

# Energetska ušteda implementacijom rekuperatora zraka

---

**Barišić, Marko**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:577147>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-05**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE RAČUNALSTVA I INFORMACIJSKIH**  
**TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**ENERGETSKA UŠTEDA IMPLEMENTACIJOM**  
**REKUPERATORA ZRAKA**

**Diplomski rad**

**Marko Barišić**

**Osijek, 2019.**

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1 Zadatak diplomskog rada .....	1
2. OSNOVE KLIMATSKIH UVIJETA STAMBENOG PROSTORA .....	2
2.1. Higijenski uvjeti i osjećaj ugone unutar prostora .....	2
2.2. Temperatura zraka .....	3
2.3. Vlažnost zraka .....	5
2.4. Osvrt na plinove unutar prostorije stambenog prostora.....	7
3. ZRAK KAO PRIJENOSNIK ENERGIJE U SUSTAVIMA VENTILACIJE I KLIMATIZACIJE SUKLADNO NAMJENI UPOTREBE PROSTORA .....	9
3.1. Određivanje potrebne količine svježeg zraka ovisno o namjeni građevine.....	9
3.2. Raspodijela zraka u prostoriji.....	11
3.3. Pregled izračuna protoka zraka ovisno o godišnjem dobu .....	13
4. SUSTAVI POVRATA TOPLINE.....	15
4.1. Regenerativni sustav povrata topline.....	17
4.2. Rekuperatorski sustav povrata topline.....	19
4.3. Komponente sustava rekuperacije zraka .....	22
4.4. Načini implementacije sustava rekuperacije .....	26
5. ENERGETSKE POTREBE STAMBENOG OBJEKTA .....	29
5.1. Toplinski gubici i vraćena pomoćna energija.....	30
5.2 Proračun toplinskih gubitaka.....	31
5.3 Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade.....	32
6. ANALIZA ISPLATIVOSTI UGRADNJE REKUPERATORA.....	35
6.1 Proračun transmisijskih i ventilacijskih gubitaka pomoću programskog paketa Thorium A+.....	36
6.1.1. Primjer kada u kući ne borave ljudi.....	46
6.1.2. Primjer kada u kući borave ljudi .....	46
6.2. Odabir opreme i tipa rekuperatora.....	47
6.3. Analiza opravdanosti ugradnje sustava povrata energije temeljem proračuna.....	49
6.4 Analiza opravdanosti ugradnje sustava povrata energije temeljem korisničkih iskustava.....	50
6.5 Subvencije fonda za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost.....	51
6.6. Ugradnja i položaj rekuperatorske jedinice.....	52
ZAKLJUČAK .....	55
LITERATURA.....	57
SAŽETAK.....	59
ABSTRACT .....	59
ŽIVOTOPIS .....	60

# 1. UVOD

Zadatak diplomskog rada je energetska ušteda implementacijom rekuperatora zraka. Kada govorimo o klimatizaciji govorimo o složenom procesu koji uključuje pripremu, razvod i ubacivanje zraka u kondicionirani prostor. Klimatizacijom se reguliraju i održavaju, unutar zadanih granica, parametri poput : temperature zraka, relativne vlažnosti, brzine strujanja zraka, čistoća zraka itd. Sve to radimo kako bi postigli efekt ugodnog boravka osoba u prostoru i zdravog okoliša za same ljude. U prvom dijelu rada obradit ćemo opće mikroklimatske uvijete u prostoriji gdje će biti govora o tome što je sve potrebno kako bi jedna prostorija postigla zdrave uvijete u kojem čovjek može boraviti. U radu će biti i govora o zraku kao prijenosniku energije o broju izmjena u prostoriji i njezinoj raspodijeli. Obradene su sve vrste povrata topline podijeljene u dvije osnovne cijeline rekuperatore i regeneratore. Obradene su i sve komponente sustava rekuperacije zraka kao i pojedini položaji implementacije. U drugom dijelu rada napravljena je analiza rekuperacije na konkretnom primjeru. Za primjer je uzeta obiteljska kuća koja je lokacijski smještena u Osijeku. Proračun toplinskih gubitaka radit je u programskom paketu „*Thorium A+*“ koji se bavi energetskim certificiranjem, izradom fizike zgrade, strojarskim proračunima. Prema dobivenim podacima o ventilacijskim gubicima dobili smo potencijalnu uštedu ukoliko implementiramo rekuperatorsku jedinicu. Proračun je rađen za dva slučaja. U prvom slučaju u kući ne borave ljudi pa je promijena zraka puno manja i iznosi  $0,2 \text{ h}^{-1}$ . U drugom slučaju u kući borave ljudi te je promjena zraka osjetno drugačija za svaku prostoriju, ali kao srednju godišnju vrijednost izmjene zraka uzeli smo  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Prema dobivenim podacima odabran je rekuperator tvrtke „*Mitsubishi electric LGH-50RVX-E*“. Otplatni period i povrat investicije ovisi o veličini prostora koji je potrebno rekuperirati i mijenja se ukoliko u njoj borave i rade ljudi. Kako su podaci rađeni prema programskim algoritmima, napravljen je i proračun prema realnim podacima korisnika prostora gdje se vidi kako je otplatni period investicije i duži te dovodi u pitanje potencijalnu uštedu implementacijom odabranog rekuperatora zraka.

## 1.1 Zadatak diplomskog rada

U diplomskom radu potrebno je odrediti energetska uštedu implementacijom rekuperatora zraka. Nadalje, potrebno je odrediti i godišnju uštedu implementacijom rekuperatora zraka i odrediti povratne periode za odabrani rekuperator zraka.

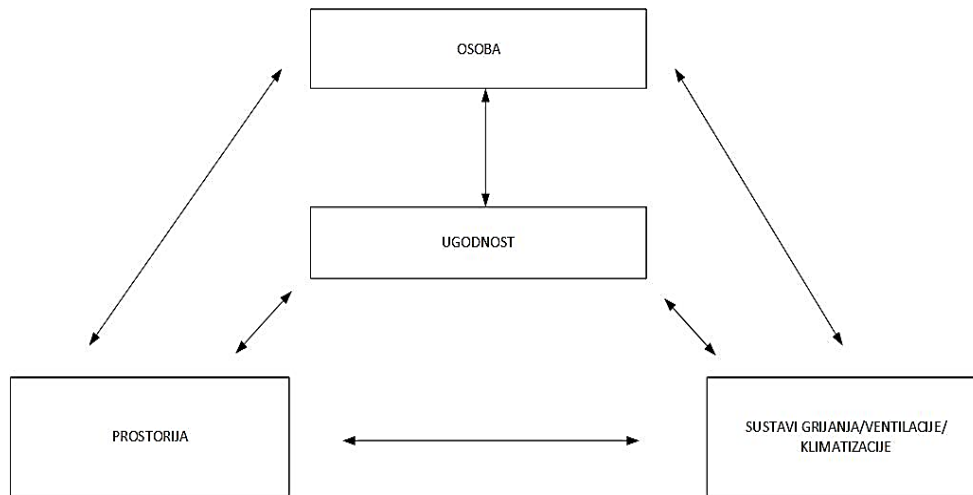
## **2. OSNOVE KLIMATSKIH UVIJETA STAMBENOG PROSTORA**

Klimatizacija je dio tehnike koja se sredinom prošlog stoljeća razvila u nevjerovatnim pravcima. Određivanje povoljne klime u određenom zatvorenom prostoru u kojem borave ljudi nalazeći zaštitu od različitih neugodnosti, postoji oduvijek. Klimatske prilike na Zemlji uglavnom su nepovoljne za čovjeka i varijaju od mjesta do mjesta, zaviseći od doba godine i lokalnih meteoroloških prilika. Od pola prema ekvatoru ekstremne temperature zraka javljaju se u granicama od -70 °C do +50 °C. Istovremeno i relativne vlažnosti zraka u pojedinim mjestima u dužem vremenskom periodu mogu da budu vrlo niske (oko 10 %), ali i ekstremno velike i to čak u granicama visoke temperature (preko 90 %). Ako znamo da su najpovoljniji uvjeti za čovjeka na temperaturi od oko 20 °C i relativnoj vlažnosti od 50 %, ljudi su težili da bar približno ostvare te uvijete sredine, nezavisno od različitim klimatskim uvjetima. Tehničke mogućnosti su se u razvoju civilizacije stalno poboljšavale i usavršavale, pa je danas moguće u zatvorenom prostoru ostvariti sve željene parametre. Danas ljudi sve češće žive u gradovima od nekoliko desetaka tisuća stanovnika. Život u gradovima ima niz prednosti, ali i posljedice koje nepovoljno utječu na čovjekovu okolinu. Velika koncentracija prašine, dima, ispušnih plinova, klica, povećani nivo buke i drugih poremećaja, predstavljaju nove elemente o kojima moramo voditi računa pri kreiranju zdravih klimatskih uvijeta, [1].

### **2.1. Higijenski uvjeti i osjećaj ugone unutar prostora**

Zadatak klimatizacije je da osigurava i regulira određene termičke uvijete u zatvorenom prostoru u kojem borave ljudi, bez obzira na promjene klimatskih uvijeta klime i same unutrašnje poremećaje. Klima prostorije, odnosno termičke karakteristike sredine koja se klimatizira, moraju biti prilagođeni potrebama čovjekova organizma. Samo u takvim prostorijama ljudi mogu da se osjećaju ugodno i da u njima duže borave bez štete po svoje zdravlje. Zbog toga sredina mora da odgovara određenim uvjetima. To se prije svega odnosi na termičke uvijete koji osiguravaju pravilnu termoregulaciju organizma (temperaturu, relativnu vlažnost, brzinu strujanja zraka, temperaturu okolnih površina), a zatim i higijensko-tehnički uvjeti (čistoća zraka, nivo buke, različitim mirisima), [5].

Ugodnost je svijest jedne ili više osoba o ugodnoj okolini, a njezino postizanje osnovni zadatak svakog sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije. Tako određena, ugodnost predstavlja subjektivan i individualan osjećaj i stoga nemjerljivu veličinu. Govoreći o ugodnosti i sustavima grijanja, ventilacije ili klimatizacije ponajprije se misli na toplinsku ugodnost, [5].



**Slika 2.1.** Ugodnost slijedi iz međudjelovanja triju osnovnih pojmova: osobe, prostorije i sustava, [5].

Toplinska ugodnost određuje nekoliko osnovnih čimbenika: temperatura zraka u prostoriji, srednja temperatura ploha prostorije, brzina i vlažnost strujanja zraka itd. Svaki od tih čimbenika vezan je uz barem jedan od tri pojma iz čijeg međudjelovanja proizlazi pojam „*ugodnost*“, [5]. Međusobne odnose i njihovu povezanost vidimo na slici 2.1.

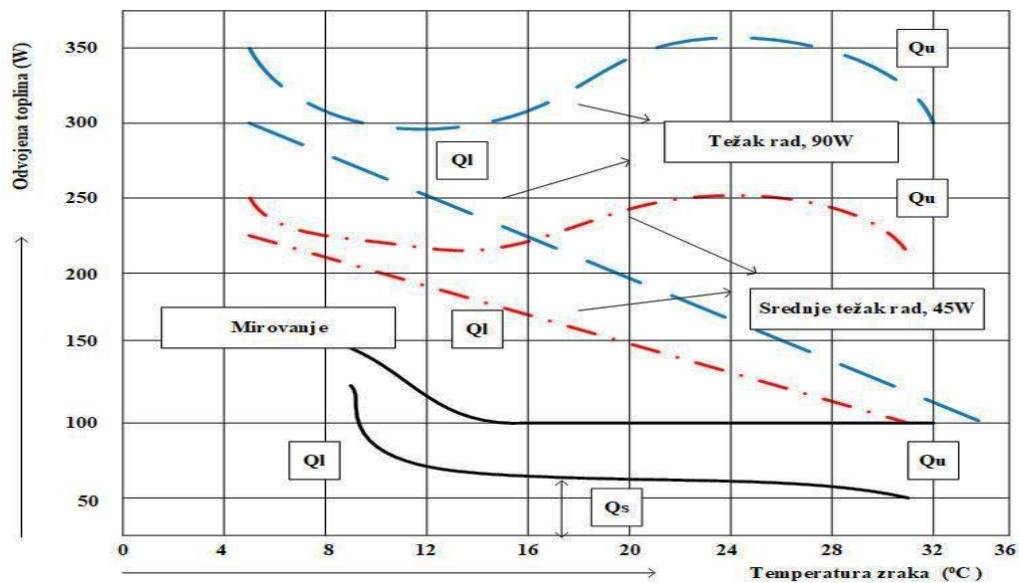
## 2.2. Temperatura zraka

Toplina koja se razvija u organizmu posljedica je prije svega procesa u pojedinim čovjekovim organizmima (jetri, mozgu, srcu), koji se nazivaju općim imenom kao bazalni metabolizam. Da bi se u ljudskom tijelu održala stalna temperatura, organizam mora negdje da se oslobodi viška razvijene topline. Ukoliko postoji mogućnost da se količina topline odvoji okolini, u tijelu će se održati toplinska ravnoteža. Ako se iz bilo kojeg razloga ova ravnoteža promijeni, tj. ako organizam proizvede više topline nego što je mogućnost da je preda okolini, ili obratno, pojavit će se osjećaj neugodnosti i zamora. Čovjeku je toplo ili hladno i ako to traje duže, takva stanja dovode do ozbiljnih zdravstvenih problema, [1]. Normalna tjelesna temperatura je u uskim granicama od 36,1 °C do 37,4 °C. Ova temperatura ostaje konstanta ukoliko tijelo može dati prostoru višak topline. Postupak te ravnoteže zovemo termoregulacija. Čovjekova toplina se predaje okolini na slijedećih 5 načina:

1. Zračenjem površine kože (ili odjeće) na okolne površine niže temperature (zidovi, namještaj i dr.).
2. Provođenjem sa površine kože na predmete sa kojima je čovjek u dodiru.
3. Konvekcijom na okolini zrak.
4. Ispravljanjem vlage sa površine kože.

## 5. Zagrijavanjem i vlaženjem zraka u plućima prilikom disanja.

Uloga pojedinih načina predaje topline na ukupnu toplinu različita je i promijenjiva. U uvjetima ugodnog osjećaja, glavni dio topline se predaje zračenjem i konvekcijom, provođenje je obično neznatno, a odvajanje topline ispravanjem je malo. Udio pojedinih načina odvajanja topline, a time i osjećaj ugodnosti, zavise o starosti i zdravstvenom stanju ljudi, od njihove fizičke aktivnosti, vrste odjeće i uvijeta koji vladaju u sredini u kojoj čovjek boravi. Na slici 2.2. shematski su prikazani odnosi odvajanja topline zdravog čovjeka koji miruje u normalnoj okolini sa temperaturom od 20 °C.



**Slika 2.2.** Prikazi odvajanja topline zdravog čovjeka u normalnim uvjetima, [5].

Temperatura zraka direktno utječe na veličinu odvajanja topline konvekcijom koja će se bitno razlikovati pri pojedinim slučajevima fizičke aktivnosti ljudi. Na slici 2.2. vidimo prikaz ukupne količine topline ( $Q_u$ ) koje u vidu osjetne ( $Q_s$ ) ili latentne topline ( $Q_l$ ) daje normalno obučeni čovjek pri različitim stupnjevima fizičke aktivnosti i to u stanju mirovanja pri normalnom (45 W) i teškom fizičkom radu (90 W). Kako je promatrani slučaj kada čovjek sjedi u miru, vidimo da osjetno odvajanje topline opada sa porastom temperature okoline. To je zbog toga što odvajanje topline vrši vrije svega konvekcijom i zračenjem, a pošto je temperatura tijela skoro pa konstanta cijelo vrijeme, imamo pad krivulje ( $Q_s$ ).

Latentna toplina (sl. 2.2.) je razlika između osjetne topline i ukupne topline koje je predana. Ona je minimalna i konstantna jer u uvjetima niskih temperatura same okoline nema jačeg znojenja, pa se latentna toplina iskazuje ispravanjem vode na koži i u plućima. Povećano znojenje počinje na temperaturi 18 °C i sa daljnim povećavanjem temperature ono primjetno raste. Kod temperatura

oko 35 °C pri približno jednakim temperaturama površine tijela i okoline, osjetno djelovanje je svedeno na nulu, pa je latentna toplina ujedno i ukupna količina topline koje čovjekovo tijelo oslobađa, [5]. Srednja temperatura ploha određuje se prema jednadžbi:

$$\vartheta_{sr,pi} = \sum \frac{A_i \vartheta_i}{A_i} \quad (2-1)$$

gdje su:

$\vartheta_{sr,pi}$  – srednja temperatura ploha, [°C].

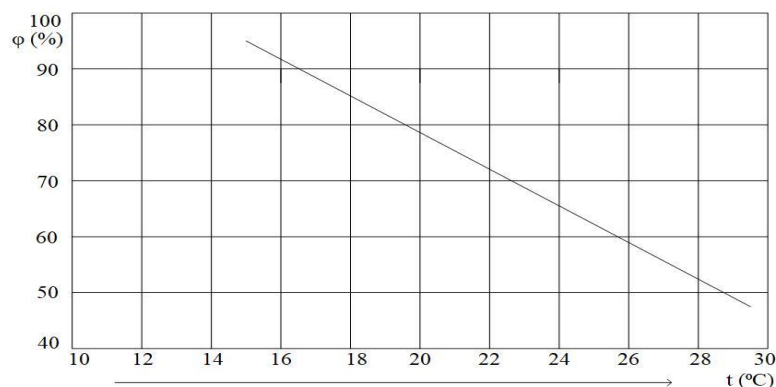
$A_i$  – površina pojedine plohe (zida, stropa, poda, prozora), [m<sup>2</sup>].

$\vartheta_i$  – temperatura pojedine plohe, [°C].

Za postizanje osjećaja ugodnosti, temperatura zraka u prostoriji treba imati što manje odstupanje od srednje temperature ploha prostorije. Srednja temperatura ploha prostorije određuje se iz srednjih temperatura svih ploha prostorije (uključujući i ogrjevne plohe).

### 2.3. Vlažnost zraka

Vlažnost zraka neposredno utječe na prijenos topline. Ukoliko imamo veći sadržaj vlage u zraku, otpor provođenja topline od površine kože je manji. Prema tome, u toplijim sredinama prijenos topline isparavanjem postaje najznačajnije, povećava relativnu vlažnost smanjuje mogućnost uspostavljanja toplinske ravnoteže. U hladnijim područjima gdje je cilj da se okolini preda što manje topline, povećana relativna vlažnost također negativno djeluje, jer je smanjen otpor prijenosa topline, pa je veći prijenos topline koje je u ovom slučaju gotovo isključivo putem provođenja i konvekcije, [1]. Prema slici 2.3. prikazane su maksimalne dozvoljene relativne vlažnosti prema temperaturi sredine.



**Slika 2.3.** Najviše dopuštene relativne vlažnosti zraka, [1].

Ukoliko se u tehnici klimatizacije spominje zrak, uglavnom se radi upravo o vlažnom zraku. Suhi zrak je smjesa većinom kisika i dušika koja ne sadrži vodenu paru i čiji je približni sustav preostali



elementi vrlo malenog udjela pridodani su dušiku, [4]. Prema tome imamo kemijski sastav zraka od slijedećih elemenata:

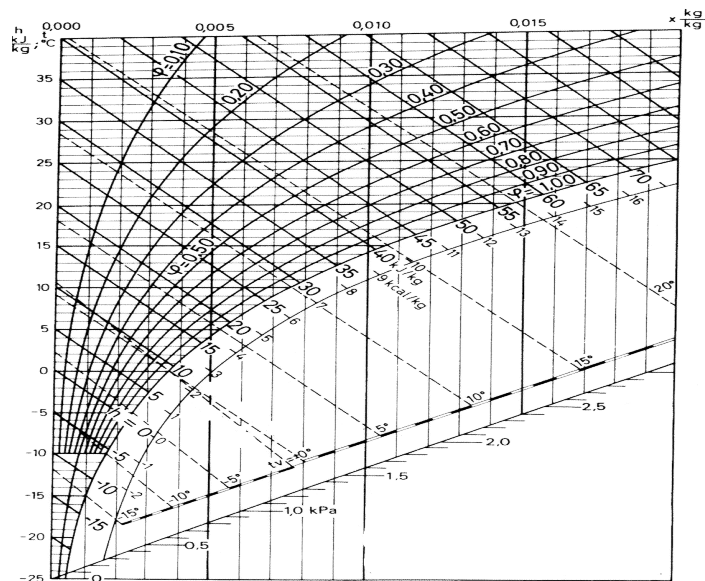
- dušik 78 % volumena, ( $N_2$ ).
- kisik, 21% volumena, ( $O_2$ ).
- argon, 1% volumena, (Ar).

