

# Rekuperatori zraka

---

**Stanić, Mia**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*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:200:044715>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-23**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

## **REKUPERATORI ZRAKA**

**Završni rad**

**Mia Stanić**

**Osijek, 2018.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 18.09.2018.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Mia Stanić
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	4106, 25.09.2017.
<b>OIB studenta:</b>	99709437712
<b>Mentor:</b>	Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Rekuperatori zraka
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Predložena ocjena završnog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	18.09.2018.
<b>Datum potvrde ocjene Odbora:</b>	26.09.2018.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTIRADA**

Osijek, 26.09.2018.

**Ime i prezime studenta:**

Mia Stanić

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

4106, 25.09.2017.

**Ephorus podudaranje [%]:**

13

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Rekuperatori zraka**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
2. OSNOVE KLIMATIZACIJE .....	2
2.1. Ugodnost čovjeka i potrebne izmjene zraka.....	2
2.2. Ventilacija.....	4
2.3. Rekuperacija topline .....	6
3. SUSTAVI VENTILACIJE SA REKUPERACIJOM TOPLINE.....	8
3.1. Izmjenjivači topline .....	10
3.1.1. Prema načinu izmjene topline .....	10
3.1.2. Prema protjecanju fluida kroz uređaj .....	11
3.1.3. Izmjenjivači topline u sustavima za rekuperaciju zraka.....	14
3.2. Ostale komponente sustava .....	18
3.3. Instalacija sustava za rekuperaciju zraka.....	21
3.3.1. Centralizirani sustav rekuperacije .....	21
3.3.2. Decentralizirani sustav rekuperacije (mini rekuperatori zraka) .....	24
4. ANALIZA ISPLATIVOSTI INSTALACIJE REKUPERATORA NA PRAKTIČNOM PRIMJERU.....	28
5. ZAKLJUČAK .....	33
LITERATURA.....	34
SAŽETAK.....	36
ABSTRACT .....	36
ŽIVOTOPIS .....	37
PRILOZI.....	38

# 1. UVOD

Sve veći zahtjevi društva za povećanom potrošnjom energije u svrhu održavanja progresivnog gospodarskog razvoja i višeg životnog standarda ljudi, iziskuju izraženiju zabrinutost i potrebu za očuvanjem okoliša, fokusirajući se prvenstveno na smanjenje emisije štetnih plinova, pa prema tome i smanjenje potrošnje energije. Zbog sve većeg zanimanja za dobrobit i ljudsku udobnost, koja je usko povezana sa iskorištavanjem energije, potrebno je pristupiti sa rješenjima koja su energetske učinkovita. Zgrade, kao jedan od glavnih sektora po pitanju potrošnje energije, prema posljednjem izvješću Europske komisije zaslužne su za potrošnju 40% ukupne energije, što odgovara 36% ukupne količine emisije CO<sub>2</sub>, [12]. Od toga, značajan dio odlazi na sustave za ventilaciju, grijanje i hlađenje (engl. *Heating, ventilation and air-conditioning* - „HVAC“). Glavna zadaća ventilacije u zgradama jest konstantno izmjenjivanje onečišćenog zraka iz prostorijasvježim zrakom iz slobodne atmosfere radi održavanja higijenske klime potrebne za zdrav i udoban boravak. Nedostatak kod tipičnih sustava ventilacije jest to, što se u prostorije ubacuje zrak koji nije prethodno “pripremljen”, tj. zagrijan ili ohlađen na željenu temperaturu radi komfora, a izbacuje se već kondicionirani zrak.

Jedan od načina za smanjenje potrošnje električne energije jest ugradnja jedinice za rekuperaciju topline, odnosno rekuperatora zraka. Na ovaj način, zagrijani ustajali zrak, koji bi se zimi inače samo izbacio iz prostorija van, svoju toplinu prenosi na hladni svježi zrak koji ulazi, dok ljeti ohlađeni zrak iz prostorije, izlazeći hladi zrak koji se ubacuje u prostorije. Kao rezultat, potrošnja energije za potrebe grijanja ili hlađenja je značajno manja, dok je istovremeno ljudima u prostorijama omogućen maksimalni komfort zbog uravnotežene ventilacije.

## 1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak rada je objasniti osnove klimatizacije i rekuperacije zraka u prostoru. Potrebno je napraviti i poseban osvrt na princip rada rekuperatora zraka i energetske uštede korištenja istog. Prikazati primjenu na konkretnom primjeru.

## 2. OSNOVE KLIMATIZACIJE

Zahvaljujući rastućoj urbanizaciji i industrijalizaciji društva, sve više ljudi provodi veći dio svog života u zatvorenom prostoru. Većina ljudi u suvremenom industrijskom društvu provodi 20-24 sata u umjetnoj klimi – u stanovima, na radnim mjestima ili u prijevozu automobilima, vlakom, avionom itd.,[1]. Zbog toga je, u skladu s ovim razvojem, prirodno sve veće razumjevanje i zanimanje za proučavanje utjecaja unutrašnje klime na čovjeka. U svakoj prostoriji u kojoj ljudi borave, trebaju vladati ugodni uvjeti.

Zrak, koji je kemijski gledano mješavina različitih postojanih plinova, okružuje Zemlju sa svih strana i na čovjeka djeluje putem udisanja, dovodi kisik organizmu, a odvodi nastali ugljikov dioksid. Budući da ljudi u prosjeku provode 90% vremena u zatvorenim prostorijama, čistoća zraka je ključna za optimalno zdravlje, [1]. Važne su dvije stvari u vezi sobnog zraka. Prva, zrak treba biti svjež i ugodan, a ne ustajao i zagušljiv. Druga, zrak ne bi smio predstavljati rizik za zdravlje.

### 2.1. Ugodnost čovjeka i potrebne izmjene zraka

Iako se čovjek može prilagoditi promjenjivom stanju vanjskog zraka, ipak postoji jedna oblast, tj. oblast ugodnosti u kojoj se osjeća najbolje. Ugodna klima u prostorijama nužan je uvjet za očuvanje zdravlja i punu radnu sposobnost, u protivnom, ako nisu ispunjeni uvjeti za stvaranje ugodne klime, čovjek osjeća neudobnost koja počinje sa najobičnijim osjećajem dosade pa sve do osjećaja mučnine. Osnovni faktori koji određuju ugodnost su:

- Temperatura zraka – zimi bi trebala biti između 18°C i 22°C, a ljeti od 22°C do 26°C ,jer je preporučljivo da razlika temperature vanjskog zraka i prostorije ne bude prevelika,
- Vlažnost zraka – idealne vrijednosti su između 35% i 65%, budući da previše suh zrak, koji lako nastaje zimi u zagrijanim prostorima, nadražuje sluznicu i isušuje dišne putove, izaziva kašalj i osjećaj žeđi, te oštećuje i isušuje namještaj, koji dalje stvara prašinu; dok previše vlažan zrak ometa odavanje tjelesne topline i dovodi do osjećaja umora,
- Temperatura okolnih površina u prostoriji- odstupanja srednje temperature elemenata kao što su zid, strop, pod, trebaju biti u granicama od 2°C – 3 °C.

Valja spomenuti i sljedeće faktore koji utječu na ugodnost čovjeka: strujanje zraka (propuh)-u zatvorenim prostorima, svaka vrsta strujanja zraka je neugodna, te odjeća i tjelesna aktivnost (proizvodnja unutrašnje topline u tijelu).

Budući da je ljudsko tijelo izvor topline, odavanje topline ovisi u velikoj mjeri o funkciji koju čovjek vrši i ostvaruje se na četiri načina: radijacijom – u normalnim prilikama, čovjek pri mirovanju zračenjem odaje polovicu svoje topline; konvekcijom – ovisi o temperaturi kože i zraka i brzini kretanja zraka; kondukcijom – preko predmeta s kojima je u direktnom dodiru (hladan pod, namještaj), te isparavanjem – ovisno o naporu čovjeka, ali i vlažnosti i temperaturi, može dostići vrijednost od 95% cjelokupnog gubitka topline; pri normalnim prilikama iznosi 19%, [1].

Čovjek je glavni zagađivač zraka u prostorijama, gdje osim odavanja topline svog tijela prilikom čega stvara vodenu paru uslijed disanja i znojenja te pridonosi stvaranju neugodnih mirisa, proizvodi ugljikov dioksid smanjujući kisik, zrak također zagađuje pušenjem i obavljanjem različitih drugih aktivnosti unutar prostorija, najviše svakodnevnim kućanskim poslovima. Zrak se također zagađuje uslijed onečišćenja izvana ili kontaminacijom s bakterijama i virusima. Dakle, u zatvorenim prostorijama potrebno je za svaku osobu nadoknađivati određenu najmanju količinu zraka, koja treba biti znatno veća od količine potrebne za osnovnu nadoknadu kisikom. Dvije karakteristične veličine u tehnici ventilacije su:

- volumen svježeg zraka u jedinici vremena po jednoj osobi  $Q$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}/\text{osoba}$ ],
- broj izmjena zraka u jednom satu  $n$  [ $\text{h}^{-1}$ ].

Za prvu veličinu, određeno je da se za jednog čovjeka u prostoriji treba osigurati količina svježeg zraka najmanje 30 [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}/\text{osoba}$ ], ukoliko se u prostoriji puši, ta količina iznosi i do 40 [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}/\text{osoba}$ ] ili više.

Druga veličina pak određuje najmanji broj izmjene svježeg zraka u jednome satu u prostoriji, ovisno o funkciji prostorije.

**Tabela 1** Najmanji broj potrebnih izmjena zraka u jedinici vremena ovisno o vrsti i visini prostorije [2]

Vrsta prostorije	Broj potrebnih izmjena zraka u satu ovisno o visini prostorije [ $\text{h}^{-1}$ ]			
	3,0 m	2,8 m	2,6 m	2,4 m
Pojedinačne garaže	3	5	5	6
Kuhinje (za vrijeme kuhanja)	15	25	30	30
Kupaonice	4	7	8	8
Spremišta za namirnice	10	20	25	30
Praonice rublja	5	9	12	15
Sobe za rad i boravak	3	4	4	5
Spavaonice	3	4	5	6
Stubišta	4	6	7	8
Toaleti	4	5	7	9



