

Hållbara materialkonstruktioner med hjälp av biomimicry

Sustainable material constructions using biomimicry

Jennie Sjökvist

Sammanfattning

Vi behöver minska vår materialkonsumtion, idag gör vi av med mer resurser än vad vi har tillgång till. I den här studien har först en materialkonstruktion tagits fram och därefter ett produktkoncept för konstruktionen. För att ta fram materialkonstruktionen har biomimicry använts. Biomimicry är designmetoder för att lösa designproblem med inspiration från naturen. Naturen använder sig av så lite material som möjligt. Materialkonstruktionen är inspirerad av växtceller. Konstruktionen har två hierarkier som går i två olika riktningar, en riktning som går längs med och en riktning som går i djupled.

För att hitta ett produktkoncept för materialkonstruktionen har material driven design (MDD) använts. MDD är en experimentell metod för att lära känna ett material och förstå dess användningsområde. Produktkonceptet är en stapelbar pall.

För att minska på resurser används 3d-printning. 3d-printning är en additiv teknik och minskar på så sätt materialåtgång. Dessutom kan allt material lätt återanvändas eftersom det bara behövs ett material. Produkten kan produceras lokalt vilket minskar på transporter. PLA har använts som material i den här studien.

Abstract

We need to reduce our material consumption, today we are wasting more resources than we have access to. In this study, a material construction was first developed and then a product concept for the construction. Biomimicry has been used to develop the material construction. Biomimicry are design methods for solving design problems with inspiration from nature. Nature uses as little material as possible. The material construction is inspired by plant cells. The construction has two hierarchies that go in two different directions.

To find a product concept for the construction, material driven design (MDD) has been used. MDD is an experimental method used to get to know a material and understand its application. The product concept is a stackable pallet.

To reduce resources, 3D printing is used. 3D printing is an additive technology and thus reduces material consumption. In addition, all material can be easily reused as only one material is needed. The product can be produced locally, which reduces on transport. PLA has been used as material in this study.

Innehållsförteckning

1. Inledning	6
1.1. Fördjupningsområden	7
1.2. Syfte	7
1.3. Frågeställning	8
1.4. Avgränsningar	8
1.5. Etiska aspekter	8
2. Teoretiskt ramverk	9
2.1. Biomimicry	9
2.2. Hållbar utveckling	10
2.3. Biomimicry och hållbar utveckling	10
2.4. Resurseffektiva material i naturen	13
2.5. Material driven design	16
2.6. 3d-printning och hållbarhet	16
3. Metod	18
3.1. Biomimicry Designspiralen	18
BM steg 1 - Definiera	19
BM steg 2-Biologisera	19
BM Steg 3 – Upptäck naturens modell	20
BM Steg 4 – Sammanfatta naturens strategi	20
BM Steg 5 - Utveckla	21
BM Steg 6 - Utvärdering	21
3.2. MDD	21
MDD Steg 1: Materialförståelse	21
MDD Steg 2 - Materialvision	23
MDD Steg 3 - Materialupplevelse	23
MDD Steg 4-Produktkoncept	23
4. Analys och Resultat	24
4.1. Biomimicryspiralen	24
BM Steg 1-Definition	24
BM Steg 2 - Biologisera	25
BM Steg 3-Upptäck naturens modell	25
BM Steg 4 – Sammanfatta naturens strategi	25
BM Steg 5-Utveckla	25
BM Steg 6 - Utvärdera	26
4.2. MDD	27
MDD Steg 1 - Materialförståelse	27
Steg 2 - Materialvision	28

Steg 3 - Materialupplevelse	29
Steg 4 - Produktkoncept	29
5. Slutsats	32
6. Diskussion	33
7. Källförteckning	35
8. Figurförteckning	38
9. Bilagor	40

1. Inledning

För att tillgodose våra materiella behov förbrukar vi idag 1,7 planeter enligt WWF (2018) och om alla levde som i Sverige skulle det behövas 4 planeter. Klimatförändringarna börjar märkas av, även om vi i Sverige än så länge kommit lindrigt undan. (WWF, 2019). Jämförelsevis med människan är naturen mer hållbar. Naturen är expert på materialsnåla konstruktioner som passar för ändamålet.

