

Biomimetiskt ventilationssystem

En undersökning av termitventilation

Hugo Landin
Bamdad Mashreghi

Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Avdelningen för byggproduktion
Lunds Tekniska Högskola
Lunds universitet

Examensarbete 22,5 HP
VT 2020



LUNDS
UNIVERSITET

LTH

LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA



**LUNDS
UNIVERSITET**
Lunds Tekniska Högskola

© Copyright Bamdad Mashreghi & Hugo Landin

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2020

Förord

Idén till ämnet kom från en video av National Geographic som handlade om det biomimetiskt inspirerade ventilationssystemet i Eastgate Centre. Ämnet fångade vårt intresse och en undersökning av biomimetik initierades. Valet av att inrikta examensarbetet på just biomimetisk ventilation kommer från det faktum att vi ser en stor framtidspotential att minska belastningen på miljön via passiva ventilationssystem.

Med detta examensarbete hoppas vi kunna inspirera framtidens arkitekter och ingenjörer till att våga testa nya lösningar och se naturen som en inspirationskälla till lösningar.

Vi måste nämna elefanten i rummet, COVID-19. Arbetet påverkades och detta var oundvikligt. En del av kontakterna som hade etablerats förlorades på grund av COVID-19 och majoriteten av det som utfördes, utfördes i karantän – på distans. Trots dessa tuffa omständigheter var en del kontakter fortfarande mycket hjälpsamma och engagerade. Dessa individer vill vi tacka, för att utan de hade arbetet inte varit fullständigt.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Urban Persson som har varit stöttande och motiverande kring valet av ämne och hela tiden varit hjälpsam.

Vi vill även rikta ett stort tack till Anders Nyquist och Mick Pearce som båda har varit ytterst hjälpsamma och tillmötesgående under arbetets gång.

Lunds Tekniska Högskola, Campus Helsingborg – VT 2020

Hugo Landin & Bamdad Mashreghi

Sammanfattning

Titel:	Biomimetiskt ventilationssystem
Författare:	Bamdad Mashreghi & Hugo Landin
Handledare:	Urban Persson, Lunds Tekniska Högskola
Examinator:	Anne Landin, Lunds Tekniska Högskola

Problemformulering: *Hur varierar prestandan hos ett biomimetiskt inspirerat ventilationssystem av typen termitventilation beroende av klimatet byggnaden är belägen i?*

Vilka är skillnaderna mellan ett biomimetiskt ventilationssystem inspirerat av termitstackar och utformningen av konventionella ventilationssystem?

Syfte: Arbetets syfte är att genom litteraturstudier och intervjuer undersöka hur byggnader med termitventilation fungerar i olika klimat och förhåller sig till konventionella ventilationssystem.

Metod: Insamling av information sker huvudsakligen från litterära publikationer och intervjuer. Jämförelsestudie baseras på befintliga byggnader med termitventilation och utformningen utav traditionella ventilationssystem.

Slutsats: Termitventilation är en fungerande lösning för byggnader oberoende av klimat. Termitventilation skapar ett godtyckligt inomhusklimat utefter svensk standard (BBR) och Green Star Council.

Nyckelord: Biomimikry, Biomimetik, Termitventilation, Ventilation, Laggberg skola, Eastgate Centre, Council House 2

Abstract

Title: Biomimetic ventilation
Authors: Bamdad Mashreghi & Hugo Landin
Supervisor: Urban Persson, Lunds Tekniska Högskola
Examiner: Anne Landin, Lunds Tekniska Högskola

Problem definition: *How does the performance of a biomimetic ventilation system based upon termite-ventilation vary depending on the local climate?*

What are the differences between a biomimetic ventilation system inspired by termite mounds and “traditional” ventilation systems?

Objective: The purpose of this thesis is to investigate how buildings with termite ventilation work in different climates and how they compare to conventional ventilation systems.

Method: The collection of information is mainly from literary publications and interviews. The comparison is made only between existing buildings with termite ventilation and theoretical information of traditional ones.

Conclusion: Termite-ventilation in buildings works well in different climates. Termite-ventilation creates an ideal indoor climate according to Swedish standards (BBR) and Green Star Council.

Keywords: Biomimicry, Biomimetics, Termite-ventilation, Ventilation, Laggarberg school, Eastgate Centre, Council House 2

Beteckningar och förkortningar

Följande tabell är en lista på termer och förkortningar i syfte att förenkla läsningen av arbetet.

Svenska	Engelska	Förklaring av facktermer och begrepp
Atrium	Atrium	Arkitekturbegrepp som innebär ”taköppning i mitten av en konstruktion”. I en del fall är ”taköppningen” täckt av glas eller annat material som släpper igenom solljus.
Biometri	Biometrics	Mätning av organismer, som exempelvis vikten och längden av fåglar. Alternativ mätning av en människas längd eller pupill-storlek. Med andra ord: biologiska mätningar.
Biomimetik	Biomimicry	Studien av biologiska system, funktioner och strukturer för att skapa tekniska lösningar och produkter.
Bionik	Bionics	Biologisk inspirerad teknik, där naturens metoder appliceras i modern teknologi – exempelvis ultraljud, sonarljud, robotar som uppför sig som djur, etcetera. Med andra ord har bionik en väldigt stor fokus på elektronik och teknologi.
Biom	Biome	Stort område på land där växter, djur och miljö fungerar tillsammans på ett särskilt (karaktäristiskt) sätt.
Biosfär	Biosphere	Sammanfattande benämning på delar av jorden där liv kan uppkomma.
”Biofilisk” Alternativt: Biophilic	Biophilic/Biophilia	Ett koncept som används inom byggnadskonstruktion och arkitektur där man skapar en anslutning mellan människan och naturen, genom direkt eller indirekt användning av naturen. Exempelvis genom att plantera buskar, träd, blommor inomhus, eller placera växter nära ventilationssystem för att rengöra luften.
Endoterm	Endotherm	Organismer vars kroppstemperatur är konstanta och oftast högre än sin omgivning. Människor ingår i den här gruppen av organismer och behöver en konstant kroppstemperatur av cirka 37 grader Celsius.
Fysiologi	Physiology	Vetenskapen om organismer, deras normala liv och funktioner.
Juvenil	Juvenile	Inom biologi: Term som beskriver organismer som ännu inte är fortplantningsmogna.
Mezzanin	Mezzanine	En låg våning i en byggnad som är placerad vertikalt mellan två högre våningar.
Mikroklimat	Microclimate	Lokal zon där klimatet skiljer sig från omgivningen. Storleken av dessa varierar väldigt stort – allt från millimeter till flera mil. Därför är det viktigt med sammanhang.
Sklerenkym	Sclerenchyma	Förstärkande vävnad i växter, som bildas av tjocka, oftast döda, celler. Exempel på Sklerenkym är trädens bark eller stam.
Stack effect	Stack effect	Stack effect, även så kallade ”chimney effect”, är en drivande faktor till förflyttning av inomhusluft med hjälp av flytkraft. Temperaturskillnader orsakar skillnader i luftens densitet, som i sin tur driver upp den varma luften. Desto högre höjd på byggnaden, desto starkare flytkraft.
Tajga	Taiga	Skog i kyligare klimat. Består mestadels utav tall och gran.
Tempererad skog	Temperate forest	Skogstyp man finner mellan tropiskt och taiga. ”Mellantinget mellan det kalla klimatets taiga och varma klimatets torrskog”.
Termitventilation	Termite ventilation	Termitventilation är en biomimetisk lösning som kan liknas med ett självdrag- och FTX-system. Utformningen bygger på utnyttjandet av termiska krafter genom ”stack effect” och fungerar både som ventilation och värmereglering.

Tabell 1 Beteckningar och förkortningar

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1. Bakgrund	1
1.2. Syfte	1
1.3. Problemformulering	1
1.4. Avgränsningar	1
2. Metod	3
2.1. Genomförande	3
2.2. Val av intervjuobjekt	3
2.3. Frågeformulering	4
2.4. Bearbetning	4
2.5. Källhänvisning	4
3. Biomimetik	5
3.1. Historik	6
3.2. Termitventilation	7
3.3. Ventilationssystem inspirerat av termitstackar	13
4. Ventilation	15
4.1. Temperaturreglering	15
4.1.1. Luftkvalitet	16
4.1.2. FTX-, F- och självdragssystem	17
4.1.3. OVK	19
5. Empiri	21
5.1. Laggårbergs skola	21
5.2. Eastgate Centre	25
5.3. Council House 2	29
5.4. Sammanställning av fallstudie	32
5.5. Klimatets inverkan	32
6. Analys	35
6.1. Jämförelse av ventilationssystem	35
7. Diskussion och slutsats	37
7.1. Slutsats	38
7.2. Skillnader utifrån byggnadscertifiering	39
7.3. Inför framtida arbeten	39
8. Källförteckning	41
Bilagor	45

1. Inledning

I detta kapitel behandlas bakgrunden till arbetet, dess syfte, problemformulering samt avgränsningar.

1.1. Bakgrund

Människans behov av komfort har bidragit till stora förluster i biologisk mångfald (WWF, u.d.), klimatförändringar och global uppvärmning. (NASA, u.d.) Genom att hämta inspiration från naturens väletablerade biologiska framsteg, påhittighet och effektiva metoder finns det hopp om att utveckla de nuvarande tekniker som används, alternativt skapa nya innovationer, bland annat inom byggnadssektorn för att tillfredsställa människans bostadsbehov och trivsel, samtidigt som lasten och skadan på naturens och dess resurser minimeras.

Biomimetik återfinns inom ett flertal olika områden, exempelvis i bilindustrin där inspiration tas från fiskar för att skapa aerodynamiska utformningar av karosser. (Biomimicry Institute, u.d.)

1.2. Syfte

Syftet med den här rapporten är att genom intervjuer och litteraturstudier undersöka användandet av biomimetisk ventilation av typen termitventilation. Arbetet kommer att omfatta om och i sådana fall hur ventilationssystemet beror av geografiskt klimat. Rapporten kommer även innehålla utförandet av en jämförelsestudie kring biomimetiskt ventilationssystem, lista dess för- och nackdelar samt jämföra termitventilation med andra utformningar ventilationssystem. Rapporten kommer även att innehålla en jämförelsestudie av biomimetiskt ventilationssystem och konventionella ventilationssystem.

1.3. Problemformulering

- *Hur varierar prestandan hos ett biomimetiskt inspirerat ventilationssystem av typen termitventilation beroende av klimatet byggnaden är belägen i?*
- *Vilka är skillnaderna mellan ett existerande biomimetiskt ventilationssystem inspirerat av termitstackar och utformningen av konventionella ventilationssystem?*

1.4. Avgränsningar

Arbetet kommer att begränsas till att jämföra tre befintliga byggnader, Laggbergs skola i Timrå, Sverige, Eastgate Centre i Harare, Zimbabwe, och Council House 2 i Melbourne, Australien. Samtliga byggnader använder sig utav termitventilation, som är utformade från biomimetiska principer. De konventionella ventilationssystemen som ingår i jämförelsestudien kommer inte att vara en specifik eller existerande konstruktion, utan är endast utformningen av dessa som jämförs med termitventilation.

2. Metod

Detta kapitel behandlar arbetets tillvägagångssätt. Vilka metoder som har valt för att ta fram information, fakta och data.

2.1. Genomförande

Insamling av information sker huvudsakligen genom två tillvägagångssätt, från litterära publikationer och intervjuer. Ytterligare information hämtas från ett urval av olika källor, till stor del från webbplatser.

De litterära publikationer som nyttjas för insamling av information är skrivna av inom ämnet sakkunniga personer. Boken ”Biomimicry in Architecture” (Pawlyn, 2016) står för en stor del av informationen kring biomimetiska ventilationssystem då den ger en övergripande synvinkel av biomimetik i allmänhet. Webbplatser som nyttjas för insamling av information granskas utifrån reliabilitet ur ett flertal aspekter, bland annat författarens relevans, objektivitet, datum för publicering samt senast uppdatering. För information om termitstackar används J Scott Turners arbete i de flesta fall, mestadels med hjälp av boken ”The extended Organism”. (Turner, 2000)

Intervjuer av typen kvalitativ intervju utförs för insamling av information. Intervjuer utförs med en låg grad av både strukturering och standardisering. Frågor formuleras i förväg och ger stort utrymme till fritt svarsutrymme, de frågor som formuleras är vinklade för att tillhandahålla svar som ger information till att besvara frågeställningen. Totalt utförs två intervjuer, båda med inom ämnet sakkunniga personer som har arbetat med de byggnadsprojekt som berörs i rapporten. (Patel & Davidson, 2011)

Den informationen som samlas in från litterära studier granskas och jämförs för att kontrollera att samtliga källor anger liknande information och är relevanta. Då urvalet av information och undersökningar inom ämnet biomimetisk ventilation är begränsad limiteras möjligheterna för en god generaliserbarhet.

Rapporten utgår från att läsaren har en begränsad förhandsinformation om ventilationssystem vilket nödvändiggör en grundläggande redogörelse kring olika typer av ventilationsutformning. Det kapitel som behandlar ventilation är således nödvändigt för att ge läsaren en förståelse för funktion och utformning av ventilationssystem för att sedan möjliggöra en jämförelse med biomimetisk ventilation.

Slutligen utgår rapporten från att läsaren inte har kunskaper om biomimetik, termiter, termitstackar och termitventilation, där grundläggande information tillhandahålls.

2.2. Val av intervjuobjekt

De objekt som valts att intervjuas har valts med stor noggrannhet för att ge svar med största möjliga relevans till insamling av data.

Intervjuobjekt 1 är arkitekten Anders Nyquist. Nyquist var huvudansvarig för den arkitektoniska utformningen av Lagggarberg skolas tillbyggnad och har varit drivande i valet av biomimetiska lösningar vid framtagningen av skolans tillbyggnad år 1994. Kontakt inleddes via e-mail där en förfrågan om samarbete presenterades. Nyquist delade inledningsvis information om projektet Lagggarbergs skola så att ämnesspecifik information kunde insamlas för att utforma en kvalitativ intervju. Intervjun utfördes via Skype och varade i 33 minuter, hela samtalet spelades in och transkriberades.

Intervjuobjekt 2 är arkitekten Mick Pearce. Pearce har arkitektoniskt utformat två utav de byggnader som behandlas i rapporten, Eastgate Centre och Council House 2. Kontakt inleddes via e-mail där en förfrågan om samarbete presenterades. En löpande kontakt har uppehållits genom hela rapportskrivandet för att besvara frågor som har uppkommit. Samtidig kontakt har skett via e-mail.

Då kontakten med Pearce ej har skett löpande och inte genom en enhetlig intervju så kommer den information som tillhandahållits ej att redovisas i bilaga likt intervjun med Anders Nyquist.

Som komplement till intervjuerna med Nyquist och Pearce har folders och informationsblad som mottagits av de två intervjuobjekten använts för att samla information.

2.3. Frågeformulering

Frågorna som formulerats i utförda intervjuer är baserade på förkunskap inom ämnet. Frågorna togs fram för att kunna besvara rapportens frågeställning. Upplägget av intervjuerna har varit med låg grad av strukturering och låg grad av standardisering vilket har lett till att ny information framkommit under intervjuerna som ej har varit en del av de frågor som formulerats. (Patel & Davidson, 2011)

2.4. Bearbetning

Intervjun med Anders Nyquist spelades in via Skype, där intervjun utfördes. Hela intervjun har transkriberats och de delar relevanta för ämnet har inkluderats i rapporten och resterande har utelämnats.

2.5. Källhänvisning

Hänvisning till källor sker i slutet av varje stycke. Då fler än en källa använts för ett och samma stycke placeras den mest omfattande källan i slutet av stycket och resterande löpande i texten. Källhänvisning utförs enligt APA 6th (American Psychological Association referensstil).

3. Biomimetik

Detta kapitel kommer att behandla biomimetik i allmänhet i syfte att skapa en grundläggande förståelse genom ett kort avsnitt om biomimetikens historia samt ett urval av dess användningsområden. Här behandlas dessutom termitventilation då detta är ytterst relevant för arbetet, eftersom termitventilation är det som använts i de byggnader arbetet kommer senare att undersöka.

Biomimetik även kallat biomimikry eller biomimik, är studien av biologiska system, funktioner och strukturer för att skapa nya tekniska lösningar och produkter. Termen kommer från de grekiska orden "bio" (liv) och "mimesis" (att imitera, imitation). Syftet med biomimetik är att skapa innovationer som är hållbara genom att använda naturens beprövade metoder och lösningar. Med andra ord är biomimetik ett förfarande vars mål är att skapa nya produkter, processer och nya levnadssätt som är hållbara och i solidaritet med naturen – genom att studera naturen. (Biomimicry Institute Team, u.d.)

Biomimetik ska inte förväxlas med bionik eller biophilic. Bionik omfattar principen av att ta inspiration från naturens lösningar. Bionik är biologisk inspirerad teknik, där naturens metoder appliceras i modern teknologi – exempelvis ultraljud, sonarljud, robotar som uppför sig som djur, etcetera. Med andra ord har bionik en väldigt stor fokus på elektronik och teknologi. Biophilic innebär att konstruera och inreda byggnader med naturliga element som exempelvis plantor, växter och buskar. Biophilic design är alltså inte detsamma som biomimetisk design. (Biophilic Design Initiative, u.d.) I övrigt ska ordet biomimetik skiljas åt från ordet biometri, som omfattar mätningmetoder inom biologin - då dessa har väldigt olika betydelser. Biometrisk mätningarna kan exempelvis vara vikten eller längden av en människa, medan "naturen som måttstock" har en annan betydelse och syfte; som är att jämföra människans biomimetiska innovationer med naturens lösningar, se Janine M. Benyus andra punkt nedan.

