme i objekata.

Drugi primer definicije na osnovu performansi data je od strane Intelligent Building Institute (IBI) iz SAD, u kojoj se kaže da inteligentne zgrade obezbeđuju efikasno, ugodno i prilagodljivo okruženje zadovoljavajući četiri fundamentalna zahteva: strukturu, sistem, servis i menadžment, i optimizovanje njihovih međusobnih relacija.

Definicije inteligentnih zgrada na osnovu performansi radije u prvi plan ističu performanse zgrada i zahteve korisnika, nego primenjenu tehnologiju ili instalirane sisteme. Po ovoj definiciji, vlasnici i projektanti ovih zgrada treba da dobro razumeju kakvu vrstu zgrade žele i kako da zadovolje rastuće zahteve korisnika. Energetske i ambientalne performanse zgrada su sa sigurnošću među najvažnijim stavkama svake inteligentne zgrade, koja treba da se brzo

prilagodi internim ili eksternim uslovima i kompenzuje promenljive zahteve korisnika.

9.1.2 Definicije na osnovu servisa

Definicije na osnovu servisa opisuju inteligentne zgrade sa stanovišta servisa i/ili kvaliteta servisa koji se obezbeđuje u zgradama. Primer definicije na osnovu servisa daje Japanese Intelligent Building Institute (JIBI): inteligentna zgrada je zgrada sa servisnim funkcijama komunikacije, automatike poslovnog prostora i čitave zgrade, koja je pri tom pogodna za inteligentne aktivnosti. ovom definicijom se naglašavaju servisi prema korisniku, a fokus je stavljen na četiri aspekta:

1. servis kao okvir za primanje i prosleđivanje informacija i podršku efikasnom menadžmentu;
2. obezbeđivanje zadovoljstva i ugodnosti zaposlenih osoba u zgradi;
3. racionalizacija upravljanja zgrade radi postizanja atraktivnijih administrativnih servisa sa nizom cenom;
4. brzo, fleksibilno i ekonomično reagovanje na promenljivo sociološko okruženje, različite i složene radne zahteve i aktivne poslovne strategije.

9.1.3 Definicije na osnovu sistema

Definicije na osnovu sistema opisuju inteligentne zgrade direktno se obraćajući tehnologiji i tehnološkim sistemima koje inteligentne zgrade treba da uključe. Tipičnu definiciju predlaže Chinese IB Design Standard, u kom se kaže da inteligentne zgrade obezbeđuju sisteme automatskog upravljanja u zgradi, automatizaciju poslovnog prostora i sisteme komunikacije, optimalno integrišući strukturu, sistem, servis i menadžment, obezbeđujući zgradu sa visokom efikasnošću, komforom, pogodnostima i sigurnošću za korisnike. Profesionalci i projektanti iz prakse često označavaju inteligentne zgrade sa „3A“: building automation (BA), communication automation (CA) i office automation (OA).

9.2 KAKO U REALNOSTI NAPRAVITI INTELIGNENTU ZGRADU

Pomenute različite definicije otežavaju izbor jedinstvenog i konačnog opisa inteligentne zgrade. Sa druge strane, zgrada koja se može smatrati „inteligentnom“ ili “pametnom“ ne mora obavezno da ima tehnološke sisteme, već je moguće da je odavno bila projektovana tako da obezbeđuje pametno funkcionisanje. Obrnuto, zgrada potpuno opremljena tehnološkim sistemima ne mora u realnosti da bude inteligentna ukoliko sistemi ne mogu biti koordinisani ili ne funkcionišu valjano.

Međutim, u kontekstu modernih zgrada, očigledno je da inteligentna zgrada ne može da postoji bez tehnoloških sistema, posebno bez informacionih

tehnologija (IT). Tehnološki sistemi treba da budu ispravno konfigurisani i valjano integrisani, ne samo međusobno, već i sa ostalim resursima u zgradi. Funkcije sistema treba da se na odgovarajući način prilagode kako bi se zadovoljili zahtevi korisnika i obezbedile očekivane performanse inteligentnih zgrada.