Razumijevanje procesa s vlažnim zrakom od ključnog je značenja za sustave klimatizacije, jer je kondicionirani zrak medij čija priprema predstavlja osnovu za postizanje uvijeta ugodnosti u prostoru. Postoje dva osnova tipa dijagrama za prikaz procesa sa vlažnim zrakom. U diplomskom radu spomenit ćemo europski način prikaza pomoću Mollierovog (h,x) – dijagrama za zrak (sl. 2.4.). Preporučljivo područje iznosa relativne vlažnosti je prilično veliko i iznosi 30 – 60 %. Najveći dopušteni iznos relativne vlažnosti iznosi 65 % pri temperaturi od 22 °C (Tab. 2.1.).

**Tablica 2.1.** Vrijednost relativne vlažnosti zraka u ovisnosti o temperaturi, [1].

Temperatura, (°C)	Zrak u prostoriji		
	Temperatura, (°C)	Relativna vlažnost, (%)	
		Donja granica	Gornja granica
<20	22	30	65
20	22	30	65
25	23	30	65
30	25	30	60
32	26	30	55

Za proučavanje promjena stanja vlažnog zraka koristimo Mollierov (h, x) dijagram prikazan slikom (sl.2.4.). Osnovne kordinate dijagrama su: entalpija h i apsolutna vlažnost x vlažnog zraka. Izoterme u tzv. nezasićenom području (tj. kada je  $x < X_s$ ) su nagnute prave linije, i to tako što je veći nagib, veća je i temperatura. Ako na svakoj izotermi označimo graničnu vlažnost  $X_s$  koja pripada toj temperaturi, pa te točke povežemo dobit ćemo liniju zasićenja vlažnog zraka. Desno od linije zasićenja nalazi se područje magle, a to je stanje kada se suhozasićenom vlažnom zraku ( $X_s$ ) nalaze i kapljice vode ( $X_w$ ), što znači da se radi o mješavini suhog zraka i nezasićene (vlažne) pare. Svaku od izotermi u nezasićenom području možemo podijeliti prema stupnjevima zasićenja od  $x = 0$  do  $x = X_s$  podijelimo na dijelove: 10 %, 20 %, 30 % itd.



**Slika 2.4.** Mollierov (h, x) dijagram za zrak, [17].

Povezivanjem tih točaka dobijemo krivulju. Krivulje su vrlo korisne za praćenje promjena stanja u klimatizaciji, jer se pokazalo vrlo praktičnim da se pojedina stanja vlažnog zraka definiraju relativnom vlažnošću, kao i jednom od dvije veličine stanja. Uvjeti ugodnosti, kao i za čitav niz tehnoloških procesa za koje se predviđa klimatizacija od bitnog je značaja upravo relativna vlažnost zraka, [9].

## 2.4. Osvrt na plinove unutar prostorije stambenog prostora

Plinovi, pare i mirisi nastaju u prostorijama za boravak ljudi zbog isparavanja (amonijak, metan itd.) ljudi, namještaja i građevinskih materijala, uslijed grijanih i postupka sagorijevanja (ugljični – moksoxid) ispušnih plinova automobila, usljed prodiranja zagađenog zraka naročito u industrijama i prometnim ulicama, pored toga i prilikom pripremanja hrane u kuhinjama, od mirisa iz zahoda, truljenja, tinjanja i sličnih postupaka. Kod najvećeg broja ovih mirisnih materija radi se o kompliciranim ogranskim tvarima. Nema sumnje da sve ove primjese imaju nepovoljan utjecaj na ugodnost i zdravlje čovjeka, tako da se u svim slučajevima u kojima ne može da se spriječi nastajanje ovih primjesa u zraku ukazuje potreba za odstranjivanjem mirisa. Vrlo značaj zagađivač u stambenim prostorima je duhanski dim koji sadrži veliki broj sastavnih djelova u obliku plina i pare. Od 1 g duhana nastaje 0,5 do 1,0 litra duhanskog plina. Posebno su štetni ugljični – monoksid i nikotin, koji već pri minimalnoj koncentraciji kod osjetljivih osoba izazivaju simptome gađenja i trovanja, [2].

Granica koncentracije, kada se počinju osjećati mirisi, tzv. vrijednost praga, ipak je različita (Tab 2.2.). Objektivno smanjenje kisika u zraku sve do 16 % ne utječe na ugodnost. Opravdane

primjedbe na „*nedostatak kisika*“ dakle ne postoje osim u specijalnim slučajevima. U prometnim ulicama nestaju znatne koncentracije CO<sub>2</sub> i ispušnih plinova iz automobila, što se može osjetiti i u stanovima i poslovnim prostorima u blizini, a čije koncentracije često prekorače vrijednosti dopuštene normama. Metode odstranjivanja mirisa su: kondenzacija (hlađenje), aporpcija, apsorpcija aktivnim ugljenom, sagorijevanje, [2]. Na intenzitet mirisa različito utječe vlažnost zraka. Miris od duhana i iz kuhinja se osjeća manje sa povećanjem vlažnosti. Količina potrebnog svježeg zraka ovisi od volumena prostora po osobi, a sa druge strane od njene čistoće i zato se kreće u širokim granicama od 10 do 50 m<sup>3</sup>/h po osobi. Zbog toga postoji potreba ugradnje uređaja za usisavanje zagađenog zraka iz prostorija. Tablica 2.2. prikazuje neke maksimalne vrijednosti dopuštene koncentracije plinova, pare i prašine u prostorijama, tzv. MDK – vrijednost (maksimalna dopuštena koncentracija), [5]. Tablica 2.2. prikazuje i ppm (tj. koncentraciju u relativnim proporcijama i bezdimenzionalna je veličina), vrijednosti pojedinih elemenata. Pri tome važno je naglasiti kako navedene vrijednosti nemaju oblik konstanti, već moraju povremeno da se ispituju i usklađuju sa datumima i normama.

**Tablica 2.2.** Maksimalna dopuštena koncentracija pojedinih plinova u građevinama, [5].

Naziv	Formula	MDK	
		[Ppm]	[mg/m <sup>3</sup> ]
Amonijak	NH <sub>3</sub>	50	35
Olovo	Pb	-	26
Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1000	2350
Jod	J <sub>2</sub>	0,1	0,13
Ugljični-dioksid	CO <sub>2</sub>	5000	9000
Ugljični-monoksid	CO	50	55
Bakar (dim)	Cu	-	0,1
Bakar (prašina)	Cu	-	1
Metanol	CH <sub>3</sub> OH	200	260
Nikotin	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	0,07	0,5

### 3. ZRAK KAO PRIJENOSNIK ENERGIJE U SUSTAVIMA VENTILACIJE I KLIMATIZACIJE SUKLADNO NAMJENI UPOTREBE PROSTORA

Kada je pitanju kvalitet unutarnjeg zraka, postoje brojne pritužne, nezadovoljstva i žalbe koje iskazuju korisnici i koje upućuju na razinu čistoće zraka i primjesa koje čine da on nije bez mirisa. Žalbe postoje i kada je ventilacijski sustav projektiran i izveden po standardima i propisima, što ukazuje da se putem negdje pogriješilo. Istražujući razloge nezadovoljstva, profesor Fanger je sa svojom grupom na Danskom tehničkom fakultetu uvidio da određene količine svježeg zraka za ventilaciju isključivo prema ljudima, polazeći od ustaljene teorije da ljudi jedini zagađivači zraka u neindustrijskim objektima, pogrešna postavka. Fanger uvodi novu filozofiju, prema kojoj zagađenje zraka, osim ljudi, potiče od ugrađenog materijala, namještaja, samog ventilacijskog sustava. Pojava nezadovoljstva na kvalitet unutrašnjeg zraka, koja je poznata pod imenom sindrom bolesne zgrade (engl. *sick building syndrome*), zapažena je u vrijeme kada se ustanovilo da klasičnim izvorima energije prijeti kraj. Svi zahtjevi za smanjenje energetske potrošnje rezultirao se u pojačanim izolacijama zgrada, povratu korištene otpadne topline itd. Koriste se novi izolacijski i građevinski materijali umjesto klasičnih, nove supstance za bojanje zidova te razni uređaji na električni pogon. Sve to zagađuje unutarnji prostor od izvora koji ranije nisu postojali, pa se ni nisu uzimali u obzir pri određivanju potrebne količine svježeg zraka za ventilaciju, [9].

#### 3.1. Određivanje potrebne količine svježeg zraka ovisno o namjeni građevine

Određivanje količine (protoka) svježeg zraka na temelju potrebne izmjene zraka u određenom vremenu, potrebne količine svježeg zraka i potrebnog toplinskog ili rashladnog učinka, osnova je svakog proračuna sustava ventilacije i klimatizacije. U tablici 3.1. prikazane su potrebne izmjene u prostoriji ovisno o vremenu i namjeni. Veće promijene zraka imamo u zahtjevnijim okruženjima poput operacijskih dvorana ili lakirnice gdje postoji stalna potreba za svježim zrakom i većim protokom.

**Tablica 3.1.** Broj potrebnih izmjena u prostoriji u vremenu, [9].

Vrsta ili namjena prostorije	Broj potrebnih izmjena zraka, [h <sup>-1</sup> ]	Smjernice, norme
Bolničke sobe	2-5	
Crkve	1,5-4	
Laboratorij	6-15	VDI 2051
Lakirnice	20-50	
Operacijske dvorane	15-20	
Računalni centri	10-40	VDI 2054

Sanitarne prostorije u stanovima	4-5	DIN 18 017
Stambene prostorije	5-8	
Robne kuće	4-8	VDI 2082
Ugostiteljski objekti	5-12	DIN 1946
Velike kuhinje	10-25	VDI 2052
Blagovaonice	6-8	

Količina zraka u slučaju kada se ne smije koristiti optočni zrak, ovisno o potrebnoj izmjeni zraka u vremenu, određuje se prema jednadžbi:

$$V = n V_p \quad (3-1)$$

gdje su:

$V$  – količina (protočni volumen) svježeg zraka, [ $m^3/h$ ].

$n$  – broj potrebnih izmjena zraka u vremenu, [ $h^{-1}$ ].

$V_p$  – volumen prostorije, [ $m^3$ ].

Broj potrebnih izmjena zraka u vremenu (jednom satu) ovisi o značajkama prostorije njezinoj visini i namjeni, izvorima onečišćivanja koji u njoj postoje te o izvedbi sustava dovođenja ili odvođenja zraka iz nje (Tab 3.1.). O utjecaju i količini svježeg zraka govori se u DIN 1946, dio 2, izdanje iz 1991. godine, prema kojoj je kakvoća zraka koji se dovodi u prostoriju određena kakvoćom i udjelom svježeg zraka i izvedbom sustava pripreme zraka (mogućnost uklanjanja onečišćenja). Potrebna količina svježeg zraka određuje se ovisno o broju osoba ili izvoru onečišćenja. U njih se ubrajaju izvori fizičkog onečišćenja (npr. čestica, vlakna, mikroorganizmi) i izvori mirisa.

Potrebna količina svježeg zraka određuje se i u ovisnosti o broju osoba koje borave u prostoriji, odnosno na temelju njezine površine (Tab 3.2.). Ako u prostorijama postoje dodatni izvori onečišćenja zraka (npr. duhanski dim), vrijednosti najmanje količine svježeg zraka po osobi iz tablice treba povećati za  $20 m^3/h$ . Potrebnu količinu svježeg zraka određujemo prema slijedećoj jednadžbi:

$$V = \frac{V_{op}}{K_{MAK} - K_{OK}} \quad (3-2)$$

gdje su:

$V$  – najmanja potrebna količina svježeg zraka, [ $m^3/h$ ].

$V_{op}$  – količina štetne tvari, [ $mg/h$ ].

$K_{MAK}$  – najveći dopušteni udio štetne tvari (MAK – vrijednosti, tablica 2.2.).

$K_{OK}$  –udio štetne tvari u neposrednoj okolici, [mg/m<sup>3</sup>].

**Tablica 3.2.** Potrebne količine svježeg zraka po osobi, odnosno površini, [9].

Vrsta ili namjena prostorije	Potrebna količina svježeg zraka u ovisnosti		Smjernice, norme
	Broj osoba [m <sup>3</sup> /h]	Veličini prostorije [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)]	
Radne prostorije: manji uredi veliki uredi laboratorij	40 60	4 6 25	
Javne prostorije u kojima se zadržava veći broj osoba: kina, kazališta, koncertne dvorane učionice, predavaonice	20 20	10-20 12	
Javne prostorije s velikim protokom osoba: trgovine, robne kuće, trgovački centri ugostiteljski objekti	20 30	3-12 8	
Stambene prostorije: < 50 m <sup>2</sup> 50-80 m <sup>2</sup> >80 m <sup>2</sup>	60 90 120	-	DIN 1946, dio 6.
Sportke dvorane	-	-	DIN 18 032

Ako je jedini izvor onečišćenja zraka u prostoriji čovjek (onečišćenje ugljičnim dioksidom), potrebna količina svježeg zraka računa prema jednadžbi:

$$V = \frac{V_{CO_2}}{k_{CO_2max} - k_{CO_2ok}} \quad (3-3)$$

gdje su:

$V$  –najmanja potreba količina svježeg zraka, [m<sup>3</sup>/h].

$V_{CO_2}$  –količina CO<sub>2</sub> u zraku koju odaje čovjek ovisno o razini aktivnosti.

$k_{CO_2max}$  –najveći dopušteni udio CO<sub>2</sub> u zraku u prostoriji, (najviše 0,15 %, preporučljivo 0,10 %).

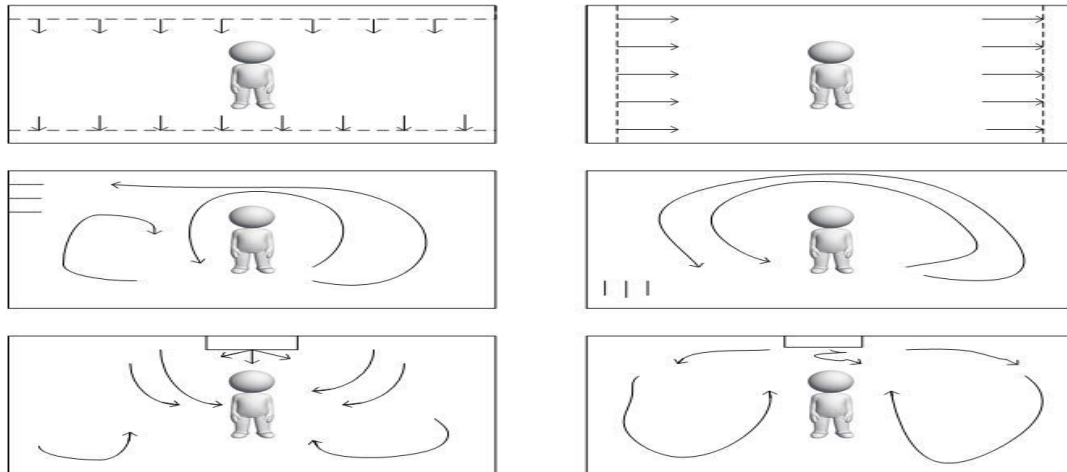
$k_{CO_2ok}$  –udio CO<sub>2</sub> u vanjskom okolnom zraku, (u pravilu 0,04 %, ali su u gradovima moguće i 3 do 4 puta veće vrijednosti).

### 3.2. Raspodijela zraka u prostoriji

Uz pripremu zraka, za postizanje ugodnosti važno je i na koji način zrak dostrujava u prostoriju i po njoj se raspodijeljuje, pri čemu glavnu ulogu imaju dijelovi sustava za raspodijelu zraka. Pri

tome se najviše misli na njihove hidrauličke značajke i smještaj, no ništa manje nisu važni geometrija prostora i razlika temperature zraka koji se ubacuje i zraka u prostoriji.

Tri su osnovna načina raspodijele zraka, potiskujuća, miješajuća ili induksijska i raspodijela zračnih izvora.



**Slika 3.1.** Prikaz osnovnih načina raspodijele zraka u prostorijama, odnosno različita strujanja zraka od potiskujuće do strujanja iz zračnih izvora, [6].

Miješajuća (induksijska) raspodijela po smjeru strujanja može biti tangencijalna i radijalna (s mlazom i vrtložna) i njome se postiže dobro miješanje pripremljenog i zraka u prostoriji. Zrak koji ulazi u prostoriju na miješanje pokreće zrak u prostoriji, što se opisuje stupnjem indukcije:

$$i = \frac{V_{sek}}{V_{pr}} \quad (3-4)$$

gdje su:

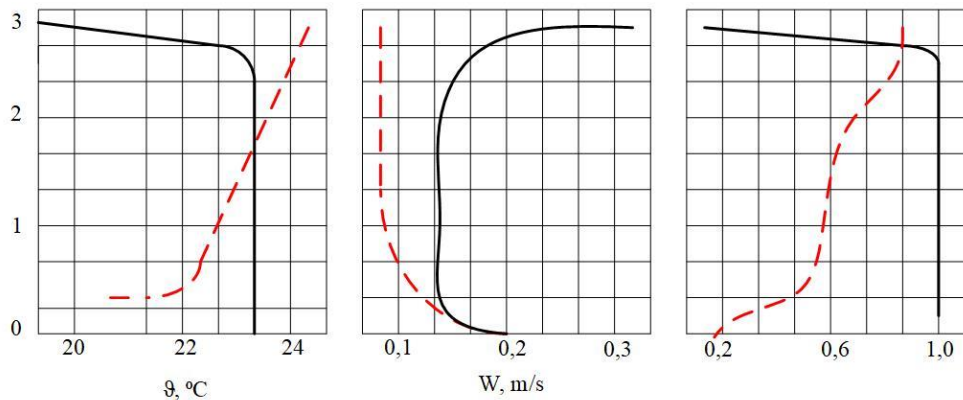
$i$  –stupanj indukcije.

$V_{sek}$  –količina zraka pokrenuta na miješanje, [m<sup>3</sup>/h].

$V_{pr}$  –ukupna količina pripremljenog zraka koji ulazi u prostoriju (primarni zrak), [m<sup>3</sup>/h].

Potiskujuća raspodijela je osobito prikladna kada postoje velika toplinska opterećenja, uz istodobne značajne izvore onečišćenja i često se koristi za „čiste“ prostore, primjerice za operacijske dvorane, laboratorije i industrijske pogone s posebnim zahtjevima, što je slučaj u farmaceutskoj ili prehrambenoj industriji. Zrak se u prostoriju dovodi sa brzinom od 0,15 m/s i za 2 do 5 °C nižom temperaturom od temperature zraka u prostoriji te ga potiskuje prema odsisnim otvorima, smještenim na drugom kraju prostorije. Takvom se raspodjelom ostvaraju brojne

pogodnosti u odnosu na miješajuću, čemu su najbolji pokazatelji mnogo bolji rasporedi temperatura, brzina strujanja i onečišćenja zraka u prostoriji, [9].



**Slika 3.2.** Raspored temperature, brzine strujanja zraka i onečišćenja zraka po visini prostorije za postiskujuću koja je označena isprekidano i miješajuću raspodijelu koja je označena punom crtom, [6].

