

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**PRIMERJAVA ENERGETSKEGA PRIHRANKA
PRI PREZRAČEVANJU STANOVANJSKE HIŠE
Z REKUPERATORJEM IN BREZ**

Kandidatka: Kristina Mernik

Vrsta študija: študentka izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: dr. Darko Friščič

Mentor v podjetju: Boštjan Mihurko

Lektorica: Sarah Jerebic, profesorica slovenščine

Maribor, 2021

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisana Kristina Mernik sem avtorica diplomskega dela z naslovom Primerjava energetskega prihranka pri prezračevanju stanovanjske hiše z rekuperatorjem ali brez,

ki sem ga napisala pod mentorstvom dr. Darka Friščića.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel/-a, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot mojih lastnih – kaznivo po Zakonu o avtorskih in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, januar 2021

Podpis študentke:

ZAHVALA

Posebna zahvala gre mentorju, dr. Darku Friščiću, ki me je pri nastajanju diplomskega dela vztrajno usmerjal in mi nudil strokovno podporo. Zahvaljujem se tudi gospodu Boštjanu Mihurku, ki mi je pri nastajanju diplomskega dela pomagal pri izbiri in pridobivanju ustreznih podatkov. Zahvala gre tudi podjetjema K. B. Kokot d.o.o. in Marles d.o.o., ki sta posredovala podatke projektov, ki so obravnavani v diplomski nalogi. Največja zahvala gre družini, ki me je skozi nastajanje diplomskega dela spodbujala in mi dajala dodatno motivacijo za zaključek študija.

POVZETEK

Ozaveščenost ljudi o pomenu negativnih vplivov na okolje, ki jih povzročamo z neučinkovito gradnjo, je vse večja. Iz tega razloga se trendi v gradbeništvu vse bolj usmerjajo v smeri energetske varčne gradnje, kjer ne nastajajo visoki obratovalni stroški. Zaradi tega so boljši tudi materiali, ki se uporabljajo, saj zadržijo več toplote, ki bi se drugače prenesla v okolje v obliki energetskih izgub. Pristop s tesnimi materiali ima tudi svoje negativne plati, saj si s tem prostor naredimo skoraj neprodušen, kar lahko negativno vpliva na naše zdravje in počutje. V prostorih se lahko tako začnejo kopičiti presežne vrednosti nevarnih plinov in drugih kemičnih snovi, ki lahko prizadenejo naše zdravje v obliki akutnih ali kroničnih težav. Kvaliteta zraka se ob pomanjkanju prezračevanja poslabša, s tem pa se poslabšajo tudi bivalni pogoji, ki se merijo v udobju bivanja, produktivnosti, sproščenosti in razpoloženju človeka.

Iz potreb po izboljšanju kakovosti zraka so se na trgu pojavili prezračevalni sistemi, ki delujejo po principu prisilnega oziroma mehanskega prezračevanja. Prednost mehanskega prezračevanja je v avtomatizaciji sistema, saj ta sam regulira kdaj in koliko je treba prezračevati. Druge pozitivne lastnosti takšne oblike prezračevanja so v personalizaciji konstrukcije, saj si lahko zadevo prilagodimo glede na naše lastne potrebe. Pomembno je, da izberemo napravo, ki je tiha, porabi malo energije in je po možnosti sposobna ohraniti toploto onesnaženega zraka, ki pri prezračevanju notranje prostore zapušča in se zamenja s svežim, hladnim zrakom iz okolice stavbe.

Prezračevalne naprave, ki so sposobne zadržati večje količine toplote, imajo vgrajen t.i. rekuperator. Gre za mehanizem, ki v principu uspe zadržati toploto odpadnega zraka, ki stavbo pri prezračevanju zapušča, in segreti svež zrak, ki prihaja od zunaj. Kot bomo spoznali v prihodnjih poglavjih tega diplomskega dela, so nekateri rekuperatorji zmožni zadržati tudi več kot 90 % toplote. Na ta način uspemo združiti prednosti visokotesnosti sodobnih gradbenih materialov z učinkovitim prezračevanjem zgradbe, ki ne povzroča dodatnih toplotnih in energijskih izgub. Končni rezultat so prihranki pri mesečnih stroških ogrevanja, še posebej v zimskem času, kadar so temperaturne razlike med notranjimi prostori in zunanjo okolico velike.

Ključne besede: prezračevalni sistem, rekuperator, energetska učinkovitost, novogradnja.

ZUSSAMENFASSUNG

VERGLEICH ENERGIE ERSPARNIS BEI LÜFTUNG DES WOHNGBÄUDES MIT REKUPERATOR ODER OHNE

Das Bewusstsein der Menschen für die Bedeutung der negativen Umweltauswirkungen, die wir durch ineffizientes Bauen verursachen, wächst. Aus diesem Grund bewegen sich die Bautrends zunehmend in Richtung energieeffizientes Bauen, wo keine hohen Betriebskosten anfallen. Infolgedessen sind die verwendeten Materialien auch besser, da sie mehr Wärme speichern, die sonst in Form von Energieverlusten an die Umwelt übertragen würde. Der Ansatz mit engen Materialien hat auch seine negativen Seiten, da dies den Raum fast luftdicht macht, was sich negativ auf unsere Gesundheit und unser Wohlbefinden auswirken kann. Übermäßige Mengen gefährlicher Gase und anderer Chemikalien, die unsere Gesundheit in Form von akuten oder chronischen Problemen beeinträchtigen können, können sich daher in den Räumlichkeiten ansammeln. Der Mangel an Belüftung verschlechtert sich aufgrund des Mangels an Belüftung, was auch die Lebensbedingungen verschlechtert, die an Wohnkomfort, Produktivität, Entspannung und Stimmung gemessen werden. Aufgrund der Notwendigkeit, die Luftqualität zu verbessern, sind Belüftungssysteme auf dem Markt erschienen, die nach dem Prinzip der erzwungenen oder mechanischen Belüftung arbeiten. Der Vorteil der mechanischen Beatmung liegt in der Automatisierung des Systems, da es selbst regelt, wann und wie viel Beatmung erforderlich ist. Weitere positive Merkmale einer solchen Form der Belüftung sind die Personalisierung der Konstruktion, da wir die Angelegenheit an unsere eigenen Bedürfnisse anpassen können. Es ist wichtig, ein solches Gerät zu wählen, das leise ist, wenig Energie verbraucht und vorzugsweise die Wärme der verschmutzten Luft speichern kann, die beim Lüften des Innenraums austritt und durch frische, kühle Luft aus dem gesamten Gebäude ersetzt wird. Lüftungsgeräte, die große Wärmemengen speichern können, verfügen über einen eingebauten t.i. Rekuperator. Es ist ein Gerät, das es im Prinzip schafft, die Wärme der Abluft zu speichern, die das Gebäude während der Belüftung verlässt und die von außen kommende Frischluft erwärmt. Wie wir in zukünftigen Kapiteln dieser Dissertation sehen werden, können einige Rekuperatoren mehr als 90% der Wärme speichern. Auf diese Weise schaffen wir es, die Vorteile der hohen Dichtheit moderner Baustoffe mit einer effizienten Belüftung des Gebäudes zu kombinieren, die keine zusätzlichen Wärme- und Energieverluste verursacht. Das Endergebnis sind Einsparungen bei den monatlichen Heizkosten, insbesondere im Winter, wenn die Temperaturunterschiede zwischen Innen und Außen groß sind.

Stichwort: Lüftungssystem, Rekuperator, Energieeffizienz, Neubau.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	10
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	10
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	10
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE.....	11
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	11
2	POMEN PREZRAČEVANJA V STAVBAH	12
2.1	KAKOVOST ZRAKA	12
2.2	ZDRAVSTVENI VIDIKI PREZRAČEVANJA	14
2.3	TIPi PREZRAČEVALNIH SISTEMOV	17
	2.3.1 <i>Naravno prezračevanje</i>	18
	2.3.2 <i>Mehansko prezračevanje</i>	20
2.4	PRAVILNIK O PREZRAČEVANJU IN KLIMATIZACIJI STAVB	21
3	PREZRAČEVANJE Z REKUPERACIJO	23
3.1	TIPOLOGIJA GLEDE NA SESTAVO IN UČINKOVITOST	25
3.2	LOKALNI IN CENTRALNI PREZRAČEVALNI SISTEM Z REKUPERATORJEM	28
3.3	PRIMERJAVA PONUDNIKOV V SLOVENIJI.....	30
	3.3.1 <i>Tržni pregled podjetij</i>	30
	3.3.2 <i>Ponudba lokalnega prezračevanja</i>	32
	3.3.3 <i>Ponudba centralnega prezračevanja</i>	33
4	ENERGETSKO STANJE IN UČINKOVITOST GRADNJE	36
4.1	STANDARDIZACIJA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI.....	36
4.2	PRAVILNIKI IN ZAKONODAJNO OZADJE	37
4.3	VPLIVNOST DEJAVNIKOV NA UČINKOVITOST	37
	4.3.1 <i>Kakovost izolacije</i>	38
	4.3.2 <i>Ogrevanje</i>	39
	4.3.3 <i>Sestava oken in vrat</i>	39
4.4	POMEN ENERGETSKE IZKAZNICE	39
5	ANALIZA PRAKTIČNEGA PRIMERA.....	41
5.1	ANALIZA OBJEKTA PRED INŠTALACIJO REKUPERACIJE	41

5.2	SMERNICE ZA VGRADNJO PREZRAČEVALNEGA SISTEMA	45
5.3	DIMENZIONIRANJE RAZVODOV IN DOLOČANJE OPTIMALNEGA PRETOKA ZRAKA	46
5.4	PRIMERJAVA ENERGETSKEGA STANJA OBJEKTA BREZ IN Z REKUPERACIJO.....	49
5.5	VREDNOST INVESTICIJE IN SUBVENCija EKO SKLADA.....	52
5.6	PRIVARČEVANA ENERGIJA IN EKONOMIKA INVESTICIJE	54
6	SKLEP	56
7	VIRI, LITERATURA.....	59
8	PRILOGE.....	63

KAZALO SLIK

SLIKA 1: NEZADOVOLJNI UPORABNIKI IZRAŽENI V ODSOTOKIH V ODVISNOSTI OD ZAZNAVNE KVALITETE ZRAKA IZRAŽENE V DECIPOLIH	13
SLIKA 2: NIVOJI KONCENTRACIJE OGLJIKOVEGA DIOKSIDA IN NJIHOV VPLIV	16
SLIKA 3: NAČINI PREZRAČEVANJA GLEDE NA POTI GIBANJA ZRAKA	18
SLIKA 4: ZAMENJAVA ZRAKA V PROSTORU (ZGORAJ) IN NAVZKRIŽNO PREZRAČEVANJE (SPODAJ) Z ODPIRANJEM OKEN	19
SLIKA 5: SHEMA DELOVANJA MEHANSKEGA PREZRAČEVALNEGA SISTEMA	20
SLIKA 6: PRIMER ENOSTAVNE IZMENJAVE TOPLEGA IN HLADNEGA ZRAKA PRI REKUPERATORJU	23
SLIKA 8: POTEK TOKA HLADNEGA IN TOPLEGA ZRAKA V PLOŠČATIH REKUPERATORJIH	26
SLIKA 7: PREREZ SESTAVE REKUPERATORJA	27
SLIKA 9: PRIKAZ DELOVANJA POSAMEZNIH LOKALNIH PREZRAČEVALNIH ENOT V ENOSTANOVANJSKI STAVBI.....	28
SLIKA 10: PREREZ SESTAVE LOKALNE PREZRAČEVALNE NAPRAVE Z REKUPERATORJEM	29
SLIKA 11: PREREZ STAVBE S CENTRALNIM PREZRAČEVALNIM SISTEMOM	30
SLIKA 12: TLORIS PRITLIČJA	42
SLIKA 13: TLORIS MANSARDE.....	43
SLIKA 14: PREČNI PREREZ HIŠE.....	44
SLIKA 12: REALISTIČNE FOTOGRAFIJE OBJEKTA	44
SLIKA 12: PRIMER RAZDELILNE ŠKATLE	46

KAZALO TABEL

TABELA 1: PREGLED PODJETIJ, KI POSLUJEJO V PANOGI PREZRAČEVANJA	31
TABELA 2: PREGLED LASTNOSTI IZDELKOV LOKALNEGA PREZRAČEVANJA	32
TABELA 3: PREGLED LASTNOSTI IZDELKOV CENTRALNEGA PREZRAČEVANJA	34
TABELA 4: RAZREDI ENERGIJSKE UČINKOVITOSTI	40
TABELA 5: DIMENZIONIRANJE PREZRAČEVANJA V OBJEKTU	47
TABELA 6: OPTIMALNA KONFIGURACIJA PREZRAČEVANJA	48
TABELA 7: LASTNOSTI NAPRAVE MAICO WS 320 KBET	48
TABELA 8: PRIMERJAVA VLAŽNOSTI PROSTOROV SKOZI LETO	50
TABELA 9: PRIMERJAVA ENERGETSKEGA STANJA	52
TABELA 10: PREGLED SUBVENCIJ EKO SKLADA ZA SISTEME PREZRAČEVANJ	53
TABELA 11: INVESTICIJA Z UPOŠTEVANJEM SUBVENCIJE	54
TABELA 12: KOLIČINA PRIVARČEVANE ENERGIJE IN EKONOMIKA INVESTICIJE	55

KAZALO GRAFIKONOV

GRAFIKON 1: PRIMERJAVA VLAŽNOSTI PROSTOROV V ZIMSKEM ČASU	51
---	----

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Pozitivna lastnost in hkratna težava sodobne gradnje je v visoki kvaliteti materialov, ki prostore v stavbah zelo dobro zatesnijo. S tem se preprečijo toplotne izgube, a hkrati se soočamo z nekvalitetnimi zračnimi masami, ki se zadržujejo v bivalnih prostorih in negativno vplivajo na naše počutje ter zdravje. S tega vidika se večina uporabnikov odloči za mehanske prezračevalne sisteme z rekuperatorji toplote, ki utegnejo določen del toplote pri prezračevanju zadržati v prostoru, s tem pa se zmanjšajo potrebe po dodatni energiji za ogrevanje teh prostorov.

Problem je torej, da ne vemo popolnoma zagotovo, ali z rekuperacijo dejansko prihranimo pri energiji ali jo izgubimo. V tej diplomski nalogi bomo raziskovali, ali s tovrstnimi vgrajenimi napravami mesečno prihranimo pri stroških ogrevanja, in če da, koliko.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Glavni namen diplomskega dela je prikazati, kako lahko s pravilno izvedbo prezračevalnega sistema z rekuperacijo dosežemo večjo energetske učinkovitost. Med drugim smo si zadali tudi naslednje cilje:

- Spoznati, zakaj je v prostorih, kjer živimo, pomembno prezračevanje.
- Proučiti udobje bivalnega okolja stanovanjske hiše.
- Predstaviti tipe prezračevalnih sistemov.
- Predstaviti delovanje prezračevalnih naprav z rekuperatorjem.
- Ugotoviti, kaj pomeni energetske učinkovita gradnja in kako optimizirati porabo energije v stavbah.
- Prikazati energetski prihranek prezračevanja stanovanjske hiše z rekuperatorjem ali brez.
- Izdelati primerjavo energetske učinkovitosti in upravičenosti investicije.

Pred raziskovanjem obravnavane tematike smo si postavili naslednje hipoteze:

H1: Izboljšanje življenjskih pogojev se lahko doseže s pomočjo rekuperacije v stanovanjski hiši.

H2: Energetski prihranek z uporabo rekuperatorja je večji kot pri izvedbi hiše brez rekuperatorja.

H3: Ugoden vpliv na okolje se lahko doseže z zmanjšanjem toplogrednih plinov zaradi uporabe rekuperatorja ali izvedbo eko hiše brez rekuperatorja.

1.3 Predpostavke in omejitve

Predpostavljamo, da so podatki, ki jih črpamo z interneta, še posebej podatki, kjer viri niso preverjeni s strani tretjih oseb, resnični in pravilni. Veliko literature s področja toplotnih prenosnikov, ki so del teoretične osnove tega diplomskega dela, izhaja iz starejše literature, saj novejša literatura na tem področju ni dostopna. Veliko zaslug za razvoj in napredek si pripisujejo nekatera podjetja sama, zato smo podatke črpali s spletnih strani le-teh, s čimer smo tvegali njihovo verodostojnost. Med omejitve lahko prištejemo tudi pridobivanje internih arhivov in drugih informacij s strani podjetij, kot sta K. B. Kokot d.o.o. in Marles d.o.o. Podatki, ki smo jih dobili, niso preverjeni s strani tretje osebe, ki bi uspela objektivno oceniti njihovo zanesljivost in točnost.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomskem delu se bomo posluževali različnih raziskovalnih metod, ki nam bodo pomagale doseči zastavljene cilje. Z metodo deskripcije bomo opisovali splošno sprejeta dejstva in pojave, ki so že raziskani. Z metodo kompilacije in zbiranjem različne literature bomo primerjali stališča domačih in tujih rezultatov ter jih kritično ovrednotili. Podatke bomo pridobivali z internetnih podatkovnih baz, kot je na primer Google Scholar. Na podlagi rezultatov, spoznanj, navedb, raziskav in pogledov drugih avtorjev bomo naštetu kritično ovrednotili na podlagi lastnega predznanja in izkušenj.

2 POMEN PREZRAČEVANJA V STAVBAH

Za doseganje maksimalnega ugodja bivanja in visoke izkoriščenosti prostora v obliki produktivnosti posameznika, je vsekakor treba poskrbeti za kakovosten zrak v prostoru. Slabo počutje posameznika je pogosto posledica vpliva slabega zraka, ki se pojavlja v prostorih, kjer ni urejenega prezračevanja. Gre za proces, kjer se ohranja ali izboljšuje kvaliteta zraka znotraj prostora z dovajanjem svežega zunanjega zraka. Glavni razlogi za prezračevanje so običajno vlažnost, temperatura zraka in njegova onesnaženost. Iz tega razloga bivanje v prostorih, kjer ni prezračevanja, ni zgolj neudobno, temveč tudi škodljivo. Zaradi tega je nujno, da v prostoru omogočimo prezračevanje, ki mora biti kontinuirano in prilagojeno našim trenutnim potrebam bivanja in uporabe danega prostora (Energetska izkaznica, 2013a). V osnovi poznamo več vrst prezračevanja, katere ločimo glede na naravni, mehanski izvor ali hibridni izvor (Zakonjšek & Knez, 2000). Stili prezračevanja se ločujejo tudi glede na tlačne razmere, porabo energije in druge lastnosti, katere si bomo poglobljevali v prihajajočih podpoglavjih.

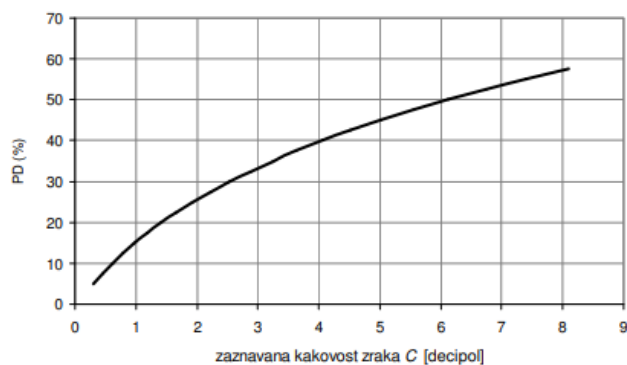
2.1 *Kakovost zraka*

Kakovost zraka težko ocenimo, saj je zaznavanje njegove kakovosti stvar subjektivne presoje vsakega posameznika. Ljudje se torej na kakovost zraka različno intenzivno odzivamo, zato se ta meri s številom nezadovoljnih. Nekakovost zraka se zaznava s čutnicami, najpogosteje vonjavami, ki jih je možno kvantificirati z odstotkom nezadovoljnih. Uporablja se merilo »decipol«, ki predstavlja onesnaževanje standardne osebe s skupno površino telesa 1,8 m² pri prezračevanju določenem z 10 l/s svežega zraka (Prek, Kakovost zraka: laboratorijske vaje, 2013):

$$1 \text{ decipol} = \frac{1 \text{ olf}}{10 \frac{\text{l}}{\text{s}}} \quad (2.1)$$

Kjer je:

1 olf – oddajanje vonja odrasle osebe s telesno površino 1,8 m².