I den här studien kommer jag att ta fram en materialkonstruktion genom att inspireras av hur material ser ut i naturen. Jag kommer använda mig av biomimicry för att ta fram konstruktionen. Biomimicry är en filosofi och designmetoder som lyfter fram hållbar utveckling (Lenau et. al. 2018). Jag kommer i den här studien välja att fokusera på biomimicry som designmetoder för att få fram en materialsnål konstruktion till en produkt. Valet att inte gå djupare in på filosofin beror på att det här är ett designarbete under en begränsad tid. Biomimicry är inte i sig själv en garanti för hållbarhet, men ger större möjligheter att arbeta hållbart (Kennedy et al. 2015).

För att ta fram ett produktkoncept till materialkonstruktionen kommer jag använda mig av material driven design (MDD). MDD är en experimentell och utforskande designmetod där ett materials upplevda och fysiska egenskaper utforskas för att ta fram materialets egenskaper. Med hjälp av materialets egenskaper utformas ett produktkoncept.

Valet av att använda biomimicry som metod för att ta fram en materialsnål konstruktion beror på att organismers form och process har som uppgift att vara lätta, skydda mot hot och vara en strukturell support (Vernerey 2010). Biomimicry kan ligga på olika nivåer och Othmanis et al. (2018) skriver i sin review om tre olika nivåer. Den första nivån är formen, det vill säga hela eller en del av en organism. Den andra nivån är processen, det vill säga organismens beteende och eventuellt även hur den interagerar med närmiljön. Den tredje och sista nivån är att imitera ekosystemet och hur flera delar samverkar. Den här studien kommer att lägga vikten främst på formen, men även processen och ekosystemet kommer att tas i beaktande.

Referensarbetet för den här studien är Lilan Van Daals stol, inspirerad av cellstrukturer i växter (figur 1). Kriterierna för stolen var att den skulle kunna produceras lokalt och att lim inte skulle användas för att möjliggöra upcykling (Daal, 2017).



Figur 1 Biomimicrystol av Lilian van Daal (2017)

1.1. Fördjupningsområden

I den här studien kommer jag utforska biomimicry och hållbarutveckling men även materialforskning i form av material driven design (MDD).

1.2. Syfte

Syftet med studien är att kombinera biomimicry och materialforskning för att ta fram en hållbar materialkonstruktion och ett produktkoncept som kan appliceras på konstruktionen. Material i naturen använder sig av så lite material som möjligt genom exempelvis att använda hålrum, dessutom återanvänds allt material. På samma sätt kommer den här studien fokusera på hur vi kan designa produkter med så lite material som möjligt och där allt material går att återanvända.

Den externa relevansen är en materialkonstruktion och koncept som är helt återvinningsbar och som dessutom går att produceras lokalt. Genom att använda hålrum kommer produkten att bli lätt att bära.

Den interna relevansen för den här studien är att kombinera metoderna för biomimicry och för MDD för att ta fram nya och innovativa materialkonstruktioner. Materialkonstruktionen kommer att bestå av två hierarkier (se figur 2) som går i två riktningar, vilket är väldigt ovanligt för människogjord design men det är desto vanligare i naturen. MDD kommer användas för att utforska konstruktionen och skapa ett produktkoncept som passar till konstruktionen.



Figur 2. 2 hierarkier. De röda linjerna som går i sidled är en hierarki och de gröna rutorna är en hierarki (Sjökvist, 2020)

1.3. Frågeställning

Frågeställningen till studien är: Hur kan produktdesign genom material driven design användas för att undersöka om hur biomimicry kan användas för att skapa materialsnåla konstruktioner som går att använda på produkter?

1.4. Avgränsningar

Biomimicry handlar om att hämta inspiration från naturen och förstå vilka mekanismer som används. Exempelvis hur jättenäckrosblad, som består av minimalt med material, kan bära mycket tyngd. Eftersom jag inte är en biolog eller har kontakt med någon biolog så kommer jag förlita mig på den kunskap som går att hitta på bland annat asknature.com som är en söksida inom biomimicry.