Tehnološki sistemi, uključujući njihovu integraciju i međusobno sprežanje, treba da budu propisno pušteni u rad i održavani da bi se obezbedilo očekivano funkcionisanje. Pored hardvera i softvera, aplikativni softver, koji uključuje automatsko upravljanje sistema i resursa, optimizaciju i menadžment, treba da bude dobro podešen i valjano pušten u rad. Zgrada može da ima ugrađene tehnološke sisteme, ali ukoliko oni ne rade kako treba to neće istu zgradu kvalifikovati kao inteligentnu, a umesto toga mogu da u eksploataciji proizvedu glavobolju kako korisnicima tako i tehničkom osoblju.

Inteligentne zgrade predstavljaju interdisciplinarnu oblast koja zahteva zajednički i koordinisan rad eksperata iz više oblasti: arhitekture, građevine, mašinstva, elektrotehnike, informacionih tehnologija, automatskog upravljanja i upravljanja objektima i održavanjem. Osim toga, inteligentne zgrade tesno se oslanjaju na ekonomske i kulturološke aspekte.

9.3 FACILITY MANAGEMENT

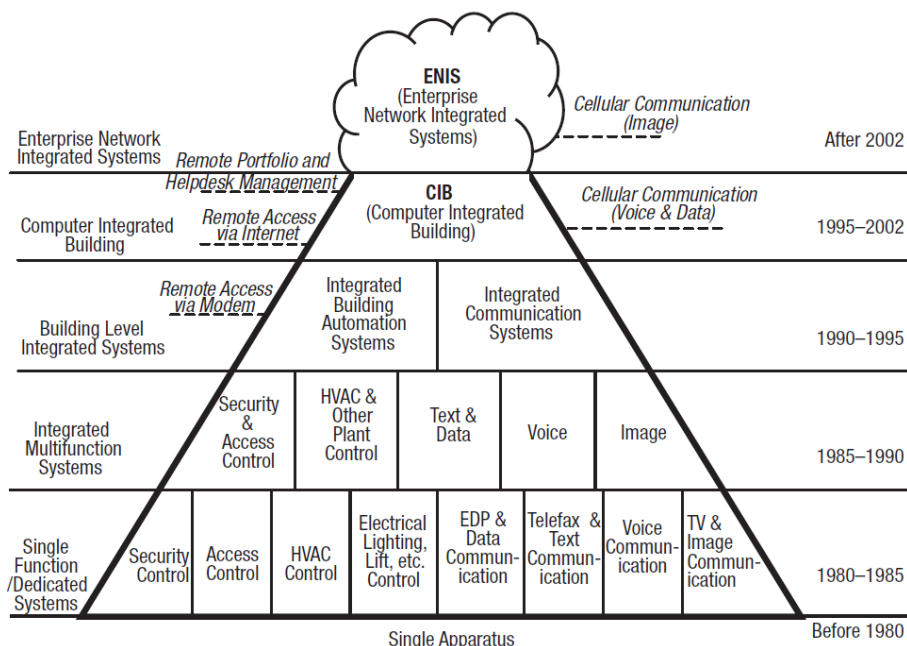
Uobičajena definicija facility management-a, odomaćenog pod pojmom upravljanje objektima i održavanjem, je praksa koordinisanja fizičkih radnih mesta sa ljudima i organizacijom rada; facility management integriše principe poslovne administracije, arhitekture i biheviuralnih i tehničkih nauka. Uprošćeno rečeno, facility menadžeri integrišu organizaciju ljudstva sa svrhom (poslom) i mestom (objektima i sredstvima).

Inteligentne zgrade i facility management su blisko povezani, a uspešna primena funkcija facility management-a u inteligentnim zgradama čini iste još atraktivnijim.

9.4 TEHNOLOŠKI SISTEMI I RAZVOJ INTELIGENTNIH ZGRADA

Evolucija sistema u inteligentnim zgradama je prikazana na slici 9.1, ilustrujući komponente i razvoj tehnologije u poslednjih nekoliko dekada. Piramida je otvorena na vrhu naglašavajući da sistemi u inteligentnim zgradama nisu zatvoreni unutar samih zgrada, već su povezani sa sistemima u drugim inteligentnim zgradama, odn. sa drugim informacionim sistemima preko globalne internet infrastrukture.