Slika 1: Nezadovoljni uporabniki izraženi v odstotkih v odvisnosti od zaznavne kvalitete zraka izražene v decipolih

Vir: (Prek, Kakovost zraka: laboratorijske vaje, 2013)

S slike 1 je razvidno, da je ob 1 decipolu nezadovoljnih približno 15 % uporabnikov. Pri 6 decipolih je nezadovoljna že polovica vseh prisotnih v prostoru (prav tam).

Pri gradnji je z vidika splošnega zadovoljstva uporabnikov najpomembnejši dejavnik toplotno ugodje, ki ga določajo naslednji fizikalni pogoji (INOVEKS d.o.o., 2018):

- prostorska temperatura zraka,
- temperatura obodnih površin,
- raven toplotne prevodnosti površin,
- vpojnost toplote talnih površin,
- vlažnost zraka,
- gibanje zraka (prav tam).

Z občuteno temperaturo označujemo temperaturo, ki jo človek zazna s svojimi čutili in je v povezavi s temperaturo obodnih površin. Gre za najustreznejši pokazatelj ustreznega toplotnega stanja, ki se v povprečju giblje okrog 20 °C. V primeru, da so temperature obodnih površin nizke, imamo lahko občutek prepiha, saj je naše telo naravno izpostavljeno sevanju k hladnejšim površinam. Priporočljiva temperatura obodnih površin tako znaša okrog 18 °C. Drug pokazatelj toplotnega ugodja je temperatura zraka v prostoru, ki se običajno meri v coni bivanja. Ta se razprostira na območju 180 cm nad tlemi in na oddaljenosti od obodnih površin v razdalji vsaj 60 cm. V kolikor stavba ni zadostno izolirana in se temperatura obodnih površin spusti na 16 °C, je treba zrak v prostoru, v kolikor bi želeli bivati pri temperaturi 20 °C, segreti

na 24 °C. V kolikor je naša izolacija kvalitetna in je temperatura obodnih površin okrog 19 °C, je treba zrak v prostoru segreti na 21 °C, da bi dobili optimalno temperaturo zraka 20 °C (Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, 2014).

Eden izmed faktorjev kakovosti ugodja je tudi gibanje zraka v prostoru. Wei s sodelavci (2019) pojasnjuje, da je priporočena količina vnosa svežega zraka v prostor na osebo 30 m³/h. Navaja, da je treba prazen prostor prezračiti v celoti vsakih 5 ur, če pa je v prostoru več ljudi, pa vsaki 2 uri. Iz tega izhajamo, da obstaja več vrst zraka, ki so opredeljene v standardu EN 13779 (2017). Poznamo torej:

- zunanji zrak – svež zrak doveden iz zunanosti,
- vtočni zrak ali dovodni zrak – zrak, ki v prostor vstopa,
- prehodni zrak – zrak, ki prehaja med prostori,
- odtočni ali odvodni zrak – zrak odveden iz prostora (prav tam).

Na kvaliteto zraka v prostoru vpliva tudi vlažnost, ki jo lahko razumemo kot absolutno ali relativno. Prvo določa maksimalna količina vlage, običajno v obliki pare, ki se nahaja v 1 m³ pri določeni temperaturi. Relativna vlažnost je izražena v odstotku od absolutne vlažnosti in predstavlja dejansko oziroma izmerjeno količino vlage ob določeni temperaturi. Običajno je v prostorih priporočljivi nivo relativne vlažnosti okrog 60 %. Kadar prostor močno klimatiziramo ali prezračujemo, lahko to razmerje pade na 30 %, kar ni priporočljivo za bivanje (Minakais, Okaeme, Mishra, & Wen, 2017).

2.2 Zdravstveni vidiki prezračevanja

Glavna pomanjkljivost nekaterih obstoječih in novih stavb so negativni vplivi na naše zdravje. V primeru, da stavba na naše počutje ne vpliva pozitivno, potem opravlja svojo primarno funkcijo pomanjkljivo ali celo nezadostno. Velik dejavnik, ki regulira človeško počutje v prostorih stavbe, je kakovost zraka, ki je odvisna od stopnje prezračevanja. Zaradi razlik v upoštevanju prezračevalnih ukrepov, so se v stroki pojavila posebna poimenovanja, s katerimi se označuje kakovost stavb. Zdrave so tiste stavbe, ki imajo na uporabnika pozitiven ali nevtralen učinek. Z izrazom bolne označujemo stavbe, ki na zdravje uporabnika vplivajo negativno in v nekaterih primerih celo ogrožajo njegovo življenje (Kristl & Dovjak, 2015). Avtorici nadaljujeta, da imamo v prostorih pohištvo, pripomočke in stene iz gradbenih materialov, ki utegnejo negativno vplivati na človeško zdravje, v kolikor teh škodljivih

kemikalij z ustreznim načinom prezračevanja ne odstranimo. Baker in Steemers (2019) ugotavljata, da so najpomembnejši vplivi na zdravje v prostoru: pravilno prezračevanje, ustrezno osvetljevanje in uporaba naravnih materialov, ki niso zdravju škodljivi. Spremenile so se tudi navade ljudi, ki bivajo v stavbah, saj se za skoraj vsako mehansko opravilo uporablja druga naprava. Plini, sevanje in druge kemikalije, ki jih naprave oddajajo, prav tako kvarijo kvaliteto zraka v prostoru in otežujejo bivanje. Avtorja poudarjata tudi nevarnost kemičnih čistil, lakov in pralnih sredstev, katerih nevarne kemijske snovi hlapijo v ozračje in ustvarjajo nevarno okolje.

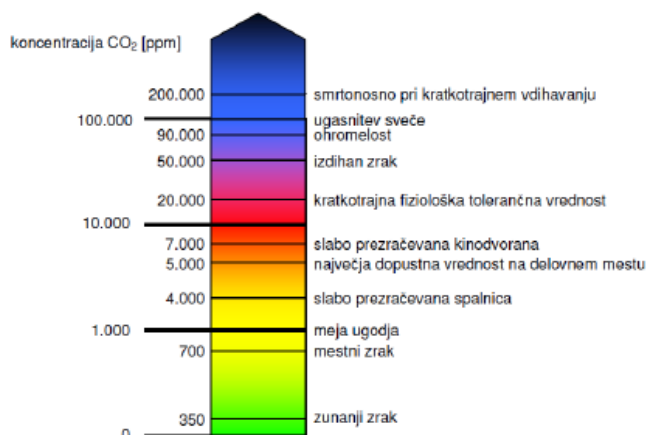
Dejavnike, ki onesnažujejo notranje okolje, imenujemo onesnažila. V grobem jih delimo na konzervativna, kamor prištevamo snovi, ki niso predmet kemičnih procesov, in nekonzervativna, na katere imajo kemijski procesi lahko vpliv. Podrobneje lahko onesnaževalce razdelimo na:

- Ljudi, ki proizvajajo CO₂, vlago in pline.
- Rastline, ki oddajajo vlago.
- Pohištvo, ki je lahko preparirano s kemičnimi snovmi in jih ni mogoče očistiti.
- Naprave, ki utegnejo oddajati nevarne hlape, trde delce in druge škodljive snovi.
- Gradbeni material, ki lahko sestoji iz nevarnih kemijskih spojin, ki utegnejo hlapeti ali oddajati v prostor nevarne delce.
- Sanitarni prostori, ki ustvarjajo neprijeten vonj in vlago (Baker & Steemers, 2019).

V stanovanjih se dnevno soočamo s številnimi nevarnimi snovmi, ki ob različnih koncentracijah in različnih vsebnostih vplivajo na naše zdravje negativno in lahko v ekstremnih primerih celo vodijo v hude bolezni ali smrt. Veliko teh snovi se pojavlja v agregatnem stanju plina, zato so toliko bolj nevarne, ker jih ni moč opaziti s prostim očesom.

Najpogostejši plin je ogljikov dioksid ali CO₂, ki nastaja pri človeškem dihanju in zgorevanju ogljika. Pogosto lahko zasledimo visoke stopnje vsebnosti v prostorih, kjer se ogreva s pečmi na drva ali zemeljski plin. Velikim količinam ogljikovega dioksida smo tako izpostavljeni v prostorih, kjer je veliko ljudi, v kurilnicah, kjer so nameščene peči, in v garažnih prostorih. Nevarnosti lahko nastopijo, kadar so dimniki peči neustrezno počiščeni ali zamašeni. V tem primeru se velike količine CO₂ zadržijo in prerazporedijo po prostoru. Če tak prostor ni ustrezno prezračevan, lahko vsebnosti nad 3.000 mg/m³ resnično prizadenejo naše zdravje. V kolikor ta

številka naraste nad 200.000 mg/m³ lahko nastopi celo smrt posameznika (Komisija za preventivo GZS, 2017).



Slika 2: Nivoji koncentracije ogljikovega dioksida in njihov vpliv

Vir: (Prek, Kakovost zraka: laboratorijske vaje, 2013)

Med nevarne pline spada tudi ogljikov monoksid (CO), ki se v notranjosti prostora pojavi zaradi prehajanja zraka iz zunanosti v notranjost. V večjih količinah ga proizvajajo tudi kurilne naprave in delujoča vozila z motorji v garažnih prostorih. Zanimarljive vrednosti se proizvajajo tudi s kajenjem (Blumenthal, 2001).

Ozon je nevaren plin, ki je v določenih slojih atmosfere zaželen. Za zdravje je škodljiv, saj nastaja z izgorevanjem nekovinskih goriv v prometu in industriji. V prostoru plin nastaja zaradi kajenja, električnih naprav in s hlapenjem čistilnih sredstev (Bocci, 2004).

Nevaren plin je tudi radon, ki se zraven kajenja uvršča med najpogostejše povzročitelje raka na pljučih. Gre za radioaktiven plin, ki prehaja v zrak iz zemlje, vode in gradbenih materialov. V kolikor prezračevanje stavbe ni urejeno, se ta v prostoru zadržuje dalj časa. Nekatere institucije, ki se ukvarjajo z ukrepi za zagotavljanje zdravja, se že aktivno spopadajo z omenjenim plinom. Težava je pri lastnikih stanovanj, kjer je upoštevanje tovrstnih ukrepov prepuščeno lastni presoji, saj niso obvezni in so zgolj priporočljivi (Jönsson, 1995).

Med škodljive snovi uvrščamo tudi formaldehid in hlapne snovi (VOC). Prvi se uporablja kot preparat gradbenih materialov in pohištva. Velike količine je moč zaznati na nizkocenovnem pohištvu in v montažnih hišah. V kolikor smo tej snovi dalj časa izpostavljeni, smo podvrženi hitrejšemu obolenju za rakom. Med hlapne snovi uvrščamo topila, barve in lake. Večje koncentracije teh se pojavljajo v prostorih med in po renovacijah (Baker & Steemers, 2019).

Pogoste težave, ki lahko nastopijo ob kopičenju nevarnih snovi v stanovanju in hkratnem neupoštevanju smernic prezračevanja, so lahko hude akutne ali kronične bolezni. Pri prvih lahko težave nastopijo že v roku 24 ur ob izpostavitvi, običajno pa se kažejo v simptomih omotice, glavobola ali slabosti. Običajno so to kratkotrajne bolezni, ki se ob preseku stika z onesnažilom umirijo. Znani akutni težavi, ki lahko nastopita zaradi zmanjšane kakovosti zraka v prostoru, sta sindrom bolnih stavb (ang. sick building syndrome) in občutljivost na kemikalije (ang. multiple chemical sensitivity). Kronične težave lahko nastopijo, kadar smo onesnaževalcu izpostavljeni v daljšem časovnem obdobju. Primer kroničnih bolezni, povezanih s slabo kvaliteto zraka so na primer bolezni povezane z bivanjem v stavbah (ang. Building-related illnesses). Posledice so ponavadi hude. Kažejo se v obliki prizadetosti dihalnega sistema ali rakavega obolenja (Menzies & Bourbeau, 1997).

2.3 Tipi prezračevalnih sistemov

Ugotovili smo že, da je prezračevanje v stavbah pomembno, ne vemo pa, kako učinkovito je. V grobem je učinkovitost prezračevanja odvisna od temperature in koncentracije onesnaževalcev v prostoru. Večja učinkovitost predstavlja manjša temperaturna nihanja in nižje koncentracije nevarnih snovi.

$$\varepsilon = \frac{c_{ODV} - c_{DOV}}{c_i - c_{DOV}} \quad (2.2)$$

Kjer je:

ε – učinkovitost prezračevanja,

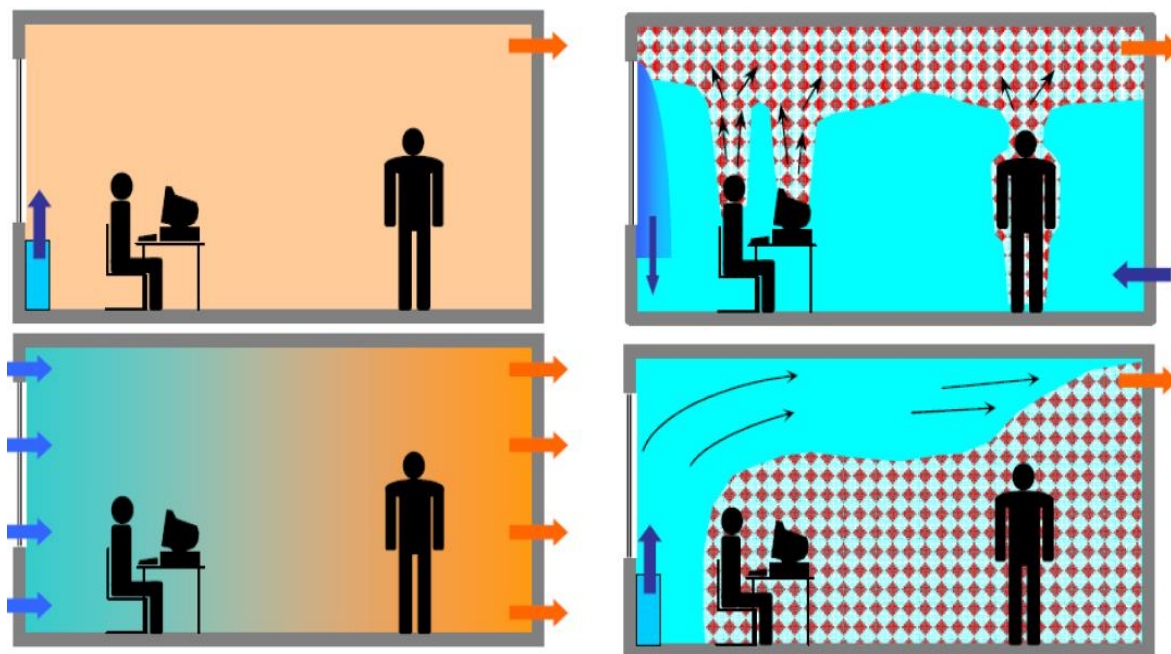
c_{ODV} – koncentracija onesnaženosti v odvodnem zraku,

c_{DOV} – koncentracija onesnaženosti v dovodnem zraku,

c_i – koncentracija onesnaženosti zraka v coni dihanja (Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, 2014).

Kadar je $\varepsilon = 1$, lahko v prostoru pričakujemo večjo količino svežega dovedenega zraka od koncentracije onesnaževalcev, zato bo kvaliteta zraka blizu optimalne. Kadar bo vrednost ε manjša od 1, je treba dovod čistega zraka zmanjšati. Nasprotno storimo, kadar je ε večji od 1, saj je odtočni zrak kakovostnejši od tistega v bivalni coni (prav tam).

Glede na pot gibanja zraka ločimo štiri načine prezračevanja. Prvi način poteka z mešanjem zračnih plasti, kadar se doveden zrak odvaja v prostor z veliko hitrostjo. Pri tovrstni tehniki prezračevanja so potrebni ventilatorji, ki doveden zrak ustrezno premešajo z onesnaženim zrakom (slika 3, shema zgoraj levo).



Slika 3: Načini prezračevanja glede na poti gibanja zraka

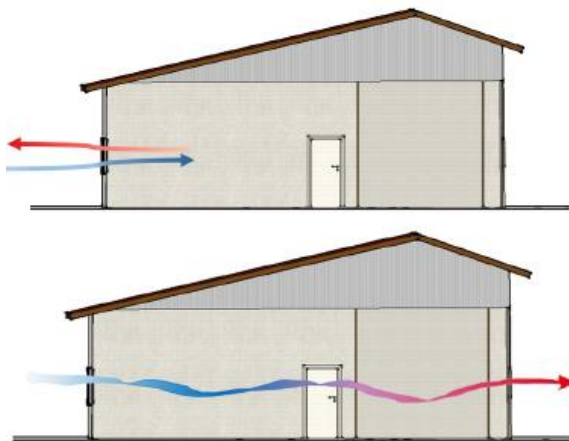
Vir: (Prek, 2014)

Pri izpodrivnem prezračevanju (slika 3, shema zgoraj desno) se topel onesnažen zrak počasi pomika proti stropu prostora, kjer je nameščena enota za odvod tega zraka. Zaradi razlik v gostoti ga svež hladni zrak izpodriva od tal proti stropu. Tretji tip je batno prezračevanje (slika 3, shema spodaj levo), kjer se hladni zrak kot bat z minimalno turbulenco giblje proti toplemu zraku in ga dobesečno izriva ven iz prostora. Zadnja oblika prezračevanja glede na gibanje zračnih mas je kratkostično prezračevanje (slika 3, shema spodaj desno), ki je najmanj učinkovit. Sveže doveden zrak se namreč odvede iz prostora takoj po tem, ko je v prostor prišel. V tem primeru ne prihaja do željenih učinkov prezračevanja, saj se onesnažen zrak še vedno zadržuje v prostoru (Prek, 2014).

2.3.1 Naravno prezračevanje

Stavbe in notranje prostore lahko naravno prezračujemo z odpiranjem oken in vrat ter z infiltracijo oziroma vdorom. Slednje poteka s pomočjo nekontroliranega vdiranja svežega zraka skozi mesta, kjer izolacija ali tesnilo ni dovolj kvalitetno. Pogosto se to dogaja v starih stavbah ob špranjah pri roletnih omaricah, okenskih ali vratnih pripirih in ob netesno vgrajenem

pohištvu. Pri vdorih zelo težko beležimo količino izmenjanega zraka, z zanesljivostjo pa lahko trdimo, da je izmenjava večja takrat, kadar je temperaturna razlika zunaj in znotraj objekta velika. Prezračevanje z infiltracijo je močnejše tudi ob močnejših sunkih vetra, ki potiskajo in mešajo zračne mase (Del Rio, Asawa, Hirayama, Sato, & Ohta, 2019).



