

Kristijan Lavtižar: TEMELJI NARAVNEGA PREZRAČEVANJA STAVB

FUNDAMENTALS OF NATURAL VENTILATION IN BUILDINGS

DOI: <https://doi.org/10.15292/IU-CG.2020.08.020-027> ■ UDK: 697.921.2 ■ SUBMITTED: October 2020 / REVISED: October 2020 / PUBLISHED: November 2020

1.02. Pregledni znanstveni članek / Review Article

POVZETEK

Pri razumevanju prostorskih vprašanj v povezavi z zdravjem je pomembno poglobljeno poznavanje dejavnikov okolja, kot je mikroklima. V zaprtih prostorih preživimo večji del dneva, zato imajo zlasti pogoji prezračevanja poseben pomen glede na njihov vpliv na naše počutje, zadovoljstvo, storilnost ali zdravje. Namen članka je prikazati pregled nad sodobnimi načini prezračevanja posameznih notranjih prostorov s poudarkom na naravnemu prezračevanju. Ključna vprašanja, ki so bila v ta namen izpostavljena, so: Kakšni sistemi so v uporabi danes, ktere so njihove pomanjkljivosti in izzivi, s katerimi se srečujemo, kako so prezračevanje reševali v preteklosti ter kako je mogoče tradicionalna znanja uporabiti v sodobni arhitekturi? Zato, da bi lahko na to odgovorili, morajo biti jasne fizikalne zakonitosti. V prispevku so prikazani strnjeni standardni načini in metode prezračevanja stavb po svetu in podani predlogi za njihovo uporabo pri načrtovanju kakovostnih in trajnostno zasnovanih odprtih in zaprtih prostorov (stavba, posamezni prostor, predprostor objekta). Zbrani so primeri uporabe naravnega prezračevanja in vzorci združevanja uveljavljenih principov zračanja, ob upoštevanju zakonitosti mikroklimatskih dejavnikov, s sodobnimi tehnologijami mehanskega prezračevanja in prepustnih fasadnih sistemov. Jedro prispevka se nanaša na vprašanje: Ali obstajajo možnosti za prezračevanje stavb, ki zagotavljajo ustrezno kakovost mikroklimе in sočasno ambientalno integracijo z naravnim okoljem?

KLJUČNE BESEDE

prezračevanje, sistemi klimatizacije, naravno prezračevanje, onesnaževala, smernice

ABSTRACT

When environmental factors, such as the microclimate, in-depth knowledge is important in understanding spatial issues related to health. We spend most of the day indoors, so ventilation conditions are especially important, given their impact on our well-being, satisfaction, productivity, and health. The purpose of this article is to present an overview of modern methods of ventilation of individual indoor spaces with special attention paid to natural ventilation. The key questions raised for this purpose are: What systems are in use today, what are their shortcomings and the challenges that we face, how had the problem of ventilation been addressed in the past, and how can traditional knowledge be applied in modern architecture? To be able to answer this, clear physical laws must be defined. The article presents the standard methods of ventilation of buildings around the world and gives suggestions for their use in the design of quality and sustainably designed open and closed spaces (buildings and their indoor spaces). Examples of the use of natural ventilation and samples of combining established ventilation principles, considering the legality of microclimatic factors, with modern technologies of mechanical ventilation and permeable facade systems are collected. The core of the article refers to the question: What are the possibilities for the ventilation of buildings that ensure the appropriate indoor air quality while simultaneously allowing for the ambient integration with the natural environment?

KEY-WORDS

ventilation, air conditioning systems, natural ventilation, pollutants, guidelines

UVODNIK
EDITORIAL
ČLANEK
ARTICLE

RAZPRAVA
DISCUSSION
RECENZIJA
REVIEW
PROJEKT
PROJECT
DELAVNICA
WORKSHOP
NATEČAJ
COMPETITION
PREDSTAVITEV
PRESENTATION
DIPLOMA
MASTER THESIS

1. UVOD

Čisti zrak je ena izmed najosnovnejših antropocentričnih potreb, ki jih moramo zagotoviti. Zaradi te potrebe je ustvarjanje udobne mikroklimе v zaprtih prostorih in s tem zagotavljanje udobnega prostora za bivanje bistvena zahteva pri arhitekturnem načrtovanju, zaradi česar je prezračevanje elementarno v integralnemu postopku arhitekturnega načrtovanja in oblikovanja. Zaradi onesnaževanja ozračja se veliko pozornosti namenja zunanjim prostorom, kjer je koncentracija onesnaževal, zlasti ob virih onesnaževalcev, tudi najvišja, vendar povprečna oseba v urbanem okolju v notranjih prostorih preživi veliko večino časa, pri čemer večino svojega časa v zaprtih prostorih preživijo ravno najbolj dovzetne osebe za razvoj bolezni, in sicer starejši, majhni otroci ter bolniki (Fink, 2013; Franck et al., 2003; Stellman, 1998). Posledično ima zdravo bivalno okolje z ustreznim zračenjem tudi večji pomen za kakovost življenja, ki pa je izpostavljeno enakim onesnaževalcem kot zunanje okolje. Poleg onesnaževal je zelo pomembna koncentracija ogljikovega dioksida. Visoke koncentracije kisika pa med drugim pripomorejo k večji zbranosti, fizični sposobnosti, kakovostnemu spancu (Fisk, 1997; Staniforth et al., 1998). Ker ljudje nimamo posebnega čutila, ki bi bil občutljiv na ustrezo raven kisika ali drugih plinov brez vonja, jih ne moremo zaznati, ko jih je v prostoru preveč ali premalo, kadar ta meja ravnovesja ni že znatno prekoračena. Zaradi tega je pomembno, da posvečamo posebno pozornost avtonomnim sistemom prezračevanja stavb, ki neprestano zagotavljajo ustrezno kakovost zraka. Ustrezna kakovost zraka preprečuje tudi številne sindrome bolnih stavb (SBS), okužbe, ki se prenašajo z aerosolnimi patogeni in druge bolezni (Dovjak & Kucec, 2019; Smajlovic et al., 2019). Povezava med prezračevanjem, gibanjem zraka v stavbah in prenosom nalezljivih bolezni, kot so ošpice, tuberkuloza, norice, gripa, črne koze ali SARS-Co-V-2, je široko raziskana in dokazana (Li et al., 2007; Richardson et al., 2014). V preteklih letih se je gradnja stavb usmerila v trend pasivnih gradenj, predvsem zaradi energetske krize. Standardi zrakotesnosti so se postavljali pred potrebo prezračevanja stavb, zato v nekaterih prostorih stavb do izmenjave zraka ne prihaja, razen takrat, ko je urejen sistem naravnega, mehanskega ali hibridnega prezračevanja. Številne pasivne hiše brez ustreznega prezračevanja so pri slabšem koeficientu izmenjave zraka zato manj ustrezne, iz vidika kakovosti mikroklimе in kasnejše adaptacije pa zahtevne in drage (Hasselaar, 2008; Mlecnik et al., 2008; Aynsley, 2014).