Brzim razvojem elektronike, računarske tehnike i informacione tehnologije, inteligentne zgrade se progresivno razvijaju od individualnih sistema do totalno integrisanih sistema.



Slika 9.1. Piramida inteligentne zgrada

Počev od 1980. godine, razvoj sistema u inteligentnim zgradama prolazi kroz pet etapa:

1. integrisani sistemi sa jednom funkcijom / dodeljeni sistemi (1980-5);
2. integrisani multi funkcionalni sistemi (1985-90);
3. integrisani sistemi na nivou zgrade (1990-5);
4. računarski integrisana zgrada (1995-2002);
5. umreženi sistemi na nivou preduzeća (2000-).

9.5 INTEGRACIJA FUNKCIJA SISTEMA

Integracija komponenti i podсистема bio je i ostaće trend razvoja inteligentnih zgrada. Integracija sistema jeste esencijalna za većinu funkcija inteligentnih zgrada, kao što su: automatski nadzor i upravljanje, optimizacija performansi zgrada i dijagnostika sistema. Integracija funkcija povećava fleksibilnost i omogućava inteligentno gazdovanje zgradom. Osnova za integraciju funkcija je integracija sistema automatskog upravljanja. Primena digitalne tehnologije je od velike važnosti zbog nedvosmislene prednosti i mogućnosti integracije u poređenju sa tradicionalnim tehnologijama koje imaju značajna ograničenja u smislu mogućnosti integracije i razmene podataka.

Moderne inteligentne zgrade postaju sve veće i složenije u smislu upotrebljenog hardvera i softvera, dok se broj njihovih funkcija i mogućnosti progresivno uvećava. Decentralizovanjem sistema povećava se pouzdanost

sistema, kao važnog pitanja sinteze inteligentnih zgrada i ostvarivanja filozofije „integrisano ali nezavisno“.

9.6 CENTRALNI SISTEMI NADZORA I UPRAVLJANJA

Building automation system (BAS) ili poznat pod drugim nazivom Building management system (BMS) je termin koji se odnosi na širok spektar računarskih upravljačkih sistema u zgradi, počev od kontrolera koji obavljaju specijalizovane zadatke, preko samostalnih izdvojenih kontrolnih stanica, do velikih sistema uključujući centralne dispečerske stanice. Jednom rečju, BAS sistemi su jedni od najvažnijih sistema u jednoj inteligentnoj zgradi. U domaćoj terminologiji ovaj pojam je poznat pod nazivom centralni sistem nadzora i upravljanja (CSNU).

CSNU se sastoji od više podsistema koji su na različite načine povezani u jedinstven sistem. Sistem treba tako da bude projektovan i izveden da služi jasnoj nameni u određenoj zgradi. Posledično, u slučaju da se upotrebe iste komponente, ne postoje dva ista sistema, čak i kada se upotrebe u identičnoj zgradi, sa identičnim servisima i identičnim korisnicima.

Uobičajeni servisi u zgradama su: sistemi grejanja, hlađenja i klimatizacije (KGH), električni sistemi, sistemi osvetljenja, protivpožarni sistemi, protivprovalni sistemi i liftovski sistemi. U industrijskim objektima to su i sistemi komprimovanog vazduha i sistemi tople vode i vodene pare. CSNU može da se koristi za nadzor, upravljanje i menadžment svih ili nekih od nabrojanih servisa. Nedvosmislena je argumentacija za investiranje u CSNU, a veličina investicije zavisi od načina na koji se zgrada koristi, kako se zgradom gazduje, odn. vrednosti zgrade i troškova eksploatacije.

Tipične koristi od uvođenja CSNU su:

- povećanje pouzdanosti postrojenja ili servisa;
- smanjivanje troškova eksploatacije;
- efikasan menadžment zgrade;
- povećanje produktivnosti zaposlenih;
- zaštita ljudi i opreme.

Funkcije centralnog sistema nadzora i upravljanja su:

- menadžment instalacija i funkcije upravljanja;
- menadžment energije (supervizorsko upravljanje);
- upravljanje rizika;
- obrada podataka;
- dijagnostika kvara, menadžment održavanja, automatsko otklanjanje zastoja;
- facility management.