Slika 4: Zamenjava zraka v prostoru (zgoraj) in navzkrižno prezračevanje (spodaj) z odpiranjem oken

Vir: (Vrteva, 2018)

Naravno prezračevanje je produkt naravnih sil zračnih tokov. Na te vplivajo dejavniki tlačne razlike, temperaturne razlike in razlike v vlažnosti. V zimskem času je raven naravnega prezračevanja višja kot poleti, saj je zrak zunaj hladnejši in ima različno gostoto kot zrak znotraj ogrevanih prostorov. Na intenziteto naravnega prezračevanja z odpiranjem oken vpliva sama postavitev oken in vrat in razpon odprtja. Tako se lahko prostor prezračuje z zamenjavo notranjega onesnaženega zraka s svežim ali navzkrižno s preprihom (slika 4). Pri navzkrižnem prezračevanju sta pomembni orientiranost stavbnih oken in sama smer vetra (Vrteva, 2018).

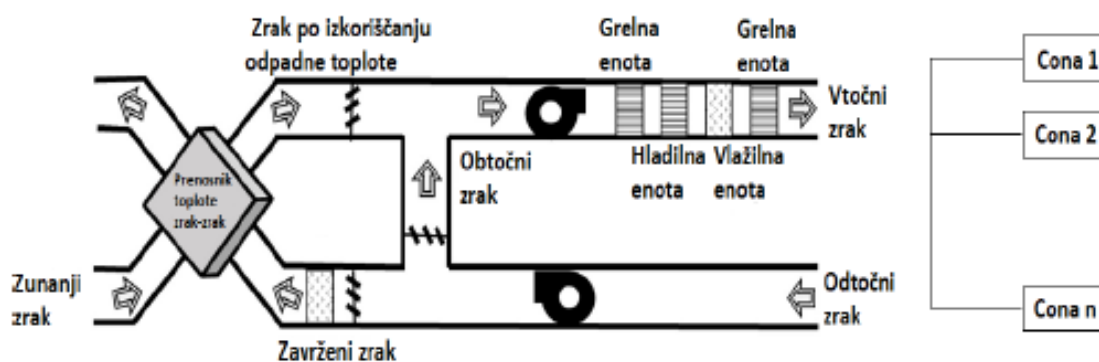
Stara oblika z naravnim prezračevanjem se še vedno uvršča med najbolj ekološke rešitve prezračevanja. Glavne pomanjkljivosti sta v avtomatizaciji samega procesa, saj moramo biti ves čas prisotni, kar utegne predstavljati težavo v času spanca ali odsotnosti od doma. Druga večja pomanjkljivost naravnega prezračevanja so toplotne izgube. Ob manjših temperaturnih razlikah je učinkovitost te tehnike skoraj nična, v zimskih časih pa so toplotne izgube enostavno prevelike. Tretja nevšečnost je nezaželen hrup, mrčes in onesnažen zrak, ki ga lahko z odpiranjem vrat ali oken vnesemo v prostor. Še posebej se tega zavedajo alergiki v pomladnem času, ko po zraku potujejo gmote zemeljskega in cvetnega prahu (Atkinson, 2009). V kolikor naša gradnja sestoji iz masivnih materialov, ki so sposobni absorbirati hlad, potem je v poletnih mesecih priporočljivo nočno prezračevanje. S to tehniko skušamo čez dan zmanjšati izmenjave

med notranjim in zunanjim zrakom, ko pa se temperature čez noč znižajo, pa sprožiti čim učinkovitejšo ventilacijo celotnega prostora z odprtjem oken in vrat (Schulze & Eicker, 2013).

2.3.2 Mehansko prezračevanje

Sodobna gradnja vse bolj teži k uporabi kvalitetnih materialov, ki omogočajo visoke stopnje prilagajanja in tesnjenja. Vse novejši materiali omogočajo visoke energetske prihranke, z minimalnimi izgubami toplote. Čeprav so takšni trendi ekološko sprejeti in pozitivni za ohranjanje narave, pa po drugi strani ustvarjajo težavne pogoje za bivanje. Absolutno tesnjenje namreč povzroča, da med onesnaženim in svežim zrakom sploh ne prihaja do izmenjave. V te namene se je pojavila na trgu potreba po prisilnem oziroma mehanskem prezračevanju. K sreči se ozaveščenost po potrebah prezračevanja še dviguje, zato se na trgu močno inovira, kar ultimativno znižuje stroške nabave tovrstnih sistemov v novogradnjah in obstoječih objektih (Labudović, 2015).

Mehansko prezračevanje deluje po principu odsesavanja onesnaženega zraka in vpihovanja svežega zraka iz zunanosti. Za razliko od naravnega prezračevanja in tlačno-temperaturnih razlik, prihaja tukaj do izmenjav s pomočjo mehanskih ventilatorjev. Prezračevalna naprava nam odvaja slab zrak iz prostorov, kot so kopalnica, kuhinja ali stranišče, hkrati nam pa ga tudi vpihava v prostore, kjer preživimo največ časa. Običajno so dovodne cevi s svežim zrakom usmerjene v spalne prostore, dnevne sobe, otroške sobe in hobi sobe.



Slika 5: Shema delovanja mehanskega prezračevalnega sistema

Vir: (Tafelmeier, Pernigotto, & Gasparella, 2017)

Sistem je običajno sestavljen iz kanalskega oziroma cevne razvoda, pri katerem slab zrak po odvodnih enotah zapušča stavbo s pomočjo sesalnega ventilatorja, zunanji zrak pa prihaja po dovodnih ceveh in se v prostore lansira preko rešetk, vgrajenih v steno ali strop. Vmes so možne namestitve vmesnih enot, ki zrak dodatno prefiltrirajo ali mu spremenijo vlažnost. Za

optimalnost delovanja mehanskih naprav prezračevanja je ključna dobra toplotna izolacija zunanje ovoja stavbe. Potrebe po odpiranju in zapiranju oken ali vrat več ni, kljub temu pa to še vedno ni odsvetovano. Prezračevalne naprave so še posebej učinkovite v zimskem času, kadar so temperaturne razlike visoke in s tem tudi toplotne izgube (Labudović, 2015).

Mehansko prezračevanje ima svoje prednosti in slabosti. Med pozitivne lastnosti prištevamo predvsem avtomatizacijo procesa, saj lahko sistem deluje brez našega fizičnega poseganja, ki je potrebno pri naravnem prezračevanju. Druga prednost je v prilagodljivosti uporabnikovim zahtevam in željam po prezračevanju. Kot smo že ugotovili v prejšnjih poglavjih, ljudje kvaliteto zraka dojemamo različno, zato je dodatna personalizacija sistema dobrodošla. Prilagajamo pa lahko ne samo glede na osebne potrebe, temveč glede na potrebe posameznih prostorov. S sistemi vračanja toplote (slika 5), ki jih bomo spoznali v prihodnjih poglavjih, je naslednja prednost tudi v visoki energetski in toplotni učinkovitosti (LUNOS, 2010).

2.4 Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb

Smernice in pravila, ki se jih je treba držati pri gradnji stavbe, da bo ta ustrezno prezračevana, so zapisana v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb. V njem so določene tehnične zahteve za mehanske naprave, ki so dostopne na trgu in se lahko vgrajujejo v objekte. Pravilnik se osredotoča predvsem na kvaliteto bivanja in zdravje v notranjosti prostorov. Dotika se kakovosti zraka, toplotne atmosfere in določa nekatere minimalno-dopustne meje, ki jih je treba dosegati s prezračevalno-klimatskega vidika notranjosti stavb. V njem je namreč opredeljeno, da kakovost zraka občutno vpliva na produktivnost in raven zadovoljstva ljudi, ki se v prostorih nahajajo. Določeni so tudi nekateri parametri glede relativne vlažnosti, temperature zraka, potrebnega pretoka svežega zraka in splošne kakovosti zraka (Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, 2014).

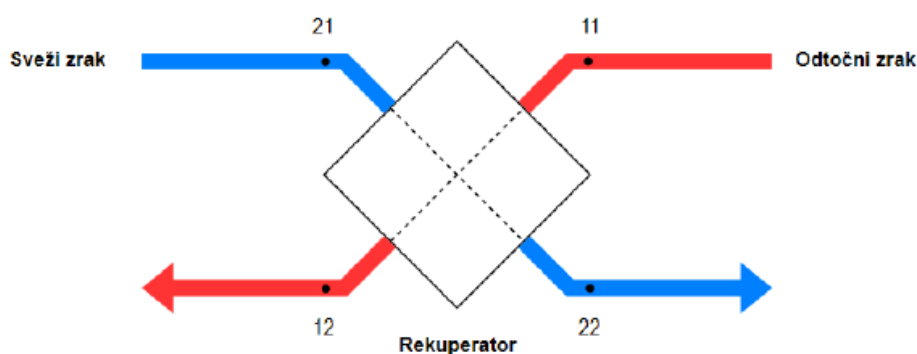
Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb med drugim določa maksimalno dovoljeno koncentracijo onesnaževalcev v prostoru s predpisanimi vrednostmi. Kazalniki, kot so tok zraka in razširjenost emisij ter vonjav v prostoru stavbe, morajo biti ustrezno regulirani in kontrolirani s pomočjo prezračevalnih sistemov. Opisane so tudi tehnične zahteve glede kvalitete zraka. Količina potrebnega vtočnega (svežega) zraka v notranjost prostora mora biti najmanj $15 \text{ m}^3/\text{h}$ na osebo. Določeno je, da se mora ta številka doseči brez dodatnega upoštevanja onesnaževalcev v prostoru in je z učinkovitostjo prezračevanja enako ena. Kadar je prostor zaseden, se mora zagotoviti volumska izmenjava zraka v izmeri $0,5 \text{ h}^{-1}$, kadar pa v prostoru ni

ljudi, je potrebno vzdrževanje izmenjave zraka pri $0,2 \text{ h}^{-1}$, s čimer se odstranijo vse odvečne emisije v prostoru in se hkrati prepreči pojav nabiranja prekomerne vlage oziroma kondenzacije. Pri stavbah, ki imajo strop višje od 3,5 metra in se prezračujejo s pomočjo mehanskih sistemov, se zahteva volumska izmenjava zraka manjša od $0,5 \text{ h}^{-1}$ (prav tam).

Pravilnik zahteva tudi, da bi se naj zagotovili vsi navedeni parametri znotraj posamičnih bivalnih con, ki so odvisne od namembnosti prostora in časa zadrževanja oseb v tovrstnih prostorih. Vključeni so predvsem prostori namenjeni bivanju in delu, torej spalnice, dnevne sobe, pisarne, spalne sobe in hobi sobe. V teh se vgradnja prezračevalnega sistema pričakuje, ni pa nujna. Pravilnik narekuje tudi k čim nižji porabi energije ob uporabi mehanskih sistemov. Pomembno je tudi, da načrtovalci prostorov območja, kjer so povečane količine nevarnih snovi, ustrezno načrtujejo tako, da se odpravijo škodljive emisije in se zagotovi stanje, ki maksimalno pozitivno vpliva na posameznikovo zdravje (prav tam).

3 PREZRAČEVANJE Z REKUPERACIJO

Rekuperacija je poenostavljeno postopek dovajanja zunanjega zraka v prostor in hkratnega odvajanja onesnaženega zraka iz prostora, med katerima prihaja v rekuperacijski napravi do izmenjave toplote. Toplota onesnaženega zraka se prenese na svež doveden zrak od zunaj. Na shemi spodaj (slika 6) lahko vidimo zaokrožen tok gibanja zraka. S tem načinom se ohrani maksimalna količina toplote, ki je zapustila prostor z odpadnim zrakom. Kakovost bivanja se s takim načinom prezračevanja dvigne, saj v prostor dovajamo svež zrak s konstantno temperaturo (Jernejec, 2020).



Slika 6: Primer enostavne izmenjave toplega in hladnega zraka pri rekuperatorju

Vir: (Jernejec, 2020)

Prezračevanje z rekuperacijo velja trenutno za najbolj učinkovito rešitev mehanskega prezračevanja v zgradbah. Sam pojem rekuperacija pomeni vračanje toplote, ki bi bila sicer izgubljena z izsesavanjem notranjega in onesnaženega zraka. Pri rekuperaciji je naloga zraka, ki stavbo oziroma prostor zapušča, da segreje svež zrak, ki v stavbo prihaja iz zunanje okolice. Takšni sistemi so se še posebej izkazali za izjemno učinkovite pri gradnji novih objektov, saj se lahko sistem ustrezno načrtuje pred potekom same gradnje. Kadar se tega lotimo na že obstoječih objektih s sanacijo, potem je proces nekoliko otežen zaradi naknadnega vrtanja in doizoliranja, kar je lahko stroškovno zelo naporno za uporabnika. Pravilno postavljeni sistemi so zelo učinkoviti tudi takrat, kadar gradimo stavbe z oznako nizkoenergetska ali pasivna. Preudarno načrtovanje ni pomembno le pri izbiri ustreznih ponudnikov in naprav, temveč predstavlja izjemnega pomena tudi sama lokacija postavitve v stavbi in pa vzdrževanje naprav. Kadar izberemo zmogljive, a hrupne ponudnike, takrat je pametno, da tovrsten sistem postavimo v kletne ali druge manj obiskane prostore, saj je lahko v nasprotnem primeru učinek delovanja naprave moteč v drugih pogledih. Obstaja tudi možnost vgraditve sistema v

protihrupne omarice. Kadar se odločamo za ustrezen sistem, je pomembno izbirati med sistemi, ki nam nudijo ugodje enostavnega upravljanja. To je danes mogoče preko enostavnih LCD-ekranov in mobilnih aplikacij, s katerimi si lahko sisteme povežemo. Najbolje je, kadar je sistem možno nastaviti tako, da ta deluje povsem avtonomno in se regulira sam. Nekateri napredni sistemi so že sposobni zaznave količine CO₂, vlažnosti, nevarnih plinov in drugih parametrov (Japelj, 1987).

Toplota se v rekuperatorju prenese preko vmesne trde površine z regeneratorskimi prenosniki toplote. Skozi enak predel hkrati potujeta tok hladnega in tok toplega zraka. Trdi podlagi v sredini rečemo tudi matrica. Ko ta sprejme toploto toplega odpadnega zraka, jo nekaj časa zadrži in shrani. Hladnejši tok, ki vstopi, potem to akumulirano toploto prevzame. Celoten proces gibanja zraka je ustvarjen z razlikovanjem zračnih tlakov, ki jih uravnavajo ventilatorji nameščeni v napravi. Vmesni filtri poskrbijo, da se vhodni zrak dodatno prečisti, da je ob vstopu v bivalne prostore čist in brez nezaželenih delcev, plinov ali praha. V rekuperatorju je vgrajen tudi predgrelec s termostatom, kadar so temperaturne razlike prevelike, da bi odvodni zrak uspel segrevati dovodnega. Ta se zažene običajno takrat, kadar se temperatura zunaj spusti pod -3 °C in obstaja tveganje zamrznitve kondenzata (prav tam).

Negativna plat uporabe prezračevalnega sistema z rekuperacijo je predvsem delna izguba vlage, ki jo naprava naravno potrebuje za optimalno delovanje, še posebej v zimskih časih, kadar te v ozračju primanjkuje. Med ključne prednosti prezračevanja z rekuperacijo prištevamo predvsem povečano ugodje bivanja, ki ga dobimo na račun konstantnega dovoda svežega zraka v prostore, in zmanjšane količine CO₂ ter drugih nevarnih emisij. Druga največja prednost prezračevanja z rekuperatorjem je količina optimalne vlažnosti v prostorih in manjšo porabo energije za vzdrževanje toplih prostorov. Med druge prednosti prištevamo še (INOVEKS d.o.o., 2018):

- stalne zamenjave zraka ne glede na klimatske pogoje,
- zmanjšane račune za klimatizacijo in posledično nižje obratovalne stroške stavb,
- odpravo mrčesa zaradi nepotrebe po odpiranju oken in vrat,
- čistejši zrak zaradi vmesnih filtrov, ki so vgrajeni v rekuperatorju (prav tam).

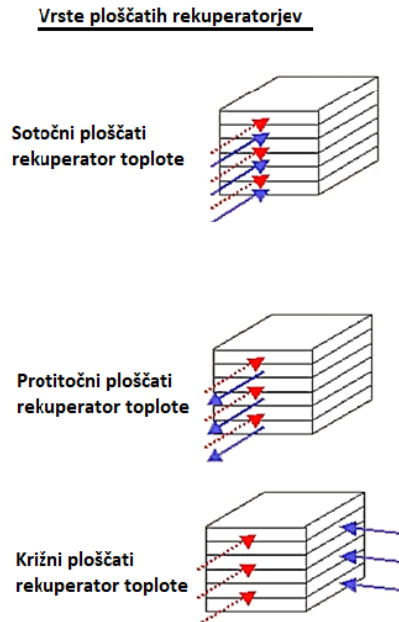
E-net (2015, povzeto po Kovač, 2017) navaja, da je pri izbiri dobrega rekuperatorja treba biti pozoren na naslednje specifikacije:

- Prenosnik toplote ima površino najmanj 20 m^2 na vsakih $100 \text{ m}^3/\text{h}$ volumnskega pretoka. Rekuperator, ki ima kapaciteto $400 \text{ m}^3/\text{h}$, naj ima torej vsaj 80 m^2 površin za izmenjavo toplote.
- Poraba energije, ki se troši za delovanje ventilatorja, mora biti v rangi 0,24 in 0,30 Wh/m^3 . Preračunano s trenutnimi cenami električne energije to pomeni, da mesečno porabimo okrog 4 evre za prezračevanje prostora.
- Rekuperator mora delovati tiho v srednji nastavitvi hitrosti, da ga lahko namestimo v bližini bivalnih prostorov, kjer se nahajamo in preživljamo svoj čas.
- Prenosnik toplote je zmožen vračati tudi vlago, ki je odvedena s prostora. Na ta način lahko dober rekuperator poveča vlažnost v zimskem času in izboljša učinke rekuperatorijskega sistema, saj je v delovanje vključena tudi kondenzacijska oziroma entalpijska energija vlage, ki dodatno poveča izkoristke toplote.
- Rekuperator mora zagotavljati stabilno temperaturo svežega zraka, ki prihaja v prostor od zunaj.
- Zrak, ki vstopa v rekuperator, se mora v vmesnem procesu ustrezno očistiti tako, da zagotavlja optimalno in zdravo okolje (prav tam).

3.1 Tipologija glede na sestavo in učinkovitost

V grobem se rekuperatorji delijo glede na izmenjevanje toplote in izmenjavo toplote vključno z vlago (entalpija). Proces je omogočen zaradi toplotnih prenosnikov, ki jih ločujemo glede na način izmenjave toplote. Delimo jih na plosčne – križne, rotacijske in plosčne – protitočne izmenjevalce. Vsak od teh ima svoje prednosti in slabosti, razlikujejo pa se predvsem v izkoristku toplote. Pri plosčnih – križnih znaša izkoristek med 50 in 65 %, pri rotacijskih do 85 %, največji izkoristek pa lahko dobimo pri plosčnih – protitočnih, kjer se odstotki gibljejo tudi nad 90 %. Slednji je tudi najbolj razširjen in popularen sistem v sodobnih prezračevalnih sistemih. Prenos toplote v njem poteka preko tanke ločilne plošče, ki je sestavljena iz več plasti. Te so običajno z namenom čim večje absorpcije toplote gladke ali valovite, izdelane pa so iz aluminija ali jeklenih zlitin. Prednosti plosčnih toplotnih prenosnikov so v enostavnosti čiščenja in nizkih stroških obratovanja, negativne plati pa se kažejo v pogostem zmrzovanju in

relativno velikih dimenzijah. Pri križnem – ploščatem rekuperatorju se tokova toplega in hladnega zraka križata, pri protitočnem pa topel zrak prihaja iz ene strani, hladen pa iz druge (slika 8) (Vrteva, 2018).

