

Husbyggnads- och installationsteknik med biomimik

Therese Heckler

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2014
Rapport TVIT--14/5045



Lunds Universitet

Lunds Universitet, med åtta fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 112 000 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 800 anställda och 47 000 studerande som deltar i ett 280 utbildningsprogram och ca 2 200 fristående kurser.

Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat. Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmade hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmesystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.



Husbyggnads- och
installationsteknik
med
biomimik



Therese Heckler
Lunds Tekniska Högskola
Våren 2014

© Therese Heckler
ISRN LUTVDG/TVIT--14/5045--SE(62)
Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
22100 LUND

Förord

Detta examensarbete har genomförts vid Lunds Tekniska Högskola på avdelningen för Installationsteknik under våren 2014. Arbetet har främst bestått i litteraturstudier och utvärdering av rådande forskning kring ämnet.

Idén till ämnet initierades av ett program på Kunskapskanalen som sändes under hösten 2013 och handlade om hur arkitekter inspirerats av biomimik för att designa smarta byggnader. Det fångade genast mitt intresse och satte igång funderingar kring om någon liknande forskning bedrivits inom husbyggnads- och installationsteknikområdet. Lyckligtvis var sådant fallet och en del av denna forskning är även refererad i detta examensarbete.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Birgitta Nordquist för att redan från början stöttat idén kring ämnet för examensarbetet och att jag fått förtroendet att utforma arbetet självständigt under hela dess förlopp.

Malmö, maj 2014

Therese Heckler

Sammanfattning

Detta examensarbete handlar om hur husbyggnads- och installationsteknik kan inspireras av biomimiken med målet att bygga energieffektiva byggnader med tillfredställande inneklimat. Syftet har varit att genom litteraturstudier undersöka vilka tekniska lösningar som finns att tillgå i dagsläget, samt redogöra för forskning inom området. I arbetet beskrivs lösningar främst med lokalbyggnader och bostäder i åtanke och ett fokus på nybyggnation finns. Dock är biomimiklösningarna för den delen inte begränsade till denna typ av byggnader utan kan i den mån det är lämpligt även appliceras på andra.

Genom litteraturstudier där artiklar, tidskrifter och böcker studerats har arbetet vuxit fram. Några exempel på material, byggnader och installationstekniker som finns i dagsläget beskrivs inledningsvis och en redogörelse kring vad som definierar en energieffektiv byggnad görs för att få en uppfattning om inom vilka gränser biomimiken måste verka. Nästföljande kapitel initieras med ett stycke om biomimiken och dess grundtankar. Det görs även jämförelser mellan mänskliga och biologiska system för att ge en inblick i skillnader och likheter mellan de båda. Arbetet fortsätter med att redogöra för olika material, installationstekniker och sätt att utvinna energi, varvid en uppdelning av dessa gjorts efter dess tillhörighet inom husbyggnads- och installationsområdet. Det sista avsnittet handlar om hur man genom Sahara Forest Project lyckats knyta samman de olika biomimiklösningarna för att skapa en helhet bättre än dess ingående komponenter var för sig.

De två grundstenarna i arbetet utgörs av biomimiken och husbyggnads- och installationstekniken och om det går att inspireras av det förstnämnda för att optimera det andra diskuteras bland annat i det näst sista kapitlet. Slutsatsen är att det finns mycket inspiration att hämta, men svårigheten ligger i att sälla bland de lösningar som gör miljö- och energinytta i ett livscykelperspektiv från de som enbart ger en omedelbar förbättring. Just att skapa sig en helhetsbild är central när det gäller att kombinera biomimik med husbyggnads- och/eller installationsteknik, men görs detta finns det många sätt människan kan lära sig utav naturen.

Abstract

This master thesis describes how building services engineering can be inspired by biomimicry with the main goal of obtaining energy-efficient buildings with satisfactory indoor climate. The aim has been to examine the available technologies on the market and present the research in the field. The work describes solutions, primarily concerning commercial buildings and homes and a focus has been put on new construction. The biomimicry solutions are however not limited only to this type of buildings and can therefore, to the extent appropriate, also be applied to other type of buildings.

The work has emerged through literature studies on articles, journals and books. Some examples of materials and building service techniques that are available is described initially. This is followed by a statement about the current definition of an energy efficient building so that the limits within which biomimicry must act is known. The next chapter is initiated with an explanation of biomimicry and its basics. It also compares human and biological systems to provide insight into the differences and similarities between the two. The thesis continues to account for different materials, building service techniques and possible sources to energy, wherein a split is made after its affiliation within the previous chapter and its paragraphs. The last section is about how the Sahara Forest Project managed to tie together the various biomimicry solutions and create a whole, better than its components separately.

The two cornerstones of the work consists of biomimicry and building service engineering. If it is possible to be inspired by the former to optimize the second is discussed in the penultimate chapter. The conclusion is that there is much inspiration to pick up from biomimicry, but the difficulty is to sift through the solutions that make environmental and energy benefits in a life cycle perspective from those who only gives an immediate improvement. An overall view is the key when it comes to combining biomimicry with building service engineering and as soon as such an approach is taken there are many ways to be inspired by the nature.

Innehållsförteckning

Förord	i
Sammanfattning.....	iii
Abstract.....	v
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar.....	1
1.4 Metod.....	2
2 Litteraturstudie	5
2.1 Husbyggnads- och installationsteknik	5
2.1.1 Värme, kyla och ventilation	6
2.1.2 Byggnadsmaterial och ytor	8
2.1.3 Energi	10
2.1.4 Hur definieras en energieffektiv byggnad i Sverige?	11
2.1.5 Energieffektiva byggnader enligt FEBY	13
2.1.6 Problemen med att definiera energieffektivitet... ..	17
2.1.6.1 ... i Sverige.....	17
2.1.6.2 ... I USA.....	21
2.2 Biomimik	23
2.2.1 Det naturliga i att imitera naturens lösningar.....	23
2.2.2 Perspektiv för en röd tråd.....	24
2.2.3 Värme, kyla och ventilation	27
2.2.3.1 Skalbaggar drar vatten ur luft.....	27
2.2.3.2 Myror som ventilerar sina stackar	29
2.2.3.3 Termitbo till kontor	31
2.2.4 Byggmaterial och ytor	36
2.2.4.1 Bikakeinspirerat fönsterglas	36
2.2.4.2 Lotusblommans rena blad	37
2.2.4.3 Cement som förbrukar koldioxid	37
2.2.4.4 Blåmusslor till lim	39

2.2.5 Energi	40
2.2.5.1 Solenergi från löv – Artificiell fotosyntes	40
2.2.5.2 Att arrangera solkraftverk	43
2.2.6 The Sahara Forest Project.....	44
3 Diskussion.....	47
3.1 Definition av energieffektiva byggnader	47
3.2 Att värma, kyla och ventilerar i praktiken	48
3.3 Materialens egentliga nytta.....	49
3.4 Smart solenergi och grönskande öken	50
4 Slutsatser.....	51
Referenser	53
Bildreferenser.....	61

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Att tänka grönt ligger i tiden. Företag skyltar gärna med att de bygger miljöcertifierat och gemene man har fått upp ögonen för hur viktigt det är att jordens resurser tas tillvara och att utsläppen av växthusgaser minskar. Så vi äter ekologiskt, kör elbil och klimatkompenserar samtidigt som isarna smälter.

Mitt i allt detta gör biomimiken entré och förklarar att vi istället bör ta ett steg tillbaka och lyssna på naturen för en hållbar framtid. Tanken är att människan måste inse att hon inte vet allt och istället lära av naturen som redan förfinat sina processer och tekniker i nära 3,8 miljoner år. Synsättet kan appliceras inom många områden; såväl medicin som husbyggnadsteknik och har visat sig vara ett framgångsrikt tillvägagångssätt för att optimera både form och funktion hos en produkt.

Ordet biomimik kommer från grekiskan och är en sammanslagning av bios, som betyder liv och mimesis som betyder imitation (Benyus, 2002). Det är ett synsätt där naturen utgör referensramen och naturens processer blir inspirationskällan för att lösa problem.

Detta examensarbete handlar om just biomimik och hur kunskap om det naturliga kan vävas samman med husbyggnads- och installationsteknik. Målet är att uppnå en välfungerande byggnad där ett bra inneklimat med avseende på luftkvalitet, luftflöde och temperatur kombineras med energieffektivitet.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att genom litteraturstudier undersöka om husbyggnads- och installationstekniken kan inspireras av biomimiken, med målet att bygga energieffektiva bostäder med bra inneklimat. Syftet är också att beskriva vilka tekniska lösningar som finns att tillgå i dagsläget, samt redogöra för forskning inom området.

1.3 Avgränsningar

Arbetet kommer behandla lokaler och bostäder, men tar inte upp byggnader med speciella krav, såsom exempelvis sjukhus eller laborationslokaler. Arbetet fokuserar på nybyggnation, men vissa lösningar och produkter kan även appliceras på befintliga hus. Ett fokus på energieffektivitet har valts, men även andra viktiga faktorer för att uppnå en välmående byggnad kommer att beskrivas.

1.4 Metod

Vägen till insamling av fakta och litteratur initierades av en artikel av Raymond J Cole, "Shifting performance expectations: Net Positive buildings" (Cole, 2013), som erhöles av handledaren i början av arbetet. En genomgång av Cole:s referenslista gjordes för att se om någon artikel kunde vara av intresse. En sökning i Lunds Universitets bibliotekskatalog LOVISA efter dessa författare gav dessvärre inga sökträffar, medan ett försök via sökmotorn Google gav något bättre utdelning. Jag gjorde även en sökning i universitetsbibliotekets datorbas (LUBsearch), varvid sökordet "Biomimik" gav en träff på ett TV-program om Nanoteknikens framtid, vilket således inte var relevant för arbetet. En vidare sökning på ordet "Biomimetik" i samma databas gav dock bättre utdelning med 392 träffar, "Biomimetik och ventilation" gav noll träffar och "Biomimetik och building" gav 15 träffar. Att Biomimik är ett nyare begrepp och område än Biomimetik kan förklara resultatet. Biomimik syftar till att inspireras av naturens processer och system, medan Biomimetik mer är ute efter att manipulera naturen och har kritiserats för att inte vara etisk och hållbar i det långa loppet (Gunne, 2012). Exempelvis har man inom Biomimetikforskningen "genmodifierat getter så att de kan producera mjölk med ett protein liknande det som spindeltråden är uppbyggt av."

I Lunds Universitets bibliotekskatalog LOVISA hittades senare även två böcker via sökordet "Biomimicry". Den ena var "Biomimicry in architecture" av Michael Pawlyn och den andra "Biomimicry: innovation inspired by nature" av Janine M. Benyus. Benyus är biolog i grunden, men föreläser även på University of Montana och grundade år 1998 The Guild tillsammans med Dr. Dayna Baumeister (The Biomimicry 3.8 Institute, 2012). "The Guild" var tänkt att erbjuda konsultation till biologer och lära dem hur naturens modeller kunde hjälpa dem i skapandet av nya produkter och processer. Nyfikenheten för vad mer Janine Benyus hade publicerat ledde mig via Google till Biomimicry 3.8, grundat år 2006 efter att boken "Biomimicry: innovation inspired by nature" gjort succé. Det är en "icke-vinstdrivande organisation som främjar studier och imitation av naturens anmärkningsvärt effektiva konstruktioner och samlar forskare, ingenjörer, arkitekter och innovatörer i alla åldrar som kan använda dessa modeller för att skapa hållbar teknik" (The Biomimicry 3.8 Institute, 2012). På denna sida fanns det länkat videoklipp, föreläsningar samt konferenser rörande ämnet Biomimik (se fliken "Inspiring videos"). Under fliken "About – Resources" hittades även en "Reading list" med intressanta böcker inom ämnet. Några av dessa böcker eftersöktes via LOVISA, med återigen utan någon större framgång.

Via hemsidan Biomimicry 3.8 hittades även Ask Nature, som är en form av on-line bibliotek där biomimikentusiaster kan läsa och publicera artiklar om pågående forskning och produkter baserade på biomimik. "The Biomimicry 3.8 Institute, är Ask Nature:s moderorganisation" och målet med hemsidan är att "rådföring av naturen ska göras till en naturlig del av innovationsprocessen" (Ask Nature, 2014). Via en sökmotor kunde exempelvis texten "how does nature ventilate", generera en rad korta artiklar på ämnet. I artiklarna angavs namn på det företag som utvecklar produkten eller litteraturhänvisningar. Företagen och artiklarna i fulltext, i den mån de fanns tillgängliga, hittades sedan via sökmotorn Google. Under arbetets gång har det varit svårt att i referenslistor hitta intressanta artikeltitlar och att få tag på dem. Inga artiklar som har kostat pengar har lästs.

En stor del av läst material inom biomimik har varit på engelska och återfunnits online. I kapitlet som behandlar husbyggnads- och installationsteknik har dock materialet i första hand varit på svenska. Då något behövt förtydligas har Nationalencyklopedin varit en trogen källa till kunskap.

Det finns fler böcker än de jag refererat till inom ämnet biomimik, dock har de under arbetets gång varit svåra att få tag på via Lunds Universitets bibliotek. Många gånger har sökningar av publikationer lett mig till Researchgate (<http://www.researchgate.net>), som dessvärre alla gånger förutom en, krävt ekonomisk ersättning för att använda deras tjänst.

Gällande Husbyggnads- och installationsteknikdelen har jag till stor del utgått från Enno Abel och Arne Elmroth:s bok "Byggnaden som system". Den elektroniska versionen av BBR samt hemsidan för Sveriges Centrum för Nollenergihus har även besökts.

Jag har ofta sökt ytterligare information om artikelförfattarna, exempelvis på vilka universitetet eller organisationer de varit verksamma, hur lång tid personen i fråga forskat på ämnet, om de publicerat fler vetenskapliga artiklar än den funna och om de omnämnts i andra studier som referens. Detta har gjorts för att i mesta möjliga mån eliminera oseriösa publikationer som saknar vetenskaplig grund och därmed hålla en hög standard på examenarbetet.

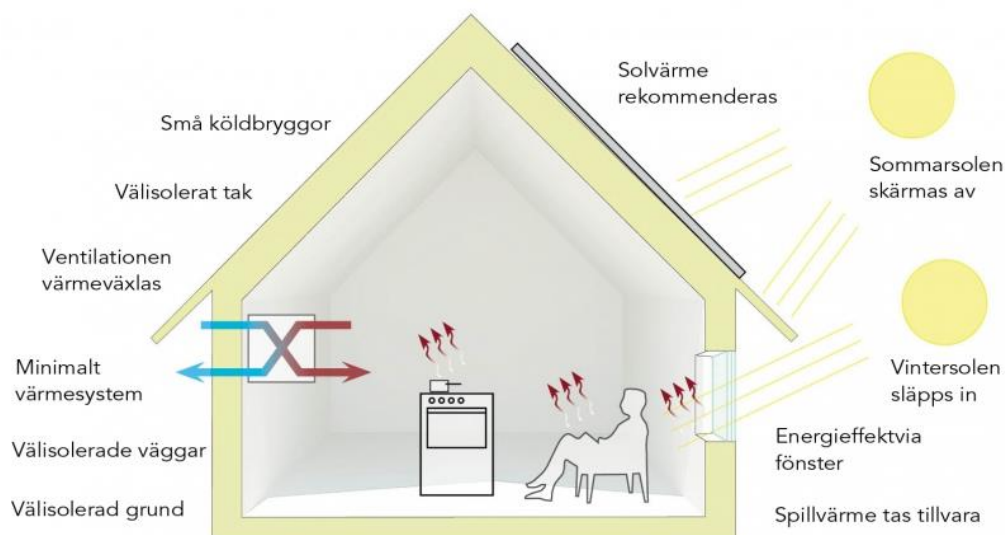
2 Litteraturstudie

För att få en förståelse om hur biomimiken kan tillämpas inom husbyggnads- och installationsteknik, inleds det andra kapitlet med en genomgång av husbyggnads- och installationsteknik. Anledningen är att ge en grundläggande förståelse om vad som krävs utav en energieffektiv byggnad och veta på vilka pelare biomimiken ska vila och vart den kan göra nytta. För att optimera något måste man först veta vad som ska optimeras och varför. Litteraturstudien i de inledande kapitlen 2.1.1-2.1.3 bygger främst på Enno Abel och Arne Elmroth:s bok "Byggnaden som system" (Abel & Elmroth, 2008) och kapitel 2.1.5 utgår från Sveriges Centrum för Nollenergihus (SCNH, 2012). Läsaren som är välorienterad i detta område kan fortsätta till kapitel 2.2, som behandlar biomimik.

2.1 Husbyggnads- och installationsteknik

Hur fungerar en byggnad, vad gör en byggnad energieffektiv och hur klimatregerar vi våra hem? En byggnad, stor som liten bör ses som ett system, där varje detalj utgör en viktig del i ett större sammanhang som tillsammans bildar en välfungerande byggnad, energieffektiv och beständig. För att uppnå detta bör stor vikt läggas inte bara på projektering, utan syftet med byggnaden bör finnas med som en röd tråd i alla steg i processen. Ett slarvigt hantverk räddar inte det mest väldimensionerade huset och vice versa. Med stora penseldrag kan det konstateras att en energieffektiv byggnad förbrukar lite energi, förvaltar den tillhandahållna energin på bästa sätt och ser till så att onödiga energiförluster inte sker. En energieffektiv byggnad använder likt namnet antyder energin effektivt och är något som bör eftersträvas för varje enskilt hus.

Att bygga energisnålt får dock inte tumma på de krav som finns på god inomhusmiljö. Luftkvalitet, luftflöde och operativ temperatur måste även vara tillfredställande för att en trivsamt helhet ska kunna uppnås.



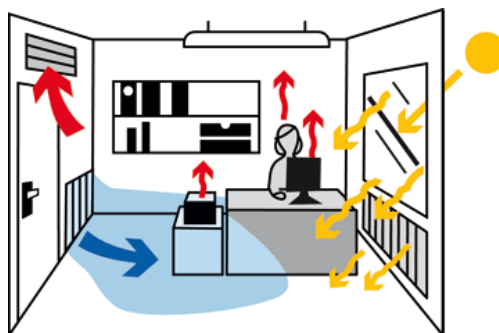
Figur 1: Systembild hus. Källa: Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013.

2.1.1 Värme, kyla och ventilation

För att uppnå ett bra inneklimat måste först de faktorer som påverkar detta fastställas. Det är samspillet mellan de varierande faktorerna såsom uteklimat och typ av aktivitet i byggnaden, brukarbeteende och de relativt statiska såsom byggnadsmaterialens värmekapacitet och typ av klimatstyrande installationer som tillsammans reglerar hur varmt, hur kallt och hur kvaliteten och flödet på luften blir. Klimatsystemets generella uppgift är både att säkerställa kvalitet och renhet av luften samt reglera för värmeunderskott och värmeöverskott. Systemet ska dock inte vara överdimensionerat ur energisparsynpunkt och en stor byggnad, likt kontor eller skola bör utnyttja värmeväxling på ventilationen. Spillvärme bör även tas tillvara i största möjliga mån (SCNH, 2013). Valet av hushållsapparater, tekniska lösningar samt val av klimatsystem inverkar på byggnadens energianvändning. Då man väljer energitekniska lösningar till ett boende eller verksamhet bör man välja lösningar som inte försämrar den funktion huset är avsett för. De tekniska lösningarna får heller inte dra mer total energi än vad de icke-energisparande lösningarna/inga energibesparande lösningar hade gjort; då uppnås inget energieffektivt byggande. De tekniska lösningarna bör vara anpassade efter sitt ändamål, vara åtkomliga och lätta att kontrollera och underhålla.

I ett enskilt rum i en byggnad sker det ett ständigt utbyte av värme mellan konstruktion, rumsluft och förlust genom klimatskalet. Den internvärme som produceras i rummet värmer rumsluften, varvid värmekapaciteten hos konstruktion inverkar på rumsytornas temperatur och således på hur den operativa temperaturen slutligen blir. BBR ger allmänna råd om att under vintern, i enighet med dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT) ska byggnader utformas så att "den lägsta riktade operativa temperaturen i vistelsezonen beräknas bli 18 °C i bostads- och arbetsrum och 20 °C i hygienrum..." (Boverket, 2013, p. 100). Inga allmänna råd om riktad operativ temperatur ges för sommarmånaderna.

För en kontorsbyggnad är önskvärt att de ytor som ligger ut mot rummet har god värmebuffrande förmåga, då endast 5-10 cm av väggens djup hinna svara på temperaturväxlingar över dygnet. Ett rum som kan jämna ut dygnsvariationerna ökar chansen för ett trivsamt inneklimat. Värmeenergin från solinstrålningen påverkar även rummets temperatur där olika slags ytor absorberar olika mycket värme. Förhållandet mellan massa och yta på det objekt som träffas av solenergin avgör också hur snabbt energin omvandlas till värme, där omsättningen är snabbast för en liten massa, med stor yta, exempelvis invändiga persienner.



Figur 2: Värme och ventilation i ett kontorsrum. Källa: Arbetsmiljöverket, 2014.

När det gäller ventilation är det essentiellt att rätt typ av ventilationssystem och rätt mängd flöde projekteras till rätt typ av byggnad. En lyckad dimensionering resulterar i ett trivsamt inneklimat, med låga driftskostnader. En villa bör exempelvis aldrig dimensioneras så att kyla behöver tillföras för att föra bort värmelaster, utan ventilationsflödet ska främst säkerställa luftkvaliteten och huset ska istället dimensioneras för passiva kylåtgärder. En större byggnad, med många besökare kräver dock oftast tillförsel av kyla för att kunna föra bort värmeöverskottet.

Flödet in i alla typer av byggnader ska möta både det hygieniska kravet på luftflöde och det flöde som krävs för att uppnå ett behagligt termiskt inneklimat. I BBR återfinnes minimikraven på ventilationsflöde till byggnader i kapitel 6 Hygien, hälsa och miljö (Boverket, 2013, p. 94). BBR anger i de allmänna råden att lufthastigheten i vistelsezonen vintertid inte bör överstiga 0,15 m/s och under sommaren inte nå över 0,25 m/s (Boverket, 2013, p. 100). Det finns även tvingande krav för ventilationsflödet i byggnader, varvid det aldrig får understiga $0,35 \text{ l/s, m}^2$ (Boverket, 2013, p. 96). Ett undantag gäller bostäder med närvaro- eller behovsstyrd ventilation, men flödet får aldrig "bli lägre än $0,10 \text{ l/s, m}^2$ då ingen vistas i bostaden och $0,35 \text{ l/s, m}^2$ då någon vistas där."

Ventilationsluften bör heller inte vara för fuktig eller för torr och ska föras in i byggnaden utan att drag eller obehag i vistelsezonen uppstår. Allt som oftast är det hygieniska kravet lättare att uppnå än det "termiska kravet" och det kan exempelvis nämnas att kontorsbyggnader ofta behöver 2-3 gånger så stort flöde för att klara de termiska kraven på inneklimatet än de hygieniska.

Kulvertar är ett sätt att dra in kylig luft under mark, som sedan förs runt i byggnaden och är förhållandesvis kostnadseffektivt. Dock är risken för fuktproblem förhöjd speciellt sommartid, då varm luft tas in och kyls av, vilket resulterar i högre relativ fuktighet i kulverten. Värmelasterna i en större byggnad kan dessutom ventileras bort mekaniskt eller med kylbafflar. Fördelar med luftburen kyla i större byggnader är att frånluften oftast värmes, vilket gör att energibehovet för att värma tilluften blir relativt liten. Nackdelen är att ventilationsrör och undercentral kräver stor plats. Fördelar med kylbafflar eller kylande ytor är att det tar mindre plats, är tysta och lätta att reglera efter kylbehov. Nackdelen är att kyla oftast måste tillföras även vintertid på grund av internvärmeproduktionen, vilket gör att elkostnaderna ökar.