9.7 STANDARDIZACIJA U OBLASTI

Na evropskom nivou, činjenica da su zgrade sve veći potrošači energije, dovela je do toga da je doneta direktiva EN2002/91/EC – Energy Performance of Buildings Directive – EPBD. Glavni zahtev koji ova direktiva uključuje je pitanje je detaljne energetske sertifikacije potrošnje energije u zgradama, kao i analiza potencijalnih ušteda. Kako bi pokrila način za primenu ovih mera uštede, doneto je više evropskih standarda, od kojih je posebno interesantan SRPS EN15232:2014 – Energetske performanse zgrada – Uticaj sistema automatskog upravljanja i nadzora u zgradama (Energy performance of buildings – Impact of Automation, Controls and Building Management).

Standard definiše sisteme automatskog upravljanja i nadzora u zgradama na kao: proizvodi, uređaji, softver i inženjerski servisi za nadzor, upravljanje, optimizaciju i intervenciju čoveka u cilju postizanja efikasnog, ekonomskog i bezbednog rada opreme i sistema u zgradama i njihove međusobne interakcije.

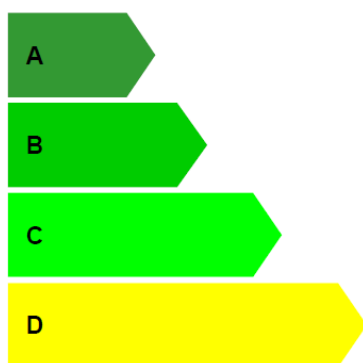
Ovim standardom se utvrđuje:

- struktuirana lista automatskog i tehničkog nadzora u zgradama koje imaju uticaj na energetske performanse u zgradama;
- metoda za definisanje minimalnih zahteva u pogledu funkcija automatskog upravljanja i tehničkog nadzora prilikom primene u zgradama različitih kompleksnosti;
- detaljne metode za procenu uticaja funkcija automatskog upravljanja i tehničkog nadzora u posmatranoj zgradi.

U ovu svrhu, uvedene su četiri klase energetske efikasnosti, od A do D, slika 9.2. Nakon što se zgrada opremi sa sistemima automatskog upravljanja i tehničkog nadzora, dodeljuje joj se jedna od ove četiri klase. Potencijalne uštede u toploti i električnoj energiji se mogu izračunati za svaku od ove četiri klase, na osnovu tipa zgrade i svrhe u koju se zgrada koristi. Vrednosti klase C energetske efikasnosti se koriste kao referentne za uzajamno poređenje. Osnove karakteristike svakog od navedene četiri klase energetske efikasnosti su prikazane u tabeli 9.1.

Kako se u zgradama nalaze mašinske, električne i elektromašinske instalacije, prema EN 15232, izvršena je podela na:

- Grejanje i hlađenje;
- Ventilaciju i klimatizaciju;
- Osvetljenje;
- Zaštitu od Sunca
- Ostale tehničke sisteme



Slika 9.2: Klase energetske efikasnosti (A, B, C, D) prema EN15232.

Tabela 9.1: Klase energetske efikasnosti (A, B, C, D) prema EN15232.

Klasa	Energetska efikasnost
A	Visoko efikasni sistemi automatskog upravljanja i nadzora
B	Napredni sistemi automatskog upravljanja i nadzora
C	Standardni sistemi automatskog upravljanja i nadzora
D	Energetski neefikasni sistemi automatskog upravljanja i nadzora. Zgrade sa ovakvim sistemima treba da se rekonstruišu. Nove zgrade ne mogu da se opremaju ovakvim sistemima.

Funkcionalna lista prema klasama energetske efikasnosti po sistemima prema EN15232 je data u tabeli 9.2.

Tabela 9.3 pokazuje različitost u potrošnji energije za različite tipove objekata i klase energetske efikasnosti A, B i D, relativno u odnosu na vrednosti klase C. Na primer, u klasi A, za kancelarije, ušteda u toploti ide do 30%.