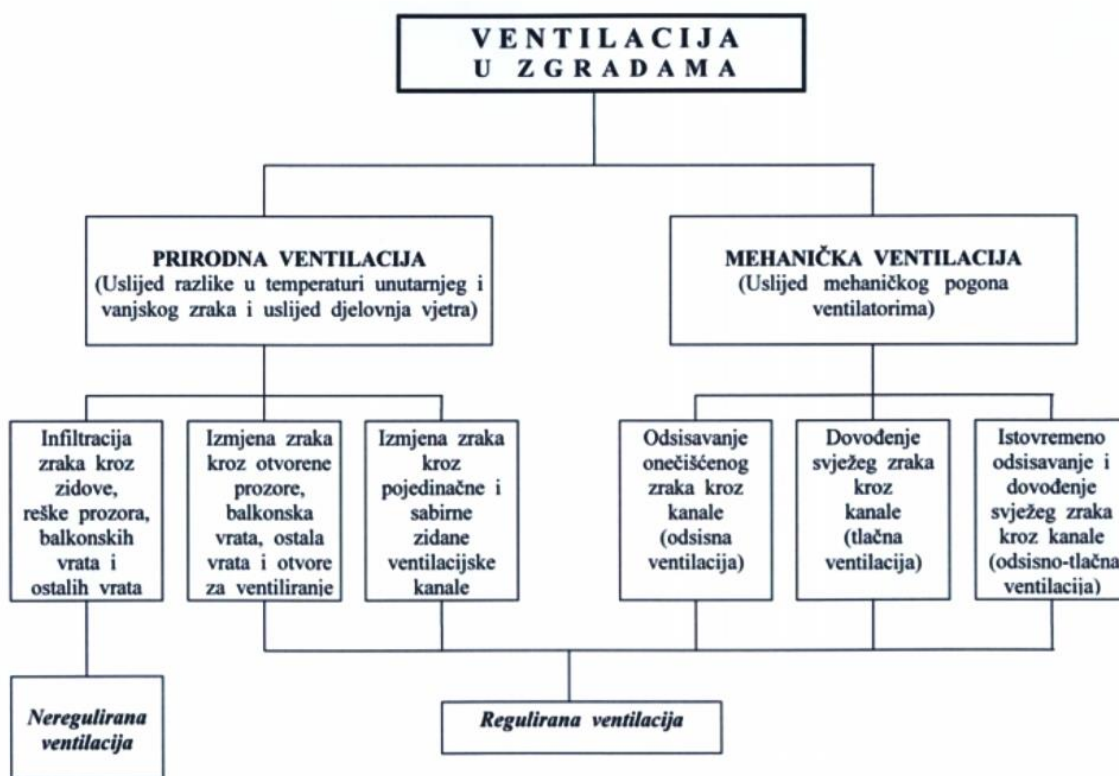
## 2.2. Ventilacija

Stalna izmjena zraka, točnije, zamjena onečišćenog zraka iz prostorija onim svježim iz slobodne atmosfere, izvršava se putem ventilacije. Zadaća ventilacije je, dakle, dovesti svježi, po potrebi kondicionirani zrak, i osigurati optimalne uvjete ljudima koji borave u zatvorenim prostorijama.

Bitni zahtjevi su da ventilacija ostvari najmanju potrebnu izmjenu zraka, ali isto tako i da značajno ne prekorači potreban iznos za izmjenu zraka, kako ne bi došlo do gubitaka u procesu grijanja prostorija, te da onečišćeni zrak odvodi isključivo u atmosferu, a nikako u susjedne prostorije.

Ventilaciju se u zgradama može podijeliti na:

- Prirodnu ventilaciju
- Mehaničku ventilaciju (Sl.2.1.).



**Slika 2.1** Shematski prikaz ventilacije u zgradama prema načinu izmjene zraka [3]

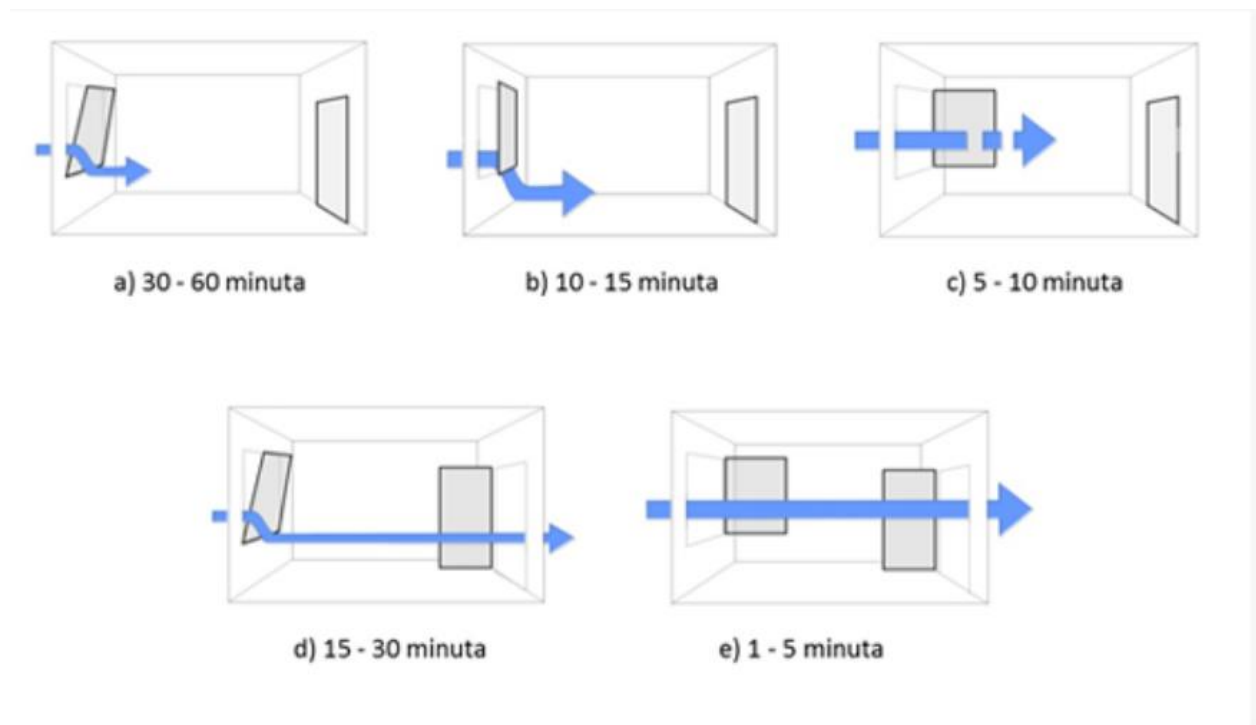
Prirodna ventilacija jest ona kod koje se ne koriste mehanički ili drugi slični uređaji, a gdje se izmjena zraka odvija zbog razlike u tlakovima i naleta vjetra. Klimatski utjecaji koji određuju djelotvornost ventilacije su: razlika u temperaturama vanjskog i unutarnjeg zraka, brzina i smjer vjetra. Najčešći i najintenzivniji način prirodne ventilacije jest otvaranjem prozora i balkonskih

vrata, a moguće je postići određeni broj izmjena zraka u satu. U tabeli 2. prikazan je broj izmjena zraka postignut pri različitim položajima krila prozora.

**Tabela 2** Broj izmjena zraka pri prirodnoj ventilaciji kroz prozore i vrata [4]

Položaj krila vanjskih prozora i vrata	Broj izmjena zraka u satu ( $h^{-1}$ )
Prozor zatvoren, vrata zatvorena	0 – 0,5
Prozor otvoren, rolete drvene spuštene	0,3 – 1,5
Prozor otklopljen bez roleta	0,8 – 4,0
Prozor poluotvoren	5 – 10
Prozor potpuno otvoren	9 – 15
Prozor i vrata potpuno otvoreni (poprečno provjetravanje)	Približno 40

Na slici 2.2 prikazani su primjeri potrebnog vremena da se zrak u potpunosti izmjeni pri različitim položajima i otvorenosti prozora i vrata:



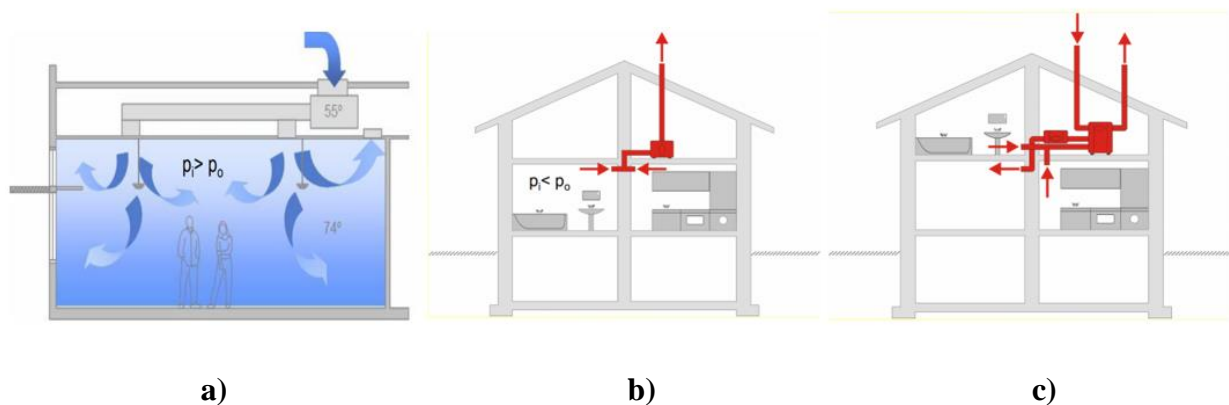
**Slika 2.2** Prirodna ventilacija otvaranjem prozora i vrata [5]

Mehanička ili prisilna ventilacija omogućuje prisilnu izmjenu zraka u zatvorenim prostorijama uslijed rada ventilatora, tj. kroz okomite kanale uz pomoć mehaničkog (motornog) pogona.

Prednosti takve ventilacije su da ne ovisi o vremenskim uvjetima, dostupan je velik izbor opreme, moguće reguliranje rada i jednostavniji proces pri projektiranju sustava.

Prisilnu ventilaciju moguće je izvesti na tri načina (Sl. 2.1. i sl. 2.3.):

1. Tlačna ventilacija – vanjski zrak se ubacuje u prostorije koje se ventiliraju, najčešće su to sobe, učionice itd.; prostor se drži u pretlaku;
2. Odsisna ventilacija – zrak iz prostorije se isisava pomoću ventilatora koji ga izbacuje van; prostorija je u podtlaku, najčešće su to kuhinje, kupaonice itd.;
3. Tlačna i odsisna ventilacija – istovremeno se u prostorije unosi svjež zrak, a izbacuje otpadni; pogodno za komfornu i industrijsku ventilaciju.



**Slika 2.3** Tri izvedbe prisilne ventilacije: [6]

a) Tlačna ventilacija- unutarnji tlak viši od vanjskog

b) Odsisna ventilacija- unutarnji tlak niži od vanjskog

c) Tlačna i odsisna ventilacija – unutarnji tlak može biti viši, niži ili jednak vanjskom tlaku; ukoliko je protok tlaka i odsisa jednak, riječ je o balansiranom ili uravnoteženom sustavu

Od navedene tri izvedbe prisilne (mehaničke) ventilacije, u sustavima sa rekuperacijom zraka, o kojima će biti riječ u narednim poglavljima, primjenjuje se tlačna i odsisna ventilacija.

### 2.3. Rekuperacija topline

Svako kućanstvo nastoji održati postojeću toplinu unutar prostorija ili zgrada u zimsko doba, pa se izbjegava dugotrajno i nepotrebno držanje otvorenih vrata i prozora– s druge strane, ljeti ne otvarajući prozore, nastoji se uštediti na klimatiziranju i ostaviti nepoželjnu toplinu van zgrade. Kako dakle, imati hermetički zatvorenu odnosno zrakonepropusnu, energetske učinkovitu kuću, koja je opet dobro ventilirana i sigurna za zdravlje? Rješenje je u sustavu ventilacije sa povratom topline, tj. s rekuperacijom topline, koji opskrbljuje prostorije svježim zrakom, dok pri tom ne izbacuje toplinu.

Zahvaljujući sve boljoj toplinskoj izolaciji, moderne kuće su sve češće vrlo energetske učinkovite, daleko iznad tehničkih standarda u usporedbi sa građevinama starijim nekoliko

desetaka godina. Ključna stvar u poboljšanju učinkovitosti jest učiniti građevine hermetički zatvorenima kako bi toplinu zadržavale duže. S aspekta zdravlja, problem je i što u prostorijama u kojima se boravi zrak se treba redovito izmjenjivati po zahtjevima opisanim u poglavlju 2.1., u kojem je također spomenuto kako svakodnevne aktivnosti u kući kao što su kupanje i tuširanje, pranje posuđa, pranje i sušenje rublja unutar kuće i slično, pa čak i najobičnije disanje stvaraju iznimno visok udio vlage u kućama, što dalje vodi k stvaranju plijesni, gljivica, grinja i povećanom riziku od astme.