Janine M. Benyus är författare inom naturvetenskap och innovationskonsult samt president av Biomimicry Institute. (Biomimicry Institute, 2008) Benyus är enligt Biomimicry Institute en stor faktor till populariseringen av termen biomimetik, tack vare hennes 1997 bok "*Biomimicry – Innovation Inspired by Nature*". (Biomimicry Institute, u.d.)

Sättet att se på och använda sig utav biomimetik sammanfattas av Benyus till tre olika punkter:

1. *Naturen som modell.*

Biomimetik är vetenskapen som studerar naturens modeller för att imitera eller ta inspiration. Naturens design anpassas och skapar nya processer eller ny design för mänskligt bruk. Exempel givna i Benyus bok är solceller, som inspirerades av trädens löv.

2. *Naturen som måttstock.*

Punkten menar att naturen under sina 3,8 miljarder års utveckling har lyckats hitta de mest effektiva metoderna för problemlösning och finjusterat dessa. Människan bör därför lita på naturens lösningar och använda sig av dem, speciellt som en referens. Naturen kan visa oss vad som fungerar och är hållbart.

3. *Naturen som mentor.*

Biomimetik är ett unikt sätt att se på världen. Istället för att fokusera på vad vi kan extrahera från jorden lär vi oss istället att fokusera på vad vi kan lära oss av den. (Benyus, 1997)

Biomimetik fokuserar på vad vi kan lära oss av naturen, till skillnad från att lära sig om naturen. Benyus skriver i sin bok om de "ekologiska lagarna" och hur människan inte anpassat sig till dessa. Benyus menar på att naturen använder solljus som primära energikälla och använder endast den mängd energi

som är nödvändig, anpassar sig väl, återanvänder alla resurser och mycket mer. Detta är någonting människan inte lyckats med och biomimicry är ett sätt att försöka lösa dessa problem. (Benyus, 1997)

Vid en mer djupgående analys av termen biomimetik kan konstateras att metoden inte är ett exakt härmande av naturen utan mer en förståelse av naturliga principer i tekniska frågor. Om en biomimetisk byggnad exempelvis fullständigt härmat uppbyggnaden av en termitstack så hade byggnaden varit en kopia av termitstacken i mänsklig storlek, samma struktur, material och storlek – vilket naturligtvis hade varit omöjligt att bo i. Istället tas inspiration från naturliga konstruktioner och modifieras för att kunna implementeras i byggnader anpassade för mänskligt bruk. Biomimetik blir mer en tolkning av naturen, i syfte att skapa lösningar anpassade för mänskligt bruk.

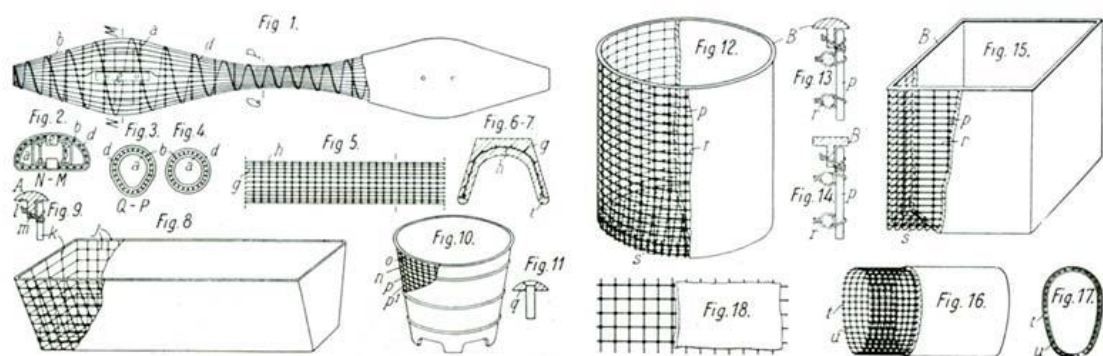
Det är värt att nämna att biomimetik inte alltid är till fördel för naturens främjande och ekologisk vinning. En central aktör i dagens klimatförändringar är flygindustrin, som är ett resultat av biomimetisk arbete där bröderna Wright inspirerades av fåglar vid framtagningen av sin första flygfarkost (NASA, u.d.) I 2019 stod flygmissioner för cirka 918 miljoner ton koldioxidutsläpp vilket är ungefär en fjärdedel utav världens totala utsläpp av koldioxid. (IEA, 2019) Med andra ord är biomimetik inte alltid använt i syfte att skapa hållbara innovationer, utan används i vissa fall även för ekonomiska vinster.

3.1. Historik

Trots att människan har studerat biomimetik som vetenskap de senaste decennierna har vår planet utvecklat effektiva metoder och lösningar i mer än 3.8 miljarder år. Det innebär att människan har tillgång till ett forskningslaboratorium med ett otroligt utbud av outnyttjade resurser. Med andra ord har naturen väldigt många lösningar som skulle kunna utnyttjas, härmas eller återskapas. (Benyus, 1997)

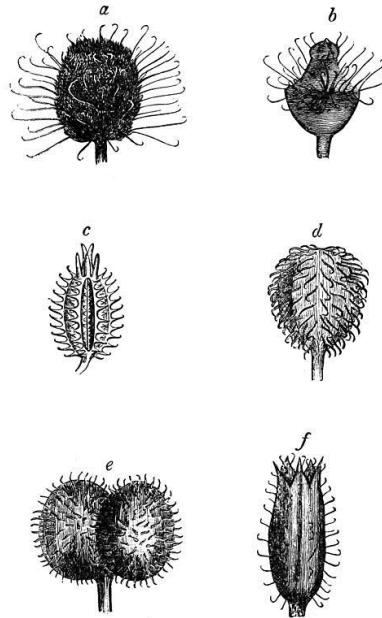
Janine Benyus skriver i sin 1997 bok ”*Biomimicry – Innovation Inspired by Nature*” att biomimetik är ett nytt tillvägagångssätt för att hitta effektiva lösningar på problem. Detta kan dock ifrågasättas, då uttrycket myntades i relativ tid ”nyligen”, under 1950-talet av biofysikern Otto Schmitt, och populariserades mycket tack vare Benyus, medan inspiration från naturen har tagits sedan en lång tid tillbaka i historien. (F.V Vincent, 2006)

Trädgårdsarbetaren Joseph Monier lade under mitten av 1800-talet grunden för den metod som idag används för armerad betong. Som följd av hans yrke så upplevde han problem med skörheten hos lerkrukor som ofta gick sönder. Monier studerade den sklerenkyma strukturen hos flätade korgar och utvecklade en multikomponent struktur som utnyttjade fördelarna av strukturen hos en flätad korg i kombination med den stelade lerans fast- och täthet, se figur 1. (Provence & Beyond, u.d.)



Figur 1 Diagram av armerad betong, skapat av Joseph Monier (Provence & Beyond, u.d.)

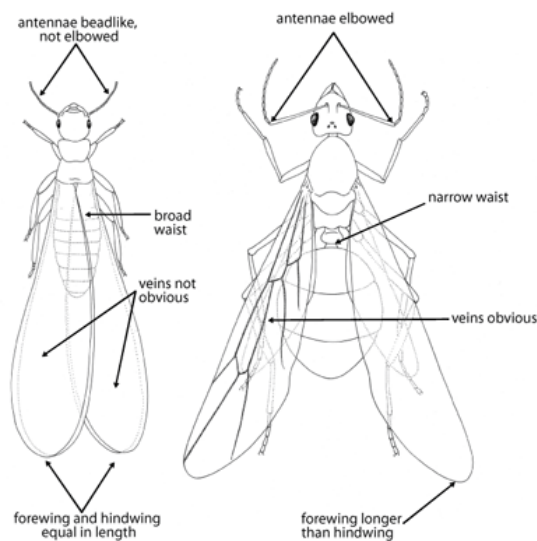
Ingenjören George de Mestral råkade under en promenad med sin hund ut för problemet att hundens päls täcktes av Bur (torkade säd, av kardborresläktet, se figur 2). Mestral konstaterade svårheten i att avlägsna växten från hundens päls och tog hem säden för att studera dess struktur. Under mikroskopets lins upptäckte Mestral att Buren bestod utav flera hundra små krokar. Som följd av denna incident arbetade Mestral vidare med principen och utvecklade kardborreband, idag används kardborreband till en mängd olika användningsområden. (Pohl & Nachtigall, 2015)



Figur 2 variationer av Bur från kardborresläktet (*The Popular Science Monthly*: volume 19, 1919)

3.2. Termitventilation

Trots stora likheter mellan arterna så är det biomimetiska ventilationssystemet inspirerat av termiter, inte myror. För att få en förståelse för termitens fysiologi och förstå deras komplexa konstruktioner kan det underlätta med en jämförelse med myror.



Figur 3 Termit till vänster, Myra till höger (O'Connor, 2010)

Insekterna är väldigt lika i både utseende men den stora skillnaden är termiternas mjukare form, se figur 3. Däremot har kanalerna myror skapar i sina bon en mjuk utformning (Lupo, 2019), medan termiter skapar stora underjordiska system med en sammanblandning av deras saliv och jord, som stelnar och blir väldigt fast och hård. Detta kan jämföras med strukturen hos cement. (Pearce, 2020)

Miljöforskaren J. Scott Turner har arbetat med att undersöka fysiologin av strukturer som har byggts av diverse organismer. Arbetet har inkluderat undersökningen av olika termiter och deras respektive konstruktioner. Några av de termitarter som undersökts är *Myrmecia Michaelsoni*, *Natalensis* och *Subhyalinus*, samt den sydafrikanska *Odontotermes transvaalensis*. De arter som har undersökts återfinns i subtropiska Afrika. (Turner, 2000)

Utöver ovannämnda termiter har även kompasstermiter *Amitermet Meridionalis* varit relevanta i arbetet med biomimetik då dessa termiter har en speciell utformning på sina strukturer, se 5.1.8 om Council House 2. Kompasstermitstackar är utformade i en platt mandelliknande form för att kunna variera sin upptagning av solljus under dagens gång, se figur 4. Under morgon och kväll är stackens breda sida vänd mot solen vilket gör att strukturen värms upp. Mitt på dagens då solen står som högst är stacken riktad så att minimalt med solljus absorberas för att behålla ett svalt inneklimat. Termitstackarna byggs ofta i närhet till växtlighet för att kunna utnyttja det skuggande skyddet som växterna tillhandahåller.

Ventilationsventiler i termitstacken använder sig av "stack effect" som innebär att ett luftflöde drivs utav termiska krafter. Varm luft stiger uppåt då den har en lägre densitet än kall luft, den stigande varma luften sänker lufttrycket i termitstackens lägre delar vilket för med sig att kall luft tränger in via tilluftkanaler och andra otätheter. (NC State University, 2015) Genom att utnyttja naturliga vindrörelser och termiska krafter så kombinerar termitstacken ventilation och uppvärmning utan någon som helst extern energianvändning. (Pawlyn, 2016)

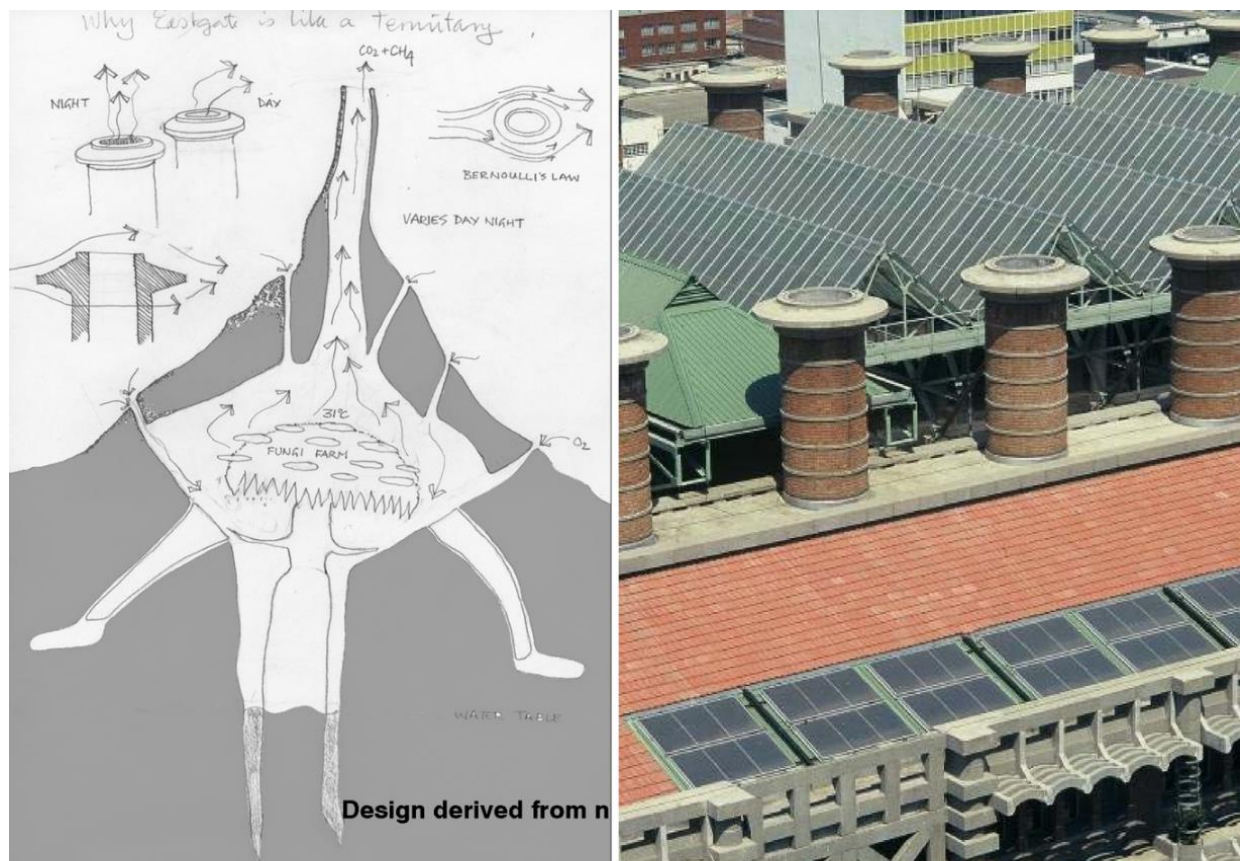


Figur 4 Bredsidan av *Amitermet Meridionalis*-struktur (Brewbooks, 2012)

Termitstackar har stora variationer sett till utvändigt utformning, det finns både öppna och slutna bon. De grundläggande komponenterna som utgör funktionen för termitventilation återfinns i samtliga bon, bland annat skorsten och näste. Nästet är beläget cirka 1–2 meter under mark, se figur 6. Den invändiga temperatur som uppnås av termitstackens ventilation möjliggör svamptillväxt på blad som termiterna placerar i nästet. Temperaturen är även grundläggande för termitdrottningen och de juvenilas trivsel i boet. De svampar som växer i nästet utgör termiternas föda. Forskning av termitstackens interiöra och exteriöra utformning indikerar på att temperatur regleras genom

markens temperatur och vindinducerad ventilation som uppstår genom hela strukturen. (Pawlyn, 2016)

De tidigare nämnda termiterna, framför allt *Odontotermes transvaalensis*, var en stor inspirationskälla för arkitekten Mick Pearce, då han till stor del utgick från deras termitbon vid utformningen av Eastgate-Centre i Harare, se figur 5. (Pearce, 2020) Ett samarbete med forskarna Soar och Turner resulterade i en byggnad med ett energieffektivt ventilationssystem. (Soar & Turner, 2008) Pearce utvecklade även vidare idén och skapade designen av Council House 2 (CH₂) i Melbourne, – som resulterade i en väldigt energieffektiv byggnad vars design var både biomimetisk och biophilic. (City of Melbourne, 2010)



• Termites nest section

Eastgate's chimneys

Figur 5 Principskiss av *Odontotermes Transvaalensis* i jämförelse med Eastgates skorsten, (Pearce, 2020)

Termitstackar från arten *Macrotermes Bellicosus* har undersökts och dess struktur har delats upp i ett antal komponenter för att förenkla förståelsen av termitstackens uppbyggnad. *M. Bellicosus* är av arten *Macrotermes* som hyser *Macrotermes Michaelseni* och *Macrotermes Subhyalinus* som nämns i kommande kapitel och artens bon har en liknande uppbyggnad. Termitstackar konstrueras som både öppna och stängda bon. (Turner, 2000)

Komponenterna i termitboen kan delas upp i exteriöra och interiöra element, dessa element beskrivs nedan. Observera att samtliga termitarter har liknande termitstack, inklusive *Odontotermes Transvaalensis*.

Se figur 6 och figur 7 nedan för ytterligare förklaring av termitstackens element.

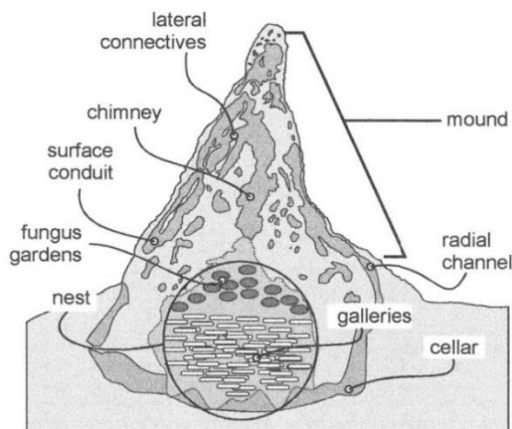
Exteriöra element

- *Chimney/skorsten*
Central struktur som är öppen i toppen och fungerar som liknande ett frånluftsdon.
- *Spire/spira*
Central struktur likt en skorsten men som är stängd i toppen (obs: ej i figur).
- *Turret/torn*
Ett flertal smala spiror som sticker upp från termitstacken (obs: ej i figur).
- *Mound*
Perifera struktur som sträcker sig vertikalt och med bas nära jordytan.