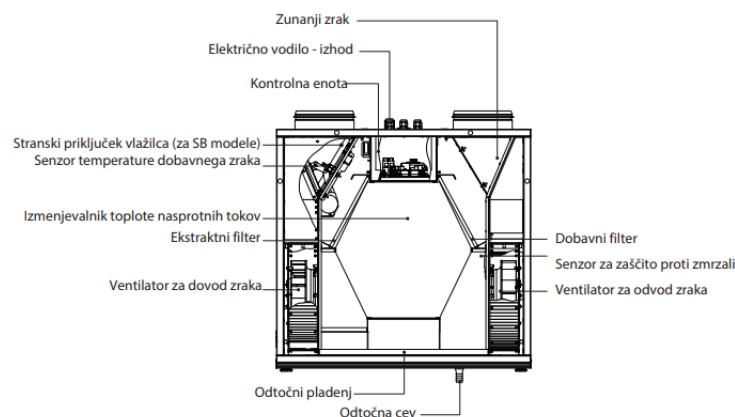


Slika 7: Potek toka hladnega in toplega zraka v ploščatih rekuperatorjih

Vir: (Vrteva, 2018)

Med sestavne dele rekuperatorja prištevamo naslednje elemente (Blauberg, 2018):

- center za izpust odpadnega zraka (iz rekuperatorja),
- dovod zraka v bivalne prostore,
- odvod onesnaženega zraka iz prostorov,
- center za sprejem svežega zraka,
- prostor za filtre (običajno G4, G3, F7),
- toplotni izmenjevalec (ploščni, rotacijski),
- električni predgrelec in by-pass,
- ventilatorje (prav tam).



Slika 8: Prerez sestave rekuperatorja

Vir: (<https://www.blauberg.si/storage/app/uploads/public/5eb/e66/582/5ebe6658247af468192158.pdf>)

Spoznali smo, da je možno rekuperacijske naprave regulirati tako, da se prilagajajo našim osebnim in bivanjskim potrebam. Da lahko izračunamo stopnjo rekuperacije, uporabimo naslednjo enačbo (Medved, 1997):

$$\phi_1 = \frac{t_{VOZ} - t_{IOZ}}{t_{VOZ} - t_{VDZ}} \quad (3.1) \quad \text{oziroma} \quad \phi_2 = \frac{t_{IDZ} - t_{VDZ}}{t_{VOZ} - t_{VDZ}} \quad (3.2)$$

Poenostavljeno:

$$\frac{\phi_2}{\phi_1} = \frac{\dot{m}_1 - c_1}{\dot{m}_2 - c_2} \quad (3.3)$$

Kjer je:

ϕ – stopnja rekuperacije,

t_{VOZ} – vstop odvodnega zraka,

t_{IOZ} – izstop odvodnega zraka,

t_{VDZ} – vstop dovodnega zraka,

t_{IDZ} – izstop dovodnega zraka.

Poznamo še ostale metrike, ki določajo uspešnost rekuperacijskega procesa. Delijo se glede na učinkovitost rekuperatorjev brez hlapilnega hlajenja in na učinkovitost rekuperatorjev z indirektnim hlapilnim hlajenjem. Pri prvi možnosti je učinkovitost odvisna od masnih tokov

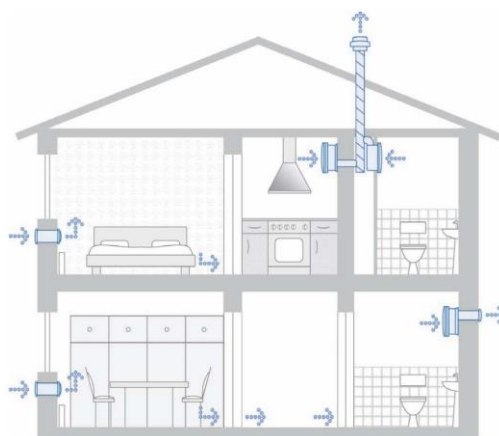
dovodnega in odvodnega zraka ter temperature zraka pred in po rekuperaciji. Na slednjo namreč vpliva visoka temperaturna razlika. Druga možnost merjenja učinkovitosti je z indirektnim hlapilnim hlajenjem, kjer veljajo enake zakonitosti, le da se tukaj vključi upoštevanje navlaženosti termometra (Koroleva, 2012).

3.2 Lokalni in centralni prezračevalni sistem z rekuperatorjem

V praksi se rekuperatorji v napravah, ki so dejansko vgrajene v naše prostore, nahajajo v dveh oblikah prezračevalnih sistemov:

- lokalnih prezračevalnih napravah,
- centralnih prezračevalnih napravah.

Pri lokalnih napravah gre za relativno cenovno dostopno rešitev prezračevanja, ki je namenjeno predvsem manjšim prostorom, z možnostjo osredotočenja na en sam prostor. Lokalni sistem je sestavljen iz naprave, ki je nameščena direktno na zunanjo steno, zato je montaža relativno hitra in enostavna, saj ni potreb po cevni napeljavi odvodnih in dovodnih cevi (slika 10). Lokalno prezračevanje je priporočljivo v že obstoječih stavbah in starih stavbah oziroma tam, kjer ni možno napeljati centralnega sistema. Slabost lokalnega prezračevalnega sistema je v potrebi po namestitvi več lokalnih naprav, v kolikor bi želeli prezračevati več prostorov. Množičnost naprav lahko predstavlja dodatne težave in stroške pri vzdrževanju, saj je potrebno redno zamenjevanje filtrov, prav tako lahko prihaja pri posamičnih enotah do okvar in zato slabši porazdelitvi prezračevanja med prostori. Primer postavitve enot si lahko ogledamo na sliki 9 (LUNOS, 2010).



Slika 9: Prikaz delovanja posameznih lokalnih prezračevalnih enot v enostanovanjski stavbi

Vir: (https://lunos.si/images/pdf/lunos_katalog_klasi-ni-sistem_2010.pdf)

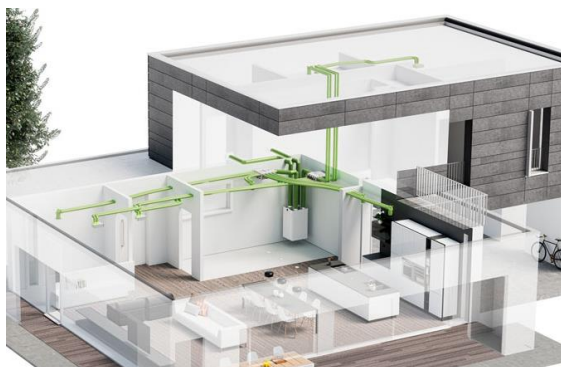
Drugi negativni aspekt lokalnih sistemov je hrup, še posebej v spalnih prostorih. Pravilnik o klimatizaciji in prezračevanju sicer narekuje, da se lahko podnevi dosega hrup do višine 35 dB, ponoči pa do 30 dB. Ker mnoge naprave te standarde dosegajo, pa lahko še vedno prihaja do neželenih zvokov, ki lahko prihajajo direktno iz prezračevalne enote. Toplotni izkoristki lokalnih naprav za prezračevanje z rekuperatorjem se lahko gibljejo med 70 in 80 %, pri nekaterih z entalpijo vlage pa tudi nad 90 % (Vrteva, 2018).



Slika 10: Prerez sestave lokalne prezračevalne naprave z rekuperatorjem

Vir: (<https://www.blauberg.si/storage/app/uploads/public/5eb/e5e/aa1/5ebe5eaa1e26a552975751.pdf>)

Druga oblika naprav za prezračevanje z rekuperacijo so centralni sistemi, ki so nekoliko obsežnejši in kompleksnejši od lokalnih. Namenjeni so prezračevanju celotnih stavb in večjih večstanovanjskih kompleksov. Center naprave je ena večja prezračevalna naprava, iz katere izhajajo cevni razvodi dovodnega in odvodnega zraka. Princip delovanja je enak, le da se zrak pretaka po dolgih ceveh, ki so položene po celotnem objektu. Takšne sisteme pogosto najdemo v novogradnjah, nizkoenergetskih hišah in pasivnih hišah, saj jih je treba pred vgradnjo načrtovati in so relativno ekonomični na dolgi rok uporabe (Sever, 2020).



Slika 11: Prerez stavbe s centralnim prezračevalnim sistemom

Vir: (<https://www.varcevanje-energije.si/prezracevanje/pogoste-zmote-prezracevanje-prezracevalni-sistem.html>)

Pozitivne lastnosti centralnega sistema se kažejo v zmanjšanem hrupu, saj lahko centralno prezračevalno napravo postavimo v prostor, kjer ne porabimo veliko časa, na primer v klet. Takšen sistem nam med drugim omogoča tudi večje toplotne izkoristke, avtomatski by-pass, varnostni predgrelec in možnosti večstopenjske filtracije (Sever, 2020).

3.3 Primerjava ponudnikov v Sloveniji

Ker je ozaveščenost ljudi o pomembnosti dobrega prezračevalnega sistema v stanovanju ali hiši vedno večja, se je na tem področju v zadnjih nekaj letih zgodilo ogromno inovacij, ki težijo k boljšim izdelkom in nižjim nakupnim cenam. Veliko je pripomogla pojavnost mnogih proizvajalcev pametnih sistemov, ki težijo k višji energetske učinkovitosti. Tekmovalnost med podjetji je zaželeno, saj se lahko na ta način občutno pocenijo izdelki, montaža in rezervni deli, ki so potrebni za inštalacijo tovrstnega sistema.

3.3.1 Tržni pregled podjetij

V tem poglavju si bomo na hitro ogledali podjetja, ki na področju prezračevanja delujejo že več let. Nekatera med njimi so tudi aktivno vključena v sam razvoj, nekatera nastopajo v vlogi uradnih distributerjev tujih proizvajalcev, nekatera pa se ukvarjajo izključno z montažo in servisiranjem. V vzorec pregleda smo vzeli podjetja K. B. Kokot d.o.o., Tames d.o.o., Klima Ptuj d.o.o., Klima Petek d.o.o. in Lunos d.o.o. V tabeli 1 so prikazani ključni kazalniki uspešnosti njihovega poslovanja.

Tabela 1: Pregled podjetij, ki poslujejo v panogi prezračevanja

Kategorije	Podjetja in podatki				
Ime podjetja	K. B. KOKOT, d.o.o.	TAMES d.o.o.	KLIMA PTUJ d.o.o.	KLIMA PETEK d.o.o.	LUNOS d.o.o.
Datum ustanovitve	21. 2. 2008	14. 2. 1990	9. 1. 2003	23. 2. 1990	11. 10. 2010
Sedež podjetja	Moškanjci 45A, 2272 GORIŠNICA	Ormoška cesta 14, 2250 PTUJ	Osojnikova cesta 9, 2250 PTUJ	Kraljeviča Marka ulica 14, 2000 MARIBOR	Robbova ulica 2, 1000 LJUBLJANA
Logotip					
Celotni prihodki	1.208.480 €	11.003.553 €	11.354.432 €	1.150.282 €	4.804.060 €
Poslovni izid iz poslovanja	85.270 €	225.532 €	232.186 €	334.108 €	617.180 €
Donos na kapital (ROE)	17,46	4,46	6,66	0,58	71,1
Sredstva	785.095 €	11.099.371 €	5.995.625 €	2.645.274 €	2.792.610 €
Povprečno število zaposlencev na podlagi delovnih ur	9,45	100	28,54	12,42	10,56
Dodana vrednost na zaposlenega	50.682 €	34.082 €	42.624 €	59.850 €	81.637 €

Vir: (Bisnode, 2020)

Kot je razvidno iz tabele, smo izbrali podjetja z najmanj 10 let izkušenj znotraj dejavnosti F 43.220 – Inštaliranje vodovodnih, plinskih in ogrevalnih napeljav ter naprav (E-vem, 2020). Vsaj omenjena podjetja operirajo primarno v Podravski regiji. Kazalnik celotnih prihodkov za leto 2019 nam pove, da je največ prihodkov ustvarilo podjetje Klima Ptuj, in sicer kar 11.354.432 evrov. Nedaleč stran mu z dobrimi 11 milijoni evri sledi podjetje Tames. Najmanj prihodka je ustvarilo podjetje Klima Petek, in sicer 1,15 milijona evrov. Po poslovnem izidu iz poslovanja je najuspešnejše podjetje Lunos, ki je pri 4,8 milijonih evrih prihodka ustvarilo 617.180 evrov pozitivnega poslovnega izida. Je hkrati tudi podjetje z največjim donosom na vložen kapital (ROE), in sicer 71,1 %. Omenjeno veliko podjetje veliko vlaga v marketing in samopromocijo, zato smo na enem izmed intervjujev ugotovili, da aktivno sodeluje pri razvoju učinkovitejših ventilatorjev, ki so last njihovega krovnega podjetja Lunos GmbH. Največ ljudi zaposluje Tames, na drugem mestu je podjetje Klima Ptuj. Med omenjenima podjetjema je zanimiv podatek razmerja ustvarjenih prihodkov in števila zaposlencev, saj Klima Ptuj dosega

večje prihodke s trikrat manj zaposlenci. Tudi njihova dodana vrednost na zaposlenca je skoraj 10.000 evrov višja od podjetja Tames. Največjo dodano vrednost na zaposlenca ustvarja podjetje Lunos, saj je del njihovega poslovanja usmerjen izključno v razvoj. Na drugem mestu je podjetje Klima Petek, na tretjem pa podjetje K. B. Kokot.

3.3.2 Ponudba lokalnega prezračevanja

Podjetij, ki se ukvarjajo s prodajo oziroma distribucijo lokalnih prezračevalnih sistemov, je veliko. Prav tako obstaja veliko proizvajalcev, ki so zadolženi za razvoj. Izbrali smo nekaj popularnih izdelkov (tabela 2) notranjega prezračevanja, ki jih bomo med seboj primerjali.

Tabela 2: Pregled lastnosti izdelkov lokalnega prezračevanja

Proizvajalec	Lunos	Limodor	Helios	Blauberg
Model naprave	Lunos e2	AirOdor	KWL EC 60	Vento ECO2
Slika naprave				
Velikost [mm]	180 x 180	281 x 281	370 x 370	241 x 241
Volumski pretok zraka [m³/h]	do 38 m³/h	do 45 m³/h	do 60 m³/h	do 50 m³/h
Toplotni izkoristek	90,60 %	do 82 %	do 70 %	92 %
Energetska poraba	0,09 W/m³/h	0,17 W/m³/h pri 14 m³/h	0,06 W/m³/h pri 17 m³/h 0,67 W/m³/h pri 60 m³/h	0,14 W/m³/h pri 15 m³/h 0,2 W/m³/h pri 50 m³/h
Toplotni prenosnik	Acuvent-hranilnik toplote	Keramični toplotni izmenjevalec	Velikopovršinski aluminijasti ploščni protitočni toplotni izmenjevalec	Keramični toplotni izmenjevalec
Tip filtra	G3 in filter proti cvetnemu prahu	G3	G4 in F7	G3 in F8
Zvok [dB]	16,5–26	22–35	18–30	13–23
Upravljanje	Večfunkcijsko stikalo	Večfunkcijsko stikalo	Večfunkcijsko stikalo	Večfunkcijsko stikalo

Vir: (Lasten vir)

Predstavljeni so štirje lokalni prezračevalni sistemi, ki se medsebojno razlikujejo glede na devet različnih kriterijev. Prvi kriterij je seveda estetski videz naprave, ki je subjektivne narave in se od posameznika do posameznika razlikuje. Drug kriterij je velikost dekorativne plošče. Vidimo lahko, da sta velikost naprave in njena zmogljivost volumnskega pretoka zraka pozitivno korelirana. Večjo kapaciteto ima naprava, večji je pokrov. V našem primeru je največja naprava Helios KWL EC 60, ki meri 370 x 370 mm in ima kapaciteto volumnskega pretoka do 60 m³/h. Kriterij štiri je toplotni izkoristek. V kolikor bi želeli, da naša naprava vrne več toplote, potem bi izbrali sistem Lunos, saj je zmožen povrniti do 90 % toplote. Najmanj toplote se povrne pri tretjem izdelku. Energetska poraba je prav tako kriterij, ki je pomemben, če želimo ohraniti sistem varčen. Najmanjšo porabo imata tretji in prvi sistem prezračevanja. Za laičnega kupca sta pomembna še kriterija filtra in zvoka. Najmanj hrupa povzroča sistem Blauberg Vento ECO2, največ hrupa pa izdelek podjetja Limodor.

3.3.3 Ponudba centralnega prezračevanja

Podobno kot lokalne prezračevalne sisteme z rekuperatorji, bomo primerjali tudi centralne sisteme. Primerjali bomo izdelke podjetij Helios in Komfovent. Med proizvajalcema smo primerjali stensko in stropno verzijo izdelkov.

Tabela 3: Pregled lastnosti izdelkov centralnega prezračevanja

Proizvajalec	Helios	Helios	Komfovent	Komfovent
Model naprave	KWL EC 200 W	KWL EC 340 D	Domekt R 200 V	Domekt P 700 H
Tip	Stenski	Stropni	Stenski	Stropni
Slika naprave				
Velikost [mm]	650 x 600 x 345	236 x 1141 x 548	660 x 600 x 320	495 x 1325 x 600
Volumski pretok zraka [m³/h]	do 200 m³/h	do 340 m³/h	do 258 m³/h	do 816 m³/h
Toplotni izkoristek	84 % pri 251 m³/h 85 % pri 168 m³/h 90 % pri 120 m³/h	< 90 %	82 %	55 %
Energetska poraba	0,52 Wh/m³ pri 20 m³/h 0,7 Wh/m³ pri 200 m³/h	0,6 Wh/m³ pri 20 m³/h 0,42 Wh/m³ pri 235 m³/h	0,7 Wh/m³	0,51 Wh/m³
Toplotni prenosnik	Velikopovršinski ploščni protitočni toplotni izmenjevalec	Velikopovršinski ploščni protitočni toplotni izmenjevalec	Rotacijski iz aluminijske folije	Ploščni protitočni toplotni izmenjevalec
Tip filtra	G4 in F7	G4 in F7	ni podano	ni podano
Zvok [dB]	28–45	25–78	43	46–66
Upravljanje	Drsno stikalo	Drsno stikalo	LED zaslon	LED zaslon

Vir: (Lasten vir)

Če začnemo s primerjavo stenskih modelov, ugotovimo, da dosega Komfoventov izdelek večjo kapaciteto kot njegov tekmeec. Toplotni izkoristek je sicer večji pri napravi KWL EC 200 W, saj je ta zmožna pri srednji hitrosti povrniti 85 % toplote, pri najnižji hitrosti pa 90 % toplote. Pri izdelku Domekt R 200 V nismo našli točnega podatka porabe glede na hitrostne stopnje. Sklepamo lahko, da je podatek 82 % mišljen za srednjo vrednost prezračevanja. Energetska poraba omenjenih naprav se giblje pri 0,7 Wh/m³. Z vidika hrupa je bolje izbrati Heliosov izdelek, saj znaša njegov nivo oddajane zvoka med 28 in 45 dB. Pri primerjavi stropnih izvedb smo izbrali zmogljivejšo napravo, ki je zmožna prezračiti tudi do 816 m³/h (Domekt P 700 H). Njen toplotni izkoristek je sicer veliko slabši, saj utegne povrniti zgolj nekaj več kot

polovico toplote. Glede na zmogljivost je presenetljiva njena nizka poraba, saj predpostavljamo, da ob srednji hitrosti delovanja porabi približno 50 Wh/m^3 , kar je primerljivo s skoraj trikrat šibkejšim konkurentnim proizvajalcem Helios.