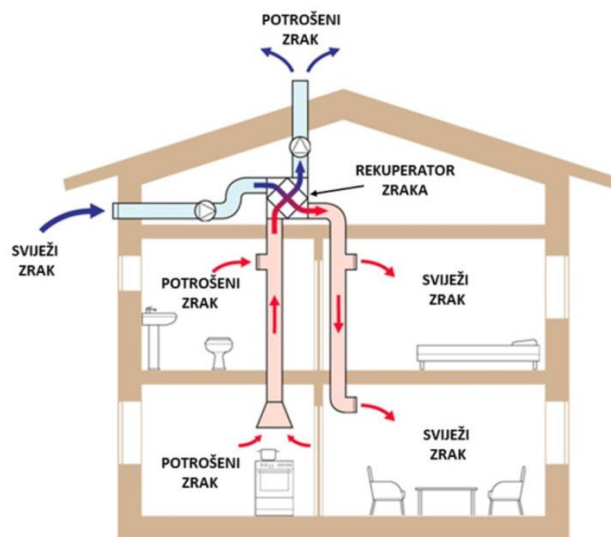
Iako se na prvu čini kao rješenje za izbacivanje vlage i unos svježeg zraka, prirodnom ventilacijom (otvaranjem prozora i vrata) izbacujući toplinu u zimskim danima, prekoračuje se gospodarski opravdana količina topline u procesu grijanja prostorija zgrade, odnosno hlađenja u ljetnim razdobljima. Pored troškova, prirodna ventilacija zimi nije preporučljiva niti iz razloga što je hladan zrak štetan za zdravlje ljudi, osobito onih koji se nalaze blizu prozora, dok u ljetnom (toplom) razdoblju često bude i neučinkovita. Da se zaključiti, da je zbog ovih nedostataka prirodna ventilacija nesigurnija i neujednačena, osobito iz razloga što klimatski faktori o kojima ovisi (razlika u temperaturi, brzina i smjer strujanja) variraju vremenski i intenzitetom. U usporedbi s tim, mehanička ventilacija omogućuje održavanje povoljnih klimatskih uvjeta u prostorijama, neovisno o vanjskim faktorima, opskrbljujući zgrade određenom količinom zraka (regulacija), uz mogućnost kondicioniranja posebnim uređajima (pročišćavanje, hlađenje, grijanje, vlaženje).

Stara trošna kuća izložena nereguliranoj ventilaciji putem infiltracije zraka kroz zidove, rešetke prozora i balkonskih vrata (Sl. 2.1.), uspješno bi riješila problem izmjenjivanja zraka, ali ne i zadržavanja topline; moderna energetske učinkovita kuća pak ne bi imala problema sa pretjeranim strujanjem zraka, tj. propuhom, ali bi svakako bila zagušljiva i nedovoljno ventilirana.

Najjednostavniji primjer za rješenje problema poput ovog nalazi se u prirodi, točnije u ljudskom organizmu. Kao i prostorije u kojima se boravi, ljudsko tijelo treba redovan unos svježeg zraka, dok se unutar stvara vlažni, otpadni zrak kojeg treba izbaciti van. Sve se to odvija uz pomoć ljudskog nosa, koji radi na principu izmjenjivača topline - naime, prilikom disanja topli zrak koji izlazi zagrijava nazalni prolaz, a hladni zrak koji se udiše odlazeći prema plućima preuzima tu toplinu. Detaljnije o izmjenjivačima topline u poglavlju 3.1.

### 3. SUSTAVI VENTILACIJE SA REKUPERACIJOM TOPLINE

U principu, sustavi s rekuperacijom topline su poput „noseva“ na zgradi: sastoje se od dvije cijevi za ventilaciju, ulazna i izlazna grana jedna pored druge, koje provode zrak između unutrašnjosti i van zgrade. Dok jedna cijev dovodi hladni, svježi zrak unutra, druga izbacuje ustajali, vlažni zrak. Centralna jedinica ovakvog sustava je izmjenjivač topline, uređaj koji omogućuje da izlazni zrak preda većinu svoje topline zraku koji ulazi, bez da se dvije struje zraka mješaju.



**Slika 3.1** Sustav ventilacije sa rekuperatorom u stambenoj kući [5]

„Sustavi za rekuperaciju toplote mogu se podijeliti prema oblastima korištenja na sljedeće:

- sustavi za zgrade iz oblasti ugodnosti (ustanove, škole, bolnice, hoteli, robne kuće, stambene zgrade i sl.)
- Sustavi za industrijske zgrade (proizvodne sale i radionice u raznim industrijskim granama, npr. u automobilskoj elektronskoj, farmaceutskoj industriji i sl.)
- Sustavi procesne tehnike ( sustavi za lakiranje, sušenje, odsisavanje i sl.)“ [10]

Rekuperacija topline u ovom radu, odnosi se na oblast ugodnosti u kućama i stambenim zgradama.

Kod sustava sa povratom topline zrak-zrak (postoji i sustav zrak-tekućina), postoje dva načina za povrat energije:

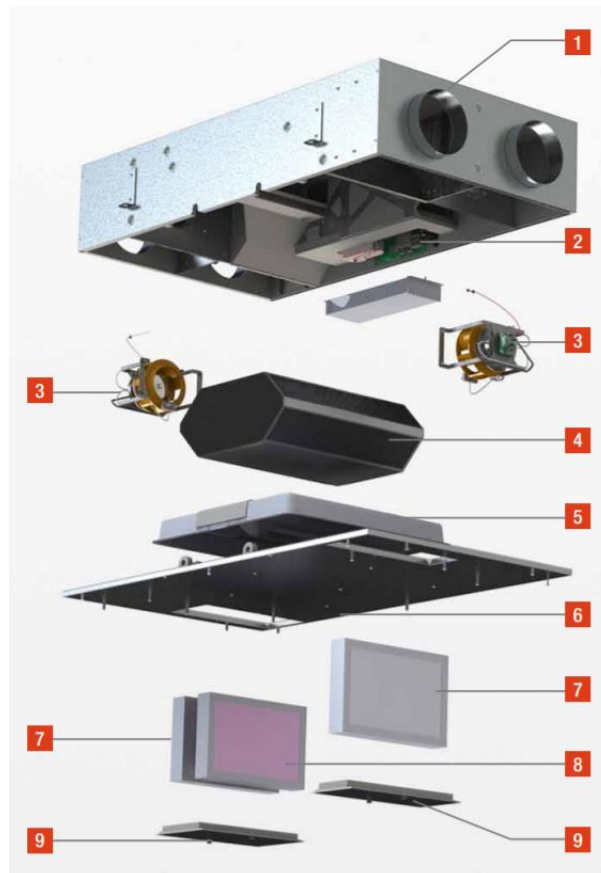
- „Erv“ (Energy recovery ventilation)- povrat osjetne (temperatura) i latentne (vlaga) topline;

- „Hrv“ (Heat recovery ventilation) – povrat samo osjetne topline, odnosno, bez prijenosa vlage.

Rekuperator se sastoji od sljedećih elemenata (Sl. 3.2.):

1. Hermetički izolirano kućište
2. Regulacija
3. Ventilatori
4. Izmjenjivač topline
5. Ploča za skupljanje vlage
6. Vanjske rešetke za usis i odsis zraka
7. Filteri (G4)
8. Filteri (F7)
9. Otvor za filtere.

Ostale bitne komponente sustava za rekuperaciju su još i kanali za zrak, distributeri, upravljačka jedinica, prigušivač buke.



**Slika 3.2** *Komponente rekuperatora [17]*

### 3.1. Izmjenjivači topline

Izmjenjivači topline su uređaji čija je osnovna namjena izmjena toplinske energije između dva ili više fluida, koji se pri tome zagrijavaju ili ohlađuju jedno drugim.

Imaju široku primjenu u velikom broju industrijskih postrojenja, za centralno grijanje (bojleri, radijatori, kaloriferi), u postrojenjima za rashladnu tehniku (isparivači, kondenzatori). U kemijskoj i prehrambenoj industriji služe kao zagrijači, kondenzatori, kristalizatori, zatim u proizvodnji električne energije, klimatizaciji, rekuperaciji topline itd. U ovom radu primjenjuju se u rekuperaciji topline.

Izmjenjivači topline se mogu klasificirati na više načina. Dvije osnovne podjele su:

- a) Prema načinu izmjene topline,
- b) Prema protjecanju fluida kroz aparat.

#### 3.1.1. Prema načinu izmjene topline

##### **Direktni kontakt fluida**

Kod ovakvih tipova uređaja toplina se izmjenjuje direktnim kontaktom fluida, koji se nakon razmjene mogu relativno lako razdvojiti. U praksi se najčešće ovim načinom obavlja izmjena između plina i tekućine, a široku primjenu imaju pri hlađenju povratne tople vode hladnim zrakom u parnim termoelektranama.

##### **Indirektni kontakt fluida**

Kod ovih izmjenjivača topline, toplina se prvo razmjenjuje između toplijeg fluida i (nepropustljive) površine za toplinsku izmjenu, a zatim između površine za toplinsku izmjenu i hladnijeg fluida. Takvi izmjenjivači su:

- rekuperatori
- regeneratori
- izmjenjivači topline sa fluidiziranim slojem.

**Rekuperatori** su najzastupljeniji u industriji od ovih izmjenjivača topline. Dva fluida simultano stacionarno struje, razdvojeni tankim zidom (najčešće metalni zid cijevi ili metalna ploča), i razmjenu topline ostvaraju prolaženjem topline, koje uključuje prelaženje topline sa toplijeg fluida na zid (tj. površinu za prijenos topline), provođenje topline kroz zid i u konačnici prelaženje topline sa zida na hladniji fluid. Po svojoj konstrukciji, rekuperatori mogu biti cijevni

– od kojih su najvažniji uređaji sa cijevnim snopom i omotačem (engl. *Shell-and-tube*), pločasti (engl. *plate*) i sa istaknutim (orebrenim) površinama.

**Regeneratori** rade na principu, da se dva fluida koji razmjenjuju toplinu, kreću stacionarno, ali ne istovremeno kao kod rekuperatora, nego naizmjenično kroz isti prostor (tj. preko površine za toplotnu razmjenu). To znači da se toplina toplijeg fluida prenosi na površinu za izmjenu topline i tu akumulira. Kada se hladniji fluid kreće istim putem, zagrijava se uslijed oslobađanja akumulirane topline sa zida. Po svojoj konstrukciji mogu biti rotacijski (engl. *rotary wheel*) i nepokretni.

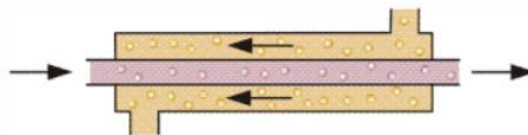
### 3.1.2. Prema protjecanju fluida kroz uređaj

Fluidi u izmjenjivačima topline mogu strujati na dva načina:

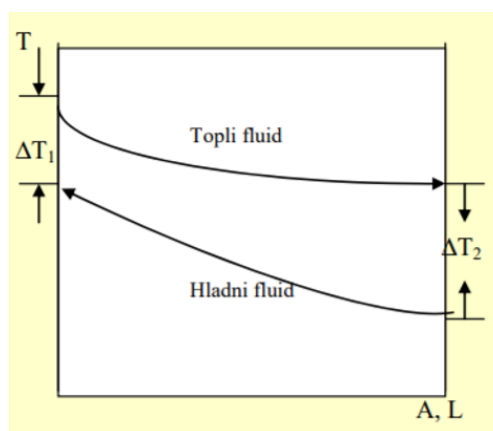
- sa jednim prolazom i
- sa više prolaza.