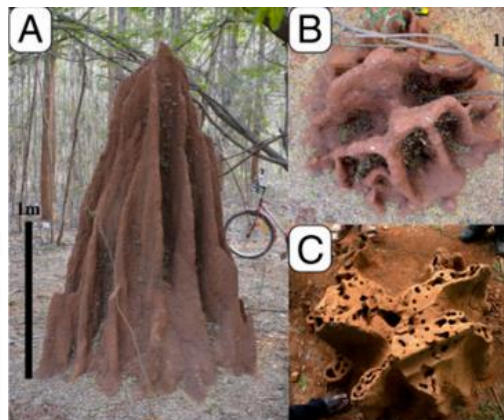
Interiöra element

- *Lateral connectives/horisontella kanaler*
Ospecificerade interna passager som fungerar som transportvägar för termiterna, finns runt om i hela termitstacken.
- *Nest/näste*
Stort centralt utrymme/passage som sträcker sig från stackens inre näste upp till stackens topp, vanligtvis kombinerat med skorstenen. Inhyser galleries och fungus gardens.
- *Radial channel/vertikala kanaler*
Mindre utrymmen som löper vertikalt i de perifera regionerna av stacken, exempelvis inuti stackens åsar.
- *Cellar/källare*
Passager som löper horisontellt och sammankopplar det centralrummet med luftkanalerna.

(Bignell, et al., 2014).



Figur 6 - Tvärsnitt skiss av *M. Michaelsoni* termitstack (öppen) (Turner, 2000)



Figur 7 - *O. Obesus* termitstack från A: Toppen, B: toppen och C: Tvärsnitt (Hunter King, 2015)

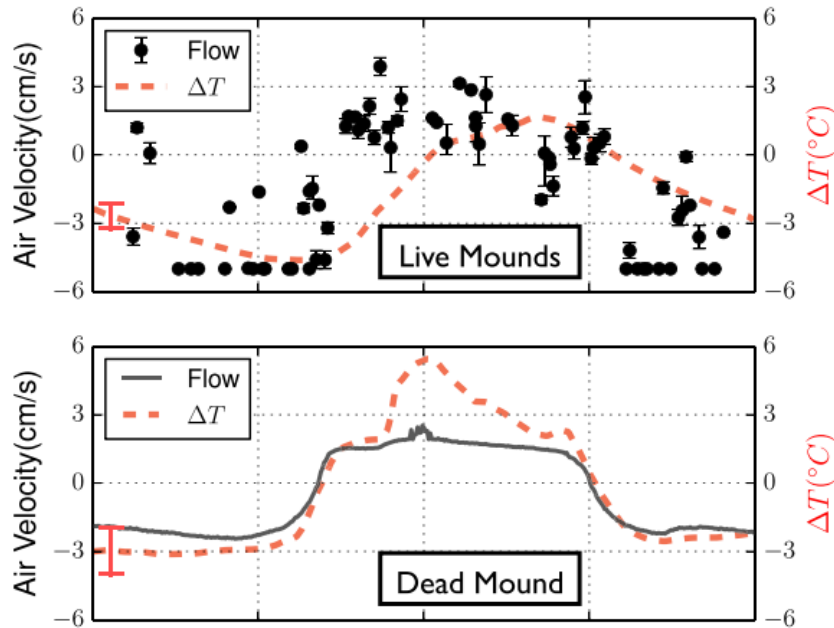
Forskning utförd av Soar och Turner resulterade i information kring funktionen av hur termitstackar ventileras för att hålla en jämn invändig temperatur. Utomhusluft tas in i termitstacken genom tunnlar i marknivå där markens relativt konstanta (stabila) temperatur värmer eller kyler luften

beroende på utomhusluftens temperatur innan den leds in i stackens inre. Mätningar av Soar och Turner om det inre klimatet i termitstackars näste visar en jämn temperatur med en variation på enbart 2°C (mellan 31°C och 33°C), medan temperaturvariationen utomhus för de områden som termitstackarna återfinns kan uppgå till en skillnad på 39°C under ett dygn. Termitstackarnas möjlighet att bibehålla en jämn inre temperatur trots stora temperatursvängningar i utomhusluften ligger till grund för implementeringen av termitinspirerad ventilation i byggnader. (Pawlyn, 2016)

Rupert Soar som var delaktig i den ovan nämnda forskningen har utfört nya undersökningar av termitstackar som påtalar att den tidigare dokumentation som förts kring termitventilation är bristfällig. Enligt Soar stämmer inte påståendet kring den stabila innertemperaturen i termitstacken, han påstår att temperaturen varierar mer än vad som tidigare har påståtts och att huvudkällan till värmestabilisering är markens temperatur och inte ventilationen, det vill säga att kanalerna och luftkonvektionen kanske inte spelar lika stor roll som man tidigare trott. Soars forskning har även resulterat i information kring att termitstackens ventilation är mer komplex än vad tidigare forskning har visat. Enligt den nya forskningen fungerar ventilationen mer som en mänsklig lunga än ett linjärt flöde, luftflödet i stacken rör sig som ebb och flod och drivs av vindtryck och frekvenser. Med andra ord är ventilationen i termitstack långsamt pulserande med varierande flöde, där storleksförändring i den exteriöra delen gör att termitstacken ”andas” och ventilerar luften. Forskning av Soar påvisar att termiternas konstruktioner inte fungerar som tidigare utgått från men trots detta fungerar ventilationen i Eastgate Centre, Laggberg och Council House 2 även om samtliga konstruktioner är inspirerade av och skapade enligt den äldre teorin – baserat på att ventilationen drevs av temperaturskillnader och stack effect, och inte expanderande av material eller volym. (Pawlyn, 2016)
Mer om detta under kapitel 5.

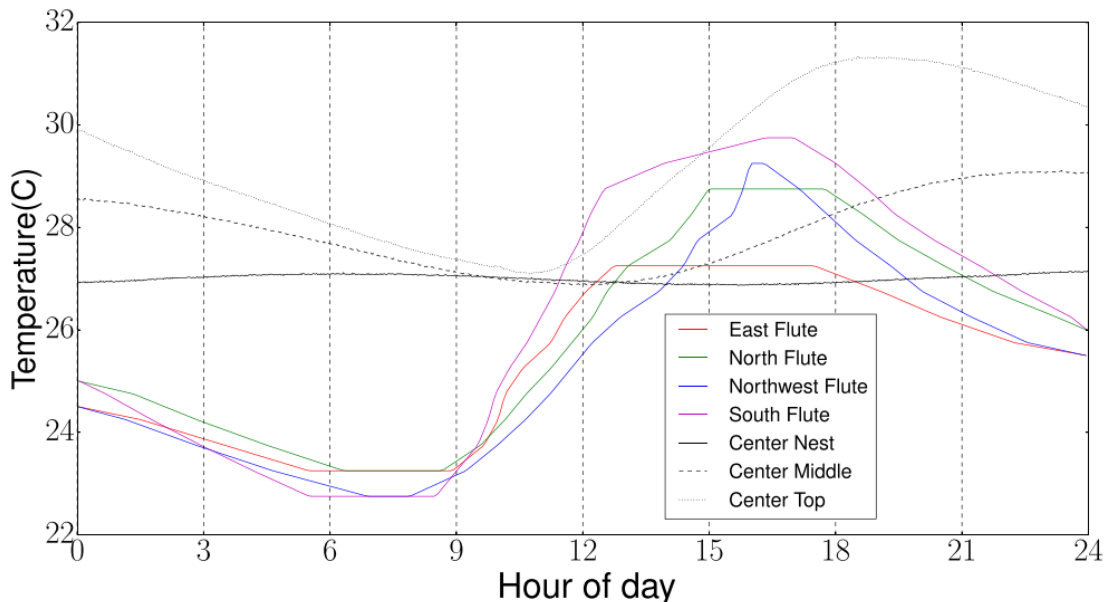
Trots tvister och skillnader i hypoteser av forskare är det allmänt accepterat att termiter är millimeterstora insekter som skapar meterstora strukturer, med syftet att skapa en koloni vars klimat är kontrollerat. Detta mikroklimat hjälper termiterna huvudsakligen att skydda de från det hårda klimatet, odla föda och även fortplanta sig, då mikroklimatet i termitstackar har värme och luftvägar som regleras ständigt av konstruktionen. Dessa meterstora strukturer ger dessutom skydd till termiterna från stora temperaturvariationer samtidigt som koldioxid ventileras bort dagligen, se figur 9 och figur 10. (Hunter King, 2015)

För att utesluta metabolisk värme och säkerställa att termitstackens ventilation fungerar passivt utfördes en studie där 25 levande termitstackar jämfördes med en övergiven termitstack. Studien utfördes av Hunter King och Samuel Ocko för PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, en amerikansk vetenskapsjournal) och visade liknande trender under ett dygn, se figur 8. Mätningarna tar hänsyn till bland annat luftflödet och temperaturen – där man konstaterar liknande temperatur i både levande och den döda termitstackar, vilket innebär att konstruktionerna fungerar passivt. (Hunter King, 2015)



Figur 8 - Live Mounds, med mätning av 78 kanaler och mätningen av en övergiven (död) termitstack. (Hunter King, 2015)

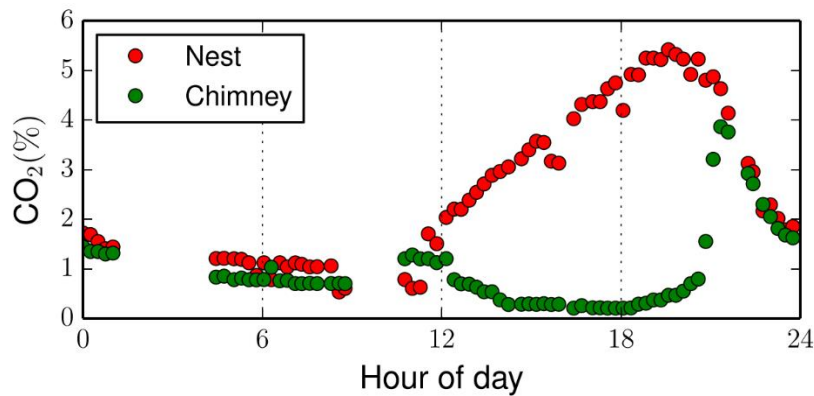
Studien utförd av King och Ocko demonstrerar dessutom grafiskt temperaturstabiliteten under ett dygn för en hälsosam termitstack. Mätningen utfördes på en cirka två meter hög termitstack, där temperaturen av olika komponenter av strukturen mättes under 24 timmar. Den visar att temperaturen av boet är mellan 26 och 28 grader Celsius med möjliga fel på ± 0.4 grader Celsius, se figur 9. "Flute" är den engelska beteckningen som motsvarar kanaler i termitstacken. (Hunter King, 2015)



Figur 9 - Temperaturen av en termitstack under 24 timmar (Hunter King, 2015)

Studien utförd av Hunter King och Samuel Ocko visar även hur koldioxid transporteras ut ur termitstacken under dagens gång. Denna transport sker under hela dagen med största bortspolningen av koldioxid på kvällen (klockan 19–23), där halten av koldioxid i termitstacken håller sig (omkring) mellan 1,0 % och 5,5 %, halten överstiger aldrig 6,0 % per volymenhet, se figur 10.

Observera att detta är ett relativt högt värde i förhållande till människor som endast kan befinna sig i rum med koldioxidhalter lägre än 1000 PPM (0,1% koldioxid per volymenhet) utan större konsekvenser. Halter högre än 1,0% koldioxid per volymenhet kan vara direkt livsfarligt för människor vid en längre tids exponering, se tabell 3. (Folkhälsomyndigheten, 2019) Den höga halten av koldioxid i termitstackar är däremot igen fara för termiterna, som visar en hög tolerans mot koldioxid. Grafen i studien utförd av King och Ocko visar koldioxidhalten under ett dygn, se figur 10. (Hunter King, 2015)



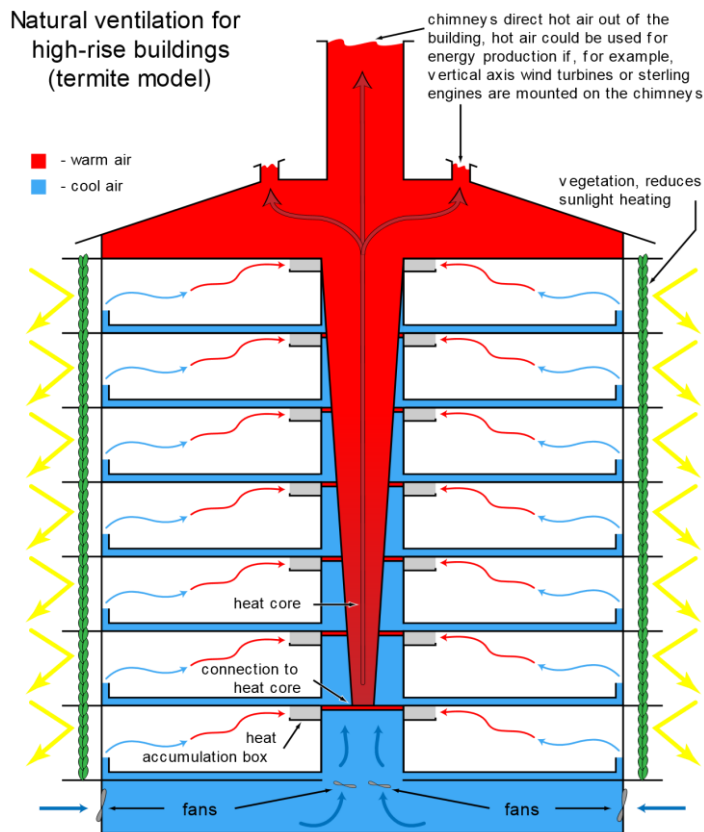
Figur 10- Koldioxid (Co₂) under 24 timmar, observerat i myrstack (Hunter King, 2015)

Under initialskedet av Eastgate Centres utformning inspirerades arkitekten Mick Pearce av termiterna *Odontotermes transvaalensis* (Pearce, 2000), medan den biomimetiska principen för framtagning av termitventilation utgick från Scott Turner och Rupert Soars arbete som baserades på *Myrmecia Michaelseni*, *Natalensis* och *Subhyalinus*. (Pawlyn, 2016)

3.3. Ventilationssystem inspirerat av termitstackar

Termite ventilation, som den benämns på engelska, kommer att behandlas då det kan vara bra att känna till de principer som möjliggör den typ av ventilation.

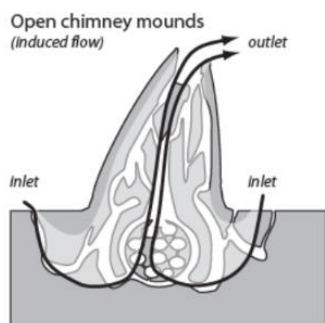
Termitventilation bygger på att termiska krafter utnyttjas genom att ta in luft vid en låg punkt och ut via en högre punkt. Detta fenomen kallas ”stack effect” och bygger på densitetsskillnaderna mellan varm och kall luft. Varm luft har lägre densitet än kall luft vilket skapar ett naturligt uppåtgående flöde som i sin tur bildar ett undertryck i byggnadens lägre delar vilket gör att utomhusluft tar sig in via tilluftskanaler och otätheter i byggnaden, se figur 11. (NC State University, 2015)



Figur 11 Modellering utav luftflödet vid "stack effect" (Pearce, 2020)

Termitstackar har en variation i luftflödet under hela dygnet, se figur 18. Termitventilation implementerar idén, men utformningen sker på olika vis beroende på byggnadens utformning och behov. Kapitel 4 och 5 behandlar de olika tillvägagångssätt som finns för att implementera termitstackars ventilationsprinciper.

Termitventilationen bygger sammanfattningsvis på att under dagen använda termiska skillnader att föra in frisk luft via marken som stabiliserar lufttemperaturen och sedan disponera ut luften genom att tillåta stigande värme att driva ut den via en skorsten, se figur 18. Med andra ord stiger den varma luften i konstruktionen, som i sin tur skapar ett vakuum som drar in frisk luft från marknivå.



Figur 12 Öppen termitstack (Turner, 2000)

I befintliga byggnader med termitventilation kan man observera den tydliga likheten att konstruktionerna har utformats med termiternas "inlet" i form av markkanaler (se "radial channels", under 3.2 termitventilation) och "outlet" i form av flertal skorsten (se "chimney", under 3.2 termitventilation). Dessutom kan man observera likheten mellan samtliga rum i konstruktioner med termitventilation med nästet av termitstacken (se "nest" under 3.2 termitventilation).

4. Ventilation

I detta kapitel granskas traditionella ventilationssystem. Bakgrundshistoria kring varför organismer, med människan i fokus, behöver reglera temperatur och luftkvaliteten. Denna information är väsentlig för förståelse av biomimetiska ventilationssystem och hur dem skiljer sig från traditionella ventilationssystem.

4.1. Temperaturreglering

Både människor och insekter utformar sina boenden till mikroklimat, det vill säga en lokal zon som skiljer sig från omgivningen i klimat. I båda fall (för termiter och människan) kräver dessa mikroklimat en jämnt reglerad temperatur. Detta är en huvudsaklig faktor till hur och varför det går att implementera termitventilation i mänskliga byggnader. Mikroklimat strävar efter att uppnå ett komfortabelt inomhusklimat, där två huvudsakliga faktorer bidrar till ett gott inomhusklimat: temperatur och luftkvalitet. Enligt svenska folkhälsomyndigheten är en optimal inomhustemperatur för bostäder i Sverige 20°C. (Folkhälsomyndigheten, 2016)

Insekter, som termiter, kallas ”kallblodiga” på vardagsspråk, vilket mer vetenskapligt benämns som ”växelvarma”. Växelvarma organismer är poikiloterm – vilket innebär att deras kroppstemperatur är densamma som omgivningens och varierar beroende av miljö och beteende. Ett exempel på detta är havsleguan (*Amblyrhynchus Cristatus*) som höjer sin kroppstemperatur genom att sola, strax innan de dyker ned i havet för att söka föda. Dessa växelvarma organismer är ektoterma eftersom de saknar förmågan att värma upp sig med egenproducerad värme inifrån. (Lundquist, u.d.)