Tabela 9.2. Funkcionalna lista prema klasama energetske efikasnosti po sistemima prema EN15232

Klasa	Upravljanje grejanja / hlađenja	Upravljanje ventilacije / klimatizacije	Osvetljenje	Zaštita od Sunca
A	<ul style="list-style-type: none"> - Individualno upravljanje po prostorima sa komunikacijom između kontrolera - Upravljanje temperature u distributivnom sistemu prema temperaturi u prostoru - Stalna sprega između upravljanja grejanja i hlađenja 	<ul style="list-style-type: none"> - Vremenski promenljivo upravljanje protoka vazduha na nivou individualne prostorije - Promenljiva željena vrednost sa kompenzacijom ubacne temperature u zavisnosti od toplotnog opterećenja - Upravljanje vlažnosti ubacnog / odsisnog vazduha 	<ul style="list-style-type: none"> - Automatsko upravljanje dnevnog sveta - Automatska detekcija prisustva: ručno uključivanje / automatsko isključivanje - Automatska detekcija prisustva: ručno uključivanje / automatsko isključivanje - Automatska detekcija prisustva: automatsko uključivanje / dimovanje - Automatska detekcija prisustva: automatsko uključivanje / dimovanje 	<ul style="list-style-type: none"> - Kombinovano upravljanje osvetljenja / žaluzina / grejanja / hlađenja / klimatizacije
B	<ul style="list-style-type: none"> - Individualno upravljanje po prostorima sa komunikacijom između kontrolera - Upravljanje temperature u distributivnom sistemu prema temperaturi u prostoru - Delimična sprega između upravljanja grejanja i hlađenja (zavisno od KGH sistema) 	<ul style="list-style-type: none"> - Vremenski promenljivo upravljanje protoka vazduha na nivou individualne prostorije - Promenljiva željena vrednost temperature ubacnog vazduha sa kompenzacijom po spoljašnjoj temperaturi - Upravljanje vlažnosti ubacnog / odsisnog vazduha 	<ul style="list-style-type: none"> - Ručno upravljanje dnevnog sveta - Automatska detekcija prisustva: ručno uključivanje / automatsko isključivanje - Automatska detekcija prisustva: ručno uključivanje / automatsko isključivanje - Automatska detekcija prisustva: automatsko uključivanje / dimovanje - Automatska detekcija prisustva: automatsko uključivanje / dimovanje 	<ul style="list-style-type: none"> - Motorni pogon roletni / žaluzina sa automatskim senčenjem
C	<ul style="list-style-type: none"> - Individualno upravljanje po prostorima sa termostatskim ventilima ili elektronskim termostatima - Upravljanje temperature vode u distributivnom sistemu sa kompenzacijom prema spoljnoj temperaturi - Delimična sprega između upravljanja grejanja i hlađenja (zavisno od KGH sistema) 	<ul style="list-style-type: none"> - Vremenski promenljivo upravljanje protoka vazduha na nivou individualne prostorije - Konstantna temperatura ubacnog vazduha - Ograničenje vlažnosti ubacnog vazduha 	<ul style="list-style-type: none"> - Ručno upravljanje dnevnog sveta - Ručno uključivanje / isključivanje sa dopunskom funkcijom isključivanja - Ručno uključivanje / isključivanje 	<ul style="list-style-type: none"> - Motorni pogon roletni / žaluzina sa ručnim senčenjem
D	<ul style="list-style-type: none"> - Nema automatskog upravljanja - Nema upravljanja temperature vode u distributivnom sistemu - Nema sprege između grejanja i hlađenja 	<ul style="list-style-type: none"> - Nema upravljanja količine vazduha na nivou individualne prostorije - Nema upravljanja temperature ubacnog vazduha - Nema upravljanja vlažnosti vazduha 	<ul style="list-style-type: none"> - Ručno upravljanje dnevnog sveta - Ručno uključivanje / isključivanje sa dopunskom funkcijom isključivanja - Ručno uključivanje / isključivanje 	<ul style="list-style-type: none"> - Ručni pogon roletni / žaluzina

Tabela 9.3. Faktori efikasnosti za različite prostore.