Naturen har olika strategier för att nå samma eller liknande mål. Det här arbetet fokuserar på att göra materialsnåla material, vilket naturen är specialist på. I naturen är nämligen material dyrt och uppbyggnaden av materialet blir viktigt, det vill säga att material används bara där det behövs. Eftersom det här arbetet är tidsbegränsat har jag valt att begränsa mig till några få materialsnåla konstruktioner från naturen.

För att utforska strukturer i material kommer 3d-printning användas, vilket är inspirerat av Daals stol (figur 1). Därmed behövs enbart ett material, vilket förenklar återvinning. Detta kommer även bidra till att produkten kommer kunna förändras efter behov och önskemål och anpassas efter nya förutsättningar.

Projektet kommer att titta närmare på strukturer och hålrum i material, snarare än materialet i sig, och förhoppningsvis går strukturerna även att användas med fler material. PLA kommer att användas som plastmaterial. Valet att använda PLA till 3d-skrivaren baserar sig på att det är en förnyelsebar råvara som är mindre hälsofarlig och miljövänligare än ABS (Kim *et al.* 2019). Ett ytterligare skäl är att miljövänligare material som tas upp i uppsatsen inte är tillräckligt utvecklade än. Dessa material är mycelium, trä och plast baserat på koldioxid eller alger.

Informanter till användarstudien kommer att begränsas till 8-10 personer på grund av att det är ett kortare arbete och svårigheter att få tag på deltagare som har tid att genomföra tester.

1.5. Etiska aspekter

Användarstudierna som utförs i det här arbetet kommer följa Vetenskapsrådets forskningsetiska principer. Användarna kommer få veta syftet med testerna och att det är frivilligt att delta samt de kan avsluta när som helst. Eftersom det inte är användarnas identitet som är intressant i den här studien kommer alla deltagare hållas hemliga och ses som en grupp. Ingen information som hämtas under användarstudierna kommer användas kommersiellt. (Codex, 2019)

2. Teoretiskt ramverk

De teorier som används under det här arbetet är hållbar utveckling och biomimicry. Det finns även teorier hämtade från arkitekturen som är kopplade till biomimicry. Hela det här arbetet kommer att genomsyras av hållbar utveckling.

2.1. Biomimicry

Biomimicry användes för första gången i litteraturen 1962 (Pawlyn 2011). Ordet biomimicry kommer från grekiskan och betyder att imitera (mimeses) livet (bios) (Lenau et al. 2018). Under 1980-talet började biomimicry användas allt mer av materialforskare och 1997 gav Benyus ut boken "Biomimicry: Innovation Inspired by Nature" som blåste nytt liv i rörelsen (Lenau et al. 2018). Hämtat kunskap från naturen har man gjort under en längre period. Redan 1719 inspirerades insektsforskaren Reamur av getingbon och han föreslog användning av träfibrer istället för lin och bomull i papper. Ytterligare ett exempel på tidig inspiration från naturen är när Cavley studerade delfiner 1809 för att utveckla skepp med lägre dragningskoefficient (Pawlyn 2011).

Den genomgripande idén med biomimicry är att naturen redan har löst många av människans designproblem (Baumeister 2013). Biomimicry handlar inte om att kopiera utan att förstå och använda sig av naturens lösningar (Kennedy et al. 2015). Biologin är den viktigaste delen av biomimicry, men designen är också en viktig del. Biologens uppgift är att förstå naturen och designerns roll är att omvandla kunskapen till lösningar i design (Kennedy 2015).

Benyus (1997) förklarar att naturen inom biomimicry ses som en modell, ett mätinstrument och en mentor, vilket gör biomimicry till något mer än en imitation av naturen. Det är bara genom att se naturen som modell som naturen används till imitering (Dicks 2015). Naturen kan även användas som en inspirationskälla, utan att allt behöver efterliknas (Dicks 2015). Det finns kritiska röster som menar att om organismer imiteras, kommer de till slut kunna ersättas av imitationer och världen kommer fyllas av till exempel robotbin (Mathew 2011).