Det som skiljer termiter åt från en del andra växelvarma organismer är det faktum att dem reglerar klimatet i sina hem istället för i sin egen kropp (via beteende). Detta görs för att underlätta odling av mögel (föda för termiter) och för ynglingarnas bekvämlighet. *Mer om detta under kapitel 3.2.*

Däggdjur, som människan, kallades tidigare ”varmblodiga” – numera jämnvarma, är homeoterma då deras kroppstemperatur är nära en konstant temperatur. Jämnvarma organismer har egenproducerad värme från inre mekanismer. Exempelvis har människor fett för isolering, värmeproduktion genom rörelse och kylning via avdunstning av vatten (svett). Enligt zoofysiologen Anders Lundquist måste tre krav uppfyllas för att en organism ska klassificeras som jämnvarm: hög inre värmeproduktion, isolering (exempelvis fett, päls, fjädrar) och en effektiv temperaturreglering. (Lundquist, u.d.)

Det går att argumentera för att människan inte längre är i behov av temperaturreglering för överlevnad. Temperaturreglering är numer för komfort. Trots människans goda reglering av kroppstemperaturen krävs ytterligare metoder användas för att uppnå termisk komfort. Exempel på detta är givetvis kläder och ventilation. Dagens temperatur och inomhusklimat ska eftersträva att inte märkas av, det vill säga att brukaren varken kan känna att det är för varmt eller för kallt, samt inte känna av att luften är för torr eller fuktig.

För mänskliga byggnader varierar behovet av inomhustemperatur beroende på byggnadens användningsområde, exempelvis kan ett gym hållas svalare än ett bostadshus. En metod för att uppnå komfort inomhus är genom att reglera temperaturen enligt PMV, vilket står för ”Predicted Mean Value” – som översätts till förväntat medelutlåtande där brukarna får betygsätta sin upplevelse. PMV baseras på en 7-gradig skala från +3 till -3 där den högsta siffran är för varm och lägsta för kall, se tabell 2. (Warfvinge & Dahlblom, 2010)

<i>Scale</i>	<i>Thermal sensation</i>
<i>+3</i>	<i>Hot</i>
<i>+2</i>	<i>Warm</i>
<i>+1</i>	<i>Slightly warm</i>
<i>0</i>	<i>Comfortable, neutral</i>
<i>-1</i>	<i>Slightly cool</i>
<i>-2</i>	<i>Cool</i>
<i>-3</i>	<i>Cold</i>

Tabell 2 PMV-skala (ASHRAE Standard 55–2004:5)

Därefter går det att undersöka antalet missnöjda brukare med temperaturen inomhus, vilket görs genom att använda PPD-index, där PPD står för Predicted Percentage of Dissatisfied (procentantal missnöjda) med hjälp av PMV-index. (Warfvinge & Dahlblom, 2010)

Metoderna för att bestämma temperaturen spelar däremot ingen roll för vilken typ av ventilationssystem det är, vilket innebär med andra ord att biomimetiska ventilationssystem kan justeras med hjälp av PMV- och PPD-index. Det innebär alltså att det är samma krav på biomimetiska ventilationssystem som på andra ventilationssystem, vilket betyder att trivseln bör vara samma.

4.1.1. Luftkvalitet

Krav och standarder för inomhusmiljö varierar då varje land har egna riktlinjer för detta. Enligt svensk standard, SS-EN ISO 7730 är rekommenderad luftfuktighet för inomhusmiljö mellan 30–70 procent RF (relativ fuktighet). (Socialstyrelsen, 2005) Medan koldioxidhalten ska vara under 1000 PPM (16 § AFS 2009:2), där 600–800 PPM (parts per million) anses vara välventilerat, se tabell 3. (Folkhälsomyndigheten, 2019)

För att föra bort koldioxid, stel luft och undvika förorenad inomhusluft finns det en sammanställning av värden för diverse konstruktionstyper:

Parameter	Bostäder	Skola, förskola, idrottshallar	Allmänna lokaler
Uteluftsflöde	< 0,35 l/m ² s eller < 4 l/s person	< 7 l/s person + 0,35 l/m ² s	< 7 l/s person + 0,35 l/m ² s
Luftomsättning	< 0,5 rv/t	Se luftflöde	Se luftflöde
Fuktskillnad, inne-ute*	> 3 g/m ³	> 3 g/m ³	> 3 g/m ³
Lufthastighet**	> 0,15 m/s	> 0,15 m/s	> 0,15 m/s
Koldioxid***		> 1000 ppm	> 1000 ppm

* Fuktmängden är högre inomhus

** Från Folkhälsomyndighetens allmänna råd FoHMFS 2014:17 Temperatur inomhus

*** Indikation på för låga uteluftsflöden och behov av ytterligare kontroller

Tabell 3 Sammanställning av värden för när det kan finnas risk för människan (Folkhälsomyndigheten, 2019).

Luften i konstruktioner undersöks även för radon, vilket är ett radioaktivt ämne som kan vara hälsofarligt. Tabell 4 är hämtad från Strålsäkerhetsmyndighetens rekommenderade gränsvärden, där 1 Bq/m³ är en radonatom som sönderfaller per sekund i varje kubikmeter luft.

Referensnivåer och gränsvärden för radon	
Radonhalt i befintliga bostäder och lokaler dit allmänheten har tillträde	200 Bq/m ³
Radonhalt i nya byggnader	200 Bq/m ³
Gammastrålning (miljödosekvivalent) i nya byggnader	0,3 µSv/h

Tabell 4 Referensnivå för Radon-halt (Strålsäkerhetsmyndigheten, 2019)

Ovanstående tabeller, relativa fuktighetshalter, PPM-gräns för koldioxid och radonhalt gäller samtliga ventilationssystem, vilket inkluderar de som diskuteras nedan (FTX-, F- och självdragssystem) men även den biomimetiska termitventilationen.

4.1.2. FTX-, F- och självdragssystem

De mest förekommande ventilationstyperna i Sverige är från- och tilluftssystem med värmeåtervinning (betecknas FTX-system), från- och tilluftssystem (FT-system),

frånluftssystem (F-system) och slutligen självdragssystem (S-system). Nedan kommer ovan nämnda system att undersökas kort, för att i senare kapitel jämföras med termitventilation.

4.1.2.1. S-system (Självdragssystem)

Självdragssystem är ett ventilationssystem som påminner om termitventilation för goda skäl. Den här typen av ventilation använder varma inomhusluften, stigandes ur frånluftsdon (påminnande ”chimney”, skorstenen i termitventilation, se röd pil i figur 13 samt övre bilden på höger sida av figur 18) för att skapa ett undertryck som i sin tur suger in utomhusluften från sidorna av byggnaden. Detta innebär att luften som tränger sig in i byggnaden har samma temperatur som utomhusluften, där inga markkanaler har ”stabiliserat” luften.

Självdragssystem går i vissa fall genom stora skorsten, likt termitventilation, där skorstenen måste ständigt värmas, exempelvis genom att man eldar. Dessa system får sämre luftomsättning om brukaren slutar elda i pannan av skorstenen, vilket gör systemet opraktiskt, särskilt om användaren söker ett självgående system. Därför är lösningen i många fall att man installerar fläkt, och skapar alltså ett frånluftssystem. (Svensk ventilation, u.d.)

Termitventilationen kan också behöva fläkt för att öka den luftomsättningen för att påverka inomhustemperaturen eller tillfredsställa mängden friskluften om antalet brukare ökar, med skillnaden där fläkten är placerad i mark-kanalerna som tilluft, vilket gör att det skapas en form av ”tilluftssystem”. Dessutom finns heller inga fall med termitventilation som behöver en värmekälla i form av en brasa eller dylikt.

Självdragssystem är väldigt beroende av större temperaturskillnader mellan inomhus- och utomhusluften. Detta kan vara ett väldigt bra system under vintern i Sverige, medan det strandar när det är varmt ute, under sommaren – då utomhusluften är lika varm som inomhusluften, vilket gör att väldigt lite luftomsättning sker. (Svensk ventilation, u.d.)



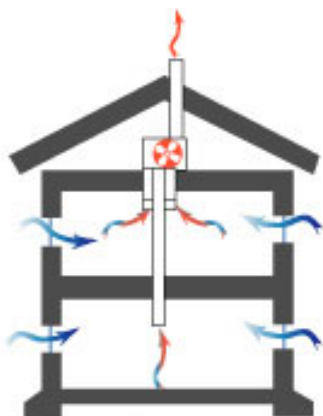
Figur 13: Självdragssystem, principskiss (Svensk ventilation, u.d.)

4.1.2.2. F-system (Frånluftssystem)

Frånluftssystem är ett vanligt förekommande ventilationssystem i svenska bostäder och kan ses som en utvecklad version av självdragssystemet, se figur 14.

Här förs luften in i konstruktionen via tilluftsdon alternativt vädringsfönster – till skillnad från självdragssystemets mindre öppningar (dörrspringor och andra läckor) och termitventilationens markkanaler. Luften förs sedan ut med hjälp av fläkt, till skillnad från självdragssystem som använder temperaturskillnader. Fördelen blir att man inte längre behöver ha en skillnad i temperaturen för att få en stabil luftomsättning då fläkten kan drivas året om. (Svensk ventilation, u.d.)

I många fall använder termitventilation samma princip men fläkten placeras i markkanalen som tilluft för att driva på ventilationen.

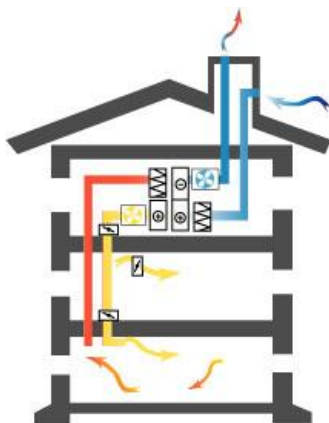


Figur 14: Frånluftssystem, principskiss (Svensk ventilation, u.d.)

4.1.2.3. FTX-system (Från- och tilluftssystem med värmeåtervinning)

Det här systemet är ett komplett ventilationssystem som är fläktstyrd med både till- och frånluft, med värmeåtervinning – där brukaren av systemet har en stor kontroll över ventilationen, i både temperatur och mängden friskluft. (Svensk ventilation, u.d.)

En byggnad med FTX-system är utrustade med kanalsystem som både transporterar bort luft och tillför friskluft. Den luften som lämnar passerar ett värmeåtervinningsaggregat som värmer upp den inkommande luften för att spara energi, se figur 15 för principskiss av FTX-system. (Svensk ventilation, u.d.)



Figur 15: FTX-system, principskiss (Svensk ventilation, u.d.)

FTX-system, som även kallas ”balanserat system”, består av fläktar som styr både till- och frånluften. Brukaren har därmed kontroll över mängden friskluft, till skillnad från F- och självdragssystemen som har mindre respektive ingen kontroll över mängden friskluft som tillförs. (Svensk ventilation, u.d.)

FT-system är uppbyggt som FTX-system men saknar dess förmåga att värmeväxla.

4.1.3. OVK

För att säkerställa att ventilationssystem fungerar kräver Plan- och bygglagen (PBL) att fastighetsägare kontrollerar detta. En behörig kontrollant undersöker ventilationssystemet i byggnaden för att garantera att ventilationen uppfyller de kraven som gällde när systemet

byggdes. Första gången kontrollen sker är innan systemet tas i bruk och sedan var tredje eller sjätte år beroende på byggnaden, se tabell 5 nedan för specifika intervall. Detta kallas OVK, Obligatorisk ventilationskontroll. De vanligaste felen som uppstått under byggnadens byggnation eller livstid är att luftflöden är mindre än det som tidigare beräknats samt smuts i fläktar och kanaler. (Svensk ventilation, u.d.)

Byggnader och typ av ventilationssystem	Intervall
Förskolor, skolor, vårdlokaler och andra liknande byggnader. Oavsett typ av ventilationssystem.	3 år
Flerbostadshus, kontorsbyggnader samt personalutrymmen och kontor i industribyggnader och liknande. FT-, FTX-ventilation	3 år
Flerbostadshus, kontorsbyggnader samt personalutrymmen och kontor i industribyggnader och liknande. S-, F-, FX-ventilation	6 år
En- och tvåbostadshus med FX-, FT-, FTX-ventilation.	Endast en första installationsbesiktning innan systemet tas i bruk. Ingen återkommande besiktning.

Tabell 5 Boverkets tabell för OVK-intervall (Boverket, 2018)

Vid samtliga OVK kontrolleras följande punkter:

- Att ventilationssystemet inte innehåller föroreningar och att inga föroreningar sprids i konstruktionen. Exempel på föroreningar kan vara radon.
- Instruktioner och skötselanvisningar för systemet är lätt tillgängliga.
- Ventilationssystemet är fungerande på det sätt det är avsett att fungera.

Vid första besiktningen kontrollerar man även att ventilationssystemet fungerar enligt gällande föreskrifter.

Vid senare undersökningar ska kontrollanten dessutom säkerställa att ventilationssystemet har samma funktion och egenskaper som det hade vid tiden systemet togs i bruk, samt vilka åtgärder som kan vidtas för att förbättra energihushållningen utan att medföra ett sämre inomhusklimat.

5. Empiri

I detta kapitel kommer biomimetik inom byggnadsbranschen att granskas, i synnerhet för ventilationssystem. En undersökning av tre byggnader som använder sig utav ventilationssystem framtagna med hjälp utav biomimetiska studier kommer att utföras.

Biomimetik innebär att ta inspiration från naturens lösningar och implementera dess funktioner för att lösa aktuella problem. Naturen som inspirationskälla förekommer i en mängd olika branscher, exempelvis transportsektorn där konstruktionen av flygplan är inspirerad av fåglar. (NASA, u.d.) Genom att undersöka tre byggnader vars ventilationssystem är framtagna med inspiration från biomimetiska lösningar så undersöks hur termitventilation förhåller sig beroende på byggnadsstorlek, användningsområde samt lokalt klimat. Byggnaderna är lokaliserade i tre olika världsdelar vilket innebär olika förutsättningar avseende klimat för varje enskild byggnad. Klimatskillnaden ligger till grund för undersökning av hur biomimetisk ventilation av typen termitventilation beter sig i olika klimatförhållanden samt vilka åtgärder som har tagits för att anpassa byggnadernas ventilation till det lokala klimatet. (Nyquist, 2020)

De tre byggnader som ingår i undersökningen är Lagggarbergs skola i Timrå (Sverige), Eastgate Centre i Harare (Zimbabwe) och Council House 2 i Melbourne (Australien). De två sistnämnda länderna, Zimbabwe och Australien, huserar i sin lokala fauna termiter vars bon är konstruerade utefter det som inom biomimetik refereras till som termitventilation. Termitstackar av denna utformning förekommer inte naturligt i Sverige vilket gör fallet Lagggarbergs skola intressant i en undersökning av ventilationssystemets funktion i förhållande till klimat.