4 ENERGETSKO STANJE IN UČINKOVITOST GRADNJE

Slovenska gospodinjstva porabijo približno 80 % vse energije za ogrevanje ali klimatizacijo, preostalih 20 % pa porabijo gospodinjski aparati, razsvetljava, generiranje tople vode in prezračevanje. Trendi se vsekakor gibljejo v smeri nižanja porabe z gradnjo nizkoenergijskih hiš in vgradnjo alternativnih pripomočkov, ki uspejo energijsko stanje stavbe znižati. V povprečju slovenska gospodinjstva porabijo okrog 140 kWh/m² energije, kar je napram standardom nekaterih drugih držav veliko. Načrti Evropske unije zajemajo znižanje toplogrednih plinov za 40 % in dvig uporabe obnovljivih virov za 27 % do leta 2030. V istem obdobju je načrtan tudi splošni cilj manjše porabe energije, in sicer za 27 % (Asdrubali & Desideri, 2019).

4.1 Standardizacija energetske učinkovitosti

Pojavile so se različne metode, ki ugotavljajo učinkovitost zadrževanja toplote v prostorih. Medsebojno se razlikujejo pri upoštevanju vhodnih podatkov za izračunavanje, kar privede do razlikovanja v končnih rezultatih meritev. Metoda DIN 4719 določa postopke meritev, kjer se ugotavlja, koliko zunanjega zraka se segreje ob prehodu skozi prenosnike toplote. Ker je pri izračunu uporabljena entalpijska vrednost z vključeno vlažnostjo, lahko številke velikokrat močno odstopajo in v nekaterih ekstremnih primerih prikazujejo vrednosti večje od 100 % učinkovitosti. Takšna dinamika je v naravi vsekakor nemogoča, zato je treba meritve preveriti in jih izmeriti ponovno. Drug pogosto uporabljen standard za merjenje toplotne učinkovitosti je metoda EN 308-1997. Je standard, ki je specializiran za opravljanje meritev rekuperatorjev in je po izvedbi zelo podoben standardu DIN 4719. Z njim se določa uhajanje zraka med zračnimi kanali, prenašanje toplote in vlage ter spremembe v tlačnosti. Učinkovitost je pri tem standardu definirana kot razmerje v razlikah temperature vhodnega in izhodnega zraka. Med najbolj natančne in objektivne metode se uvršča standardizacija PHI (ang. Passive House Institut). Meritve in certifikat izdaja inštitut Passivhaus v Nemčiji. Vredno je omeniti, da se je tovrstna metoda obveljala kot benchmarking standard pri pridobivanju subvencije Eko sklada, katero bomo podrobneje predstavili v naslednjem poglavju. V grobem se z meritvami dosežeta dva parametra. Prvi je izkoristek vračanja toplote v odstotkih, drugi je raba električne energije v Wh/m³. Standard upošteva tudi pomembnost vračanja vlage, saj njeno izparevanje jemlje toploto in posledično zrak ohlaja. Ta proces je še posebej izrazit v zimskem času, kadar je zrak izjemno suh (Pušnik, 2016).

4.2 Pravilniki in zakonodajno ozadje

Z Direktivo 31/2010/EU Evropskega parlamenta in Sveta je 1. julija 2010 vstopil v veljavo Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES). V njem so določene normativne zahteve na področjih ogrevanja, hlajenja, ravni prezračevanja, svetlobe v stavbah in smernice za zagotavljanje obnovljivih virov energije. Pravilnik je treba upoštevati pri novogradnjah in rekonstrukcijah starih stavb, kjer se posega v najmanj 25 % površin toplotnih ovojev. Da lahko z našo gradnjo zagotovimo osnovne zahteve pravilnika, je treba upoštevati naslednje smernice (Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, 2020):

- mejne vrednosti koeficientov specifičnih transmisijskih toplotnih izgub pri površinah toplotnih ovojev stavbe,
- preračun letnih količin toplote za potrebe ogrevanja stavbe, ki je preračunana na enoto površine ali prostornine,
- preračun letnih potreb po hlajenju,
- potrebe po energiji za razsvetljevanje objekta (prav tam).

Pravilnik se uporablja pri konstrukciji naslednjih objektov:

- stavb za promet in izvajanje elektronske komunikacije,
- rezervoarjih, silosih in skladiščih,
- kmetijskih objektih,
- stavbah, kjer se opravljajo verski obredi,
- nadstrešnicah, javnih sanitarnih objektih in zakloniščih,
- industrijskih stavbah, ki so ogrevane ali klimatizirane (prav tam).

Zraven omenjenega pravilnika sta v veljavi še Energetski zakon, ki predpisuje energetske izkaznice in redne klimatizacijske preglede, ter Zakon o varstvu okolja, ki predpisuje redni pregled kotlov (Pušnik, 2016).

4.3 Vplivnost dejavnikov na učinkovitost

V Sloveniji se kar 72 % večstanovanjskih stavb uvršča med energetske neučinkovite glede na debelino zunanje izolacije. Izmed oken, ki so trenutno vgrajena v objekte, je le 16 % takšnih,

ki so okolju prijazne. Pri sanacijah, prenovah ali novogradnjah je možno s celovitim pristopom zmanjšati povprečno porabo energije, in sicer v povprečju za 30 %. Da bi dosegli takšno stanje, moramo upoštevati naslednje ukrepe (Chiras, 2007):

- Pri ovoj stavbe je treba položiti dodatno toplotno izolacijo, ki je čim bolj zrakotesna.
- Vgraditi je treba okna z nizko energetske porabo ob maksimalni propustnosti svetlobe v prostore.
- Načrtovati in vgraditi je treba ustrezne prezračevalne in ogrevalne sisteme, ki omogočajo vračanje toplote v prostor.
- Vpeljati je treba pasivno hlajenje stavbe.
- Uporaba alternativnih virov ogrevanja ali sistemov za izkoriščanje sončne energije lahko pokaže prihranke tudi nad 50 %.
- Namestitev fotovoltaičnih modulov za proizvodnjo električne energije (prav tam).

Avtor nadaljuje, da je treba naslednje ukrepe ustrezno planirati in jih dosledno implementirati. Najprej je treba poskrbeti za kvaliteto izolacije zunanje ovoje, vrat in oken. Šele nato se prične načrtovanje prezračevalnih, ogrevalnih in klimatskih sistemov. V zadnjem koraku si uporabnik po želji hišo optimizira s pomočjo dodatnih fotovoltaičnih celic ali naprav, ki uspejo vir energije pridobivati na alternativen način (prav tam).

4.3.1 Kakovost izolacije

S pojmom izolacija imamo v mislih zunanjo ovoj stavbe. Sem uvrščamo ovoj zunanje stene in ovoj strehe, saj pri stavbi predstavljata največje površine in s tem največje izgube ali prihranke energije. Skozi zunanjo steno se izgubi približno 35 % celotne toplotne energije, skozi streho te izgube predstavljajo 25 %. Obe enoti torej ščitita ogrevano notranjost stavbe pred zunanjimi vplivi. Da so toplotne izgube minimizirane, je treba vpeljati kvaliteto izolacijo, ki je odvisna od debeline in toplotne prevodnosti. Merilo prevodnosti je toplotna prehodnost U (W/m^2K), ki mora biti čim manjša, v kolikor želimo dosegati visoko učinkovitost. Najpogostejši izolacijski materiali so stiroporne plošče, steklena ali mineralna volna, pluta, lesna vlakna in celulozni kosmiči. Slednji trije sodijo med ekološke tipe izolacije, saj se ob njihovi proizvodnji ne obremenjuje okolja. Težave pri izbiri pogosto nastopijo, kadar je v igri finančna moč investitorja nepremičnine, ki zaradi previsokih stroškov ponavadi ne izbere kvalitetne izolacije. Čeprav je za izolacijo odšteli manj denarja ob vgradnji, bo na dolgi rok izgubil bistveno več v obliki energijske porabe in parametrov udobja bivanja. Dobra izolacija zunanje stene mora

zagotavljati paropropustnost, trajnost in požarno varnost. Pri strehi je toplotna izolacija lahko nameščena med, pod ali nad špirovci, njena kakovost pa neposredno vpliva na udobje bivanja v mansardnih prostorih. To je običajno možno zagotoviti z uporabo 20 do 25-centimetske izolacije (Perko, 2017).

4.3.2 Ogrevanje

Ko zaključimo z izolacijo zunanje ovoja stavbe, se lahko lotimo izbire in načrtovanja sistema za ogrevanje. Med ekološko nesporne in priporočljive se uvršča ogrevanje z lesno biomaso. Ta predstavlja odpadni material iz procesov pridobivanja lesa in je zgrajena iz žagovine, odpadkov pri sečnji, odpadkov pri obrezovanju dreves ipd. Ta material se nato zmelje in predela v pelete. V kolikor želimo visoke energetske izkoristke, potem je treba pri ogrevanju implementirati obnovljive vire energije. Mednje štejemo sončno energijo, energijo vode, energijo vetra, energijo valov in geotermalno energijo. Pri nas so nekatere izmed naštetih naravno neizvedljive, zato je poudarek predvsem pri vgradnjah sončnih elektrarn (Energetska izkaznica, 2013b).

4.3.3 Sestava oken in vrat

Tretji vidik doseganja visoke energetske učinkovitosti v stavbah je izbira oken in vrat. Glavna naloga prvih je prepuščanje naravne svetlobe v prostor, naravno prezračevanje prostorov in stik z okolico stavbe. V kolikor so okna nekvalitetna, se skozi njih spusti manj svetlobe, prav tako je uhajanje toplote skozi reže večje, kar vse vodi do večjih toplotnih izgub. Ob nakupu oken je tako treba upoštevati zasteklitev, toplotno prehodnost, število slojev in načine odpiranja. Navadna dvoslojna okna predstavljajo toplotne prehodnosti med 2,7 in 3 W/m²K. Naprednejša okna imajo med sloji pline kot sta argon in kripton, ki uravnavata prehod toplote, zato so takšna stekla sposobna dosegati prehodnost do 1,1 W/m²K. Z vidika materiala iz katerega so okna in vrata narejena, imamo na izbiro dve najpopularnejši možnosti. Prva je les, ki z vidika tesnjenja ni najboljši material. Veliko bolj učinkovita so vrata in okna iz PVC-materiala, ki so tudi odpornejša na zunanje vplive. Dobro tesnjenje pa seveda prinaša tudi svoje negativne posledice, saj se s tem zaprejo vse možnosti naravnega prezračevanja stavbe, v kolikor tega ne opravljamo zavestno sami. Prostore spremenimo v neprodušne celice, kjer je potrebna vpeljava prisilnih oziroma mehanskih prezračevalnih sistemov (Energetska izkaznica, 2013b).

4.4 Pomen energetske izkaznice

Energetska izkaznica nam prikaže porabo energije v stavbi in njeno energijsko učinkovitost z dodanimi predlogi o izboljšavah. Podatki izdelanih energetskih izkaznic so javno dostopni in hranjeni v registru. Glavni namen listine je v transparentnosti podatkov energetske porabe, tako

da lahko potencialni kupci ali najemodajalci dobijo vpogled v okvirne stroške in se tako lažje odločijo za nakup ali najem.

Energetsko izkaznico je treba izdelati takrat, kadar nepremičnino prodajamo, jo oddajamo v najem, pri novogradnjah, pri oglaševanju nepremičnin in pri javnih zgradbah. Naslednji objekti so izvzeti in ne potrebujejo izdelave energetske izkaznice (Elcond Inženiring d.o.o., 2020):

- stavbe, ki so v skladu s predpisi o ohranjanju kulturne dediščine,
- stavbe, kjer se opravljajo verske dejavnosti,
- industrijske stavbe in skladiščni prostori,
- kmetijske stavbe, ki so nestanovanjske,
- enostavni in nezahtevni objekti,
- samostojne stavbe s celotno tlorisno površino manjšo od 50 m² (prav tam).

Tabela 4: Razredi energijske učinkovitosti

Razred	Učinkovitost	Razred	Učinkovitost
A1	od 0 do 10 kWh/m2a	D	od 60 do 105 kWh/m2a
A2	od 10 do 15 kWh/m2a	E	od 105 do 150 kWh/m2a
B1	od 15 do 25 kWh/m2a	F	od 150 do 210 kWh/m2a
B2	od 25 do 35 kWh/m2a	G	od 210 do 300 kWh/m2a
C	od 35 do 60 kWh/m2a		

Vir: (<https://www.energetska-izkaznica.eu/osnovne-informacije/energijski-razredi/>)

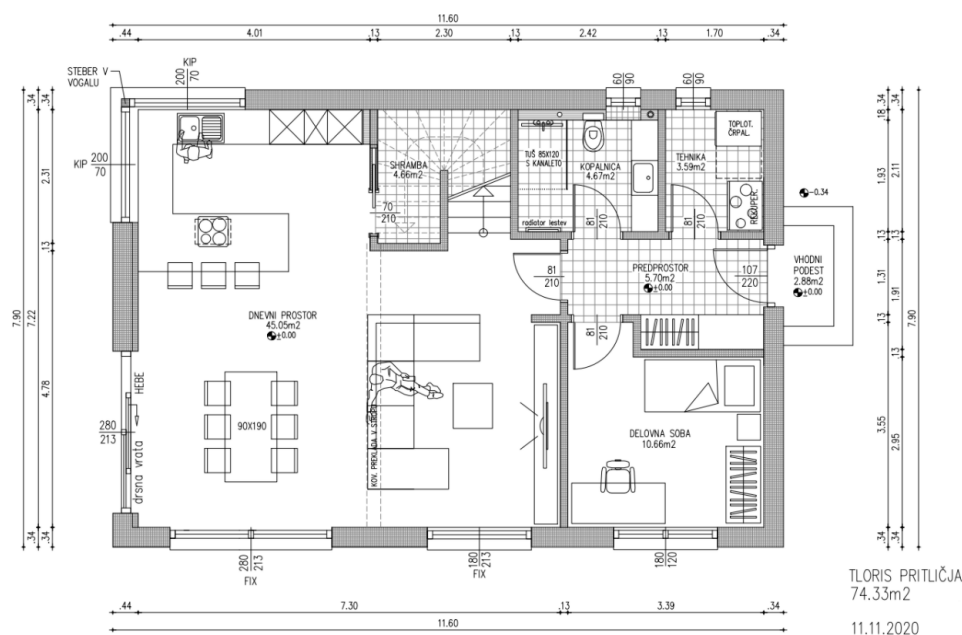
Glede na izdelavo ločujemo računske in merjene energetske izkaznice. Prve se določajo na podlagi izračunanih transmisijских izgub in na podlagi potrebne energije za ohranjanje konstantne toplote. Primernejša je za stanovanjske stavbe in novogradnje. Upoštevata se dva kazalnika, kjer prvi izraža letno potrebno toploto za ogrevanje stavbe pri temperaturi zraka 20 °C, drugi pa letno dovedeno energijo za delovanje stavbe, torej za pokrivanje potreb, kot so ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, klimatizacija in osvetlitev. Drug tip je merjena izvedba, ki je namenjena obstoječim nestanovanjskim stavbam. Rezultati se upoštevajo za obdobje treh let, pri čemer se upoštevajo rezultati življenjskega sloga in potreb po energetske potrošnji prejšnjega lastnika. Pomembna sta dva kazalnika. Prvi je števec letne dovedene energije, drugi je kazalnik letne dovedene električne energije (Elcond Inženiring d.o.o., 2020).

5 ANALIZA PRAKTIČNEGA PRIMERA

V tem poglavju bomo s pomočjo računalniškega programa PHPP izvedli izračun energetske učinkovitosti pri nekoliko preurejeni tipski hiši Marles, tip Modern. V prvem podpoglavju bomo predstavili prostore hiše in porazdeljenost, v drugem podpoglavju pa bomo opisali smernice, ki jih je treba upoštevati pri vgradnji prezračevalnega sistema. V tretjem podpoglavju bomo utemeljili, kako poteka dimenzioniranje razvodov in s pomočjo programa izračunali potrebno pretočnost zraka v celotnem objektu. Sledila bo primerjava energetskega stanja stavbe z naravnim prezračevanjem in stanja z vgradnjo standardnega centralnega prezračevalnega sistema z rekuperacijo. Poglavje bomo zaključili z izračunom stroškov izvedbe in izračuni investicijske ekonomike.

5.1 *Analiza objekta pred inštalacijo rekuperacije*

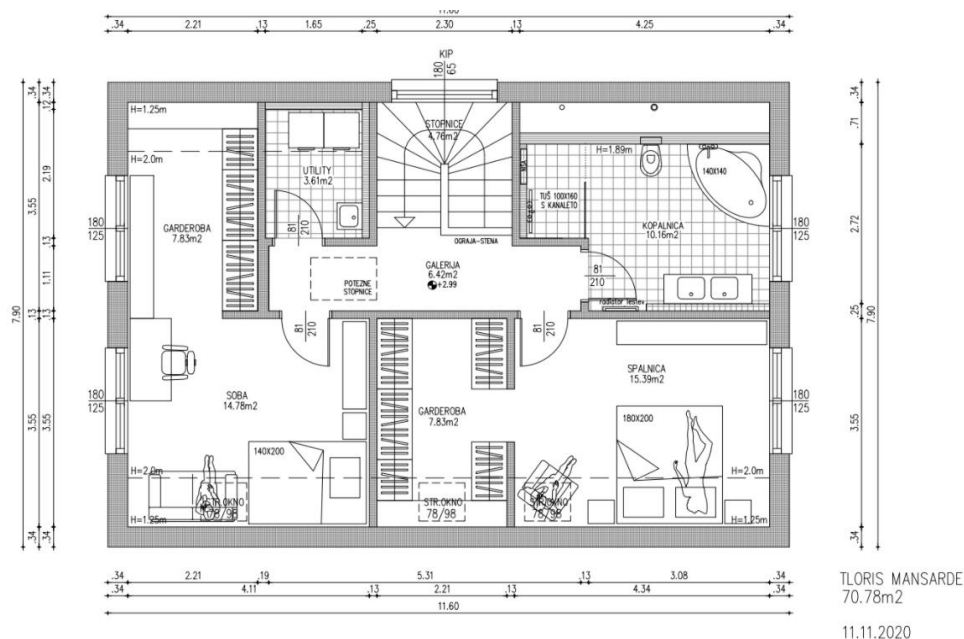
Kot praktičen primer smo izbrali tipsko hišo Marles tipa Modern, ki je bila za potrebe naročnika sicer nekoliko predelana. Tipično se hiša ponaša z 136,66 m² neto stanovanjskimi površinami in v zunanosti meri 11,7 x 7,55 metrov. Kolenska stena meri 1,1 metra. Streha je dvokapna, njen naklon pa znaša 45°. Od tal do najvišje točke na strehi meri 8,53 metrov, njena razporeditev je razdeljena na pritličje in mansardo. Ob standardni razporeditvi se pritličje razprostira na 68,65 m², mansarda pa na 70,01 m². V našem primeru so mere znašale 74,33 m² za pritličje. Preurejena je bila tudi mansarda, in sicer tako, da je tloris znašal 70,78 m².