Kod izmjenjivača topline sa **jednim** prolazom fluida tok može biti:

#### a) protustrujni ili suprotni (engl. *counter flow*)



Slika 3.3 Shematski prikaz protustrujnog toka fluida [8]

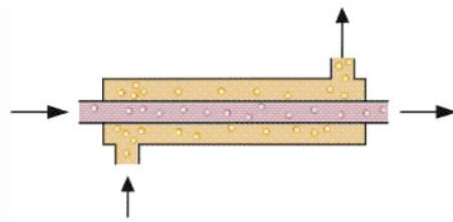


Slika 3.4 Promjena temperature s površinom ili duljinom izmjenjivača pri protustrujnom toku [7]

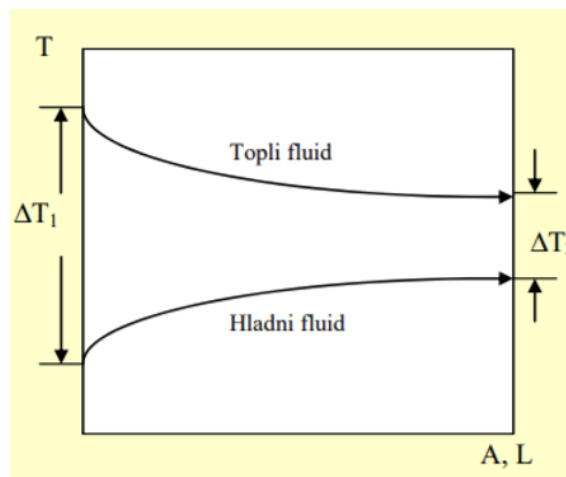


Kod ovih izmjenjivača, dvije struje fluida su paralelne, ali suprotnog smjera; jedan fluid protječe kroz unutrašnju cijev, a drugi kroz anularni prostor. Ovi su izmjenjivači termodinamički efikasniji od uređaja sa istosmjernim i unakrsnim tokom, omogućavaju najbolje iskorištenje temperaturne razlike za izmjenu topline i u njima je moguće ostvariti najveće promjene temperatura svakog od fluida.

**b) istosmjerni ili paralelni (engl. *parallel flow*)**



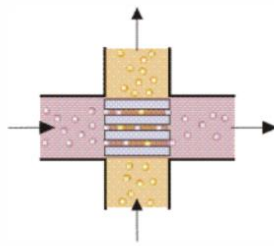
**Slika 3.5** Shematski prikaz istosmjernog toka fluida [8]



**Slika 3.6** Promjena temperature s površinom ili duljinom izmjenjivača pri istosmjernom toku [7]

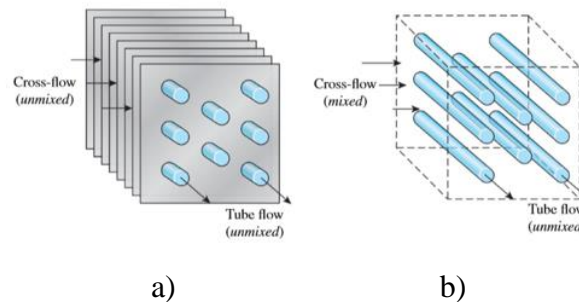
Kod izmjenjivača topline sa istosmjernim tokom, struje fluida su paralelne i istog su smjera (Sl.3.5), te ovakvi uređaji nisu efikasni u slučajevima kada dolazi do većih promjena temperatura fluida.

**c) unakrsni ili križni (engl. *Cross-flow*)**



**Slika 3.7** Shematski prikaz križnog toka fluida [8]

U ovom slučaju dvije struje fluida su pod pravim kutom (jedna u odnosu na drugu), kako je to prikazano na slici 3.6. Pri tome su moguća tri slučaja: prvo, ne dolazi do mješanja u pojedinim strujama fluida, zatim drugo -dolazi do mješanja u jednoj struji fluida, te treće - dolazi do mješanja u obje struje fluida (ovaj slučaj se u praksi rijetko susreće).

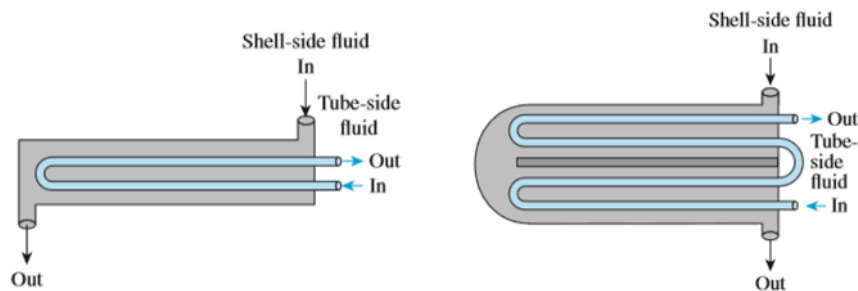


**Slika 3.8** Različite konfiguracije tokova u unakrsnim izmjenjivačima:  
*a) bez mješanja u obje struje fluida*  
*b) sa mješanjem u jednoj struji fluida (oko snopa cijevi) [9]*

Efikasnost ovakvih izmjenjivača je između efikasnosti uređaja sa protustrujnim i sa istostrujnim tokom, a široku primjenu imaju kod kompaktnih izmjenjivača topline.

Izmjenjivači topline sa **više** prolaza fluida (jednog ili oba) koriste se da bi se ostvarila što veća razmjena topline u što moguće manjem izmjenjivaču. Tokovi kroz takav uređaj mogu biti:

- a) unakrsno-protustrujni,
- b) istosmjerno-protustrujni,
- c) Istosmjerno-unakrsni.



**Slika 3.9** Primjeri izmjenjivača (Shell-and-tube) sa više prolaza fluida; prvi broj označava broj prolaza kroz plašt izmjenjivača, a drugi broj prolaza kroz cijevi,  
 a) Izmjenjivač TIP 1:2  
 b) Izmjenjivač TIP 2:4.

### 3.1.3. Izmjenjivači topline u sustavima za rekuperaciju zraka

Nakon klasifikacije izmjenjivača topline, potrebno je odabrati odgovarajuće izmjenjivače za ventilacijski sustav sa povratom topline, uzimajući u obzir da postoje dva načina za povrat energije: osjetne i ukupne (osjetne i latentne).

#### Prijenos osjetne topline (HRV)

U uređajima koji vraćaju samo osjetnu toplinu, jedina veličina koja se izmjenjuje između tokova zraka jest temperatura. Zbog tog svojstva, koriste se u područjima gdje nije velika potreba za izmjenom vlage.

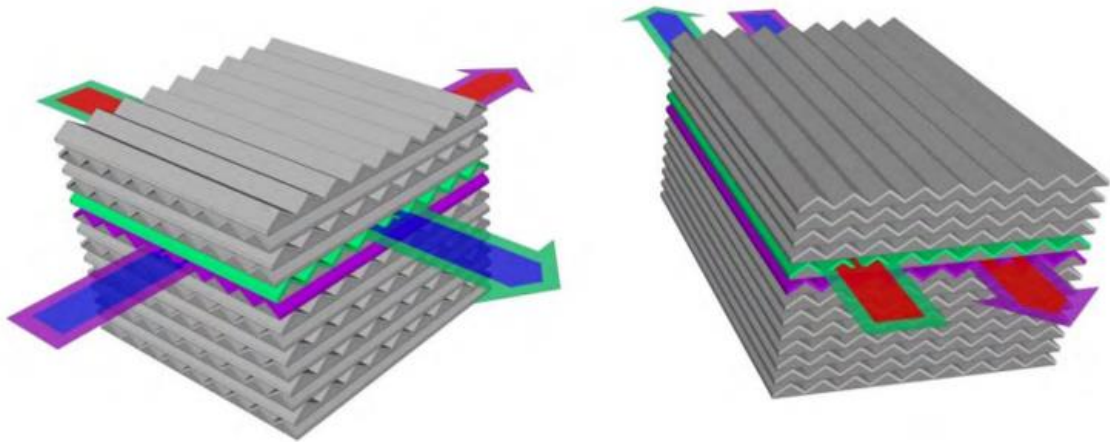
#### PLOČASTI IZMJENJIVAČ

Ovaj tip izmjenjivača, pozicioniran je između dovodnog i odvodnog protoka zraka, od kojih oba prolaze kroz njega, pritom ne mješajući se. Koristi se ponajviše zbog visoke mogućnosti izmjenjivanja topline, učinkovitosti između 50% i 80% za osjetnu toplinu, [13].

Ne koristi se za prijenos latentne topline jer su oba toka zraka potpuno odvojena, bez obzira na mogućnost prijenosa vlage zbog kondenzacije (vlaga koja se stvori kada temperatura tople struje zraka padne ispod temperature kondenzacije). Izgrađen je od serije paralelnih ploča koje razdvajaju tokove ulaznog i izlaznog zraka. Materijali od kojih se ploče najčešće izvode razlikuju se od polipropilena, aluminijske (eventualno prevučene plastikom), nehrđajućeg čelika do plastike, te značajno utječu na svojstva izmjenjivača. Debljine ploča između kojih struji zrak je do 1 mm, a razmak među njima je 5 do 10 mm, [15].

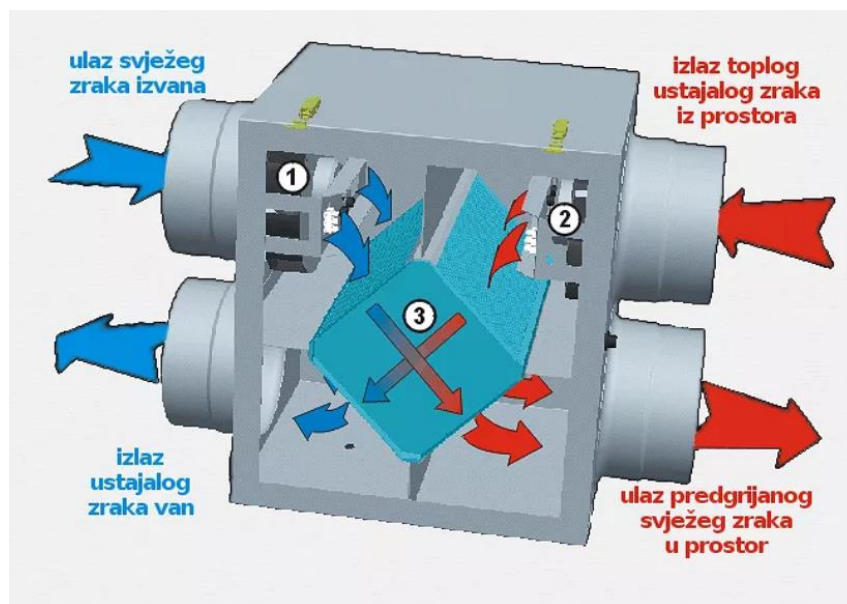
Način toka zraka može se razlikovati u ovisnosti o konfiguraciji izmjenjivača ovisno o smjeru toka fluida. Zrak može teći okomito (križni/unakrsni tip) ili u suprotnim tokovima (protusmjerni

tok) kao što je prikazano na slici 3.9. Iako je tip izmjenjivača sa protustrujnim tokom efikasniji u prijenosu topline, teži je za izradu stoga se u praksi češće pojavljuje tip sa križnim tokom.