Samtliga tre byggnader är konstruerade med ett ventilationssystem som utgår från grundprinciperna för den biomimetiska lösningen termitventilation som är en imitation av termitstackars utformning, där varje enskild byggnads ventilationssystem har anpassats för byggnadens storlek, användning samt det lokala klimatet. Termitventilation bygger i grunden på ett självdragssystem som utnyttjar vindrörelser och termiska krafter för att skapa ett luftflöde genom byggnaden. Genom att tilluft tas in via lågt belägna tilluftsdon och leds ut genom högt belägna frånluftsdon skapas ett naturligt självdragsflöde av samma princip som nämns i kapitel 4.3. För att tilluften ska hålla en jämn temperatur och möjliggöra en initiering av luftflöde i byggnaden så leds tilluften genom underjordiska betongkanaler där den värms upp eller kyls ned till cirka 10°C. Kanalerna består utav prefabricerad betong med en värmelagringsförmåga som är 2000 gånger högre per volymenhet än hos luft. (Svensk Betong, 2020) Marktemperaturen är kring 7–10°C vilket gör att betongen håller en jämnt låg temperatur i förhållande till utomhustemperaturen under hela dygnet, nästintill oberoende av tilluften som passerar. Beroende på utomhusluftens temperatur så sker antingen kylning eller uppvärmning av tilluften då den passerar betongkanalerna. Nyttjandet av betongens värmekonduktivitet sker även i byggnadens stomme som reglerar temperaturen i byggnaden. Tilluften leds in från kanalerna till byggnaden via pådrivande fläktar som driver luftflödet och disponerar ut tilluften i byggnaden. Frånluftsdon placeras på en högt belägen plats, ofta på byggnadens tak för att leda ut frånluften. Genom att disponera ut frånluftdon på ett flertal olika placeringar så fördelas luftflödet jämnt ut i byggnaden och kan bidra till uppvärmning upp dess stomme. (Pawlyn, 2016)

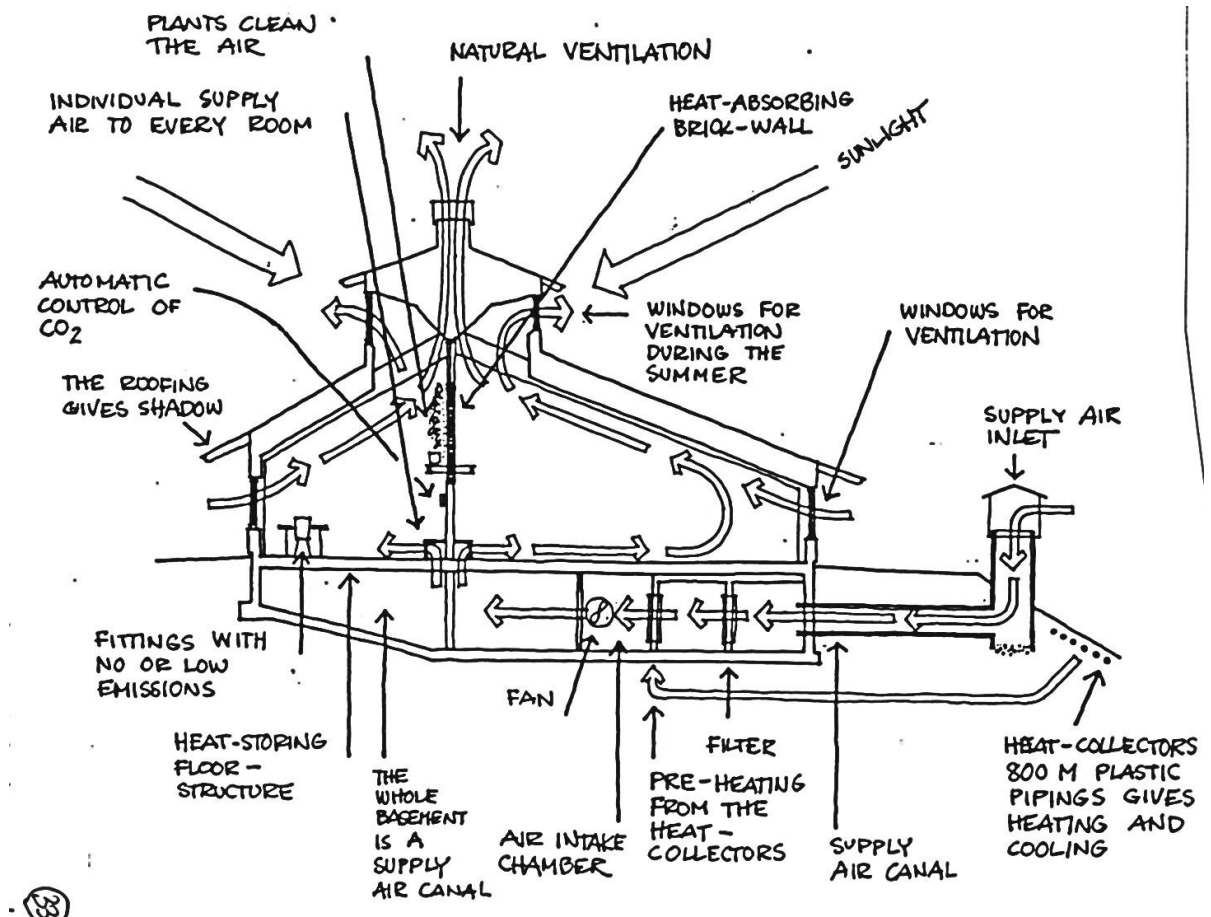
5.1. Lagggarbergs skola

Lagggarbergs skola består utav två delar, den äldre delen byggdes 1932 och den nyare delen byggdes 1995 i samband med en renovation. Det är endast den nyare tillbyggnaden av skolan som använder sig av ett ventilationssystem inspirerat av de i termitstackar. Tillbyggnaden ritades av arkitekten Anders Nyquist. Byggnadens totala bruttoarea är 1721m² exklusive sammanbyggd idrottshall och inhyser ca 120 elever. (Tyréns AB, 2011)



Figur 16 Laggårbergs skola, med tillbyggnaden på höger sida (Nyquist, 2020)

Ventilationen är byggd så att tilluft tas in via två torn placerade i byggnadens närhet. Underjordiska kanaler i betong leder tilluften från tornen till byggnaden, där kanalerna är utformade så att de tar till vara på markens temperatur och värmer eller kyler ner den intagna luften beroende på årstiden, se figur 17. Tilluften fördelas sedan ut genom byggnaden med fläktar. Genom att utnyttja luftens egenkonvektion så leds den ut genom byggnaden med hjälp av självdrag, där luften färdas genom en av byggnadens 11 lanterniner som är placerade på taket. Vid behov värms tilluften upp av radiatorer för att luften i lokalerna skall hålla en komfortabel temperatur. (Nyquist, 2020)



Figur 17 Sektionssnitt av Laggbergs skolas ventilationssystem (Nyquist, 2020)

Den mest markanta skillnaden som skiljer Laggberg från Eastgate Centre och CH₂ är det lokala klimatet där byggnaderna är lokaliserade. Årsmedeltemperaturen i Timrå är 3.4 °C medan den i Melbourne är 14.8 °C och i Harare 18.4 °C. (Climate-data.org, u.d.) Trots detta och det faktum att termitstackarnas ursprungliga, varma habitat, är utformningen av termitventilationen i Laggberg skola inte modifierad för Timrås svalare klimat, och fungerar trots detta mycket väl, enligt arkitekten Anders Nyquist. (Nyquist, 2020)

Under sensommar och höst då luftens relativa fuktighet uppnår till nära 100 % uppstår ofta röt- och mögelskador i träbyggnader. Genom att först kyla ned tilluften i betongkanaler med temperatur kring 7–8°C så minskar den relativa luftfuktigheten avsevärt. (Nyquist, 2020) Den höga fukthalten i betongkanalerna ökar risken för mikrobiell påväxt vilket kan leda till hälsofarliga mögelsporer i byggnadens tilluft. (Stockholms avfuktningssystem AB, 2020)

Marken som tilluftskanalerna är placerade i håller en jämn temperatur kring 7–8°C året runt. På så sätt kan tilluftens temperatur värmas eller kylas beroende på utomhustemperaturen. Ett 800m långt system av plaströr absorberar markens temperatur och leds in i betongkanalerna för att värma tilluften. Under vintern då temperaturen i Timrå kan vara kring -20°C så värms luften upp i tilluftskanalerna till cirka 2°C innan den värms upp ytterligare utav radiatorer för att nå en komfortabel temperatur, för att sedan föras in i lokalerna. Förvärmningen genom betongkanalerna leder till att byggnaden sparar en stor mängd energi för uppvärmning under vintertid. Under sommarhalvåret ger betongkanalerna en motsatt effekt där den varma tilluften kyls ned till behaglig temperatur. (Nyquist, 2020)

Energiåtgången för temperaturhöjning av 1 m³ luft är konstant oberoende av temperatur sett till Wh/m³K. Om byggnadens önskade tilluftstemperatur i fallet då utomhustemperaturen är -20°C antas vara +20°C så minskar energiförbrukningen med 55% vid användning av förvärmning av tilluft med hjälp av underjordiska betongkanaler som värmer tilluften till ca 2°C. (Warfvinge & Dahlblom, 2010)

Taket på Lagggarbergs skola består utav mörk plåt som värms upp av solen under vår, sommar och höst. Mellan plåt och isolering i takkonstruktionen finns en 20 cm luftspalt. Luften i luftspalten värms upp av solen och avluftas i de lanterniner på skolans tak tillsammans med resten utav byggnadens avluft släpps ut, där den varma luften från luftspalten skapar en ejektorverkan som driver på flödet av inomhusluft ut genom lanterninerna. Kort sagt skapar den varma luften från luftspalten ett vakuum när den lämnar, som då bidrar till att luften från mark-kanalerna förs in med högre effekt för att förhindra uppkomsten av vakuum. (Nyquist, 2020)

I en intervju med Nyquist berättar han att fönster placerades i närhet till lanterninerna för att kunna öppnas och skapa ett självdrag tillsammans med klassrumsfönstren, men tack vare ejektorverkan från luftspalten har takfönstren aldrig behövts användas för att bistå ventilationssystemet. (Nyquist, 2020)

En standardiserad OVK-kontroll enligt PBL har utförts för Lagggarbergs skola. Lagggarberg består av två sammanbyggda huskroppar med en äldre (renoverad) stenbyggnad och en tillbyggnad som uppfördes 1995 – vars ventilationssystem var av typen ”termiventilation”. Båda byggnaderna tillhör en skola, och ska därmed undersökas en gång var tredje år, se Tabell 5. Den senaste kontrollen för skolan visade en högre halt av radon som fick motverkas med bland annat ett högre mottryck för att få ett godkännande. Den högre halten av radon hittades i båda byggnader, med lite högre värden i tillbyggnaden – där utformningen av ventilationssystemet var en bidragande faktor, enligt Lena Granlöf från Timrå Kommuns Avfall och Återvinning/Kultur- och teknikförvaltningen. (Granlöf, 2020)

Då BBR är en svensk standard för ny- och tillbyggnation var det obligatoriskt för Lagggarbergs nybyggnad att klara samtliga krav för att godkännas. Kort sagt uppfyllde Lagggarberg skola år 1994 bland annat följande BBR-krav som följer nedan.

5. Hygien, hälsa och miljö

Beskriver hur byggnaden ska utformas för att inte påverka människor negativt. Innefattar exempelvis krav på frisk luft, inomhustemperatur och tillgång till vatten.

Tillbyggnaden har en god luftkvalitet med låg eller obefintlig gasemission, en joniserande strålning på mindre än 200Bq/m³ och ett uteluftsflöde som är högre än 0.35 liter/sekund per m² golvarea. (Boverket, 1993)

Dessutom har byggnaden en begränsning av överluft som kan potentiellt överföra dofter från rum till rum och utformning som tillåter städning av samtliga ventilationssystem. (Boverket, 1993)

Konstruktionen har minimalt luftdrag, vilket gör att det inte känns besvärligt för brukarna i byggnaden. Bra möjligheter för vädring av inomhusluft och åtkomliga ventilationskanaler som är i material som inte bidrar till förorening av luften. (Boverket, 1993)

Slutligen har Lagggarberg en täthet i konstruktionen som resulterar i att installationerna inte har en luftströmning av frånluft och tilluft, och en fuktning/kylning som är utformad så att de inte medför en hälsorisk för brukaren. (Boverket, 1993)

8. *Energihushållning (f.d. Energihushållning och värmeisolering)*

Krav på byggnadens energiprestanda, framförallt gällande isolering.

(Boverket, 2018)

Kapitel 9 i BFS 1993:57 innebär att Laggarberg har en låg värmeförlust, effektiv värmeanvändning och effektiv elanvändning. Luftinstallationerna har låg värmeförlust.

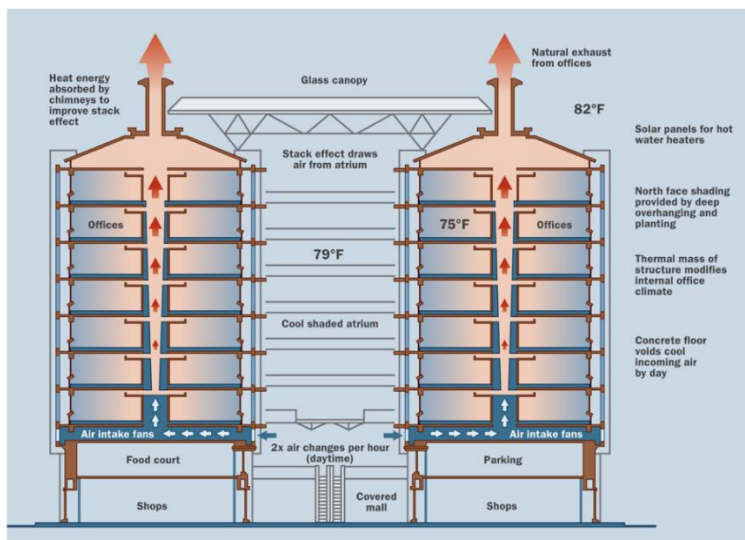
(Boverket, 1993)

5.2. Eastgate Centre

Eastgate Centre ritades av arkitekten Mick Pearce och togs i bruk år 1996. Konstruktionen huserar både kontor och butiker och ligger i staden Harare i nordöstra Zimbabwe. Byggnadens totala bruttoarea är 55 000 m², Eastgate Centre inhyser både kontor och butiker, det sistnämnda leder till att antalet människor i byggnaden varierar kraftigt. Pearce fick idén till utformningen då han såg en dokumentär från BBC om termitbon i Nigeria. Pearce arbetade vid denna tid (1992) i ett designteam som strävade efter att utnyttja den dagliga temperatursvängningen kring 20°C som uppstår i Zimbabwes subtropiska klimat ca 1400 meter över havsnivån. Projektets mål var att utveckla ett system som använder temperaturändringen till sin fördel för att minimera kostnad och energikonsumtion. Pearce inledde ett samarbete med forskarna Rupert Soar och J. Scott Turner för att tillsammans skapa en fungerande lösning. Resultatet av detta var Eastgate Centre. (Pearce, 2000)

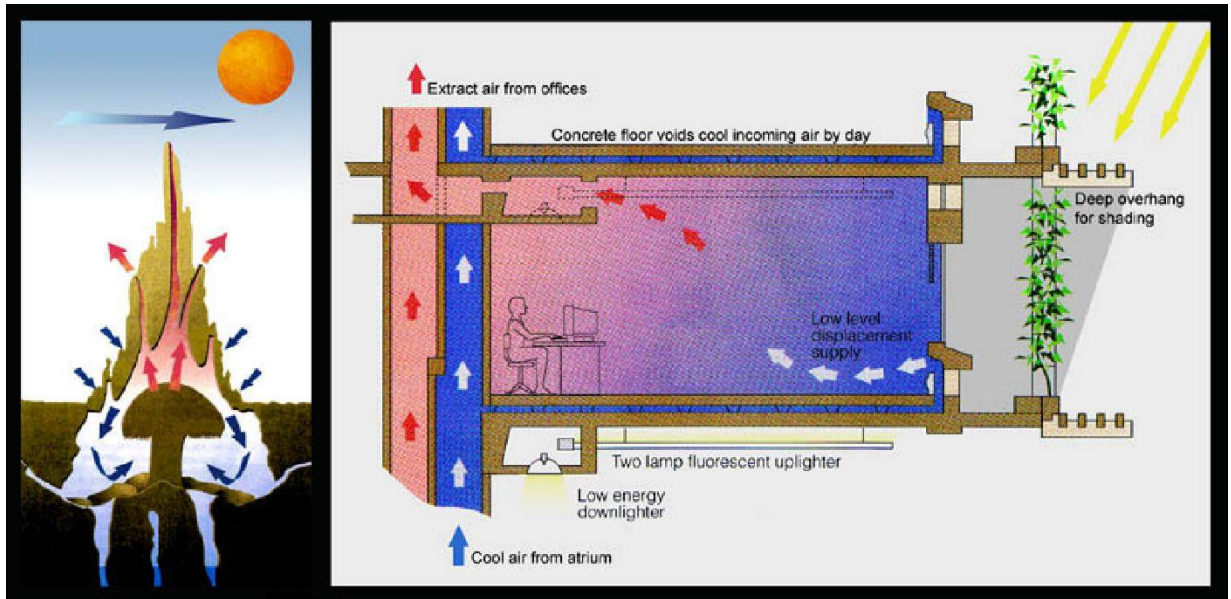
Eastgate Centre består utav två identiska huskroppar innehållande kontorslokaler med sju våningar höga huskropparna som är sammankopplade av ett atrium som rymmer butiker och planteringar, se figur 18. Byggnadens ventilationssystem utnyttjar biosfärens dagliga temperatursvängningar för att ventilerar och temperera byggnaden till en behaglig nivå för samtliga brukare. Luftflödet initieras av termiska krafter i kombination med pådrivande fläktar. Som resultat av att både uppvärmning och ventilation huvudsakligen sker via naturliga krafter så är byggnadens energianvändning 35% lägre än den genomsnittliga konsumtionen i sex liknande byggnader i Harare som använder sig av ett konventionellt VVS-system, se bilaga 1. Byggnadskostnaden för Eastgate Centres ventilations- och värmesystem var cirka 10 % av vad kostnaden hade varit att upprätta ett fullständigt traditionellt VVS-system. (Pearce, 2016)

Staden Harare har återkommande problem med avstängningar av stadens elnät vilket skapar problem för de byggnaderna med ett ventilationssystem beroende av el, ventilationssystemet i Eastgate fortsätter under dessa strömavbrott att uppnå acceptabla komfortnivåer avseende luftkvalitet tack vare att systemet huvudsakligen drivs av naturlig konvektion. (Pearce, 2016)



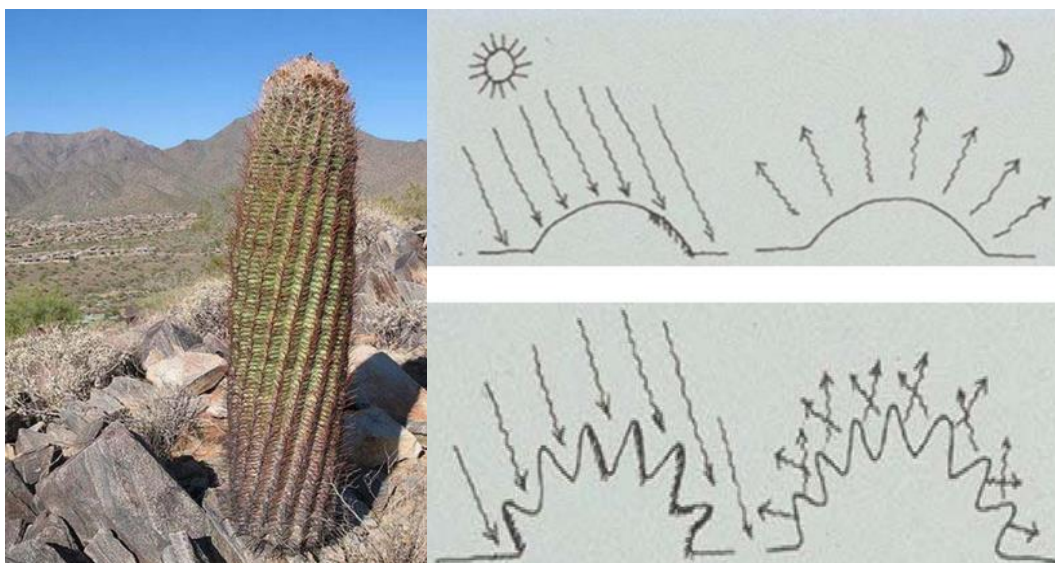
Figur 18 Eastgate Centre i jämförelse med termitstack (Pearce, 2016)