Slika 12: Tloris pritličja

Vir: (Lasten vir)

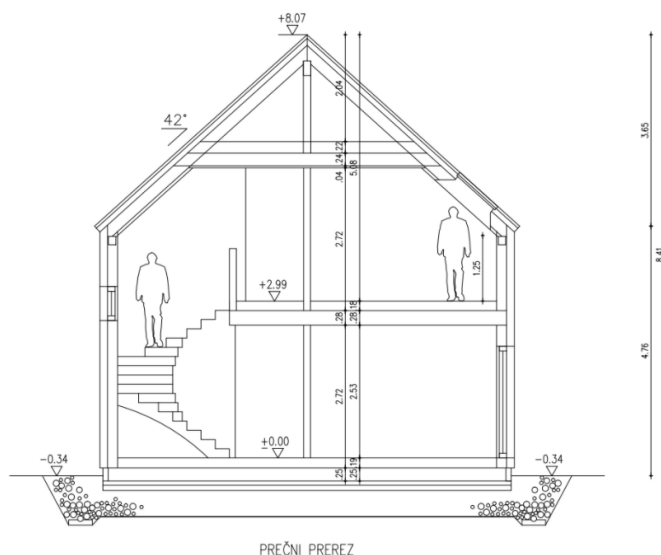
Pritličje sestoji iz dnevnega prostora v skupni izmeri 45,05 m². Razdeljen je na tri glavne komponente: jedilnico, kuhinjo in dnevno sobo. Takoj za glavnim vhodom v objekt pridemo v predprostor, ki povezuje vse prostore v pritličju. Njegova izmera je 5,70 m². Takoj desno ob vhodu je manjši prostor izmere 3,59 m², ki je namenjen tehniki in v katerem sta načrtovana toplotna črpalka in rekuperator (več o tem v prihodnjem poglavju). Naslednji prostor je kopalnica, ki meri 4,67 m² s tušem, pomivalnim koritom in WC-školjko. Na levi strani ob vhodu se nahaja delovna soba, ki meri 10,66 m², namenjena pa je počitku in delu. K pritličju se prišteva tudi 4,66 m² velika shramba, do katere se dostopa iz kuhinjskega predela in se nahaja pod stopniščem.



Slika 13: Tloris mansarde

Vir: (Lasten vir)

V mansardo je možno dostopati iz predprostora v pritličju po stopnišču, ki meri 4,76 m². Pridemo v prostor poimenovan galerija, ki je povezovalec vseh drugih prostorov, ki se nahajajo v prvem nadstropju. Galerija meri 6,42 m². Na skrajni levi strani ob prihodu je velika kopalnica v skupni meri 10,16 m², v kateri se nahaja masažna kad, WC-školjka, dvojni umivalnik in tuš. Vzporedno s kopalnico je spalnica s pridružno vhodno garderobo. Mere spalnice so 15,39 m², garderobe pa 7,83 m². Takoj na desni strani ob prihodu iz stopnišča se nahaja utility prostor, ki meri 3,61 m². V njem se nahajata pralni in sušilni stroj ter umivalnik. Nasproti utility-ja je velika soba v izmeri 14,78 m² z garderobo, ki meri 7,83 m².



Slika 14: Prečni prerez hiše

Vir: (Lasten vir)

Na sliki 14 vidimo, da je dejanski naklon preurejene tipske hiše Modern 42°, celotna višina objekta do najvišje točke na strehi pa 8,41 metra. Strop je v predelih mansarde visok 1,25 metra, drugje pa 2,53 metra.



Slika 15: Realistične fotografije objekta

Vir: (Lasten vir)

Kot lahko vidimo, je hiša locirana na odprti lokaciji, ki ni pretirano senčna.

5.2 *Smernice za vgradnjo prezračevalnega sistema*

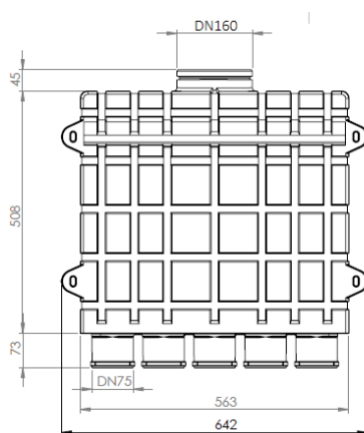
Po priporočilih podjetja E-NETSI d.o.o. (2019) je za razliko od vodovoda, plinovoda, električne napeljave ali ogrevanja inštalacija prezračevalnega sistema dokaj preprosta in se je lahko lotimo sami. Razloge pripisujejo enostavnim elementom, ki se medsebojno preprosto združujejo, temu, da ni potrebe po popolni tesnosti ter temu, da je proces odkrivanja in odpravljanja napak relativno lahek. Prezračevalni sistem je zaradi masivnosti cevi bolje inštalirati prej kot ostale napeljave, saj so vodniki drugih napeljav manjši in se zato lažje »umikajo« napeljavam prezračevalnega sistema.

Običajno bomo pri prezračevanju povprečno velike hiše potrebovali naslednje komponente in sestavne dele:

- Dovodno cev za zunanji zrak, ki vodi do prezračevalne naprave in je toplotno izolirana. Pogosto se v ta namen uporabljajo ISO-cevi iz posebne vrste stiropora, lahko pa so tudi iz plastike ali kovine.
- Odvod odpadnega zraka je treba locirati vsaj tri metre v stran, priporočljivo je višje, od zajema svežega zraka. V nekaterih je rešitev napeljave odvodnega zraka možna tudi preko dimnika, vendar je v veliko primerih stroškovno in izvedbeno naporno.
- Poskrbimo za ustrezne predgrelce ali podhlajevalce, ki pridejo še posebej v poštev pri pasivni gradnji hiš.
- Dušilce hrupa, ki so dolgi 100 cm, namestimo med dvema razdelilnima komorama in prezračevalno napravo. Razdelilni komori povežemo z rekuperatorjem s pomočjo dušilca.
- Cevi DN75 mm, s katerimi bomo odvajali ali dovajali zrak.
- Dovodne ali odvodne ventile in difuzorje.
- Električno stikalo, ki nam omogoča zagon prezračevanja, namestimo v kuhinji ali kopalnici.

Rekuperacijsko napravo lociramo v kurilnici, kleti ali drugem tehničnem prostoru, kjer hrup od delovanja ni tako moteč. Podstrešje lokacijsko ni primerno, saj ponavadi ni ogrevano. Pred namestitvijo preverimo, da temperatura v danem prostoru nikoli ne pade pod 10 °C. Pri namestitvi naprave je pomembno, da jo pozicioniramo tako, da lahko dostopamo do njenega zadnjega dela, kjer se običajno nahajajo filtri. Razdelilne komore lahko pritrdimo na strop,

rekuperator pa direktno pod filtre. Da lahko rekuperator priključimo, potrebujemo električno vtičnico 220V, 5-žilni kabel, s katerim povežemo napravo, dodatna vodnika 0,8 mm², s katerima povežemo rekuperator s spalnico ali kuhinjo, in odvod kondenza (prav tam).



Slika 16: Primer razdelilne škatle

Vir: (https://prezracevanje.si/wp-content/uploads/2019/01/samogradnja_prezracevalnega_sistema_dimenzije_elementov_razvoda.pdf)

Rekuperacijska naprava naj bo povezana z razdelilnima škatlama preko 100 cm dolgega dušilca hrupa. Ti so običajno istega premera kot priključki in so prilagodljivi. Pomembno je, da ohranimo oddaljenost od mesta, kjer se fleksibilne cevi vijejo v prostor, in da jih lahko razvrščamo. Fleksibilne cevi (DN75) naj potekajo nad, pod ali v AB-plošči. Pazimo, da si pustimo približno 8 cm prostora za izolacijo nad ploščo. V kolikor smo s prostorom omejeni, lahko namesto izolacije uporabimo ploščate cevi dimenzij 110 x 55 mm, s kapacitetami do 60m³/h. Takšen način je ponavadi dolgotrajnejši in primernejši za sanacije (prav tam). Več o tem, kako bodo cevi potekale, bomo predstavili v naslednjem podpoglavju.

5.3 Dimenzioniranje razvodov in določanje optimalnega pretoka zraka

Proces dimenzioniranja prezračevalnega sistema poteka tako, da najprej določimo prostore, kamor bomo zrak dovajali in prostore, iz katerih bomo zrak odvajali. Med dovodne prostore štejemo: dnevni prostor, delovno sobo, spalnico, sobo in obe garderobi. Med odvodne prostore prištevamo: tehniko, shrambo, utility in obe kopalnici. V vsakem prostoru imamo torej samo en dovod zraka ali en odvod zraka in nikoli obeh hkrati. Da ohranjamo ravnovesje v prostoru, mora biti vsota dovodnega zraka prostorov enaka vsoti odvodnega zraka v prostorih (E-NETSI d.o.o., 2017).

Prostorski volumen se običajno dimenzionira glede na tip prostora, njegovo funkcijo, površino in glede na število ljudi, ki se v njem zadržujejo. Na podlagi sanitarnih predpisov se predpisuje, da se v prostorih, kjer se zadržujejo ljudje, zahteva okrog $15 \text{ m}^3/\text{h}$ na osebo in $0,5 \text{ h}^{-1}$ izmenjanega zraka, kar pri višini stropa 2,53 metra pomeni okrog $1,25 \text{ m}^3/\text{h}$ zraka na kvadratni meter površine. Ta pogoj mora biti izpolnjen v vseh bivalnih površinah ob vsakem trenutku (prav tam).

Tabela 5: Dimenzioniranje prezračevanja v objektu

	Podatek				
Zasedenost (m^2/osebo)	45				
Osebe	3				
Svež zrak na osebo (m^3/h)	30				
Celotna potreba po svežem zraku (m^3/h)	90				
Prostor za odvodni zrak	Kuhinja	Kopalnica	Garderoba	Shramba	Utility
Količina	1	2	2	1	1
Potreba po odvodnem zraku na prostor (m^3/h)	60	40	20	20	20
Celotna potreba po svežem zraku (m^3/h)	200				

Vir: (Lasten vir)

Za dnevno sobo se ponavadi izberejo štiri osebe, dve za spalnico ali delovno sobo in eno za otroške sobe, sobe ali kabinete. Ker večina prezračevalnih naprav deluje z 50–60 % nazivne moči, se običajno upošteva $30 \text{ m}^3/\text{h}$ po osebi (prav tam). Ker smo prostorsko dimenzioniranje izvajali v programu PHPP, nam ni bilo treba vrednosti preračunavati ročno. Ugotovili smo, da imamo v stavbi 135 m^2 površin, ki jih je treba prezračiti, kar ob višini stropa 2,5 metra nanese na 338 m^3 skupne prostornine zraka.

Tabela 6: Optimalna konfiguracija prezračevanja

Način delovanja	Čas odpiranja oken (h/dan)	Volumski pretok zraka (m ³ /h)	Hitrost prezračevanja (h ⁻¹)
Maksimalen		200	0,59
Standarden	24	154	0,45
Srednji		108	0,32
Minimalen		80	0,24

Vir: (Lasten vir)

Pri izračunih smo upoštevali konfiguracijo centralne prezračevalne naprave z rekuperacijo znamke MAICO, modela WS 320 KBET (tabela 7).

Tabela 7: Lastnosti naprave MAICO WS 320 KBET

Proizvajalec	Maico
Model naprave	WS 320 KBET
Tip	Stenski
Slika naprave	
Velikost [mm]	841 x 857 x 598
Volumski pretok zraka [m³/h]	80–320
Toplotni izkoristek	93 %
Energetska poraba	0,17 Wh/m ³ pri 80 m ³ /h
Toplotni prenosnik	Velikopovršinski ploščni protitočni toplotni izmenjevalec
Tip filtra	G4 in F7
Zvok [dB]	19–52
Upravljanje	Drsno stikalo

Vir: (<https://www.maico-ventilatoren.com/en/products/p/ws-320-g51103/ws-320-kbet-p113718>)

Za analiziranje projekta in stavbe kot celote smo uporabili orodje PHPP (Passivhaus Projektierungs Paket). Gre za računalniški program, katerega jedro je izračun energetske bilance stanja hiše, meri pa vrsto drugih parametrov, ki so pomembni pri gradnji hiše, kot so: raznos energije v objektu, električno porabo, porabo energije, okna in senčenje, toplotne pribitke in pregrevanje objekta. Projekt je bil prvič na trgu predstavljen že leta 1998, od takrat pa se konstantno dopolnjuje, saj se vanj vnašajo tudi nove tehnologije, kot so: prezračevanje, alternativni viri ogrevanja in novi materiali v gradnji. Še posebej se tehnologija v zadnjih letih uporablja pri gradnji nizkoenergetskih in pasivnih hiš (Pasivna Gradnja, 2019).

Prednost programa je v sprotnih spremembah, ki jih lahko projektanti vnašajo. Tako lahko na primer spreminjajo parametre materialov, vgradnje modernih ogrevalnih ali prezračevalnih sistemov in ugotavljajo potencialne razlike v energetske sliki celotnega objekta. Na ta način ugotovimo, kako se lahko energetske stanje, glede na vnesene variabilne inpute (v našem primeru prezračevalni sistem) ob predpostavki nespremenjenosti drugih parametrov, spreminja pred in po implementaciji. S tem ugotovimo, kako določena novost ali sprememba v gradnji vpliva na celotno energetske učinkovitost objekta. Njegove prednosti se kažejo pred izvedbo gradnje in tudi pri obravnavi že postavljenih objektov. Prednost programa pri načrtovanju nove gradnje je v manipuliranju spremenljivk, kot so orientacija, določitev gabaritov in zasnova prostorov, saj s tem dosežemo maksimalno energetske učinkovitost objekta, ki je zanimiva arhitektom, investitorjem in lastnikom objektov (prav tam).

5.4 Primerjava energetskega stanja objekta brez in z rekuperacijo

Da lahko ugotovimo, ali se prezračevalni sistem z rekuperacijo izplača ali ne, je smiselno, da izvedemo izračun energetskega stanja stavbe brez in s prezračevanjem ter ju med seboj primerjamo. V ta namen bomo kot kontrolni primer izbrali naravno prezračevanje stavbe s tremi okni in na podlagi dobljenih parametrov oblikovali energetske stanje.

V začetku si pogledjmo razlike v specifikah samega prezračevanja. Po vnosu podatkov nam program izpiše podatke, ki so vidni v tabeli 7.

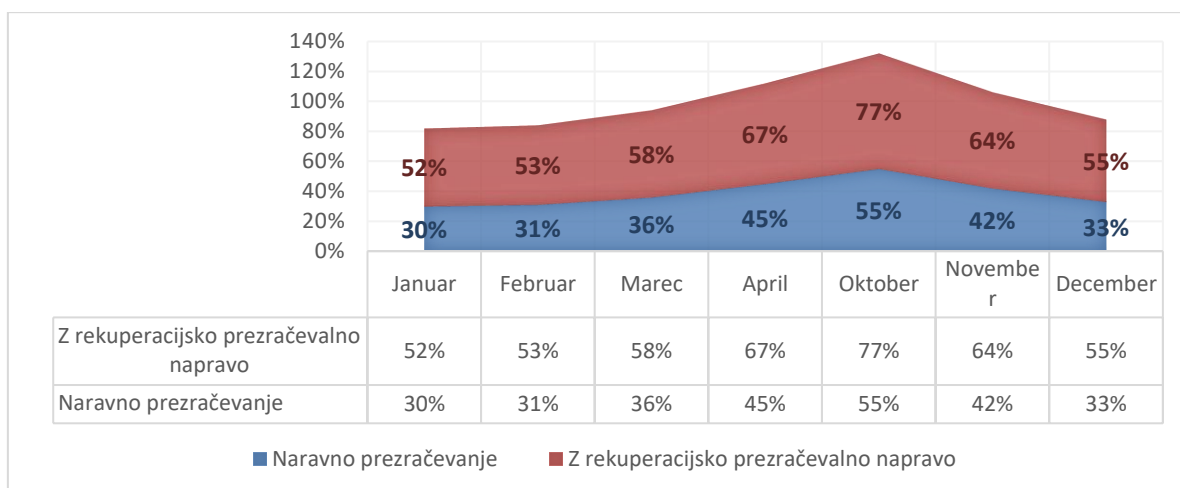
Tabela 8: Primerjava vlažnosti prostorov skozi leto

Kazalnik	Naravno prezračevanje	Prezračevanje z rekuperatorjem
Zimska izmenjava zraka z infiltracijo (h^{-1})	0,1777	0,053
Poletna izmenjava zraka z infiltracijo (h^{-1})	0,442	0,133
Zračna propustnost (m^3/hm^2)	2,08	0,62
Toplotni izkoristek (%)	0	86,9
Izkoristek vlažnosti (%)	0	74,0

Vir: (Lasten vir)

V prvih dveh vrsticah sta podatka o izmenjavi zraka z infiltracijo oziroma vdorom zraka. Gre torej za obliko naravnega prezračevanja, ki nastane zaradi tlačnih razlik. V stolpcu naravnega prezračevanja lahko razberemo, da je v zimskem času izmenjava zraka 0,178 na uro ob zračni propustnosti $2,08 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, v stolpcu prezračevanja z rekuperatorjem pa 0,053 na uro ob zračni propustnosti $0,62 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. Prezračevanje z vdorom zraka bo 3,36 krat višje pri naravnem prezračevanju z okni kot pri prezračevanju z rekuperatorjem. Zaradi manjših temperaturnih razlik med notranjostjo in zunanostjo, bo infiltracija višja tako pri naravnem prezračevanju kot pri prezračevanju z rekuperatorjem. Višja vrednost kazalnika izmenjave zraka pomeni manjšo kontrolo pri uravnavanju temperature in toplotnih potreb. Pri rekuperatorju bo stavba lahko bolj nepropustna, saj bo prezračevanje potekalo preko mehanske naprave. Program je pričakovano prikazal tudi ničlen toplotni izkoristek in izkoristek vlažnosti pri naravnem prezračevanju. Izbira naše naprave nam bo ob standardni konfiguraciji omogočala izkoristke do 86,9 % toplote in izkoristke do 74 % vlažnosti v prostoru. Z vidika toplotnega izkoristka je načrt vpeljave prisilnega prezračevalnega sistema potrdil našo predpostavko toplotne učinkovitosti. Poglejmo si še, kako se obliki prezračevanja ponašata z vidika izkoristka vlažnosti.

Grafikon 1: Primerjava vlažnosti prostorov v zimskem času



Vir: (Lasten vir)

V grafikonu 1 je predstavljen izkoristek vlažnosti obeh prezračevalnih sistemov. V rdeči barvi je prikazano gibanje izkoristka vlažnosti, kadar imamo vpeljeno prezračevalno napravo z rekuperacijo, v modri barvi pa so nanizani odstotki vlažnosti, kadar prezračujemo z okni. Zajeli smo zgolj zimske mesece, ki so nanizani na abscisni osi. Že na prvi pogled vidimo, da se, bližje kot smo poletnemu času, odstotki vlažnosti višajo. Najvišji so v oktobru, kadar dosežejo 77 % z rekuperacijo in 55 % z naravnim prezračevanjem. Drugi pomemben podatek je razlika med omenjenima tehnikama prezračevanja. V povprečju so izkoristki vlažnosti za 22 odstotnih točk višji pri mehanski prezračevalni napravi z rekuperacijo. Višji, kot so izkoristki vlažnosti, optimalnejši so pogoji bivanja, kar pomeni, da je v tem primeru izbira prezračevanja z rekuperacijsko napravo optimalnejša. Da pa bi razumeli, kako se omenjeni tehniki prezračevanja razlikujeta v energetski učinkovitosti, je smiselno, da primerjamo še njuna energetska stanja.