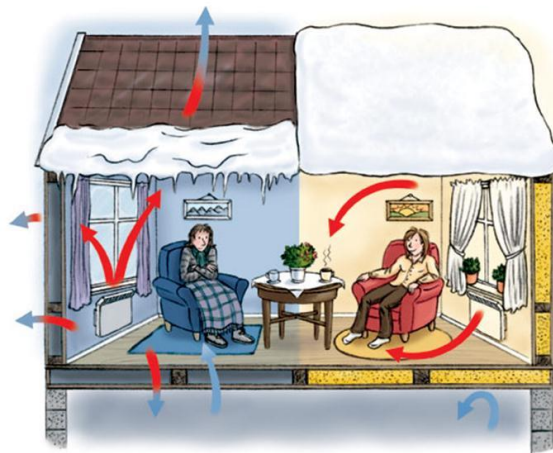
För att säkerställa det hygieniska kravet för ventilationsluften behövs rätt flöde. Dock bör även partikelhalten i luften hållas låg. I såväl bostäder som kontorslokaler och skolor, krävs det oftast, på ett eller annat sätt rening med filter för att få bort ohälsosamma partiklar i tilluften. Vid korrekt skötsel och underhåll av filtret renas luften effektivt från exempelvis mineraler och oorganiska ämnen. Dock är gaser, exempelvis kväveoxid och ozon desto svårare att få bort ur tilluften utan att kostnaderna för detta skjuter i höjden. Vid korrekt dimensionerad ventilation ska dock merparten av dessa gaser försvinna med frånluften.

2.1.2 Byggnadsmaterial och ytor

Det essentiella för att uppnå en välfungerande byggnad är att alla ingående komponenter tillsammans höjer prestationen hos huset. Huset bör ses som ett system där idealet är att varenda komponent fyller sin funktion och är optimerad därefter. En yttervägg är ett sådant exempel där varje materialskikt fyller en specifik given funktion och tillsammans utgör ett system, ännu bättre presterande än varje material för sig.

Klimatskärmen; den del av byggnaden som står i direkt kontakt med uteklimatet är en viktig faktor för en välfungerande byggnad. Dess prestation ger konsekvenser på transmission och luftläckage genom byggnaden, vilket medför att värme försvinner ut genom klimatskalet.

Klimatskärmen ska vara välisolerad, tät mot väta och fukt, lufttät och beständig i tiden för att tjäna sitt syfte. Det bör eftersträvas så små köldbryggor och så små otätheter som möjligt i denna. Den ska inte konstrueras på sådant sätt att det finns risk att inneklimatet försämras och vikt bör läggas på detaljutformning mot andra element och öppningar, såsom tak, grund, fönster och dörrar. Förutom att uppnå en teknisk välfungerande klimatskärm bör den även vara tilltalande arkitektoniskt, och vice versa. Det bör nämnas att det visuella och det tekniska kan gå hand i hand utan att någon av dessa faktorer tar överhand.



Figur 3: Illustrationen visar vikten av en välisolerad klimatskärm. Källa: Energiby Novia, 2014.

Generellt består en vägg av flera isolerande lager för att minska både värmetransporten och fukttransporten genom väggen. För att minska luftrörelser i isoleringsmaterialet används någon form av vindsydd; antingen i form utav en skiva, väv eller tät isolering, exempelvis stenull tät monterat, så att läckage genom detta inte uppstår. Det går även att vindsyddas med lösfilfnadsisolering.

Precis som för övriga ytor som angränsar mot uteklimatet ska även grunden vara välisolerad. För såväl platta på mark som inne- och uteluftsventilerad kryppgrund är det viktigt att hålla en väl tilltagen isolertjocklek och att grundkonstruktionen projekteras fukttät. Detta minimerar värmetransporten ut genom bjälklaget mot kryppgrunden samt minimerar fuktskador i eventuell kryppgrund och bjälklag. Detaljlösningar, exempelvis anslutning vägg/grund bör vara noga projekterade och konstruerade så att köldbryggor i största möjliga mån undviks, vilket annars kan leda till att stor mängd värme

transporteras genom köldbryggan. En konstruktion med köldbryggor resulterar i ökad energianvändning, vilket inte är helt förenligt med en lågenergibyggning.

Genom fönster är värmetransporten "10 gånger större per ytenhet än genom en välisolerad yttervägg". Då fönsters U-värde är ett sammanlagt U-värde för glas, karm och bågar krävs det god isolering och täta lösningar i alla delar av fönstret som innebär möte med ett nytt materialskikt. Ett högpresterande fönster har ett lågt U-värde och släpper in önskvärd mängd solvärme, generellt med tyngd på liten andel, men däremot hög andel dagsljus. Det är dock en balansgång som kan vara svår att uppnå. En liten tumregel är att placera fönstren klokt och anpassa solskyddet till väderstreck. Ett alternativ till fasta solskydd är att plantera träd framför exempelvis ett söder-, väst- eller östliggande fönster. Under våren, när solen står medelhögt på himmeln och sommaren, då det råder höga dygnstemperaturer kan solen skärmas bort med hjälp av trädens blad och krona, för att under vintern, när löven fallit ned släppa in en välbehövlig mängd. Vårsolen är eventuellt något lättare att skärma bort då den inte kräver ett lika högt träd som under sommaren, när solen står högre på himmeln (SMHI, 2007). Storleken på fönstren ska även vara rimlig i förhållande till fönstrets läge, geografi och förväntad solinstrålning på platsen. Alltför stora glasytor i söderläge är inte att rekommendera medan ett/flera stort/stora fönster i norrläge vanligen inte genererar några problem med övertemperaturer. Ett fönster i ett bostadshus bör dock aldrig vara så stort att extra kyla måste tillföras för att ventileras bort värmeöverskottet som fönstret bidrar till.

Generellt bäst inneklimat uppnås för fönster med lågt U-värde och utvändiga solskydd. Ett fönstersystem har oftast 2-4 glasrutor, med antingen lågemissionsskikt utav silver- eller tennoxid eller ett eller flera skikt med någon form av ädelgas; krypton eller argon. Lågemissionsskiktet minskar värmebelastningen i rummet genom att stänga ute delar av värmestrålningen medan ädelgasen reducerar värmetransporten ut ur rummet på grund av lägre värmeledande förmåga än luft. Ett välisolerat fönster ger en högre invändig yttemperatur än ett fönster med högt U-värde och bidrar både till att höja den operativa temperaturen i rummet. Under vintern kan det även vara avgörande för hur stor andel av vistelsezonen som användas, då ett dåligt isolerat fönster, med högt U-värde kan skapa drag och kallras, vilket gör ytan närmast fönstret till en ogästvänlig plats.

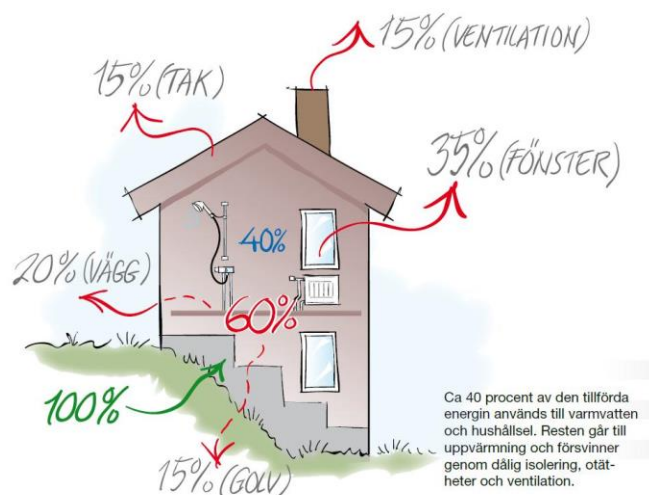


Figur 4: Energi. Källa: Swedavia, 2014.

2.1.3 Energi

För att kunna värma upp våra byggnader krävs oftast någon form av utomstående energikälla. Energin kan förekomma antingen som värme eller arbete, där värme skapas genom förbränning eller omvandling av el och arbete är flödande och kan generera elektrisk energi. Fossilt bränsle, naturgas eller biobränsle förbränns direkt i egen panna, medan värmepumpar, elpannor och elektriska radiatorer kräver elenergi. Alternativt använder man sig av fjärrvärme och/eller utnyttjar solenergin. Om varmvattnet är uppvärmt med el, eller om solfångare används för detta ändamål, bör en ackumulatortank installeras, för att inte i onödan slösa på el till vattenuppvärmningen.

När energiomvandlingen skett förs sedan värmen ut till byggnaden antingen via vattnet för att antingen cirkulera i ett radiatorsystem eller golvvärmesystem eller via luften med så kallad luftburen värme. I kontorsbyggnader kan det vara effektivt att installera kylbafflar, för att vid behov antingen värma eller kyla rumsluften.



Figur 5: Illustration över hur den tillförda energin delar upp sig mellan olika poster vid ett dåligt isolerat "standard"bostadshus. En stor mängd transmitteras ut genom klimatskalet. Källa: Energiby Novia, 2014.

Det finns olika poster som energianvändningen till installationer och dylikt i bostäder och lokaler delas upp på. Den energin som krävs till fläktar (för ventilation), vattencirkulationspumpar, tvättstugor, belysning utomhus, hissar etc. benämns fastighetsel. Hushållsel är däremot den el som brukaren använder i själva hushållet till exempelvis hushållsmaskiner, tv, belysning etc. För lokalbyggnader tillkommer posten verksamhetsel där namnet även här gör det klart att det är el till det som behövs för att driva verksamheten, såsom el till datorer, kopiator, belysning i lokalen etc.

Behovet av energi till byggnader är beroende på den arkitektoniska utformningen av byggnaden, dess syfte (bostad eller lokal), geografiska läge, orientering i vädersträck och materialval etc. Dock påverkas energianvändningen lika mycket av valet av installationer, dess eventuella värmeåtervinning och verkningsgrad och även hur brukarvanorna ser ut, lokalens verksamhetstider, korrekt injustering av distributionssystem och underhåll.

2.1.4 Hur definieras en energieffektiv byggnad i Sverige?

År 2010 tog EU fram ett direktiv kallat "Energy Performance of Buildings" som fastställde att alla nya byggnader i medlemsländerna skulle vara "Nära Nollenergibyggnader" inom 8-10 år (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 7). Måldatumet för offentliga byggnader sattes till år 2018 och övriga nya byggnader till år 2020 (European Commission, u.d.). Direktivet angav inom vilka ramar byggnaderna skulle prestera energimässigt, men själva korrigeringen av byggreglerna lämnades till var och en av medlemsländerna att definiera. I Sverige har EU-direktivet resulterat i att varje enskild kommun har rätt att utforma egna standarder och nivåer, tvingande eller rekommenderade för nybyggnation, så länge minimikraven för BBR uppfylls (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 2 & 33).

Boverkets byggregler anger alltså minimikravet för hur en byggnad ska prestera och avser såväl nyproduktion och ombyggnation som tillbyggnation. BBR fastställer de regler som måste följas, men ger även allmänna råd som inte är tvingande (men än rekommenderade att följa). Den senaste utgåvan BBR 20 är en ändringsförfattning, vilket innebär att både BBR 19, BBR 20 och grundförfattningen BBR 18 behövs för att kunna tolka byggreglerna (Boverket, 2013). Dock har Boverket givit ut en konsoliderad version med byggregler och samtliga ändringar till och med BFS 2013:14 BBR 20. En planerad ändring av BBR till den 1 juli 2014 är dock på gång. Kapitel 9, som behandlar energihushållning är speciellt intressant gällande hur det i Sverige anses att en energieffektiv byggnad ska prestera.

I BBR finns krav på bostäder och lokalers "specifika energianvändning, installerad eleffekt för uppvärmning och genomsnittliga värmegenomgångskoefficient för de byggnadsdelar som omsluter byggnaden" (Boverket, 2013, p. 145). Den specifika energianvändning mäts i kWh/m² A_{temp}, år och innefattar energi som går åt till uppvärmning, tappvarmvatten, komfortkyla och fastighetsenergi, men innefattar inte hushållsenergi och verksamhetsenergi (Boverket, 2013, p. 143). Kraven är beroende på om byggnaden är eluppvärmd eller ej och delas in efter klimatzon (I, II eller III). Solenergi får tillgodoräknas för både lokaler och byggnader, vilket enligt BBR innebär att värdet på byggnadens specifika energianvändning får reduceras. Vissa undantag från avgiven maximal elenergi och eleffekt är dock tillåten då "särskilda förhållanden föreligger" exempelvis vid kulturhistoriska och geologiska begränsningar (Boverket, 2013, p. 146). För lokaler får även ett tillägg på den specifika energianvändningen göras om "uteluftsflödet av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s, m² i temperaturreglerade utrymmen." Tillägget görs på den specifika energianvändningen och beror på det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen (se "+ tillägg" i tabell 2).

Tabell 1: Tabell över specifik energianvändning för **bostäder**. Källa: BBR 20, 2013.

kWh/m ² A _{temp} , år	Klimatzon I	Klimatzon II	Klimatzon III
Max icke elvärmda	130	110	90
Max elvärmda	95	75	55

Tabell 2: Tabell över specifik energianvändning för lokaler. Källa: BBR 20, 2013.

kWh/m ² A _{temp} , år	Klimatzon I	Klimatzon II	Klimatzon III
Max icke elvärmdda	120	100	80
+ tillägg	110(q _{medel} -0,35)	90(q _{medel} -0,35)	70(q _{medel} -0,35)
Max elvärmdda	95	75	55
+ tillägg	65(q _{medel} -0,35)	55(q _{medel} -0,35)	45(q _{medel} -0,35)

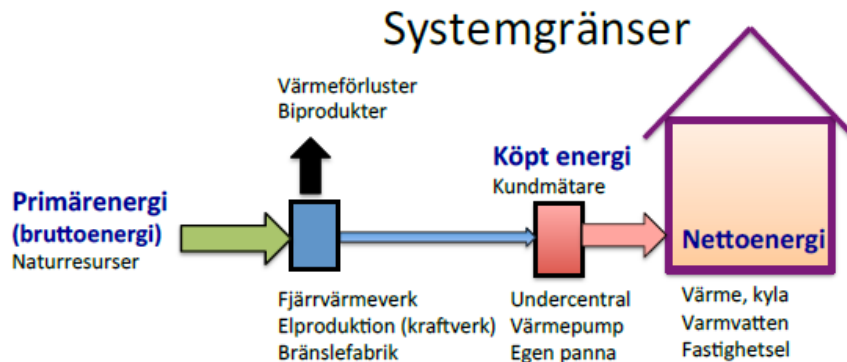
Vidare finns krav på lufttäthet med syftet att säkerställa ovan nämnda krav på byggnadens specifika energianvändning, eleffekt och liknande (Boverket, 2013, pp. 147, 149). Kapitel 9:4 beskriver att vissa undantag dock får göras från gällande krav på energianvändning, vilket gäller byggnader som saknar kylbehov, mindre byggnader ($A_{temp} \leq 100 \text{ m}^2$) och byggnader med fönster- och dörrarea mindre än $0,2 \cdot A_{temp}$. Dessa alternativa bestämmelser skiljer byggnader som är eluppvärmda/ej eluppvärmda åt och hänvisar till krav gällande "byggnadens värmeisolering, klimatskärmens täthet och värmeåtervinning" (Boverket, 2013, p. 149). Vidare tas det upp bestämmelser för värme- och kylinstallationer och krav på styr- och reglersystem för klimatsystem. Kap 9:6 reglerar bland annat krav på "effektiv energianvändning" varvid det kan konstateras att de "installationer som kräver elenergi" i en byggnad måste "utformas så att effektbehovet begränsas och energin används effektivt" (Boverket, 2013, p. 151). Det finns även krav på mätsystem för energianvändning, att byggnadens energianvändning måste kunna avläsas, men enbart allmänna råd, i form av olika procentsatser att förhålla sig till, gällande vad som anses vara låg energianvändning. Då en byggnad förbrukar 50 % av de i BBR definierade maxvärdena på specifik energianvändning anses den ha "mycket låg energianvändning". Vid 75 % av maxvärdena anses "låg energianvändning" råda (Boverket, 2013, p. 152). Sista kapitlet behandlar bestämmelser vid ändringar av byggnationer och tas inte upp här.

Utöver de krav som finns i BBR och som måste uppfyllas, kan en byggnad även certifieras eller klassas enligt vissa system. Val av system är beroende på om klassningen avser bostad eller lokal och om det är miljö- eller energiklassning som avses. De energiklassningssystem som finns i Sverige är FEBY 12, Passivhus och GreenBuilding samt SS 24300 och kan användas på såväl befintliga som nya byggnationer (Heincke, et al., 2013, p. 6). FEBY 12 och Passivhus kan användas för att klassa både bostäder och lokaler, medan GreenBuilding är applicerbart på lokaler vars yta maximalt upptas till 49 % av bostäder. SS 24300 kan användas för att klassa både bostäder och lokaler men är "snarare en standard än ett klassningssystem" (Heincke, et al., 2013, p. 6). Gällande miljöklassningssystem finns det i dagsläget BREEAM, LEED, Miljöbyggnad och Svanen.

Energiklassningssystemen GreenBuilding och SS24300 har krav på byggnadernas energianvändning helt enligt BBR:s krav, medan Passivhus och FEBY 12 har en egen klassificering. I följande kapitel redogörs om vilka krav på byggnader som ställs enligt FEBY 12. Fokus på just detta klassningssystem har valts då den avser både bostäder och lokaler, är erkänd i byggkretsar samt att den maximalt tillåtna energianvändningen för byggnader är strängare än BBR:s krav. BBR:s krav är lagstadgade och därmed tvingande minimikrav för en byggnad, medan FEBY 12 är ett sätt att energiklassa en byggnad och således ett frivilligt komplement om en tuffare energihushållning eftersträvas.

2.1.5 Energieffektiva byggnader enligt FEBY

En energieffektiv byggnad kan ses som "en byggnad vilkas energiförluster från klimatskärm och ventilation är så låga att värmebehovet netto ligger på den nivå som gäller för passivhus" (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 11). Det är strävan mot låg andel nettoenergi, det vill säga den energin som går åt till värme/kyla, varmvatten och fastighetsel i byggnaden som bland annat är bedöms i FEBY 12, där FEBY står för Forum för Energieffektiva byggnader (SCNH, 2013).



Figur 6: Systemgränser för primärenergi, köpt energi och nettoenergi. Källa: ATON, 2012.

För att en byggnad ska falla inom något av FEBY:s kriterier för antingen passivhus, minienergihus eller nollenergihus ställs det olika höga krav på energianvändning, beroende på vilken av benämningarna det handlar om. Hårdast krav har nollenergihus, därefter kommer passivhus och "lättast" krav har minienergihus. Nedan text kommer redogöra för skillnaderna och likheterna mellan dessa kategoriseringar.

Det var Forum för Energieffektiva Byggnader (FEBY) som ursprungligen författade kravspecifikationen utifrån EU's normer, men ansvaret ligger numera hos Sveriges Centrum för Nollenergihus (SCNH). Det finns en kravspecifikation för bostäder och en för lokaler, varvid det i korthet kommer redogöras för båda.

För att en byggnad ska kallas passivhus måste det vara av "hög komfort, god kvalitet, använda minimalt med energi och bidra till minskningen av koldioxidutsläppen". För bostäder finns två "skallkrav" som måste uppfyllas: ett maxvärde på byggnadens värmeförlusttal respektive mängd levererad årsenergi. Den levererade årsenergin definieras genom byggnadens specifika energianvändning och inkluderar såväl värme som varmvatten och fastighetsenergi. Posten inkluderar förluster i undercentraler, kulvertar från och med anslutningspunkten.

Då den levererade årsenergin beräknas tas hänsyn till om byggnaden är eluppvärmd (hit räknas även byggnader med värmepumpar) eller ej, eller om byggnaden är en blandning av dessa två. Den maximalt tillåtna årsenergin beror dessutom på inom vilken klimatzon byggnaden ligger.

Tabell 3: Tabell över levererad årsenergi till **bostäder** – Passivhus. Källa: SCNH, 2012.

kWh/m ² A _{temp} , år	Klimatzon I	Klimatzon II	Klimatzon III
Max icke elvärmda	58	54	50
Max elvärmda	29	27	25

I det fall den uppmäter A_{temp} på mindre än 400 kvadratmeter görs ett litet tillägg på värdena ovan, det vill säga byggnaden tillåts förbruka mer energi. Vid en kombination av energislag kommer ett nytt uttryck in i bilden; Energiformsfaktor. Denna faktor tar hänsyn till vilken slags energi som levereras in till byggnaden, varvid olika former av energi ges olika stor vikt mellan 0,4 och 1,0. För fjärrkyla uppnås den lägsta formfaktorn på 0,4. För fjärrvärme är den 0,8. "Övrig energi, såsom biobränsle, naturgas etc." landar på 1,0 och elenergi för drift av huset viktas till 2,5. Ju lägre formfaktor, desto bättre anses energislaget vara och desto lättare är det att klara de uppsatta kraven för levererad årsenergi.

Dessa ovan nämnda krav på bostäder inom kategorin passivhus gäller även för vissa lokaler, såsom skolor, serviceboenden och kontor. Siffervärdena skiljer sig dock något åt.

Tabell 4: Tabell över levererad årsenergi till **lokaler** – Passivhus. Källa: SCNH, 2012.

[kWh/m ² A _{temp} , år]	Klimatzon I	Klimatzon II	Klimatzon III
Max icke elvärmda	53	49	45
Max elvärmda	29	27	25

För idrottsanläggningar och byggnader med butiker finns dock i FEBY 12 endast "börkrav" om att den specifika energianvändningen ska ligga på samma nivå som för övriga byggnader. Det finns dock olika referensvärden att förhålla sig till och inte att förglömma ett redovisningskrav på varmvatten, kyla, värme och fastighetsenergi. Det rekommenderas även att verksamheter som använder mycket varmvatten bör ha någon form av återvinning på detta.

Vidare är kraven på hur höga värmeförlusttalen får vara (byggnadens värmeförluster på grund av transmission, luftläckage och ventilation) olika stort beroende på vilken klimatzon (I till III) bostaden eller lokalen befinner sig i. Dock skiljer sig värdena inte åt beroende på och det är bostad eller lokal som avses.

Tabell 5: Tabell över värmeförlusttal för **bostäder** och **lokaler** – Passivhus. Källa: SCNH, 2012.

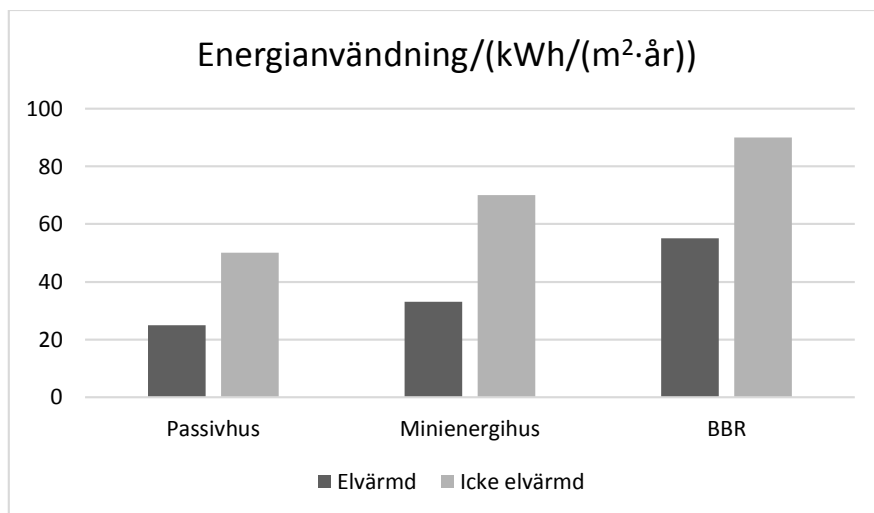
	[Wm ² A _{temp}]	Klimatzon I	Klimatzon II	Klimatzon III
Bostäder och lokaler	Max VFT _{DVUT}	17	16	15

Även här gäller att om huset är mindre än 400 kvadratmeter A_{temp} görs ett litet tillägg på värmeförlusttalet. De olika klimatzonerna är fastställda av BBR. För lokalbyggnader finns även ett tillägg på värmeförlusttalet om verksamheten pågår längre tid än 60 h per vecka.