Klase	Toplota				Električna energija			
	D	C	B	A	D	C	B	A
Kancelarije	1,51	1	0,80	0,70	1,10	1	0,93	0,87
Sale za predavanja	1,24	1	0,75	0,50	1,06	1	0,94	0,89
Učionice	1,20	1	0,88	0,80	1,07	1	0,93	0,86
Bolnice	1,31	1	0,91	0,86	1,05	1	0,98	0,96
Hoteli	1,31	1	0,85	0,68	1,07	1	0,95	0,90
Restorani	1,23	1	0,77	0,68	1,04	1	0,96	0,92
Tržni centri	1,56	1	0,73	0,60	1,08	1	0,95	0,91
Stanovanje	1,10	1	0,88	0,81	1,08	1	0,93	0,92

9.8 UZROCI ENERGETSKE NEEFIKASNOSTI

Dobro projektovani i izvedeni sistemi automatskog upravljanja i nadzora su samo potreban uslov za energetske efikasnosti. Međutim, u eksploataciji dolazi do takozvanog „drifta“ energetske performansi sistema. U tabeli 9.3 je navedeno da su moguće uštede uvođenjem sistema automatskog upravljanja i nadzora i do 30%. Period povraćaja investicije u sisteme automatskog upravljanja je od 0 do 5 godina. U slučaju gubitka energetske performansi, jasno, ovaj period se produžava. Iz tog razloga je neophodno u realnom vremenu vršiti detekciju neefikasnog režima koji utiče na potrošnju energije, povećano habanje i amortizaciju opreme.

Istraživanja relevantnih svetskih institut navode listu top 10 razloga gubitka energetske performansi sistema KGH usled neadekvatnog održavanja i sistemskih greški koje se ne detektuju:

1. Isključena funkcija frekventnih regulatora;
2. Programski rad po vremenskom rasporedu se ne koristi ili je onemogućen;
3. Jednovremeno grejanje i hlađenje;
4. Curenje kanala ili ventila;
5. Neispravno funkcionisanje ventilatora, izvršnih organa ili dempera;
6. Neizbalansirani vazdušni vodovi.
7. Programski rad i isključivanje sistema ne odgovara trenutnim zahtevima u eksploataciji;
8. Greške u softveru;
9. Neispravna ugradnja opreme, kvar i gubitak funkcije;
10. KGH sistemi nisu dobro dimenzionisani.

Primena sistema automatskog upravljanja i tehničkog nadzora u zgradama može znatno da utiče na energetske efikasnosti u zgradama bez gubitka na komforu i osećaju ugodnosti, međutim nikako ne može da ispravi pogrešno projektovane, izvedene i održavane tehničke sisteme.

LITERATURA

1. Adžić M., Savić R., Milivojević A., Bogdanović B., Fotev V., Todorović M.: Possibilities for energy savings in residential buildings based on measurements performed in real conditions, 44th International KGH Congress 4-6 Decembar 2013, Proceedings on CD, SMEITS, Belgrade.
2. Bajc T., Todorović M.: Energy demands for passive house with Trombe wall for Belgrade weather conditions, 40th International KGH Congress, Proceedings, pp. 487-496., SMEITS, Belgrade 2009.
3. Banjac M., Todorović M., Ristanović M., Galić R.: Experimental determination of thermal conductivity of soil with a thermal response test, Thermal Science – Vol. 16, Issue 4, 2012, pp 1117-1126.
4. Bulatović I., Todorović M.: Analysis of the effect of housing construction method on the heating demands for Belgrade weather conditions, 41st International KGH Congress, Proceedings, pp. 80-88., SMEITS, Belgrade 2010.
5. Direktiva o energetske performansi zgrada 2010/31/EU Evropskog Parlamenta i Saveta, Official Journal of EU, 19.05.2010.
6. Gupton Guy W. Jr., HVAC Controls Operation & Maintenance, Fairmont Press Inc., Liburn, Ga, 2002.
7. Merz H., Hansemann T., Huebner C., Building Automation - Communication Systems with EIB/KNX, LON and BACnet, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009.
8. Milijašević M. Bajc T., Todorović M.: The heat losses calculation methodology according to DIN 4701 and SRPS EN 12831:2012 influence on required installed radiators' power, 45th International KGH Congress 3-5 Decembar 2014, Proceedings on CD, SMEITS, Beograd.
9. Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine Republike Srbije: Energetski bilans RS za 2015., Sl. glasnik RS 147/2014.
10. Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine Republike Srbije: Drugi Nacionalni akcioni plan za energetske efikasnost, Sl. glasnik RS 98/2013.
11. Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine Republike Srbije: Nacionalni akcioni plan za korišćenje obnovljivih izvora energije, 2013.
12. Mueller C.F., Regelungs und Steuerungstechnik in der Versorgungstechnik, Verlag C.F.Mueller GmbH, Karlsruhe, 1992.
13. Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, Sl. glasnik RS, br. 61/2011.
14. Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetske svojstvima zgrada, Sl. glasnik RS, br. 69/2012.
15. Priručnik za energetske certificiranje zgrada – 1. dio, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva Republike Hrvatske, Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, GEF, UNDP Hrvatska, Zagreb, 2010.
16. Priručnik za energetske certificiranje zgrada – 2. dio, Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Ministarstvo graditeljstva i prostornog