Tabela 9: Primerjava energetskega stanja

Področje	Kazalnik	Naravno prezračevanje	Prezračevanje z rekuperatorjem
Ogrevanje	Referenčno območje energije (m^2)	135,3	
	Potrebe po ogrevanju ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$)	42	15
	Ogrevalna obremenitev (W/m^2)	27	12
Hlajenje	Zahteve za vlaženje in ohlajevanje ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$)	-	
	Hladilna obremenitev (W/m^2)	-	
	Frekvenca pregrevanja ($> 25\text{ }^\circ\text{C}$) %	4	5
	Pogostost prekomerne vlažnosti ($> 12\text{ g/kg}$) %	0	0
Neprodušnost	Tlačna sprememba zraka n_{50} (h^{-1})	2	1
Neobnovljiva primarna energija	Poraba ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$)	117	93
Obnovljiva primarna energija	Poraba ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$)	65	46
	Generacija energije ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$)	-	

Vir: (Lasten vir)

V tabeli 9 sta prikazani združeni energijski stanji, ki služita za primerjavo energetske učinkovitosti prezračevalnih tehnik. Izbrano je bilo referenčno območje naše stavbe, ki obsega $135,3\text{ m}^2$. Potrebe za ogrevanje tega prostora znašajo pri naravnem prezračevanju $42\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$, pri rekuperacijskem pa $15\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$. Ogrevalna obremenitev znaša v prvi kategoriji $27\text{ W}/\text{m}^2$, v drugi pa $12\text{ W}/\text{m}^2$. Poraba neobnovljive primarne energije je pri naravni metodi $117\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$, pri metodi z rekuperacijo pa $93\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$. Razlika pri porabi obnovljive energije je v enakem razmerju znašala $65\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ in $46\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$. Ob analizi leve in desne strani energetskega izkaza ugotovimo, da so potrebe po ogrevanju 180% višje pri metodi naravnega prezračevanja s tremi okni, kot so pri metodi prezračevanja z rekuperacijsko napravo. V prvem scenariju je večja tudi obremenjenost ogrevanja, in to za 125% . Pri porabi neobnovljive in obnovljive primarne energije prav tako prevlada prezračevanje z rekuperacijo, saj je poraba $25,8\%$ in $41,3\%$ višja pri naravnem prezračevanju.

5.5 Vrednost investicije in subvencija Eko sklada

Za dodatno spodbujanje ekološke ozaveščenosti je Eko sklad, ki je Slovenski okoljski javni sklad, razpisal subvencije, ki olajšajo investicijo v prezračevalni sistem. Za subvencijo se lahko

zaprosi na njihovi uradni strani, trenutno pa ponujajo štiri tipe olajšave za nakup prezračevalne naprave (tabela 5). Vlogo za subvencijo lahko odda kdorkoli, postopek pridobitve spodbude pa je zelo enostaven in poteka po naslednjih korakih (EkoSklad, 2020):

1. Oddamo vlogo za ustrezno subvencijo na Eko sklad.
2. Strokovno osebje iz ENSVET si ogleda nepremičnino.
3. Pridobimo odločbo o pravici do spodbude in predračune izvajalcev ter podpisemo tripartitno pogodbo.
4. Po izvedenih delih pošljemo še zadnjo dokumentacijo.
5. Prejmemo nakazilo spodbude (prav tam).

Tabela 10: Pregled subvencij Eko sklada za sisteme prezračevanj

Oznaka olajšave	74SUB-OB19	65OB19	67SUB-OBPO19	ZERO 500
Tip	Subvencija	Kredit	Subvencija	Subvencija
Subvencija za	Samostojne naložbe	Samostojne naložbe	Skupne naložbe v stavbah z več deli	Socialno šibko gospodinjstvo
Pogoj	Centralno ali lokalno prezračevanje	/	PZI	Lokalno prezračevanje
Višina subvencije	Do 20 % oziroma 2.000 EUR	Najmanj 1.500 EUR	30 % stroškov	100 % vrednosti naložbe
Rok za oddajo	Po izvedeni naložbi	/	Pred pričetkom del	Pred pričetkom del

Vir: (<https://www.ekosklad.si/prebivalstvo/pridobite-spodbudo/seznam-spodbud/sistemi-za-prezracjevanje-z-vracanjem-toplote-rekuperacija>)

V našem primeru bi prišla v poštev subvencija 74SUB-OB19, ki je namenjena samostojnim naložbam za centralno prezračevanje z rekuperacijo. Ob dokazilih predračunov in finalizaciji vgradnje sistema, bi sklad povrnil 20 % vloženih sredstev oziroma do 2.000 EUR denarnih sredstev, ki smo jih porabili za izvedbo. V kolikor bi se odločili za lokalno prezračevanje, bi od sklada dobili povrnjenih 300 EUR nepovratnih sredstev za vsako nameščeno prezračevalno napravo posebej.

V našem primeru je bilo treba nabaviti centralno prezračevalno napravo, ob kateri smo lahko upoštevali 20 % povrnitev stroškov. Celotna vrednost investicije je razdelana v tabeli 11 spodaj.

Tabela 11: Investicija z upoštevanjem subvencije

Izdelek	Cena (EUR)	Število kosov	Znesek (EUR)
Prezračevalna naprava Maico WS 320 KBET	2.973,00	1	2.973,00
Kabli, cevi in druge komponente	2.250,00	1	2.250,00
Stroški montaže	675,00	1	675,00
Stroški priklopa in zagona	135,00	1	135,00

Skupaj znesek (brez DDV) 6.033,00

Skupaj znesek (z DDV) 7.360,26

SUBVENCIJA (20 %) 1.472,05

Znesek za plačilo 5.888,21

Vir: (Lasten vir)

Skupno bi za investicijo z DDV odšteli 7.360,26 EUR. Zaradi upoštevanje subvencije v višini 20 %, smo znesek znižali za 1.472,05 EUR in plačali samo 5.888,21 EUR.

5.6 Privarčevana energija in ekonomika investicije

Ob izračunani vrednosti naše investicije je smiselno izračunati tudi privarčevano energijo in vrednost vračilne dobe investicije. Do rezultata bomo prišli z naslednjo enačbo:

$$\phi = \frac{q \cdot c \cdot n \cdot T_p \cdot 24}{\varepsilon} \quad (5.1)$$

Kjer je:

Φ – toplotne izgube pri prezračevanju (kWh),

q – volumenski pretok zraka (m^3/h),

c – konstanta specifične toplote zraka ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$),

n – hitrost prezračevanja (h^{-1}),

T_p – temperaturni primanjkljaj kraja (K),

ε – vložek energije (kWh).

Upoštevali smo naslednje vrednosti:

$$\phi = \frac{338 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0,34 \cdot 0,45 \text{ h}^{-1} \cdot 3200 \cdot 24}{1000} = 3.971 \text{ kWh}$$

Ker se hiša nahaja v okolici Maribora, smo pri temperaturnem primanjkljaju vzeli vrednost 3.200 K. Upoštevali smo tudi vrednost optimalne konfiguracije delovanja prezračevalne naprave in njene hitrosti prezračevanja, ki smo jo izračunali s programom PHPP in katere vrednost znaša $0,45 \text{ h}^{-1}$. Toplotne izgube v našem primeru znašajo 3.971 kWh. Iz njih lahko s pomočjo toplotnega izkoristka izrazimo privarčevano energijo. Izračun s ceno energenta (elektrike) je podan v tabeli 12.

Tabela 12: Količina privarčevane energije in ekonomika investicije

Prezračevalne izgube (kWh)	3971,00
Toplotni izkoristek (%)	86,90 %
Količina privarčevane energije na letni ravni (kWh)	3.450,80
Prihranek v EUR (brez obratovalnih stroškov)	586,64
Vrednost investicije	5.888,21
Doba vračanja investicije (leta)	10,04

Vir: (Lasten vir)

Ob toplotnem izkoristku, ki ga je podal program PHPP, smo izračunali, da bomo ob danih toplotnih izgubah pri prezračevanju privarčevali 3.450,80 kWh energije letno, kar znesi 586,64 EUR letno. Upoštevali smo ceno električne energije 0,17 EUR/kWh (SURS, 2020). Ob vrednosti investicije z upoštevano subvencijo pri 5.888,21 EUR bo naša investicija povrnjena v desetih letih in nekaj dneh.

6 SKLEP

V diplomski nalogi smo se ukvarjali s problemom energetske učinkovitosti različnih metod prezračevanja. Zanimalo nas je, kakšna so energetska stanja z uporabo tradicionalnih oziroma naravnih prezračevalnih metod z odpiranjem oken v primerjavi z modernimi mehanskimi metodami, ki so sposobne učinkoviteje izkoristiti toploto v prostoru. Prvi in drugi cilj diplomskega dela smo dosegli že v prvem poglavju, kjer smo se spoznali z osnovnimi koncepti prezračevanja in si teoretično razložili funkcijo ter delovanje prezračevanja v stavbah. Naučili smo se, da obstaja več tipov prezračevalnih sistemov, ki jih ločujemo na naravne in mehanske, s čimer smo dosegli tudi tretji cilj v diplomski nalogi.

Podkategorija mehanskega prezračevanja je tudi prezračevanje z rekuperacijo toplote. Ta deluje po principu dovodnega in izhodnega zraka, ki se v in iz prostora pomikata po posebej dimenzioniranih ceveh. Bistvo rekuperatorja je izmenjava toplote, kjer topel izhodni in onesnažen zrak preda toploto svežemu vhodnemu zraku iz zunanosti. Kakovost same naprave se meri s toplotnim izkoristkom, porabo energije, kakovostjo filtrov, tišino delovanja, enostavnostjo uporabe in majhnostjo. Na podlagi naštetih dejstev lahko potrdimo dosežek četrtega cilja in potrditev hipoteze ena, ki pravi, da se izboljšani življenjski pogoji lahko dosežejo z rekuperacijo v stanovanjski hiši.

Za potrebe prezračevanja novih objektov so primernejše rešitve centralnih sistemov, ki so robustnejši in temeljijo na razvejani distribuciji cevi po objektu, medtem ko je pri obstoječih stavbah optimalnejša rešitev lokalnih prezračevalnih naprav. Montaža slednjih je dokaj enostavna in hitra, saj je potrebno samo vrtanje skozi zunanjo steno. Na slovenskem trgu so se v zadnjih nekaj letih pojavila številna podjetja, ki se ukvarjajo z razvojem, distribucijo, prodajo in montažo prezračevalnih sistemov. Višja stopnja konkurence na tržišču pripomore k povečani stopnji razvoja in tekmovalnosti pri cenah izdelkov in storitev, kar je dolgoročno seveda dobrodošlo. Med najodmevnejša podjetja prištevamo Lunos, Tames in K. B. Kokot.

Cilj številka pet smo dosegli v četrtem poglavju, kjer smo ugotovili, da na energetske stanje stavbe najbolj vplivajo trije dejavniki. Ti so: kakovost izolacije, ogrevanje in kakovost oziroma sestava oken ter vrat. Vse pomembnejšo vlogo ima tudi prezračevanje, zato smo v praktičnem delu izdelali načrte in izračune energetskih prihrankov. Izbrali smo model tipske Marles hiše, ki je bila sicer za potrebe naročnika nekoliko predelana. S programom PHPP smo opravili analizo prezračevanja stavbe in analizo vplivov na energetske stanje. Primerjali smo naravno in mehansko prezračevanje z rekuperacijo. Pri prvi obliki smo upoštevali prezračevanje preko

treh oken, v drugi pa smo kot prezračevalno napravo izbrali centralni sistem podjetja Maico, model WS 320 KBET. Raziskava je pokazala ogromne razlike v prid mehanskemu prezračevanju. Naravno prezračevanje je namreč dokazalo 180 % višje potrebe po ogrevanju in 125 % večjo obremenjenost ogrevanja. Ugotovili smo tudi, da je pri naravnem prezračevanju treba porabiti kar 25,8 % več neobnovljive primarne energije in kar 41,3 % več obnovljive primarne energije. S tema podatki lahko potrdimo tudi drugo hipotezo, ki pravi, da je energetski prihranek z uporabo rekuperatorja večji kot pri izvedbi hiše brez rekuperatorja oziroma zgolj z uporabo naravnega prezračevanja. S prikazom boljšega rezultata energetskega vidika z rekuperacijo v primerjavi brez nje, smo dosegli tudi naš šesti cilj v diplomskem delu. Mehansko prezračevanje je pokazalo boljše rezultate tudi pri vzdrževanju vlažnosti v kritičnih zimskih časih, kadar je vlaga v splošnem pomanjkanju. Z rekuperacijo ohrani med 52 in 77 % vlažnosti, kar je v povprečju okoli 22 odstotnih točk več kot pri prezračevanju z odpiranjem. Kot smo spoznali, se pri rekuperaciji porabi bistveno manj energije, kar seveda vpliva tudi na okolje in izpuste toplogrednih plinov, ki se v ozračje spuščajo ob pridobivanju in porabi te energije. Zaradi tega lahko potrdimo tudi tretjo hipotezo, ki pravi, da se ugoden vpliv na okolje lahko doseže z zmanjšanjem toplogrednih plinov zaradi uporabe rekuperatorja. Potreb po energiji je manj, s tem pa se posredno zmanjšajo negativni ob-produkti produkcije in porabe energije, ki negativno vplivajo na okolje.

Čeprav je investicija v projekt znatna, imamo ob nakupu prezračevalnega sistema možnost uveljavitve subvencije Eko sklada. Tako smo za načrtovanje naše prezračevalne naprave odšteli zgolj 5.888,21 EUR, ki bi brez upoštevanja 20 % subvencije znašala 7.360,26 EUR. Izračunali smo tudi, da bi z našo prezračevalno napravo letno privarčevali kar 3.450,80 kWh energije oziroma 586,64 EUR. Ob takšnih letnih prihrankih bi našo prvotno investicijo v vrednosti 5.888,21 EUR odplačali v 10,04 letih, s čimer lahko rečemo, da je naša investicija upravičena in hkrati potrdimo še zadnji cilj, ki smo si ga zadali v uvodnih delih nastajanja tega diplomskega dela.

Z diplomsko nalogo smo spoznali, da so energetski prihranki ob vpeljavi prezračevalnega sistema z rekuperacijo znatni v primerjavi s tradicionalnimi metodami prezračevanja (naravno prezračevanje z odpiranjem oken in vrat). Čeprav se zdi investicija v prezračevalni sistem na prvi pogled visoka, se na dolgi rok vsekakor splača. Zahvaljujoč številnim inovacijam na trgu lahko od sodobnih prezračevalnih rešitev koristi pridobijo tudi uporabniki starejših stavb, v katerih centralni sistemi ne pridejo v poštev. V ta namen bi implementirali lokalne sisteme, ki bi lahko delovali kot osnova za podaljšek te raziskave. Zanimivo bi bilo izdelati primerjavo

naših obstoječih izračunov centralnega sistema z lokalnim prezračevalnim sistemom. Ugotavljali bi lahko, ali med različnima tehnikama prihaja do razlik in kakšne so te v merilih energetske učinkovitosti ter ekonomike investicije.

7 VIRI, LITERATURA

Asdrubali, F., & Desideri, U. (2019). *Handbook of energy efficiency in buildings : a life cycle approach*. Oxford: Butterworth-Heinemann, cop.

Atkinson, J. (2009). *Natural ventilation for infection control in health-care settings*. Geneva: World Health Organization.

Baker, N., & Steemers, K. (2019). *Healthy Homes: Designing with light and air for sustainability and wellbeing*. Routledge.

Blauberg. (2018). *Prezračevalna naprava z rekuperacijo toplote*. Pridobljeno iz Blauberg - navodila za uporabo Komfort EC S S11/S15: <https://www.blauberg.si/storage/app/uploads/public/5eb/e66/582/5ebe6658247af468192158.pdf>.

Blumenthal, I. (2001). Carbon monoxide poisoning. *Journal of the royal society of medicine*, 270-272.

Bocci, V. (2004). Ozone as Janus: this controversial gas can be either toxic or medically useful. *Mediators of inflammation*, 13.

Chiras, D. (2007). *The homeowner's guide to renewable energy: achieving energy independence through solar, wind, biomass and hydropower*. Gabriola Island: New Society Publisher.

Del Rio, M., Asawa, T., Hirayama, Y., Sato, R., & Ohta, I. (2019). Evaluation of passive cooling methods to improve microclimate for natural ventilation of a house during summer. *Building and Environment*, 275-287.

EkoSklad. (5. januar 2020). *Sistemi za prezračevanje z vračanjem toplote - rekuperacija: Subvencija*. Pridobljeno iz Rekuperacija: <https://www.ekosklad.si/prebivalstvo/pridobite-spodbudo/seznam-spodbud/sistemi-za-prezracevanje-z-vracanjem-toplote-rekuperacija/sistemi-za-prezracevanje-z-vracanjem-toplote-rekuperacija-subvencija>.

Elcond Inženiring d.o.o. (11. maj 2020). *Izvzete stavbe*. Pridobljeno iz Energetska izkaznica stavbe: <https://www.energetska-izkaznica.eu/osnovne-informacije/izvzete-stavbe/>.

EN 13779. (2017). *Ventilation for non-residential buildings — Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems*. CEN/TC 156 - Ventilation for buildings.

Energetska izkaznica. (1. oktober 2013a). *Sodobni sistemi za mehansko prezračevanje*. Pridobljeno iz Energetska izkaznica stavbe: <https://energetskaizkaznica.si/nasveti/sodobni-sistemi-za-mehansko-prezracevanje-stavb/>.

Energetska izkaznica. (1. oktober 2013b). *Sistemi ogrevanja in ogrevala*. Pridobljeno iz Energetska izkaznica stavbe: <https://energetskaizkaznica.si/nasveti/sistemi-ogrevanja-in-ogrevala/>.

E-NETSI d.o.o. (16. november 2017). *Dimenzioniranje razvoda*. Pridobljeno iz Storitve: <https://prezracevanje.si/services/dimenzioniranje-razvoda/>.

E-NETSI d.o.o. (17. junij 2019). *Samogradnja prezračevalnega sistema*. Pridobljeno iz Uporabno: <https://prezracevanje.si/services/samogradnja/>.

E-vem. (13. junij 2020). *SKD Seznam*. Pridobljeno iz G kategorija: <http://evem.gov.si/info/skd-seznam/>.

INOVEKS d.o.o. (3. junij 2018). *Kaj je toplotno ugodje in kako vpliva na rabo energije v stavbah?* Pridobljeno iz Dokumenti: https://www.inoveks.si/images/inOVEinURE/strokovniprispevki/03_Kaj_je_toplotno_ugodje_in_kako_vpliva_na_rabo_energije_v_stavbah.pdf.

Japelj, T. (1987). *Ogrevanje, hlajenje in prezračevanje*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

Jernejec, J. (2020). *Vpliv temperature zunanjega zraka na učinkovitost rekuperacijske odpadne toplote v klimatski napravi: Diplomsko delo*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.

Jönsson, G. (1995). Radon gas — where from and what to do? *Radiation Measurements*, 537-546.

Komisija za preventivo GZS. (15. november 2017). *Ogljikov dioksid - tihi ubijalec*. Pridobljeno iz SOS112: <http://www.sos112.si/slo/page.php?src=np44.htm>.

Koroleva, A. (2012). *Efficiency of heat recovery units in ventilation: Bachelor thesis*. Mikkeli: Mikkeli University of Applied Sciences.

- Kovač, J. (2017). *Načrtovanje nizkoenergijske hiše: Diplomski naloga*. Novo Mesto: Fakulteta za industrijski inženiring.
- Kristl, Ž., & Dovjak, M. (2015). Sindrom bolne stavbe ali zakaj se v svoji hiši počutim slabo. *Naša lekarna*, 9(79), 18. Pridobljeno iz Naša Lekarna: <https://www.nasa-lekarna.si/clanki/clanek/sindrom-bolne-stavbe-ali-zakaj-se-v-svoji-hisi-pocutim-slabo/>.
- Labudović, B. (2015). *Priručnik za ventilacijo i klimatizaciju*. Zagreb: Energetika marketing.
- LUNOS. (18. november 2010). *Nadzorovano prezračevanje bivalnih prostorov*. Pridobljeno iz Lunos - brošure: https://lunos.si/images/pdf/lunos_katalog_klasi-ni-sistem_2010.pdf.
- Medved, S. (1997). *Toplotna tehnika v zgradbah*. Ljubljana: fakulteta za strojništvo.
- Menzies, D., & Bourbeau, J. (1997). Building-Related Illnesses. *The New England Journal of Medicine*, 1524-1531.
- Minakais, M., Okaeme, c., Mishra, S., & Wen, J. (2017). Iterative Learning Control for Coupled Temperature and Humidity in Buildings. *IFAC-PapersOnLine*, 13420-13425.
- Pasivna Gradnja. (2. junij 2019). *PHPP – izračun energetske bilance objekta*. Pridobljeno iz Pasivna hiša: <https://www.pasivnagradnja.com/pasivna-hisa/phpp-energetska-bilanca/>.
- Perko, P. (2017). Toplotna izolacija stavbe. *Gradbeniki*, 54-55. Pridobljeno iz Fragmat: [http://www.fragmat.si/si/files/default/Clanki/Toplotne-izolacije/2017/Toplotna%20izolacija%20stavbe%20\(Revija%20Gradbenik,%20november%202017\).pdf](http://www.fragmat.si/si/files/default/Clanki/Toplotne-izolacije/2017/Toplotna%20izolacija%20stavbe%20(Revija%20Gradbenik,%20november%202017).pdf).
- Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. (1. 1 2014). *Številka 42*. Pridobljeno iz Uradni list Republike Slovenije: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/36371>.
- Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. (23. november 2020). *Predpisi*. Pridobljeno iz Pravno-informacijski sistem: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV10043#>.
- Prek, M. (2013). *Kakovost zraka: laboratorijske vaje*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.
- Prek, M. (2014). *Učinkovitost prezračevanja*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.