Ett nollenergihus innebär en slags förlängning av passivhuset; det vill säga har samma krav på värmeförlusttal och levererad årsenergi, men dessutom ett krav på inlevererad och utlevererad energi för byggnaden. Byggnaden får alltså använda lika mycket eller mindre energi som det producerar/levererar och beräkningarna avser ett år. Energin till byggnaden och energin från byggnaden viktas med samma energiformsfaktor, det vill säga oberoende om energin förs till eller från huset, men själva faktorn skiljer sig dock åt, beroende på vilket energislag som avses. Vid beräkningarna används samma energiformsfaktor som för beräkning av blandad energi för passivhus, vilket kan ses i nedan ekvation.

$$E_{\text{viktad}} = 2,5 \cdot \Sigma(E_{\text{el till}} - E_{\text{el från}}) + \Sigma(E_{\text{ö till}} - E_{\text{ö från}}) + 0,8 \cdot \Sigma(E_{\text{fjv till}} - E_{\text{fjv från}}) + 0,4 \cdot \Sigma(E_{\text{kyla till}} - E_{\text{kyla från}}) \leq 0 \quad [\text{kWh}_{\text{viktad}}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}, \text{år}]$$

För minienergihus gäller även krav på värmeförlusttal och levererad årsenergi, men värdena på dessa ligger högre än för passivhus, vilket alltså lite krasst innebär att mer energi får lov att slösas. De ligger någonstans mellan de som anges i BBR19 och de som är för passivhus. På värdena för både värmeförlusttalet görs ett tillägg på $5 \text{ W}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$ och den levererade årsenergin görs ett tillägg på $20 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$ för icke eluppvärmda och $8 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$ för icke eluppvärmda ovanpå de som gäller för passivhus. Samma storlek på tillägget görs oavsett byggnadstyp (bostad eller lokal). Detta tillägg resulterar i att kraven är lättare att uppnå, men huset istället får kalla sig minienergihus istället för passivhus.



Figur 7: Stapeldiagram över max energianvändning för passivhus och minienergihus, där de svarta staplarna representerar elvärmd bostad och grå icke elvärmd. Diagrammet avser kriterier för klimatzon III. BBR:s krav finns även med som referens. Källa: Diagram enl. SCNH, 2013.

För att summera finns det alltså krav på maximal mängd levererad energi för vissa lokalbyggnader, men på alla bostäder och krav på maximalt värmeförlusttal för samtliga lågenergibyggnader enligt FEBY 12. Kraven är olika stora beroende på vilken typ av byggnad (passivhus, nollenergihus eller minienergihus) man ämnar bygga, klimatzon (I, II eller III) som byggnaden befinner sig i och vilket värmesystem (el/ej el/blandning) som används. Nollenergihusen har dessutom, som tidigare nämnt, även ett "specialkrav" på summan energi till och från byggnaden som baseras på levererat energislag. Det görs även tillägg på värdena för "mindre" bostäder och lokaler.

Då man studerar FEBY 12 finns det förutom värmeförlusttal och levererad årsenergi ytterligare krav som byggnaden måste uppfylla. Till exempel får ventilationssystemet inte väsnas för mycket och byggnadens inomhustemperatur måste redovisas. Observera att krav finns på att den beräknade temperaturen redovisas, inte att den understiger ett visst värde – det finns det bara råd om. Som ett alternativ till att redovisa inomhustemperaturen kan istället solvärmefaktorn (SVF) anges så länge den underskrider ett i FEBY 12 angivet värde. För bostäder gäller värdet det rum som har högst andel solinstrålning och för lokaler beror gränsvärdet på om byggnaden är lätt eller tung.

Vidare får luftläckaget genom klimatskärmen inte vara för stort och värmetransporten genom glaspartier har ett maximum U-värde att förhålla sig till. Hårdast krav på U-värde har passivhus.

Det ställs även krav på hur energianvändningen redovisas. Posterna hushållsel/verksamhetsel, fastighetsenergi och värmeenergi måste kunna läsas av månatligen, var för sig. Betydande mängd av elförbrukning utanför klimatskärmen kräver också en separat post då den inte genererar någon spillvärme. För bostäder gäller att "SFP-värden för ventilation, elanvändning för pumpar, belysning och annan el för byggnadens drift redovisas...". För lokaler gäller att "elansvändningen liksom spillvärme från dessa installationer kalkyleras..."

Gällande bostäder kan spillvärme utnyttjas från olika installationstekniska produkter innanför klimatskalet, varvid det beräknas att 100 % kan utvinnas från pumpar, fläktar i tilluften, belysning inne i byggnaden och värmeackumulatorer. Även för varmvattencirkulation anges ett värde på 100 %, dock med förutsättningen att "ledningarna är dragna inom klimatskärmen", vilket innebär att ledningar utanför klimatskärmen ger 0 % spillvärme. Från fläktar i frånluften går det att utvinna 80 % spillvärme då värmeväxlaren är placerad efter motorn. Slutligen fastställs det att 70 % spillvärme från personer och hushållsapparater kan hämtas. Några ytterligare råd som ingår är att flerbostadshus bör ha temperaturmätare, funktionskontroll av spjäll och luftflödesmätare vid tilluft. Gällande lokalbyggnader antar man att 70 % av elenergin kan ge spillvärme och att viss spillvärme även kan erhållas från belysning och personer.

När det kommer till restriktioner för fukt och tillväxt på material i bostäder och lokaler ställs det krav på att synlig mikrobiologisk påväxt "av onormal mängd" inte får förekomma på material. Det råds även om vilken fuktkvot träslag bör ha i olika skeden av byggnationen och att golv inte bör överstiga sitt kritiska fuktillstånd.

För att en byggnad ska få lov att använda FEBY:s olika benämningar på lågenergihus måste ovan nämnda krav uppfyllas och kan sedan benämnas vara projekterat, certifierat och/eller verifierat enligt låghusstandard. Dock finns det i dagsläget endast rutiner för certifieringsprocessen av lågenergihus. För att få påstå att byggnaden är projekterat lågenergi krävs ingen egentlig granskning utan det räcker att byggherren försäkrar att standarden uppnås och att de beräknade värdena följer FEBY:s kriterier. Byggnaden kan vidare bli certifierad genom att ett granskningsorgan, via SCHN stämmer av ett antal parametrar kopplade till husets prestation med sina protokoll och kalkyler. För att nämna några studeras bland annat; U-värde på fönster, köldbryggor, SFP, termisk komfort, VVC-förluster och årsenergi. Det är slutligen när byggnaden tagits i drift som statusen "verifierat lågenergihus" kan uppnås. Mätningar gör således för att kontrollera så att de förväntade/beräknade värdena verkligen stämmer.

2.1.6 Problemen med att definiera energieffektivitet...

Följande stycke tar i korthet upp de svårigheter som i dagsläget finns med att bedöma en byggnads energieffektivitet. I takt med att globala utsläppsmål sätts upp tvingas byggbranschen ta fram energieffektiva lösningar, såväl tekniska som materialmässiga. En byggnad som förbrukar lite energi är givetvis ett mål som bör eftersträvas, men att tillförseln av denna energi är bra och miljövänlig är lika viktigt. Just vart energin kommer från, vilka naturresurser som använts och dess påverkan på miljön är en diskussion som en teknikconsultfirma vid namn ATON bland annat har belyst i en rapport. Rapporten sammanställs med syftet att vara underlag till Sveriges Kommuner och Landsting (SKL) och redogör för ”erfarenheter och problemställningar kring energieffektivt byggande”. Ytterligare ett fokus i rapporten är utformningen av lokala energikrav, hur dessa kan utformas för att möta ”energi- och miljöpolitiska mål” och om strängare byggregler än BBR egentligen behövs.

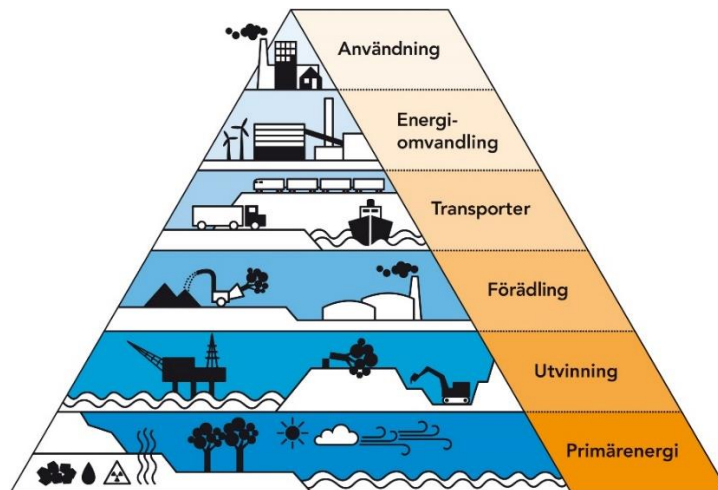
De energikrav som i dagsläget finns på byggnader är även de energikrav som måste gälla då eventuella biomimiklösningar tas i anspråk. För att biomimiken ska kunna användas och göra byggnader mer energieffektiva, bör en inblick i begreppets komplexitet fås. Att optimera en byggnad utan att veta vad som optimeras är alltså något som bör undvikas.

2.1.6.1 ... i Sverige

Rapporten inleds med att redogöra för kritik som uppkommit i samband med BBR 19. Som tidigare nämnt i kapitel 2.1.5, har en nyare version av BBR utkommit den 18 juni 2013 och går under namnet BBR 20 (Boverket, 2013). BBR 20 är en ändringsförfattning och kräver grundförfattningen för att kunna tolkas korrekt och i sin helhet. Det har senare utkommit en konsoliderad version för att underlätta tolkningen, som tar med samtliga ändringar (ändringsförfattningar) och byggregler till och med BBR 20. Trots att det är den näst senaste versionen som åsyftas i rapporten, är en stor del av kritiken ändå applicerbar på BBR 20. Begreppet primärenergi nämns nämligen fortfarande inte i BBR 20 och fokus är, liksom BBR 19, på den energi som levereras in till byggnaden (Boverket, 2013). Rapporten av ATON tar initialt upp en del av kritiken av just BBR 19 men inkluderar även den kritik som uppkom ”i samband med utredningen om Nära nollenergibyggnader” (ATON Teknikconsult AB, 2012, p. 6). Rapporten beskriver vidare de svårigheter som i dagsläget finns gällande bedömningen om en byggnad är energieffektiv eller ej. En sammanställning av kritiken visar att Naturvårdsverket menar att man först och främst försummat ”miljönyttan i de ekonomiska kalkylerna”. En annan åsikt är att då lagstadgade krav kräver tid att förändras och etableras bör en utredande process inte dröja allt för länge. BBR 19 kritiserar för att inte innehålla beräkningsanvisningar, vilket menas skapa en alltför bred frihet i utformningen av energikalkyler och försvåra kommunernas arbete med att försöka tolka dessa.

I rapporten redogörs vidare att BBR 19 inte följer EU-direktivets anvisningar om att ”begreppet byggnadens energiprestanda även ska betrakta primärenergi.” (ATON Teknikconsult AB, 2012) Med primärenergi åsyftas den ursprungliga energin, exempelvis råolja, vind eller skog som ännu inte omvandlas till någon annan form av energi, exempelvis el och fjärrvärme (Nationalencyklopedin, 2014). Måttet på hur stor mängd primärenergi som använts för att skapa den slutliga förbrukningsbara energikällan skiljer sig dock åt beroende på vilken energiform det gäller (Mölnadal Energi, 2013).

Naturresursen går genom olika steg av förädling och för varje steg uppåt i pyramiden blir det mindre och mindre energi som kan nyttjas till nästa steg. Differensen mellan stegen "förloras" till de processer som krävs för att slutligen kunna utnyttja energikällan. Figuren nedan åskådliggör just hur energianvändningen generellt ser ut "från vaggan till grav".



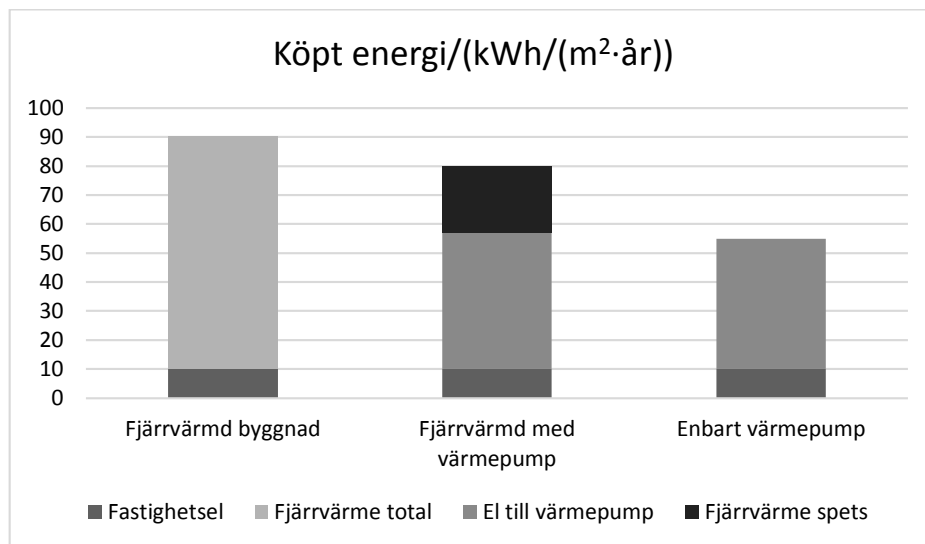
Figur 8: Figuren visar hur primärenergin genom utvinning, förädling etc. resulterar i energi till brukaren.
Källa: Mölndal Energi, 2013.

Att det i första hand är levererad energi som blir måttet på energieffektivitet anses således vara felaktigt om målet är att hushålla med jordens resurser och nå gemensamma utsläppsmål. Kritik från Energimyndigheten lyfter fram att en konsekvens av detta systemfokus blir att vissa tekniska lösningar indirekt gynnas, exempelvis värmepumpar (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 6). Det skapar i sin tur problem, då BBR:s regler borde förespråka "teknikneutralitet".

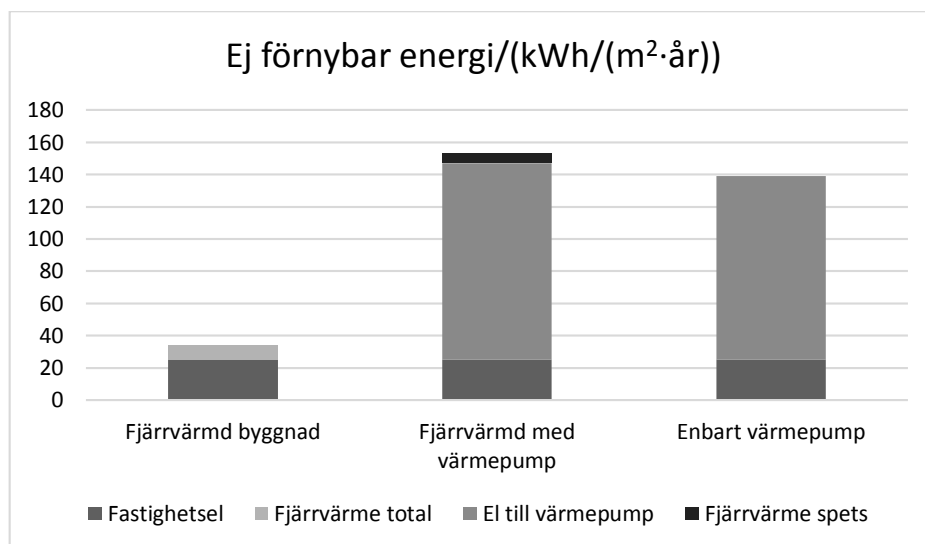
Olika förslag på systemperspektiv läggs fram och man betonar vikten av att fastslå dessa för att kunna definiera energieffektivt byggande (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 20). Ett sätt är att beakta ett kostnadsperspektiv, det vill säga vilken värmesystemslösning som ger lägst energikostnader. Ett fokus på både privat- och samhällsekonomiska kan i detta sammanhang vara önskvärt. Ett annat är att ta hänsyn till vilken energiform som har minst miljöpåverkan och ett tredje kan vara att studera hur stor mängd primärenergi som förbrukas. Alla dessa förslag betonas vara beroende på vilken tidsram som väljs och bör således med fördel vara baserade på hela byggnadens livslängd. Att nöja sig med att enbart sätta ett värde på primärenergin är dock inte tillräckligt menar rapporten, då begreppet i dagsläget inte avslöjar något om förnybarheten hos naturresursen. En europeisk standard som tydligt klargör begreppet primärenergi samt "tar hänsyn till energislagens hållbarhet" anses därför vara nödvändigt (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 7).

Att inte "vidga systemgränsen i samband med att miljövalsanalyser genomförs" och därmed inte ta hänsyn till förnybarheten av energikällan belyses i ett exempel med flerbostadshus med olika uppvärmningssystem (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 20). Tre flerbostadshus jämförs där ett av dem är en fjärrvärmad byggnad, den andra har en kombination av fjärrvärme och värmepump och den tredje uteslutande värms med värmepump (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 20).

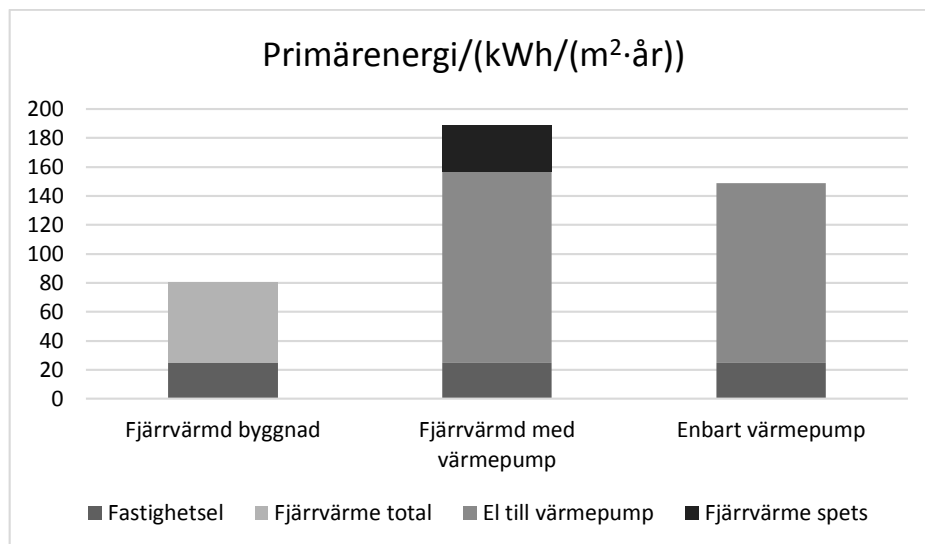
ATON baserar siffrorna för flerbostadshusens energiförsörjning på en rapport vid namn "Förnybar energi och Boverkets byggregler", som utgivits av Sveriges Centrum för Nollenergi (SCNH) och värden på primäre energi och förnybar energi har av dem hämtats från "IVLs utredning Resursindex för fjärrvärme". Det konstateras att det hus som enbart värms med fjärrvärme förbrukar mer energi än de hus med värmepump (eller en kombination av värmepump och fjärrvärme) (fig 9). På pappret gör det alltså fjärruppvärmning till ett mindre smart val ur energieffektiviseringssynpunkt. Det visar sig dock att användningen av icke förnybar energi ökar i husen med värmepump (fig 10) och en liten ökning av primärenergianvändningen kan även anas (fig 11). Lite krasst menar man i rapporten att ett hus med värmepump i praktiken kan vara sämre isolerat än ett som drivs med fjärrvärme.



Figur 9: Figuren visar hur stor mängd köpt energi de olika värmesystemen krävt i flerbostadshusen. Källa: Diagram enl. ATON, 2012.



Figur 10: Figuren visar mängden ej förnybar energi i flerbostadshusen. Källa: Diagram enl. ATON, 2012.



Figur 11: Figuren visar mängden primärenergi för de olika värmesystemen i flerbostadshusen. Källa: Diagram enl. ATON, 2012.

Det förklaras vidare att stora fjärrvärmenät, där fjärrvärmen kommer från spillvärme från avfallseldning, industri och kraftvärmeproduktion dock inte är helt fria från skuld (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 22). Om ovan nämnda resurser inte räcker för att mätta brukarnas behov, används "ren bränsleanvändning och fossila inslag".

Rapporten föreslår att man bör inspireras av den danska energipolitiken som bland annat sätter upp krav på "maximalt tillåten primär energianvändning" för småhus, flerbostadshus, kontorshus och skolor. Danskarnas användning av en "primärenergifaktor" anses även vara en bra tolkning av EU-direktiven som talar om vikten av energiprestandatal (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 8). Faktorn viktas de olika energislagen olika, där 0,6 sätts för fjärrvärme och 1,8 för elenergi. Att hålla sig under de fastställda "energiramarna" för primärenergianvändning i de danska byggregler är således lättare om byggnaden är värmad med fjärrvärme. Ytterliggare en inspiration från danskarna, i form av ett statligt byggforskningsinstitut anser man vara nödvändigt för att kunna hålla "hög ambitionsnivå" på energikraven (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 10).

I rapporten uppkommer även frågan om energieffektivisering egentligen är aktuell för de byggnader som enbart använder biobränsle eller fjärrvärme (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 22). Man hävdar att användningen av förnybar energi på kort sikt inte genererar någon "extra miljöpåverkan från utsläpp av klimathusgaser, så länge det finns en hållbar och outnyttjad biobränsleresurs att tillgå." (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 22). Det betonas att dagens byggnader håller betydligt längre än dess uppvärmningssystem och att fokus kanske istället borde vara att uppföra byggnader med låga värmeförlusttal, oavsett uppvärmningssystem. Dock konstateras det att Plan- och bygglagen (PBL) i dagsläget redan har krav på att en byggnad ska ha möjlighet att kunna byta energikälla, utan att energianvändningen för den delen slår i taket.

De energi- och miljöklassningssystem som finns idag utreds även och kritiken belyser främst svårigheten för slutkunden att sätta sig in i de olika varianterna av system (ATON Teknikkonsult AB, 2012, p. 29). Risker finns att byggherrarna främst väljer det som gynnar byggnationen i fråga och

sekundärt miljön. Man menar att ställs det krav på prestanda utöver BBR, likt de olika klassningssystemen, bör det även finnas en organisation som metodiskt följer upp och granskar samtliga byggnader. Detta, då både tid och kunskap krävs för att följa upp uppsatta krav och att försummande av uppföljning inte ska ge "konkurrensfördelar".