Prezračevanje je vsakršna izmenjava zraka med notranjim in zunanjim okoljem, torej med zaprtimi notranjimi prostori in okolico stavbe. S prezračevanjem se vzpostavi tok dovajanega ali svežega zraka in tok odvajanega ali onesnaženega zraka. Gibanje zračnih mas v naravi ali v grajenem okolju povzročajo razlike v zračnem pritisku, premikajoče od višjega k nižjemu. Premikanje vetrov v naravi je posledica različnega segrevanja tal, ki povzroča vzgon, in različnih višin reliefa, zato višje lege na razgibanemu terenu prinašajo več vetrov (Recknagel et al., 2004). Podobno se gibajo tudi zračni tokovi v notranjih zaprtih prostorih. Izjema v zaprtih prostorih je mehansko prezračevanje, saj razliko v tlaku ustvarjajo tudi mehanske prezračevalne naprave. Nadzorovan dotok zraka imenujemo prezračevanje, medtem ko nenadzorovan prehod zraka imenujemo vdor ali infiltracija ter na drugi strani eksfiltracija, iztekanje zraka iz stavbe (Turner et al., 2012). Zaprte prostore stavb prezračujemo bodisi naravno, mehansko ali hibridno. Namen prezračevanja je zagotavljanje kontroliranih in stabilnih mikroklimatskih pogojev v notranjih prostorih skozi celotno življenjsko dobo stavbe, v vseh letnih časih in ne glede na število njenih uporabnikov (Emmerich et al., 2009).

2. METODE

Prispevek je pregledni članek, ki opisuje možnosti za prezračevanje stavb, v katerem se iščejo možnosti za zagotavljanje ustreznih in kakovostnih notranjih prostorov ob upoštevanju ambientalne integracije naravnega okolja in sodobnih potreb po nadzoru mikroklimatskih razmer. Pripravljene sheme so nastale na osnovi zbranih referenc, ki niso vključene v prispevek, in literature zadnjih nekaj letih. Posamezni primeri prezračevalnih sistemov bodisi v shemah bodisi v referenčnih primerih so izbrani zaradi jasnosti posameznih inženirskih rešitev ali zaradi njihove priljubljenosti in uveljavljenosti v sodobni arhitekturi. Zbrani primeri literature ustvarjajo pregled tradicionalnih tehnik in sodobnih tehnologij prezračevanja.

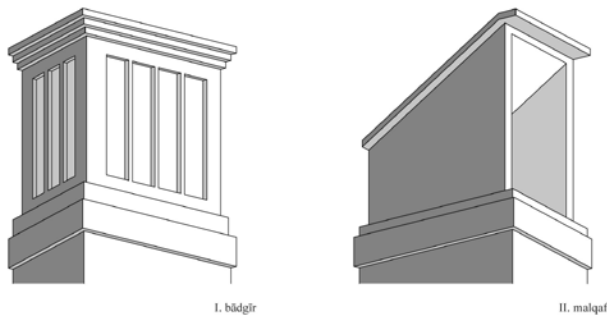
3. NAČINI PREZRAČEVANJA STAVB

Posplošeno lahko načine prezračevanja delimo na naravno prezračevanje, mehansko prezračevanje, pri katerem se klimatizacija doseže s klimatizacijsko napravo ter hibridno prezračevanje, pri katerem se hkrati uporablja naravno in mehansko prezračevanje. Mehansko prezračevanje delimo naprej na posamične (lokalne) in centralne sisteme, slednjemu lahko pravimo tudi kanalsko prezračevanje. Za mehansko, prisilno, strojno ali umetno prezračevanje se šteje vsakršno prezračevanje, kjer se uporabljajo strojni elementi pri načrtovanem prezračevanju stavb, bodisi za zamenjavo odtočnega zraka z zunanjim bodisi za klimatizacijo s klimatizacijsko napravo. Sistemi prisilnega prezračevanja so v večini primerov del večjih sistemov, ki skrbijo za uravnavanje temperature v prostorih in ustrezno filtracijo zraka (Peperko, 2009). Sestavljajo jih ventilatorji, filtri, regulatorji ogrevanja in hlajenja, naprave za vlaženje in razvlaževanje zraka, s katerimi lahko dosežemo želene parametre udobja v prostoru (Recknagel, 2004). Zadnji način prezračevanja je hibridni pristop, kjer se uporablja kombinacijo naravnega prezračevanja in mehanskih sistemov, ki vključujejo opremo za distribucijo zraka in hladilno opremo za hlajenje. Naravno prezračevanje se uporablja, kadarkoli je to izvedljivo ali zaželeno, da se poveča udobje, pri čemer se izogne potratni porabi energije in obratovalnim stroškom celoletne klimatske naprave (Center for the Built Environment [CBE], 2013).

3.1 Tradicionalne tehnike prezračevanja

Naravno prezračevanje z vetrnimi lovilci izvira iz dežel s sušnimi podnebji, kot so Severna Afrika ali ozemlje okrog Perzijskega zaliva, in je v nekaterih delih sveta v uporabi že tisočletja. Gre za tradicionalni arhitekturni element, ki se uporablja za pasivno prezračevanje in hlajenje notranjih prostorov. Vetrni stolpi ali lovilci vetra so lahko orientirana na eno, dve ali več smeri in s tem lovijo ter raznašajo različne smeri vetra glede na mikroklimatske pogoje. Tehnologija je bila v 20. stoletju počasi opuščena in zamenjana s sodobnimi sistemi centralnega prezračevanja in klimatizacije ter vnovič oživljena zaradi potreb po zmanjšanju stroškov prezračevanja (Attia in De Herde, 2009). Vetrni stolp (*arab. malqaf*) je egipčanska vernakularna arhitekturna naprava, ki ujame veter v stavbo in preusmeri navzdol v notranje prostore (Slika 1). Lovilniki vetra so zgrajeni v mnogih regijah Irana. V Bandar Abbasu in drugih pristaniščih ob Perzijskem zalivu, kot tudi v mestu Yazd (Slika 1), so običajno kvadratni stolpi, zgrajeni na strehah z odprtini na eni strani, usmerjenimi proti hladnim morskim vetrovom. Najpogostejša uporaba lovilcev vetra je za hlajenje in prezračevanje poletnih dnevni prostorov in kletnih delov hiš. Zrak, ujet v odprtinah stolpa, se ohladi med spuščanjem in hladi uporabnike spodaj s konvekcijo in izhlapevanjem. Kadar je vetra malo ali ga ni, se zrak dviga proti stolpu, katerega

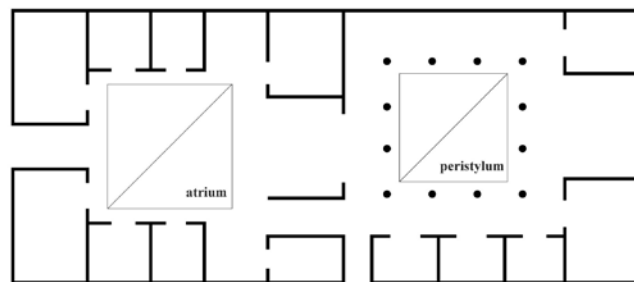
stene segreva sonce, tako da skozi poletne sobe vleče hladen vlažen zrak iz dvorišča in kletnih prostorov stavbe (Bahdori, 1978). V študiji učinkovitosti tradicionalnega prezračevanja z uporabo tehnike malqaf in njihove potencialne integracije za rabo v nizkih gradnjah so ugotovili pogojno zmožnost njihovih testnih modelov do izmenjave zraka do 5,6-krat/h (Attia in De Herde, 2009). Nekatere antične metode hlajenja so bile tako učinkovite, da je bilo mogoče z njimi doseči temperature blizu ledišča. Na puščavskem območju Perzije so uporabljali vkopane stožčaste strukture, imenovane Yakhchāl, v katerih so izkoriščali metodo hlajenja z izhlapevanjem vode. Uporabljale so se za hranjenje hrane, ledu in veljajo za prehodnico kasnejših ledenic, ki jih poznamo v Evropi.