Pušnik, I. (2016). *Energetsko učinkovito prezračevanje: Diplomsko delo*. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko.

Schulze, T., & Eicker, U. (2013). Controlled natural ventilation for energy efficient buildings. *Energy and Buildings*, 221-232.

Sever, R. (14. maj 2020). *Prezračevanje, prezračevalni sistemi, pogoste dileme 2020*. Pridobljeno iz Prezračevanje: <https://www.varcevanje-energije.si/prezracevanje/pogoste-zmote-prezracevanje-prezracevalni-sistem.html>.

SURS. (3. december 2020). *Cene energentov*. Pridobljeno iz Energetika: <https://www.stat.si/StatWeb/Field/Index/5/30>.

Vrteva, L. (2018). *Izdelava računalniškega programa za napovedovanje potrebne toplote za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu: Magistrsko delo*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.

Wei, W., Ramalho, O., Malingre, L., Sivanantham, S., Little, J., & Mandin, C. (2019). Machine learning and statistical models for predicting indoor air quality. *Indoor Air*, 29(5), 704-726.

Zakonjšek, N., & Knez, P. (2000). *Prispevka k razumevanju področja prezračevanja in toplote*. Celje: ZSTI Slovenije.

8 PRILOGE

Priloga 1: Rezultati izračuna programa PHPP pri naravnem prezračevanju s tremi okni

Priloga 2: Rezultat energetskega stanja ob vpeljavi prezračevalnega sistema z rekuperacijo

Priloga 3: Rezultati izračuna programa PHPP pri mehanskem prezračevanju z rekuperacijo toplote

Priloga 4: Rezultat energetskega stanja ob vpeljavi prezračevalnega sistema z rekuperacijo

Priloga 1: Rezultati izračuna programa PHPP pri naravnem prezračevanju s tremi okni

Lüftungsdaten

Passivhaus mit PHPP Version 9.7

Stanovanjska hiša MODERN / Klima: Ljubljana T2000-2009/J1991-2010 / EBF: 135 m² / Heizen: 42,2 kWh/(m²a) / Übertemperatur: 4 % / PER: 64,9 kWh/(m²a)

Energiebezugsfläche A_{EB}	m²	135	(Blatt Flächen)
Rechnerische Raumhöhe h	m	2,50	2,50
Raumluftvolumen Lüftung ($A_{EB} \cdot h$) = V_L	m³	338	(Blatt Heizjahr)

Lüftungstyp

bitte auswählen

3-nur Fensterlüftung

Infiltrationsluftwechsel

Windschutz-Koeffizienten e und f		
Koeffizient e für Abschirmungskategorie	mehrere Einwirkungs-seiten	eine Einwirkungs-seite
keine Abschirmung	0,10	0,03
mäßige Abschirmung	0,07	0,02
starke Abschirmung	0,04	0,01
Koeffizient f	15	20

Windschutzkoeffizient e

0,07

0,18

Windschutzkoeffizient f

15

15

Luftwechsel bei Drucktest

n_{50}

1/h

2,00

2,00

Netto Luftvolumen für Drucktest V_{n50}

m³

427

Luftdurchlässigkeit q_{50}

m³/(h·m²)

2,08

Abluftüberschuss

1/h

0,00

0,00

Infiltrationsluftwechsel

$n_{L,Infil}$

1/h

0,177

0,442

Auswahl der Lüftungsdateneingabe - Ergebnisse

Das PHPP bietet zwei Verfahren zur Auslegung der Lüftmengen und zur Wahl des Lüftungsgeräts. Mit der Standard-Projektierung kann der mittlere Luftwechsel für Wohngebäude projektiert und max. ein Lüftungsgerät zugeordnet werden. Im Tabellenblatt "Zusatz Lüftg." können bis zu 10 verschiedene Lüftungsgeräte berücksichtigt werden und die Lüftmengen raumweise oder zonenweise bestimmt werden. Bitte wählen Sie hier Ihr Auslegungsverfahren.

	Auslegung Lüftungsanlage / Wärmebereitstellungsgrad		Mittlerer Luftaustausch m^3/h	Mittlerer Luftwechsel 1/h	Abluft Überschuss (Abluftanlage) 1/h	effekt. Wärmebereitstellungs-grad Gerät [-]	Rückfeuchtzahl [-]	spezif. Leistungsaufnahme Wh/m^3	Wärmebereitstellungs-grad EWÜ [-]
	X	Standard-Projektierung (Blatt Lüftung s.u.)							
		Mehrere Lüftungsgeräte, NIWO (Blatt Zusatz Lüftg.)							
			154	0,45	0,00			0,00	0,0%
						Rückkühlggrad			Wirkungsgrad EWÜ $\eta_{LWÜ}$
									0%

Mittlere Raumluftfeuchte im Winterbetrieb

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
30%	31%	36%	45%	59%	-	-	-	64%	55%	42%	33%

Standardeingabe balancierte Lüftung

Passivhaus mit PHPP Version 9.7

Auslegung der Lüftung für Anlagen mit nur einem Lüftungsgerät

Personenbelegung
Anzahl Personen
Frischlufthbedarf
Ablufträume
Anzahl
Abluftbedarf pro Raum
Abluftbedarf gesamt

m^3/P	45				
P	3,0				
$m^3/(P \cdot h)$	30				
m^3/h	90				
	Küche	Bad	Bad (nur Dusche)	WC	utility, garderoba
	1	1	1		4
m^3/h	60	40	20	20	20
m^3/h	200				

Auslegungsvolumenstrom (Maximum)

m^3/h

200

empfohlen:

200

m^3/h

Berechnung des mittleren Luftwechsels

Betriebsarten

tägl. Betriebszeiten h/d

Faktoren bezügl. Maximum

Luftvolumenstrom m^3/h

Luftwechsel 1/h

Maximum
Standard
Grundlüftung
Minimum

24,0

1,00
0,77
0,54
0,40

200
154
108
80

0,59
0,45
0,32
0,24

Mittelwert

0,77

mittlerer Luftaustausch (m^3/h)

154

mittlerer Luftwechsel (1/h)

0,45

Auswahl des Lüftungsgeräts mit Wärmerückgewinnung

Aufstellort Lüftungsgerät

1-Innerhalb therm.Hülle

zur Lüftungsgeräte-Liste Sortierung: WIE LISTE	Wärmebereit- stellungsgrad Gerät η_{WRG}	Rückfeuchtzahl η_{FRG}	spez. Leistungs- aufnahme [Wh/m³]	Einsatzbereich [m³/h]	Frostschutz erforderlich
Auswahl Lüftungsgerät					
Leitwert Außenluftkanal Ψ	W/(mK)	0,349			2-elekt.
Länge des Außenluftkanals	m				-3
Leitwert Fortluftkanal Ψ	W/(mK)	0,349			0
Länge des Fortluftkanals	m				
Temperatur des Aufstellraumes	°C				20
(nur eintragen falls Gerät außerhalb der thermischen Hülle)					5,3
					12,3

Effektiver Wärmebereitstellungsgrad $\eta_{WRG,eff}$

Effektiver Wärmebereitstellungsgrad Erdreichwärmeübertrager

Wirkungsgrad Erdreichwärmeübertrager

$\eta^{*}_{EWÜ}$

Wärmebereitstellungsgrad EWÜ

$\eta_{EWÜ}$

Nebenrechnung	
Ψ-Wert Zu- bzw. Außenluftkanal	
Nennweite:	160 mm
Dämmdicke:	50 mm
Verspiegelt?	X Ja Nein
Wärmeleitfähigkeit	0,035 W/(mK)
Nennvolumenstrom	154 m³/h
$\Delta\theta$	15 K
Rohrdurchmesser außen	0,160 m
Außendurchmesser	0,260 m
α -innen	10,16 W/(m²K)
α -Oberfläche	2,64 W/(m²K)
Ψ-Wert	0,349 W/(mK)
Oberflächentemperatur-Differenz	2,380 K

Nebenrechnung	
Ψ-Wert Ab- bzw. Fortluftkanal	
Nennweite:	160 mm
Dämmdicke:	50 mm
Verspiegelt?	X ja nein
Wärmeleitfähigkeit	0,035 W/(mK)
Nennvolumenstrom	154 m³/h
$\Delta\theta$	15 K
Rohrdurchmesser außen	0,160 m
Außendurchmesser	0,260 m
α -innen	10,16 W/(m²K)
α -Oberfläche	2,64 W/(m²K)
Ψ-Wert	0,349 W/(mK)
Oberflächentemperatur-Differenz	2,380 K

Priloga 2: Rezultat energetskega stanja z naravnim prezračevanjem s tremi okni

Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr					
Energiebezugsfläche m²		135,3			
Heizen	Heizwärmebedarf kWh/(m²a)	42	≤	15	nein
	Heizlast W/m²	27	≤	-	
Kühlen	Kühl- + Entfeuchtungsbedarf kWh/(m²a)	-	≤	-	-
	Kühllast W/m²	-	≤	-	
	Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C) %	4	≤	10	ja
	Häufigkeit überhöhter Feuchte (> 12 g/kg) %	0	≤	20	ja
Luftdichtheit	Drucktest-Luftwechsel n_{50} 1/h	2,0	≤	0,6	nein
Nicht erneuerbare Primärenergie (PE)	PE-Bedarf kWh/(m²a)	117	≤	120	ja
Erneuerbare Primärenergie (PER)	PER-Bedarf kWh/(m²a)	65	≤	-	-
	Erzeugung erneuerb. Energie (Bezug auf überbaute Fläche) kWh/(m²a)	-	≥	-	

² leeres Feld: Daten fehlen; -/-: keine Anforderung

Ich bestätige, dass die hier angegebenen Werte nach dem Verfahren PHPP auf Basis der Kennwerte des Gebäudes ermittelt wurden. Die Berechnungen mit dem PHPP liegen diesem Nachweis bei.

Passivhaus Classic? **nein**

Funktion: _____ Vorname: _____ Nachname: _____

Ausgestellt am: _____ Ort: _____

Unterschrift: _____

Priloga 3: Rezultati izračuna programa PHPP pri mehanskem prezračevanju z rekuperacijo toplote

Lüftungsdaten

Passivhaus mit PHPP Version 9.7

Stanovanjska hiša MODERN / Klima: Ljubljana T2000-2009/J1991-2010 / EBF: 135 m² / Heizen: 15 kWh/(m²a) / Übertemperatur: 5 % / PER: 46,5 kWh/(m²a)

Energiebezugsfläche A_{EB}

m²

135

(Blatt Flächen)

Rechnerische Raumhöhe h

m

2,50

2,50

Raumluftvolumen Lüftung ($A_{EB} \cdot h$) = V_L

m³

338

(Blatt Heiz/Jahr)

Lüftungstyp

bitte auswählen

1-Balancierte PH-Lüftung mit WRG

Infiltrationsluftwechsel

Windschutz-Koeffizienten e und f

Koeffizient e für Abschirmungskategorie

mehrere Einwirkungs-seiten

eine Einwirkungs-seite

keine Abschirmung

0,10

0,03

mäßige Abschirmung

0,07

0,02

starke Abschirmung

0,04

0,01

Koeffizient f

15

20

Windschutzkoeffizient e

für Jahresbedarf:

für Heizlastfall:

Windschutzkoeffizient f

0,07

0,18

Netto Luftvolumen für Drucktest V_{nD}

Luftdurchlässigkeit q_{nD}

Luftwechsel bei Drucktest n_{50}

1/h

0,60

0,60

427

m³

0,62

m³/(h·m²)

Abluftüberschuss

für Jahresbedarf:

für Heizlastfall:

Infiltrationsluftwechsel $n_{L,Infil}$

1/h

0,00

0,00

Auswahl der Lüftungsdateneingabe - Ergebnisse

Das PHPP bietet zwei Verfahren zur Auslegung der Lüftmengen und zur Wahl des Lüftungsgeräts. Mit der Standard-Projektierung kann der mittlere Luftwechsel für Wohngebäude projektiert und max. ein Lüftungsgerät zugeordnet werden. Im Tabellenblatt "Zusatz Lüftg." können bis zu 10 verschiedene Lüftungsgeräte berücksichtigt werden und die Lüftmengen raumweise oder zonenweise bestimmt werden. Bitte wählen Sie hier ihr Auslegungsverfahren.

Auslegung Lüftungsanlage / Wärmebereitstellungsgrad

X Standard-Projektierung (Blatt Lüftung s.u.)

Mehrere Lüftungsgeräte, NIWO (Blatt Zusatz Lüftg.)

Mittlerer Luftaus-tausch m^3/h

Mittlerer Luftwechsel 1/h

Abluft Überschuss (Abluftanlage) 1/h

effekt. Wärme-bereitstellungs-grad Gerät [-]

Rückfeuchtzahl [-]

spezif. Leistungs-aufnahme Wh/m^3

Wärme-bereitstellungs-grad EWO [-]

154

0,45

0,00

86,9%

74,0%

0,23

0,0%

Rückkühlgrad

Wirkungsgrad EWO η^*_{EWO}

Mittlere Raumluftfeuchte im Winterbetrieb

Jan

Feb

Mar

Apr

May

Jun

Jul

Aug

Sep

Okt

Nov

Dez

52%

53%

58%

67%

-

-

-

-

-

77%

64%

55%

Standardeingabe balancierte Lüftung

Passivhaus mit PHPP Version 9.7

Auslegung der Lüftung für Anlagen mit nur einem Lüftungsgerät

Personenbelegung

Anzahl Personen

Frischlufth pro Person

Frischlufthbedarf

Ablufträume

Anzahl

Abluftbedarf pro Raum

Abluftbedarf gesamt

m²/P

P

m³/(P·h)

m³/h

m³/h

m³/h

m³/h

m³/h

45

3,0

30

90

Küche

Bad

Bad (nur Dusche)

WC

utility, garderoba

1

1

1

4

60

40

20

20

20

200

Auslegungsvolumenstrom (Maximum)

m³/h

200

empfohlen: 200 m³/h

Berechnung des mittleren Luftwechsels

Betriebsarten

tägl. Betriebszeiten h/d

Faktoren bezügl. Maximum

Luftvolumenstrom m³/h

Luftwechsel 1/h

Maximum

24,0

1,00

200

0,59

Standard

0,77

154

0,45

Grundlüftung

0,54

108

0,32

Minimum

0,40

80

0,24

Mittelwert

0,77

154

0,45

Auswahl des Lüftungsgeräts mit Wärmerückgewinnung

Aufstellort Lüftungsgerät **1-Innerhalb therm.Hülle**

Auswahl Lüftungsgerät	zur Lüftungsgeräte-Liste Sortierung: WIE LISTE	Wärmebereit- stellungsgrad Gerät η_{WRG}	Rückfeuchtzahl η_{FRG}	spez. Leistungs- aufnahme [Wh/m³]	Einsatzbereich [m³/h]	Frostschutz erforderlich
	01ud-MAICO - WS 320 KBET	0,88	0,74	0,23	116 - 246	ja

Leitwert Außenluftkanal Ψ	W/(mK)	0,349	Ausführung Frostschutz	2-elekt.
Länge des Außenluftkanals	m	1	Grenztemperatur [°C]	-3
Leitwert Fortluftkanal Ψ	W/(mK)	0,349	Nutzenergie [kWh/a]	61
Länge des Fortluftkanals	m	1	Innenraumtemperatur (°C)	20
Temperatur des Aufstellraumes	°C		mittl. Außentemp. Heizp. (°C)	5,3
(nur eintragen falls Gerät außerhalb der thermischen Hülle)			mittl. Erdreichtemp. (°C)	12,3

Effektiver Wärmebereitstellungsgrad $\eta_{WRG,eff}$ **86,9%**

Effektiver Wärmebereitstellungsgrad Erdreichwärmeübertrager

Wirkungsgrad Erdreichwärmeübertrager $\eta^{*}EWÜ$
Wärmebereitstellungsgrad EWÜ $\eta_{EWÜ}$ **0%**

Nebenrechnung	
Ψ-Wert Zu- bzw. Außenluftkanal	
Nennweite:	160 mm
Dämmdicke:	50 mm
Verspiegelt?	x Ja Nein
Wärmeleitfähigkeit	0,035 W/(mK)
Nennvolumenstrom	154 m³/h
$\Delta\theta$	15 K
Rohrdurchmesser außen	0,160 m
Außendurchmesser	0,260 m
α -innen	10,16 W/(m²K)
α -Oberfläche	2,64 W/(m²K)
Ψ-Wert	0,349 W/(mK)
Oberflächentemperatur-Differenz	2,380 K

Nebenrechnung	
Ψ-Wert Ab- bzw. Fortluftkanal	
Nennweite:	160 mm
Dämmdicke:	50 mm
Verspiegelt?	x Ja nein
Wärmeleitfähigkeit	0,035 W/(mK)
Nennvolumenstrom	154 m³/h
$\Delta\theta$	15 K
Rohrdurchmesser außen	0,160 m
Außendurchmesser	0,260 m
α -innen	10,16 W/(m²K)
α -Oberfläche	2,64 W/(m²K)
Ψ-Wert	0,349 W/(mK)
Oberflächentemperatur-Differenz	2,380 K

Priloga 4: Rezultat energetskega stanja ob vpeljavi prezračevalnega sistema z rekuperacijo

Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr					alternative		Erfüllt? ²
Energiebezugsfläche m²				Kriterien	Kriterien		
Heizen	Heizwärmebedarf kWh/(m²a)	15	≤	15	-	ja	
	Heizlast W/m²	12	≤	-	10		
Kühlen	Kühl- + Entfeuchtungsbedarf kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-	
	Kühllast W/m²	-	≤	-	-		
	Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C) %	5	≤	10		ja	
	Häufigkeit überhörter Feuchte (> 12 g/kg) %	0	≤	20		ja	
Luftdichtheit	Drucktest-Luftwechsel n_{50} 1/h	0,6	≤	0,8		ja	
Nicht erneuerbare Primärenergie (PE)	PE-Bedarf kWh/(m²a)	93	≤	120		ja	
Erneuerbare Primärenergie (PER)	PER-Bedarf kWh/(m²a)	46	≤	-	-	-	
	Erzeugung erneuerb. Energie (Bezug auf überbaute Fläche) kWh/(m²a)	-	≥	-	-		

² leeres Feld: Daten fehlen; -: keine Anforderung

Ich bestätige, dass die hier angegebenen Werte nach dem Verfahren PHPP auf Basis der Kennwerte des Gebäudes ermittelt wurden. Die Berechnungen mit dem PHPP liegen diesem Nachweis bei.

Funktion Vorname Nachname Unterschrift

Ausgestellt am Ort

Passivhaus Classic? **ja**