Tilluftsdon i marknivå tar in luft som leds in i byggnadens atrium, därifrån dras luften in med hjälp utav 32 fläktar genom ett luftfilter till ett mezaninväxtrum under den lägsta kontorsvåningen i de båda huskropparna. Växterna i mezzaninen bidrar till att luften delvis renas från koldioxid. Från växtrummen förs luften upp genom vertikala kanaler i byggnadernas centrollinje och disponeras genom ett ihåligt sandwichelement till en lågt belägen punkt under kontorslokalernas fönster. Sandwichelementet utgör bjälklaget mellan våningsplanen i byggnadens kontorsdel, se figur 19. Ihåligheten i bjälklaget fungerar som värmexlaren och utnyttjar biosfärens dagliga temperatursvängningar. Kall nattluft passerar tomrummet och kyler ned betongen i sandwichelementet, under dagen då tilluften är varm så kyler betongen ned luften med ca 3°C innan den disponeras in i kontorsrummen. Under natten omsätts luften 10 gånger per timme och under dagen 2 gånger per timme. Då luften i kontorslokalerna värms utav mänsklig aktivitet stiger den till det välvda taket och sugas ut via ventiler till de vertikala frånluftskanalerna. Längs byggnadens takås finns 48 skorstenar som fungerar som avluftsdon där luften drivs på med hjälp av "stack effect". (Pearce, 2016)



Figur 19 Sektionssnitt av kontorslokal i Eastgate Centre som visar utformningen av byggnadens sandwichelement vilket fungerar som värmväxlare (Pearce, 2016)

Eastgates fasad är inspirerad av ökenväxter, se figur 20, där den utstickande och ”taggiga” utformningen reducerar fasadens värmeabsorption vilket gör att inomhustemperaturen kan hålla en jämn nivå. Detta är eftersom dessa ”taggar” bidrar till mer skugga på fasaden se höger sida av figur 20. Fönstren är relativt små och skyddas av utskjutande betongelement och växtlighet som filtrerar bort delar av solljuset och minskar byggnadens solvärmelast, se figur 21. (Pearce, 2000)

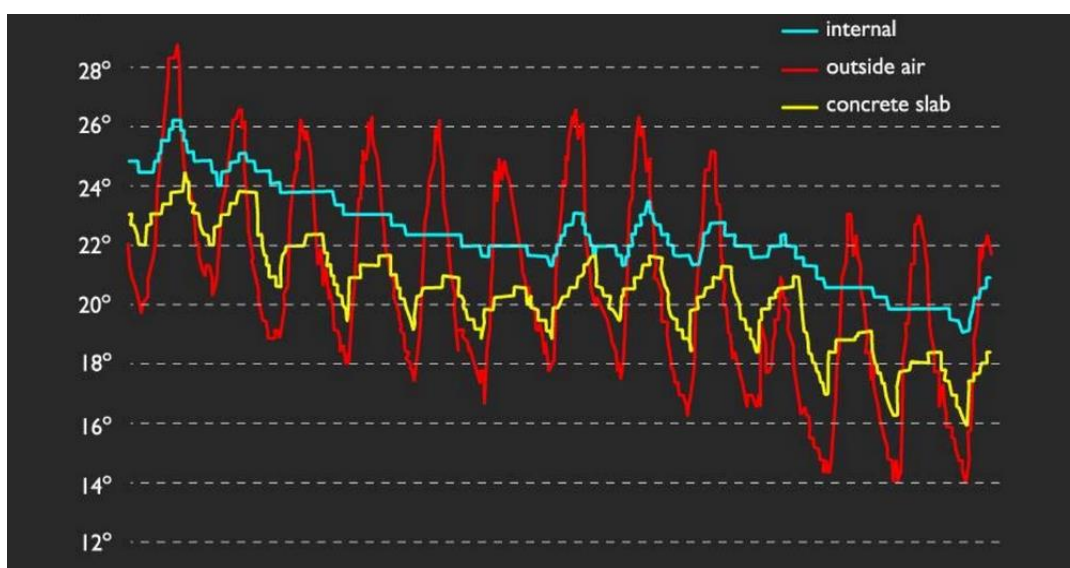


Figur 20 Ökenväxt till inspiration (vänster), mjuk yta i jämförelse med ”taggig” yta (höger) (Pearce, 2020)



Figur 21 Eastgates ojämna yta skapar skugga (Pearce, 2020)

Utomhustemperaturen i Harare kan variera mellan 5°C och 33°C medan inomhustemperaturen hålls mellan 21°C och 25°C. Mätningar utfördes dagligen under april månad 1998 och det visar hur konstruktionens relativt stabila inomhustemperatur följer den dagliga kurvan. Utomhus varierar temperaturen mellan 14°C och 29°C medan inomhustemperaturen förhåller sig mellan 19°C och 26°C, se figur 22.



Eastgate, Harare
daily readings for the month of April 1998

Figur 22 Temperatur under april 1998, Harare och Eastgate, (Pearce, 2000)

Ingenjörerna, Ove Arup & Partners, bakom ventilationssystemet har installerat dataloggar som kontinuerligt registrerar inomhuslufttemperaturen vid fem kritiska tidpunkter under dygnet. Eastgate Centre har en lufttillförsel bestående av 100 % frisk luft eftersom byggnadens tilluft konstant kommer utifrån till skillnad från andra ventilationssystem som använder sig av värmeåtervinning, som FTX-system. (Pearce, 2020)

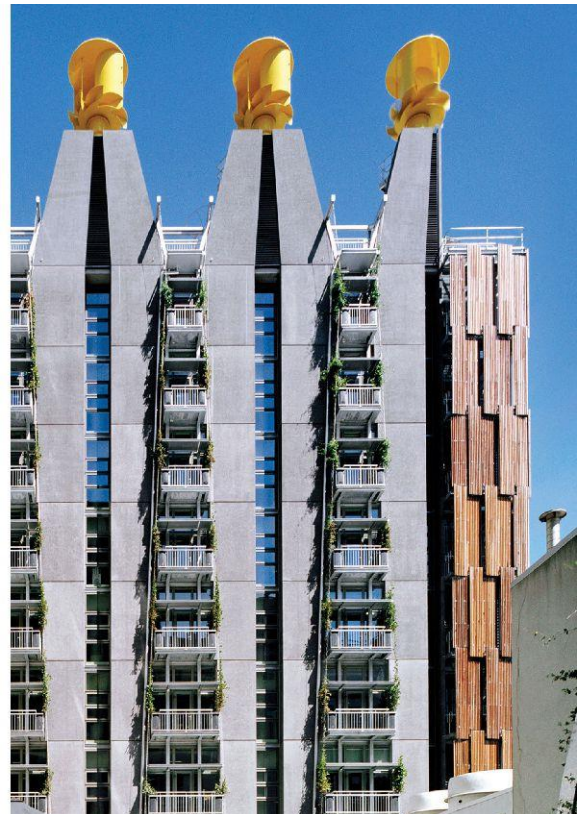
5.3. Council House 2

Council House 2 i Melbourne är en administrativ byggnad ritad av arkitekten Mick Pearce och används som kontorslokal för stadsrådet. Byggnadens bruttoarea är 12 536 m² och inhyser ca 540 anställda. (City of Melbourne, 2020) Enligt Pearce har varje enskild aspekt av byggnadens utformning granskats och prövats för att så nära som möjligt följa de grundläggande ”naturlagarna”. Byggnadens ventilationssystem bygger på samma princip av inspiration från termitstackar som i Eastgate Centre. CH₂ är den första byggnad som uppnått det högsta möjliga betyget av 6 stjärnor i Australiens Green Star certifiering för miljövänliga byggnader. (Pearce, 2016)

Den kortsida av CH₂ som är riktad mot sydväst består utav en vertikal träpanel som täcker en helglasad vägg, se figur 23. Träpanelerna vrids vertikalt under dagen för att reglera byggnadens solvärmelast och ljusinsläpp, likheter kan dras mellan träfasadens funktion och uppbyggnaden av kompasstermiters bon, se figur 23. Att byggnaden anpassar sig till yttre förhållanden är ett exemplariskt exempel av biomimetikens grundtanke. På taket av Council House 2 finns 6 gula vindturbiner som utvinna vindkraft, se figur 24. (Pearce, 2016)



Figur 23 CH₂ fasad mot sydväst (Pearce, 2016)

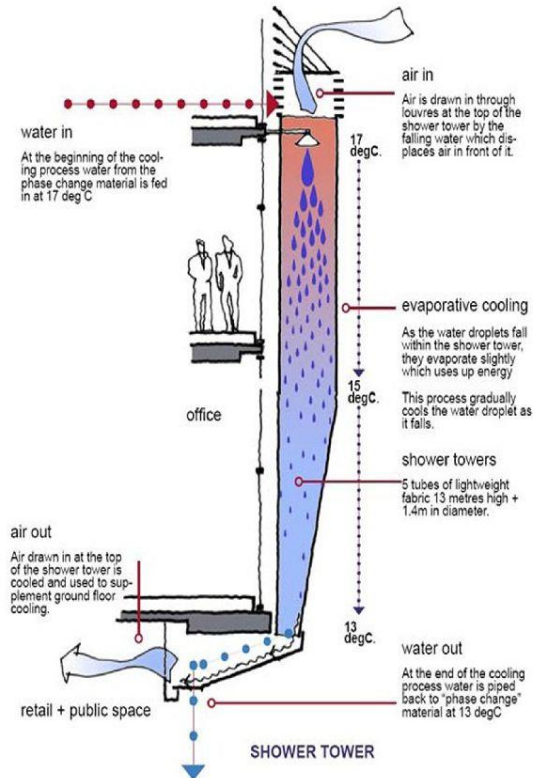


Figur 24 Vindturbiner på taket av CH₂ (Pearce, 2016)

Ventilationssystemet i Council House 2 utnyttjar samma principer som i Eastgate Centre för värmeväxling, där kall nattluft kyler ned och dagsluft värmer upp byggnaden. Kylningen kompletteras utav förångningskylare som tar till vara på vattnets temperaturförändring då det ”vaporiserar”, se figur 25 och figur 26. Utomhusluft tas in vid toppen av ett så kallat ”shower tower”, vattnets inre energiförbrukning under förångningen leder till att vattnet kyls ned från 17°C till 13°C och kan sedan användas till att kyla ned byggnaden. (Pearce, 2016)



Figur 25 "Shower tower" på CH2 (Pearce, 2016)



Figur 26 Skiss av "Shower tower" (Pearce, 2016)

Mätningar av luftkvalitet och hälsa har utfördes i Council House 2 ett år efter att byggnadens togs i bruk. Mätningarna visar på att personalen som arbetar i byggnaden minskade sin sjukfrånvaro efter att de flyttat från sin fördetta kontorsbyggnad. En "payback-metod" upprättades för CH₂ där besparing huvudsakligen i form av minskad energiförbrukning skulle resultera i att bygginvesteringen lönar sig efter 10 år. Antalet minskad sjukfrånvaro hos de som arbetar i byggnaden ledde till att denna period kortades ned till 7 år räknat för uteblivna löneinkomster på grund av sjukdom. Personal i CH₂ har sagt att de inte hade kunnat tänka sig att arbeta i andra byggnader i framtiden på grund av att ventilationen i CH₂ är så fördelaktig. (Pearce, 2020)

Enligt de mätningar som utförts på Council House 2 utifrån certifieringen Green Star så uppnår byggnaden högsta betyg för luftkvalité inomhus i samtliga fall. För termisk komfort uppnåddes högsta betyg i fyra av totalt sex fall, resterande två uppnådde näst högsta betyg, se tabell 6. (Pearce, 2020)

Season	Floor	Indoor Air Quality	Thermal Comfort	Lighting	Noise
Winter	Low	3	3	2	3
	Mid	3	2	2	3
	High	3	3	2	3
Summer	Low	3	3	2	3
	Mid	3	3	2	3
	High	3	2	2	3

Rating: 3= Good 2=Satisfactory 1= Poor

Tabell 6 Mätningar i CH2 utifrån Green Star (Pearce, 2020)

Council House 2 och dess 6-stjärniga Green Star certifiering innebär att konstruktionen har en utmärkt inomhuslufts-kvalitet, med väldigt nöjda brukare. Detta är bland annat mycket tack vare dess 100 % friskluftsventilering som inte återanvänder luft, till skillnad från FTX-system som är väldigt vanligt för kontorsbyggnader. (Dr Philip Paevre, 2008)

Staden Melbourne och CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) utförde Green Star-certifieringen och skrev i rapporten bland annat om Council House 2 PPD och förorenande ämnen, se tabell 7 och tabell 8.

Building Floor	Season	Simplified Rating
Lower	Winter	3
Middle	Winter	2
Upper	Winter	3
Lower	Summer	3
Middle	Summer	3
Upper	Summer	2

Tabell 7 PPD för CH2 (Dr Philip Paevre, 2008)

Pollutant	Criterion (avg period)
TVOC	500 µg/m ³ (1h)
Benzene	10 µg/m ³ (1h)
Toluene	4100 µg/m ³ (1h)
Formaldehyde	100 µg/m ³ (0.5h)
PM2.5	25 µg/m ³ (8h)
CO	9 ppm (8h), 25ppm (1h)
CO ₂	800 ppm (1h)
Microbial	none visible/no moisture

Tabell 8 Luftföroreningar CH2 (Dr Philip Paevre, 2008)

För ovanstående tabell 8 är värdet för CO₂ som mättes till 800 PPM alltså välventilerad enligt svensk standard. *Se kapitel 4.1.1 om luftkvalitet.*

5.4. Sammanställning av fallstudie

I tabell 9 redovisas en grundläggande jämförelse av de tre konstruktioner med termitventilation i syfte till att sammanfatta och skapa en likhetsgranskning.

	Laggarberg skola Timrå, Sverige	Eastgate Centre Harare, Zimbabwe	Council House 2 Melbourne, Australien
Klimat [Biom]	Tajga, kalltempererad barrskog. (Hugo Sjörs, 2020)	Subtropisk torrskog. (ClimaTemps, 2019)	Tempererad skog. (Climate-Data, u.d.)
Årsmedeltemperatur ^a	3.4 °C	18.4 °C	14.8 °C
Bruttoarea ^b	1721 m ²	55 000 m ²	12 536 m ²
Antal nyttjare i konstruktion ^c	120	Inte given.	540
Är framtagen med hjälp av biomimetiska principer	Ja, men endast tillbyggnaden (1995). <u>Termitventilation.</u>	Ja, i sin helhet. <u>Termitventilation.</u>	Ja, i sin helhet. <u>Termitventilation.</u>
Uppförandet av konstruktion	1995 (Tillbyggnad), (Nyquist, 2020)	1996, (Pearce, 2016)	2006, (Pearce, 2016)
Certifiering/Uppfyllda krav	BBR. Initialt godkänd. Godkänd återigen efter justering mot Radon.	Ej utförd	Green Star, Au. 6 stjärnor

Tabell 9 Sammanställning av fallstudie

5.5. Klimatets inverkan

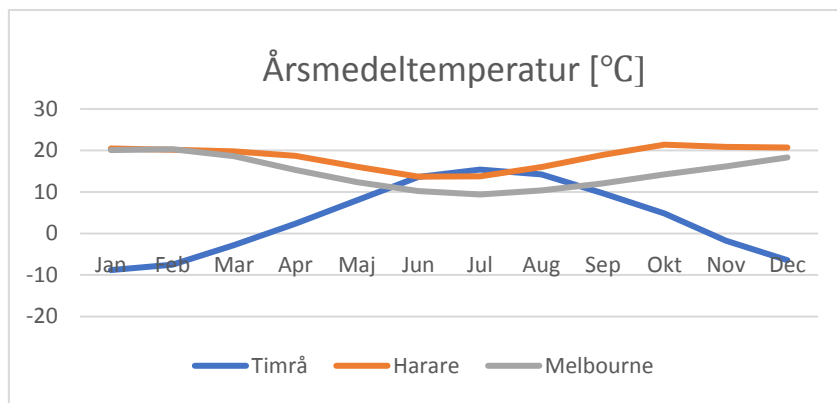
Årsmedeltemperatur är den huvudsakliga faktor som kan påverka prestandan, utöver utformning, material och storlek. Ventilationssystemen i Laggarbergs skola, Eastgate Centre och Council House 2 använder samma grundläggande princip för termitventilation; med ”stack effect” och markkanaler. Däremot kan man observera att skillnaderna i klimat mellan byggnadernas lokalisering inte har påverkat ventilationens funktioner. Trots det kallare klimatet i Sverige fungerar ventilationen som den ska, och utformningen hade varit densamma om Laggarberg var konstruerad i ett varmare klimat. (Nyquist, 2020)

Skillnaderna i medeltemperatur för varje enskild månad listas i figur 27. Se nästa sida.

^a Se tabell 3 i Appendix.

^b Se 5.1, 5.2, 5.3. för årsmedeltemperatur.

^c Se 5.1 och 5.3. för antal brukare.



Figur 27 Medeltemperatur under året för olika orter (Climate-data.org, u.d.)