Slika 1: Shema primerov vetrnega stolpa BĀDĠĠR na levi (I.) in MALQAF na desni (II.).

Med republikanskim in imperialnim obdobjem antičnega Rima je gradnja stanovanjskih objektov zaznamoval *domus*. To je bila uveljavljena in standardizirana tipologija hiše, v kateri so prebivali svobodni in premožni ljudje (Frazer, 1998). Zanj je značilen centralno umeščen in odprt notranji atrij (lat. *atrium*), okrog katerega so bile razvrščene sobe (Slika 2). Sobe so bile ločene na spalnice (lat. *cubicla*), jedilnice, kuhinje, dnevne sobe in predverje (lat. *vestibulum*). Z izjemo predverja so se odpirale zgolj proti atriju in navzven imele zaprto steno. Atrij je bil odprt, redko opremljen in redko zaraščen, saj je zagotavljal svetlobo vsem prostorom. Na sredi atrija je bil praviloma plitek odtočni bazen (lat. *impluvium*), v katerem se je zbirala deževnica (McManus, 2007). Deževnica je pritekala z nagnjene strehe nad atrijem (lat. *compluvium*). Takšna introvertirana zasnova je izkoriščala notranje prezračevanje iz centralno umeščenega atrija, ki je poleg varnosti, zasebnosti in miru zagotavljal svež zrak, umaknjen od dima in umazanije, ki jo povezujemo s tedanjimi zunanjimi javnimi trgovskimi ulicami. Zbrana deževnica se je nato stekla v zbiralnik pod bazenom skozi filtracijske plasti različnih sedimentov, s katerimi so odstranjevali nečistoče. Bazeni imeli dodatno funkcijo ohlajanja notranjega zraka z evaporacijo stoječe vode. Atrij je z njim nudil učinkovito pasivno hlajenje, s kroženjem svežega hladnega zraka skozi zaledne sobe. Na zunanosti so bila redka okna (lat. *fenestrae*), ki so bila sprva le manjše zidne niše, zaščitene z loputami (Smith, 1875). Zaprt zunanji obod stavbe je razviden iz tlorisa (Slika 2). Izraz atrij, ki ga uporabljamo še danes, se je kasneje uporabljal tudi za različne prostore v javnih in verskih zgradbah, večinoma pri opisovanju arkadnih dvorišč in večjih domačih prostorov z vrtovi.

V študiji, ki je analizirala občutljivost hitrosti menjave zraka v naravno prezračevanem atrijskem prostoru, osnovanem na rimskem *domusu*, so ugotovili, da ima pogoj smeri vetra in števila zračnikov, vključenih v model, velik vpliv na potencialno urno izmenjavo zraka (Horan & Finn, 2008). Na modelih je bilo ugotovljeno, da je veter enakomeren pri vpadnem kotu med 0° in 90°. Toda nelinearno razmerje je izkazal model z enojnim zračnikom pri enakem odklonu smeri vetra, kar je pokazalo odvisnost smeri vetra in števila odprtih glede na pozicijo stavbe.



Slika 2: Tloris rimske hiše v Pompejih. Na levi strani je viden atrij (lat. atrium) ter na desni vrt (lat. peristylum).

3.2 Naravno prezračevanje stavb

Pod pojmom naravno prezračevanje smatramo pasivno izmenjavo zraka skozi potencialne odprtine v prostoru, kjer se izkoriščajo naravne fizikalne lastnosti zraka pri različnih temperaturah v prostorih in zunanosti, brez uporabe mehanskih naprav. Odprtine so lahko projektirane za prezračevanje namensko ali nenamensko. Načrtovane prezračevalne odprtine so okna, prezračevalni kanali, prezračevalne lopute, zračnik ipd. Nenamenske odprtine običajno nastanejo ali se povečujejo s staranjem objekta. Nastanejo špranje med okvirji vrat, med roletnimi omaricami, povečajo se razlike v netesno vgrajenem stavbnem pohištvi in med okvirji oken. Izmenjavo zraka, ki nastane kot posledica naravnih lastnosti temperaturnih razlik in tako posledično tlačnih atmosferskih razlik ali gibanja zraka zaradi vetra, štejemo za naravno prezračevanje. Meritev in izračunov se pri takšnih izmenjavah zraka v praksi ne poslužuje, izvajajo se praviloma na podlagi spremembe koncentracij onesnaževal (Todorovič, 2005). Takšno prezračevanje je posledica vdora oziroma infiltracije zraka, ki poteka nekontrolirano, je intenzivnejše ob večjih temperaturnih razlikah med notranjim in zunanjim zrakom in je odvisno od smeri vetra na zunanje stene stavbe. V zimskih in poletnih mesecih temperaturne razlike povzročijo različne gostote toplega in hladnega zraka, zaradi česar nastane v prostoru gibanje zraka, ki pomembno prispeva k prezračevanju, vendar samo po sebi ne zagotavlja ustrezne količine svežega čistega zraka (Etheridge, 2012). Druga oblika naravnega prezračevanja poteka na način odpiranja oken. Takšna pasivna oblika prezračevanja se ne odvija samodejno, vendar je lahko najbolj ekološka rešitev in ponekod smiselna izbira pri načrtovanju objektov. Pri uporabi naravnih prezračevalnih sistemov se srečujemo z izzivi, kot so ustrezna stopnja prezračevanja, razporeditev svežega zraka v prostorih, nadzorovanje vlage, zagotavljanje ustreznega pritiska v zgradbi in vstop onesnaženega zraka iz okolice brez možnosti filtracije ali čiščenja (Todorovič, 2005).

3.2.1 Metode naravnega prezračevanja

Osnovni principi naravnega prezračevanja izhajajo iz treh načinov prehajanja zraka skozi stavbo. Prvi poteka preko prečnih vetrov s pomočjo vetra, drugi način je odvisen od dviganja vzgonskih tokov in tretji zahteva enostransko prezračevanje (Emmerich et al., 2001). Za prvi primer je potreben veter, ki teče po prerezu neprekinjeno skozi odprtine na fasadah, običajno gre za okna, na obeh straneh stavbe. V drugem primeru tlačne razlike povzročijo dovajanje hladnega zunanjega zraka in odvajanje toplega zraka v okolico skozi višje ležeče odprtine na strehi stavbe. Takšna odprtina je lahko dimnik ali notranji atrij. Zadnji princip je primer rešitve lokalnega prezračevanja, kjer se zagotavlja zračenje samostojnih prostorov. Zračni tok povzročijo tlačne razlike v mikroklimi, temperaturni gradient ali turbulenca. Vse naštetje sile so neizrazite in relativno spremenljive. Ne glede

na specifične posameznih principov prezračevanja so najbolj učinkoviti sistemi tisti, ki v kombinaciji izkoriščajo prednosti vseh naštetih načel.