**Slika 3.10** Jezgra izmjenjivača sa križnim tokom (lijevo) i protustrujnim tokom (desno) [16]

Načelo rada temelji se na prijenosu osjetne topline između površina za izmjenu topline, prikazano na slici (3.12). Svježi zrak izvana (1) ulazi u rekuperacijsku jedinicu, prolazi kroz izmjenjivač topline (3) gdje se zagrijava toplinom koju je predao topli otpadni zrak (2) koji izlazi. Tako zagrijan svježi zrak se ubacuje u prostoriju, a odvojeni kanal izvlači ustajali zrak iz prostorije (2) koji predaje svoju toplinu u izmjenjivaču, i izbacuje ga vani. Ova dva procesa odvijaju se simultano, i tako stvaraju uravnoteženu sustav ventilacije sa ubacivanjem i izvlačenjem iste količine zraka.



**Slika 3.11** Princip rada [14]

Primjenjuje se sve više zbog svojih prednosti poput visoke učinkovitosti, a niskih troškova instalacije i održavanja. Potreba za redovnim pregledima, čišćenjem ili kalibracijom nije potrebna budući da nema pokretnih dijelova.

Zbog mogućnosti stvaranja kondenzacije na jezgri izmjenjivača za vrijeme ljetnih razdoblja, rekuperacijska jedinica iz tog razloga ima odvodnu posudu za skupljanje vode, te je izravno povezana sa sanitarnim odvodom. Problemi onečišćenja zraka, poput onih kod rotirajućeg izmjenjivača, gotovo su jednaki nuli ukoliko je razlika u tlakovima oba protoka zraka neznatna. Ipak, ako se poveća brzina strujanja zraka, povećava se razlika u tlakovima a time i mogući problem „iscurivanja“ zraka.

U razdoblju pretežno hladnih zima, kondenzacija stvorena u jezgri izmjenjivača može smrznuti i time ometati rad cjelokupnog sustava. Neke rekuperacijske jedinice su dizajnirane sa zaštitom protiv smrzavanja tako što automatski pređu u način za odmrzavanje (engl. *Defrost mode*). To se izvodi uz pomoć prigušnog ventila koji na određeno vrijeme zatvara dotok hladnog zraka izvana, a dopušta tok samo toplog zraka koji zagrijava jezgru izmjenjivača i otapa bilo kakve tragove leda na cijevi za ubacivanje zraka izvana. Dok se sustav nalazi u „*defrost mode*“, mogući su privremeni prekidi u ujednačenoj izmjeni vanjskog i unutarnjeg zraka, no značajne promjene u kvaliteti zraka nisu primjetljive. Ako su mogućnosti smrzavanja češće, drugi način je ugraditi uređaj za predgrijavanje zraka ili obilaznog voda.

U cilju poboljšanja i većeg iskorištenja topline ovih uređaja, nova istraživanja rade na izmjenama kojima bi se dostigla iskoristivost potpunog prijenosa topline i do 55-85%, [13].

### **Prijenos latentne topline (ERV)**

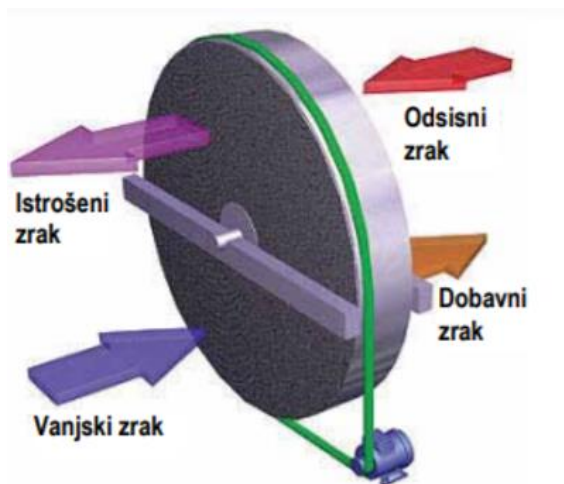
Sustavi koji osim osjetne topline prenose i latentnu (temperaturu i vlagu), najčešće se koriste u dva slučaja: u područjima gdje je vruća i vlažna klima, tako što zadržavaju vlagu vani kako bi spriječili unos nepotrebne vlage u prostorije, ili u područjima s hladnom i suhom klimom, kako bi izmjenjivač osiguravao konstantnu potrebnu razinu vlage.

### ROTIRAJUĆI IZMJENJIVAČ TOPLINE

Ovaj uređaj za povrat topline nalazi široku primjenu u sustavima za grijanje, hlađenje i ventilaciju (*HVAC*) posebice u mjestima gdje relativna vlažnost ne zadovoljava kriterije idealnih vrijednosti. Kada se uz osjetnu toplinu također prenosi i vlaga, prvi odabir za primjenu ovakvog uređaja je svakako u vlažnim klimatskim područjima, prvenstveno jer omogućava poboljšanje u kontroliranju vlažnosti zraka, tako što u ljetnom razdoblju izbacuje vodenu paru iz vanjskog

zraka koji dolazi prenoseći je otpadnom zraku koji se izbacuje, dok u zimskom razdoblju oduzima vlagu iz izlazećeg otpadnog zraka i predaje vanjskom zraku. Na taj način, nije potrebno ulagati u dodatne komponente za regulaciju ovlaživanja.

Načelo djelovanja temelji se na izmjeni energije između dva protusmjerna toka zraka u susjednim kanalima, od kojih jedan kanal odvodi zrak koji se izbacuje, a drugi dovodi vanjski zrak u suprotnim tokovima. Izmjena topline se odvija preko rotirajućeg izmjenjivača ispunjenog sa zrakopropusnim medijem koji omogućuje nepravilan ili točno usmjeren tok kroz strukturu učvršćene unutar konstrukcije okvira. Osjetna topline se izmjenjuje preko medija u rotirajućem izmjenjivaču koji skladišti toplinu toplijeg fluida i predaje ga hladnijem fluidu. Latentna topline prenosi se kondenzacijom- iz zraka sa većim omjerom vlažnosti, kondenzira se vlaga; te ispravljanjem – medij sadržanu vlagu u isparenom obliku ispušta, a preuzima je struja zraka sa nižom vlažnosti.



**Slika 3.12**Princip rada [15]



**Slika 3.13**Rotirajući izmjenjivač [11]

Prilikom biranja materijala za ove uređaje moraju se uzeti u obzir različiti aspekti poput temperature kondenzacije i svojstva zraka odvodnih i dovodnih strujanja zraka. Površina medija se također mora birati uzimajući u obzir radi li se o prijenosu samo osjetne, ili i osjetne i latentne topline.

Brzina rotacije je relativno spora, između 3 i 15 okretaja po minuti i može se kontrolirati. Zahvaljujući ovoj mogućnosti mijenjanja brzine rotora, učinkovitost uređaja se također može razlikovati u vremenu.

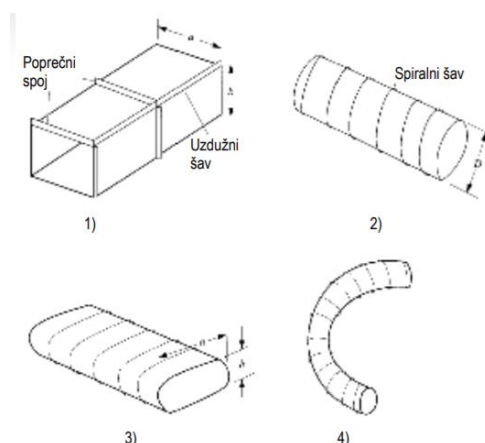
Glavni nedostatak ovog tipa izmjenjivača jest mogućnost onečišćenja zraka koji ulazi, a pojavljuje se uslijed nedovoljne zatvorenosti između susjednih površina prilikom prolaska zraka ili zbog razlike u statičnom tlaku između strujanja zraka. Drugi način je da se mali dio odvodnog

zraka zaglavi u prolazu i dalje odlazi sa čistim zrakom, ili obrnuto. Mogućnost ovakvog onečišćenja stvara problem pri uporabi ove jedinice za rekuperaciju topline u HVAC sustavima ukoliko su vanjski uvjeti opasni i štetni. Dakako, kako bi se spriječio unos onečišćenih tvari i mirisa, moguće je instalirati jedinicu za pročišćavanje. Nešto manje značajan nedostatak je potreba za električnom energijom koja bi snabdjevala dijelove poput rotora. U područjima s hladnom klimom visoka je mogućnost smrzavanja uređaja. Poput svih drugih uređaja za povrat topline, ovaj uređaj također zahtjeva održavanje i redovno kontroliranje. Učinkovitost ovakvog uređaja kada se radi o uravnoteženom sustavu (Sl. 2.3.) je od 50% do 80% za prijenos samo osjetne topline, a 55 do 85% za prijenos ukupne topline, [13].

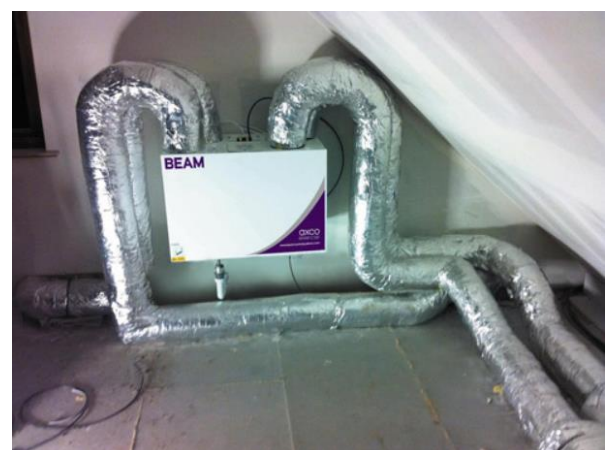
### 3.2. Ostale komponente sustava

#### Kanali za zrak

Kanali za zrak ključan su dio sustava za ventilaciju zbog njihove zadaće da dovedu zrak u prostorije koje treba kondicionirati, kao i za izbacivanje otpadnog zraka. Uloga ventilatora postavljenih na ulazu i izlazu sustava jest da stvori razliku u tlaku koja omogućava kretanje zraka kroz cijevi. U cjelokupnoj strukturi kanala četiri su bitna odjeljka sa različitim zračnim kanalima: kanal za ubacivanje i kanal za izvlačenje zraka iz prostorije, te kanal za uzimanje zraka izvana i izbacivanje zraka van(Sl.3.15).Sustavi kanala za zrak, bez obzira u kakvom sustavu ventilacije je riječ, imaju razna ograničenja stoga se treba voditi računa o sljedećim aspektima: raspored u prostoru, distribucija zraka, razina buke, kontrola za požar i dim, curenje zraka, troškovi instaliranja i izvođenja.



Slika 3.14 Različite vrste zračnih kanala [18]



Slika 3.15 Četiri odvojena kanala za zrak [14]

Ključnu ulogu u smanjenju tlaka ima i oblik kanala, stoga je bitan ispravan dizajn. Postoje pravokutni, okrugli i fleksibilni.

Podjela kanala prema obliku poprečnog presjeka (Sl. 3.14):

- pravokutni
- okrugli
- ovalni
- fleksibilni.