2.1.6.2 ... I USA

I USA väcktes denna energidefinitionsfråga till liv efter att "The United Nation's Framework on Climate Change" (UNFCCC) år 1992 satte upp ett globalt mål gällande utsläppshalter av växthusgaser (Goldstein, et al., 2010, p. 1). Byggsektorn var således tvungen att se över sin påverkan på klimatet, då den förbrukade 70 % av den totalt använda elektriciteten och lite mer än en tredjedel av den totala primärenergien i USA (Torcellini, et al., 2006, p. 3). "The Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC) gjorde även beräkningar som fastställde att utsläppen av växthusgaser inom byggsektorn behövde reduceras med 80 % till år 2050 (Goldstein, et al., 2010, p. 2). De uppsatta målen engagerade samtliga aktörer inom byggbranschen och arbetet med att skapa energisnåla lösningar för privata bostäder och offentliga byggnader tog fart. I takt med att energieffektiviteten hos byggnader började utredas, ökade även behovet av en klar definition av vad som utgör en energisnål byggnad.

Följande stycke tar upp två artiklar inom ämnet, den ena skriven av David B. Goldstein m.fl. och den andra av Paul Torcellini m.fl. Goldstein är sedan 1970 verksam inom energipolitik, miljöfrågor och grönt byggande och har en doktorexamen i fysik från Kaliforniens universitet vid Berkeley (NRDC, u.d.). För närvarande är Goldstein verksam som vice vd för ett energiprogram i "Natural Resources Defense Council" (NRDC). Paul Torcellini har avlagt doktorexamen från Purdue universitet i Indiana och arbetar sedan 20 år tillbaka som ingenjör vid "National Renewable Energy Laboratory" (NREL) med energifrågor (Weeks, 2014).

Fokus i artiklarna är definitionen av en nollenergibyggnad, det vill säga en lite snävare definition än begreppet energieffektiv byggnad. Dock har diskussionerna i USA kring energihushållning även några gemensamma nämnare med de som funnits i Sverige angående energieffektivt byggande, vilket speglar den komplexitet energifrågor för med sig.

I och med att frågan lyftes, gällande begreppet nollenergibyggnader, kom "National Renewable Energy Laboratory" och "The Department of Energy" att år 2006 undersöka möjliga tänkbara definitioner (Goldstein, et al., 2010, p. 2). De reducerade de olika förslagen till: producerad och levererad energi ("Net Zero Site Energy"), den primära energikällan ("Net Zero Source Energy"), energikostnader ("Net Zero Energy Costs") och nollemissionshus ("Net Zero Energy Emissions"). I augusti år 2008 fastställdes även inom vilken tidsram offentliga byggnader skulle nå "Zero Net Energy" (ZNE). Datumen sattes till 2030 för all nybyggnation, 2040 för hälften av det totala antalet byggnader och 2050 för samtliga byggnader. Ett konsortium bildades även år 2009 för att kunna samla aktörer i branschen och tillsammans arbeta mot ett gemensamt mål.

Det första förslaget, producerad och levererad energi, kom att syfta till att summan av producerad och levererad energi till byggnaden under ett år skulle vara noll (Torcellini, et al., 2006, p. 7). Torcellini anser att en viktig förutsättning är att byggnaden är ansluten till elnätet så att det eventuella produktionsöverskott kan följa med ut i nätet. Detta, då det i dagsläget är svårt att lagra energi, vilket skulle innebära behovet av en reservenergikälla och i värsta fall en onödig

överdimensionering av energibehovet (Torcellini, et al., 2006, p. 4). Det andra förslaget var en förlängning av det första, där tillägget kom att röra primärenergi. Man menade att summan av byggnadens producerade energi och mängden förbrukat primärenergi skulle bli noll, vilket belyste importansens av en tydlig och noga utarbetad viktningsfaktor för importerad och exporterad energi. Det tredje förslaget löd att den summa pengar som elbolaget ersatte byggnadens ägare, för den exporterade energin till elnätet, skulle vara minst lika stor som den summa pengar byggnadens ägare betalade till elbolaget för energin och tjänster kring denna under ett år. Det fjärde och sista förslaget gällde emissioner och utsläpp, varvid byggnaden skulle producera lika mycket emissionsfri energi som den förbrukade emissionsbildande sådan.

I artikeln av Goldstein m.fl. diskuteras bland annat nackdelarna med att enbart basera definitionen på den levererade och producerade energin inom systemgränsen för byggnaden (Goldstein, et al., 2010, p. 6). Goldstein menar att det lätt kan bli så kallad suboptimering, där för stort fokus läggs på en förbättring av det sekundära problemet; att huset förbrukar så lite energi som möjligt och att man därmed förflyttar sig längre från målet med maxutsläpp av växthusgaser. Ett införande av en producerad-levererad systemgräns hade även krävt ett gemensamt mått för de olika energiformerna. I förslaget redogörs att i en sådan energianalys hade en enhet elenergi angivits som 1 British thermal unit (Btu), vilket motsvarar ca 3413 kWh (Nationalencyklopedin, 2014). I systemgränsen för hus hade 1 Btu elenergi varit likvärdig 1 Btu naturgas, men vid förbränning av bränsle för att producera elenergi uppnås endast en nettoeffekt på 33 %, vilket skulle innebära att fördelningen mellan de två energiformerna vid energikällan varit 3:1 (Torcellini, et al., 2006, p. 8). Goldstein menar att själva suboptimeringen hade artat sig genom att ägaren, med avsikt att minska husets förbrukade energi, hade bytt ut gasspisen mot en elektrisk spis, trots att "en elektrisk spis använder en större mängd primärenergi och genererar mer utsläpp än en gasspis" (Goldstein, et al., 2010, p. 7). Att istället, som i det andra förslaget, lägga fokus på primärenergins ursprung hade alltså varit en bättre väg att gå, men krävt väldefinierade viktningsfaktorer av energin från källa till mål (Goldstein, et al., 2010, p. 7). Kritiken rörande den kostnadsbaserade analysen gäller främst att den inte reglerar eller garanterar låga utsläpp av växthusgaser; något som det sista förslaget dock gör. Goldstein menar att förslaget ligger närmare de uppsatta målen, men medför å andra sidan svårigheter att motivera brukarna till att köpa energi i närområdet istället för från ett längre avstånd.

Goldstein diskuterar vidare att ett helhetstänk är viktigt, där en utförlig livscykelanalys för byggnaden tas i beaktning, men att den kan vara svår att få korrekt då det är svårt att samla in den stora mängd nödvändig data som krävs för att göra en rättvis analys (Goldstein, et al., 2010, p. 3). En definition som inkluderar den totala mängd energi som åtgått för att producera byggnaden, mängd och källa för primärenergin samt graden av transport byggnaden genererar anser Goldstein vara ett sätt att nå de uppsatta målen. Livscykelanalysen anses vara viktig då tillgång på material och vatten kan skilja markant mellan staterna i USA, vilket är nära sammankopplat med den mängd utsläpp transporter för med sig och den energi som krävs för vattenrening. Att endast fokusera på byggnadens producerade och levererade energi blir således en snäv analys, med lättuppfyllda mål som inte nödvändigtvis speglar byggnadens totala belastning på miljön i ett livscykelperspektiv.

2.2 Biomimik

Detta kapitel beskriver biomimiken och hur den kan och har appliceras på husbyggnads- och installationstekniska lösningar. Då föregående kapitel var tänkt att ge en grundläggande förståelse för vilka krav och utmaningar som en energieffektiv byggnad innebär, ger detta kapitel om biomimik förslag på material, tekniker och produkter som kan tänkas möta dessa krav. Kapitlet består således utav ett antal studier, som sorterats till de olika områdena inom husbyggnads- och installationsteknik för tydlighetens skull. Litteraturstudien i kapitel 2.2.1 och 2.2.2 bygger främst på Janine Benyus bok "Biomimicry – Innovation inspired by Nature" (Benyus, 2002).

2.2.1 Det naturliga i att imitera naturens lösningar

Biomimik kommer från grekiskan och är en sammanslagning av bios, som betyder liv och mimesis som betyder imitation. Det är ett synsätt där naturen utgör referensramen för att lösa problem, utforma eller optimera en produkt. Trots att själva ordet biomimik är relativt nytt har ingenjörer, biologer och vetenskapsmän inspirerats av naturen flertalet gånger genom århundraden. Flygplan är ett exempel, där bröderna Wright studerade hur gamar lyfter och landar.

Biomimikens tankesätt kan sammanfattas i tre meningar: "Naturen som modell", "Naturen som måttstock" och "Naturen som mentor". Den första förklarar hur naturens processer, former eller funktion bör vara modellen för en egen tolkning av inspirationskällan. Det är nödvändigt att förstå de ingående komponenternas bidrag till helheten, utan att nödvändigtvis de exakta ingredienserna behöver vara med i slutprodukten. Den andra och tredje meningen hänger ihop och syftar till att naturen, efter 3,8 miljoner års evolution, redan utvärderat de processer som fungerar bäst och noga testat vilka konstruktioner som är mest hållbara. Det rätta, anses det, är att ta ett steg tillbaka, inse att människan inte förstår allt och lära av naturen istället för att krama ur det sista av dess resurser.

En av dem som skrivit böcker inom området är Janine Benyus. Den senaste "Biomimicry – Innovation Inspired by Nature" redogör för hur biomimikens synsättet kan appliceras på många olika vetenskapliga områden. Benyus menar i sin bok att de ekologiska lagarna är en referensram som människan inte följer. För att tillåtas en plats i ett ekosystem måste ett visst utbyte ske mellan de ingående arterna och om en art tar all plats finns även en risk att den utarmar all energi, vilket förr eller senare ödelägger samtliga ekosystem i omnejd. En sådan total dominans i ekosystemet hade således varit ogynnsamt för artens överlevnad i det långa loppet. Beteende med att ignorera de ekologiska lagarna anser Benyus vara synonymt med hur den mänskliga exploateringen har ägt rum; att ta plats till vilket pris, utan att lyssna på naturen. Naturens lagar visar tydliga mönster som människan alltså bör inspireras av. Ett givet framgångsrecept för ett ekosystem har visat sig vara mångfald, arter som samarbetar och återanvändning av allt som satts i omlopp. Naturen använder även solljus som främsta energikällan, ur vilken hon sedan utvinnet hållbara former helt anpassade efter sin funktion. Att använda så lite energi - med så hög funktion som möjligt är således en naturlig väg att gå.

En ny era där teknologin möter biomimiken är inte enbart problemfri. En naturinspirerad produkt behöver inte automatiskt innebära en produkt som bidrar till ett bättre samhälle. Exempelvis har flygtekniken medfört snabb transport mellan kontinenter och skapat möjligheter för människor att mötas. Baksidan av mynten är de stora mängder föroreningar som dagligen släpps ut och den skada

stridsflygplan kan orsaka hela samhällen. Den ständiga risken att tanke och slutresultatet av en produkt inte är i symbios går det dock inte att komma ifrån. Detta fenomen är visserligen inte synonymt med enbart biomimiken och det bör nämnas att oavsett ursprungssyfte med en teknik eller produkt, är det svårt att i förväg veta alla potentiella användningsområden.

2.2.2 Perspektiv för en röd tråd

Naturen är vacker men komplex, samtidigt rationell och klok och trots att människan är en del av den, verkar vi gå tvärt emot naturens logik i många fall. Nedan tabell är hämtad från "Sahara Forest Project:s" hemsida och är en kortare och förenklad version av den som återfinnes i Benyus bok "Biomimicry – Innovation inspired by Nature" i kapitel 8 (Benyus, 2002). Tabellen är tänkt att visa skillnaderna mellan system skapade av människan och de biologiska systemen skapade av naturen. Biomimik kan vara ett effektivt sätt att optimera en produkt eller process, men kan med fördel vara ett tankesätt som flödar genom hela produktens kretslopp. Sahara Forest Project är ett exempel på ett sådant systemtänk och är ett norskt privatägt aktiebolag med Joakim Hauge som VD (Sahara Forest Project, 2012). Projektet har bland annat som mål att återföra vegetation i öknen med hjälp av biomimik och etablerade år 2012 sin första pilotanläggning i Qatar, vilket närmare beskrivs i kap 2.2.6.

Tabell 6: Skillnader mellan mänskliga och biologiska system. Källa: Sahara Forest Project, 2014.

System skapade av människan	Biologiska system
Enkla	Komplexa
Linjära resursflöden	Ett kretslopp av resursflöden
Separerade och monofunktionella	Nära sammankopplade och symbiotiska
Ovilliga till förändring	Anpassade för ständig förändring
Slösaktiga	Noll avfall
Frekvent användande av långfristiga gifter	Ingen användning av långfristiga gifter
Ofta centraliserade och monokulturella	Utspridda och erbjuder mångfald
Beroende av fossila bränslen	Drivs av tillgången på solenergi
Konstruerade för att maximera ett enda mål	Optimerade för att fungera som ett system
Utarmande	Regenerativa
Använder globala resurser	Använder lokala resurser

Benyus (2002) beskriver i sin bok hur naturen ständigt strävar mot att ha nära noll avfall eller svinn i sitt kretslopp. För att ett ekosystem exempelvis ska kunna öka sin biomassa, innebär det även att försäkra sig om att avfallet kan tas tillvara av andra varelser eller växter. Skulle skog, träd och buskar växa obegränsat eller djuren äta upp all växtlighet utan att ge något tillbaka, hade systemet kollapsat inom kort. Naturen löser det genom att se till att all den näring och det som förbrukas i ekosystemet även stannar inom ekosystemet så att ingen energi går förlorad. Ett optimalt ekosystem är helt självförsörjande och den enda tillförda energin är solljus. Benyus förklarar vidare att människan kan lära (och har lärt sig) av detta genom att placera industrier och liknande som kan dra nytta av varandra inom samma område. På så sätt kan spillet från en industri fungera som bränsle hos en annan. Benyus ger exempel på Kalundborg i Danmark, där fyra företag samarbetar. Det ena, ett elbolag skickar vidare sina förbränningsgaser till två andra företag som använder det till att driva sitt maskineri, varvid resten av förbränningsgaserna värmer upp 3500 bostäder i området. Det ljumma

kylvattnet från elbolaget åker vidare till en fiskfarms bassänger. Ett av de företag som använder förbränningsgaserna till sitt maskineri får mängder av kväverikt avfall i sin tillverkningsprocess, som sedan åker ut på åkrar, som i sin tur producerar grödor till företagets produktion. Det andra av de två, disponerar också ut sina förbränningsgaser som energi till maskineri, men utvinnet även svavel ur gaserna. Svavlet transporteras till ett annat företag som producerar svavelsyra. Benyus menar att istället för att få mängder med avfall, bör människan göra som naturen; sluta systemen, förbruka lite råmaterial och dra nytta av varandra.

En utveckling följer av importansen att samarbeta och exempel på flera fall av samarbete i naturen ges som alla resulterar i synergi. En förklaring av synergi kan lyda "ett hållbart system, mycket större än summan av de ingående komponenterna". Ett exempel är lav, som består av alg och svamp, där algen fångar upp solenergi och svampen utgör skydd och stabilitet. Förutom samarbete ser naturen även till att ersätta ett eventuellt bortfall i systemet så att det inte skapas gapp i kretsloppet. Ett citat av en japansk industriell ekologist Michiyuki Uenohara följer, vilket beskriver hur flödet i dagens industriella ekosystem kan liknas vid ett blodomlopp där varorna pumpas ut från hjärtat, via artärerna till resten av kroppen, som ska symbolisera ekonomin. Dock menar Uenohara att dagens industri består av många stora artärer, men få vener som behövs för att rena och sluta systemet. Benyus drar slutsatsen att en ekologisk ekonomi skulle värdera "artärer" och "vener" lika högt, vilket gjort att resurser skulle tas tillvara och eventuella bortfall snabbt ersattes, vilket i längden skapar ett hållbart samhälle. Att utveckla teknologin så att feedbacken om exempelvis materialåtgång och utsläpp kan återkopplas och regleras direkt hade även sparat på jordens resurser. Om en sensor känner av halten utsläpp från en fabrik kan den reglera dessa efter uppsatta utsläppsmål direkt, vilket hade varit gynnsamt för miljön. En annan sensor hade kunnat ge återkoppling på exakt hur mycket material som förbrukats och reglera inköp efter det. Kanske kunde även omedelbar belöning ske för de företag som följer utsläppsmål medan de som överskrider dessa får omedelbara skattepåslag. Ett välutvecklat feedbacksystem är helt i enighet med hur naturen fungerar, där ett utvecklat sådant tillåter hela ekosystemet att gunga i takt då stormiga förhållanden råder.

Naturen är även bra på att hushålla med energi. Den som förbrukar för mycket energi, blir med tiden utesluten ur ekosystemet. Växter slår rötter i den jord som är optimal för deras växtförhållanden och såväl träd som skelettet hos människan är konstruerade för att fylla sin funktion, samtidigt som så lite material som möjligt används. Benyus menar att: "naturen har utvecklat sätt att arbeta smartare, inte hårdare.". Dess processer sker oftast i rumstemperatur, vilket skiljer sig från mänskliga tillverkningsprocesser som är mer utav typen "heat, beat and treat". För att hushålla med energi och använda den på bästa sätt ser exempelvis ett träd till att växa då det finns gott om näring, för att under vintern tappa sina löv och återföra näring till jorden. Naturen ser även till att inte totalt utarma sin födokälla för ju mer svårfunnen den är, desto mer energi krävs för att hitta den. Har detta väl skett eller är på väg att ske, kan en alternativ födokälla under tiden återställa tillväxt hos den ursprungliga.

Att göra produkter lättare, använda mindre material och placera materialet strategiskt är något som produktutvecklare arbetat med under lång tid, men som naturen förfinat i 3.8 miljarder år. Tankesättet är helt i enighet med hur naturen gör och människans ben är ett exempel på en finurlig konstruktion. Den precisa designen resulterar i att områden utsatta för större belastning har givits mer benvävnad, varvid tyngden har kunnat reduceras kraftigt på grund av benets små håligheter.

Benyus (2002) förklarar vidare att människan skiljer sig från djur och natur på det sättet hon bygger industrier i ett område, men sover och bor i en annan del. Naturen, å sin sida lever och frodas vanligen i samma område och hade således tillslut förintat sig själv om den varit tvungen att vara verksam i en ohälsosam miljö. Därför hålls de giftiga koncentrationerna låga och de djur som producerar gift, exempelvis giftormar, tillverkar små doser, precis den mängd de behöver, åt gången. Benyus menar att Just-in-time-produktion (JIT) och decentralisering av exempelvis fabriker och elkraftverk är exempel på en "ekologisk ekonomi". Att generera många små "doser" av något, dit det behövs är ett sätt att undvika "överdriven produktion" och minska risken för att hela samhällen slås ut om något går fel. Naturen producerar i ett långsamt tempo, ju långsammare, desto bättre och desto mer troligt är det att systemet är stabilt genom påfrestningar och variationer i exempelvis näringstillgång och ändringar i klimatet. Så istället för att maximera flöden anser Benyus att de ska optimeras, att göra "mer utav mindre" och att slit och släng-samhället bör styra sina steg mot ett mer hållbart samhälle. Kvalitet framför kvantitet verkar vara vägen att gå. Dessutom bör inte icke-förnybara resurser användas i högre takt än att de kan förnya sig själv eller "i högre takt än att ett substitut för dem hinner skapas under tiden." Detta är speciellt viktigt då en balans med biosfären är av importens för att inte urlaka jorden på viktiga mineraler och ämnen. Jorden och dess ekosystem ser nämligen till att hålla sina flöden slutna, vilket innebär att inga nya ämnen tillförs eller avges från systemet och i de fall de avges för att förmultna eller förbrukas genom exempelvis fotosyntes, återförs lika mycket tillbaka till systemet igen. Att naturens system är ett kretslopp och inte ett linjärt flöde är något Benyus tar upp flera gånger. För att hålla dessa kretslopp intakta och hushålla med resurser och energi bör människan styra sina steg mot ett samhälle som i första hand använder sig av närproducerat. Benyus menar att de många mil som ligger bakom dagens produkter och råvaror gör att förståelsen för vad som krävs naturresursmässigt för att ta fram dem försvinner. Långväga transporter och en "obegränsad tillgång på allt" beskrivs även ge ett intryck av att naturens resurser är oändliga och alltid kommer finnas till hands. Ett naturligt ekosystem är "nära förbundet i tid och rum" och således något att sträva efter.

2.2.3 Värme, kyla och ventilation

Följande avsnitt tar upp exempel på hur naturen löst värme, kyla och ventilation, komponenter som tillsammans är viktiga för att uppnå ett tillfredställande inneklimat. Det beskrivs hur den namibiska skalbaggen utvinnet vatten ur dimma, hur bladskärarmyror effektivt ventilerar sina stackar samt hur termiter inspirerade arkitekten Mick Pearce till att designa ett kontor.

2.2.3.1 Skalbaggar drar vatten ur luft

Andrew Parker, forskare på Oxford Universitet i Storbritannien har studerat Skalbaggar i den Namibiska öknen, latinskt namn *Stenocara* ("Namibian Beetle") som utvinnet vatten ur dimma (Trivedi, 2001). Då den Namibiska öknen är en av de mest ogästvänliga platserna på jorden, med liten andel nederbörd, krävs det att ansamling av vatten sker effektivt och så fort en chans till detta finns. Skalbaggarna har löst detta kritiska moment genom att använda sitt hårda skal som utgörs av ytor med olika textur och funktion.

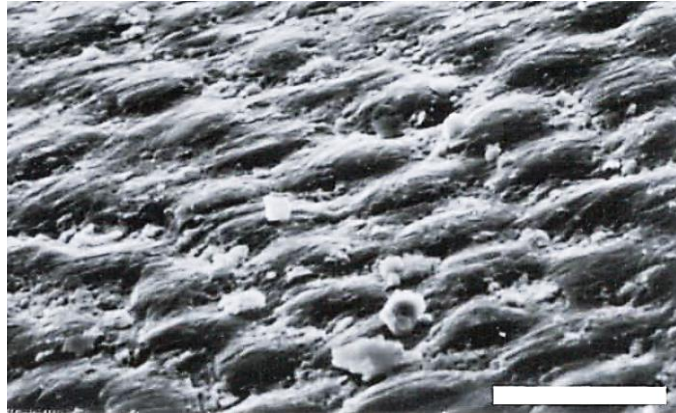
En noga inspektion visar att skalet är täckt av konvexa ytor som bildar små bulor över ytan. Bulorna är glatta, ca 0,5 mm i diameter och attraherar vatten (Parker & Lawrence, 2001). Mellan de hydrofila bulorna, med ett jämt avstånd på 0,5-1,5 mm är ytan istället vaxliknande och vattenavvisande. En förstoring av denna hydrofoba yta avslöjar en mikrostruktur av "tillplattade halvsfärer" ordnade i ett hexagonalt mönster, med en diameter på 10 µm.



Figur 12: En skalbaggehonas rygg. Skalsträck 10 mm. Källa: AskNature.org, 2008. Fotograf: Prof. Andrew Parker.

När dimman under morgontimmarna sveper in över öknen börjar skalbaggens process med att samla in vatten. För att fånga upp de små vattendroppar som transporteras nästan horisontellt med dimman har skalbaggen lutat sig in mot dimman, så att ryggens yta är vinklad mot densamma. Vattendropparna från dimman är mycket mindre än normalstora regndroppar och har en diameter på 1 – 40 µm i diameter jämfört med en regndroppes 0,5 – 5 mm (SMHI, 2013). Det faktum att vattendropparna förs horisontellt genom ökenlandskapet, istället för någorlunda vertikalt som vid nederbörd, samt dess förhållandesvis ringa storlek, gör det vattenansamlade momentet extra kritiskt (Parker & Lawrence, 2001). Värmen från ökenheten eller en enkel vindpust hade enkelt kunnat försvåra hela vattenansamlingsprocessen.