Temeljne tipe fasade lahko ločimo na polne stene in stene s predori ali odprtini. Polne stene imajo lahko toplotni izolacijski sloj na notranji ali na zunanji strani, pri čemer prva ne izkorišča možnosti zadrževanja toplote v sami steni. Fasade s predori so lahko popolnoma prazne, imajo enojno ali dvojno zasteklitev, druge imajo v celoti ločen dodatni sloj. V spodnjih prikazih (slika 3-5) so predstavljene osnovne zakonitosti in pojavnosti oblikovanja fasad ter njihovih odprtini, ki so bile izluščene na podlagi pregledanih referenčnih primerov. Prva skupina (a; I.-VII.) predstavlja poglobitve značilnosti, po katerih lahko opredelimo fasadni ovoj (od leve proti desni): polna stena brez izolacije, zunanja izolacijska plast, notranja izolacijska plast, odprta stena s prebojem brez zasteklitve, enojna zasteklitev, dvojna zasteklitev, kombinirana zunanja zasteklitev. Na podlagi naštetih elementov in njihove kombinacije zunanjih sten, stropa in tal v prostoru se odločamo za uporabo prezračevalnih sistemov ali tehnik. Poleg ostalih elementov, kot so velikost prostora, sistem gretja in hlajenja, predviden način rabe, število in prisotnost uporabnikov, določajo potrebe po prezračevanju posameznih prostorov in stavbe kot celote.

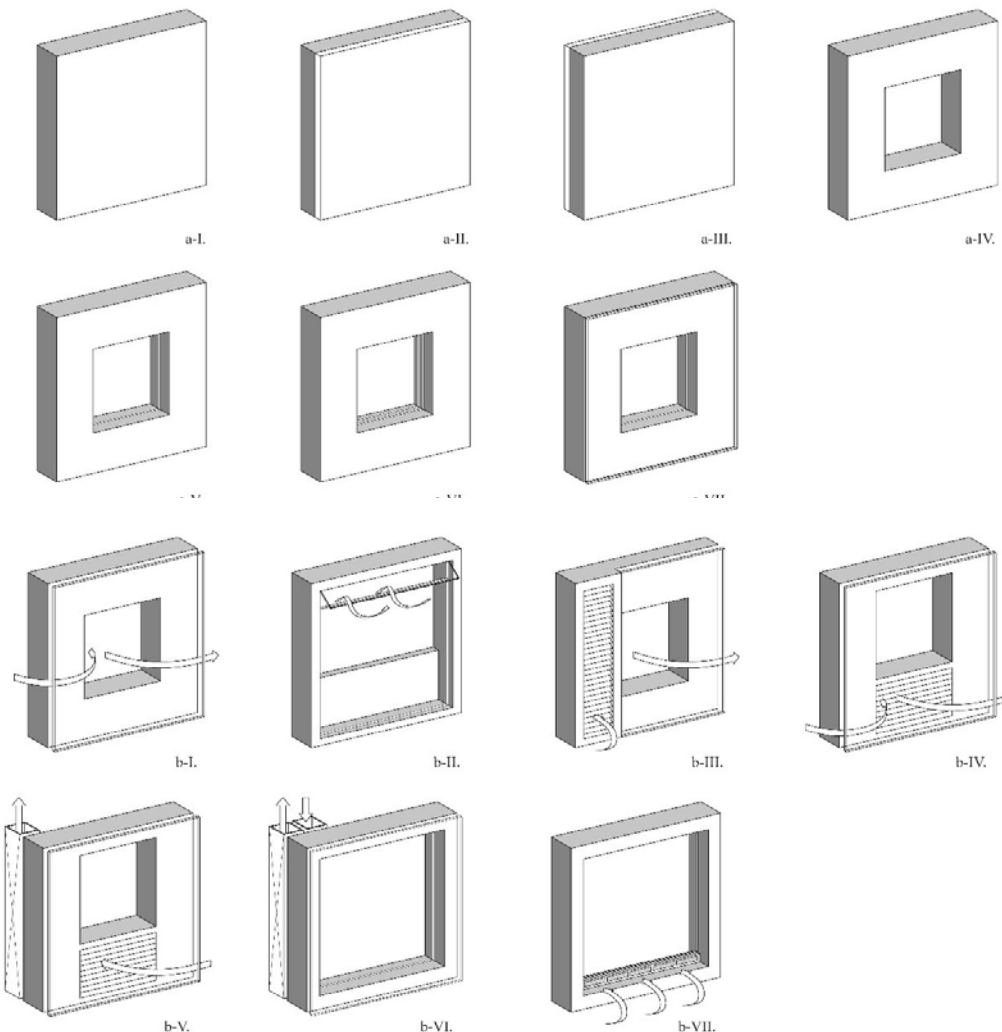
Druga skupina (b; I.-VII.) s shematskimi prikazi prikazuje možne variacije prezračevanja in organizacije dovajanja čistega zunanjega zraka ter odvajanja umazanega zraka, kjer je izvzeto običajno prezračevanje z odpiranjem oken (od leve proti desni):

prezračevanje mimo zunanje fasadne zasteklitve, prezračevanje z nagibno odprtino, prezračevanje z adicijo zračnika in okenske odprtine, prezračevanje z adicijo zračnika in zunanje fasadne zasteklitve, dovajanje preko zračnika in odvajanje s prezračevalnimi jaški, prezračevanje z okensko rešetko. Predstavljene metode so največkrat uporabljene v prostorih pisarniške, komercialne, tehnične ali druge podobne uporabe. V uporabi so tudi v večnadstropnih objektih, kjer se v višjih nadstropjih pojavlja problem vetra. V načinu prezračevanja z mehanskimi sistemi omogočajo bolj kontrolirano prezračevanje z dovajanjem na predvidenih mestih ob konstantni hitrosti.

Tretja skupina (c; I.-VII.) prikazuje najpreprostejše načine naravnega prezračevanja, kjer se zanašamo na prosti pretok skozi odprtine, odprta ali priprta okna, rešetke ali preko jaškov (od leve proti desni): roletni sistem odpiranja zračnikov, sistem rešetk, odpiranje okna na navadni vzgib, odpiranje okna na horizontalni osi, odpiranje okna na stežaj, odpiranje okna na vertikalni osi, odpiranje okna na potisk. Našteti načini odpiranja omogočajo veliko mero prilagodljivosti in enostavnost pri zračanju, omogočajo tudi prilagodljivost pri dveh ali več okenskih odprtinah znotraj enega prostora in prilagajanje posamezniku, vendar zahtevajo večjo mero pozornosti in spremljanje pogojev mikroklimi v prostoru.