Att använda naturen som mätinstrument gör att ett mer etiskt förhållningssätt antas, vilket gör naturen till en måttstock på hållbar design (Dicks 2015). Att använda naturen som mentor betyder att fokus har flyttats från att utvinna råvaror till att naturen även kan lära oss saker för att vi ska kunna passa in i naturen (Benyus 1997). Den traditionella synen på vem som har kunskapen har förflyttats från människan till naturen (Dicks 2015).

Det finns flera olika snarlika kategorier inom naturinspirerad design, så som biomimicry, biomimetics och bionics. Det finns olika uppfattningar om biomimicry och biomimetics är samma sak eller om de skiljer sig åt. Pawlyn (2011) och använda biomimicry och biomimetics som synonymer. Han definierade båda begreppen som att "efterlikna den funktionella grunden för biologiska former, processer och system för att skapa hållbara lösningar". Enligt Pawlyn används begreppet biomimicry oftare till att utveckla hållbara lösningar medan begreppet biomimetics används oftare inom områden som exempelvis militär teknologi (Pawlyn 2011).

Enligt Lenau et al. (2018) är biomimicry och biomimetics naturinspirerade metoder, men biomimicry är en filosofi och designmetoder som lyfter fram hållbar utveckling. Biomimetics behöver inte göra detta. För att räknas som biomimetics enligt ISO standard, krävs det att tre kriterier har uppfyllts: en funktionsanalys har gjorts av ett tillgängligt biologiskt system, det biologiska systemet har abstraherats och slutligen överförs och applicerats på en produkt (Lenau 2018). Jag väljer att tolka det som Pawlyn (2011) och behandlar biomimicry och biomimetics som synonymer när jag letar efter inspiration och försöker förstå strategierna som finns i naturen. Däremot hämtar jag all information om biomimicry och dess metoder ur källor som enbart handlar om biomimicry.

2.2. Hållbar utveckling

1987 gav FN följande definition på hållbar utveckling ”Hållbar utveckling är en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov.”(UN, 1987). Man brukar dela in hållbar utveckling i ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet. För en hållbar utveckling behöver ekonomin vara rättvis och inkluderande, den grundläggande levnadsstandarden behöver höjas, och vi behöver ha en hållbar strategi gentemot våra naturtillgångar och ekosystem (UN).

Målet med hållbar design borde vara att inte göra någon miljöpåverkan som i framtiden kan bli till belastning (Steves, Silver, 2017). Miljöpåverkan under hela produktens eller tjänstens livscykel behöver tas i beaktande och övervägas av designern (Steves, Silver, 2017).

Cirkulär produktdesign minimerar miljöpåverkan samtidigt som det ekonomiska värdet bibehålls under så lång tid som möjligt, genom att designa för ett långt liv, reparations- och renoveringsmöjligheter, förändringsmöjligheter och återvinning (Lobus 2017). Alla anställda i hela kedjan ska bli rättvist behandlade, produkten ska vara energi- och resurseffektiv och designen ska vara både fysiskt och psykiskt hållbar (Lobus 2017). Produktens ursprung ignoreras ofta av designern och av konsumenten och det är oftast där som en stor miljöpåverkan äger rum (Steves, Silver, 2017). I den här studien kommer jag inrikta mig på den ekologiska hållbarheten eftersom det är mest relevant för produktdesign som produceras lokalt.