Učinkovitost cjelokupnog sustava ventilacije i klimatizacije ovisi o načinu na koji je izvedeno dostrujavanje, odnosno raspodijela zraka po prostoriji, pri čemu učinkovitost ne podrazumijeva samo postizanje ugodnosti, već i smanjivanje potrošnje energije, a time i smanjenje troškova. Dostrujavanje zraka se može izvesti na tri osnova načina, okomito, tangencijalno i iz zračnih izvora.

### 3.3. Pregled izračuna protoka zraka ovisno o godišnjem dobu

Ukoliko se zrakom kao prijenosnikom u sustavima za ventilaciju ne želi postići samo određena i jedina stvar, a to je kvaliteta zraka u prostoru nego treba pokriti i toplinsko opterećenje koje je puno zahtjevnije za izvesti i postići, tada je zimi potrebno dovesti zrak pripremljen na višu temperaturu od unutarnje projektirane (pokrivanje toplinskih gubitaka), odnosno ljeti dovesti zrak pripremljen na nižu temperaturu od unutarnje projektirane (odvođenje toplinskog opterećenja). Volumenski protok zraka za ventilaciju, pri kojem se održava zahtijevana unutarnja projektirana temperatura, može se izračunati iz rezultata proračuna osjetnog toplinskog opterećenja kod hlađenja i grijanja što prema ovom projektnom osjetnom toplinskom opterećenju kod hlađenja iznosi:

$$V_{AC-H} = \frac{\phi_{s,HL}}{\rho C_p \Delta \theta_{AC-G}} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (3-5)$$

A prema projektnim osjetnim toplinskim gubicima kod grijanja iznosi:

$$V_{AC-G} = \frac{\phi_{s,GR}}{\rho C_p \Delta \theta_{AC-G}} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (3-6)$$



gdje su:

$\theta_{AC-H}$  –razlika između temperature dobavnog zraka ljeti i sobne temperature [°C].

$c_p$  –specifični toplinski kapacitet zraka [kg/(kgK)].

$\dot{V}_{AC-G}$  –protok zraka koji se dovodi u prostor zimi [m<sup>3</sup>/s].

$\dot{V}_{AC-H}$  –protok zraka koji se dovodi u prostor [m<sup>3</sup>/s].

$\theta_{AC-G}$  –razlika između temperature dobavnog zraka zimi i sobne temperature [°C].

$\phi_{s,GR}$  –osjetni toplinski gubici zimi [W].

$\phi_{s,HL}$  –osjetno toplinsko opterećenje ljeti [W].

Razlika temperature zraka na ulazu u prostor i temperature unutar prostora, ne smije pri tome biti prevelika (posebno ljeti), jer to izravno utječe na toplinsku ugodnost i zdravlje osoba koje u prostoru borave.

## 4. SUSTAVI POVRATA TOPLINE

Korištenjem topline zraka u sustavima ventilacije i klimatizacije je prije svega zahtjev gospodarenja energijom (cijena energije), zahtjev vremena i razvoj tehnike, kao i zahtjev očuvanja okoliša. Toplina sadržana u otpadnom zraku ventilacijskih i uređaja klimatizacije služi za predgrijavanje, odnosno pothlađivanje vanjskog zraka u procesu pripreme zraka. Za ovo načelo povrata energije možemo reći da je najjednostavniji i najpovoljniji, jer se proces odvija u istom sustvu i istom vremenu. Kod industrijskih procesa, kod kojih je obično temperatura otpadnog zraka znatno viših temperatura, dobivena toplina iz otpadnog zraka ili plinova industrijskih procesa može se koristiti u druge svrhe izvan samog procesa. U razvijen zemljama Europe i svijeta velika se pažnja pridodaje takvim procesima, [3]. Tehnički propisi o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/2008) navodi obvezu korištenja sustava povrata topline (SPT) za zračne sustave ventilacije i klimatizacije, gdje ukupni protok vanjskog zraka u zgradama iznosi od 2500 m<sup>3</sup>/s na više, [4].

Od kad se u Europi posljednjih 20 godina počelo primjenjivati u sustavima za kondicioniranje zraka sustavi za povrat energije, ostvarene su brojne uštede. Prema podacima iz knjige profesora Petra Donjerkovića ostvarene u šture procjene uštede na razini Europe koji kaže su sustavima za povrat energije, dobile snage preko 20,000 MW što odgovara ušteda zemnog plina od cca.  $3,5 \cdot 10^6$  tona. Taj nam podatak govori koliko je potencijala u otpadnom zraku i koliko bi se takvi sustavi trebali razvijati i dalje. Za bolji život ljudi i očuvanje njegova okoliša.

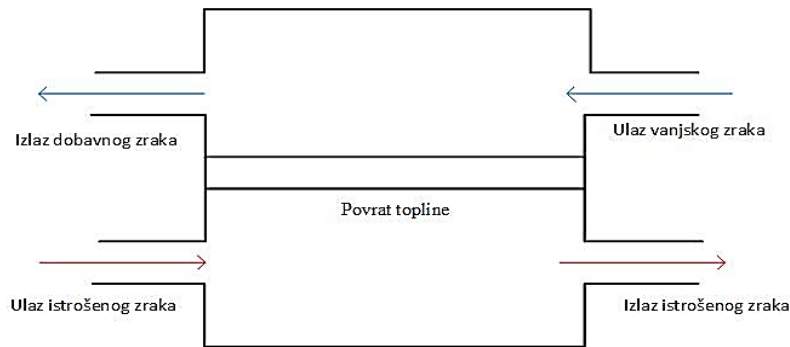
U sustavima ventilacije i klimatizacije se primjenjuju dva temeljna načela povrata energije iz otpadnog zraka, [10]:

1. Povrat osjetne topline iz otpadnog zraka, rekuperatori topline.
2. Povrat osjetne i latentne topline iz otpadnog zraka, regeneratori topline.
3. Povrat topline miješanjem vanjskog i dijela povratnog zraka (samostalno ili u kombinaciji sa regeneratorima ili rekuperatorima).

Ovisno o izvedbi uređaja, biramo vrstu povrata topline. Kod rekuperatora prilikom povrata topline dolazi do promjene temperature struja, dok kod regeneratora imamo promjenu temperature i vlage u struji zraka.

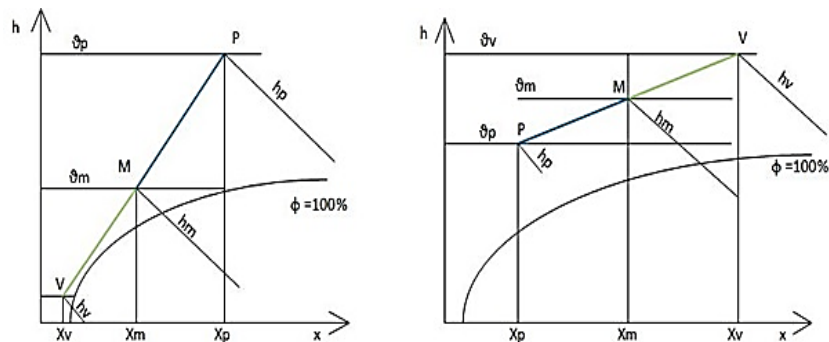
U sustavima grijanja, ventilacije i klimatizacije sustavi povrata topline funkcioniraju po principu izmjene topline između struja zraka dobavnog i istrošenog zraka pri čemu se tijekom toplog

vremena entalpija dobavne struje zraka smanjuje, a istrošene struje povećava, dok je tijekom hladnog vremena postupak suprotan.



**Slika 4.1.** Prikazuje sustav povrata topline izmjenom dobavnog i istrošenog zraka po principu izmjene topline između struja zraka, [23].

Za ocjenu učinkovitosti sustava povrata topline, koriste se značajke: stupanj povrata topline, stupanj povrata vlage i pad tlaka, pri čemu se povrat najčešće prikazuje na strani vanjskog, odnosno dobavnog zraka, [4]. Na slici 4.1. imamo prikaz sustava povrata topline i razliku između dobavnog i vanjskog zraka.



**Slika 4.2.** Prikaz povrata topline i tvari ovisno o razdobljima, gdje se na lijevo grafu prikazuju povrat topline procesom miješanja u zimskom razdoblju, desni graf daje prikaz povrata topline miješanjem u ljetnom razdoblju, [23].

Ovisno radi li se o sustavu ventilacije ili sustavu klimatizacije procesom miješanja dviju zračnih struja možemo ostvariti prethodno navedene procese rekuperacije odnosno regeneracije što možemo vidjeti na slici 4.2. Primjena ovog načela povrata energije nije uvijek primjenjiva, npr. čisti prostori, laboratorij i slični prostori u kojima se razvijaju štetni plinovi i pare i kod kojih nije dopustivo iz mirkohigijanskih razloga koristiti otpadni zrak procesom miješanja. Položaj točke miješanja je određen omjerom miješanja zračnih struja koji je određen ukupnom količinom sustava

i minimalnom količinom svježeg zraka sa određenim mikro higijanskim zahtjevom obzirom na tehnološku namjenu prostora.

#### 4.1. Regenerativni sustav povrata topline

U ovoj vrsti sustava prijenos topline vrši se preko akumulacijske mase što omogućuje povrat i osjetne i latentne topline. U primjeni nailazimo na različite tipove regeneratora, ali po načelu rada dijele se na:

1. Sorpcijske regeneratore
2. Kondenzacijske regeneratore
3. Regeneratori sa akumulacijskim pločama

U regenerativnom izmjenjivaču topline, na bilo kojoj strani izmjenjivača, fluid je gotovo uvijek isti. Fludi koji pri tome struji kroz izmjenjivač često postiže visoke temperature, te pritom može strujati kroz vanjski dio procesa i tada se uvijek vraća u suprotnom smjeru kroz izmjenjivač kako bi se upotrijebio dalje u procesu, [7]. Dakle strujanje u uređaju je protustrujno i koristi za prijelaz topline između plinova temperatura do 200 °C. Promjer rotora je do 6 m, brzina vrtnje rotora 5 do 20 min<sup>-1</sup> s protocima plina do 150 000 m<sup>3</sup>/h. Sustavom je moguće ostvariti stupanj povrata topline i stupanj povrata vlage od 65 do 85 %, [4]. Rotor se ne smije zaustaviti niti u vremenu kada ne vršimo povrat topline, potrebno ga je regulirati sa minimalnim brojem okretaja ili da ga povremeno uključujemo u sustav.

**Tablica 4.1.** Prednosti i nedostaci regeneratorskog sustava, [7].

	<b>Prednosti regeneratora</b>	<b>Nedostaci regeneratora</b>
Regeneratorski sustav povrata topline	Povrat topline i vlage	Upotrebljiv samo za plinove
	Visok stupanj iskoristivosti	Djelomično miješanje struja
	Kompaktna izvedba	Onečišćenje znatno utječe na stupanj povrata

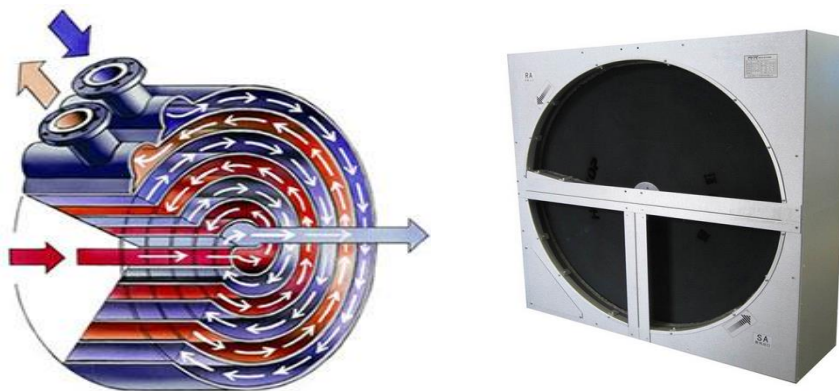
Pregledom prednosti i nedostataka regeneratorskog sustava koji je dan u tablici 4.1. vidimo kako je velika prednost regeneratorskog sustava upravo visok stupanj iskoristivosti te njegova kompaktna izvedba. Regeneratorski sustav je potrebno održavati kako nebi onečišćenje utjecalo na njegov stupanj povrata topline.

#### Sorpcijski regenerator

Pojam sorpcija zajednički je naziv za procese adsorpcije i apsorpcije. Pod pojmom adsorpcije podrazumijeva se prijelaz plinovite ili parne faze u krutu fazu, dok se pod apsorpcijom podrazumijeva prijelaz plinovite ili parne faze u tekuću fazu, [3]. Regenerator se sastoji od kućišta, rotora i pogona rotora (sl. 4.3). Rotor je sa strane ulaza svježeg zraka u regenerator podijeljen na

tri dijela  $A_1, B_1, C_1$ , te na strani izlaza svježeg zraka također na tri dijela A, B, C. Kroz dio  $A_1$  i A struji svježi zrak, a kroz dio  $B_1$  i B otpadni zrak i to protustrujno s obzirom na smjer strujanja zraka. Dio C je s jedne strane podijeljen pregradom po promjeru na dva jednaka dijela, a sa izlazne strane ima zatvoreni kanal. U donjoj polovici ulazi svježi zrak i skreće za  $180^\circ$ , ulazi u cjevčice saća ispunjene otpadnim zrakom te istiskuje otpadni zrak u struju otpadnog zraka. Glavna struja otpadnog zraka svojim usisnim djelovanjem poboljšava odnošenje otpadnog zraka. Rotor je izgrađen materijalom koji je higroskopian i ima oblik saće.

Sorpcijski regeneratorski ima vrlo dobra sorpcijska svojstva u svim godišnjim razdobljima i preuzima latentnu i osjetnu toplinu s jednako visokim stupnjem povrata topline i vlage sa koeficijentom iskorištenja 70 – 90 %. Primjenjuju se kod postrojenja potpune klimatizacije s grijanjem, ovlaživanjem i hlađenjem u građevinama npr. bolnice, poslovne zgrade i sl, [3].



**Slika 4.3.** Sorpcijski regeneratorski sastoji se od tri dijela, te ima oblik saće. Preuzima i latentnu toplinu što ga svrstava za dobar rad u svim godišnjim dobima, [3].

Na slici 4.3. vidimo prikaz sorpcijskog regeneratorski kako on izgleda u praksi i kako izgleda u presjeku. Slika pokazuje smjer strujanja zraka pri ulasku u sorpcijski regeneratorski. Regeneratorski ima vrlo dobra svojstva prijelaza topline, pa je izlazni vanjski zrak na izlaznom presjeku regeneratorski nejednako zagrijan tj. u struji postoje slojevi zraka s različitom temperaturom. Zbog toga treba poduzeti mjere za dobro miješanje struje vanjskog zraka. Potrebno je ugraditi ventilator iza područja izmjene topline.

### **Kondenzacijski regeneratorski**

Kondenzacijski rotacijski regeneratorski se konstrukcijski ne razlikuje od konstrukcije sorpcijskog rotacijskog regeneratorski topline. Razlika između sorpcijskog regeneratorski i kondenzacijskog je taj da regeneratorski ima drugačiju površinu i građu. Povrat topline ne zasniva se na sorpcijskom učinku.

Na metalnim lamelnim izmjenjivačkim površinama dolazi do kondenzacije vlage otpadnog zraka koja se prirodno slijeva niz površinu, a izmjena topline nastaje radi razlika temperatura, [3].

Kada bi pogledali primjenu ove vrste regeneratora ona bi bila za povrat osjetne topline, a djelomično i latentne topline. Tek kada se optimalni zrak unutar rotora ohladi do kapljevine, dolazi do kondenzacije vodene pare iz otpadnog zraka. Nastrujavanjem svježeg zraka preko navlažene površine ta voda ishlapljuje u struju svježeg zraka. Ovo načelo povrata topline osigurava samo dio povrata latentne topline radi procesa ishlapljivanja orošenih površina. U praksi se ovi regeneratori ugrađuju tamo gdje nije bitan povrat vlage. Stoga se primjenjuju u ventilacijskim postrojenjima bez ovlaživanja i hlađenja. Mogu se ugrađivati u horizontalnom ili vertikalnom položaju. Ima mogućnost konstantnog ili promijenjivog broja okretaja.

## 4.2. Rekuperatorski sustav povrata topline

Kod rekuperatorskih sustava povrata topline struje su međusobno razdvojene čvrstom stijenkom preko koje se vrši izmjena topline. Između dviju struja ne postoji direktni kontakt tako da nema miješanja dviju struja. Zbog toga imamo mogućnost povrata samo osjetne topline. Prema tablici 4.2. vidimo neke prednosti i nedostatke rekuperatorskih sustava.

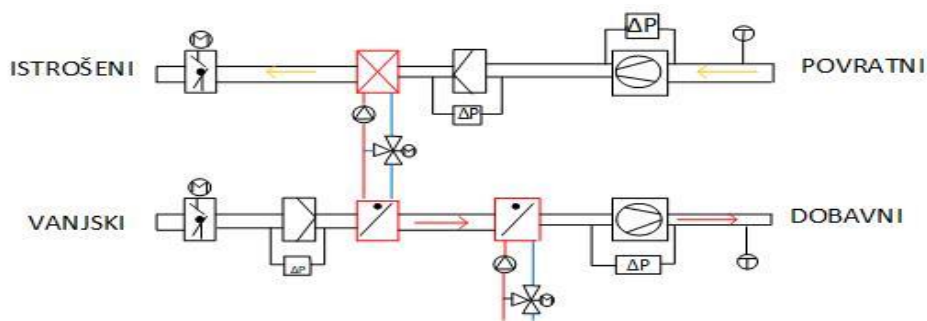
**Tablica 4.2.** Prikaz prednosti i nedostataka rekuperatorskih sustava povrata topline, [7].

	<b>Prednosti rekuperatora</b>	<b>Nedostaci rekuperatora</b>
Rekuperatorski sustav povrata topline	Razdvajanje medija	Niži stupanj iskoristivosti
	Mogućnost rada s različitim medijima (voda,zrak...)	Veće dimenzije
		Veći pad tlaka

Rekuperatorski sustav povrata topline ima prednost da može raditi s različitim medijima, također može te medije razdvajati. U nedostacima rekuperatorskog sustava svakako spadaju njegove dimenzije koje znaju biti povećane, te niži stupanj djelovanja.

### Sustavi cirkulacije vode

Rekuperatorska jedinica sastoji se od dva izmjenjivača topline koji su međusobno povezani u zatvoren sustav s cirkulacijskom crpkom. Izmjenjivači su raspoređeni tako da se jedan nalazi u struji otpadnog zraka, a drugi u struji svježeg zraka (Sl. 4.4.). U zimskom razdoblju izmjenjivač u struji otpadnog zraka djeluje djeluje kao hladnjak s izlučivanjem vlage, što pripada regenerativnom prijenosu topline), a izmjenjivač u struji svježeg zraka djeluje kao rekuperatorski grijač. Izmjenjivač u ljetnim razdobljima u struji otpadnog zraka djeluje kao grijač, a u struji svježeg zraka kao hladnjak.



**Slika 4.4.** Shematski prikaz sustava cirkulacije vode prikazuje zatvoren sustav u kojem su povezana dva izmjenjivača topline ,[12].

Kao posrednik za izmjenu topline, koristi se smjesna etilenglikol – voda, koja cirkulira kroz izmjenjivače. Smjesa se koristi radi zaštite od smrzavanja u zimskom razdoblju. Stupanj povrata topline kreće se u granicama od 40 do 60 %, [13]. Stvarni izgled sustava rekuperacijskog sustava cirkulacije vode vidimo na slici 4.5.