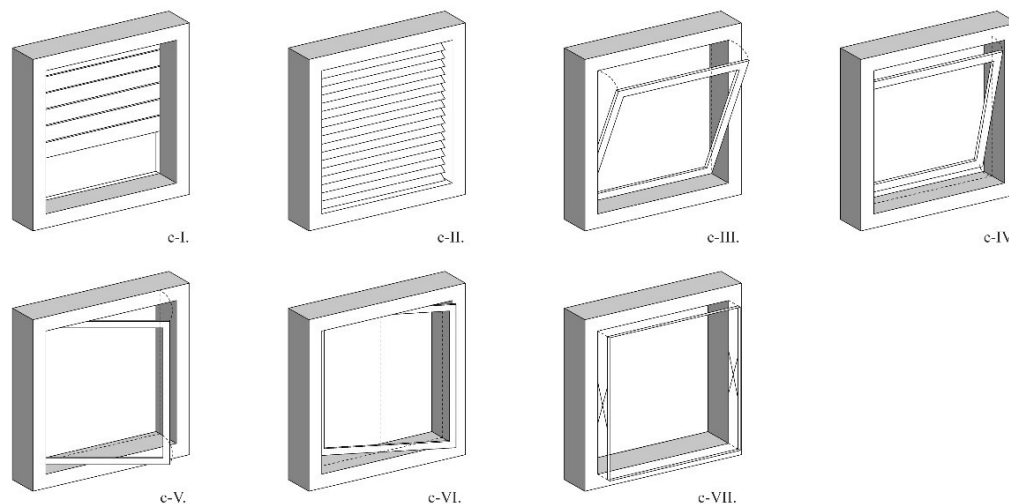
Učinkovitost prezračevanja skozi okna je primarno odvisna od vrste oken, izvedbe inštalacije in zračnega tlaka, na kar vpliva tudi prečno zračenje ali zračenje s prepikom. Najučinkovitejš

Slika 3: Sheme osnovnih elementov fasad (skupina a; I.-VII.).



Slika 4: Avtonomni in pol-avtonomni načini prezračevanja (skupina b; I.-VII.).

Slika 5: Načini prezračevanja z ročnim odpiranjem oken (skupina c; I.-VII).



je, kadar so prostori do največ 2,5-krat globoki, kot so visoki. Prečno prezračevanje zadostuje tudi za 5-krat globlje prostore (Knaack et al., 2014). Pri posameznih primerih načina prezračevanja z ročnim odpiranjem okna je kakovost prezračevanja odvisna ne le od oblike ali načina odpiranja okna, temveč tudi od smeri vetra na fasado stavbe. Najmanj učinkovito je, kadar se veter premika vzporedno z odprtini, zaradi česar se zmanjša hitrost notranjega pretoka zraka (Sacht & Likiantchuki, 2017). Značilnosti, kot so vrsta oken, ali so fiksna ali mobilna, velikost preseka odprtine odprtega okna, ali so prisotni elementi, ki povzročajo ovire pri prostem prehodu zraka, vplivajo neposredno na pogoje naravnega prezračevanja (Sacht & Likiantchuki, 2017). Pri prezračevanju z odpiranjem oken ločimo kratkotrajno in dolgotrajno zračenje prostorov. Kot dolgotrajno zračenje s priprtimi okni štejemo odpiranje oken z zvrčanjem v polvertikalni položaj. Omenjeni način zahteva približno šestkrat več časa za celotno izmenjavo zraka v prostoru kot intenzivno, kratkotrajno zračenje. Raziskava učinkovitosti naravnega prezračevanja (Japelj, 1985) je pokazala, da se je v prostoru z odprtim oknom v polvertikalni položaj (na vzgib), zrak izmenjal v 30 do 60 minutah. Čas zračenja se je lahko skrajšal z odprtjem oken na stežaj, kjer se je zrak popolnoma izmenjal v 5 do 10 minutah. Intenziteta prezračevanja pa se je še dodatno povečala ob ustvarjanju prepaha z odprtjem vrat v prezračevanem prostoru, pri čemer se je zrak popolnoma izmenjal v 1 do 5 minutah pri popolnoma odprtem oknu in v 15 do 30 minutah s polvertikalnim odprtjem okna. (Japelj, 1985). Poleg načina odpiranja in vrste oken, velikosti odprtine, volumna prostora, imata pri merjenju učinkovitosti naravnega prezračevanja bistveno vlogo frekvenca in čas odpiranja vrat (Marr et al, 2012).

3.2.2 Prednosti in slabosti naravnega prezračevanja

Naravno prezračevanje lahko zadosti potrebam po prezračevanju brez energetske porabe in z njo povezanih izpustov toplogrednih plinov, v kolikor je bila energija na določenem območju pridobljena z uporabo fosilnih goriv. V britanski študiji energetske porabe mehanskega prezračevanja (Building Research Energy Conservation Support Unit [BRESCU], 2000) so ugotavljali prihranke na sestavnih delih in procesih tovrstnih sistemov. Naravno prezračevane stavbe so nadomestile energetske porabe za hlajenje od 14 kWh/m² do 41 kWh/m² letno, kar je nanoslo na 10% celotne energetske porabe. Meritve so bile izvedene v podnebjju, kjer zunanje temperature zraka poleti redko presegajo mejne vrednosti toplotnega udobja. V drugih državah, recimo v podnebjih z relativno visoko vlažnostjo, ni mogoče pričakovati podobnih energetskih prihrankov. Ne le za

hlajenje, pri mehanskih sistemih prezračevanja velik del energije potrošijo ventilatorji. 20 kWh/m² do 60 kWh/m² letno je v enaki študiji znašala energetska poraba za ta namen ali 15% celotne energetske porabe takrat, ko so bile klimatske in operativne razmere preizkusa primerne (Building Research Energy Conservation Support Unit [BRESCU], 2000).