Najčešće se uzimaju polimerne fleksibilne okrugle cijevi (vanjskog promjera 78 mm), polimerne ovalne cijevi i pocinčane tzv. spiro cijevi.

Loše izveden dizajn kanala za zrak ili onaj koji je preskup za instalaciju i izvođenje povećava troškove, a negativne posljedice nisu samo one ekonomske prirode nego i smanjenje ugodnosti ljudi.

### **Prigušivač buke**



**Slika 3.16** Prigušivač [5]

U ventilacijskom sustavu kako bi se izbjegla statička buka, koja nastaje zbog komponenti kao što su ventilatori ili protupožarne zaklopke, dodaju se prigušivači zvuka na prikladna mjesta čiji su zahtjevi kompaktnost i nizak otpor zraka.

### **Upravljačka jedinica**





**Slika 3.17** Upravljačka jedinica [18]

Upravljačka jedinica jedna je od najbitnijih elemenata u HVAC sustavima, jer omogućava korisnicima kontrolu ventilacijskog sustava. Nalaze se na zidovima u boravišnim prostorijama radi praćenja parametara kvalitete zraka. Primajući vrijednosti parametara poput temperature, vlažnosti zraka i tlaka preko lokalnih senzora, kontrolira rad rekuperatorske jedinice i vrši potrebne izmjene, kao npr. mijenjajući položaj ventila ili prigušivača, ili brzine ventilatora. Zadaća joj je također prevencija smrzavanja, te u konačnici regulacija ukupne prenesene energije u rekuperacijskoj jedinici pod određenim uvjetima.

### **Pročišćivači zraka (filteri)**

Kako bi se postigla željena razina kvalitete zraka, čistoća dolaznog zraka je presudna. Svi HVAC sustavi trebali bi biti opremljeni pročišćivačima zraka, koji bi onda smanjili učestalost čišćenja cijelog sustava. Osim što sprječavaju prolaz insekata, prašine i drugih čestica izvana, također na strani za izbacivanje zraka van osiguravaju neometan prolaz za zrak bez ljepljivih ili masnih naslaga i čestica.

### **Distributeri**

Distributeri se koriste za dovod i odsis zraka u klimatiziranim prostorima, a njihov smještaj ne utječe značajno na razdiobu zraka u zoni boravka. Bez obzira na to, dobro je pridržavati se osnovnih stručnih preporuka, pa bi odsisne distributere trebalo smjestiti “dovoljno” daleko od dobavnih distributera, tako da se smanji pojava „kratkog spoja” sa strujom dobavnog zraka. Ako se zrak dobavlja sa stropa, odsis se može smjestiti između dobavnih distributera ili na udaljenom dijelu prostorije. Vanjske rešetke za usis vanjskog i ispuh istrošenog zraka postavljaju se na vanjski zid, te rjeđe na krov ili u zasebni objekt pored zgrade koji je sa zgradom povezan kanalom u tlu. Kako bi se smanjio usis nečistoće iz vanjskog okoliša, preporučuje se proširenje usisnog kanala i izbor veličine vanjske usisne rešetke kod koje brzina strujanja na rešetki ne

prelazi 3 m/s, a s unutarnje strane vanjske rešetke obvezno se postavlja žičana mreža s otvorom oka 1 cm x 1 cm, radi zaštite od ulaska ptica i većih kukaca. Dije se na rešetke, difuzore i sapnice.



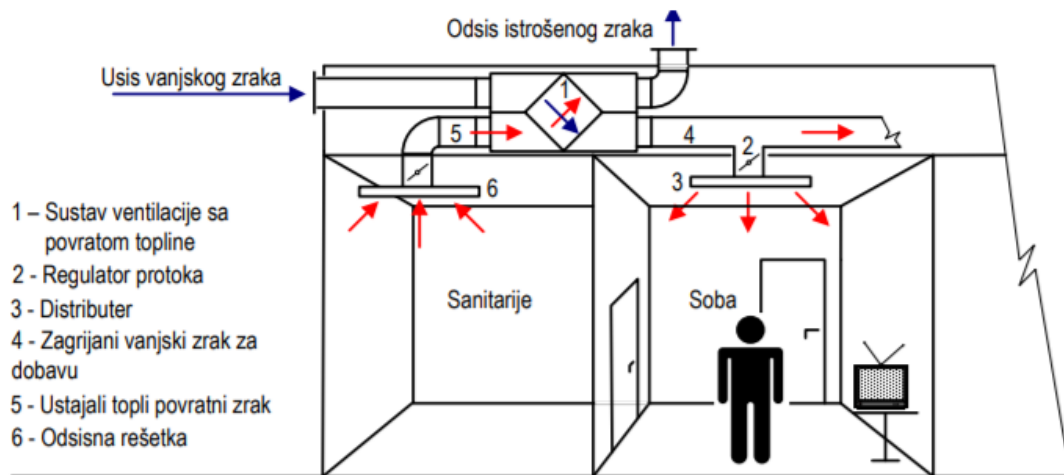
**Slika 3.18** Distributeri: rešetke (lijevo), stropni difuzori s priključnom kutijom (u sredini) i sapnica (desno) [18]

### 3.3. Instalacija sustava za rekuperaciju zraka

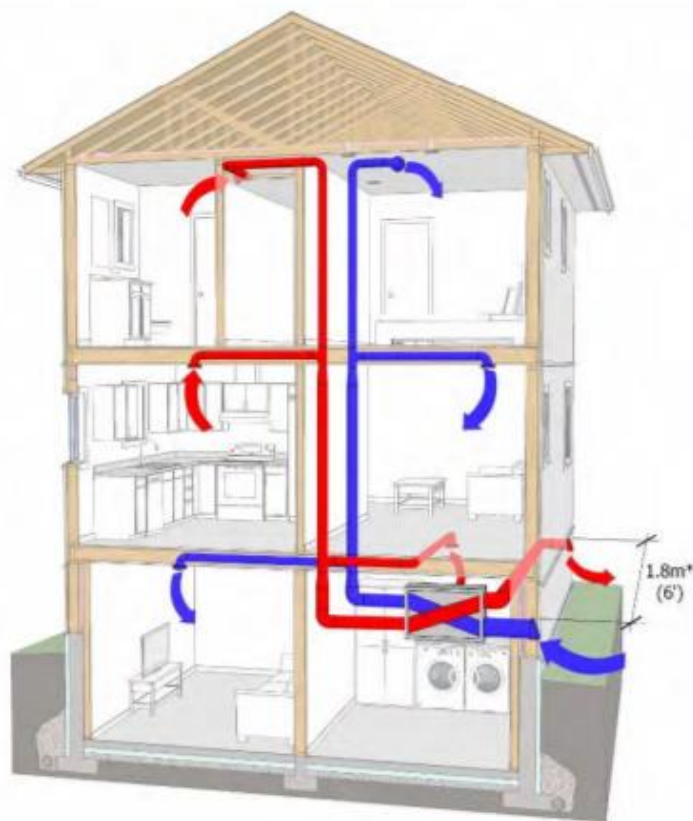
Prema mjestu pripreme zraka sustav za rekuperaciju zraka možemo podijeliti na centralizirani i decentralizirani sustav.

#### 3.3.1. Centralizirani sustav rekuperacije

Centralizirani sustav rekuperacije zraka pripremu zraka vrši na jednoj centralnoj lokaciji, a zatim se zrak kanalskim razvodom distribuira u prostore. Takav sustav uključuje sljedeće osnovne komponente: rekuperator, kanali za zrak, distributeri i rešetke (vanjske i unutarnje) i regulacija. Osnovna prednost centraliziranog sustava jest smještanje opreme izvan prostora za boravak, što omogućuje jednostavniji pristup i održavanje. Kod centralnih rekuperacijskih sustava za stambene prostore karakteristična je podjela prostora na tlačnu zonu (sobe) i odsisnu zonu (kuhinja i sanitarije), dok se kroz hodnike vrši prestrujavanje zraka između tih zona.

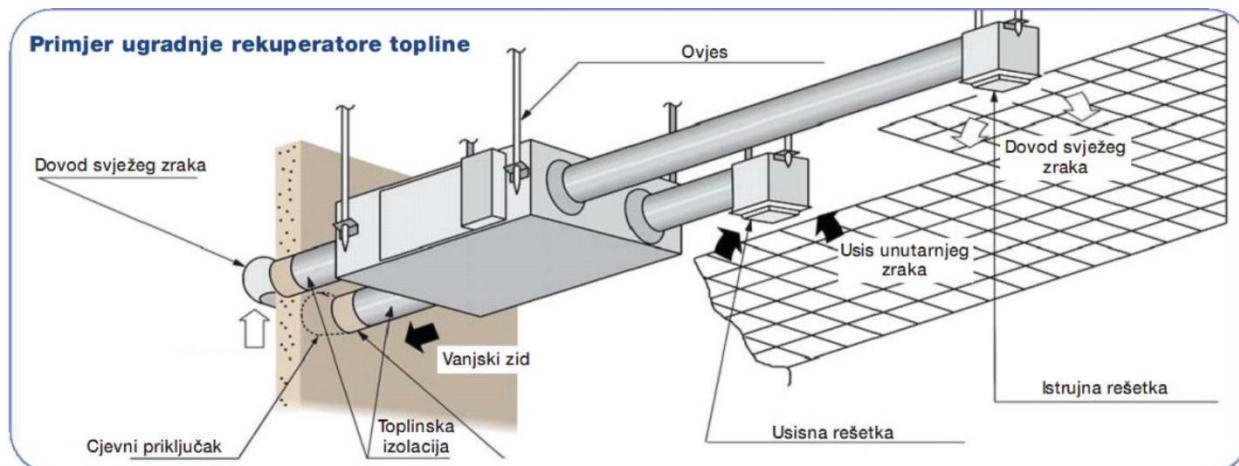


**Slika 3.19** Sustav centralne ventilacije za stambene prostore s povratom topline [18]



**Slika 3.20** Primjer centraliziranog sustava u stambenoj kući [16]

Kod ovakvog sustava, poželjno je rekuperator postaviti u topliju prostoriju (radi prevencije smrzavanja), i lako dostupnu radi čišćenja i održavanja, te što bliže vanjskom zidu kako bi kanal za dovod vanjskog zraka bio što kraći. Za sprječavanje kondenzacije poželjno je i termalno izolirati razvodne kanale.



**Slika 3.21** *Primjer ugradnje rekuperatora zraka [18]*



**Slika 3.22** *Rekuperator u centraliziranom sustavu najčešće se smješta na tavan kuće [5]*

Proces montaže treba se odvijati po projektu uz koordinaciju i nadzor odgovornog rukovoditelja. Loše dizajniran ili instaliran sustav osim što neće opskrbljivati prostore potrebnom količinom zraka, može biti i previše bučan za korisnike ili ne štediti energiju uopće. Neispravan sustav teže je održavati i može uzrokovati dodatne neočekivane i nenamjerne probleme u zgradama.