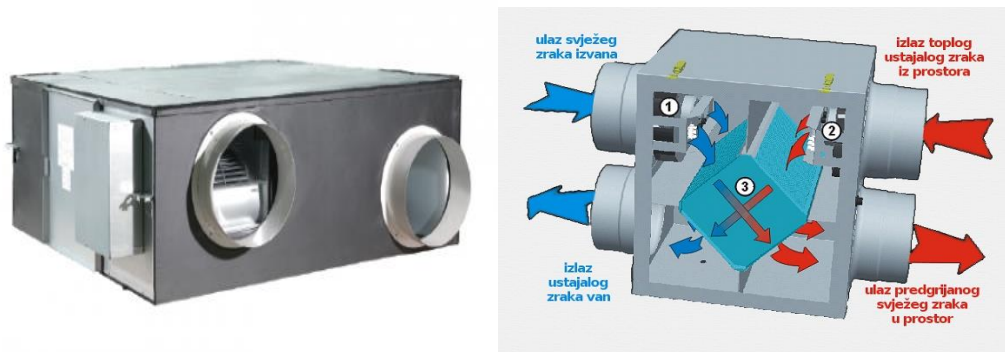
**Slika 4.5.** Izgled u praksi rekuperacijskog sustava cirkulacije vode gdje vidimo ekspanzijsku posudu i crpku za cirkulaciju vode sustavom, [12].

Ovisno o godišnjem dobu imaju mogućnost rada kao rekuperatori, ali i kao regeneratori zraka. U zimskom periodu u struji otpadnog zraka djeluju kao hladnjak, odnosno grijač preko ljeta, [12]. Takvim odnosom znatno povećavaju svoj stupanj djelovanja.

### **Pločasti izmjenjivač topline**

Ova vrsta izmjenjivača topline ima odvojene struje zraka pomoću tankih ploča od aluminijske ili sintetičkog materijala. Obje struje zraka se vode između ploča unakrsnim strujanjem. Ploče se ugrađuju paralelno tako da bude mali razmak između njih ( između 5 – 10 mm). Razmak između ploča, dimenzije su promijenjive veličine pa su tako moguće i razne kombinacije. U ovisnosti o vanjskim klimatskim uvjetima moguća je kondenzacija otpadnog zraka zbog hladnih površina

ploča, te smrzavanje kondenzata usljed čega se znatno povećava otpor strujanju zraka i postoji mogućnost da dođe do oštećenja.



**Slika 4.6.** Pločasti izmjenjivači topline imaju veliku primjenu u praksi, ali u svome radu zna doći do kondenziranja vlage i smanjivanja učinkovitosti rekuperatora. Ugradnja dodatnih komponenti poboljšava rad sustava, [12].

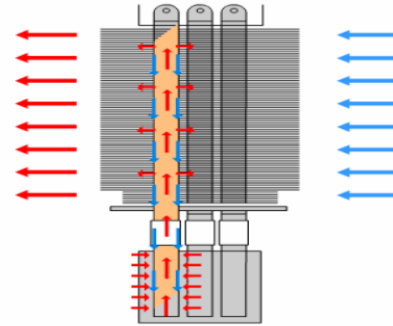
Prema slici 4.6 vidimo prikaz pločastog izmjenjivača topline u stvarnom stanju i shematski princip rada rekuperatora, [11]. Najčešći su u upotrebi za prijelaz topline između plinova gdje je temperatura manja od 100 °C. Protok plina je do 100.000 m<sup>3</sup>/h. Stupanj povrata topline je dosta varijabilan te iznosi od 50 % do 70 % uz brzine strujanja plina 2,5 – 3 m/s. Osim već spomenutog problema smrzavanja kondenzata, dosta velik problem je i onečišćenje pa tako imamo i smanjenje učinkovitosti rekuperatora. Protumjere tome su smanjenje protoka, ugradnja filtera ili predgrijavanje dobavne struje.

### Toplinske cijevi

Princip rade ove vrste rekuperatora je takav da koriste tzv. rebraste cijevi u kojima pri konstantnoj temperaturi dolazi do isparavanja i kondenzacije rashladnog sredstva. U donjem dijelu cijevi uslijed topline otpadnog zraka dolazi do isparavanja rashladnog sredstva, dok u gornjoj polovici nastupa kondenzacija istog uslijed hladnog zraka koji se pri tome grije. Uslijed gravitacije, kondenzat pada ponovno na donji dio cijevi.

Prednost takvih sustava su lako održavanje, nema pokretnih dijelova i te samim time štedimo prostor. Koeficijent povrata topline kreće se oko 50 % – 60 %.





**Slika 4.7.** Prikazuje uspravnu izvedbu rekuperacije zraka pomoću toplinskih cijevi i izgled u praksi. Veći broj cijevi omogućuje i veću učinkovitost sustava što rezultira većim povratom topline, [12].

Imamo dvije različite izvedbe, a to su horizontalna i vertikalna izvedba. Prema slici 4.7. vidimo toplinske cijevi, u dvijema različitim izvedbama, [13]. U tom slučaju cijevi sa unutarnje strane su opremljene poroznom oblogom koja ima kapilarno djelovanje, ali ovakvim izvođenjem kapacitet je manji. Svaka pojedina cijev predstavlja samostalnu jedinicu. Više cijevi ili cijevnih zmijsa čini izmjenjivač topline, pri čemu sustav u radnoj verziji radi na različitim temperaturnim nivoima.

### 4.3. Komponente sustava rekuperacije zraka

Osim rekuperatora koji je najvažniji dio sustava postoje i sljedeći elementi:

1. Kanali za zrak.
2. Prigušivači buke.
3. Razdjelnik i sabirnik zraka.
4. Regulacija sustava.
5. Stropne/zidne zračne kutije i sobni zračni ventili.
6. Vanjske rešetke za usis i odsis zraka.

#### Kanali za zrak

Kanale za zrak raspoređujemo po prostorijama koje treba kondicionirati igraju vrlo bitnu ulogu u implementaciji rekuperatora zraka na zadani objekt. Postoje četiri bitna kanala kod kojih svako ima svoju zadaću:

1. tlačni cjevovod (dobava svježeg zraka) – dnevni boravak, spavaća soba, blagovaona, radna soba.
2. odsisni cjevovod (odvod zraka) – kupaona, zahod, kuhinja, vešeraj, ostava.



**Slika 4.8.** Položaj zračnih kanala u stambenoj zgradi i primjer odsisnih kanala za zrak. Kanali za zrak su bitan dio investicije i potrebno je strojarsko iskustvo u projektiranju kanala kako nebi došlo do čestih mehaničkih kvarova, [18].

Prema slici 4.8. vidimo primjer položaja kanala za zrak koji mogu biti raznih oblika poput pravokutnih, okruglih ili fleksibilnih. Najčešće se uzimaju fleksibilne okrugle cijevi. Kanalski razvod potrebno je povremeno održavati putem sredstava za dezinfekciju i eventualno mehaničkim čišćenjem (poseban pribor), [18].

### **Prigušivači buke**

U ventilacijskim sustavima buka nastaje zbog raznih komponenti kao što su ventilatori ili protupožarne zaklopke. Radi pridržavanja konkretne razine buke, na prikladna mjesta u ventilacijskom sustavu dodaju se prigušivači zvuka. Prigušivači zvuka moraju imati odgovarajuće mogućnosti prigušivanja, nizak otpor zraka i biti što manji, [18]. Na slici 4.9. vidimo prikaz prigušivača buke u praksi, njegovo pravilno dimenzioniranje znatno poboljšava osjećaj ugone.



**Slika 4.9.** Prigušivač buke služi da smanji osjećaj nelagodnosti uslijed protoka zraka. Ukoliko nebi koristili prigušivač buke doveli bi u pitanje ugodnost boravka ljudi u takvim prostorijama, [18].

Potpuna zaštita od buke dijelova sustava ventilacije i klimatizacije na otvorenom se postiže njihovim potpunim oblaganjem sa svih strana, s time da se mora ostaviti mjesto za protok zraka na što se postavljaju prigušivači. Također treba posvetiti posebnu pozornost strukturnom zvuku koji nastaje zbog vibriranja pojedinih dijelova sustava i širi se u okolni prostor, što rješava postavljanjem vibracijsko – izolirajućih elemenata ispod uređaja, [5].

### **Regulacija sustava**

Sva logika rekuperatora zraka nalazi se u centralnom upravljačkom elementu i koji korisnicima omogućava kontrolu cijelog ventilacijskog sustava. Sustavi se nalaze u prostorijama koje reguliramo gdje najbolje mogu pratiti stanje parametara kvalitete zraka. Sam uređaj pomoću senzora prati stanje prostorije u kojoj se nalazi i bilježi parametre poput temperature, vlažnosti i tlaka zraka. Na taj način kontrolira rad rekuperatora zraka i vrši potrebne izmjene zraka. Princip rada je taj da mijenjajući položaj ventila ili brzine ventilatora mijenja određeni stupanj rekuperacije brinući se da sustav prenese zadanu energiju uz zadane uvijete. Na slici 4.10. možemo vidjeti kako izgleda centralna jedinica u praksi te njezino jednostavno korisničko sučelje.

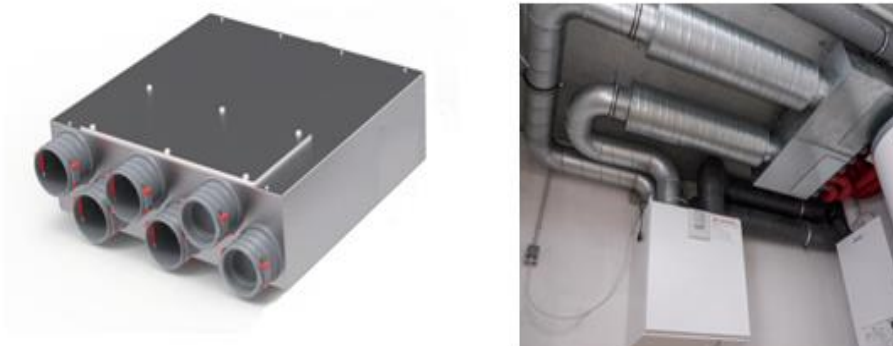


**Slika 4.10.** Upravljačka jedinica sustava rekuperacije zraka prati svu logiku rada rekuperacije zraka. Obavlja rad ovisno o podešenim parametrima i cilju rekuperacije prostorija, [21].

Upravljači se središnje spajaju na odgovarajuću platformu, preko koje se može pristupiti i upravljati svim umreženim uređajima i nadzirati kompletan sustav grijanja, hlađenja i upravljati svim umreženim uređajima i nadzirati kompletan sustav grijanja, hlađenja, ventilacije i klimatizacije u zgradi.

### **Razdjelnik i sabirnik zraka**

Funkcija mu je da skuplja sve dolazne cijevi iz prostorija neposredno prije rekuperatora. Ima revizijski otvor u svrhu čišćenja cijevi za zrak. Mogu biti raznih oblika i dimenzija, ovisno na namjeni razdjelnika i broju prostorija na kojem se vrši implementacija rekuperatora. Na slici 4.11. možemo vidjeti položaje ugradnje i kako sabirnik izgleda u praksi. Vrlo bitna komponenta sustava koju je potrebno dobro dimenzionirati.



**Slika 4.11.** Prikaz razdjelnika i način implementacije u građevini. Razdjelnik nam omogućava veću učinkovitost sustava jer sabire sve kanale neposredno prije rekuperatora zraka, [18].

Na materijal za izradu dijelova kanalnog razvoda i sabirnika sustava ventilacije i klimatizacije postavljaju se visoki zahtjevi. Materijal mora biti lako obradiv, razmjerno male specifične težine, nemagnetičan te dobro korozijski postojan. Sve te zahtjeve ispunjavaju nehrđajući čelici i aluminij u obliku raznih profila ili limova.

#### **Stropne/zidne zračne kutije i zračni ventili**

Zračne kutije ugrađuju se u zid ili u strop (nevidljive su iz prostora). Na njih se s jedne strane spaja cijev za dovod/odvod zraka, a sa druge strane zračni ventil koji je vidljiv u prostoru. Zračni ventili razlikuju se po svoj namjeni (tlačni i odsisni ventili). Obično se u svakoj prostoriji ugrađuje jedan do dva ventila. Kod svakog ventila postoji mogućnost podešavanja protoka zraka, [18]. Na slici 4.12. možemo vidit izgled zračnih ventila i dvije zračne kutije različitih oblika.



**Slika 4.12.** Zračni ventili i kutije za zrak još su jedan neizostavan dio sustava rekuperacije zraka.

Bitno je paziti da u svakoj prostoriji imamo zračne ventile radi lakšeg podešavanja protoka zraka, [18].

Stropne zračne kutije i ventili u sustavima ventilacije i klimatizacije se odabiru, ugrađuju i kombiniraju u skladu sa zahtjevima koji se postavljaju na izlaznu kvalitetu zraka. Kao dobra

preporuka možemo se poslužiti smjernicama proizvođača opreme za ventilaciju i klimatizaciju. Pri tome se misli na one koji su prošli određena testiranja.

### **Vanjske rešetke za usis/odsis zraka**

Ugrađuju se na vanjski zid usisnog/odsisnog cjevovoda. Prema slici 4.13. vidimo prikaz dvije vrste rešetke za odosis i usis zraka, mogu biti okruglog tipa koja nailazi na češću primjenu i ravnog oblika koji se stavlja ovisno na položaju ugradnje. Na slici 4.13. prikazani su razni oblici vanjskih rešetki koje je potrebno posebno održavati.



**Slika 4.13.** Različiti tipovi rešetki za usis i odsis zraka gdje na slici vidmo prikaz okrugle i pravokutne rešetke, nalaze se na pristupačnom mjestu te se mogu lako čistiti i održavati, [18].

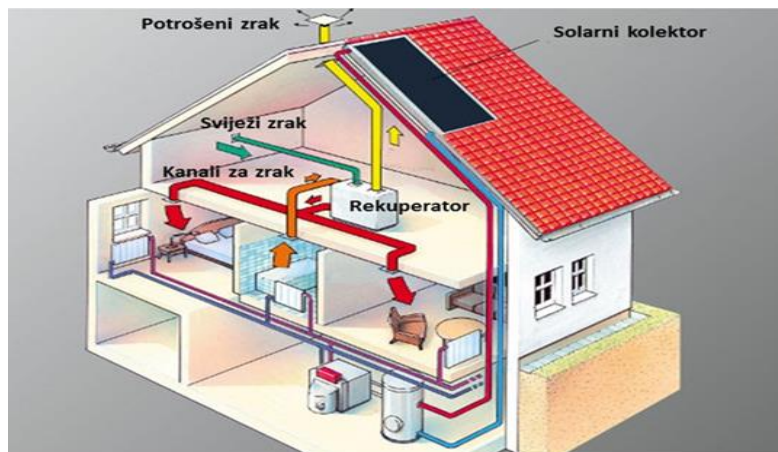
Ovisno o različitom tipu rešetke različiti su i načini održavanja pa se prema tome rešetke okruglog tipa lakše održavaju te estetski izgledaju bolje. Cijenovno su jeftino rješenje što pokazuje njihovu široku primjenu.

## **4.4. Načini implementacije sustava rekuperacije**

Prema mjestu ugradnje sustava za rekuperaciju zraka možemo ga svrstati u dva načina implementacije kao centralizirani sustav ili decentralizirani sustav.

### **Centralizirani sustav rekuperacije**

Kod centraliziranog sustava rekuperacija zraka se radi na jednom mjestu u građevini na centralnoj lokaciji. Potom se kanalima za zrak raspodjeljuje i distribuira po prostorijama koje je potrebno tretirati. Obično se takav sustav stavlja na mjesta u potkrovlju ili podrumu gdje najmanje može smetati. Lako se održava zbog lakoće pristupa centralnoj jedinici. Potrebno je rekuperator staviti što bliže vanjskom zidu te dobro izolirati sve zračne kanale kako nebi došlo do kondenzacije. Sam proces montaže zna biti vrlo izazovan pa je potrebno raditi po projektu uz pomoć stručne osobe. Ukoliko ne dimenzioniramo sustav na željeni način možemo smanjiti samu učinkovitost sustava i dovesti u pitanje isplativost cijele investicije, [19].



**Slika 4.14.** Centralizirani sustav u stambenoj kući, [19].

Sa slike 4.14. vidimo shematski način smještaja rekuperatorske jedinice. U praksi se najčešće stavlja u najmanje korištenu prostoriju ili u potkrovlje kuće odnosno prizemlje. Od rekuperatora se potom provlače kanali za zrak po prostorijama u kojima rekuperiramo zrak, [19].

### **Decentralizirani sustavi**

Decentralizirani rekuperacijski sustavi izvode se ne ovisno o centralnom sustavu ukoliko želimo kondicionirati posebno određenu prostoriju. Na ovaj način smanjujemo investiciju te nema potrebe razvlačenja kanala za zrak i smještaj koji znaju biti vrlo zahtjevni. Najčešće se primjenjuje na sustavima gdje postoji sustav za ventilaciju, a razlog tome je što je vrlo zahtjevno izvesti implementaciju rekuperatora zraka na već postojeću instalaciju ventilacije. Na slici 4.15. u presjeku vidimo primjer decentraliziranog sustava rekuperacije zraka, odnosno sustav tvrtke lunos.



**Slika 4.15.** Decentralizirana rekuperatorska jedinica tvrtke lunos e2. Sve više trend u sustavima ventilacije i klimatizacije prostora. Manji trošak investicije, ali dovodi se u pitanje učinkovitost takvog sustava u odnosu na centralizirani, [20].

Sustav s iznimno visokim povratom topline, koji iznosi 90,6 %. Lunos e2 poznat je po niskoj cijeni ugradnje, nije potrebno provlačiti ventilacijske cijevi i zato je vrlo primjeren stambenim objektima jer ne narušava izgled prostora i ne zahtjeva velike intervencije pri ugradnji. Na godišnjoj razini rekuperacijska jedinica potroši približno 3 eura energije. Filteri su trajni i može ih se prati pod tekućom vodom. Vrlo je tih u svom radu pa ventilatori stvaraju vrlo malu buku do maksimalno 26 dB u trećem stupnju rada. Uređaj i aktivno pridonosi zaštiti okoliša, kao i uštedom koja se osjeti u novčaniku. Lunos e2 je najmanji decentralizirani ventilatorski uređaj za prozračivanje životnih prostora i radi na principu regenerativnog povrata topline, [20].

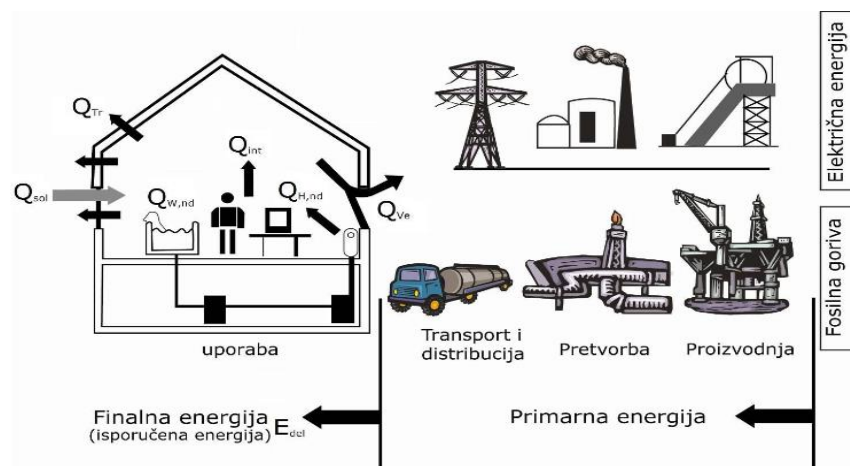


## 5. ENERGETSKE POTREBE STAMBENOG OBJEKTA

Pri proračunu energetske svojstva stambenog objekta prvenstveno mislimo na proračun isporučene i primare energije u tehničke sustave zgrada. Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja Republike Hrvatske donjelo je dva zakona. Zakon o energetske učinkovitosti („*NN broj 127714*“) i zakon o gradnji („*NN broj 153/13, 20/17*“). Algoritmi za izračun tehničkih svojstva zgrade su sastavni dijelovi pravilnika i normi prema kojima se određuju energetske potrebe nekog objekta. Algoritam omogućuje provedbu proračuna potrebne toplinske energije zgrade te isporučene i primarne energije u sustave grijanja, hlađenja, ventilacije, klimatizacije i rasvjete prema HRN EN 13790 normi, [15].