HVAC (sistemi za gretje, prezračevanje in klimatizacijo) poleg stroškov energetske porabe zahtevajo vzdrževanje. Potrebno je redno čiščenje kanalskih sistemov za prenos zraka, difuzorja, servisiranje hladilnih naprav in vlažilcev zraka, čiščenje in menjava filtrov, čiščenje prenosnika toplote. Menjava glavnih filtrov se izvaja praviloma vsakih 6 mesecev, medtem ko je čiščenje prenosnika toplote po navedbah proizvajalcev priporočljivo vsake 2 leti (Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations [REHVA], 2020). Nepravilno vzdrževanje, v določenih primerih tudi vzdrževanje v skladu s priporočili upravljalca, prvič predstavlja dodatno obremenitev za ventilatorje in glasnejše delovanje zaradi posledičnega zračnega upora na kanalskem omrežju. Drugič, predstavlja nevarnost za zdravje uporabnikov prostorov bodisi zaradi neustreznih filtrov bodisi zaradi same distribucije patogenov skozi centralni prezračevalni sistem. Pomemben dejavnik pri raznosu aerosolov in patogenov v prostoru je vzorec pretoka zraka, ki je pri mehaničnih sistemih lahko nadzorovan, vendar pa neučinkovit pri nadzoru kapljičnega prenosa okužb (Qian in Zheng, 2018). Problematika vpliva na javno zdravje centralnih sistemov prezračevanja se je pokazala ob izbruhu virusa SARS-CoV-2. Evropska federacija za gretje, prezračevanje in hlajenje je zato izdala posebna priporočila za upravljanje tovrstnih sistemov za preprečevanje raznosa okužbe, ki vključujejo nadgradnjo obstoječih HVAC sistemov (Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations [REHVA], 2020). Skriti strošek mehanskih sistemov je poleg očitnega stroška njihove vgradnje tudi prostor, ki ga zasedajo v stavbi ali na zunanosti stavbe. V poslovnih stavbah je zniževanje stropov za potrebe prezračevalnih sistemov poleg električnih in drugih inštalacij uveljavljena praksa. Zavzet prostor je sicer lahko namenjen večjemu udobju, občutku velikosti prostora, večjemu odboju dnevne svetlobe po notranosti prostora in blaženju hitrega naraščanja onesnaževal v prostoru zaradi večjega volumna prostora (Emmerich et al., 2001). Kljub temu imajo tudi sistemi naravnega prezračevanja slabosti, saj denimo prav tako povzročajo energetske izgube, zlasti ob delih dneva in letnih časih, ko se pojavljajo večje temperaturne razlike med notranjimi prostori in zunanostjo (Feustel, 1985). V notranjih prostorih želimo doseči poleg optimalnega toplotnega udobja tudi ustrezno zvočno izolacijo ter neprekinjeno prezra-

čevanje, ki vseskozi zagotavlja dotok svežega zraka. Z naravnim prezračevanjem ne moremo prezračevati v celoti kontrolirano, kar pomeni, da je lahko v nekem trenutku v prostore dovedeno ga preveč svežega zraka ali premalo. Preveč denimo takrat, ko se pojavijo velike temperaturne razlike med notranjem in zunanjim zrakom, kar povzroči nihanja ob dovajanju svežega zraka.

Gibanje zraka je nepredvidljivo zaradi vzgonskih sil in turbulence. To lahko privede do neželenih klimatskih razmer in pregrevanja, kar vodi v dodatne nepotrebne energetske izgube ali povzroča lokalno neudobje uporabnikom zaradi nepredvidene ga prepriha, hladnih tokov ali nezadostnega hlajenja. Nekontrolirano prezračevanje prinese tudi vdor onesaženega zraka, ki je lahko posledica prometnih onesnaževalcev, domačih kurišč, industrije ali gradbišč, kjer so emisije vezane na določeno časovno obdobje ter odvisne od makro- in mikroklimatskih razmer. Zrak je lahko onesažen s troposferskim ozonom, prašnimi delci, dušikovimi oksidi in žveplovimi oksidi. Po drugi strani so v praksi mehanski prezračevalni sistemi pogosto urejeni tako, da nadzorujejo temperaturo in ne same kakovosti zraka, zato ne morejo zagotoviti ustreznega prezračevanja in nadzora kakovosti zraka (Leyten in Kurvers 2000). Nadzor mikroklimatskega udobja pri HVAC sistemih je vendar lahko zavajajoč, saj so ti izdelani tako, da vzdržujejo prezračevanje glede na uravnavanje določene temperature in ne nujno glede na kakovost zraka ali dejanske potrebe uporabnika. V takšnih primerih uporabnik sam odpre okno, v kolikor prostor to omogoča, in v trenutku spremeni pogoje mikroklimatskega udobja iz okolice. Naravno prezračevanje lahko tako smatramo kot bolj kontrolirano, saj omogoča takojšno ukrepanje, vendar je samokontrola kot subjektivna metoda tudi manj učinkovita. Raziskava vzorcev prezračevanja večstanovanjske stavbe je pokazala, da uporabniki sicer nadzorujejo prezračevanje v svojih stanovanjih z odpiranjem oken in vrat ter na ta način ohranjajo zadovoljivo kakovost zraka, toda z veliko izdatnejšim prezračevanjem, kot bi bilo potrebno (Muhsin et al., 2012).

Nenazadnje je pri naravnih prezračevalnih sistemih, zlasti v določenih podnebnih in krajih z obilo naravnega okolja, potrebna tudi zaščita z mrežo. V nasprotnem primeru tvegamo vdor neželenega mrčesa in drugih živali. Učinkovitost pretoka zraka je odvisna od zunanjih vremenskih razmer, saj so v določenih situacijah najugodnejši pogoji pri nizkih temperaturah in vetru, kar prinaša večje toplotne izgube (Etheridge, 2012). Prezračevanje vpliva še na vrednosti relativne vlage v prostoru, vnašanje alergenov, kot je cvetni prah, in na gibanje prahu. Pri mehanskih sistemih je ta vpliv zaradi filtrov in vlažilcev zraka še posebej poudarjen. Dodatna slabost mehanskih naprav je hrup, ki ga povzročajo ventilatorji (Balvers, J. 2012; Bujoreanu, C., & Benchea, 2016). Njihova intenziteta je odvisna od vrste sistema in mesta vgradnje, vendar se temu pri naravnem prezračevanju lahko popolnoma izognemo.

4. OPUŠČANJE PREZRAČEVALNIH SISTEMOV

Po koncu obdobja moderne in prenehanju gibanja CIAM se je arhitekturi do neke mere zakoreninilo utilitarno načelo Le Corbusierja - »Hiša je stroj za bivanje« (Mumford, 2002). Navkljub nadaljnjemu razvoju stroke se je arhitektura z razvojem novih tehnologij gradnje in stavbnih instalacij, razvoja na področju strojništva in mikroklimatskega inženirstva, znova približala Corbusierjevi teoriji. Z nastopom novih arhitekturnih in oblikovalskih slogov v petdesetih letih prejšnjega stoletja so se številna prepričanja razhajala, vendar pa je prav razvoj klimatizacijskih in prezračevalnih sistemov, ki se je razvijal vzporedno in neodvisno od arhitekture, najbolj vplival na kakovost mikroklimatske notranjih

prostorov, ki jo je zagotavljala gradnja tedanjih stavb. Čedalje bolj se je stremelo k temu, da je bil mehanski prezračevalni sistem tisti, ki je morebitno pomanjkljivo načrtovano stavbo reševal in zagotavljal ustrezne razmere, na ta način pa deloval kot aparat za »umetno življenjsko podporo«. Ta aparat ob popolnem delovanju zagotavlja idealne, po možnosti posamezniku prilagojene pogoje temperature, vlage in čistega zraka, ki so neodvisne od mikroklimatskih razmer zunaj objekta.