Vattendropparna ansamlas således successivt på bulorna till dess att den kapillära kraften som håller kvar vattendropparna mot den hydrofila ytan överskrids. Detta resulterar i att vattnet istället rinner ner längs kanten av bulan, som även denna är hydrofob och ner i ytorna mellan bulorna. Summan av det ansamlade vattnet kräver slutligen en diameter på över 5 mm i diameter för att kunna föras med en vindhastighet på 5 m/s, längs med skalbaggens rygg och ner i dess mun. En optimerad process som denna håller den Namibiska skalbaggen vid liv.



Figur 13: Svepelektronmikrofotografi över den hydrofoba ytan på skalbaggens skal. Skalsträck 10 mikrometer. Källa: AskNature.org, 2008. Fotograf: Prof. Andrew Parker.

För att undersöka hur olika beläggningar och struktur påverkar den vattenansamlade och vattentransporterande förmågan utförde Parker och Lawrence ett experiment med objektglas som de belade med olika ytor. Den yta och det mönster som resulterade i högst mängd ansamlat vatten vid objektglasets botten klassificerades som mest effektivt. Alla objektglasen ställdes i lutning på 45 grader, varvid de sprayades med vatten för att efterlikna dimman i den Namibiska öknen. Försöken gjordes tio gånger för respektive uppsättning glas, vid en objektglasstemperatur på 22 respektive 66 grader Celsius. Den diameter som vattendroppen hade vid fall, samt hur många enheter vatten som ansamlades i behållaren placerad vid objektglasets nedandel dokumenterades.

De första tio versionerna av objektglas hade små halvsfärer till glasbulor placerade i ett rektangulärt mönster, på ett avstånd av 0,6 mm, varvid mellanrummen var varvade med vax. På den andra uppsättningen var glasbulorna satta i ett slumpartat mönster på 0,5 mm avstånd och även här var mellanrummen täckta med vax. På den tredje uppsättningen var glasytan helt täckt av vax och de sista tio glasen hade ingen beläggning alls, utan ytan bestod bara av glas. Försöken visade att de glas som inte hade någon beläggning uppvisade den mest varierande mängden uppsamlat vatten, där vattnet formerade sig till en 7 mm utspriden droppe som ibland rann ner i behållaren och ibland utanför denna. I det fall droppen träffade behållaren räknade man det som att 1 enhet vatten hade samlats; om utanför - 0 enheter. Ytan som var täckt i vax krävde droppar på 1 mm och gav en uppsamlad mängd motsvarande 0,5 enheter. Dessa droppar tenderade dock att rinna utanför objektglasets kant. Det bästa resultatet gav de objektglas som hade bulor arrangerade i kvadratiska mönster, med droppar på 4 mm och en uppsamlad mängd vatten motsvarande 1 enhet. Näst bäst resultat gav det mönster som troligen mest efterliknar de Namibiska skalbaggnas skal, med bulor slumpmässigt utplacerade över ytan. Dessa objektglas gav en uppsamlad mängd på 0,95 enheter.

Detta experiment gjordes även med en objektglasstemperatur på 66 grader. Det visade sig att resultaten så gott som inte alls skiljde sig från de vid 22 grader, förutom för objektglasen utan beläggning. Vid 66 grader uppkom problemet med att vattnet förångades.

Summa summarum kom Parker och Lawrence, kanske inte helt oväntat, fram till att de objektglas som hade både vattenavvisande ytor kombinerat med vattenvänliga, uppstickande ytor var bäst på att transportera vatten; en ytmekanism väldigt lik den Namibiska skalbaggens.

Parker och Lawrence menar att genom att utveckla material med liknande egenskaper, exempelvis tältdukar eller takpannor, kan vatten på ett mer effektivt utvinnas i nederbördsfattiga områden, som i sin tur kan användas till exempelvis jordbruk (Trivedi, 2001).

2.2.3.2 Myror som ventilerar sina stackar

Bladskärarmyror förekommer främst i Syd- och Mellanamerika samt i södra delarna av USA (Nationalencyklopedin, 2014) där de bygger sina bon i och på mark med hög vattenhalt och låg porositet (Kleineidam, et al., 2001, p. 301). En viktig beståndsdel i deras överlevnad är de blad de skär ut från växter och som sedan dras ned i bona under marken. Där tuggas och prepareras bladen för att skapa den perfekta grogrunden för svampodling, som utgör en betydande del av deras föda. Deras hierarki består av arbetare, soldater och drottning som efter att en plats för boet är valt låter arbetarna sätta igång med att bearbeta nära 15 m³ jord för att bygga sina bon. Ovan mark urskiljes ett antal höga torn som ansluter till de 6 m djupa gångarna under mark som kan rymma nära 5 miljoner myror.



Figur 14: Bladskärarmyra. Källa: National Geographic, 2006. Fotograf: Roy Toft.

På grund av den höga populationen i boet måste ventilationen vara god för att kunna transportera bort de stora mängderna koldioxid som produceras av myrornas verksamhet. Då marken är så pass kompakt av lera och har låg porositet kan ventilationen inte tillgodoses av enbart diffusion genom jordlagren. För att livsnödvändiga svampar ska kunna växa på bladen krävs inte bara rätt luftfuktighet utan även en temperatur som aldrig överstiger 30 grader Celsius. Forskare lyfter fram bladskärarmyrorernas goda förmåga att känna av luftrörelser och koldioxidhalten i luften, vilket eventuellt kan förklara det avancerade ventilationssystem de skapar (Kleineidam, et al., 2001, p. 305).

Hur bladskärarmyrorerna ventilerar sina bon har varit föremål för intresse under en lång tid. Genom att pytsa ut rök ovanför tunnelöppningarna kom två forskare vid namn Wilson och Sheehy fram till det

faktum att myrornas tunnlar hade olika ventilationsmässig funktion (Kleineidam, et al., 2001). De observerade att inflöde av luft skedde i vissa tunnlar- specifika för ändamålet. År 1939 kom nya rön från två andra forskare; Stahel och Geijskes som föreslog att termisk konvektion styrde ventilationen; något som en annan forskare - Jacoby senare baserade sina experiment på och drog samma slutsats. År 2001 publicerade tre forskare: C. Kleineidam, R. Ernst och F. Rocas, från Biocentrum på Würzburgs Universitet i Tyskland, en artikel inom samma ämne. De hade utfört en rad mätningar på en myrstack i en Nationalpark i Argentina, med syftet att få en uppfattning om vart och på vilket sätt in- och utflöde ur tunnlar skedde.

Det experiment Kleineidam m.fl. utförde tog plats under tre sommareftermiddagar. Lufthastigheten mättes med en anemometer som stacks ner 10 cm ner i tunnlar i fem till sex tunnlar samtidigt (Kleineidam, et al., 2001, p. 302). Mätningarna pågick i snitt 2 h per omgång och varje måttillfälle hade olika vindriktning. Med hjälp av resultatet för vindhastigheterna i de olika tunnlar gjordes en beräkning över procenthalten inflöde och utflöde i tunnlar. Procenthalten inflöde erhöles genom att dividera summan av tiden för alla inflöden i tunneln med den totala mättiden. Om procenthalten inflöde i tunneln var högre än 50 % klassificerades tunneln vara av sorten tillflöde av luft. Då procenthalten inflödande luft var lägre än 50 % klassificerades den som utflöde av luft. Procenthalten inflödande luft låg på ca 80 % för de tunnlar som sattes som inflödande och ca 18 % för de som var utflödande.



Figur 15: Bladskärarmyrornas stackar. Källa: BBC Nature, 2011. Fotograf: M. Cosarinsky.

Kleineidam m.fl. studerade och dokumenterade även vilket avstånd från stackens centrum tunnlar med in- och utflöde hade och kom fram till att de centrala delarna av stacken hade utflödande tunnlar och de perifera inflödande. De fastställde vidare att inflödet i tunnlar påverkades obetydligt av huruvida de låg i mot- eller medvind och var alltså inte avgörande för ventilationens funktion.

Ytterligare ett resultat av experimentet visade hur samspelet mellan in- och utflödet i tunnlar såg ut. Fördröjningen mellan ut- och inflöde var i genomsnitt 2 sekunder vid höga vindhastigheter och ca 12 sekunder vid milda brisar. Den ventilerade processen initierades dock alltid av ett utflöde. Det visade sig även att de tunnlar som definierades som utflödande hade högre korrelation mellan luftströmningshastigheten i tunneln och vindhastigheten över stacken än de inflödande tunnlar.

Slutligen dokumenterades hur luftomsättningen i stacken såg ut, genom att mäta tunnlar diameter och flödes hastigheterna i desamma. För en i teorin helt vindstilla dag, låg lufthastigheten i

de utflödande tunnlarna på $5 \cdot 10^{-3}$ m/s och vid en vindhastighet utanför på 6 m/s låg lufthastigheten i tunnlarna på $26 \cdot 10^{-3}$ m/s. Utflödet, trots låga vindhastigheter utanför bona, låg dock aldrig under $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$. (Kleineidam, et al., 2001, p. 304)

Via de utförda experimenten drog Kleineidam m.fl. slutsatsen att påtvingade luftrörelser styr ventilationen sommartid och att den initieras av luft som sugts ut från de centrala delarna av boet för att ny, fräsch luft ska kunna sugas in i de perifera delarna. De reserverade sig dock för att den exakta mekanismen som styr ventilationen inte helt kunde fastställas, men att två teorier fanns att presentera. Den första var att tryckdifferensen, på grund av högre vindhastighet vid tornens öppningar, än vid de lägre delarna styr ventilationen. Den andra teorin var att eftersom vinden som drog längs med ytan av boet hade högre hastighet än den stillastående luften i tunnlarna, skapades en slags skjuvspänning i kontaktytan som i sin tur skapade luftrörelser. En skjuvspänning som förklaras med fenomenet viskositet mellan två gaser.

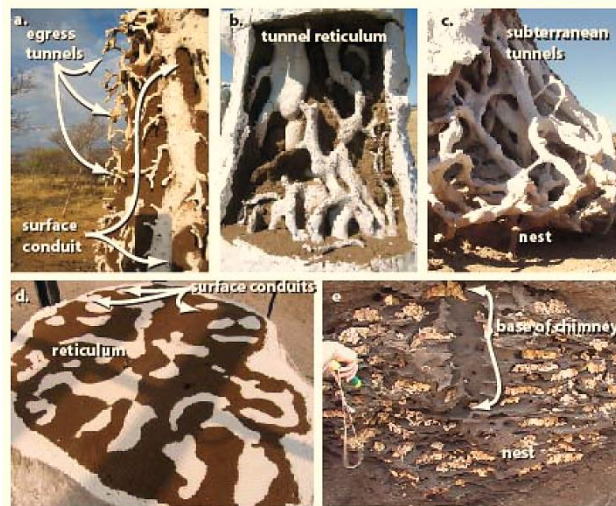
Kleineidam m.fl. avslutar sin artikel med att redogöra att det kan vara både tryckdifferens och viskositet som driver flödet under sommaren och att det eventuellt är termisk konvektion som styr under vintern, då bladskärarmyrorerna stänger merparten av sina ingångar. De konstaterar att andra drivkrafter måste styra ventilationen.

Vetskapen om hur bladskärarmyrorerna ventilerar sina bon kan inspirera till att konstruera byggnader med ventilation som tillfredsställs av naturliga drivkrafter (Ask Nature, 2014).

2.2.3.3 Termitbo till kontor

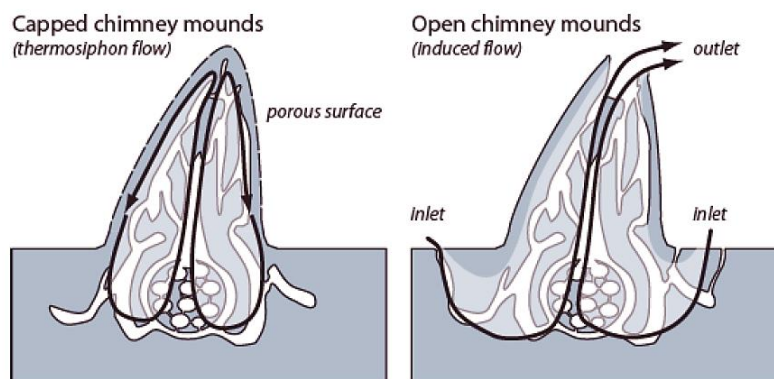
Termiter förekommer främst i de tropiska-subtropiska områdena av jorden och består av ca 2300 arter (Nationalencyklopedin, 2014). En av dessa arter är de 10 mm långa *Macrotermes* som håller till i de tropiska-subtropiska delarna av Afrika, Sydöstra Asien och Australien (Worall, 2011, p. 88), där temperaturen skiftar mellan 2-40 grader Celsius (Baumeister, 2011).

Termiternas stackar varierar i utseende; det förekommer både öppna och slutna bon, bon med höga kullar och bon utformade som halvsfärer. Trots skillnader till det yttre är bona lika inuti och volymen ovan mark ansluter alltid till ett näste ca 1-2 meter under mark där termiterna i första hand huserar och odlar den svamp de livnär sig på (Ask Nature, 2014). Det är en förhållandesvis stor central, vertikal gång, likt en skorsten som når det underjordiska nästet, uppbyggt av gångar och avdelningar med tunna skiljeväggar (Turner & Soar, 2008, p. 7). Väggarna i nästet är i sin tur försedda med små hålrum på 2-3 mm. Ovan mark ansluter skorstenen till vertikala gångar som mynnar ut i horisontella, små förgreningar för att slutligen nå kullens yta genom dess porösa byggmaterial. Termiternas näste under marknivå är i sin djupaste punkt sammankopplat med ett nätverk av större gångar som letar sig runt hela konstruktionen (Turner & Soar, 2008, p. 8).



Figur 16: Ett termitbo som avgjutits i genomskärning. Bild a visar de ytliga gångarna. b visar de vertikala gångarna. c visar nätverket av gångar under mark, som omsluter boet. d visar ett horisontellt tvärsnitt av termitboet. e visar ett horisontellt snitt av nästet under mark. Svampodlingen utgör de gula ytorna. Källa: Turner och Soar, 2008.

Det har forskats förhållandesvis mycket på termiter och intresset för hur de ventilerar sina bon sträcker sig tillbaka till 60-talet (Worall, 2011). Tidig forskning av Lüscher, år 1961, som avhandlade termiter med slutna bon, beskrev hur värmen från termiternas aktivitet skapade en "lyftande effekt" som drev luften runt i bona. Närmare förklarade termiternas aktivitet en internvärme på ca 100 Watt, vilket drev luften genom den centrala skorstenen och upp mot boets porösa yta (Turner & Soar, 2008, p. 2). Den förbrukade luften kylde något, samtidigt som värme, vattenånga och koldioxid transporterades ut genom de porösa väggarna. Den kallare luften föll nedåt i de vertikala sidogångarna på grund av högre densitet och när luften nått botten av termitboet steg den återigen upp genom skorstenen. Weir, som istället forskade på slutna bon föreslog 1973 att ventilationen skedde på grund av att ytvinden, som drog förbi boets öppning i topp hade högre hastighet än öppningarna vid mark, vilket således skapade en drivkraft för att luft skulle dras in i markhöjd och ut i topp (Worall, 2011).

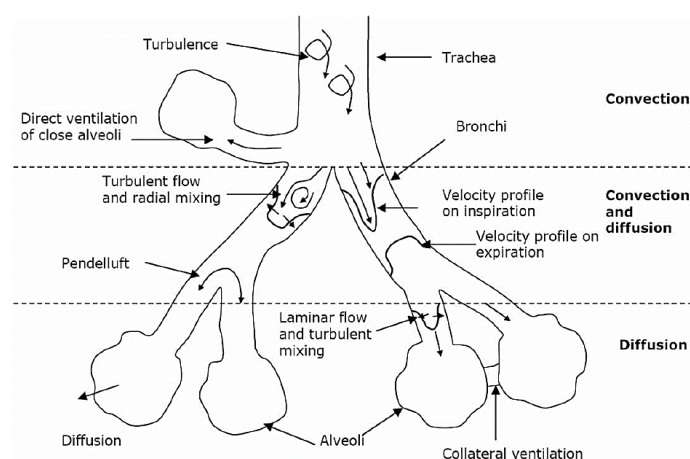


Figur 17: Figurer som beskriver tidigare teori om termitbonas ventilation. Vänstra figuren visar ett stängt och den högra ett öppet bo. Källa: Turner and Soar, 2008.

I Turner och Soar:s granskande artikel från 2008, beskrevs en ny teori om hur termiterna ventilerade sina bon (Turner & Soar, 2008). Den föreslog att både slutna och öppna bon skulle ses som ett andningsorgan, inte helt olikt människans lungor; som andades med en slags ”högfrekvent lungventilation”. Worall instämmer med Turner och Soar om att termitbona bör ses med nya ögon och att skepsis ska föreligga då en studerar gamla källor.

Worall konstaterar även i sin artikel från 2011 att ventilationen av termitbona är central för dess funktion. Eftersom både termiter och svampar kräver syre för att överleva är boet inte i jämvikt förrän syrebehovet balanserats upp av ventilationsströmmar (Worall, 2011, p. 89). Turner och Soar vill dessutom dra en distinkt gräns mellan ventilation i delarna ovan mark och de under mark- där termiterna först och främst håller till. De menar att ventilationsströmmarna för öppna, såväl som stängda bon sällan når delarna under mark och att det således måste finnas ”andra mekanismer förutom ventilation för att upprätthålla boets funktion” (Turner & Soar, 2008, p. 5). Vidare framförs skepsis mot hur man ofta beskriver hur termitbon håller en konstant temperatur på 31 grader Celsius. Forskning pekar på att temperaturen inuti termitboet istället följer den varierande temperaturen för marken (Worall, 2011) varvid den för norra Namibia ligger som lägst på 15 grader i juni till augusti och som högst på 30 grader under november till mars (Turner & Soar, 2008, p. 4).

De resonerar vidare kring hur de olika delarna av termitboet fyller olika funktion, precis som en mänsklig lunga, varvid termiterna ses som en slags ”rörlig alveol” där gasutbytet sker via diffusion (Turner & Soar, 2008, p. 7). På grund av termiternas aktivitet sker även luftrörelser i nästet och de underjordiska gångarna via naturlig konvektion. Vidare förklaras hur det råder både naturlig och forcerad konvektion i de vertikala gångar, som ansluter till både den centrala skorstenen och de horisontella, små gångarna. Denna blandade luftströmningen anses, precis som för lungor, spela en avgörande roll i andningen och så även för ventilationen i termitboet. I lungorna sker detta gasutbyte i slutet av bronkerna- övergången till bronkiolerna och skillnaden är att själva blandningen är en kombination av diffusion och konvektion och inte forcerad och naturlig konvektion som i termitboet. Slutligen beskrivs hur vinden som stryker längs med boet driver den forcerade konvektionen, vilken skapar luftrörelser i de allra minsta, ytliga gångarna som leder upp till ytan. Denna del ska representera de övre luftvägarna i lungan, såsom bronkerna och trachea (luftstrupen) som opererar med forcerad konvektion.



Figur 18: Figur som visar lungans delar och vilka strömningar som råder. Källa: Worall, 2011.

Turner och Soar fortsätter sin artikel med att resonera kring de olika luftrörelsernas hastighet och typ och hur de påverkar ventilationen av boet. Flöden med olika förhållanden, såväl turbulenta och transienta (ständigt föränderliga flödesförhållanden) som långsamma och transienta samspelar med vindriktning, vindhastighet och porositet för att skapa ett respirerande termitbo (Turner & Soar, 2008, p. 9). Förenklat; beroende på hur vindarna blåser och boets utformning genereras antingen ett uppåtgående eller nedåtgående tryck som i artikeln beskrivs som "pendelluft", vilket ser till att utbytet av luft sker mellan näste och kulle. Man diskuterar även huruvida en teori om en slags högfrekvent andning eventuellt kan appliceras på bona. Det är en slags andning som på konstgjord väg kan skapas i mänskliga lungor, med en frekvens på 10-20 Hz, jämfört med vanlig andning som ligger på 0,2 Hz. Frekvensen för andningen ligger då inom spannet för lungornas resonansfrekvens, vilket således förstärker diffusionen utan att volymen på lungorna förändras. I termitbonas tunnlar har Turner och Soar uppmätt resonans vid 20-30 Hz och i de fall de turbulenta vindarna på 1-100 Hz träffar tunnelns resonansfrekvens kan luft på ett effektivt utbytas, utan att för den delen stora mängder luft måste tillföras.

I artikeln diskuteras även The Eastgate Centre i Harare, Zimbabwe – ritat av arkitekten Mick Pearce (Turner & Soar, 2008, p. 1). Den sju våningar höga The Eastgate Centre stod klar år 1996 och projekterades i enighet med den då rådande forskningen på termitbonas ventilation, vilket varit Pearce stora inspirationskälla. Pearce ansåg att de byggnadstekniker som fungerade väl i kyligare klimat hade svårt att fungera fullt ut i det tropiska klimatet i Zimbabwe, varvid Pearce ville skapa "en effektiv byggnad med inspiration från den omgivande naturen" (Turner & Soar, 2008, p. 1). Ventilationstekniskt fungerar byggnaden så att den kyliga nattluften dras in med hjälp av fläktar i markhöjd, för att sedan med naturliga drivkrafter stiga upp genom byggnaden och ut ur öppningar i taket (Gunne, 2012). Dessa naturliga drivkrafter menar Turner och Soar bero på den "lyftande effekten" av internvärmeproduktionen som tidigare ansågs vara den enda rådande mekanismen i slutna bon. Idén med intag i markhöjd och uttag i topp är dock inspirerat av slutna bon (Turner & Soar, 2008, p. 3). Dock vill de poängtera att det inte finns "några bevis för att termitboets ventilation påverkar temperaturen inuti boet" och att det just är behovet av fläktar som gör att The Eastgate Centre inte helt följer termitboets mekanism (Turner & Soar, 2008, p. 5).



Figur 19: The Eastgate Centre i Harare, Zimbabwe. Källa: AskNature, 2009. Fotograf: Mandy Patterson.

Likheten återfinns dock i att termitboets massiva väggar, precis väggarna i The Eastgate Centre, fungerar som en värmebuffert, som under de kallare nätterna frigör den lagrade värmen ut i byggnaden. Skillnaden är dock att The Eastgate Centre använder fläktar som under de kallare nätterna går på högvarv och driver runt luften i byggnaden, vilket hjälper till att frigöra värmebufferten i väggarna och således skapar ett behagligt inomhusklimat under dagen.

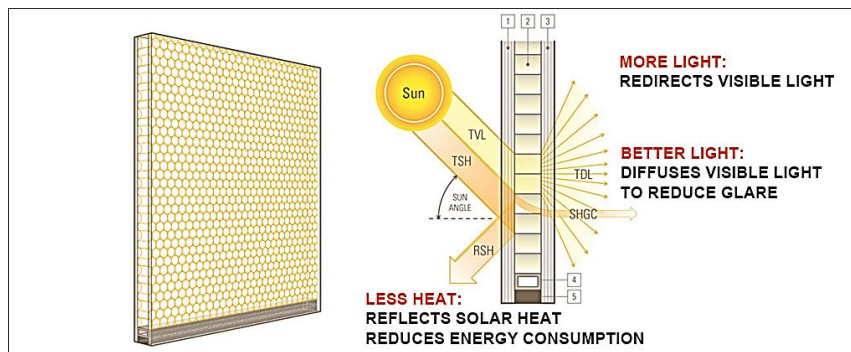
Trots vissa eventuella misstolkningar av termitboets funktion resulterade The Eastgate Centre i en energieffektiv byggnad som endast använde 10 % av den energi som vanligtvis krävdes för att temperaturreglera, det vill säga värma och kyla kontorsbyggnader (Gunne, 2012). Husägarna sparade även 35 miljoner amerikanska dollar på att inte behöva luftkonditionering (Ask Nature, 2014) förutom fläktarna vid luftintaget för att optimera luftens cirkulation (Baumeister, 2011). Hur detta uppmättes eller verifierats förtäljs dock inte. Turner och Soar konstaterar att byggnaden blev förvånansvärt effektiv, trots att de anser att 90-talets forskning inte till fullo greppat termitbonas ventilerande mekanism.