Temeljem ovakvih proračuna dobivamo obuhvatan prikaz energetske tokova u zgradi i to kroz ovojnici zgrade i u termotehničkom smislu, kako bi na što bolji način mogli izračunati isporučenu i primarnu energiju zgrade ili prostora za zadanu korisnu toplinsku energiju koju je potrebno dati zgradi. Na slici 5.1. vidimo energetske bilancu unutar prostorije i kroz vanjsku ovojnici zgrade pa istovijetno tome sustav možemo podijeliti na tri dijela:

1. Podsustav predaje energije u okolni prostor (ogrjevna tijela).
2. Podsustav razvoda ogrjevnog medija i potrošne tople vode.
3. Podsustav proizvodnje toplinske energije, računajući i spremnike i cjevovode sve do izvora topline.



**Slika 5.1.** Energetska bilanca stambenog objekta prema kojoj vidimo razliku između primarne i isporučene energije, [23].

Na slici 5.1. možemo primijetiti dvije kategorije na koje dijelimo energiju, a to su primarna i isporučena energija. Kako se rad bavi isporučenom energijom koja nam je potrebna u analizi



rekuperacije zraka važno je pogledati koje sve podijele imamo unutar stambenog objekta. Najbitnija vrsta energije je ona energija koja nam je ubiti i potrebna za grijanje nekog prostora. To je ona energija koju dobijemo iz energenata koje koristimo za grijanje. Ventilacijski gubici i transmisijki gubici su upravo ono što rekuperator može uštediti. Prema tome su:

$Q_{H,nd}$  –potrebna toplinska energija za grijanje prostora [kWh].

$Q_{tr}$  –transmisijki toplinski gubici [kWh].

$Q_{ve}$  –ventilacijski toplinski gubici [kWh].

$Q_{sol}$  –toplinski dobici od sunčevog zračenja [kWh].

$Q_{int}$  –toplinski dobici od unutrašnjih izvora (ljudi, uređaja, rasvjete) [kWh].

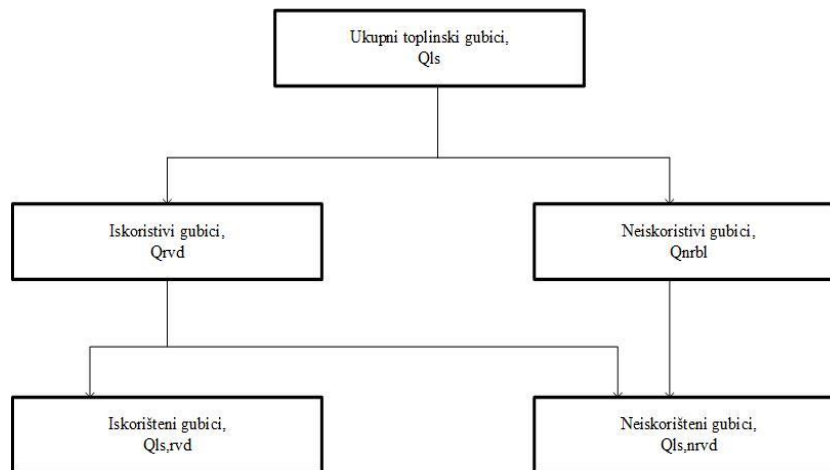
Dakako on više može učiniti sa ventilacijskim gubicima nego sa transmisijkim koji ovise više o samoj fizici zgrade. U stambenom objektu imamo i dobrotke energije na to se misli upravo o sunčevim dobocima kako i dobocima od samih ljudi i strojeva unutar objekta.

### **5.1. Toplinski gubici i vraćena pomoćna energija**

Toplinski gubici u sustavima rekuperacije zraka igraju ključnu ulogu. Vraćena energija koju dobijemo sustavom rekuperacije direktno će učiniti uštedu ukoliko taj sustav implementiramo pa prema tome možemo ih razvrstati u kategorije. Ukupni toplinski gubici dijele se na:

1. Iskoristive gubitke – to su oni toplinski gubici dijelova sustava (kotlova, spremnika, cjevovoda, regulacije i dr.) koji se mogu vratit u grijani prostor tijekom sezone grijanja i smanjiti toplinsku energiju  $Q_{em,out}$  koju je ogrjevnim tijelima potrebno predati u grijani prostor.
2. Neiskoristivne gubitke – to su oni toplinski gubici koji se ne mogu iskoristiti za grijanje prostora, a predstavljaju razliku ukupnih i iskoristivih toplinskih gubitaka.
3. Iskorištene gubitke – predstavljaju stvarno iskorišteni dio iskoristivih gubitaka za smanjenje  $Q_{em,out}$ .
4. Neiskorištene gubitke – predstavljaju u konačnici neiskorišteni dio ukupnih gubitaka koji se nije iskoristio za smanjenje  $Q_{em,out}$ , i računaju se kao razlika ukupnih i iskorištenih gubitaka.

Vraćena pomoćna energija je onaj dio energije potrebne za pogon pojedinog pomoćnog uređaja (pumpe, ventilatora, plamenika i dr. ) koja se direktno vraća radnom mediju i zraku za izgaranje. Preostali dio pomoćne energije se predaje u okolinu kao iskoristivi i/ili neiskoristivi toplinski gubitak.



**Slika 5.2.** Podjela ukupnih toplinskih gubitaka, [23].

Sa slike 5.2. primjećujemo podijelu toplinskih gubitaka na one koji su iskoristivi gubici poput energije koji se mogu vratiti u grijani prostor i na one koji nisu poput energije koja se ne može iskoristiti za grijanje prostora, [23].

## 5.2 Proračun toplinskih gubitaka

Proračun toplinskih gubitaka prema HRN EN 12831 možemo izvesti preko dva postupka proračuna toplinskog opterećenja prostorija i cijele zgrade. Pojednostavljeni i detaljan postupak proračuna. Pojednostavljeni postupak proračuna gubitka toplote prema normi HRN EN 12831 uzima u obzir samo prolaz toplote (tj. toplinske gubitke kroz vanjske plohe), te također ne proračunavaju se unutarnji toplinski gubici. Za korekciju toplinskih gubitaka ovisno o okolnom stanju služi temperaturni korekcijski faktor  $f_k$ . Ukoliko se uzima u obzir utjecaj toplinskih mostova dodaje se još  $\Delta U_{WB} = 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Toplinski gubici mogu se podijeliti na:

1. Transmisijski toplinski gubici (provođenje toplote kroz okolne plohe prema okolici i tlu, te prema okolnim prostorima s različitim opterećenjem)
2. Ventilacijski toplinski gubici (posljedica strujanja zraka kroz ovojnicu zgrade i između pojedinih njezinih dijelova, odnosno prostorija)
3. Transmisijski toplinski gubici  $Q_T$  u pojednostavljenom postupku proračuna:

$$Q_T = H_T (\theta_{int} - \theta_e) \quad (5-1)$$

$$H_T = \sum A (U + \Delta U_{WB}) f_k \quad (5-2)$$

$$Q_T = H_T (\theta_{int} - \theta_e) = \sum A (U + \Delta U_{WB}) (\theta_{int} - \theta_e) f_k \quad (5-3)$$

gdje su:

$Q_T$  –transmisijski toplinski gubici [W].

- $H_T$  –koeficijent transmisijskih toplinskih gubitaka [W/K].  
 $\theta_{int}$  –unutarnja projektna temperatura (u prostoriji) [°C].  
 $\theta_e$  –vanjska projektna (okolna) temperatura [°C].  
 $A$  –površina plohe [m<sup>2</sup>].  
 $U$  –koeficijent prolaza topline [W/(m<sup>2</sup>K)].  
 $\Delta U_{WB}$  –dodatak za toplinske mostove [W/(m<sup>2</sup>K)].  
 $f_K$  –temperaturni korekcijski faktor.

4. Ventilacijski toplinski gubici  $Q_v$  u pojednostavljenom postupku proračuna:

$$Q_V = V_Z c_Z \rho_Z (\theta_{int-ulaz} - \theta_e) \text{ [W]} \quad (5-4)$$

$$V_Z = V_P I_Z \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (5-5)$$

gdje su:

- $Q_v$  –ventilacijski toplinski gubici ukoliko se NE koristi toplina otpadnog zraka [W].  
 $V_Z$  –potrebni volumni protok zraka [m<sup>3</sup>/h].  
 $c_Z$  –specifični toplinski kapacitet zraka [W/kgK].  
 $\rho_Z$  –gustoća zraka [kg/m<sup>3</sup>].  
 $\theta_{in}$  –temperatura ubačenog zraka u prostoriji [°C].  
 $\theta_e$  –vanjska projektna (okolna) temperatura [°C].  
 $\theta_{int}$  –unutarnja projektna temperatura u prostoriji [°C]  
 $V_P$  –volumen prostora (sobe, ureda...) [m<sup>3</sup>]  
 $I_Z$  –potreban broj izmjena zraka [h<sup>-1</sup>].

Toplina dobivena procesom povrata topline u rekuperatoru:

$$Q_R = V_Z c_Z \rho_Z (\theta_{int} - \theta_e) \lambda \text{ [W]} \quad (5-6)$$

gdje je:

$\lambda$  – koeficijent povrata topline na rekuperatoru

Ventilacijski toplinski gubici ukoliko se koristi toplina otpadnog zraka preko rekuperatora:

$$Q_V = Q_V - Q_R \text{ [W]} \quad (5-7)$$

Algoritam za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade temelji se na normama na koje upućuje pravilnik koji se odnosi na energetska certificiranja zgrada.

### 5.3 Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade

Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje možemo izračunati i prema normi HRN ISO 13790. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje  $Q_{H,nd}$  je računski određena količina topline koji sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutar

projektirane temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja zgrade. Potrebna toplinska energija za grijanje:

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \text{ [kWh]} \quad (5-8)$$

gdje su:

$Q_{H,nd,co}$  –potrebna toplinska energija za grijanje pri kontinuiranom radu.

$Q_{H,ht}$  –ukupno izmjenjena toplinska energija u periodu grijanja [kWh].

$Q_{H,gn}$  –ukupni toplinski dobici zgrade u periodu grijanja (ljudi, uređaji, rasvjeta i sunčevo zračenje) [kWh].

$\eta_{H,gn}$  –faktor iskorištenja toplinskih dobitaka (-).

Izmjenjena toplinska energija transmisijom i ventilacijom proračunske zone za promatrani period računa se pomoću koeficijenata toplinske izmjene  $H$  [W/K]:

$$Q_{Tr} = \frac{H_{Tr}}{1000} (\vartheta_{int,H} - \vartheta_e) t \text{ [kWh]} \quad (5-9)$$

$$Q_{Ve} = \frac{H_{Ve}}{1000} (\vartheta_{int,H} - \vartheta_e) t \text{ [kWh]} \quad (5-10)$$

gdje su:

$H_{Tr}$  –koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone [W/K].

$H_{Ve}$  –koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone [W/K].

$\vartheta_{int,H}$  –unutarnja postavna temperatura grijane zone [°C].

$\vartheta_{e,m}$  –srednja vanjska temperatura za proračunski period (sat ili mjesec) [°C].

$t$  –trajanje proračunskog razdoblja (mjesečna, satna metoda).

Izmjenjena toplinska energija transmisijom:

$$H_{Tr} = H_D + H_U + H_A + H_{g,m} \text{ [W/K]} \quad (5-11)$$

gdje su:

$H_D$  –koeficijent transmisijske izmjene topline prema vanjskom okolišu [W/K].

$H_U$  –koeficijent transmisijske izmjene topline kroz negrijani/nehlađeni prostor prema vanjskom okolišu [W/K].

$H_A$  –koeficijent transmisijske izmjene topline prema susjednoj zgradi [W/K].

$H_{g,m}$  –koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu za proračunski mjesec.

Izmjenjena toplinska energija ventilacijom može biti prikazana u dva režima

U periodu grijanja:

$$Q_{ve} = Q_{ve,inf} + Q_{ve,win} + Q_{H,ve,mech} \quad [\text{kWh}] \quad (5-12)$$

U periodu hlađenja:

$$Q_{ve} = Q_{ve,inf} + Q_{ve,win} + Q_{C,ve,mech} \quad [\text{kWh}] \quad (5-13)$$

U periodu grijanja:

$$Q_{ve} = \frac{H_{H,ve}(\vartheta_{int,H} - \vartheta_e)}{1000} t \quad [\text{kWh}] \quad (5-14)$$

U periodu hlađenja:

$$Q_{ve} = \frac{H_{C,ve}(\vartheta_{int,i} - \vartheta_e)}{1000} t \quad [\text{kWh}] \quad (5-15)$$

Ukupni toplinski dobici za promatrano razdoblje:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [\text{kWh}] \quad (5-16)$$

Unutarnji toplinski dobici  $Q_{int}$  od ljudi i uređaja računaju se sa vrijednošću  $5 \text{ W/m}^2$  korisne površine za stambene prostore:

$$Q_{int} = \frac{q_{spec} A_k t}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (5-17)$$

Algoritam za proračun potrebne godišnje toplinske energije za grijanje i hlađenje zgrada prema HRN EN ISO 13790 sadrži u sebi ove formule. Algoritam započinje s izračunom toplinske energije na izlazu iz sustava predaje toplinske energije u prostor i završava izračunom toplinske energije na ulazu u sustav proizvodnje toplinske energije. Temeljem toga se kao krajnji rezultat računaju isporučena i primarna energija. Proračun je potrebno provesti iterativnim putem jer ulazne veličine u proračun ovise o kasnije izračunatim veličinama tj. toplinskim gubicima, [23].

## 6. ANALIZA ISPLATIVOSTI UGRADNJE REKUPERATORA

Analizom fizike zgrade i toplinskih gubitaka na obiteljskom objektu promatramo potencijalnu uštedu implementacijom rekuperatora zraka. Primjer objekta na kojem implementiramo rekuperator zraka je obiteljska kuća smještena u Osijeku.

Objekt se sastoji od tri etaže:

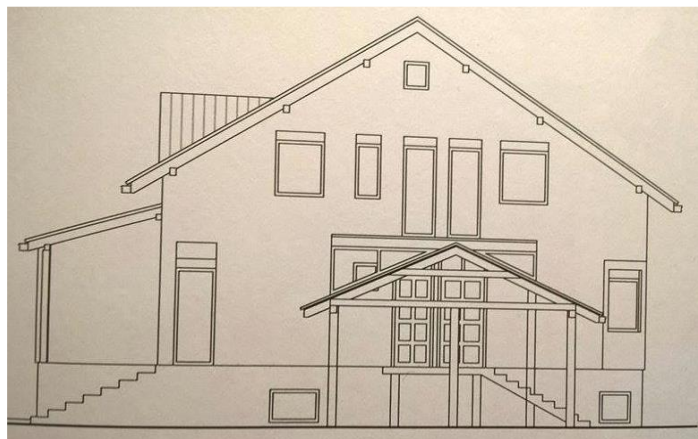
1. Podrumski dio zgrade gdje se nalaze pomoće prostorije, garaža.
2. Prizemlje zgrade gdje se nalazi kuhinja, dnevni boravak, sobe.
3. Potkrovlje zgrade gdje imamo zahod, tri sobe i dnevni boravak.

Prema tablici 6.1. prikazni su osnovni podaci zadanog objekta tj. obiteljske kuće na kojoj radimo implementaciju rekuperaciju zraka.

**Tablica 6.1.** Osnovni parametri obiteljske kuće.

Oplošje grijanog dijela zgrade $A$ [ $m^2$ ]	325,44
Obujam grijanog dijela zgrade $V_e$	582,00
Faktor oblika zgrade $f_0$ [ $m^{-1}$ ]	0,56
Ploština korisne površine $A_K$ [ $m^2$ ]	205,90

Ovdje je važno spomenuti da se potkrovlje uzima u bruto iznos površinu zgrade prema pravilniku o načinu obračuna površine i obujma u projektiranim zgradama („*Narodne novine*“, broj 90/10., 111/10, i 55/12.). On govori da sukladno odredbi pravilika za građevinsku bruto površinu zgrade uračunava se i površina dijela zgrade ispod krova koji se koristi kao potkrovlje zgrade. Također u oplošije pada ulazi površina poda i površina zidova koja ovisno o debljini građevinskog dijela i izloženom opsegu poda, [14]. Prema slici 6.1. vidimo istočno pročelje stambenog objekta.



**Slika 6.1.** Prikaz istočnog pročelja stambenog objekta.

Implementacija rekuperatora zraka na prikazanom objektu zahtjevat će profesionalan pristup izvođača radova i projektanta cijelog sustava. Rekuperator ima zadaću zahvatiti cijeli obim grijanog dijela zgrade. Shodno tome sustav će biti centraliziran sa smještajem rekuperatorske jedinice u potkrovlje zgrade.

## 6.1 Proračun transmisijskih i ventilacijskih gubitaka pomoću programskog paketa Thorium A+

Proračun toplinskih gubitaka u ovom slučaju nama najbitnijih za analizu onih transmisijskih i ventilacijskih možemo napraviti za svaku prostoriju posebno ovisno o fizici same zgrade. Prema slici 6.4. vidimo prikaz tlocrta prizemlja obiteljske kuće te shodno tome računamo gubitke objekta. Ukoliko u njoj ne borave ljudi minimalna izmjena zraka iznosi  $0,2 \text{ h}^{-1}$ . Ako imamo ljude unutar objekta broj izmjena zraka mijenja se ovisno o namjeni prostorije. Za promatrani slučaj uzeli smo izmjernu zraka  $0,5 \text{ h}^{-1}$  kao prosječnu vrijednost izmjena zraka u godini dana. Važno je spomenuti energente koji generiraju potrebnu energiju za grijanje i hlađenje. To su plin kao energent korišten za grijanje i električna energija korištena za hlađenje. Kasnije u proračunu uvidit ćemo da je potrebno računati godišnju potrošnju energije prema cijeni plina i prema cijeni električne energije kako bi dobili ukupne troškove za grijanje i hlađenje na godišnjoj razini.



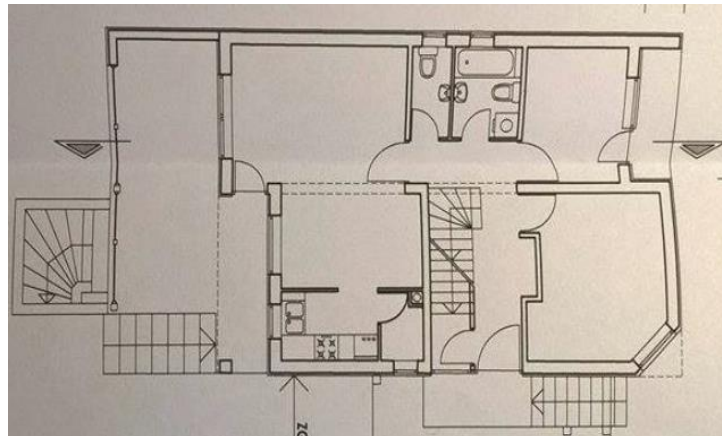
**Slika 6.2.** Prikazuje plinski kombi bojler koji je korišten za grijanje i potrošnu toplu vodu na obiteljskoj kući.

Za grijanje u kući koristi se plinski kombi boiler tipa „*Vaillant*“ (sl. 6.2.) snage 35 kW koji se također koristi i za grijanje potrošne tople vode. Tijekom ljetnih mjeseci za hlađenje se koristi klima uređaj tipa „*Midea*“ snage 2,5 kW (sl. 6.3.). Za klima uređaj 2,5 kW podrazumijeva se da je to toplinska energija, kako je u ovom slučaju za proračun uzeta samo energija za hlađenje prilikom ljetnih mjeseci potrebno je pomoću koeficijenta pretvorbe koji je dan od svakog proizvođača odrediti koliko je to kW električno samo za hlađenje. Koeficijent pretvorbe iznosi 2,7

pa je shodno tome broj kW s kojom klima uređaj raspolaže za hlađenje u ljetnim mjesecima iznosi 0,8 kW električno.