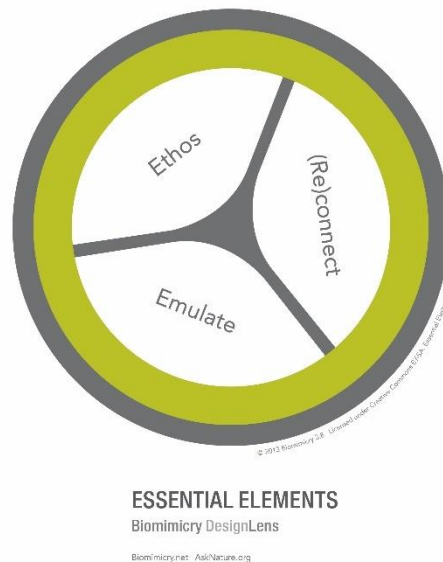
2.3. Biomimicry och hållbar utveckling

Naturens design är hållbar och biomimicry ger förutsättningar för hållbar utveckling, men biomimicry behöver inte vara hållbart. Vårt sätt att traditionellt använda resurser är linjärt och bidrar till miljöförstörelse, medan naturen har en miljövänlig och cyklisk process (Pawlyn 2011). Visserligen är naturen hållbar men den kan ändå vara skadlig för människan, exempelvis giftiga djur. Vidare kan lättviktiga material i naturen verka hållbara och ekonomiska, men den faktiska produktionstiden blir lång och dyr och vinsten överträffar den ekonomiska materialvinsten (Lenau, 2018). Biologisk design är oftast hållbar och med hjälp av biomimicry kan hela designprocessen inkluderas, det vill säga hela produktens livslängd och jordens begränsningar (Kennedy et al. 2015).

När det gäller traditionell tillverkning brukar man säga att den använder sig av heat, beat and treat det vill säga, heat är den höga värme som används för att forma materialet, beat betyder den mekaniska formningen av materialet och treat syftar på de kemikalier som används. DeLuca(2017) menar även att traditionell tillverkning ofta även använder take, make and waste, där take syftar på det råmaterial som används, make syftar på heat, beat och treat och waste referera till avfallet som produceras.

Tillskillnad från människogjord tillverkning så bygger naturen sina material i låg värme, additivt och med minimalt av kemikalier.

Baumeister (2013) delar in biomimicry i tre delar: ethos, (re)connect och emulate (figur 3). Ethos är



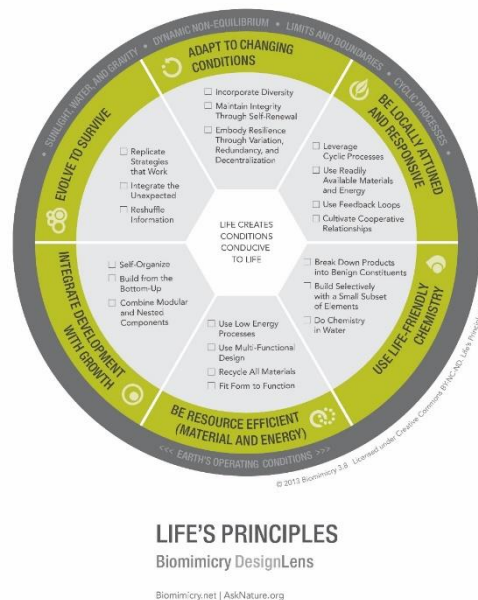
Figur 3 Biomimicryns delar: Ethos, (Re)connect och Emulate (Biomimicry 3.8, 2013)

anledningen till att människan använder biomimicry, det vill säga hur vi vill passa in i naturen och vilken etik, vilka intentioner och vilken filosofi som antas (Baumeister, 2013). Inom hållbara design används ethos för att föra fram hållbara värden och att sätta människan och natur framför vinst. Aristoteles beskrev Ethos som gott förnuft, dygdig karaktär och god vilja (DeLaure, 2017).

(Re)connect är hur vi ser oss själva som en del av naturen, där vi är sammankopplade med naturen och inte separerade ifrån den. I biomimicry är förhållningssättet till naturen bioinklusivt, det vill säga att människan har en plats i naturen, där det mänskliga uttrycksättet och artefakter har en plats på samma sätt som biets eller spindelns uttryck (Matthews, 2011). Naturen har traditionellt sett delats in i två kategorier. Ett biocentriskt förhållningssätt innebär att naturen har ett värde i sig och ett antropocentriskt förhållningssätt betyder att naturen ses som en resurs för människan. Mathew menar att vi genom denna dualistiska indelning sätter människan utanför naturen och vi blir antingen för naturen eller för människan. Naturens värde har förflyttats från att vara naturtillgångar till att ha sitt värde i ekosystemtjänsterna och biomimicryn värderar naturen som en källa av information, idéer, kunskap och visdom (Dicks, 2016).