I fallen Eastgate Centre och Council House 2 används det biomimetiska ventilationssystemet huvudsakligen för att kyla ned byggnadens lokaler till en komfortabel temperatur. Under de perioder på året som byggnaderna behöver värmas upp är temperaturskillnaden mellan utomhusluft och önskad inomhustemperatur som högst ca 10°C. I fallet Lagggarberg uppnås i extremfall under vinterhalvåret temperaturskillnader mellan utomhustemperatur och önskad inomhustemperatur kring ca 40°C. (Climate-data.org, u.d.)

6. Analys

I detta kapitel jämförs ventilationssystem utifrån olika aspekter.

Grundprincipen bakom termitinspirerad ventilation är utnyttjandet utav termiska krafter i form av uppvärmning och nedkylning av konstruktionens stommaterial. Utomhustemperaturen är därmed en faktor av stor vikt när det kommer till ventilationens funktion. Att applicera en liknande lösning på en byggnad i ett svalare klimat som i Sverige kan därför påverka ventilationens funktion. Anders Nyquist har skapat en fungerande lösning med termitventilation i Laggarbergs skola i Timrå trots de stora klimatskillnaderna mellan termiternas hemvist och Sverige.

6.1. Jämförelse av ventilationssystem

Nedan kommer de konventionella ventilationssystem att jämföras med termitventilation. Syftet är att skapa en bättre förståelse av samtliga system genom att undersöka likheter och skillnader mellan traditionella ventilation och termitventilation.

Självdragssystem

Självdragssystem har likheter med termitventilation då båda använder termiska skillnader för att driva luftomsättning, medan termitventilation använder sig utav markkanaler (lågt placerade luftintag) istället för dörrspringor, fönster och andra läckor. S-system saknar alltid fläkt, till skillnad från termitventilation som kan ha flertal sådana för att driva luftomsättningen.

F-system

F-system är ett vanligt förekommande ventilationssystem som till stora delar är väldigt likt S-system men även termitventilation. Detta kan anses vara nästa utveckling av självdragssystem och förekommer många gånger i svenska hem. Den drivande faktorn för luftomsättningen är fläkten i systemet, där skillnaden med termitventilationens utformning är det faktum att F-system har sin fläkt i frånluftskanalen medan termitventilation har fläkten i tilluftskanalen. Dessutom använder inte F-system sig utav termiska skillnader på lika stor skala som termitventilationen, utan förlitar sig starkt på sina fläktar.

FTX-system

Som de ovannämnda systemen saknar FTX-system också mark-kanaler, det vill säga: FTX-system har inga låga tilluftskanaler. Däremot går det att jämföra FTX-systemets värmväxlare med termitventilationens markkanaler i egenskaper, då båda dessa bidrar till att stabilisera luftens temperatur. Exempelvis har Laggarberg en tilluftskanal via marken som värms från -20°C till $+2^{\circ}\text{C}$ (Nyquist, 2020) vilket sparar energi för brukaren, påminnande FTX-systemet aggregat. FTX-system använder sig utav luftåtervinning för att nyttja värmen i luften och minimera mängden energi som går åt att värma ny tilluft. Ett biomimetiskt ventilationssystem använder sig inte utav luftåtervinning vilket innebär att 100 % av tilluften är frisk utomhusluft. (Nyquist, 2020)

Kort jämförelse av S-, F-, FT-, FTX-system och termitventilation

	S-system	F-system	FT-system	FTX-system	Termitventilation
Fläktstyrd ventilation		✓	✓	✓	
Återvinning av värme				✓	
Minimal återanvändning av luft	✓	✓			✓
Kontroll av temperatur				✓	
Kontroll av tilluft				✓	
Kontroll av frånluft		✓	✓	✓	
Kräver minimalt med elektricitet	✓				✓
Kräver minimal underhållning och injustering	✓	✓			✓
Minskad energianvändning för uppvärmning av byggnad				✓	✓

Tabell 10 Jämförelse av ventilationssystem

7. Diskussion och slutsats

I detta kapitel diskuteras arbetets resultat och metod. Formande av slutsats.

Biomimetisk ventilation av typen termitventilation är inspirerad av termitstackars uppbyggnad som fungerar som ett självdragssystem kombinerat med värmeväxling. Trots termiternas koldioxidresistans har biomimetiska ventilationssystem mindre avvikelser för att anpassas till att skapa ett gott inomhusklimat, som exempelvis fläktar för att driva på luftflödet eller fönster för att driva på ventilationen under sommaren som i Lagggarbergs skola – men principen är densamma: Att skapa en fungerande ventilation som drivs utav termiska krafter i form av temperaturskillnader i luft. Ventilationssystemet bidrar även till att hålla byggnadens inomhustemperatur stabil och behaglig för ett gott inomhusklimat.

En analys av Janine Benyus uppdelning av biomimetik i tre olika punkter påvisar att biomimetik går att utnyttja på ett flertal olika sätt. Att naturen under en lång tid har utvecklat system och konstruktioner optimerade för specifika arters bruk behöver nödvändigtvis inte innebära att dessa är optimerade för människors behov. En termitstack har utformats för att tillfredsställa de basala behoven för en termits överlevnad, skydd, föda och reproduktion. Trots att dessa behov även går att applicera på människan så är situationen alltmer komplex än så, dagens samhälle är byggt kring så mycket mer än endast överlevnad. Att konstruera en exakt replik av en termitstack och låta den agera som mänskligt boende är en ohållbar idé. Det mest grundläggande argument är att trots att en termitstack kan nå en höjd kring ca 7 meter så består insidan mestadels utav kompakt materia och termiterna färdas genom venliknande transportvägar.

Den termitventilation som ligger till grund för ventilationssystemet i Lagggarbergs skola, Eastgate Centre och Council House 2 är baserad på forskning kring termitbon som senare har kommit till att ändras. Byggnaderna fungerar utifrån de principer de har tagit inspiration från och är mer energieffektiva i avseende ventilation och uppvärmning än byggnader av liknande storlek som använder sig utav FTX-system. Däremot är utformningen av det så kallade biomimetiska ventilationssystemet inte en fullständigt biomimetisk lösning eftersom ny forskning utförd av J.Scott Turner och Rupert Soar visar på att termiters ventilationssystem är långt mer avancerat än vad som tidigare trots.

Istället för att exakt kopiera naturens lösningar kan istället inspiration hämtas och anpassad för mänskligt bruk genom kombination med befintliga lösningar, exempelvis inom VVS. Trots den ringa tid, i förhållande till stora delar av naturen, som människans ingenjörskonst har utvecklat ventilationslösningar så har dessa metoder från start anpassats för mänskligt bruk. Genom kombination av tillvägagångssätt går det att uppnå mer effektiva lösningar anpassade för storleken av mänskliga byggnader så som Mick Pearce gjort vid framtagandet av Eastgate Centre med hjälp av fläktar för att pådriva ventilationsflödet och skapa ett flöde i hela byggnaden.

Anders Nyquist tog inspiration från termitventilation till sin design av Lagggarbergs skola i Timrå. Termitstackarna som Nyquist hämtat inspiration från återfinns i klimat med en årsmedeltemperatur på omkring 10–15°C högre än i Timrå. Att härma en naturlig lösning från en annan biom kan komma att kräva en stor del modifikationer för att skapa ett behagligt inomhusklimat. En mer naturligt inriktad lösning vore att undersöka den lokala floran och faunan och se vilka lösningar som går att ta inspiration från.

Värden som använts för Lagggarbergs skola, Eastgate Centre och Council House 2 som exempelvis inomhustemperatur och energiförbrukning baseras på det data som tillhandahållits av Anders Nyquist respektive Mick Pearce. Då majoriteten av dessa värden inte går att kontrollera har vi valt att lita på att de stämmer baserat på det faktum att båda personerna är respekterade och välkända arkitekter inom byggnadsbranschen.

I intervjun som utförts med Anders Nyquist nämner han att marken i Timrå där tilluftskanalerna är belägna håller en jämn temperatur på 7–8°C året runt, dessa siffror kan ifrågasättas då kanalerna är

placerade på ett djup kring 2m där temperaturen rimligtvis borde variera mer under året. Vi valde dock att lita på siffran av Nyquist då arkitekten är väletablerad som utfört arbeten internationellt och dessutom utfört utformningen för Lagggarberg som har bestått i mer än 24 år och påvisat att byggnadens ventilation fungerar och uppfyller svenska standard. Detsamma gällde när arkitekten Pearce användes under arbetets gång. Mick Pearce har två projekt som klarat tidens prövningar.

Ytterligare ett exempel på skillnader mellan de tre olika byggnaderna är standard och normer kring inomhustemperatur i de tre olika länderna. I Eastgate Centre är inomhustemperaturen kring 26°C då ventilationssystemet kyler byggnaden till önskad nivå. Detta är en acceptabel inomhustemperatur i Zimbabwe där invånarna är vana vid höga temperaturer. Enligt svenska folkhälsomyndigheten är den rekommenderade inomhustemperaturen 20°C vilket är en relativt stor skillnad till Eastgate Centres temperatur på 26°C. Skillnaderna i komfortnivå gör att den inomhustemperatur som ventilationssystem naturligt sätt uppnår kan fungera i ett land men betyder inte att den är acceptabel världen över.

De årsmedeltemperaturer som använts utgår från temperaturförändringarna under ett helt dygn. I Zimbabwe och Australien varierar temperaturen mer under dygnet än vad den gör i Sverige vilket kan leda till delvis missvisande årsmedeltemperatur då det huvudsakligen är dagstemperaturen som avgör byggnadens temperaturbehov.

Den planerade jämförelsen av certifikat och byggnadsstandarder kunde inte utföras. Trots detta finns kapitlet med i rapporten för att påvisa att ett försök till en jämförelsestudie har initierats då detta var en del av arbetets frågeställning.

Arbetet visar att den mest förekommande lösning, som fungerat i konstruktioner som Lagggarberg sedan 1995 och Eastgate Centre sedan 1996, är att utforma termitventilation med fläktstyrt tilluftssystem. Det mest optimala systemet använder sig dessutom utav flertal skorsten placerat utmed taket (*chimney*) och har varit funktionell för samtliga konstruktioner arbetet undersökt.

7.1. Slutsats

Hur varierar prestandan hos ett biomimetiskt inspirerat ventilationssystem av typen termitventilation beroende av klimatet byggnaden är belägen i?

Biomimetisk termitventilation är en typ av ventilationssystem som hämtar inspiration från termitstackar. De termiter vars stackar som ventilationssystemet baseras på återfinns i subtropiskt klimat. Ventilationen fungerar likt ett självdragssystem och FTX-system där den nyttjar naturlig värmeväxling genom termiska krafter för att värma och kyla ned tilluften via underjordiska tilluftskanaler. Utifrån den information som hämtats kring existerande byggnader så fungerar ventilationssystemet för att skapa ett komfortabelt inomhusklimat oavsett vilket klimat som byggnaden är belägen i. Det faktum att byggnadernas ventilationssystem fungerar innebär nödvändigtvis inte att de uppför sig på lika sätt då standarder kring inomhusklimat varierar mellan Australien, Sverige och Zimbabwe.

Vilka är skillnaderna mellan ett existerande biomimetiskt ventilationssystem inspirerat av termitstackar och konventionella ventilationssystem?

Termitventilation har inslag från samtliga tre nämnda ventilationssystem: självdrag-, frånluft- och FTX-system. Termiska rörelser används för att skapa ett luftflöde inom byggnadens ventilationskanaler likt ett självdragssystem. Fläktar driver på luftflödet för att jämnt disponera ut tilluften i byggnadernas lokaler. Stommateriell med hög värmelagringsförmåga fungerar som en naturlig värmeväxlare för att skapa ett gott inomhusklimat likt ett FTX-system. Skillnaden från FTX-system är att i fallet termitventilation så sker värmeväxling utan luftåtervinning vilket ökar luftkvaliteten inomhus och minskar energiförbrukningen.

En jämförelsestudie av olika ventilationssystem utifrån byggnadscertifiering har ej varit möjlig att utföra. De mätvärden som jämförelsestudien var tänkt att baseras på har uteblivit, huvudsakligen på grund av COVID-19. Kontakten med en del kontaktpersoner bröts i ett sent skede av arbetet och någon ny kontakt kunde ej etableras vilket lett till att jämförelsestudien tvingats utebliva.

7.2. Skillnader utifrån byggnadscertifiering

Den ursprungliga tanken för detta examensarbete var att jämföra Laggarbergs skola, Eastgate Centre och Council House 2 efter de riktlinjer som de tre byggnaderna byggts eller certifierats efter samt att jämföra uppmätt data i byggnaderna gällande luftkvalitet och termisk komfort. Detta kunde inte utföras på grund utav brist på mätvärden för de olika byggnaderna. Tanken var att jämföra data för de tre olika byggnaderna och applicera det internationella certifieringssystemet WELL för att se hur de olika byggnaderna förhåller sig till certifikatets krav. Jämförelsen var tänkt att utgå från de tre byggnadernas olika anpassningar av sitt ventilationssystem för att fylla den specifika byggnadens behov.

I fallet Laggarbergs skola fanns enbart mätvärden för byggnaden i helhet, då det endast är tillbyggnaden som byggts utefter biomimetiska principer så klassades denna data som icke relevant för jämförelsestudien då den även inkluderar den del av skolan som använder sig av ett FTX-system.

För Eastgate Centre existerade inte några officiella publicerade mätdata för byggnaden. Ingen information hittades kring huruvida någon form av mätning för luftkvalitet och termisk komfort har utförts för byggnaden. Information kring om certifiering av Eastgate Centre har utförts kunde inte hittas, vilket kan bero på att sådana certifieringar inte är aktuella i Zimbabwe.

En certifiering för Council House 2 har utförts av Green Star Council Australia. Certifieringen tar bland annat hänsyn till inomhusklimat och energi. Då åtkomst för de två andra byggnaderna inte har getts går det inte att utföra en jämförelsestudie med de värden som finns för Council House 2.

Slutligen kan det vara värt att återigen nämna det faktum att arbetet utfördes under omständigheter som gjorde det omöjligt att utföra fysiska besök och därmed mätningar, beräkningar och dylikt för att bekräfta och jämföra certifieringar.

7.3. Inför framtida arbeten

Det här arbetet kan anses vara första steget in i världen av biomimetiska ventilationssystem. Arbetet kunde inte behandla termitventilationen och andra biomimetiska ventilationstyper fullkomligt på grund av brist på respons från olika parter, brist på tid och slutligen på grund av ekonomiska begränsningar.

Övriga nämnvärda byggnader som använder sig av biomimetisk ventilation men som inte nämnts i arbetet är Portcullis House i London som använder ett ventilationssystem inspirerat av termiter.

Framtida arbeten bör innehålla mer konkreta värden från termitventilationer och skapa en rättvis jämförelse med traditionella ventilationssystem. Följande punkter och aspekter måste inspekteras:

- Hur mycket mer kostar ett termitventilationssystem i jämförelse med traditionella ventilationssystem, i både material och framtagning?
- Hur är luftflödet i biomimetiska ventilationssystem? *Mätningar i Laggarberg skola, Eastgate-Centre och Council House 2 krävs för ett optimalt resultat. Dessa värden måste jämföras med konventionella ventilationssystem i området.*
- Hur ser hälsoaspekter ut? Hur ser koldioxidhalten ut i luften i jämförelse med traditionella ventilationssystem? *Mätningar i Laggarberg skola, Eastgate-Centre och Council House 2 krävs för ett optimalt resultat. Dessa värden måste jämföras med konventionella ventilationssystem i området.*

- Är temperaturen behaglig för samtliga brukare? Är trivseln hög? *Mätningar i Laggberg skola och Eastgate-Centre krävs för ett optimalt resultat. Dessa värden måste jämföras med konventionella ventilationssystem i området och det som framtagits för Council House 2.*
- Hur mycket energi sparar fastighetsägaren om dem använder termitventilation? *Beräkningar för Laggberg skola, Eastgate-Centre och Council House 2 krävs för ett optimalt resultat. Dessa beräknade värden måste jämföras med konventionella ventilationssystem i området.*

8. Källförteckning

Anon., u.d. *Biomimicry Institute*. [Online]

Available at: <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>

[Använd 2 4 2020].

Anon., u.d. *Biomimicry Institute*. [Online]

Available at: <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>

[Använd 2 4 2020].

Benyus, J., 1997. *Innovation inspired by nature*. 2:a red. u.o.:Harper Perennial.

Bignell, E. D., Roisin, Y. & Lo, N., 2014. *Biology of Termites: a Modern Synthesis*. 2:a red. London: Springer Science & Business Media.

Biomimicry Institute Team, u.d. *Biomimicry.org*. [Online]

Available at: <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>

[Använd 2 4 2020].

Biomimicry Institute, 2008. *Web.archive.org*. [Online]

Available at: <https://web.archive.org/web/20080227060013/http://biomimicryinstitute.org/about-us/board.html>

[Använd 2 4 2020].

Biomimicry Institute, u.d. *Biomimicry Institute*. [Online]

Available at: <https://biomimicry.org/janine-benyus/>

[Använd 2 4 2020].

Biomimicry Institute, u.d. *Biomimicry Institute*. [Online]

Available at: <https://biomimicry.org/biomimicry-examples/>

[Använd 28 4 2020].

Biophilic Design Initiative, u.d. *Biophilic Design Initiative*. [Online]

Available at: <https://living-future.org/biophilic-design/>

[Använd 23 4 2020].

Boverket, 1993. *BFS 1993:57*. u.o.:u.n.

Boverket, 2018. <https://www.boverket.se/>. [Online]

Available at: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/om-bbr/foreskrifter-och-allmanna-rad/>

[Använd 09 04 2020].

Brewbooks, 2012. *iNaturalist.org*. [Online]

Available at: <https://www.inaturalist.org/observations/131613>

[Använd 3 5 2020].