2.2.4 Byggmaterial och ytor

För att uppnå ett energisnålt hus med bra inneklimat är det önskvärt att alla ingående komponenter är optimerade efter funktion. I nästföljande stycken beskrivs ett antal produkter och tekniska lösningar som forskare, såväl allena som tillsammans med företag utvecklat med naturen som inspirationskälla. Först beskrivs hur bikakor fångade en amerikansk firmas intresse i arbetet med att utveckla fönsterglas, sedan följer en redogörelse för hur lotusblommans egenskaper kunnat tas tillvara i fasadfärg. De två sista styckena beskriver ett nytt sätt att dra nytta av luftens koldioxid respektive hur blåmusslor varit en bidragande faktor i tillverkningen av Plywoodskivor.

2.2.4.1 Bikakeinspirerat fönsterglas

Den amerikanska firmen Panelite har utvecklat en ny typ av högpresterande fönsterglas, vilka är tänkta att kontrollera solinsläppet i byggnader med sin bikakeliknande struktur (The Biomimicry 3.8 Institute, 2012). Fönsterglasen går under namnet ClearShade och är uppbyggt av lameller, arrangerade i ett hexagonalt sammanhängande mönster som hjälper till att transmitta upp till 70 % av det dagsljus som träffar fönsterglasets (Panelite, 2013). Glasen reducerar överflödigt värme såväl under dygnets, som under årets varmaste timmar och besvär med bländning uppges minimeras. Fönsterglasen, beroende på tjocklek och diameter på lamellerna, kan uppnå ett g-värde på som lägst 0,07, vilket innebär att 7 % av den solenergi som träffar glasets när in i byggnaden. Tekniken ska vara mer fördelaktig än exempelvis vanliga isolerrutor och elektrokromglas då den transmittar och reflekterar olika mycket dagsljus, beroende på hur solen står på himmeln.



Figur 20: ClearShade's funktion. Källa: Panelite, 2012.

För att testa energibesparingsmöjligheterna med fönsterglasets gavs Arkitekterna Herzog & de Meuron i samarbete med ingenjörfirman ARUP i uppdrag att optimera glasets. Målet var att skapa en naturlig, dagsljus miljö i "The Parrish Art Museum" i New York (Panelite, 2013). Fältprojektet finansierades av "New York State Energy and Research Development Authority" (NYSERDA) varvid mätningarna på plats utfördes av "Lightning Research Center" vid "Rensselaer Polytechnic Institute". Glasen optimerades som takfönster, genom att justeringar på lamellernas täthet och tjocklek gjordes. En serie mätningar visade att behovet av elektriskt ljus minskade och att endast 19 % av den tid då museet var öppet behövdes elektriskt ljus. Utöver detta minskade energianvändningen med sammanlagt 89 % tack vare en kombination av takfönstren och injustering av det elektriska ljuset. Slutligen uppmättes även lägre halter av luftföroreningar, jämfört med de gamla förhållandena, varvid de minskade med; 2,0 kg SO₂, 2,4 kg NO_x och 2,8 kg CO₂. Hela fältstudien finns för den nyfikna på Panelite:s hemsida.

2.2.4.2 Lotusblommans rena blad

Wilhelm Barthlott, Professor och Doktor verksam på Universitetet i Bonn, har utvecklat ett ytmaterial som både är smutsavvisande och självrengörande (The Biomimicry 3.8 Institute, 2012). Tekniken bygger på samma som lotusblomman använder, det vill säga att den räfflade, gropiga, vattenavvisande ytstrukturen tvättar bort smuts som fastnat på ytan med vanligt regnvatten (Sto Scandinavia AB, 2004). Barthlott utvecklade en silikonbaserad puts och fasadfärg som är superhydrofob, alltså inte går att väta och som dessutom har ett naturligt motstånd mot alger och svampangrepp. Både färgen och putsen är diffusionsgenomsläpplig med ett ånggenomgångsmotstånd (S_d -värde) på 0,01 m för att säkra att eventuell fukt i väggen kan transporteras ut (Sto Scandinavia AB, 2004). S_d -värdet i meter motsvaras av "tjockleken hos det skikt stillastående luft som har samma ånggenomgångsmotstånd som materialet" (Fuktcentrum LTH, 2010) och då färgen inte är helt diffusionstätt undviker man fuktproblem i väggen (Bülow, u.d.). För att få god vidhäftning med underliggande material krävs det att ytan är "fri från sinterskikt, saltutslag och släppmedel", men utöver det fäster färgen på såväl mineraliska som organiska och icke-elastiska underlag (Sto Lotusan, 2014).



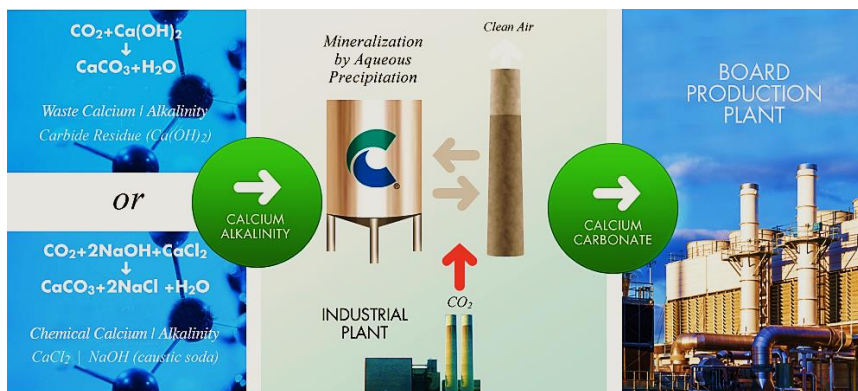
Figur 21: T.V Lotusans smutsavvisande förmåga. T.H Lotusbladens hydrofoba yta. Källa: Sto Lotusan färg, 2014.

2.2.4.3 Cement som förbrukar koldioxid

Det har funnits en tid då jordens atmosfär innehöll mer koldioxid än i dagsläget (Calera Corporation, 2013). De klippor och korallrev som finns idag är ett resultat av hur marina djur omvandlade koldioxid till kalciumkarbonat genom mineralisering till att skapa ett effektivt byggnadsmaterial. Kalciumkarbonat är en kemisk förening som är polymorf, vilket innebär att den kan kristallisera i olika strukturer varvid kalkspat, även kallat kalcit, är den struktur som förekommer vid atmosfärstryck (Nationalencyklopedin, 2014). Aragonit är den andre av de två kristallina och stabila formerna av kalciumkarbonat och bildas i en process med tryck högre än 450 MPa och en temperatur på mer än 100 grader Celsius, varpå den oftast förekommer nära varma källor. Den tredje, metastabila modifikationen av kalciumkarbonat kallas Vaterit (Nationalencyklopedin, 2014). Denna process är något Calera dragit nytta av i sin tillverkning av cement.

Calera grundades 2007 och är ett Kalifornienbaserat företag som kommit på ett sätt att använda koldioxiden i luften för att tillverka kalciumkarbonat som komponent i cement. I grova drag inleds processen med att vaterit bildas, som vid avsaknad av vatten är stabil.

När tillsattsmedel och vatten får reagera med vaterit bildas slutligen aragonit, den hårda och stabila modifikationen av kalciumkarbonat (Calera Corporation, 2013).



Figur 22: Calera, Processen för att bilda kalciumkarbonat. Källa: Calera Corporation, 2013.

För att denna kemiska process ska kunna äga rum krävs två viktiga beståndsdelar förutom koldioxid, nämligen kalcium och alkalinitet (Calera Corporation, 2013). Själva koldioxiden hämtas ur luften från närliggande gaskraftverk på grund av industriella processer och fångas in utan att först behöva koncentreras (Calera Corporation, 2013). Det finns dock alternativ för hur källan av kalcium och alkaliniteten utvinns. Industriellt avfall innehåller båda dessa, medan alkaliniteten även förekommer i kaustiksoda, från industriell tillverkning och kalciumet i kalciumklorid, från exempelvis kemiskt avfall. När koldioxiden fångats in passerar den en så kallad Skrubber, som bland annat kan användas till att rena rökgaser. I en Skrubber flödar gaserna uppåt, medan någon form av lösning flödar i motsatt riktning och därmed avlägsnar de önskade komponenter ur gaserna (Nationalencyklopedin, 2014). I detta fall är det den alkaliska lösningen som reagerar med koldioxiden. Kalciumkällan får sedan reagera med lösningen och genom en torkningsprocess erhålls slutprodukten i form av ett fint pudret (Calera Corporation, 2013). I det fall då enbart industriellt avfall används erhålls kalciumkarbonat och vatten som slutprodukt och då kemiskt avfall används bildas utöver detta dessutom natriumklorid. Kalciumkarbonatet är i sin stabila form aragonit.

Användningsområdet för pudret är främst som bindemedel vid betongtillverkning och som ett miljövänligt komplement till en andel av det traditionellt använda portlandcementet (Calera Corporation, 2013). Calera använder alltså koldioxiden i luften för att producera sitt bindemedel, vilket är ett bra exempel på hur avfallet från en källa kan vara näringen hos en annan. Produkten har även visat sig kunna användas framgångsrikt som det enda bindemedlet vid tillverkning av exempelvis bänkskivor, krukor och bänkar. Att däremot helt ersätta portlandcementet är än så länge en bit kvar att gå.

2.2.4.4 Blåmusslor till lim

Blåmusslor förekommer främst i grunt vatten i norra Atlanten där de trots kraftfulla vågor och starka strömmar stannar kvar på sitt underlag, som kan vara klippor eller grus (Nationalencyklopedin, 2014). Hemligheten är det starka lim som binder musslorna till ytmaterialet uppbyggt av strängar av proteiner, kallat byssustrådar.



Figur 23: Blåmusslor. Källa: Nationalencyklopedin, 2014. Fotograf: F. Ehrenström/Naturfotograferna.

För kemisten och Doktorn Kaichang Li, verksam på institutionen för Trävetenskap och Teknik, på Universitetet i Oregon, var det blåmusslornas starka vidhäftande förmåga som blev inspirationen till ett nytt slags lim (Ask Nature, 2014). Limmet som blåmusslorna använder är till skillnad från traditionellt lim inte carcinogent och kan givet stelna under vatten. Genom att ändra sammansättningen av sojaprotein och tillsättning av en härdare uppnådde Dr. Li ett klister, liknande det blåmusslorna använder för att fästa an mot sitt underlag (Ask Nature, 2014). Hartsen reagerar med proteinerna vid uppvärmning och bildar på så vis ett starkt band mot ytan (Ask Nature, 2014).

En djupdykning ner i kemiska bindningar avslöjar att det är förekomsten av en specifik aminosyra med en katekol förening, alltså med två reaktiva hydroxylgrupperingar som fäster an till andra katekola föreningar och även metallatomer (Nationalencyklopedin, 2014).



Figur 24: Plywood med PureBond-lim. Källa: Columbia Forest Products, 2014.

Columbia Forest Products är ett företag som uteslutande numera använder detta Biomimik-inspirerade limmet vid tillverkning av sina Plywoodskivor med tekniken ovan som de kallar PureBond (Ask Nature, 2014). Det ska vara lika effektivt som liknande lim på marknaden, men utan den carcinogena formaldehyden. Den största vinsten var den för miljön då de kunde klippa sin framtida konsumtion av harts med uppskattade 21 000 ton och samtidigt minska emissioner från sina totalt sju plantager med 50-90 %. Siffrorna är hämtade från "Ask Nature" och refererar där till en studie kallad "Biomimicry Case Study 2011". Någon ytterligare information om denna studie finns dock inte angiven på hemsidan.

2.2.5 Energi

En säker energikälla, i alla fall inom de närmsta århundradena är solenergin. Att kunna utnyttja denna på bästa sätt, med de bästa teknikerna är inte bara en utopi inom biomimiken utan även något som minst sagt ligger i tiden, med tanke på rådande klimathot och utsläppsmål. I det första av de totalt två kommande styckena beskrivs hur växternas fotosyntes hjälpt forskare i processen att utveckla högpresterande solceller och ett sätt att lagra energi i vätgas. Det andra stycket handlar om hur effektiviteten hos solkraftverk kunnat förbättras med att studera en solros.

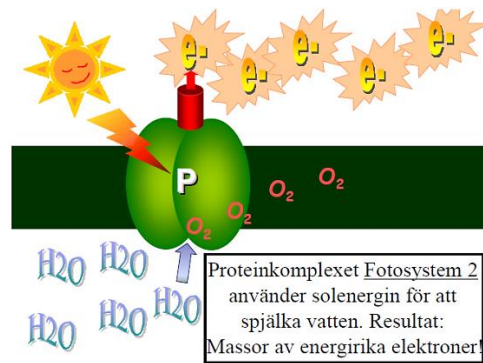
2.2.5.1 Solenergi från löv – Artificiell fotosyntes

Att skapa energi från sol och vatten kan låta som en absurd idé, men faktum är att det är precis vad naturen gör. Genom att studera fotosyntesen i gröna växter har forskare kommit en bra bit på vägen att efterlikna denna energigivande process och skapa så kallad artificiell fotosyntes.

Sverige har legat i framkant med denna typ av forskning. Idén om en grön energikälla tog fart i Uppsala år 1994 och resulterade i en sammanslutning kallad "The Swedish Consortium for Artificial Photosynthesis" (The Swedish Consortium for Artificial Photosynthesis, 2014). Konsortiet samlade expertis från Lund, Stockholm och Uppsala med målet att hitta ett nytt sätt att använda förnybara energikällor och kunna lagra solenergi. De inspirerades av gröna växters fotosyntes med målet att utvinna väte ur solenergi och vatten (Styring & Magnuson-Styring, u.d., p. 2). I dagsläget arbetar gruppen huvudsakligen inom två forskningsområden, varav den ena är artificiell fotosyntes genom att efterlikna naturens processer och den andra är fotobiologisk bränsleproduktion i levande organismer.

I en tidigt publicerad artikel av Stenbjörn Styring, numer ordförande i konsortiet, beskrevs bland annat problemet med traditionella solceller, som ansågs vara att den solenergi som infaller under sommaren, åtminstone i Sverige inte kunde lagras på ett kostnadseffektivt sätt till vintern, då den behövdes som mest. Detta har naturen dock löst genom att under sommaren lagra energi i ved och biomassa för att kunna använda senare under vintern (Styring & Magnuson-Styring, u.d., p. 2).

Det förklaras hur den solenergi som infaller på bladet fångas upp av klorofyllmättade "infångarproteiner" som i sin tur i hög hastighet skickar vidare solenergin mellan sig (Styring & Magnuson-Styring, u.d., p. 4). Till sist hamnar solenergin i det ena av två reaktionscentra som finns i gröna växter. Reaktionscentrat kallas Fotosystem II och är ett stort enzym, uppbyggt av proteiner, placerat i ett så kallat Tylakoidmembran. Enzymet fångar in just energirika klorofyllmolekyler varpå energin "aktiverar" ett slags pigment, kallat Pigment 680, till att lämna ifrån sig en elektron. Pigment 680, placerat i kärnan av Fotosystem II, blir således positivt laddad medan mottagaren, på utsidan av membranet, fångar upp elektronen och blir negativt laddad. Pigment 680 kan sedan spjälka vatten för att få tag på de förlorade elektronerna. Vid spjälkning av vatten tas det fyra elektroner från två vattenmolekyler, vilket ger en restprodukt av en syremolekyl och fyra vätejoner. Hela processen genererar en spänningspotential över membranet, vilket skapar ett flöde av elektroner och då elektronerna slutligen kommer i kontakt med luftens koldioxid omvandlas koldioxiden till kolhydrater. Processen fortlöper alltså på detta sätt, vilket således genererar kemisk energi från solljus.



Figur 25: Figur över hur solenergin omvandlas till kemisk energi på grund av spänningspotential över membranet. Källa: Styring, u.d.

I den artificiella versionen av fotosyntesen vill man efterlikna processen i Fotosystem II och speciellt intresse är flödet av elektroner mellan de olika delarna i systemet. Klorofyllen har ersatts av metallen rutenium som fångar upp ljuset och därmed aktiverar ett metalliskt komplex bestående av fyra manganjoner. I ett optimalt scenario transporterar sedan mangankomplexet totalt fyra elektroner, en och en tillbaka till själva ruteniumet (Österberg, 1999). De fyra elektronerna är tänkt att kunna tas via spjälkning av vatten, dock ligger svårigheten i att få mangankomplexet att släppa fyra elektroner samt att lyckas hålla vattenspjälkningsprocessen vid liv.

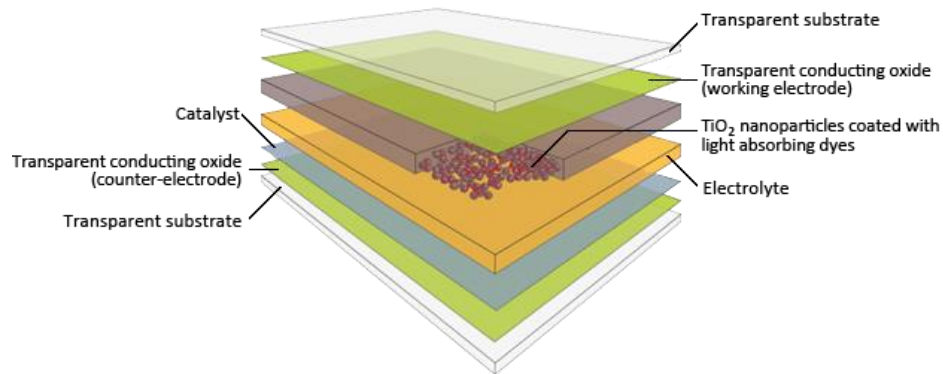
Konsortiet hoppas att i framtiden kunna designa ett system som med hjälp av färgämnen absorberar solljuset och med ett specialdesignat "flerkomponent molekylärsystem" kunna producera vätgas samt lyckas spjälka vatten på ett effektivt sätt (The Swedish Consortium for Artificial Photosynthesis, 2014). Energin vill forskarna sedan lagra i vätgas, på samma sätt som växterna lagrar energi i växtmaterial (Uppsala Universitet, 2014).

Liknande tankar finns som tidigare nämnt runt om i världen, om önskan att kunna efterlikna växternas processer. På tekniska institutionen "Joint Center for Artificial Photosynthesis" (JCAP) i Kalifornien forskar man även artificiell fotosyntes och hoppas på att i slutändan framställa vätgas med enbart solljus, vatten och koldioxid genom att använda sig av ljusabsorberande material (JCAP, 2014). JCAP beskriver även att artificiell fotosyntes är bättre än användning av biobränsle då "den inte kräver åkermark, energigrödor eller stor andel energi och vatten".

Att efterlikna växternas fotosyntes kan knoppa av i form av många olika projekt beroende på vilken process som inspirerar. Schweizaren Michael Grätzel var pionjär inom området solceller och genom att efterlikna växternas fotosyntes skapades år 1991 en ny slags solcell, den så kallade Grätzelcellen. Grätzelcellen bestod av två glasskivor, täckta med en genomskinlig ledande oxidfilm och däremellan ett 10 μm tunt lager av "nanokristaller av titanoxid, täckta med ett molekyltunt lager av ljuskänslig färg" (Agerberg, 2003). Mellan kristallerna fanns en elektrolyt, som i ursprungsversionen var flytande, men som efter förbättringar fick konsistensen gelé. Den ljuskänsliga färgen bestod av en ruteniumförening som vid belysning av solljus fick samma uppgift som klorofyllet i gröna växter, det vill säga att suga åt sig energi och initiera ett flöde av elektroner. Elektronen som avgavs från färgen, transporteras sedan till ena delen av glaset varvid en elektron togs från elektrolyten. Detta genererade således ett flöde, som genererade energi. Initialt hade solcellen problem att klara höga

temperaturer, något som dock löstes då färgämnet gjordes hydrofobt och elektrolyten gjordes om till konsistensen av gelé.

I Sverige utvecklar EXEGER (tidigare NLAB Solar) sedan 2008 Grätzelceller och har i sin version uppdaterat dessa genom att sätta ett extra reflekterande skikt (Alpman, 2010). Verkningsgraden för samtliga versioner av Grätzelceller ligger dock i genomsnitt på som bäst 10 % av verkningsgraden för en traditionell solcell med kisel. Fördelen ligger dock i låga produktionskostnader och att vinkeln eller typen av ljus inte spelar någon roll, då den klarar både diffust och indirekt ljus. Ett effektivt användningsområde för Grätzelceller är att placera dem i glasfasader.



Figur 26: Uppbyggnad av Exeger:s version av Grätzelcell. Källa: Exeger, 2013.

Exeger har även fått 1.8 miljoner Euro från EU till att sätta upp en försöksanläggning/testfabrik som kommer vara klar år 2014 och tros bli den största tillverkningsanläggningen för ljusämneskänsliga solceller i världen (NLAB Solar AB, 2013). De ansåg att det verkliga testet för produkten låg i att föra ut den till "den stora massan" och att "röra sig bort från forskningen mot kommersialisering av vår teknik". De har förhoppningar om att processen därav optimeras och att produkterna får ett rimligt pris, så att alla kan ta del av deras produkt.

2.2.5.2 Att arrangera solkraftverk

Ett annat sätt att optimera solenergin är också kopplat till växtriket. Alexander Mitsos, professor i maskinteknik på ett universitet i Massachusetts antog utmaningen att optimera heliostaterna vid ett solkraftverk i Andalusien, Spanien (Ask Nature, 2014). Första steget låg i att föra heliostaterna närmre varandra och placera dem likt en spiral, vilket visade sig minska den totala ytan med 10 %. I jakt på att ytterligare optimera solkraftverket tog Mitsos inspiration från solrosens uppbyggnad vars blomkorgar är uppbyggda av flera spiraler i olika riktningar, varvid antalet spiraler alltid följer Fibonaccis talföljd (Ask Nature, 2014).



Figur 27: Solros med sina spiralarrangerade blomkorgar. Källa: AskNature.org, 2012. Fotograf: L. Shyamal.

När fröna växer packar de sig så tätt att ingen yta lämnas åt slumpen, varvid det mest optimala har visat sig vara en vridning på 137,5 grader gentemot varandra, även kallat 'den gyllene vinkeln'. Mitsos anammade således den gyllene vinkeln och arrangerade heliostaterna därefter. Det slutgiltiga resultatet blev att solkraftverket minskade sin totala area med 20 % jämfört med den ursprungliga ytan och den genererade energin från fältet ökade även något.

För en mer utförlig beskrivning av utförandet och resultat refererar "Ask Nature" till två rapporter, den ena med titeln "Sympodial construction of Fibonacci-typ leaf rosettes in *Pinguicula moranensis*" och den andra kallad "A dynamical system for plant pattern formation: a rigorous analysis".