### 3.3.2. Decentralizirani sustav rekuperacije (mini rekuperatori zraka)

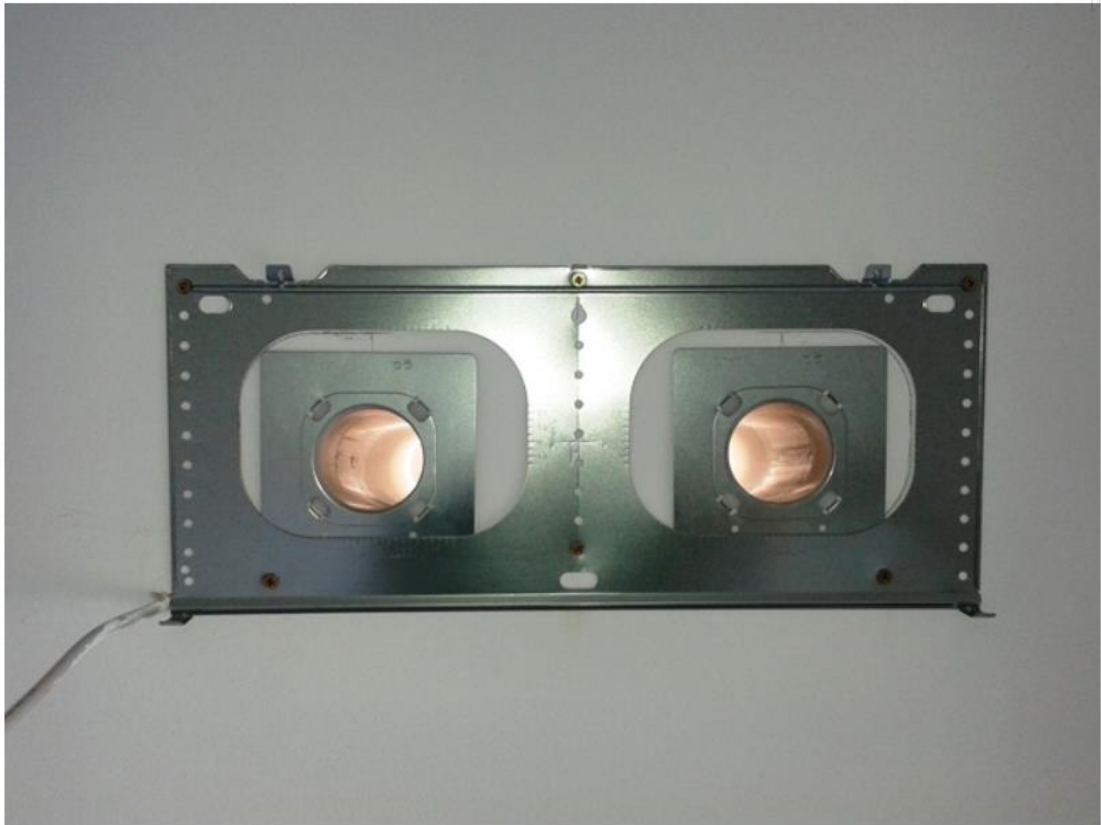
Decentralizirani rekuperacijski sustav, odnosno tzv. kompaktni ili mini rekuperatori zraka (Sl. 3.28.), izvodi se zasebno za pojedini prostor ili dio prostora i moguće je njegovo korištenje neovisno o ostalim sustavima. Time je u slučaju eventualnog kvara prestankom rada sustava za rekuperaciju pogođen manji dio zgrade. Također, time se izbjegava dugi kanalski razvod koji može zauzimati znatan prostor unutar zgrade kao kod primjene centralnog sustava.

Ovaj način primjenjuje se za već izgrađene objekte sa postojećim sustavom za ventilaciju, gdje određena prostorija dobija svoju rekuperacijsku jedinicu postavljenu na vanjskom zidu. Razlog je taj što postoji niz komplikacija za instalaciju centraliziranog sustava u već izgrađenim objektima, kao što su potreba za izgradnjom prodora za prolaske cijevi, postojeći razvod struje i ventilacijski razvod, pronalaženje mjesta za skladištenje centralne rekuperacijske jedinice, itd.

Prednost ovakvih rekuperatora jest i jednostavnost montaže, koju može izvoditi jedna osoba, pa čak i sam korisnik. Na slikama 3.23 – 3.28 preuzetih sa stranice firme „SITEH“ [19] koja se bavi ugradnjom klima opreme, prikazan je postupak takve montaže rekuperatora.



**Slika 3.23** Bušenje usisnog i odsisnog ventilacijskog kanala



**Slika 3.24** *Montaža nosača rekuperatora*



**Slika 3.25** *Izgled plastičnog završetka usisno/odsisnog kanala*



**Slika 3.26** *Finalni izgled rekuperatora s vanjske strane*



**Slika 3.27** *Otvorena montirana unutarnja rekuperacijska jedinica*

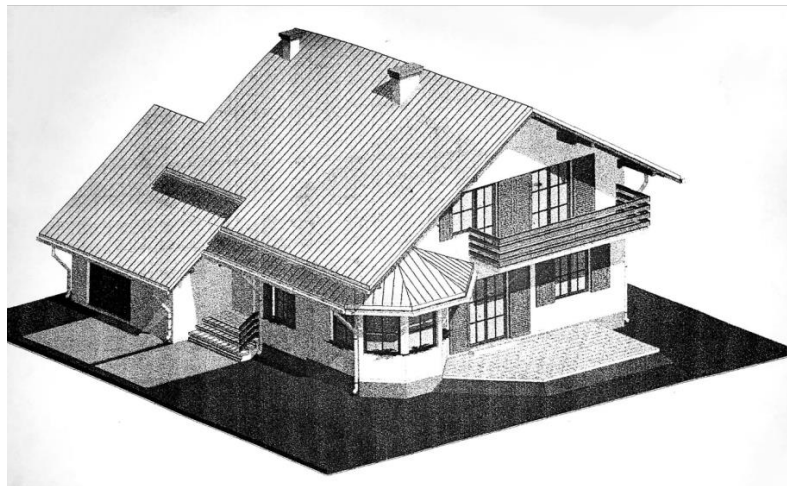


**Slika 3.28** *Finalni izgled rekuperatora iznutra*



#### 4. ANALIZA ISPLATIVOSTI INSTALACIJE REKUPERATORA NA PRAKTIČNOM PRIMJERU

U sljedećim primjerima bit će prikazan jednostavni proračun za povrat investicije rekuperatora zraka. Objekt za koji se radi proračun je obiteljska kuća (Sl. 4.1.) sa prizemljem površine 120m<sup>2</sup> i potkrovljem površine 100m<sup>2</sup>, za koju će se uzimati da ventilacijski gubici topline iznose 20% - što je uobičajeni iznos za taj tip objekta, od ukupne topline potrebne za grijanje objekta. Kod dobro izoliranih objekata, ovi ventilacijski gubici su još i veći, zato što kroz vanjsku ovojnicu prolazi manja energija.



*Slika 4.1 Izgled obiteljske kuće na kojoj je proveden proračun*

Godišnji troškovi za grijanje spomenutog objekta iznose u prosjeku 9560,00 kn. Uzimajući u obzir da 20% od toga odlazi na ventilacijske gubitke, radi se o iznosu:

$$Q_v = 9560 \text{ kn} \cdot 0,20 = 1912 \text{ kn}.$$

Svrha rekuperatora je da iskoristi tu toplinu zraka, koja bi se inače ispustila van objekta otvaranjem prozora, i na taj način smanji iznos troška nastalih ventilacijskim gubicima (u ovom primjeru iznos od 1912 kn).

Rekuperator koji će se koristiti za ovaj primjer je Mitsubishi Electric zidni rekuperator zraka VL-100EU5-E i ima sljedeće specifikacije:

**Tabela 3** Specifikacije rekuperatora Mitsubishi Electric VL-100EU5-E [18]

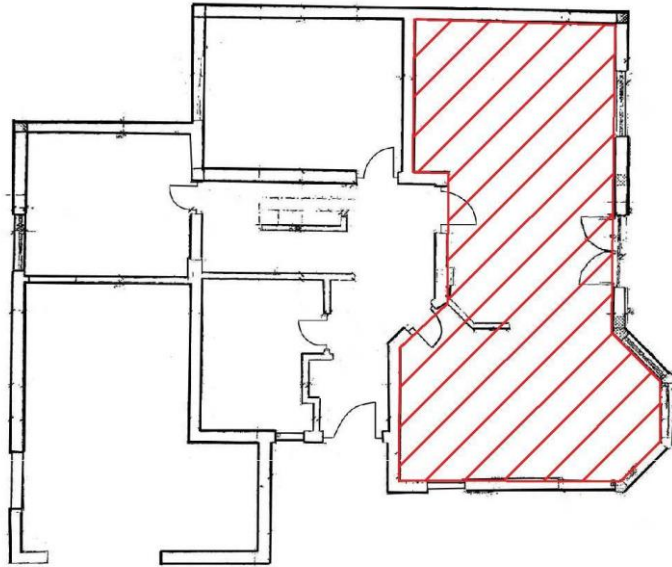
Napajanje:	220-240 V
Težina:	7,5 kg
Potrošnja:	17-34W
Brzine ventilatora:	2
Učinkovitost:	72-79%
Protok zraka:	61-106 m <sup>3</sup> /h
Razina buke:	Low-High 27-38dB
Preporučeni osigurač:	6A
Dimenzije:	620 x 200 x 265 mm



**Slika 4.2** Izgled rekuperatora Mitsubishi Electric VL-100EU5-E [19]

Iz tabele 3. sa specifikacijama rekuperatora koji će se koristiti, vidljivo je da rekuperator može raditi na postavkama za različite vrijednosti protoka zraka, ovisno o potrebama za izmjene zraka prostora u kojem se koristi. Samim time, mjenja se i učinkovitost rekuperatora, gdje za protok zraka u vrijednostima od 61 m<sup>3</sup>/h učinkovitost iznosi  $\eta = 79\%$ , a za protok od 106 m<sup>3</sup>/h učinkovitost iznosi  $\eta = 72\%$ . Iz tog razloga, proračun će biti proveden za oba slučaja.

U prvom slučaju, rekuperator će raditi sa učinkovitosti 79% uz protok zraka 61 m<sup>3</sup>/h. Minimalan broj izmjena zraka u prostorijama gdje borave ili rade ljudi mora iznositi  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ . Rekuperator bi bilo idealno postaviti u najveću i najviše korištenu prostoriju u kući, u ovom slučaju to je dnevna soba, trpezarija i kuhinja integrirani u otvoreni koncept (šrafirano na slici 4.3.).