City of Melbourne, 2010. *City of Melbourne*. [Online]

Available at: <https://www.melbourne.vic.gov.au/building-and-development/sustainable-building/council-house-2/Pages/council-house-2.aspx>

[Använd 3 4 2020].

City of Melbourne, 2020. <https://www.melbourne.vic.gov.au/Pages/home.aspx>. [Online]

Available at: <https://www.melbourne.vic.gov.au/building-and-development/sustainable-building/council-house-2/Pages/about-council-house-2.aspx>

[Använd 09 05 2020].

- Climate-data.org, u.d. *Climate-data.org*. [Online]
Available at: sv.climate-data.org
[Använd 30 03 2020].
- Climate-Data, u.d. *Climate Data*. [Online]
Available at: <https://en.climate-data.org/oceania/australia/victoria/melbourne-764100/>
[Använd 14 5 2020].
- ClimaTemps, 2019. *ClimaTemps*. [Online]
Available at: <http://www.harare.climatemps.com/>
[Använd 14 5 2020].
- Dr Philip Paevre, S. B., 2008. *Indoor Enviroment Quality and Occupant productivity in the CH2 Building: Post-Occupancy summary*, Melbourne: CSIRO.
- F.V Vincent, O. B. N. B. A. B. A.-K. P., 2006. *NCBI*. [Online]
Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1664643/>
[Använd 1 4 2020].
- Folkhälsomyndigheten, 2016. <https://www.folkhalsomyndigheten.se>. [Online]
Available at: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/nyheter-och-press/nyhetsarkiv/2016/januari/sa-varmt-ska-det-vara-inomhus/>
[Använd 14 05 2020].
- Folkhälsomyndigheten, 2019. *Folkhälsomyndigheten*. [Online]
Available at: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/kompletterande-vagledning-om-ventilation/>
[Använd 28 4 2020].
- Folkhälsomyndigheten, 2019. *Folkhälsomyndigheten*. [Online]
Available at: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/kompletterande-vagledning-om-ventilation/>
[Använd 12 05 2020].
- Granlöf, L., 2020. *Skriva litteraturförteckningar* [Intervju] (28 02 2020).
- Green Building Council Australia, 2020. *Green Building Council Australia*. [Online]
Available at: <https://new.gbca.org.au/green-star/rating-system/design-and-built/>
[Använd 03 04 2020].
- Hugo Sjörs, S. G. N., 2020. *Nationalencyklopedin (NE)*. [Online]
Available at: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/tajga>
[Använd 14 05 2020].
- Hunter King, S. O. L. M., 2015. *Termite Mounds Harness Diurnal Temperature Oscillations For Ventilation*, Princeton: Princeton University.
- IEA, 2019. *International Energy Agency*. [Online]
Available at: <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2019/aviation>
[Använd 23 3 2020].
- Lundquist, A., u.d. *Lunds Universitet*. [Online]
Available at: <http://www.djur.cob.lu.se/Djurartiklar/Info/varmblodig.html>
[Använd 19 4 2020].

- Lupo, L. J., 2019. *The Spruce*. [Online]
Available at: <https://www.thespruce.com/difference-between-ants-and-termites-2656329>
[Använd 9 4 2020].
- McNaughton, S., 2018. Termite Climate Control. *National Geographic*, 01 05, pp. 36-37.
- NASA, u.d. *climate.nasa.gov*. [Online]
Available at: <https://climate.nasa.gov/evidence/>
[Använd 21 3 2020].
- NASA, u.d. *Wright NASA.gov*. [Online]
Available at: <https://wright.nasa.gov/researched.htm>
[Använd 23 3 2020].
- NC State University, 2015. <https://www.ncsu.edu/>. [Online]
Available at: <https://energy.ces.ncsu.edu/stack-effect-defined/>
[Använd 09 05 2020].
- NE.se, 2020. *Nationalencyklopedin*. [Online]
Available at: <https://www.ne.se/>
[Använd 16 03 2020].
- Nyquist, A., 2020. *Laggarbergs skola* [Intervju] (27 04 2020).
- O'Connor, T., 2010. *Antweb*. [Online]
Available at: <https://www.antweb.org/antblog/2010/04/whats-the-difference-between-an-ant-and-a-termite-eric-from-sheboygan-wi.html>
[Använd 28 4 2020].
- Patel, R. & Davidson, B., 2011. *Forskningsmetodikens grunder*. 4:1 red. Lund: Studentlitteratur AB.
- Pawlyn, M., 2016. *Biomimicry in Architecture*. 2:a red. London: RIBA Publishing.
- Pearce, M., 2000. *Eastgate for students*. Harare: u.n.
- Pearce, M., 2016. <https://www.mickpearce.com>. [Online]
Available at: <https://www.mickpearce.com/Eastgate.html>
[Använd 11 05 2020].
- Pearce, M., 2016. <https://www.mickpearce.com>. [Online]
Available at: <https://www.mickpearce.com/CH2.html>
[Använd 12 05 2020].
- Pearce, M., 2016. *mickpearce.com*. [Online]
Available at: <https://www.mickpearce.com/CH2.html>
[Använd 03 04 2020].
- Pearce, M., 2020. *Eastgate Centre Intervju* [Intervju] (18 03 2020).
- Pearce, M., 2020. *Eastgate for students*. Harare: Mick Pearce.
- Pohl, G. & Nachtigall, W., 2015. *Biomimetics for Architecture & Design*. 1:a red. Schweiz: Springer International Publishing.
- Provence & Beyond, u.d. *Beyond*. [Online]
Available at: <https://www.beyond.fr/people/monier-joseph.html>
[Använd 24 4 2020].
- Soar, R. & Turner, S. J., 2008. *Beyond Biomimicry*, Leicester: Loughborough University.

Socialstyrelsen, 2005. *Temperatur Inomhus*. [Online]

Available at:

<https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/a22abd3cdc1042e195d50fe4484a7fb9/temperatur-inomhus.pdf>

[Använd 12 05 2020].

Stockholms avfuktningssgrupp AB, 2020. *Mikrobiell och mikrobiellpåväxt*. [Online]

Available at: <http://mikrobiell.se/index.php/vad-ar-mikrobiellpavaxt/>

[Använd 15 05 2020].

Strålsäkerhetsmyndigheten, 2019. *Strålsäkerhetsmyndigheten*. [Online]

Available at: <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/omraden/radon/rad-och-rekommendationer/referensniva-och-gransvarden-for-radon/>

[Använd 12 05 2020].

Svensk Betong, 2020. *Svensk Betong*. [Online]

Available at: <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-prefab/miljo-och-hallbarhet/energieffektivitet/varmelagringsformaga>

[Använd 17 03 2020].

Svensk ventilation, u.d. <http://www.svenskventilation.se>. [Online]

Available at: <http://www.svenskventilation.se/lagar-regler/obligatorisk-ventilationskontroll-ovk/>

[Använd 19 4 2020].

The Popular Science Monthly: volume 19, 1919 . *Archive.org*. [Online]

Available at: <https://archive.org/details/popularsciencemo19newy/page/n6/mode/2up>

[Använd 2 4 2020].

Turner, J. S., 2000. *The Extended Organism: The Physiology of Animal-Built Structures*. 1 red.

Boston: Library of Congress Cataloging in Publication Data.

Tyréns AB, 2011. *LOKALUTREDNING TIMRÅ KOMMUN 2011 För- grund- och gymnasieskola*,

Timrå: Timrå Kommun.

Warfvinge, C. & Dahlblom, M., 2010. *Projektering av VVS-installationer*. 1:1 red. u.o.:Kristianstad

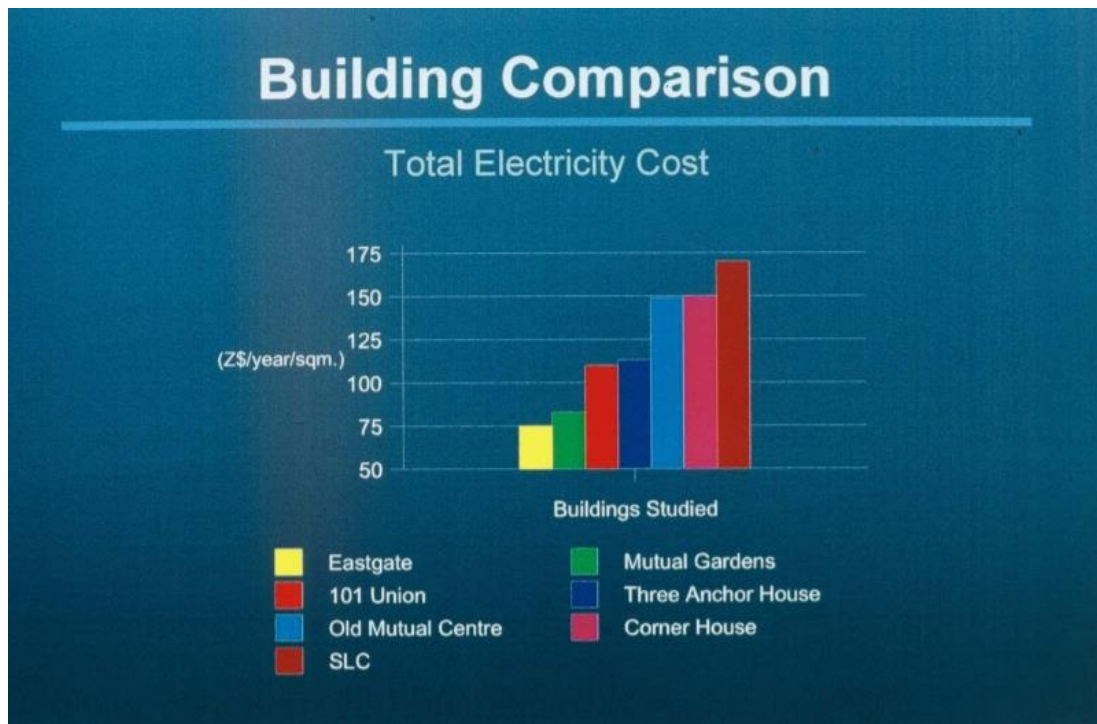
Boktryckeri AB.

WWF, u.d. *WWF.Panda.org*. [Online]

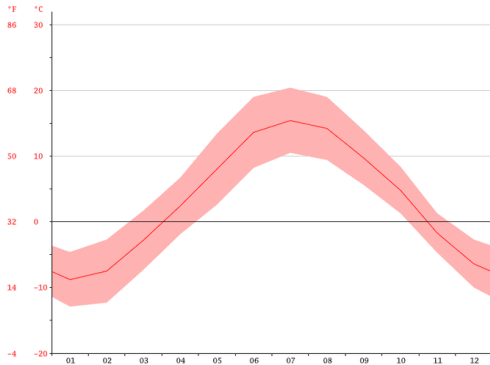
Available at: https://wwf.panda.org/our_work/wildlife/problems/habitat_loss_degradation/

[Använd 2 4 2020].

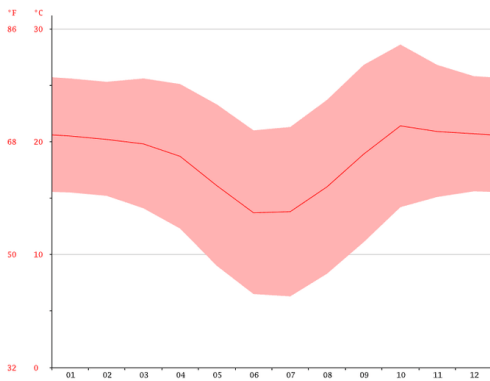
Bilagor



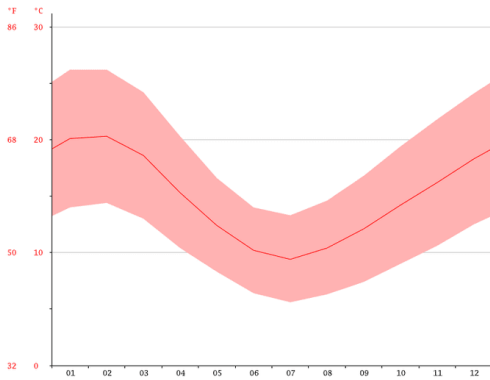
Bilaga 1 Jämförelsestudie av energianvändning i 7 olika byggnader (Pearce, 2000)



Bilaga 2 Årlig medeltemperatur Timrå (Climate-data.org, u.d.)



Bilaga 3 Årlig medeltemperatur Harare (Climate-data.org, u.d.)



Bilaga 4 Årlig medeltemperatur Melbourne (Climate-data.org, u.d.)

T, [°C]	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	ÅMT
Timrå Sverige	-8,8	-7,5	-2,8	2,4	8	13,6	15,4	14,2	9,7	4,8	-1,7	-6,4	3,4
Harare Zimbabwe	20,5	20,2	19,8	18,7	16,1	13,7	13,8	16	18,9	21,4	20,9	20,7	18,4
Melbourne Australien	20,1	20,3	18,6	15,3	12,4	10,2	9,4	10,4	12,1	14,2	16,2	18,3	14,8

Bilaga 5 Temperaturvariation över ett år samt årsmedeltemperatur i de tre orterna (Climate-data.org, u.d.)

Bilaga 5.

Intervju med Anders Nyquist

Intervju med arkitekten Anders Nyquist utförd via Skype den 28/4–2020, frågor och svar är transkriberade från ett videosamtal. Frågor och svar är transkriberade ordagrant, delar av svaren är förkortade för att filtrera ut irrelevant information.

Observera att B står för Bamdad Mashreghi, H för Hugo Landin och A för Anders Nyquist i följande intervju.

B: Vad var det som fick dig att välja biomimetik [termitventilation] istället för ett vanligt ventilationssystem?

A: Jag hade sett en sådan lösning här i Göteborg, i Kungälv, på en skola som en kollega till mig hade ritat. Torkel Andersson som är den som här i Sverige är bäst på den tekniken han hade gjort den här skolan och då började jag att läsa på och fann då att det här är en gammal teknik att bringa ventilation och bra luft till byggnader. (...) Det som är intressant är då det är väldigt varmt, i tropiska klimat framförallt men även i Sverige. Då har vi vissa perioder på året med nästan 100 % relativ fuktighet. Det inträffar ju i Sverige framförallt i augusti och september det är då man får problem med mögel och röta i byggnaderna. Genom att leda luften via kanaler i marken så avfuktas man ju också luften, det är också väldigt betydelsefullt sommartid. Så ventilationssystemet för Lagggarbergs skola var så att jag inte ville ha några fläktar och jag ville ha bra ventilation och de flesta skolor har jäkligt dålig ventilation även när man då har så kallad mekanisk ventilation av olika slag. Så då föreslog jag denna lösning och den fungerar ju fortfarande. Jag skrev till er att de håller på att bygga om men det var mer luftintagen som behövde byggas om, för övrigt så fungerar ju det hela. Ventilationen [i Lagggarberg] kyler ju sommartid och det är till och med så att lärare i skolan har sagt att det är för kall sommartid och det tycker jag är ett bra betyg för ett ventilationssystem i en träkåk, hyggligt isolerad i och för sig. Vi vet ju att är det 25–26°C utomhus under vår och höst så i skolor i Sverige är det ju då minst samma temperatur inomhus och då går det inte att bedriva undervisning. Jag tycker att det då är ett gott betyg att lärarna säger att det är för kallt inomhus.

H: Har ventilationssystemet i Lagggarberg anpassats någonting för termiterna som man tar inspiration från lever ju i subtropiska Afrika, ett klimat som skiljer sig stort från det svenska?

A: Principen är ju densamma, man tar in luften via marken och i marken är det ju oftast året om en ganska jämn temperatur på 7–8°C så du kyler ju sommartid och förvärmer vintertid så den luft som kommer in vintertid är kanske 2°C istället för -20°C. Då spar man ju i det fallet väldigt mycket energi. Något jag inte hade räknat med och som är en bonus är att vi har ju ett plåttak på skolan och mellan plåttaket och isoleringen är det nästan 20 cm luftutrymme och den luften värms ju höst, sommar och vår av plåttaket. Det sätter en rejäl fart på luften och den avluftas uppe i lanterninen om ni har sett på bilderna som jag skickade över så är det en lanternin där vi alltså avluftar utrymmet mellan plåttaket och isoleringen men också klassrummen. Den varma luften som alstras när solen skiner gör att vi speedar upp och det blir en ejektorverkan och den drar med sig inomhusluften så de har aldrig behövt öppna fönstren, jag satte ju fönster i lanterninerna för att kunna få en naturlig ventilation genom att man öppnar fönstren i klassrummet och i lanterninen men det har de aldrig behövt göra utan det funkar med den här ejektorverkan sommartid från plåttaket som blir som en solfångare, en grej som jag inte hade räknat med men som blev en bonus.

H: Behöver man vara mer noggrann med utformning av termitventilation än vid ett system som går att reglera i efterhand?

A: Jag skulle vilja säga att det är tvärtom, ett traditionellt ventilationssystem går aldrig att justera in. Solen lyser på tre olika fasader under ett dygn vilket förändrar förutsättningarna i byggnaden. Det kan inte ett ventilationssystem svara upp mot. Det kräver alltså väldigt mycket underhåll, anpassning och justering. Om man frågar i ett hus med traditionell ventilation hur det går med

ventilationen så svara de ofta “den håller vi på att justera in” och då frågar jag hur länge sedan det byggdes och så säger de “ett år sedan och vi kan inte veta hur lång tid det kommer att ta”. Det här är en ganska vanlig kommentar på denna fråga. En annan del som vi har använt oss av är levande växter i ventilationen. Flygplatsen i Sundsvall har jättestora växtfilter där 90 % av luften cirkulerar, vilket jag tror är inspirerat utav mina lösningar när dem ritade den anläggningen. Vi har använt det uppe i Umeå på Green Zone, där har vi tropiska växter som renar luften. (...)