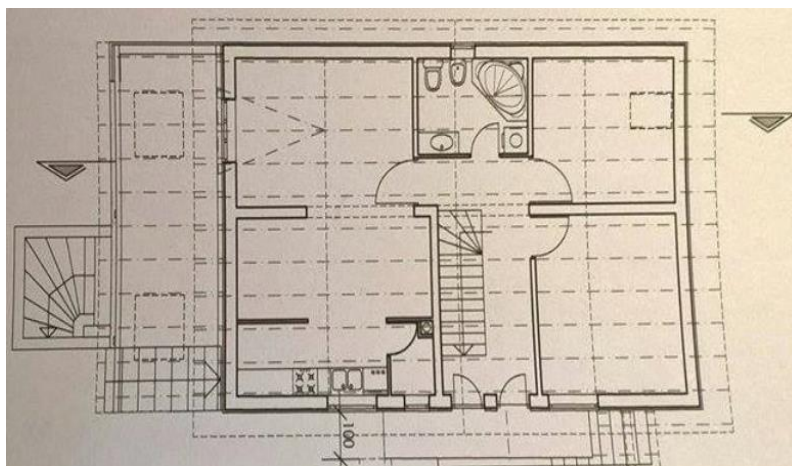
**Slika 6.3.** Prikazuje klima uređaj tipa „Midea“ korištene za hlađenje tijekom ljetnih mjeseci na obiteljskoj kući.



**Slika 6.4.** Tlocrt prizemlja obiteljske kuće.

Potkrovlje kuće sastoji se od kuhinje i dnevnog boravka, zahoda te spavaće sobe i ostave. Površina cijelog potkrovlja iznosi 100 m<sup>2</sup>. Rekuperator zraka zahvatit će cijelu razinu prizemlja i cijelu razinu potkrovlja ukupe površine 220 m<sup>2</sup>.

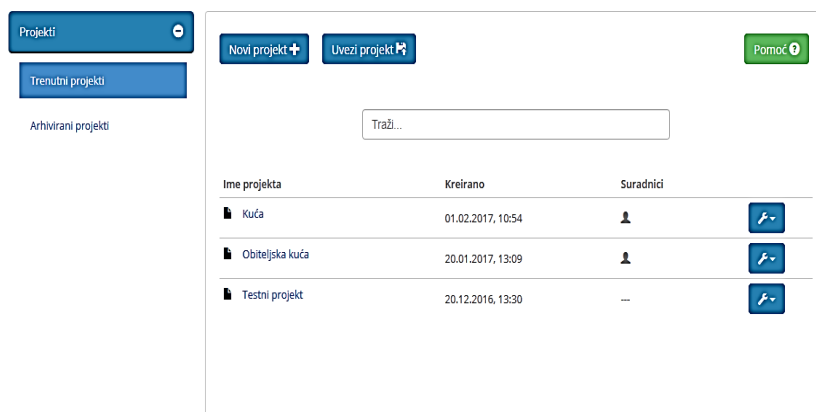




**Slika 6.5.** Tlocrt potkrovlja obiteljske kuće.

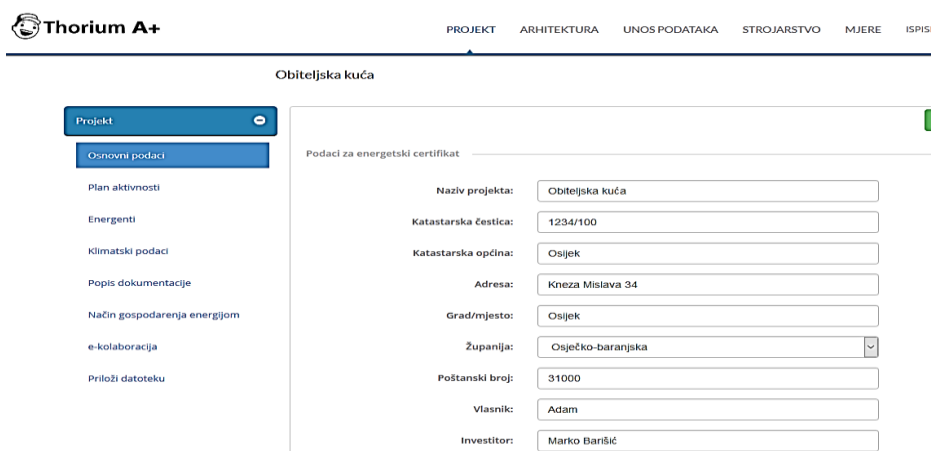
Potkrovlje kuće prikazano na slici 6.5. je također realizirano na način da je prikladno za boravak ljudi. U potkrovlju se također nalazi kuhinja i blagovaona, sobe za boravak te kupaona. Obzirom da je podrumski dio ne grijan, rekuperator zraka neće obuhvatit taj dio građevine.

Proračun gubitaka radimo pomoću programskog paketa Thorium A+ gdje je definirana građevina na kojoj ćemo raditi rekuperaciju zraka. Thorium A+ je računalni program koji se bavi izradom programskih rješenja na području energetske učinkovitosti. Program služi za energetske certificiranje, koji objedinjuje sve aspekte. Pomoću programa možemo doći do podataka o toplinskim gubicima te izračun samog energetskeg razreda. Toplinski gubici će nam biti kako bi mogli odrediti energetske uštedu implementacijom rekuperatora zraka. Prilikom prijave na web stranice programskog paketa Thorium A+ otvara nam se početni prozor i naslovna strana gdje se nalaze svi trenutni projekti na kojima se radi. Na početnoj stranici programa definiramo i nove projekte koje planiramo raditi. Prema slici 6.6. se nalazi prikaz početne strane programskog paketa Thorium A+ gdje vidimo našu zadanu građevinu obiteljsku kuću na kojoj radimo potrebnu rekuperaciju zraka. Projekt je potrebno provesti prema proračunu i prema novim pravilima za energetske certificiranje zgrada.



**Slika 6.6.** Početno sučelje programskog paketa Thorium A+.

Pokretanjem programskog paketa na kojem definiramo projekt i koji se sastoji od nekih osnovnih podataka sa lijeve strane koje možemo vidjeti na slici 6.7. (plana aktivnosti do klimatskih podataka, popisa dokumentacije i sl.). Inače projekt djelimo na pet velikih djelova od kojih je najvažniji onaj u kojem definiramo fiziku zgrade. U arhitektonsko – građevinskom djelu ubiti izračunavamo samu fiziku zgrade do vrijednosti  $Q_{H, ned}$ . Unos podataka koji koriste principijalno samo oni koji se bave certifikacijom zbog toga što se tamo obrađuju računi, trošila i vrše se analize potrošnje. Modul za strojarstvo koriste i oni koji rade fiziku zgrade i oni koji se bave certificiranjem. Na taj način možemo izračunati isporučenu i primarnu energiju i da li uvijeti zadovoljavaju tehnički propis. Pod mjerama imamo automatizirani izračun mjera i na tom koraku moramo znati samo razinu investicije. Konačni ispis cijelog izvještaja imamo pod zadnjim modulom kada je projekt izdefiniran do kraja.



**Slika 6.7.** Unos osnovnih podataka objekta i općenito plan aktivnosti, klimatske podatke i dokumentaciju.

Arhitektonsko – građevinski dio programskog paketa Thorium A+ koji možemo vidjeti na slici 6.8. gdje su algoritmi koji stoje iza kompletnog izračuna i omogućuju nam da definiramo gubitke transmisijske i ventilacijske. Potrebno je definirati zone naše građevine, vrste zgrade da li je nova ili postojeća zgrada itd. Možemo postaviti i vrijeme rada sustava i unutrašnje temperature. Vrijednosti smo ostavili na propisanim uvjetima koji daju tehnički propisi i definiranim početnim vrijednostima. Definiramo i termotehničke sustave građevine od načina grijanja, pri kojim se vrijednostima grijanje uključuje, načine hlađenja i koji se izvori za to koriste. Temeljem tlocrta obiteljske kuće odredili smo i definirali vanjske zidove, zidove prema tlu, podove u tlu te otvore poput prozora i vrata. Važno je odabrati pravu vrstu zida i od čega je on sastavljen jer to uvelike utječe na konačne rezultate toplinskih gubitaka prvenstveno onih transmisijskih.

The screenshot shows the Thorium A+ software interface for defining building zones and wall properties. The interface is titled 'Obiteljska kuća' and shows a sidebar with navigation options: 'Zone', 'Toplinski gubici', 'Vanjska ovojnica', 'Tlo', 'Ventilacija', 'Negrijane prostorije', 'Susjedne zone', 'Toplinski mostovi', 'Toplinski dobici', and 'Fizika zgrade'. The main area displays a table of wall properties for 'Zona1'.

Naziv	Građevni dio	Površina [m <sup>2</sup> ]	Nagib [°]	U [W/m <sup>2</sup> K]	ΔU <sub>FM</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	H <sub>g</sub> [W/K]	Info
Zidovi	Vanjski zidovi	185.18	90.00	0.35	0.10	82.67	[i] [↔]
pr	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozračni elementi pročelja	4.81	90.00	1.40	0.00	6.73	[i] [↔]
pr	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozračni elementi pročelja	8.06	90.00	1.40	0.00	11.28	[i] [↔]
pr	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozračni elementi pročelja	0.41	90.00	1.40	0.00	0.57	[i] [↔]
pr	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozračni elementi pročelja	6.18	90.00	1.40	0.00	8.65	[i] [↔]

**Slika 6.8.** Definiranje arhitekture projekta i podijele po zonama. Definiranje zidova, površina zidova i njihovih položaja.

Ventilacija je podijeljena u dvije skupine. Sastoji od infiltracije i prozračivanja i dio je programskog paketa koji možemo vidjeti na slici 6.9. Infiltracija je uvijek prirodnim putem dok prozračivanje može biti i prirodnim i mehaničkim putem. Odabrali smo prirodnu ventilaciju jer na postojećoj građevini nemamo definiranu ventilaciju. Broj izmjena zraka ovise o namjeni. Ukoliko u prostoru ne borave ljudi broj izmjena zraka može biti i  $0,2 \text{ h}^{-1}$ . Ako pogledamo minimalne vrijednosti izmjene zraka koje su propisane za stambene kuće ono iznosi  $3 \text{ m}^3$  po kvadratu. Što nam daje približne vrijednosti, ljudi izlaze i ulaze u kuće otvaraju vrata i prozore često i samim time stvaraju velike gubitke koje treba uzeti u obzir prilikom računanja prirodnog prozračivanja kao što je prikazano tablicom 6.3.

Naziv	n [h <sup>-1</sup> ]	H <sub>v</sub> [W/K]	Q <sub>v</sub> [kWh]
Infiltracija	0.50	83.13	6146.49
Prozračivanje	1.00	166.26	12292.98
Susjedne zone	0.00	0.00	0.00
Nekondicionirane zone	0.00	0.00	0.00
<b>Ukupno</b>		<b>249.40</b>	<b>18439.48</b>

Naziv	n [h <sup>-1</sup> ]	H <sub>v</sub> [W/K]	Q <sub>v</sub> [kWh]
Infiltracija	0.10	16.63	1131.46
Prozračivanje	0.40	66.51	4525.82
Susjedne zone	0.00	0.00	0.00
Nekondicionirane zone	0.00	0.00	0.00
<b>Ukupno</b>		<b>83.13</b>	<b>5657.28</b>

**Slika 6.9.** Kartica ventilacijskih gubitaka gdje određujemo infiltraciju i prozračivanje zadane građevine. Vrlo bitan podatak pri proračunu ventilacijskih gubitaka objekta.

Nakon definiranja vanjske ovojnice građevine, površine tla, ventilaciju, susjedne zone i toplinske mostove. Program nam omogućava da izračunamo i toplinske dobitke zgrade. Toplinske dobitke imamo kroz prozore kao solarne dobitke. Unutarnje dobitke imamo prema tehničkom propisu unutarnjih uređaja. Za obiteljske kuće ono iznosi 5 W/m<sup>2</sup>. U kartici fizika zgrade potrebno je definirati unutrašnju vlažnost kroz mjesece. Uzimamo uvijete iz tehničkog propisa od 50 % vlažnosti kroz sve mjesece u godini. Unosom parametara u sve tražene kartice dobivamo kompletan prikaz stanja predmetne građevine, detaljne podatke o građevnim dijelovima i građevnim slojevima. Iz rezultata prema normi HRN EN 13790, vidimo transmisivske i ventilacijske gubitke za pojedine mjesece u godini danih u tablici 6.5.

**Tablica 6.2.** Prikaz izvještaja o transmisivskim toplinskim gubicima

$H_{Tr} = H_D + H_g + H_U + H_A$	[W / K]
$H_D$ - Koeficijent transmisivske izmjene topline prema vanjskom okolišu	109,91
$H_g$ - Prosječni koeficijent transmisivske izmjene topline prema tlu (stvarni klimatski podaci)	57,94
$H_g$ - Prosječni koeficijent transmisivske izmjene topline prema tlu (referentni klimatski podaci)	62,17
$H_U$ - Koeficijent transmisivske izmjene topline prema negrijanom prostoru	0,00
$H_A$ - Koeficijent transmisivske izmjene topline prema susjednim zonama (stvarni klimatski podaci)	0,00
$H_{Tr}$ (stvarni klimatski podaci)	167,85

Nakon obrade promatranog stambenog objekta programski paket Thorium A+ nam daje prikaz izvještaja o transmisivskim gubicima stambenog objekta. Na takve gubitke možemo utjecati, ali

zadatak diplomskog rada je da se više fokusiramo na ventilacijske gubitke zbog samog rekuperatora zraka.

**Tablica 6.3.** Prikaz izještaja o ventilacijskim gubicima.

Vrsta provjetravanja	Prirodna
Volumen prostora	$V = 442,32 [m^3]$
Koeficijent gubitaka topline provjetranjem (stvarni uvjeti)	$H_V = 225,58 [W/K]$
Koeficijent gubitaka topline provjetranjem (propisani uvjeti)	$H_V = 75,19 [W/K]$

Prirodna ventilacija je posve prirodan način ventilacije, koji ne zahtjeva dodatnu mehaničku energiju za ostvarivanje strujanja zraka u prostorijama, već se temelji na razlici tlakova i temperatura između unutrašnjosti zgrade i okolice. Veliki utjecaj pri tome imaju značajke zgrade (smještaj u prostoru), kao što su njezin položaj i visina te temperatura i tlak vanjskog zraka. U skladu s time, prirodna ventilacija je zimi učinkovitija nego ljeti. Prirodna ventilacija se može odvijati kroz prozore i vrata, kroz ventilacijske otvore, kroz ventilacijske krovne elemente. Prikaz projektirane temperature i koeficijenata gubitka topline prikazan je tablicom 6.4. gdje možemo primjetiti kako su algoritmi pretpostavili prosječnu i standardnu vrijednost temperature unutar prostora od 20 °C.

**Tablica 6.4.** Prikaz izvještaja koeficijenta gubitka topline i projektirane temperature.

Ukupni koeficijent gubitaka topline (stvarni klimatski podaci)	$H = 393,43 [W/K]$
Ukupni koeficijent gubitaka topline (referentni klimatski podaci)	$H = 247,28 [W/K]$
Način grijanja	S prekidom
Unutarnja temperatura	$\theta_{int.set} = 20,00 [^{\circ}C]$
Unutarnja postavna temperatura	$\theta_{int.set} = 20,00 [^{\circ}C]$

Energija koja nam je potrebna za grijanje obiteljske kuće dana je po mjesecima i izražena kroz  $Q_{H,nd}$  [kWh]. Prema tablici 6.5. prikazni su ventilacijski i transmisijski gubici te prema njima možemo ostvariti uštedu implementacijom sustava povrata topline odnosno rekuperatora zraka.

**Tablica 6.5.** Prikaz izvještaja potrebne energije za grijanje obiteljske kuće.

Mj	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	$Q_{H,sol}$ [kWh]	$Q_{H,int}$ [kWh]	$Q_{H,gn}$ [kWh]	$\gamma_H$	$\eta_{H_{gn}}$	$\alpha_{H_{red}}$	$LH_m$	$Q_{H,nd}$ [kWh]
1	2.553,38	1.186,02	3.739,41	269,57	765,94	1.035,52	0,27	0,999	0,94	31,00	2.566,35
2	1.933,54	894,39	2.827,93	384,02	691,82	1.075,84	0,38	0,997	0,92	28,00	1.631,66
3	1.539,39	704,90	2.244,29	580,51	765,94	1.346,45	0,59	0,978	0,88	31,00	824,81
4	884,99	395,22	1.280,21	672,69	741,24	1.413,93	1,10	0,806	0,79	16,88	62,76
5	515,21	179,02	694,24	768,02	765,94	1.533,97	2,20	0,449	0,70	0,00	0,00

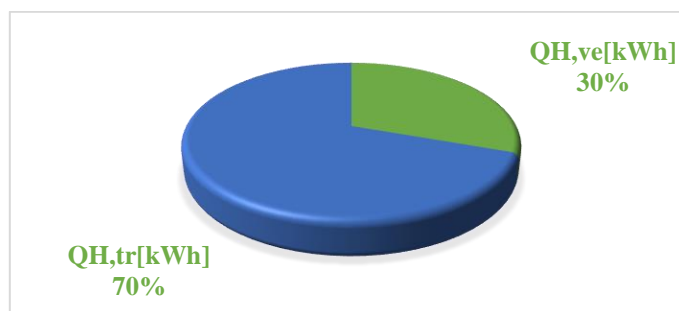
6	42,18	-43,31	-1,12	767,64	741,24	1.508,88	-	0,001	0,70	0,00	0,00
7	-109,68	-117,48	-227,16	813,42	765,94	1.579,37	-6,95	0,001	0,70	0,00	0,00
8	-262,96	-190,21	-453,17	769,47	765,94	1.535,42	-3,38	0,001	0,70	0,00	0,00
9	316,03	86,62	402,65	676,61	741,24	1.417,85	3,52	0,283	0,70	0,00	0,00
10	926,28	413,99	1.340,27	548,93	765,94	1.314,88	0,98	0,859	0,81	17,85	98,93
11	1.318,58	600,95	1.919,53	294,92	741,24	1.036,16	0,53	0,986	0,90	30,00	808,10
12	2.176,08	1.007,00	3.183,08	196,44	765,94	962,38	0,30	0,999	0,94	31,00	2.097,63
<b>Uk.</b>											<b>8.090,27</b>

Kako nam je potrebna energija za grijanje građevine, tako u ljetnim periodima imamo potrebu i za hlađenje. Za hlađenje koristimo električnu energiju, čije vrijednosti vidimo u tablici 6.6.

**Tablica 6.6.** Prikaz izvještaja potrebne energije za hlađenje obiteljske kuće.

Mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Q<sub>c,nd</sub> [kWh]</b>	0,00	0,00	0,00	47,91	616,70	800	788,98	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Uk. [kWh]</b>	<b>2155,71</b>											

Usporedivši koeficijente izmjene topline transmisijom i one gubitka topline ventilacijom na promatranoj građevini dobijemo odnose te dvije veličine vidljivo na slici 6.10. Ventilacijski gubici iznose približno 30 % ukupnih gubitaka. Prema tome vidljiva je potencijalna ušteda ukoliko bi implementirali sustav povrata topline odnosno rekuperator zraka. U praksi prilikom analize gubitaka često susrećemo ovaj omjer transmisijskih gubitaka i gubitaka putem ventilacije.



**Slika 6.10.** Prikaz kružnog dijagrama odnosa koeficijenata transmisijske izmjene topline i koeficijenata gubitka topline ventilacijom.

Program nam omogućuje i ispis kompletnih energetskih potreba promatrane građevine što možemo viditi u tablici 6.7. Program ispisuje tako iskoristive toplinske dobitke tijekom godine, te godišnje potrebe za energijom. Pa tako imamo da je godišnja potreba za energijom 90,04 kWh/m<sup>2</sup>a godišnje, odnosno ukupni godišnji gubici građevine nešto malo više od 80.000,00 MJ. Također imamo i solarne dobitke topline koji iznose oko 18.833,46 MJ.