Emulate är där själva designarbetet tar sin plats. Strategier som finns i naturen översätts, för att användas i design. Det finns minst sex olika livsprinciper och Biomimicry Institute har beskrivit dem för att de ska kunna användas som riktlinjer för kategorier inom hållbar utveckling (se figur 4 och bilaga 1). Dessa livsprinciper används för att utvärdera designens hållbarhet, men det är inget kvantitativt mätsystem utan kvalitén finns i utvärderingen av var och en av de olika kategorierna

(Lenau et al. 2018). Livsprinciperna är följande: utvecklas för överlevnad, anpassa efter förändrade förutsättningar, vara lokalt anpassad, integrera utveckling med växande, vara resurseffektiv och använda livsvänlig kemi.



Figur 4 Livsprinciperna (Biomimicry 3.8)

Naturen utvecklas för överlevnad genom att återanvända de strategier som fungerar, det "oväntade" integreras och information blandas. Att återanvända de strategier som redan fungerar, gör exempelvis djurarter som lär sig använda redskap för att komma åt mat, dessa strategier går sedan i arv och blir till slut en genetisk kunskap. Nya möjligheter kan uppstå genom att implementera det oväntade. Ytterligare en annan strategi är att låta information blandas genom att ett utbyte av kunskap sker.

Naturen anpassar sig efter förändrade förutsättningar genom mångfald. Lärdomen härifrån är att inkludera flertalet former, processer eller system för att möta behov. Dessutom bevarar naturen sin helhet genom självförnyelse och är motståndskraftig genom variation, överskott och decentralisering. Människan behöver alltså upprätthålla, underhålla och utveckla system, samt undvika störningar genom att underhålla funktioner, processer eller system som är oberoende av varandra.

Naturen anpassar sig efter den lokala miljön. Organismer utnyttjar cykliska processer, använder sig av lättillgängligt material och energi samt återkoppling och samarbete. På samma sätt kan människan ta fördel av upprepande fenomen, använda närproducerat tillgängligt material och utnyttja fri tillgänglig energi.

Naturen integrerar utveckling med växande genom självorganisering, nedifrån upp design och kombinera modulära och inkapslade komponenter () det vill säga att naturen designar molekyl för molekyl vilket leder till att det som är biologiskt material också är struktur (Pawlyn 2011). Människan

kan på samma sätt till exempel skapa moduler som kan samverka, montera en enhet åt gången och använda både komplexa och enkla enheter.

Naturen är resurseffektiv eftersom den använder sig av låg energiåtgång, använder multi-funktionell design, återanvänder allt material och anpassar form efter funktion. På samma sätt kan vi minimera energiåtgången genom att minska temperaturer, tryck eller reaktionstider och möta flera behov med en lösning, använda material i en sluten loop och även välja form efter behovet.

Naturen använder livsvänlig kemi genom sönderdelning, bygger med ett litet urval av element och gör kemin i vatten. Människan kan använda material och kemi som har ett ofarligt sönderfall eller använda få material och vatten som lösningsmedel (Baumeister 2013). Exempel på detta kan vara att människan, liksom naturen, använder nanostrukturer istället för pigment. Idag resulterar mycket färger och konserveringsmedel i föroreningar (Pawlyn 2011) Blad använder sig av strukturer för att hålla rent och denna struktur finns utvecklad för tak, tyger och färger. Strukturen på hajar är antibakteriell och den finns på plastfilm designad för sjukhusmiljö (Baumeister 2013).

Biomimicry kan delas in i tre nivåer av hållbarhet vilka är form, process och ekosystem (Baumeister 2013; Kennedy et al. 2015). Att använda former från naturen kan vara hållbart, men inget säger att det måste vara det, eftersom det helt beror på vilka material, tekniker, transporter och så vidare som används. Kennedy et al. (2015) ger exemplet hur formen av ribborna på en sydamerikansk jättenäckros kan användas för att göra lätta strukturer i byggnader. Det kan vara hållbart men inte om strukturen byggs av till exempel traditionell betong, vilken avger stora mängder koldioxid. Vilket visar på vikten av ett holistiskt synsätt mellan konstruktion och material (DeLuca, 2017).