Proti koncu prejšnjega stoletja se je ob boku okolju prijaznega in trajnostnega načrtovanja oblikovala teorija in smer, ki popolnega klimatskega udobja ni več postavljala za prvobiten cilj. Takšen pristop arhitekture je učila Sydneyjska šola arhitekture, ki se je razvila v tretjem četrtletju 19. stoletja. Zagovarjala je uporabo lokalnih, neobdelanih materialov ter avtohtonih vrst vegetacije. Za eno izmed ikon integracije z naravo, po filozofiji »Best architecture is no architecture« velja Lucasova hiša, ki je predstavljala navdih za generacijo arhitektov Sydneyjske šole. Glenn Murcutt je v svojih delih (hiša Ball, Magney, Marika, Frederics) združeval najrazličnejše principe, ki izvirajo iz te šole. Z lamelasto podolgovato obliko hiš je omogočil učinkovito križno prezračevanje. Dvignjene strešine, ki so prepuščale prosti pretok na obeh straneh, so skupaj z visokim stropom pomagale ustvarjati konvekcijo in kroženje zraka v prostorih. V hišah z atrijskim jedrom so bili ti načrtovani tako, da so preslikovali in ujeli zunanost in klimo po nazorih rimske atrijske hiše. Pred njih je umeščal zrcalne bazene, preko katerih je potoval veter in ohlajal pregrete prostore (Fromonot, 1995). Deževnico je shranjeval v neposredni bližini, včasih tudi pod samim objektom. Izpostavljene fasade je pozorno zaščitil, medtem ko je odpiral manj ranljive stranice s perforiranimi fasadami ali drsnimi stenami in na ta način zračil objekt. Ustvarjal je v Avstraliji, v državi s puščavskim in savanskim, deloma tudi sredozemskim podnebjem, kar je omogočilo najlažjo implementacijo teorijo »nične« arhitekture.

Murcutt je ob uporabi polprepustnih elementov, opisanih v prejšnjem poglavju, projektiral hiše, ki so kot celota opravljale nalogo klimatske naprave. Z interakcijo s posameznimi elementi zasterov in drugih polprepustnih elementov je uporabnik na enostaven način prikrojil objekt svojim potrebam in ga uglaševal, tako kot glasbenik uglašuje svoj inštrument. Senčila na strehi hiše Done so se na način diafragme odpirala električno, žaluzije na fasadi hiše Marik so se obračala na oseh in omogočala najrazličnejše alteracije. Na primeru projekta Broken Hill je Murcutt mehaniziral sistem vetrnih pasti, kot to počnejo na bližnjem vzhodu z malqafi (Fromonot, 1995). Trdil je, da se mora arhitektura vrniti v sozvočje z naravo na način, da so uporabniki arhitekture del narave in del dogodkov, ki se v njej dogajajo, zato naj se del zunanjih elementov in kvalitet, kot so svetloba, zvoki, veter in vonj, preslikajo tudi v notranje prostore. Tadao Ando je eden najbolj znanih japonskih arhitektov. Podobno kot Murcutt poudarja povezavo med naravo in arhitekturo ter opozarja na humanistično plat in fizično izkušnjo klimatskega načrtovanja. Vrstna hiša Azuma je majhna dvonadstropna betonska hiša, dokončana leta 1976, ki prikazuje zasetke njegovega poznejšega dela. Gre za ozek betonski blok, sestavljen iz treh volumnov in stisnjen v vrsto v stanovanjski četrti. Na sredini se do pritličja odpirata atrij in dvorišče, ki sta odprta samo proti nebu – na tak način ustvarja kontrast med javnim značajem ulice in privatnim jedrom hiše, kar spominja na rimski atrium. Atrij je neločljiv del hiše, v katerem poteka celotna komunikacija. Vzpostavlja okno v tisti del narave, ki ga mesto dopušča in osredotoči čute na zaznavanje odprte narave, svetlobe, vremena in letnega časa. Kasneje zgrajena hiša Kidosaki posnema to doživljajsko izkušnjo z atrijem, ki je prav tako zamejen z visokimi vertikalami betonskih sten, ki proti vrhu oblikujejo okno proti odprtemu nebu.

5. ZAKLJUČEK

Optimizirana zasnova stavbe omogoča učinkovito navzkrižno prezračevanje in dobro izpostavljenost dnevni svetlobi. Za izgradnjo pasivne hiše z nično porabe energije je potreben tehten premislek o običajni rabi uveljavljenih naprav za prezračevanje, gretje, hlajenje in filtracijo. Tradicionalne tehnologije prezračevanja in njihova kombinacija z modernimi pametnimi tehnologijami nadzora mikroklima postavljajo temelje inovativnemu modelu hibridnega hladilnega sistema, ki zagotavlja boljše mikroklimatske pogoje ob zmanjšani porabi energije.

Pri vseh naštetih zahtevah in zakonitostih pri načrtovanju stavb in njihovih prezračevalnih sistemov se je potrebno vprašati, kakšni so cilji projektanta, stranke in uporabnika novogradnje, kako bo objekt v svoji življenjski dobi deloval in kako želimo, da se uporabniki prostorov v njih počutijo. V zadnjem poglavju je predstavljena miselnost, ki se odmika od zagotavljanja idealnih klimatskih pogojev v prostorih, hkrati pa dopušča določeno mero nihanja. Po Murcuttu in Tadau Andu obstaja koncept človeka in narave, ki tvori neločljivo povezavo, kar prihaja v konflikt z današnjim življenjskim slogom. Gre za temeljni odnos, ki je vtkan v človeško bit, in je rezultat človeškega razvoja v sobivanju z negostoljubnim, včasih celo nevarnim življenjskim okoljem. Variacije v prezračevanju, kar je ena izmed značilnosti in v določeni meri pomanjkljivosti naravnega prezračevanja, so lahko tudi pozitiven učinek. Te prihajajo iz naravnega okolja, četudi znotraj mesta, kjer so značilni naravni cikli, naj bo to glede temperature, svetlobe ali padavin. Povezanost izhaja iz sprememb v času dneva, meseca in leta, kar daje občutek ritmičnosti dnevu in mesecem. Zaznavanje tople naravne sončne svetlobe, ki pod ostrim kotom pada v poletnem času, ali hladen občutek vetra ob odprtem oknu sredi zimskega obdobja dajejo posebno specifično zaznavanje narave in s tem boljše povezanost z okolico. Zrak, voda in svetloba so temeljne predpozicije, ki spreminjajo svojo prisotnost glede na prostor. Učinek konstantnih mikroklimatskih pogojev v zaprtih prostorih je posledično tudi vprašanje človeške psihologije.

Posamezne karakteristike naštetih elementov je potrebno prikazati v celoti ter njihov značaj integrirati na način, da so še sprejemljive v zaprtih notranjih prostorih. Stavba je zapleten sistem inštalacij, saj mora odgovarjati na najrazličnejše pogoje okolje in klime, ki so težko določljivi. Mikroklimatske razmere lokacije pri načrtovanem objektu je zato potrebno karseda natančno opredeliti in na njih odgovoriti s pomočjo ustreznih arhitekturnih elementov, ki omogočajo vzdrževanje stavbe z minimalnim vložkom dodatnih mehanskih sistemov. V nadaljnjem raziskovanju prezračevalnih sistemov, se je koristno posvetiti tistim elementom, ki zagotavljajo sprejemljivo okolje za uporabnike večino časa ob upoštevanju težje merljivih karakteristik arhitekture, kot so naravni cikli.