**Tablica 6.7.** Prikaz izvještaja energetskih potreba obiteljske kuće.

Godišnja potrebna toplina za grijanje $Q_{H,nd}$ [kWh/a]	8.090,27
Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici ploštine korisne površine (za stambene zgrade) $Q_{H,nd}$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	90,04
Koeficijent transmisivskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade $H_{tr,adj}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,51
Koeficijent transmisivskog toplinskog gubitka $H_{tr,adj}$ [W/K]	167,85
Ukupni godišnji gubici topline $Q_I$ [MJ]	80.853,06
Godišnji iskoristivi unutarnji dobici topline $Q_i$ [MJ]	22.466,31
Godišnji iskoristivi solarni dobici topline $Q_s$ [MJ]	18.833,46
Ukupni godišnji iskoristivi dobici topline $Q_g$ [MJ]	47.299,77

Unosom podataka u programski paket Thorium A+, definiranjem svih parametara potrebnih za određivanje konačne vrijednosti energije potrebne za grijanje i hlađenje određujemo konačni broj [kWh] godišnje potrebe te je za postojeći objekt potrebno energije za grijanje i hlađenje u iznosu:

$$Q_{uk,nd} = Q_{H,nd} + Q_{C,nd} = 8090,27 + 2155,71 = 10245,98 \text{ kWh/god.} \quad (6-1)$$

gdje su:

$Q_{uk,nd}$  – ukupna godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje.

$Q_{H,nd}$  – ukupna godišnja potrebna energija za grijanje.

$Q_{C,nd}$  – ukupna godišnja potrebna energija za hlađenje.

Na transmisivske gubitke možemo kao i na ventilacijske gubitke dosta utjecat, ali kako smo već ranije spomenulu diplomski rad bavi potencijalnom uštedom implementacijom rekuperatora te ćemo uzimat u obzir samo ventilacijske gubitke koji iznose 30,41 % od ukupnih gubitaka građevine. Iznos potencijalne uštede tako iznosi 30 % od ukupnih potreba za energijom:

$$S = Q_{uk,nd} Q_{H,ve} = 10245,98 \cdot 0,30 = 3073,72 \text{ kWh/god.} \quad (6-2)$$

gdje su:

$S$  – ukupni iznos potencijalne uštede na godišnjoj razini.

$Q_{H,ve}$  – kupni godišnji ventilacijski gubici.

Kako je u obiteljskoj kući primarno izvor grijanja plinski kombi bojler, a za ljetne dane izvor hlađenja klima uređaj potencijalu godišnju uštedu moramo iskazati kroz dva energenta prema aktualnoj cijeni. Cijenu prirodnog plina potrebnog za grijanje i cijenu električne energije potrebnu za hlađenje. Cijena plina za kućanstva određuje se prema tarifnom modelu. Suglasno propisanoj metodologiji sastoji se od tarifne stavke za isporučenu količinu plina – TS1 [Kn/kWh] te fiksne

mjesečne naknade –  $T_{s2}$  [kn] za uslugu distribucije plina i uslugu opskrbe plina ovisno o tarifnome modelu (bez obzira na isporučenu količinu plina). Naša obiteljska kuća spada u drugi tarifni model do 25.000,00 kWh s obzirom na potrebnu energiju za grijanje obiteljske kuće pa cijena na godišnjoj razini bez PDV-a iznosi 0,34 kn/kWh. Prema tome računamo godišnje troškove grijanja:

$$T_p = Q_{H,nd} X_p = 8090,27 \cdot 0,34 = 2750,69 \text{ kn/god.} \quad (6-3)$$

Za kupce kategorije kućanstvo, korisnike javne usluge opskrbe primjenjuje se tarfine stavke sukladno odredbama Zakona o tržištu električne energije. Obzirom da naša obiteljska kuća koristi klima uređaj preko dana odabrat ćemo veći tarifni model i prema tome izračunati kolika je godišnja cijena električne energije koju potrošimo. Uzet je u obzir rad klima uređaja svakim danom tijekom ljetnih mjeseci. Koeficijent pretvorbe od koji smo uzeli od proizvođača daje nam da klima uređaj za vrijeme hlađenja tijekom ljetni mjeseci ima 2,7 puta manju potrošnju nego pretpostavljeni iznos dobiven iz programskog paketa Thorium A+ što ćemo uviditi dalje u proračunu. Cijena električne energije iznosi 0,94 kn/kWh te potencijalna godišnja ušteda električne energije u tom slučaju iznosi:

$$T_{el} = Q_{c,nd} X_{el} = 798,14 \cdot 0,95 = 758,24 \text{ kn/god.} \quad (6-4)$$

Prema izračunatim podacima možemo pogledati konačnu cijenu za grijanje i hlađenje obiteljske kuće i ono iznosi:

$$T_{uk} = T_p + T_{el} = 2750,96 + 758,24 = 3508,93 \text{ kn/god.} \quad (6-5)$$

gdje su:

$T_p$  – godišnji troškovi plina koji je potreban za grijanje objekta [kn/god].

$X_p$  – varijabilna cijena plina [kn/kWh].

$T_{el}$  – godišnji troškovi električne energije koji je potreban za hlađenje objekta [kn/kWh].

$X_{el}$  – varijabilna cijena električne energije [kn/kWh].

$T_{uk}$  – ukupni troškovi potrebni za grijanje i hlađenje objekta [kn/god].

Ventilacijski gubici iznose 30 % ukupnih gubitaka pa prema novčanim sredstvima to iznosi:

$$E_1 = Q_{H,ve} T_{uk} = 1052,67 \text{ kn / god.} \quad (6-6)$$



### 6.1.1. Primjer kada u kući ne borave ljudi

Za prvi slučaj računat ćemo izmjenu zraka kada u njoj nema ljudi i ona je procesu mirovanja. Prema tome protok zraka kroz cijelu zgradu, uzimajući temeljem norme propisanu izmjenu zraka iznosi  $0,2 \text{ h}^{-1}$ . Kako bi točno odredili koji rekuperator koristimo potrebno je volumene zraka primemlja i potkrovlja objekta pomnožiti sa potrebnom izmjenom zraka na sat. Prema tome određujemo kolika je potrebna izmjena zraka po satu:

$$H_{uk} = H_{po} + H_{pr} = (294 + 245) \cdot 0,2 = 107,8 \text{ m}^3/\text{h}. \quad (6-7)$$

gdje su:

$H_{uk}$ —ukupni potreban volumen zraka u jednom satu objekta [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].

$H_{po}$ —potreban volumen zraka u jednom satu potkrovlja objekta [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].

$H_{pr}$ —potreban volumen zraka prizemlja u jednom satu objekta [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].

Rekuperatorska jedinica mora imati minimalno protok zraka od  $107,8 \text{ m}^3/\text{h}$ . To mora postići pri bilo kojem režimu rada kako bi bila zadovoljena potreba za protokom zraka ukoliko u kući ne borave ljudi. Volumen prostorija dobijemo tako da uzmemo prosječnu visinu prostorija u iznosu od  $2,45 \text{ m}$  temeljem tehničkog pravilnika i pomnožimo sa brojem kvadrature prizemlja odnosno potkrovlja obiteljske kuće. Ukupni volumen obiteljske kuće iznosi:

$$V_{uk} = V_{pr} + V_{po} = (120 + 100) \cdot 2,45 = 539 \text{ m}^3 \quad (6-8)$$

Rekuperatorska jedinica mora pri minimalnim brzinama ventilatora snabdijevati  $539 \text{ m}^3$  prostora.

### 6.1.2. Primjer kada u kući borave ljudi

Drugi slučaj je kada u kući imamo prisutne ljude. Kako je broj potrebnih izmjena zraka ukoliko nemamo ljude u prostoriji iznosi  $0,2 \text{ h}^{-1}$  za drugi zahtjevniji slučaj ukoliko imamo ljude u obiteljskoj kući uzimamo potrebnu izmjenu zraka  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Razlog tome je što je u kući uvijek netko prisutan i na temelju svih prostorija ako ne uzmemo uz obzir dnevne vršne potrebe za izmjenama zraka dolazimo do omjera  $0,5 \text{ h}^{-1}$  potrebnih izmjena zraka za ugodan boravak unutar prostorija. Određujemo kolika je potrebna izmjena zraka:

$$H_{uk} = H_{po} + H_{pr} = (294 + 245) \cdot 0,5 = 267 \text{ m}^3/\text{h} \quad (6-9)$$

Rekuperatorska jedinica mora imati minimalno protok zraka od  $267 \text{ m}^3/\text{h}$ . To mora postići pri bilo kojem režimu rada kako bi se zadovoljile potrebe za protokom zraka ukoliko u kući borave ljudi. Volumen zraka ostaje isti i on iznosi  $539 \text{ m}^3$ .

## 6.2. Odabir opreme i tipa rekuperatora

Temeljem izračunatih i poznatih podataka možemo kreniti sa odabirom samog tipa rekuperatora zraka. Implementirat ćemo rekuperator tako da zahvatiti cijeli obujam prizemlja koji iznosi 120,00 m<sup>2</sup>, i cijeli obujam potkrovlja koji iznosi 100 m<sup>2</sup>. Podrumski prostor će ostati ne grijani dio građevine. Prema tom izračunu imamo površine svih prostorija uračunato u kvadraturu zgrade koji iznosi sve ukupno 220 m<sup>2</sup>. Za rekuperator odabrali smo „*Mitsubishi electric LGH-50RVX-E*„. Rekuperator ima četiri načina rada što rezultira različitom razinom buke, potrošnje i protoka zraka. Pri različitim brzinama rada dolazi do promjene učinkovitosti samog rekuperatora zraka od minimalne 78 % učinkovitosti do maksimalne 87 % učinkovitosti. Rekuperatorska jedinica „*Mitsubishi electric LGH-50RVX-E*„ ima područje djelovanja od 125 m<sup>3</sup>/h do 500 m<sup>3</sup>/h. Prema tablici 6.8. dan je prikaz rekuperatora „*Mitsubishi electric LGH-50RVX-E*“ sa osnovim podacima i specifikacijama. Izgled samog rekuperatora zraka vidimo na slici 6.11. Kako bi bili sigurni u odabir rekuperatora, radimo provjeru za protok zraka i volumen koji rekuperator može snabdijevati za oba slučaja.

Volumen prostora koju rekuperator može rekuperirati pri najmanjim brzinama ventilatora možemo prikazati na slijedeći način:

$$V_1 = \frac{125}{0,2} = 625 \text{ m}^3 \quad (6-10)$$

Rekuperator zraka pri minimalnim brzinama rada može rekuperirati 625 m<sup>3</sup> zraka. Kako je u našem slučaju to više nego ukupni volumen prizemlja i potkrovlja koji iznosi 539 m<sup>3</sup>, možemo zaključiti kako rekuperator „*Mitsubishi electric LGH-50RVX-E*“ odgovara propisanim zahtjevima i izmjenom zraka 0,2 h<sup>-1</sup>. Protok zraka koji je potreban kada u kući ne borave ljudi iznosi 107,8 m<sup>3</sup>/h, što u našem slučaju odgovara brzini ventilatora u prvom položaju te zadovoljava njegove potrebe za rad.

Volumen prostora koju rekuperator može rekuperirati u drugom slučaju kada imamo ljude unutar objekta iznosi:

$$V_2 = \frac{375}{0,5} = 750 \text{ m}^3 \quad (6-11)$$

Možemo zaključiti kako rekuperator zraka mora raditi u bržem režimu rada kako bi zadovoljio potrebe za izmjenom zraka od 0,5 h<sup>-1</sup>. Protok zraka pri toj brzini iznosi 375 m<sup>3</sup>/h što je dovoljno od zahtjeva 267 m<sup>3</sup>/h. Odabrani rekuperator ne zadovoljava samo jedan kriterij odabira, a to je da radi u jako brzom načinu rada, što i nije potreba na promatranom objektu.

**Tablica 6.8.** Osnove specifikacije rekuperatora „*Mitsubishi electric LGH-50RVX-E*“, [16].

Model	LGH-50RVX-E			
Frekvencija	50 Hz/220 V			
Brzina ventilatora	Jako brzo	Brzo	Sporo	Jako sporo
Nazivna struja [A]	1,15	0,59	0,26	0,13
Potrošnja [W]	165	78	32	12
Protok zraka [m <sup>3</sup> /h]	500	375	250	125
Učinkovitost [ $\eta$ ]	78	81	83,5	87
Razina buke [dB]	34	28	19	18
Ispunjava zahtjev	Ne	Da	Da	Da

Rekuperatorska jedinica ima četiri brzine rada ventilatora, nakon izračuna vidimo kako najveća brzina nije često korištena te će rekuperator raditi u režimu rada od jako sporog do brzog načina rada. Zahtjev nije ispunjen samo za jako brzi način rada zbog toga što rekuperator gotovo da nikad ne radi u tome području rada.



**Slika 6.11.** Izgled rekuperatorske jedinice „*Mitsubishi electric LGH-50RVX-E*“, [16].

Odabrani rekuperator ispunjava propisane zahtjeve za rekuperacijom u oba slučaja. U proračunu pomoću programskog paketa Thorium A+ dobili smo da ventilacijski gubici u promatranoj obiteljskoj kući iznose 30 % od ukupnih gubitaka što znači 1052,67 kn/god. Maksimalna ušteda koju možemo ostvariti sa obzirom na brzinu ventilatora jedan i stupanju djelovanja  $\eta = 87 \%$  iznosi:

$$E_2 = \eta \cdot E_1 = 915,82 \text{ kn/god} \quad (6-12)$$

U drugom slučaju kada u kući borave ljudi učinkovitost rekuperatora pada s obzirom na brži režim rada ventilatora pa maksimalna ušteda koju možemo ostvariti sa obzirom na brzina ventilatora tri i stupanj djelovanja  $\eta = 81 \%$  iznosi:

$$E_3 = \eta \cdot E_1 = 852,60 \text{ kn/god.} \quad (6-13)$$

### 6.3. Analiza opravdanosti ugradnje sustava povrata energije temeljem proračuna

Opravdanost ugradnje sustava rekuperacije zraka uvidit ćemo najbolje u omjeru investicije ugradnje takva sustava, cijene samog rekuperatora i ostalih komponenti sustava te rad majstora i inženjera projektanta. Prema ustupljenim podacima rekuperator zraka „*Mitsubishi electric LGH-50RVX-E*“ iznosi 11.250,00 kn, [16]. Implementacija sustava u kući, montaža kanala za zrak, ugradnja prigušivača, sabirnika, regulacije sustava iznose 30 % cijene projekta pa tako dolazimo do okvirnog i varijabilnog broja cijele investicije koja iznosi:

$$U_{Tr} = U_1 + U_2 = 14.625,00 \text{ kn} \quad (6-14)$$

Povratni period investicije za prvi slučaj kada u kući nema ljudi iznosi:

$$JPP_1 = \frac{14625kn}{915kn / god} = 15,1 \text{ godina} \quad (6-15)$$

Povratni period za drugi slučaj kada u kući borave iznosi:

$$JPP_1 = \frac{14625kn}{855kn / god} = 16,5 \text{ godina} \quad (6-16)$$

U prvom slučaju rekuperator je snabdijevao prostor u kojem ne borave ljudi, te je povrat investicije u konačnici iznosi 15,1 godina, dok u drugom slučaju kada imamo u kući članove obitelji povratni period povećan je za 1,4 godine odnosno na 16,5 godina. Ukoliko koristimo isti rekuperator možemo zaključiti da ćemo prije vratiti investiciju ako rekuperiramo prostor gdje ne borave ljudi, no kako je sama namjena rekuperacije ušteda energije kao i poboljšanje samih mikroklimatskih uvijeta, zaključujemo kako je povrat investicije od 16,5 godina ipak isplativiji. Za maksimalnu učinkovitost rekuperatora zraka, potrebno je provesti detaljan plan implementacije, položaja kanala za zrak kao i položaj samog rekuperatora kako bi investicija bila što prije isplativija.

## 6.4 Analiza opravdanosti ugradnje sustava povrata energije temeljem korisničkih iskustava

Izračunom povratnih perioda za promatranu obiteljsku kuću uvidjeli smo kako podaci nisu realni pa smo u ovom slučaju pokušali u razgovoru sa korisnicama samog objekta doznati njihova iskustva i veličine samih režija kako tijekom perioda grijanja tako i preko perioda hlađenja. Došli smo do zaključka da cijena plina od 2750,69 kn/god, približno odgovara proračunatoj cijeni koju obitelj ima tijekom perioda grijanja. Cijena električne energije za hlađenje je znatno manja tijekom ljetnih mjeseci rada i ona iznosi 300 kn/god u prosjeku. Razlog tome je prilično jednostavan. Programski paket Thorium A+ pretpostavio je ovisno o položaju same kuće, referentne klimatske postaje, temperaturu zraka od 20 °C tijekom zimskih, ali i ljetnih dana. Pravila kažu da temperatura tijekom ljetnih mjeseci unutar prostora mora biti 6 °C manje u odnosu na temperaturu vani. Zbog toga imamo nerealne uvijete potrošnje električne energije tijekom perioda hlađenja. Uređaj pokušava održati temperaturu nižom i time troši viškove energije. Temeljem tih saznanja izračunavano realni povratni period implementacije rekuperatora zraka. Realna godišnja potrošnja plina iznosi :

$$T_p = Q_{H,nd} X_p = 7500 \cdot 0,34 = 2550,00 \text{ kn/god.} \quad (6-17)$$

Realna potrošnja električne energije za hlađenje tijekom ljetnog perioda iznosi:

$$T_{el} = Q_{c,nd} X_{el} = 300 \cdot 0,95 = 285,00 \text{ kn/god.} \quad (6-18)$$

Prema tome ukupni troškovi za grijanje i hlađenje tijekom godine iznose :

$$T_{uk} = T_p + T_{el} = 2550 + 285 = 2835,00 \text{ kn/god.} \quad (6-19)$$

Ventilacijski gubici iznose 30 % ukupnih gubitaka pa prema novčanim sredstvima to iznosi :

$$E_1 = Q_{H,ve} \cdot T_{uk} = 850,50 \text{ kn/god.} \quad (6-20)$$

Odabrani rekuperator radi između jako sporog i brzog načina rada ventilatora pa je potrebno odrediti za oba slučaja realne uvijete ušteta kako bi odredili povratne periode. Za slučaj jedan kada u kući ne borave ljudi, brzina ventilatora je jako spora i stupanj djelovanja  $\eta = 87 \%$  pa prema tome:

$$E_2 = \eta \cdot E_1 = 739,50 \text{ kn/god.} \quad (6-21)$$

U drugom slučaju kada u kući borave ljudi, brzina ventilatora je brža te stupanj djelovanja  $\eta = 81\%$  pa prema tome:

$$E_3 = \eta \cdot E_1 = 688,50 \text{ kn/god.} \quad (6-22)$$

Povratni period investicije za prvi slučaj kada u kući nema ljudi iznosi:

$$JPP_1 = \frac{14625 \text{ kn}}{739 \text{ kn / god}} = 19,8 \text{ godina.} \quad (6-23)$$

Povratni period za slučaj kada u kući borave iznosi:

$$JPP_1 = \frac{14625kn}{688kn / god} = 20,1 \text{ godina.} \quad (6-24)$$

## 6.5 Subvencije fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost

Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU) središnje je mjesto prikupljanja i ulaganja izvanproračunskih sredstava u programe i projekte zaštite okoliša i prirode, energetske učinkovitosti i korištenja obnovljivih izvora energije, [8].