**Slika 4.3** Tlocrt prizemlja kuće sa označenim dijelom za rekuperiranje zraka

Površina te prostorije je  $45\text{m}^2$ , a volumen prostorije je:

$$V_1 = 45\text{m}^2 \cdot 2,45\text{m} = 110,25\text{ m}^3,$$

pa se potreban protok zraka za tu prostoriju može izračunati:

$$Q_1 = 110,25\text{m}^3 \cdot 0,5\text{h}^{-1} = 55,125\text{ m}^3/\text{h}.$$

Dakle, za prostoriju je potreban protok zraka od  $55,2\text{ m}^3/\text{h}$ , a rekuperator može omogućiti protok od  $61\text{m}^3/\text{h}$ . Analogno se može izračunati volumen prostorije koju rekuperator može kontinuirano snabdjevati svježim zrakom sa najmanje  $n=0,5\text{h}^{-1}$  izmjena.

$$V_{1,rek} = 61\text{ m}^3/\text{h} \div 0,5\text{h}^{-1} = 122\text{ m}^3$$

Volumen cijele kuće je:

$$V_{uk} = 220\text{m}^2 \cdot 2,45\text{m} = 539\text{ m}^3,$$

pa je omjer volumena prostorije koje rekuperator može snabdjevati svježim zrakom i volumena cijele kuće postotak moguće rekuperacije:

$$\frac{122\text{ m}^3}{539\text{ m}^3} = 0,23 = 23\%.$$

Maksimalno se može uštediti:

$$C_{1an,max} = 1912 \text{ kn/god} \cdot 0,23 = 439,76 \text{ kn/god}.$$

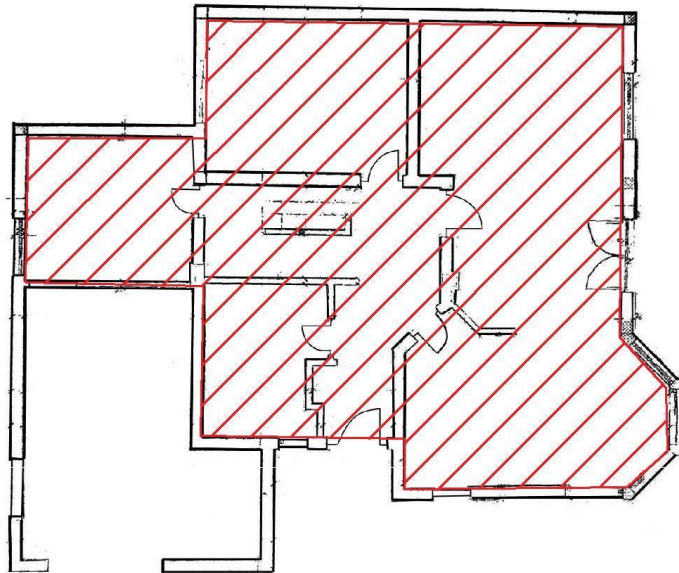
Budući da rekuperator ima svoj stupanj efikasnosti  $\eta=0,79$ , korištenjem istoga uštediti se može:

$$C_{an,rek1} = 0,79 \cdot 437,76 = 347,40 \text{ kn/god}.$$

U konačnici, jednostavni povratni period (JPP) se dobije kao omjer investicije, odnosno cijene ovakvog uređaja, i iznosa uštede korištenja istog i iznosi:

$$JPP_1 = \frac{2850 \text{ kn}}{347,40 \text{ kn/god}} = 8,2 \text{ god}$$

U drugom slučaju, istim rekuperatorom nastoji se obuhvatiti cijelo prizemlje od  $120 \text{ m}^2$  (Sl. 4.4.), odnosno volumena  $294 \text{ m}^3$ , tako što bi se odabrala postavka za protok zraka od  $106 \text{ m}^3/\text{h}$  gdje učinkovitost rekuperatora „pada“ na  $\eta = 72\%$ .



**Slika 4.4** Tlocrt prizemlja kuće sa označenim dijelom za rekuperiranje zraka

Rekuperator tada može svježim zrakom snabdjeti prostor volumena:

$$V_{2,rek} = 106 \text{ m}^3/\text{h} \div 0,5 \text{ h}^{-1} = 212 \text{ m}^3.$$

Analogno kao u prvom slučaju,

$$\frac{212 \text{ m}^3}{539 \text{ m}^3} = 0,39 = 39\%,$$

iznos maksimalne uštede u jednoj godini je:

$$C_{2an,max} = 1912 \frac{kn}{god} \cdot 0,39 = 745,68 \text{ kn/god.}$$

Korištenjem rekuperatora efikasnosti  $\eta=0,72$  sada možemo uštediti:

$$C_{an,rek2} = 0,72 \cdot 745,68 = 536,89 \text{ kn/god,}$$

a jednostavni povratni period je:

$$JPP_2 = \frac{2850 \text{ kn}}{536,89 \text{ kn/god}} = 5,3 \text{ god.}$$

U prvom slučaju, rekuperator je svježim zrakom snabdjevao prostor volumena  $122 \text{ m}^3$  uz period povrata investicije 8,2 godine, dok je u drugom slučaju prostor snabdjevan svježim zrakom gotovo duplo veći ( $212 \text{ m}^3$ ), a povratni period smanjen za približno 3 godine, tj. na 5,3 godine. Dakle, koristeći isti rekuperator zraka u istom objektu, vidljivo je da su značajne uštede stvorene samo zbog biranja optimalnije postavke u regulaciji protoka zraka.

Prema tome, nužno je prije ugradnje ovakvog sustava pažljivo razraditi plan instalacije, i upoznati se i razumjeti funkcije i mogućnosti određenog rekuperatora zraka kako bi se osigurali maksimalna iskoristivost i performans sustava za rekuperaciju.

## 5. ZAKLJUČAK

Rekuperatori zraka uređaji su koji predstavljaju visokokvalitetno rješenje za centralnu ili decentraliziranu ventilaciju za pojedinačne prostorije, stanove, obiteljske kuće i komercijalne objekte. Koriste se sve češće za ventiliranje prostorija, jer postižu bolju kvalitetu zraka uz velike energetske uštede. Rade na principu rekuperacije zraka preko izmjenjivača topline, iskorištavajući toplinu otpadnog zraka za zagrijavanje hladnog svježeg zraka.

Stupanj iskoristivosti rekuperatora, deklariran od strane proizvođača uređaja, kreće se od 65%-90%, te što je veći time je efikasnost rekuperacije veća. Prednosti koje ovaj uređaj donosi osim energetske uštede su i značajno poboljšanje kvalitete unutrašnjeg zraka, čišćenje prašine i insekata pomoću posebnih filtera, sprječavanje nastanka vlage i plijesni, održavanje povoljne vlažnosti u prostoru, te zaštita od buke iz okoline. Nedostaci su povećani troškovi pri instalaciji i troškovi održavanja.

Mogu biti kompaktni, te pojedini modeli ne zahtijevaju dodatne elemente za povezivanje već su odmah spremni za uporabu postavljanjem u svaku sobu stambenog prostora i jednostavni su za ugradnju. Veliki centralizirani sustavi primjenu nalaze u novogradnji, i većim prostorima poput ugostiteljskih objekata, škola, ureda itd.

## LITERATURA

- [1] J. Danon, Klimatizacija, principi i praksa, Tehnička knjiga, Beograd, 1980.
- [2] M. Radonić, Grejanje i vetrenje, Izdavačko poduzeće Građevinska knjiga, Beograd, 1965.
- [3] M. Zagorec, P. Donjerković, Analiza prirodne ventilacije u zgradama, Građevinar 58 (2006) 5, 385-393, preuzeto sa:  
<https://hrcak.srce.hr/6954>, (pristup ostvaren 15.09.2018.)
- [4] K. Gertis, Bauphysikalische Grundlagen der Wohnungslüftung, Deutsche Bauzeitschrift (1984) 2, 231-234
- [5] <http://www.mcsolar.hr/rekuperacija-zraka.php>, (pristup ostvaren 15.09.2018.)
- [6] I. Balen, Klimatizacija, sustavi ventilacije, preuzeto sa:  
[https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/11\\_10\\_2007\\_7911\\_3\\_VSIS-KLIM07](https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/11_10_2007_7911_3_VSIS-KLIM07), (pristup ostvaren 15.09.2018.)
- [7] Dimenzioniranje uređaja za prijenos topline, Kemijsko-tehnološki fakultet Split, nastavni materijali, preuzeto sa:  
<https://www.ktf.unist.hr/index.php/en/nastavni-materijali-zio-2/nastavni-materijali/category/143-projektiranje-procesa>, (pristup ostvaren 15.09.2018.)
- [8] B. Đorđević, V. Valent, S. Šerbanović: Termodinamika i termotehnika, Građevinska knjiga, Beograd, 1987.
- [9] Yunus A. Çengel, Afshin J. Ghajar: Heat and mass transfer, Fundamentals & applications, (Fifth edition), McGraw-Hill Education, 2006.
- [10] Recknagel, Sprenger, Schramek, Čeperković: Grejanje i klimatizacija 2012., 7. izdanje, Interklima, 2011.
- [11] <http://www.klingenburg-usa.com/en/products/rotary-heat-exchangers/rotors-for-heating-ventilation-and-air-conditioning-systems-hvac/purge-sector/>, (pristup ostvaren 15.09.2018.)
- [12] “Buildings - European Commission.”, preuzeto sa:  
<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>, (pristup ostvaren 15.09.2018.)

- [13] ASHRAE, "Air-To-Air Energy Recovery," 2000 ASHRAE - American Soc. Heat. Refrig. AirConditioning Eng. Syst. Equip. Handb., p. chapter 44, 2003.
- [14] <https://www.beamcentralsystems.com/counterflow-heat-recovery-hrv>, (pristup ostvaren 15.09.2018.)
- [15] Priručnik za energetska certificiranje zgrada, preuzeto sa:  
<http://www.encert-eihp.org/wp-content/uploads/2013/02/Prirucnik-za-energetska-certificiranje-zgrada-1.pdf>, (pristup ostvaren 15.09.2018.)
- [16] Heat recovery ventilation guide for houses, preuzeto sa:  
[http://rdh.com/wp-content/uploads/2015/12/HRV\\_Guide\\_for\\_Houses.pdf](http://rdh.com/wp-content/uploads/2015/12/HRV_Guide_for_Houses.pdf), (pristup ostvaren 15.09.2018.)
- [17] AERECO DXR Heat recovery ventilation - Design and installation guide, preuzeto sa:  
[https://www.aereco.fr/wp-content/uploads/2013/06/DXR-Design-and-installatiopn-guide-FLY563GB\\_v2-low.pdf](https://www.aereco.fr/wp-content/uploads/2013/06/DXR-Design-and-installatiopn-guide-FLY563GB_v2-low.pdf), (pristup ostvaren 15.09.2018.)
- [18] <http://www.veka-ing.com/mitsubishi/rekuperatori/rekuperatori-mitsubishi-electric/>, (pristup ostvaren 15.09.2018.)
- [19] <https://www.grijanje-klima.com/galerija-radova/ugradnja-rekuperator-zraka-mitsubishi-electric-vl-100eu5-e/>, (pristup ostvaren 15.09.2018.)



## SAŽETAK

Završni rad na temu rekuperatori zraka opisuje najprije osnove klimatizacije s posebnim naglaskom na značaj ventilacije i rekuperacije zraka, te važnost uvođenja rekuperatora zraka.

Opisan je princip rada rekuperatora, te su prikazane komponente sustava za rekuperaciju i načini instalacije.

Na kraju rada, napravljena je analiza isplativosti instalacije rekuperatora zraka na praktičnom primjeru.

**Ključne riječi:** energetska učinkovitost, izmjenjivač topline, povrat topline, rekuperator, ventilacija

## ABSTRACT

Bachelor thesis on heat recovery unit first describes the basics of air conditioning, with particular emphasis on the importance of air ventilation and recuperation, and the importance of introducing heat recovery unit.

The recovery principle of the heat recovery unit is described and the components of the heat recovery system and the installation methods are presented.

At the end of the work, an analysis of the feasibility of installing the heat recovery unit was done on a practical example.

**Key words:** energy efficiency, heat exchanger, heat recovery, heat recovery unit, ventilation

## **ŽIVOTOPIS**

Mia Stanić rođena je 1997. godine u Stuttgartu u Njemačkoj. U Odžaku u Bosni i Hercegovini pohađala je osnovnu i srednju školu- opću gimnaziju, gdje svake godine sudjeluje na školskim i državnim natjecanjima iz matematike. Srednju školu završava 2015., te upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera. Na drugoj godini preddiplomskog smjera elektrotehnike opredjeljuje se za smjer elektroenergetika.

---

Mia Stanić

## **PRILOZI**

CD

- Rad u .doc formatu.