- uređenja Republike Hrvatske, Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, GEF, UNDP Hrvatska, Zagreb, 2012.
17. Shengwei Wang, *Intelligent Buildings and Building Automation*, Spon Press, New York, 2010.
 18. Sinopoli James, *Smart Building Systems for Architects, Owners, and Builders*, Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, Burlington, MA, 2010.
 19. Standard SRPS EN ISO 13790:2010 – Energetske performanse zgrada – Proračun energije koja se koristi za grejanje i hlađenje prostora.
 20. Standard SRPS EN 15316:2012 – Sistemi grejanja u zgradama.
 21. Standard SRPS EN 15251:2010 – Ulazni parametri unutrašnje sredine za projektovanje i ocenjivanje energetskih karakteristika zgrada u odnosu na kvalitet vazduha, toplotu sredine, osvetljenje i akustiku.
 22. Standard SRPS EN 15217:2008 – Energetske performanse zgrada - Metode za izražavanje energetskih performansi za energetske sertifikacije zgrada.
 23. Standard SRPS EN 12831:2012 – Sistemi grejanja u zgradama – Metoda proračuna projektnog toplotnog opterećenja.
 24. Standard SRPS EN ISO 7730:2008 – Ergonomija toplotne sredine - Analitičko utvrđivanje i interpretacija toplotnih komfora korišćenjem proračuna PMV i PPD pokazatelja i lokalnih kriterijuma komfora.
 25. Standard SRPS EN ISO 10211:2013 – Toplotni mostovi u građevinskoj konstrukciji – Toplotni protoci i površinske temperature – Detaljni proračuni.
 26. Standard SRPS EN ISO 6946:2013 – Komponente i elementi zgrade – Toplotna otpornost i koeficijent prolaza toplote – Metoda proračuna.
 27. Standard SRPS EN ISO 10077:2013 – Toplotne performanse prozora, vrata i kapaka – Proračun koeficijenta prolaza toplote.
 28. Standard SRPS EN 15232:2014 – Energetske performanse zgrada — Uticaj sistema automatskog upravljanja i nadzora u zgradama.
 29. Šumarac D., Todorović M., Đurović-Petrović M., Trišović N.: *Energy Efficiency of Residential Buildings in Serbia*, Thermal Science, Vol. 14, Suppl. 2010., pp. S97-S113 (Specijalno izdanje časopisa Thermal Science, Institut za nuklearne nauke Vinča);
 30. Šumarac D., Todorović M., Ninkov T.: *Review of a methodology for determination of energy loss in civil construction buildings*, Proceedings. Int. Conf. On District Energy 2011, Ed. B. Bibic, SDDE-Slovensko društvo za daljinsko energetiko, pp. 245-254, Portoroz, 2011.
 31. Šumarac D., Todorović M.: *Energy efficiency of buildings in Serbia compared with achievements in EU*, Conference: Modern Building Practice 2010, Fruška gora, 13-14. may 2010, Proceedings on CD.
 32. Todorović M., Bajc T.: *The different energy source type influence on building primary energy needs*, 15th Symposium of Thermal Engineers Society of Serbia, Proceedings on CD, Soko Banja, 2011.
 33. Todorović M., Bajc T.: *The influence of the regimes of use of building on total building energy consumption*, Regional Conference IEEP 2011, Proceedings on CD, Kopaonik, Serbia.