LITERATURA IN VIRI

- Attia, S., & De Herde, A. (2009). Designing the Malqaf for summer cooling in low-rise housing an experimental study. *Proceedings of Passive and Low Energy Architecture (PLEA)*.
- Aynsley, R. (2014). Natural ventilation in passive design. *Environment Design Guide*, 1–16.
- Balvers, J., Bogers, R., Jongeneel, R., van Kamp, I., Boerstra, A., & van Dijken, F. (2012). Mechanical ventilation in recently built Dutch homes: technical shortcomings, possibilities for improvement, perceived indoor environment and health effects. *Architectural Science Review*, 55(1), 4–14. <https://doi.org/10.1080/00038628.2011.641736>

- Building Research Energy Conservation Support Unit (2000). *Energy Consumption Guide 19: Energy Use in Offices*. Garston, Watford, UK, British Research Establishment Conservation Support Unit.
- Bujoreanu, C., & Benchea, M. (2016). Experimental study on HVAC sound parameters. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Center for the Built Environment (2013). About mixed mode. University of California, Berkeley, 2005. Pridobljeno 4.10.2020 s spletne strani: <https://cbe.berkeley.edu/mixedmode/aboutmm.html>
- Dovjak, M., & Kukec, A. (2019). *Creating Healthy and Sustainable Buildings: An Assessment of Health Risk Factors*. Cham: Springer Open. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-19412-3>
- Emmerich, S. J., Dols, W. S., & Axley, J. W. (2001). Natural ventilation review and plan for design and analysis tools. US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology.
- Etheridge, D. (2012). Natural ventilation of buildings. Department of Architecture and Built Environment, University of Nottingham.
- Feustel, H. E., & Lenz, T. P. (1985). Patterns of infiltration in multi-family buildings. *Building and Environment*, 20(1). [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(85\)90025-3](https://doi.org/10.1016/0360-1323(85)90025-3)
- Fink, R. (2013). Vpliv mikroklimatskih razmer in kakovosti. Doktorska disertacija. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani.
- Fisk, W. J., Rosenfeld, A. H. (1997). Estimates of improved productivity and health from better indoor environments. *Indoor air*, 7(3). <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1997.t01-1-00002.x>
- Franck, U., Herbarth, O., Manjarrez, M., Wiedensohler, A., Tuch, T., & Holstein, P. (2003). Indoor and Outdoor Fine Particles: Exposure and Possible Health Impact. *Journal of Aerosol Science*.
- Frazer, A. (1998). *The Roman villa*. University of Pennsylvania Museum Publication.
- Fromonot, F. (1995). Glenn Murcutt: works and projects. Thames and Hudson.
- Hasselaar, E. (2008). Health risk associated with passive houses: an exploration. *Proceedings of Indoor Air*.
- Horan, J. M., & Finn, D. P. (2008). Sensitivity of air change rates in a naturally ventilated atrium space subject to variations in external wind speed and direction. *Energy and Buildings*, 40(8). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.013>
- Japelj, T. (1985). *Ogrevanje, hlajenje in prezračevanje*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.
- Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., & Auer, T. (2014). *Façades: principles of construction*. Birkhäuser.
- Leyten, J. L. and S. R. Kurvers (2000). Robustness of Buildings and HVAC Systems as a Hypothetical Construct Explaining Differences in Building Complaint Rates. *Healthy Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.11.001>
- Marr, D., Mason, M., Mosley, R., & Liu, X. (2012). The influence of opening windows and doors on the natural ventilation rate of a residential building. *HVAC&R Research*, 18(1–2). <https://doi.org/10.1080/10789669.2011.585423>
- McManus, B. F. (2007). *Sample Plan of a Roman House*. The College of New Rochelle. Pridobljeno 30.8.2020 s spletne strani: <http://www.vroma.org/~bmcmanus/house.html>
- Mlecnik, E., Van Loon, S., & Hasselaar, E. (2008). Indoor climate systems in passive houses. 29th AIVC (3).
- Muhsin, F., Yusoff, W. F. M., Mohamed, M. F., & Sopian, A. R. (2017). CFD modeling of natural ventilation in a void connected to the living units of multi-storey housing for thermal comfort. *Energy and Buildings*, 144, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.035>

- Mumford, E. P. (2002). *The CIAM discourse on urbanism, 1928-1960*. MIT press.
- Peperko, I. (2009). *Primerjava sistemov prezračevanja*. Diplomsko delo, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo.
- Prek, M. (2014). *Učinkovitost prezračevanja*. Fakulteta za strojništvo. Laboratorij za ogrevalno, sanitarno in solarno tehniko ter klimatizacija, Ljubljana.
- Qian, H., & Zheng, X. (2018). Ventilation control for airborne transmission of human exhaled bio-aerosols in buildings. *Journal of thoracic disease, 10*(Suppl 19), S2295–S2304. <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.01.24>
- Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, E. R., & Čeperkovič, Z. (2004). *Grejanje i klimatizacija: uključujući toplu vodu i tehniku hlađenja: priručnik sa 2100 ilustracija i preko 350 tabela kao i četiri tabele u dodatku*. Interklima.
- Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations (2020). *REHVA COVID-19 guidance document, How to operate and use building services in order to prevent the spread of the coronavirus disease (COVID-19) virus (SARS-CoV-2) in workplaces*.
- Richardson, E. T., Morrow, C. D., Kalil, D. B., Bekker, L. G., & Wood, R. (2014). Shared air: a renewed focus on ventilation for the prevention of tuberculosis transmission. *PLoS One, 9*(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096334>
- Sacht, H., & Lukiantchuki, M. A. (2017). Windows size and the performance of natural ventilation. *Procedia engineering, 199*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.038>
- Skistad, Mundt, Nielsen, Hastrom, Railio. (2002). *Izpodrivno prezračevanje v neindustrijskih stavbah: priručnik*
- Smajlović, S. K., Kukec, A. & Dovjak, M., (2019). Association between Sick Building Syndrome and Indoor Environmental Quality in Slovenian Hospitals: A Cross-Sectional Study. *International journal of environmental research and public health, Izvod, 16*(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph16173224>
- Smith, W. (1875). *A Dictionary of Greek and Roman Antiquities*. John Murray, London.
- Staniforth, A. D., Kinnear, W. J. M., Starling, R., Hetmanski, D. J., & Cowley, A. J. (1998). Effect of oxygen on sleep quality, cognitive function and sympathetic activity in patients with chronic heart failure and Cheyne-Stokes respiration. *European heart journal, 19*(6). <https://doi.org/10.1016/S0735-1097%2898%2981728-2>
- Stellman, J. M. (1998). *Encyclopaedia of occupational health and safety (Vol. 1)*. International Labour Organization.
- Turner, W. J., Sherman, M. H., & Walker, I. S. (2012). Infiltration as ventilation: Weather-induced dilution. *HVAC&R Research, 18*(6). <https://doi.org/10.1080/10789669.2012.704836/>
- Todorović, B. (2005). *Klimatizacija, Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije (SMEITS)*, Beograd.