2.2.6 The Sahara Forest Project

De många idéer och lösningar som biomimiken erbjuder har genom Sahara Forest Project förenats och blivit en helhetslösning med det huvudsakliga målet att återställa vegetationen i öknen (Sahara Forest Project, 2012). Sahara Forest Projekt är ett norskt privatägt aktieföretag, som år 2012 etablerade sin första pilotanläggning i Qatar. VD är Joakim Hauge, som har en masterexamen i biologi från Centrum för ekologisk och evolutionär syntes vid Oslo:s Universitetet (Sahara Forest Project, 2012). Den grundläggande tanken är att "använda det som finns i överflöd och ersätta med det som det finns brist av", vilket bland annat innebär att använda salt, koldioxid och öknen till att utvinna vatten, mat och energi. Sättet som den namibiska skalbaggen fångar vatten ur dimma har exempelvis fått utgöra inspiration till kylningsanordningen i växthusen och de olika innovativa lösningarna har tillsammans återfört de mineraler och ämnen som en gång fanns i området tillbaka ner i jorden. Projektet har på så sätt återskapat förutsättningarna för tillväxt av såväl djur som natur.



Figur 28: En överblick på pilotanläggningen i Qatar. 1. Termiska solkraftverk. 2. Saltvattenväxthus. 3. Vegetation och avdunstningsanordningar. 4. Solceller. 5. Saltvattenproduktion. 6. Halofyter. 7. Algproduktion. Källa: Sahara Forest Project, 2012.

The Sahara Forest Projekt marknadsför sig genom att erbjuda tre olika inriktningar inom projektet (Sahara Forest Project, 2012). Det första är ett test och-demonstrationscenter som är tänkt att anpassas efter områdets geografiska förutsättningar och vara så pass stort att kommersiell vinning ska kunna uppnås av projektet. Det ska även utgöra en forskningsplattform för att testa nya teknologier och metoder att utnyttja solenergi och saltvatten på ett effektivt sätt. Det andra kallas "Oasen" och är tänkt att innehålla växthus, odlingar och termisk solkraft och ska verka enbart för kommersiella syften. Den sista är en variant på "Oasen", med samma koncept, men är istället en slags jordbrukssammanslutning, där centralt först och främst skulle hyras ut till lokala bönder och finansieras genom en fond. I dagsläget är The Sahara Forest Project lokaliserat på två fronter: ett test-och demonstrationscenter beläget i Jordanien, medan ett mer omfattande projekt finns i Qatar.

Projektet i Qatar drivs via ett samarbete med två företag; ett av dem är världens största leverantör av gödningsämnen medan det andra är världens största tillverkare av urea och ammoniak (Sahara Forest Project, 2012). Anläggningen använder sig av termisk solkraft, saltvattenkylda växthus, solceller, halofyter och producerar alger. Spegelarna hos den termiska solkraften kyls med hjälp av växthustaken som avleder värmen, medan värmen från solkraftverken används till att avsalta vatten som sedan återanvänds till växtbevattning. Den varma luften stiger sedan upp genom en öppning i taket där den kondenserar och samarbetar med värmen från solkraftverken för att destillera

vattnet. Växthusen producerar högvärdiga grödor såsom tomat, gurka, paprika och blommor och kyls då den inkommande luften passerar saltvattenindränkta ytor för att sedan föras ned i uppblåsbara kanaler med fläktar. Kanalerna är jämt fördelade längs växthuset (Sahara Forest Project, 2012). Jämfört med produktion utan växthus erhålls 10-20 gånger så mycket grödor med växthus.

Området i Qatar innehåller även anordningar, bassänger och ytor där det salta vattnet kan reduceras från sin höga salthalt på 15 %. En del av det salta vattnet används dock till att bevattna halofyter, det vill säga växter som trivs i salthaltig mark (Nationalencyklopedin, u.d.). Halofyterna fungerar både vindbrytare och därmed minskar erosion. Algproduktionen används till biobränsle och fiskfoder. Solcellerna är omringade av växter vilket är tänkt att utgöra dubbel nytta. Växterna fångar upp damm som annars hade försämrat solcellernas effekt, medan solcellerna utgör en utmärkt växtplats för de plantor som trivs i skuggan. För att öka solcellernas effekt ytterligare används det destillerade vattnet från växthusen till att tvätta rent ytorna (Sahara Forest Project, 2012).

Området i Jordanien håller först och främst på med förstudier och är finansierat av Norges utrikesdepartement. Det pågår en studie kallad "The Jordan National Feasibility Study" som inriktar sig på att utvärdera olika tekniker för att kunna använda saltvatten, solenergi och ekologiska odlingar till att i det långa loppet kunna avsalta grundvattnet även i inlandet och expandera sin anläggning. Den andra studien kallas "The Red Sea – Dead Sea Synergies Feasibility Study" och samverkar med den första. Tanken är att åter föra samman röda havet med döda havet genom att "pumpa havsvatten upp till den högsta punkten av Wadi Araba och sedan låta det sjunka genom vattenkraftverk och avsaltningsanläggningar." (Sahara Forest Project, 2012) Den sista studien är ett renodlat test- och demonstrationscenter.

Arkitekten Michael Pawlyn grundade the Sahara Forest Project och sitter numer som chefsdesigner och styrelseledamot i bolaget (Sahara Forest Project, 2012). Pawlyn driver även arkitektfirman Exploration, beläget i London, som också fokuserar på biomimik. På Sahara Forest Project:s hemsida skriver Pawlyn hur biomimiken utgjort en viktig grund i projektet och hoppas att både Qatar och Jordanien kan bli grogrund för nya idéer och skapa lösningar på gamla utmaningar (Sahara Forest Project, 2012). Förhoppningen är att lyckas åstadkomma reflekterande ytor, inspirerat av silvriga Bladhorningar och repfria ytor, inspirerat av Skinkar. Skinkar är en typ av undergrupp i släktet ödlor och kan simma i sand utan att slita sin hud. Pawlyn konstaterar även att "det vanligaste förhållningssättet till miljöutmaningar är att tackla ett specifikt problem, när man hade kunnat uppnås genom att uppmärksamma helheten istället för de individuella symptomen. The Sahara Forest Project visar hur biomimik kan hjälpa med att ta itu med en rad utmaningar inkluderat färskvattenproduktion, byte till solekonomi, återskapande av mark, kolbindning till marken, stängning av näringscykler och samtidigt ge sysselsättning till ett stort antal människor." Precis som Pawlyn beskriver är systemtänket den röda tråden inom biomimik och när de olika biomimiklösningar kombineras uppstår ofta synergi.

3 Diskussion

Följande kapitel är en diskussion och reflektion kring de två föregående kapitlen husbyggnads- och installationsteknik och biomimik.

3.1 Definition av energieffektiva byggnader

Med tanke på att klimatfrågor idag är högprioriterade och att byggsektorn står för en stor del miljöbelastningen kan det vara aktuellt att få en klar definition över begreppet energieffektiv byggnad en gång för alla. Rapporten från ATON har bland annat belyst problematiken kring att BBR 19 fokuserar på mängd köpt energi in till byggnaden och då man studerar BBR 20, ser man att begreppet i stort sett är detsamma. Då kraven i BBR är tvingande för nybyggnation och renovering och ett minimikrav som måste uppfyllas borde detta begrepp definieras inom en snar framtid. Det faktum att samtliga nya byggnader fram till år 2020 ska vara nära nollenergibygnader, vilket i skrivande stund är om sex år, gör begreppsfrågan ännu mer aktuell.

En diskussion kring det faktum att EU låter de enskilda länderna tolka EU-direktivet och själv utarbeta byggreglerna efter detta kan även vara på sin plats. Då olika länder har olika byggregler är det förvisso förstaeligt att en viss frihet ges, frågan är dock hur EU-direktivet ser ut mer ingående, vilka parametrar som är tvingande, samt vilka det finns exakta siffror på. En djupdykning i detta direktiv hade kanske svarat på varför BBR inte tar hänsyn till mängden primärenergi eller har en omräkningsfaktor av denna, medan Danmarks byggregler gör. Jag ställer mig således frågande till hur väldefinierat direktivet var från början och om det eventuellt inbjudit till för generösa tolkningar, vilket kan förklara bredden i utformningen av byggreglerna mellan de olika länderna.

En ny version av BBR, med slutdatum 1 juli i år är på gång; frågan är dock hur mycket som ändrats jämfört med den förra upplagan. Reflektioner kring korrigerings av byggregler för även tankarna till USA, som trots oljekriser verkar ha liknande definitionsproblem gällande byggnadens energianvändning och en långsam förändring av byggreglerna. Att röra sig från förbrukning av olja och enbart välja förnybara energikällor hade inneburit stora omfördelningar av pengar globalt. Man kan diskutera vad det hade inneburit för USA:s ekonomi att helt använda förnybara energikällor och hur stor viljan är att gå mot utsläppsmål om det samtidigt innebär ekonomiska förluster för landet.

För att återgå till byggnadens specifika energianvändning kan man konstatera att begreppet inte är helt okomplicerat. Det faktum att definitionen exkluderar hushållsenergi och verksamhetsenergi, som främst beror på brukarnas användning och beteende gör det till en känslig fråga att låta Boverket, det vill säga staten, gå in och styra dessa parametrar och därmed styra användning och brukarbeteende. En byggnad kan ha låg specifik energianvändning, men hög förbrukning av hushålls- eller verksamhetsenergi. Ett ytterliggare mått på byggnadens energianvändning, som inkluderar hushållsenergi eller verksamhetsenergi, skulle inneburit att någon form av myndighet kontrollerat denna, vilket troligtvis hade lett till stor debatt om hur mycket staten bör kontrollera vad gäller boende respektive verksamhet. Komplexiteten i frågan om vilken energi som ska beaktas kan även förklara varför BBR 20, jämfört med BBR 19 inte innehåller några större förändringar med avseende på byggnadens energianvändning. Som jag ser det är det viktigaste första steget att ta hänsyn till primärenergi i byggnadens specifika energianvändning. Görs en förändring på den fronten bör BBR

även innehålla en tydlig beräkningsgång för en byggnads specifika energianvändning och i mesta möjliga mån se till byggnadens energianvändning och miljöbelastning i ett livscykelerspektiv. På så sätt erhålls en grundstandard som bättre tar hänsyn till hushållning av jordens resurser än en modell som enbart fokuserar på levererad energi inom systemgränsen för byggnaden.

Om en ny version av BBR utarbetas kan frågan väckas om de olika miljö- och energiklassningssystemen som finns i dagsläget verkligen behövs. Det kan, precis som ATON:s rapport belyser, vara svårt för kunden att i dagsläget sätta sig in i de olika klassningssystemen och förstå dess egentliga energi- och miljönytta. Att ha kvar systemen innebär å andra sidan att högre krav på energianvändning kan ställas på byggnader och just att de är frivilliga kan skapa en större villighet och acceptans av hårdare krav än ett lagstadgat krav från Boverket. En sällning bland systemen hade kanske varit på sin plats, så att de som inte genererar tillräckligt stor energi- och miljönytta hade slopas, för att göra utrymme för ett fåtal optimerade klassningar, med tydliga miljö- och energimål. Vad som är tillräckligt stor nytta, är en fråga i sig, men kan stämmas av med utsläppsmål, EU-direktivet eller liknande. Problemet med att ha för många system, kan vara att de missbrukas i marknadsföringssyfte av byggnaden. Förtydligt; om en stor mängd olika klassningssystem finns på marknaden och inte tillräckliga kontroller av dessa görs, finns en risk att miljönyttan inte är tillräckligt stor, det vill säga att kunden får något annat än vad denne betalar för. Många system är dock inte direkt synonymt med något som är dåligt och behöver inte öppna för oseriösa aktörer, men det är likväl värt att belysa potentiella utfall av många och/eller svårgreppade system. En annan åsikt är att fler system hade ökat konkurrensen mellan dessa och att det i sin tur skulle generera bättre system i sig själv. Summa summarum är det inte fel att marknadsföra sin byggnad som grön och erbjuda klassningssystem, så länge de innebär en klar förbättring för energieffektiviteten och miljön.

3.2 Att värma, kyla och ventilera i praktiken

Att inspireras av naturen för att utforma bättre och mer högpresterande byggnader är klokt. Precis som inledningskapitlet beskriver, har naturen utformat och förfinat sina tekniker i 3,8 miljoner år, vilket borde vara ett kvitto på något som fungerar. Givetvis ska ett kritiskt förhållningssätt finnas med då inspiration sökes och bara för att något är naturligt, behöver det automatiskt inte vara bra. Dock bör det poängteras att om en process, form eller ett tillvägagångssätt kan inspirera till att en produkt eller byggnad blir bättre lämpat för sitt ändamål är det inte annat än klokt att låta sig inspireras. Dock kommer kanske essensen av kritiken mot biomimiken också i samband med detta. Att inspireras av biomimiken är en sak, men att omsätta den till praktiken är en annan. Det ska nämligen tas i beaktning att djur och natur troligen inte har samma standarder på inneklimat och energieffektivitet som vi människor (som förvisso är en del av djur och natur, men ändå). Nyare forskning gällande termitbonas ventilerande funktion visade exempelvis att innetemperaturen inte konstant låg på 31 grader, något man tidigare trott och som eventuellt varit det som initierat intresset för termitbonas inneklimat. Man kan även fråga sig vilka element som måste efterliknas för att skapa det inneklimat som finns i ett termitbo. Behöver vi bygga med samma material, kommer detta material klara den belastningen som ett högvåningshus utgör, hur förhåller sig termiterna till relativ fuktighet, renhet i innemiljön och solljus etc.? Dessa faktorer och säkerligen många därtill skapar många frågetecken och kan försvåra arbetet med att härma naturen med avseende på värme, kyla och ventilation. Att

som Mick Pearce efterlikna konstruktionen på termiternas stackar, för att skapa ett behagligt inneklimat och en energieffektiv byggnad var förvisso helt rätt med tanke på att dessa två parametrar även uppnåddes. Det faktum att Pearce missförstått, eller rättare sagt utifrån rådande forskning inte sett hela bilden av termiternas ventilationsmässiga funktion visar på komplexiteten att efterlikna naturens tillvägagångssätt. Att feltolka naturen kan alltså vara lätt hänt, men återigen, att inspireras innebär ju främst att låta något utgöra grunden för hela processen och att kopiera något rakt av är återigen inte riktigt biomimikens grundtanke.

Att låta naturen inspirera till material eller komponenter i ett system som utgör en byggnad är kanske smartare än att försöka efterlikna en hel konstruktion rakt av. Exemplet med den namibiska skalbaggen som drar vatten ur luft är i min mening ett bra exempel på naturens uppfinningsrikedom och anpassningsförmåga och har resulterat i en lösning som man kanske inte tänkt på tidigare. Dock ska även denna idé sedan omsättas i praktiken, vara ekonomiskt hållbar samtidigt som tillverkningsprocess och material bör vara miljövänlig. Det är alltså många aspekter att tänka för att uppnå en bra helhet.

3.3 Materialens egentliga nytta

Produkten ClearShade, med lameller arrangerade i en bikakeliknande struktur som ska transmitta upp till 70 % av dagsljuset och reducera solvärmen i rummet, låter onekligen som en riktig vinnare på pappret. Dock kan man fråga sig om ett sådant fönsterglas verkligen är speciellt estetiskt tilltalande. På företaget (Panelite:s) hemsida visas bilder över hur utsikten genom glaset i princip är oförändrad rakt framför det, men ju längre ut med sidorna man kommer desto mer syns den hexagonala strukturen. Trots detta anser jag att fönsterglaset kan vara en smart lösning i vissa delar av en byggnad. Ett effektivt användningsområde är som takfönster, där kanske inte samma höga krav på utsikt finns, ett annat är för de fönster där man önskar ett visst insynsskydd och ett tredje kan vara för fönster i antingen söder, väst eller östläge i en kontorsbyggnad där utsikt finns i andra vädersträck. Att estetiken är viktig och att ett av fönsters viktigaste syfte är att kunna blicka ut, är något som inte får negligeras i jakten på mer energieffektiva glas.

I avsnittet redogörs även för Lotusans puts och fasadfärg, Calera:s cement som förbrukar koldioxid och PureBond-lim. Putsen och fasadfärgen verkar vara en genomtänkt idé, där huset i princip blir självrengörande, vilket sparar ägaren mycket tid. Att den är motståndskraftig mot svampar och alger är även bra, så länge färgen/putsen sitter på huset. Något som hade varit intressant att veta hade varit tillverkningsprocess och produktens beständighet i tiden innan ett nytt lager behöver strykas på.

När det kommer till avsnittet om cement som förbrukar koldioxid är mina förhoppningar om att produkten utvecklas för att i slutändan fullt ut ersätta portlandcement i betong. Dessvärre har inte tillräcklig hållfasthet för ändamålet ännu uppnåtts utan kan, som tidigare nämnts, endast ersätta en del av detta. Trots att produkten använder koldioxid i luften för att tillverka sitt pulver, måste en sådan process även generera koldioxidutsläpp. Så helt fri från skuld är inte Calera, men i alla fall ett mer miljövänligt alternativ.

Gällande limmet inspirerat av blåmusslor ställer jag mig frågande till det sojaprotein som används vid tillverkningen, vart kommer det ifrån och hur långt har det transporterats? Odling och transport av

sojaprotein står för en del utsläpp av växthusgaser, så frågan är om användningen av det nya PureBond-limmet i det stora hela minskar belastningen på miljön. En sådan undersökning hade varit önskvärd för att räta ut frågetecknen gällande suboptimering.

3.4 Smart solenergi och grönskande öken

Utvecklingen inom området för artificiell fotosyntes anser jag vara väldigt hoppingsivande för framtida energilösningar. Att till stor del förlita sig på solenergin, hitta ett sätt att lagra denna och helt röra sig bort från användningen av fossila bränslen hade varit optimalt. Problemet med exempelvis Grätzelceller och versioner på denna är dock dess relativt låga verkningsgrad jämfört med traditionella solceller. Om man lyckas öka denna, så att de blir en lönsam investering, tror jag att endast fantasin sätter gränser för dess användningsområden och placering i/på en byggnad.

Att arrangera solkraftverk genom att studera solrosors sätt att arrangera sina frön är även ett smart drag. Solkraftverk kräver ofta stora arealer och att komma på ett sätt att krympa dessa och dessutom ökad dess effektivitet är onekligen bra.

Avsnittet om Sahara Forest Project var tänkt att ge en helhetsbild över hur biomimiken kan användas i ett större perspektiv. Med några smarta lösningar har forskare åter skapat grönska i öknen. Man kan givetvis fråga sig vilka konsekvenser det blir ekosystemsmässigt av att placera och plantera något som inte funnits där naturligt på en lång tid. Människan går trots allt in och rubbar någon form av balans som funnits, om än i all välmening. Frågan är vilka konsekvenser en utbredning av dessa områden får på växt och djurliv i dess omnejd. Man kan bara hoppas att det positiva överväger det negativa.

4 Slutsatser

Kan vi således inspireras av biomimiken inom husbyggnads- och installationstekniken? Ja, det kan vi och det finns mycket inspiration att hämta från djur-, natur- och växtriket när det kommer till optimera produkter och lösningar. Svårigheten ligger i att sälla bland de lösningar som gör faktiskt miljö- och energinytta och i att skapa sig en helhetsbild av produkten eller tekniken i ett livscykelperspektiv. Om ett livscykelperspektiv skulle vara normen, finns det säkert lika många biomimiklösningar som skulle bli diskvalificerade som godkända. Förhoppningsvis väger det senare över.

Just att skapa sig en helhetsbild är central när det kommer till att kombinera biomimik med husbyggnads- och/eller installationsteknik, men är också det som är mest komplicerat och som tar längst tid. Parallellt till kritiken mot BBR kan dras, där en helhetsbild gällande energianvändningen för byggnader hade varit önskvärd, men också kräver tid och resurser att ta fram. För den delen ska ett sådant arbete inte försummas då en stadig grund av väldefinierade byggregler utgör en bättre bas för biomimiklösningar att vila på.

Referenser

Abel, E. & Elmroth, A., 2008. *Byggnaden som system*. u.o.:Forskningsrådet Formas.

Agerberg, M., 2003. *Billig solcell klar för massproduktion*. [Online]

Available at: http://www.nyteknik.se/nyheter/innovation/forskning_utveckling/article26403.ece
[Använd 23 04 2014].

Alpman, M., 2010. *Ny fabrik för solceller byggs i Stockholm*. [Online]

Available at: http://www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/solenergi/article2480752.ece
[Använd 23 04 2014].

Ask Nature, 2014. *Concentrated solar plant*. [Online]

Available at: <http://www.asknature.org/product/gallery/9019331e9e9a075da8da8a675b8b38fc>
[Använd 23 04 2014].

Ask Nature, 2014. *Fibonacci sequence optimizes packing: Sunflowers*. [Online]

Available at:
http://www.asknature.org/strategy/08ba894a508330861bac3ef1b574d804#.U1gTvPl_sbl
[Använd 23 04 2014].

Ask Nature, 2014. *Purebond® Technology*. [Online]

Available at: <http://www.asknature.org/product/22aa5601fadb68b5d2dc9e3d3a22f7f1>
[Använd 05 03 2014].

Ask Nature, 2014. *Sticky Proteins Serve as Glue: Blue Mussel*. [Online]

Available at:
<http://www.asknature.org/strategy/1052eed7fd56c4933871c04b65b1cafb#.UxcVvPI5OAU>
[Använd 05 03 2014].

Ask Nature, 2014. *Turrets ventilate nest: Leaf-cutting ant*. [Online]

Available at:
<http://www.asknature.org/strategy/7a28312f568a316acb3c50656ac75404#.UzAr6PI5Mbl>
[Använd 24 03 2014].

Ask Nature, 2014. *Ventilated nests remove heat and gas: Moud-building termites*. [Online]

Available at:
<http://www.asknature.org/strategy/8a16bdfdf27387cd2a3a995525ea08b3#.UzFnUfl5Mbl>
[Använd 25 03 2014].

Ask Nature, 2014. *Why AskNature*. [Online]

Available at: http://www.asknature.org/article/view/why_asknature
[Använd 08 05 2014].

ATON Teknikkonsult AB, 2012. *Energieffektivt byggande – möjligheter och hinder för högre krav, Uppdrag till Sveriges Kommuner och Landsting*. [Online]

Available at: <http://www.nollhus.se/images/Rapporter/Energieffektivt%20byggande%20-%20mojligheter%20o%20hinder%20120504.pdf>

- Baumeister, D., 2011. *Danyana Baumeister at InnoTown Innovation Conference*. Ålesund: u.n.
- Bengt Dahlgren AB & CIT Energy Management AB, 2013. *Energi- och miljöklassning av byggnader i Sverige*. [Online]
Available at: http://www.laganbygg.se/UserFiles/Projekt/LAGAN_Energi_o_miljoklassning.pdf
[Använd 13 04 2014].
- Benyus, J. M., 2002. *Biomimicry – Innovation Inspired by Nature*. New York: HarperCollins Publishers Inc..
- Boverket, 2013. *BBR konsoliderad BFS2011:6 tom BFS2013:14*. [Online]
Available at: http://www.boverket.se/Global/Lag_o_ratt/Dokument/Boverkets-Forfattningssamling/BBR-konsoliderad-BFS2011-6-tom-BFS2013-14.pdf
[Använd 13 04 2014].
- Boverket, 2013. *Boverkets byggregler, BBR*. [Online]
Available at: <http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Regler-om-byggande/Boverkets-byggregler-BBR>
[Använd 13 04 2014].
- Boverket, 2013. *Boverkets författningssamling*. [Online]
Available at: <http://www.boverket.se/Lag-ratt/Boverkets-forfattningssamling/BFS-efter-forkortning/BBR>
[Använd 10 05 2014].
- Bülow, C., u.d. *Ekobyggportalen - Fukt och mögel*. [Online]
Available at: <http://www.ekobyggportalen.se/sjuka-hus-byggifter/fukt-och-mogel/>
[Använd 04 03 2014].
- Calera Corporation , 2013. *Calera Scale-up*. [Online]
Available at: <http://www.calera.com/site/beneficial-reuse-of-co2/scale-up.html>
[Använd 05 03 2014].
- Calera Corporation , 2013. *Calera The Process*. [Online]
Available at: <http://www.calera.com/site/beneficial-reuse-of-co2/process.html>
[Använd 05 03 2014].
- Calera Corporation, 2013. *Calera Products*. [Online]
Available at: <http://www.calera.com/site/beneficial-reuse-of-co2/products.html>
[Använd 05 03 2014].
- Calera Corporation, 2013. *Calera The Science*. [Online]
Available at: <http://www.calera.com/site/beneficial-reuse-of-co2/science.html>
[Använd 04 03 2014].
- Cole, R. J., 2013. *Shifting performance expectations: Net Positive Buildings*. Canada, University of British Columbia.