Program sufinanciranja fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost svake godine raspisuje natječaj i daje pravilnik o provedbi programa „Povećanja energetske učinkovitosti obiteljskih kuća“. Tim se pravilnikom određuju osnovna pravila i kriteriji prema kojem će i provoditelj natječaja i fond za zaštitu okoliša nepovratnim novčanim sredstvima sufinancirati provedbu programa kao i kriterije i postupak natječaja. Pravo na korištenje nepovratnih sredstava može ostvariti fizička osoba na postojećoj obiteljskoj kući u osobnom vlasništvu ili u vlasništvu članova njene uže obitelji. Postojeća građevina sukladno Zakonu o gradnji („NN 153713“) je svaka ona kuća koja je izgrađena na temelju građevinske dozvole ili drugog odgovarajućeg akta i svaka druga građevina koja je prema citiranom Zakonu s njom izjednačena. Mjera EnU4 – povećanje energetske učinkovitosti sustava prozračivanja ugradnjom uređaja za povrat topline otpadnog zraka (rekuperatora) također se nalazi u programu energetske učinkovitosti. Pod povećanjem energetske učinkovitosti ugradnjom uređaja za povrat topline pozdrumijevaju se slijedeće komponente:

- Uređaj za povrat topline otpadnog zraka (rekuperator).
- Tlačni odsisni ventilator.
- Kanalni razvod (prolaz/povrat).
- Termoizolacija kanalnog razvoda.
- Filteri.
- Upravljanje i regulacija.

Prilikom predaje dokumentacije potrebno je dokazati da minimalan stupanj povrata topline koji ovisi o vrsti rekuperatora pa shodno tome imamo minimalne povratne stupnja topline dane u tablici 6.9. Vidimo kako natječajem moraju biti osigurani neki minimalni stupnji povrata topline kako bi se mogli prijaviti na natječaj. Sustav mora biti projektiran prema odabranim rekuperatorima zraka kako bi zadovolji natječaj i osigrali financiranje samog projekta. Svaki natječaj je poseban za svaku županiju vrijedi različito.

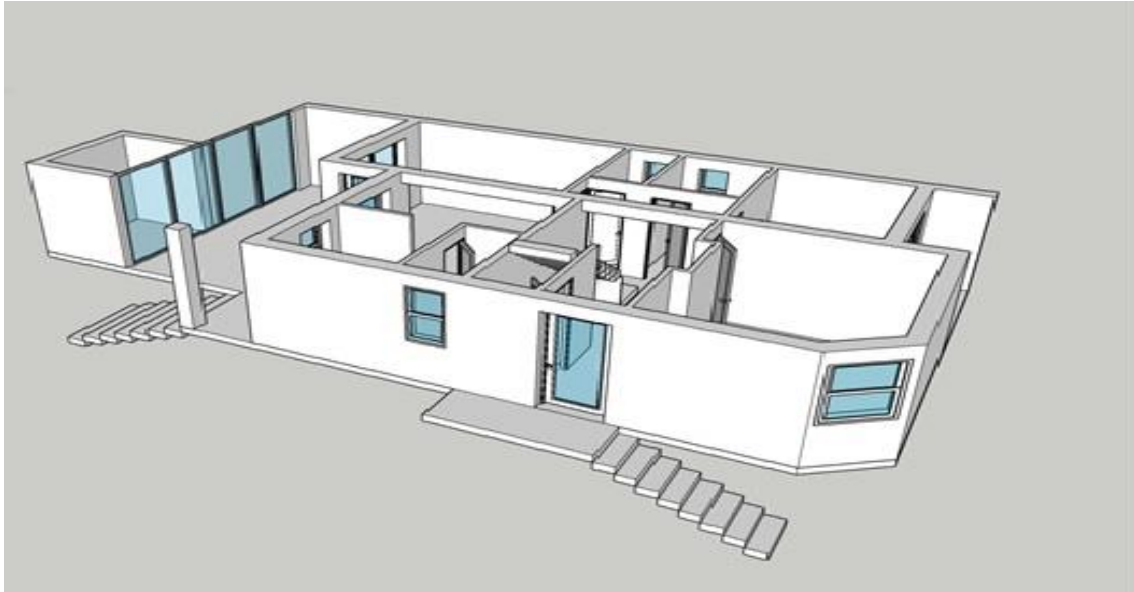
**Tablica 6.9.** Minimalan stupanj povrata topline propisan pravilnikom, [8].

<b>Uređaj za povrat topline otpadnog zraka</b>	<b>Minimalan stupanj povrata topline</b>
Unakrsni pločasti rekuperator s ravnim pločama	0,50
Protustrujni pločasti rekuperator s ravnim pločama	0,60
Protustrujni pločasti rekuperator s kanalima kvadratnog poprečnog presjeka	0,85
Rekuperator s posrednim medijem	0,50
Rekuperator s toplinskim cijevima	0,50

Visina udjela sufinanciranja ovisi o natječaju i drugačiji je za svaku županiju. Ukupni troškovi opreme i ugradnje mjera za povećanje energetske učinkovitosti bit će sufinancirani nepovratnim sredstvima u obliku Vrijednosnog bona koji postotno ovisi o natječaju. Praksa je da se subvencije iznose u rasponu između 50 % do 80 % ukupnim prihvatljivih troškova odnosno do najvećeg iznosa od 60.000,00 kn koji sufinancira Fond. Ukoliko podnositelj prijave ispuní zahtjeve koje propisuje natječaj te izvršno tijelo Provoditelja natječaja odobri projekt kreće se u realizaciju. Ovakve mjere energetske učinkovitsti uvelike olakšavaju cijeli proces financiranja ugradnje rekuperatorskog sustava za povrat otpadnog zraka. Cijela investicija se bitno smanjuje na prihvatljivi i zanemarivi rok otplate investicije u prosjeku od 10 godina.

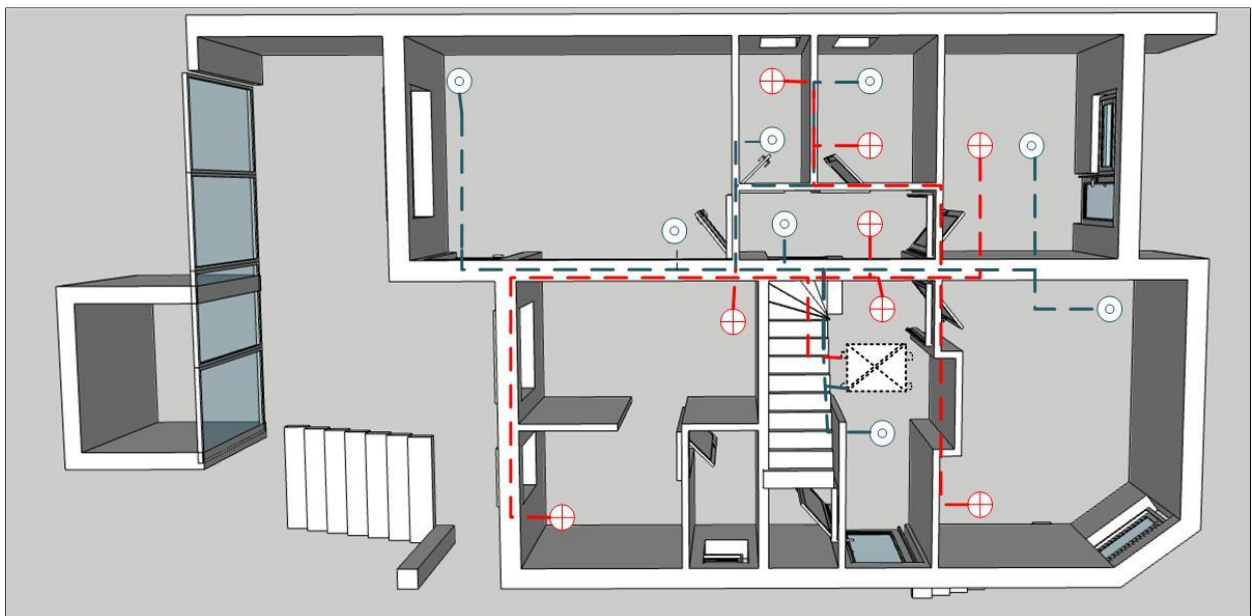
## **6.6. Ugradnja i položaj rekuperatorske jedinice**

Ugradnja i određivanje položaja rekuperatorske jedinice zahtjeva iskusan rad projektanta kao i izvođača radova kako bi cijeli sustav bio što bolje optimiziran. Posebna pozornost mora biti posvećana i odabiru položaja ostalih elemenata kako bi se smanjili energetske gubici što će u konačnici rezultirati nižim pogonskim troškovima i najvećom mogućom udobnošću za sve članove obitelji. Rekuperatorska jedinica tako je smještena u tavanskom dijelu obiteljske kuće kao izabrano najprikladnije mjesto za to. Na slikama 6.13. dan je shematski prikazi stanja implementacije rekuperatora u svakoj prostoriji označeni simbolima za odsisni i tlačni ventilator te rekuperator zraka.



**Slika 6.12.** Prikaz prizemlja 3D modela obiteljske kuće u programskom paketu ShetchUp.

U praksi se rekuperatori smještaju na mjesta gdje najmanje mogu smetati ljudima. Kanali za zrak su ravnomjerno raspoređeni po svakoj prostoriji. Sustav je rađen po principu centraliziranog sustava rekuperacije. U kuhinjskom dijelu i u prizemlju i u potkrovlju smješteni su odvodni kanali za zrak dok su u blagovaonicu smješteni kanal za dovod svježeg kondicioniranog zraka. Kako se rad bavi energetske uštedama i rekuperacijom zraka, strojarski položaj kanala za zrak, prigušnica i razdjelnika nije točno određen.



**Slika 6.13.** Shematski prikaz položaja kanala za zrak u potkrovlju zgrade za svaku prostoriju u kojoj borave ljudi.



Na slici 6.13. možemo viditi shematski prikaz kanala za zrak i položaja samog rekuperacijskog uređaja. Kako je implementacija centralnog sustava u ovom slučaju dosta zahtjevna potrebno je slučaj prepustiti iskusnim projektantima. Položaj kanala za zrak u potkrovlju zgrade je sličan pa shodno tome nije crtan. Važno je kanalima za zrak zahvatiti i tretirati svaku prostoriju pogotovo one prostorije gdje ljudi borave većinu svoga vremena kako bi se osigurali što bolji mikroklimatski uvjeti stambenog prostora.

## ZAKLJUČAK

Sama ugodnost je zapravo svijest jedne ili više osoba i osnovni zadatak svakog sustava grijanja, hlađenja, ventilacije i klimatizacije je postizanje toga ugodaja. Osnovne fiziološke potrebe u uvjetima stambenog prostora su temperatura zraka, vlažnost zraka i plinovi unutar samog stambenog objekta. Kvaliteta zraka u prostoriji određena je njegovim sastavom odnosno postojanjem raznih stvari koje ga onečišćuju te time djeluju na njegovu higijensku ispravnost. Određivanje kvalitete zraka se vrši prema pravilniku i različit je za tipove građevina. Broj izmjena zraka varira od namjene prostora u idealnim uvjetima kakvim se traže u laboratorijima ono iznosi do  $15 \text{ h}^{-1}$  što odgovara idealnim uvjetima na svježem zraku. U diplomskom radu ćemo viditi da je za konkretan primjer obiteljske kuće broj izmjena zraka varira od  $0,2 \text{ h}^{-1}$  ukoliko u njoj ne borave ljudi do  $0,5 \text{ h}^{-1}$  ukoliko u njoj imamo ljude. Broj izmjena zraka  $0,5 \text{ h}^{-1}$  uzet je sa namjerom da se pokrije prosječna izmjena zraka cijelog objekta i ako u pojedinim djelovima dana imamo vršne vrijednosti izmjena zraka npr. kada se kuha. Vršne vrijednosti traju minimalan dio dana, no kako u kući uvijek ima netko prisutan odabire se prosječan broj izmjena zraka u 24 h. Dvije temeljne podijele sustava za rekuperaciju zraka su regenerativni i rekuperativni sustavi povrata topline. Ovisno o potrebama rekuperacije i namjeni same zgrade odabiremo potreban sustav. U diplomskom radu uzet je primjer rekuperatora sa papirnatom jezgrom zbog njegove primjene u obiteljskim kućama kako i zbog mogućnosti rekuperacije zraka i u ljetnom i zimskom periodu. Energetske bilance zadanog objekta pokazuju način određivanja potrebne energije prikaz načina proračuna isporučene i primarne energije u tehničkim sustavima zgrada. Temeljem algoritma dobivamo kompletan prikaz toplinskih gubitaka i vraćene pomoćne energije

U završnom dijelu rada na konkretnom primjeru obiteljske kuće vršena je analiza, implementacija rekuperatora zraka „*Mitsubishi electric LGH-50RVX-E*“. Programski paket Thorium A+, temeljem proračuna omogućava nam potencijalne podatke o transmisijским i ventilacijskim gubicima. Ventilacijski gubici iznose 30 % i na njih možemo utjecat ovisno o stupnju djelovanja rekuperatora zraka. Transmisijski gubici u ovom slučaju nisu razmatrani. Objekat koristi plinsko grijanje i hlađenje na električnu struju pa su projektirani troškovi režija visoki te za promatreni objekt nisu realni. Razlog tome je što programski paket Thorium A+ računa sa početnom temperatorom od  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  pa u ljetnim vremenima imamo visoke troškove električne energije kako bi se održala postavljena temperatura unutar prostorije. Prema tome napravljeno je istraživanje sa korisnicima kuće o stvarinim troškovima za grijanje i hlađenje tijekom godine gdje smo vidili kako je potrošnja plina poprilično slična, dok je potrošnja električne energije znatno manja. Usprkos

tome cijena investicije penje se na rok otplate od 20 godina što uvelike dovodi u pitanje isplativost investicije sa stajališta energetske učinkovitosti. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost svake godine objavljuje natječaj i u suradnji sa lokalnim jedinicama donosi pravilnik o provedbi programa za povećanje energetske učinkovitosti sustava prozračivanja ugradnjom rekuperatora zraka. Nepovratna sredstva koja su osigurana temeljem pravilnika znaju se popeti do 80 % cijene investicije čime bi se znatno smanji otplatni rok investicije i učinio sustav rekuperacije potpuno isplativim u realnim povratnim periodima.

## LITERATURA

- [1] Branislav Todorović, „Klimatizacija drugo izdanje“, Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara, Beograd, 2005.
- [2] Raknagel-Šprenger, „Grijanje i klimatizacija sa pripremom potrošne tople vode i rashladnom tehnikom“, Beograd, 1984.
- [3] Petar Donjerković, „Osnove i regulacija sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije 2. dio“, FSB, 1996.
- [4] Priručnik za energetska certificiranje zgrada, fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, Zagreb, 2010.
- [5] Boris Labudović, „Priručnik za ventilaciju i klimatizaciju 2. izdanje“, Energetika marketing d.o.o. Zagreb, 2003.
- [6] Petar Donjerković, „Osnove i regulacija sustava grijanja ventilacije i klimatizacije 1. dio“, Alfa d.d, Zagreb, 1996.
- [7] Ramesh K.Shah – Dušan P. Sekulić, „Fundamentals of heat exchanger“, John Wiley & Sons Inc, New Jersey, 2003.
- [8] Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, Zagreb 2019; dostupno na [http://www.fzoeu.hr/hr/o\\_fondu/djelatnost\\_fonda/](http://www.fzoeu.hr/hr/o_fondu/djelatnost_fonda/) [29.1.2019.].
- [9] Hrvoje Zvonarević, „Ergonomija radnog prostora – Mirkoklima u radnom prostoru s računalima“, FER 2001.
- [10] Klimaoprema, čisti prostori po sistemu ključ u ruke katalog 2016, dostupno na <http://www.klimaoprema.hr/media/11631/Cisti-prostori.pdf> [11.6.2018.].
- [11] Josua P. Meyer, Heat exchanger lectures, University of Pretoria Department of Mechanical & Aeronautical Engineering; dostupno na <https://www.youtube.com/user/HeatTransferUP/playlists>, [10.6.2016.].
- [12] Igor Balen, „Dimenzioniranje komponenti GVIK sustava automatska regulacija“, FESB, dostupno na <https://www.fsb.unizg.hr> [14.6.2018.].
- [13] Ivan Robić, „Projektno rješenje sustava klimatizacije operacijskih dvorana diplomski rad“, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet Strojarsva i Brodogradnje, Zagreb, 2007.

- [14] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, „Pravilnik o načinu obračunavanja površine i obujma u zgrada“, dostupno na <https://www.arhitekti-hka.hr/hr/zakoni-propisi/popis/prostorno-uredenje-i-gradnja/prostorno-uredenje/>, [29.6.2018.].
- [15] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, „Studija pripremljenosti alternativnih sustava“, dostupno na <https://mgipu.gov.hr/>, [27.6.2018.].
- [16] Swat Engineering Ltd, United Kingdom 2015 – 2019, specifikacija rekuperatora, dostupno na <https://www.swatengineering.co.uk>, [23.11.2018.].
- [17] Boris Labudović, “Priručnik za ventilaciju i klimatizaciju 3. izdanje“, Energetika marketing d.o.o. Zagreb, 2015.
- [18] MC Solar d.o.o, elementi rekuperatora zraka, dostupno na [www.mcsolar.hr/rekuperacija-zraka.php](http://www.mcsolar.hr/rekuperacija-zraka.php), [20.11.2018.].
- [19] Heat recovery ventilation guide for houses, dostupno na [rdh.com/wp-content/uploads.pdf](http://rdh.com/wp-content/uploads.pdf), [20.11.2018.].
- [20] Lunos sistemi d.o.o, specifikacija lunos proizvoda, dostupno na [www.lunos.hr](http://www.lunos.hr), [28.11.2018.].
- [21] Mitsubishi electric corporation, RX5 series catalog, dostupno na <http://www.veka-ing.com/>, [28.11.2018.].
- [23] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, „Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prema HRN EN ISO 13790“, dostupno na <https://mgipu.gov.hr/doc/EnergetskaUcinkovitost> [25.10.2018.].

## **SAŽETAK**

U diplomskom radu obrađeni su osnovni klimatski uvjeti stambenog prostora. Osjećaj ugone i higijenski uvjeti unutar prostora kao i parametri koji čine boravak ljudi u nekom prostoru ugodnim. Obrađeni su svi sustavi regeneracije i rekuperacije zraka. Obrađeni su i algoritmi koji se nalaze u pozadini programskog paketa Thorium A+ s pomoću kojeg smo odredili ukupne transmisijske i ventilacijske gubitke na promatranom objektu. U zadnjem dijelu rada na konkretnom primjeru je implementiran rekuperator zraka sa kojim ostvarujemo energetska uštedu što predstavlja ujedno i temu diplomskog rada.

**Ključne riječi:** Rekuperator zraka, energetska učinkovitost, klimatizacija stambenog prostora, sustavi povrata topline, toplinski gubici, Thorium A+

## **ABSTRACT**

Basic climatic conditions of residential area are described in this paper work. A sense of comfort and hygienic conditions inside the residential area make people stay in some environment for most of the day. All types of regeneration and recuperation heat exchanger are study in this work. The algorithms found in the background of the Thorium A + software package were also used to determine total transmission and ventilation losses on the observed object. In the last part of the paper, we implemented a heat exchanger which we achieve energy savings, which is also the topic of paper work.

**Key words:** Heat exchanger, energy saving, air condition, heat losses, heat recovery system

## ŽIVOTOPIS

Marko Barišić rođen je u Vinkovcima. Pohađao je Osnovnu školu "Zrinski" u Nuštru koju završava 2005.godine. Tehničku školu u Vinkovcima završio je 2009.godine. Preddiplomski stručni studij na Fakultetu Elektrotehnike i Računarstva, smjer Elektrotehnika upisuje 2012. godine te se na drugoj godini opredjelio za smjer Elektroenergetika. Preddiplomski stručni studij završava 2015.godine s temom završnog rada "Sustavi za pročišćavanje komunalnih i industrijskih otpadnih voda". Iste godine upisuje razlikovne obveze koje završava u roku i 2017. godine upisuje diplomski studij na Fakultetu Elektrotehnike, Računarstva i Informatičkih Tehnologija u Osijeku, smjer Održiva elektroenergetika.

U Osijeku, 8.3.2019.

Marko Barišić

---

(Vlastoručni potpis)