34. Todorović M., Bogner M., Denić N.: O izolaciji, ETA, 472 str., ISBN: 978-86-85361-32-6, COBISS.SR-ID 189935884, Beograd, 2012.
35. Todorović M., Damjanović A., Šumarac D.: Application of the European legislation in the field of building energy efficiency in Serbia, Conference: Modern Building Practice 2012, Andrevlje, 16-18. may 2012, Proceedings, pp. 13-26.
36. Todorović M., Ristanović M., Lazić D., Galić R., Bajc T.: A novel laboratory set-up for investigation of intelligent automatic control in complex HVAC systems, FME Transactions, Vol. 43, No. 3, 2015, pp. 243-248.
37. Todorović M., Šumarac D., Galić R.: Survey of potential energy savings in the building sector in Serbia and needed investments, 16th Symposium of Thermal Engineers Society of Serbia, Proceedings on CD, 22-25 Oktobar 2013., Soko Banja, Serbia.
38. Todorović M., Šumarac D., Vasiljević P.: Different approach in calculation of energy consumption for buildings heating – harmonization with European standards and EPBD (in Serbian), Regional Conference IEEP 2010, Proceedings on CD, Zlatibor, Serbia.
39. Todorović M., Vailjević P., Šumarac D., Bajc T.: *Users behavior influence on energy consumption from district heating system, International Conference on district energy 2012. Proceedings, pp. 161-170, Portorož, Slovenia.*
40. Todorović M., Vailjević P.: Energy efficiency improvement of residential buildings in Belgrade connected to the district heating system, International Conference on district energy 2011. Proceedings, pp. 169-179, Portorož, Slovenia.
41. Todorović M., Živković B.: Numerical simulation of air-conditioned rooms' thermal behavior dynamics, 14th Symposium of Thermal Engineers Society of Serbia, Proceedings on CD, Soko Banja, 2009.
42. Todorović M., Živković B.: Prednosti numeričke simulacije termičkog ponašanja zgrada pri projektovanju sistema za klimatizaciju, 32. Kongres KGH, štampano u zborniku radova, str. 148-158., SMEITS, Beograd 2001.
43. Todorović M., Živković B.: The Influence of Air-conditioning Operating Schedule and Ventilation needs on Energy Consumption, FME Transactions, Vol.33. No.3/2005. str. 151-155. Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet.
44. Todorović M.: Energy efficiency and use of renewable energy sources in Serbia, Regional Conference IEEP 2015, 24-27 Jun 2015, Proceedings on CD, Zlatibor, Serbia.
45. Todorović M.: Night ventilation as a key technique for air-conditioning system energy savings, 38. međunarodni Kongres KGH, štampano u zborniku radova, str. 399-408., Beograd 2007. SMEITS.
46. Todorović M.: *The Air-Conditioning Energy Savings achieved by Application of Time-predicted driven Night Ventilation, FME Transactions, Vol. 42, No. 2, 2014, pp. 161-167.*
47. Todorović, M., Matejić, M.: Financial aspects of improving the energy efficiency of buildings (in Serbian, invited lecture), Conference on masonry constructions, Proceedings, pp. 133-146, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Serbia.

48. Zakon o planiranju i izgradnji Republike Srbije, Sl. glasnik RS, br. 72/2009, 81/2009 - ispr., 64/2010 – odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - odluka US, 50/2013 odluka US, 98/2013 - odluka US, 132/2014 i 145/2014.
49. Zakon o efikasnom korišćenju energije Republike Srbije, Sl. glasnik RS, br. 25/2013.
50. Živković B., Todorović M., Vasiljević P.: Energy savings for residential heating in two pairs of buildings in New Belgrade achieved by measuring actually consumed energy from the district heating system "Beogradske elektrane", (Specijalno izdanje časopisa Thermal Science, Institut za nuklearne nauke Vinča, br 4/2006., Vol. 10, str. 79-88).
51. Živković B., Todorović M., Vasiljević P.: Ušteda toplotne energije za grejanje stanova u soliteru u Novom Beogradu postignuta merenjem potrošnje toplote iz sistema daljinskog grejanja, (Časopis KGH, br. 2/2006., SMEITS, str. 33-37.).
52. Živković B., Vasiljević P., Todorović M.: Merenje potrošnje toplote iz sistema daljinskog grejanja u bloku 34 u Novom Beogradu, (Časopis KGH, br. 4/2003., SMEITS, str. 39-44.).