European Commission, u.d. *Energy Efficiency - Buildings*. [Online]
Available at: http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/buildings_en.htm
[Använd 19 04 2014].

Fuktcentrum LTH, 2010. *Materialegenskaper - omräkning av enheter*. [Online]
Available at:
http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg_och_hjelpmedel/materialegenskaper/omraekning_av_enheter
[Använd 12 05 2014].

Goldstein, D. B., Burt, L., Horner, J. & Zigelbaum, N., 2010. *Zeroing in on Net-Zero Buildings: Can We Get There? How Will We Know When We Have Arrived?*. Kalifornien, Natural Resources Defense Council.

Gunne, N., 2012. *Från organism till arkitektur*. [Online]
Available at: <http://www.arkitekt.se/s72413>
[Använd 31 01 2014].

JCAP, 2014. *Solar Fuels*. [Online]
Available at: <http://solarfuelshub.org/research>
[Använd 22 04 2014].

Kleineidam, C., Ernst, R. & Roces, F., 2001. *Wind-induced ventilation of the giant nests of the leaf-cutting ant *Atta vollenweideri**, Tyskland: Springer-Verlag 2001.

Mölnadal Energi, 2013. *Primärenergi*. [Online]
Available at:
<http://www.molndalenergi.se/MILJ%C3%96/Milj%C3%B6p%C3%A5verkan/Prim%C3%A4renergi/tabid/459/language/sv-SE/Default.aspx>
[Använd 09 05 2014].

Nationalencyklopedin, 2014. *Bladskärarmyror*. [Online]
Available at: <http://www.ne.se/lang/bladskärarmyror>
[Använd 19 03 2014].

Nationalencyklopedin, 2014. *Blåmusslor*. [Online]
Available at: <http://www.ne.se/blåmussla>
[Använd 05 03 2014].

Nationalencyklopedin, 2014. *Btu*. [Online]
Available at: <http://www.ne.se/btu>
[Använd 12 05 2014].

Nationalencyklopedin, 2014. *Kalcium*. [Online]
Available at: <http://www.ne.se/kalcium/f%C3%B6reningar>
[Använd 02 03 2014].

Nationalencyklopedin, 2014. *Katekol*. [Online]
Available at: <http://www.ne.se/katekol>
[Använd 05 03 2014].

Nationalencyklopedin, 2014. *Modifikationer*. [Online]
Available at: <http://www.ne.se/modifikationer>
[Använd 04 03 2014].

Nationalencyklopedin, 2014. *Primärenergi*. [Online]
Available at: <http://www.ne.se/primärenergi>
[Använd 09 05 2014].

Nationalencyklopedin, 2014. *Skrubber*. [Online]
Available at: <http://www.ne.se/lang/skrubber>
[Använd 05 03 2014].

Nationalencyklopedin, 2014. *Termiter*. [Online]
Available at: <http://www.ne.se/termiter>
[Använd 25 03 2014].

Nationalencyklopedin, u.d. *Saltväxt*. [Online]
Available at: <http://www.ne.se/saltväxt>
[Använd 04 05 2014].

NLAB Solar AB, 2013. *LIFE+ PROJECT (PILOT PLANT)*. [Online]
Available at: <http://exeger.com/pilot-plant>
[Använd 23 04 2014].

NRDC, u.d. *Meet NRDC's experts*. [Online]
Available at: <http://www.nrdc.org/about/staff/david-goldstein>
[Använd 11 05 2014].

Panelite, 2013. *Panelite ClearShade IGU Overview*. [Online]
Available at: <http://www.panelite.us/products/exterior-clearshade-igu/clearshade-overview>
[Använd 03 03 2014].

Panelite, 2013. *Panelite Optimized Daylighting*. [Online]
Available at: <http://www.panelite.us/products/exterior-clearshade-igu/clearshade-overview/clearshade-igu-optimize-daylighting>
[Använd 04 03 2014].

Parker, A. R. & Lawrence, C. R., 2001. Water capture by a desert beetle. *Nature*, 01 11, Volym 414, pp. 33-34.

Sahara Forest Project, 2012. *Biomimicry*. [Online]
Available at: <http://saharaforestproject.com/concept/biomimicry.html>
[Använd 05 05 2014].

Sahara Forest Project, 2012. *Company - board*. [Online]
Available at: <http://saharaforestproject.com/company/board.html>
[Använd 17 05 2014].

Sahara Forest Project, 2012. *Concept*. [Online]
Available at: <http://saharaforestproject.com/concept.html>
[Använd 02 05 2014].

Sahara Forest Project, 2012. *Jordan*. [Online]
Available at: <http://saharaforestproject.com/projects/jordan.html>
[Använd 04 05 2014].

Sahara Forest Project, 2012. *PV*. [Online]
Available at: <http://saharaforestproject.com/concept/technologies/technology-extensions/pv.html>
[Använd 05 05 2014].

Sahara Forest Project, 2012. *Qatar*. [Online]
Available at: <http://saharaforestproject.com/projects/qatar.html>
[Använd 04 05 2014].

Sahara Forest Project, 2012. *Rollout*. [Online]
Available at: <http://saharaforestproject.com/concept/restorative-growth/rollout.html>
[Använd 04 05 2014].

Sahara Forest Project, 2012. *Seawater cooled greenhouses*. [Online]
Available at: <http://saharaforestproject.com/concept/technologies/core-technologies/seawater-cooled-greenhouses.html>
[Använd 05 05 2014].

SCNH, 2012. *FEBY12: Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus - Bostäder*. [Online]
Available at: <http://www.nollhus.se/images/Rapporter/Kravspecifikation%20FEBY12%20-%20bostader%20sept.pdf>

SCNH, 2012. *FEBY12: Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus - Lokaler*. [Online]
Available at: <http://nollhus.se/images/Rapporter/KravspecifikationFEBY12-lokalersept.pdf>
[Använd 18 04 2014].

SCNH, 2013. *Energiformsfaktor*. [Online]
Available at: <http://www.nollhus.se/feby-12/nollenergihus/nollenergihus/energiformsfaktor>
[Använd 10 02 2014].

SCNH, 2013. *FEBY certifikat 2012*. [Online]
Available at: <http://www.nollhus.se/images/Rapporter/FEBYcertifikat2012.pdf>
[Använd 09 04 2014].

- SCNH, 2013. *Lågenergihus*. [Online]
Available at: <http://www.nollhus.se/lagenergihus>
[Använd 09 04 2014].
- SCNH, 2013. *Passivhus*. [Online]
Available at: <http://www.nollhus.se/feby-12/passivhus-vaermefoerlusttal>
[Använd 10 02 2014].
- SMHI, 2007. *Kunskapsbanken - Solstrålning*. [Online]
Available at: http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.6403!faktablad_solstralning%5B1%5D.pdf
[Använd 08 05 2014].
- SMHI, 2013. *Droppstorlek och fallhastighet*. [Online]
Available at: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/droppstorlek-och-fallhastighet-1.31756>
[Använd 18 03 2014].
- Sto Lotusan, 2014. *Sto Scandinavia AB*. [Online]
Available at: http://www.sto.se/webdocs/0000/SDB/T_03206-032_0208_SV_02_01.PDF
[Använd 04 03 2014].
- Sto Scandinavia AB, 2004. *Sto Lotusan färg*. [Online]
Available at: http://www.sto.se/media/documents/broschyrrer/fasad_1/StoLotusan_faerg_-_SE.pdf
[Använd 04 03 2014].
- Styring, S. & Magnuson-Styring, A., u.d. *Artificiell fotosyntes. Att härma växterna för framtida energiförsörjning*. [Online]
Available at: <http://www.fotomol.uu.se/Forskning/Biomimetics/fotosyntes/artfotosyntes.pdf>
[Använd 22 04 2014].
- The Biomimicry 3.8 Institute, 2012. *Biomimicry 3.8 Institute*. [Online]
Available at: <http://biomimicry.net/about/biomimicry38/institute>
[Använd 08 05 2014].
- The Biomimicry 3.8 Institute, 2012. *Case Examples*. [Online]
Available at: <http://biomimicry.net/about/biomimicry/case-examples>
[Använd 30 01 2014].
- The Biomimicry 3.8 Institute, 2012. *Conversation with Janine*. [Online]
Available at: <http://biomimicry.net/about/biomimicry/conversation-with-janine>
[Använd 30 01 2014].
- The Biomimicry 3.8 Institute, 2012. *Founders*. [Online]
Available at: <http://biomimicry.net/about/our-people/founders/>
[Använd 16 05 2014].
- The Swedish Consortium for Artificial Photosynthesis, 2014. *The Swedish Consortium for Artificial Photosynthesis*. [Online]
Available at: <http://www.solarfuel.se>
[Använd 22 04 2014].

Torcellini, P., Pless, S., Deru, M. & Crawley, D., 2006. *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. Kalifornien, National Renewable Energy Laboratory.

Trivedi, B. P., 2001. *Beetle's Shell Offers Clues to Harvesting Water in the Desert*. [Online]
Available at: http://news.nationalgeographic.com/news/2001/11/1101_TVdesertbeetle.html
[Använd 24 02 2014].

Turner, S. J. & Soar, R. C., 2008. *Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building*. Leicester, u.n.

Uppsala Universitet, 2014. *Artificiell fotosyntes*. [Online]
Available at: http://www.kemi.uu.se/utbildning/intressanta_kemiomraden/artificiell_fotosyntes
[Använd 23 04 2014].

Weeks, K., 2014. *Paul Torcellini*. [Online]
Available at: http://www.ecobuildingpulse.com/vision-2020/energy-efficiency-and-building-science/paul-torcellini_o.aspx
[Använd 11 05 2014].

Worall, M., 2011. Homeostasis in nature: Nest building termites and intelligent buildings. *Intelligent Buildings International*, 14 07, 3(2), pp. 87-95.

Österberg, K., 1999. *Konstgjord fotosyntes ska ge energi i oändliga mängder*. [Online]
Available at: http://www.nyteknik.se/nyheter/innovation/forskning_utveckling/article224702.ece
[Använd 23 04 2014].

Bildreferenser

- FIGUR 1: SYSTEMBILD HUS. KÄLLA: SVERIGES CENTRUM FÖR NOLLENERGIHUS, 2013.
LÄNK: [HTTP://WWW.NOLLHUS.SE/FEBY-12/PASSIVHUS-VAERMEFOERLUSTTAL](http://www.nollhus.se/feby-12/passivhus-vaermefoerlusttal)
- FIGUR 2: VÄRME OCH VENTILATION I ETT KONTORSRUM. KÄLLA: ARBETSMILJÖVERKET, 2014.
LÄNK: [HTTP://WWW.AV.SE/TEMAN/VENTILATION/SKOLOR_KONTOR](http://www.av.se/teman/ventilation/skolor_kontor)
- FIGUR 3: ILLUSTRATIONEN VISAR VIKTEN AV EN VÄLISOLERAD KLIMATSKÄRM. KÄLLA: ENERGIBY NOVIA, 2014.
LÄNK: [HTTP://ENERGIBY.NOVIA.FI/SE/INFO_ENERGI_INFO.HTML](http://energiby.novia.fi/se/info_energi_info.html)
- FIGUR 4: ENERGI. KÄLLA: SWEDAVIA, 2014.
LÄNK: [HTTP://WWW.SWEDAVIA.SE/VARA-TJANSTER/ENERGI](http://www.swedavia.se/vara-tjanster/energi)
- FIGUR 5: ILLUSTRATION ÖVER HUR DEN TILLFÖRDA ENERGIN DELAR UPP SIG MELLAN OLIKA POSTER VID ETT DÅLIGT ISOLERAT "STANDARD" BOSTADSHUS. EN STOR MÄNGD TRANSMITTERAS UT GENOM KLIMATSKALET. KÄLLA: ENERGIBY NOVIA, 2014.
LÄNK: [HTTP://ENERGIBY.NOVIA.FI/SE/INFO_ENERGI_INFO.HTML](http://energiby.novia.fi/se/info_energi_info.html)
- FIGUR 6: SYSTEMGRÄNSER FÖR PRIMÄRENERGI, KÖPT ENERGI OCH NETTOENERGI. KÄLLA: ATON, 2012.
LÄNK: [HTTP://WWW.NOLLHUS.SE/RAPPORTER](http://www.nollhus.se/rapporter)
- FIGUR 7: STAPELDIAGRAM ÖVER MAX ENERGIANVÄNDNING FÖR PASSIVHUS OCH MINIENERGIHUS, DÄR DE SVARTA STAPLARNÄ REPRÄSENTERAR ELVÄRMED BOSTAD OCH GRÅ ICKE ELVÄRMED. DIAGRAMMET AVSER KRITERIER FÖR KLIMATZON III. BBR:S KRAV FINNS ÄVEN MED SOM REFERENS. KÄLLA: DIAGRAM ENL. SCNH, 2013.
LÄNK: [HTTP://WWW.NOLLHUS.SE/FEBY-12/MINIENERGIHUS](http://www.nollhus.se/feby-12/miniennergihus)
- FIGUR 8: FIGUREN VISAR HUR PRIMÄRENERGIN GENOM UTVINNING, FÖRÄDLING ETC. RESULTERAR I ENERGI TILL BRUKAREN.
KÄLLA: MÖLNDAL ENERGI, 2013.
LÄNK: [HTTP://WWW.MOLNDALENERGI.SE/MILJÖ/MILJÖPÅVERKAN/PRIMÄRENERGI/TABID/459/LANGUAGE/SV-SE/DEFAULT.ASPX](http://www.molndalenergi.se/miljo/miljopaeverkan/primarenergi/tabid/459/language/sv-se/default.aspx)
- FIGUR 9: FIGUREN VISAR HUR STOR MÄNGD KÖPT ENERGI DE OLIKA VÄRMESYSTEMEN KRÄVT I FLERBOSTADSHUSEN. KÄLLA: DIAGRAM ENL. ATON, 2012.
LÄNK: [HTTP://WWW.NOLLHUS.SE/IMAGES/RAPPORTER/ENERGIEFFEKTIVT%20BYGGANDE%20-%20MOJLIGHETER%20-%20HINDER%20120504.PDF](http://www.nollhus.se/images/rapporter/energieffektivt%20byggande%20-%20mojligheter%20-%20hinder%20120504.pdf)
- FIGUR 10: FIGUREN VISAR MÄNGDEN EJ FÖRNYBAR ENERGI I FLERBOSTADSHUSEN. KÄLLA: DIAGRAM ENL. ATON, 2012.
LÄNK: [HTTP://WWW.NOLLHUS.SE/IMAGES/RAPPORTER/ENERGIEFFEKTIVT%20BYGGANDE%20-%20MOJLIGHETER%20-%20HINDER%20120504.PDF](http://www.nollhus.se/images/rapporter/energieffektivt%20byggande%20-%20mojligheter%20-%20hinder%20120504.pdf)
- FIGUR 11: FIGUREN VISAR MÄNGDEN PRIMÄRENERGI FÖR DE OLIKA VÄRMESYSTEMEN I FLERBOSTADSHUSEN. KÄLLA: DIAGRAM ENL. ATON, 2012.
LÄNK: [HTTP://WWW.NOLLHUS.SE/IMAGES/RAPPORTER/ENERGIEFFEKTIVT%20BYGGANDE%20-%20MOJLIGHETER%20-%20HINDER%20120504.PDF](http://www.nollhus.se/images/rapporter/energieffektivt%20byggande%20-%20mojligheter%20-%20hinder%20120504.pdf)
- FIGUR 12: EN SKALBAGGEHONAS RYGG. SKALSTRÄCK 10 MM. KÄLLA: ASKNATURE.ORG, 2008. FOTOGRAF: PROF. ANDREW PARKER.
LÄNK: [HTTP://WWW.ASKNATURE.ORG/STRATEGY/DC2127C6D0008A6C7748E4E4474E7AA1#.U0_2GPL_SBI](http://www.asknature.org/strategy/dc2127c6d0008a6c7748e4e4474e7aa1#.U0_2GPL_SBI)
- FIGUR 13: SVEPELEKTRONMIKROFOTOGRAFI ÖVER DEN HYDROFOBA YTAN PÅ SKALBAGGENS SKAL. SKALSTRÄCK 10 MIKROMETER. KÄLLA: ASKNATURE.ORG, 2008. FOTOGRAF: PROF. ANDREW PARKER.
- FIGUR 14: BLADSKÄRRARMYRA. KÄLLA: NATIONAL GEOGRAPHIC, 2006. FOTOGRAF: ROY TOFT.
LÄNK: [HTTP://ANIMALS.NATIONALGEOGRAPHIC.COM/ANIMALS/BUGS/ANT](http://animals.nationalgeographic.com/animals/bugs/ant)
- FIGUR 15: BLADSKÄRRARMYRORNAS STACKAR. KÄLLA: BBC NATURE, 2011. FOTOGRAF: M. COSARINSKY.
LÄNK: [HTTP://WWW.BBC.CO.UK/NATURE/14993585](http://www.bbc.co.uk/nature/14993585)

FIGUR 16: ETT TERMITBO SOM AVGJUTITS I GENOMSKÄRNING. BILD A VISAR DE YTLIGA GÅNGARNA. B VISAR DE VERTIKALA GÅNGARNA. C VISAR NÄTVERKET AV GÅNGAR UNDER MARK, SOM OMSLUTER BOET. D VISAR ETT HORIZONTELLT TVÄRSNITT AV TERMITBOET. E VISAR ETT HORIZONTELLT SNITT AV NÄSTET UNDER MARK. SVAMPODLINGEN UTGÖR DE GULA YTORNA. KÄLLA: TURNER OCH SOAR, 2008.

LÄNK: [HTTP://WWW.ESF.EDU/EFB/TURNER/PUBSPAGES/PUBS-REV.HTML](http://www.esf.edu/efb/turner/pubspages/pubs-rev.html)

FIGUR 17: FIGURER SOM BESKRIVER TIDIGARE TEORI OM TERMITBONAS VENTILATION. VÄNSTRA FIGUREN VISAR ETT STÄNGT OCH DEN HÖGRA ETT ÖPPET BO. KÄLLA: TURNER AND SOAR, 2008.

LÄNK: [HTTP://WWW.ESF.EDU/EFB/TURNER/PUBSPAGES/PUBS-REV.HTML](http://www.esf.edu/efb/turner/pubspages/pubs-rev.html)

FIGUR 18: FIGUR SOM VISAR LUNGANS DELAR OCH VILKA STRÖMNINGAR SOM RÅDER. KÄLLA: WORALL, 2011.

LÄNK: [HTTP://WWW.TANDFONLINE.COM/DOI/FULL/10.1080/17508975.2011.582316#.UZLYDVL5MBI](http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17508975.2011.582316#.UZLYDVL5MBI)

FIGUR 19: THE EASTGATE CENTRE I HARARE, ZIMBABWE. KÄLLA: ASKNATURE, 2009. FOTOGRAF: MANDY PATTERSON.

LÄNK: [HTTP://WWW.ASKNATURE.ORG/PRODUCT/373EC79CD6DBA791BC00ED32203706A1](http://www.asknature.org/product/373ec79cd6dba791bc00ed32203706a1)

FIGUR 20: CLEARSHADE'S FUNKTION. KÄLLA: PANELITE, 2012.

LÄNK: [HTTP://WWW.PANELITE.US/PRODUCTS/EXTERIOR-CLEARSHADE-IGU/SOLAR-HEAT-GAIN-CONTROL](http://www.panelite.us/products/exterior-clearshade-igu/solar-heat-gain-control)

FIGUR 21: T.V LOTUSANS SMUTSAVVISANDE FÖRMÅGA. T.H LOTUSBLADENS HYDROFOBA YTA. KÄLLA: STO LOTUSAN FÄRG, 2014.

LÄNK: [HTTP://WWW.STO.SE/MEDIA/DOCUMENTS/BROSCHYRER/FASAD_1/STOLOLUSAN_FAERG_-_SE.PDF](http://www.sto.se/media/documents/broschyrer/fasad_1/stolotusan_faerg_-_se.pdf)

FIGUR 22: CALERA, PROCESSEN FÖR ATT BILDA KALCIUMKARBONAT. KÄLLA: CALERA CORPORATION, 2013.

LÄNK: [HTTP://WWW.CALERA.COM/SITE/BENEFICIAL-REUSE-OF-CO2/PROCESS.HTML](http://www.calera.com/site/beneficial-reuse-of-co2/process.html)

FIGUR 23: BLÅMUSSLOR. KÄLLA: NATIONALENCYKLOPEDIN, 2014. FOTOGRAF: F. EHRENSTRÖM/NATURFOTOGRAFERNA.

LÄNK: [HTTP://WWW.NE.SE/BLÅMUSSLA](http://www.ne.se/blåmusla)

FIGUR 24: PLYWOOD MED PUREBOND-LIM. KÄLLA: COLUMBIA FOREST PRODUCTS, 2014.

LÄNK: [HTTP://WWW.COLUMBIAFORESTPRODUCTS.COM/PRODUCT/CLASSIC-CORE/](http://www.columbiaforestproducts.com/product/classic-core/)

FIGUR 25: FIGUR ÖVER HUR SOLENERGIN OMVANDLAS TILL KEMISK ENERGI PÅ GRUND AV SPÄNNINGSPOTENTIAL ÖVER MEMBRANET. KÄLLA: STYRING, U.D.

LÄNK: [HTTP://WWW.FOTOMOL.UU.SE/FORSKNING/BIOMIMETICS/FOTOSYNTES/ARTFOTOSYNTES.PDF](http://www.fotomol.uu.se/forskning/biomimetics/fotosyntes/artfotosyntes.pdf)

FIGUR 26: UPPBYGGNAD AV EXEGER:S VERSION AV GRÄTZELCELL. KÄLLA: EXEGER, 2013.

LÄNK: [HTTP://EXEGER.COM/DYE-SENSITIZED-SOLAR-CELLS](http://exeger.com/dye-sensitized-solar-cells)

FIGUR 27: SOLROS MED SINA SPIRALARRANGERADE BLOMKORGAR. KÄLLA: ASKNATURE.ORG, 2012. FOTOGRAF: L. SHYAMAL.

LÄNK: [HTTP://WWW.ASKNATURE.ORG/STRATEGY/08BA894A508330861BAC3EF1B574D804#.U1GTVPL_SBI](http://www.asknature.org/strategy/08ba894a508330861bac3ef1b574d804#.U1GTVPL_SBI)

FIGUR 28: EN ÖVERBLICK PÅ PILOTANLÄGGNINGEN I QATAR. 1. TERMISKA SOLKRAFTVERK. 2.

SALTVATTENVÄXTHUS. 3. VEGETATION OCH AVDUNSTNINGSANORDNINGAR. 4. SOLCELLER. 5.

SALTVATTENPRODUKTION. 6. HALOFYTER. 7. ALGPRODUKTION.

KÄLLA: SAHARA FOREST PROJECT, 2012.

LÄNK: [HTTP://SAHARAFORSTPROJECT.COM/PROJECTS/QATAR.HTML](http://saharaforestproject.com/projects/qatar.html)