När det gäller processer använder naturen sig av rumstemperatur, ofarliga ämnen och lågt tryck för att tillverka och forma material. För att detta ska vara möjligt krävs oftast en helt ny form av industri, vilket kan vara kostsamt (Kennedy, 2015). Pawlyn (2011) skriver att 96% av allt biologiskt material består av kol, kväve, syre och väte. 3d-printning är en lovande process, eftersom det inte blir några direkta spillmaterial (Kennedy, 2015).

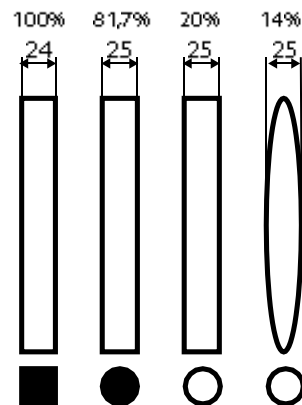
Den tredje och mest komplexa nivån är att härma naturens ekosystem och alla organismer ingår i en biom som är en del av biosfären (Baumeister 2013). Ett välfungerande ekosystem medför en ökad mångfald, som i sin tur bidrar till fler ekologiska nischer och att den biologiska mångfalden ökar (Pawlyn 2011). På denna nivå finns det en stor potential genom att använda och skapa värde av avfall. En amerikan förbrukar 20 gånger sin kroppsvikt i material varje dag och efter ett halvår är bara en procent fortfarande i bruk (Pawlyn 2011). Det finns flera organisationer som strävar efter att efterlikna ekosystem genom att öka det producerade användbara materialet jämfört med det som sätts in i produktionen (Pawlyn 2011)

2.4. Resurseffektiva material i naturen

Människan betraktar ofta material som en oändlig resurs, vilket är motsatsen till hur naturen använder material (Vincent, 2002). En anledning till att organismer använder material mer effektivt skulle kunna vara att de existerar på minsta möjliga tillgång på energi och den energin behöver fördelas på

ett optimalt sätt och användas så effektivt som möjligt speciellt för djur som behöver förflytta sina kroppar (Vincent, 2002). Djur och växter strävar efter att använda så lite resurser som möjligt för att kunna konkurrera med varandra (Baukers, Hinte 2001). I naturen är material ”dyrt” och genom att bygga komplexa konstruktioner används bara material där det behövs (Pawlyn 2011).

Naturen använder sig ofta av ihåliga cylindrar såsom exempelvis ihåliga ben, stjälkar och fjädrar för att minska på materialanvändningen och bara använda material där det som mest behövs. Exempelvis har bambustjälkar utskott som förstärker röret. Genom att använda ihåliga cylinderformer kan materialanvändningen bli betydligt lägre än om ett kvadratisk solitt material används (se figur 5). Ett kvadratisk solitt material med en siddimension på 24 mm och ett solitt rör med en diameter på 25 mm har samma böjmotstånd. Samtidigt använder det solida röret bara 81,7% av vad det kvadratiske solida materialet gör. Ett ihåligt rör på 25 mm i diameter kan uppnå samma styvhet, men använder bara 20% material jämfört med det kvadratiske materialet. Genom att använda material där det behövs kan man komma ner till 14% av ett solitt kvadratisk material. (Pawlyn 2011).

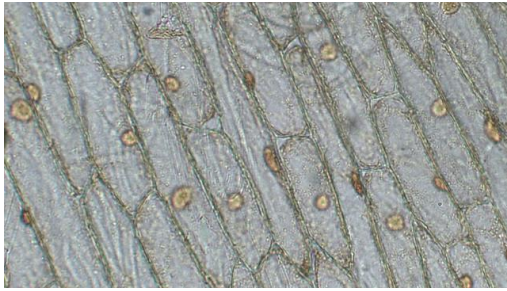


Figur 5 Ett ihålligt material som har en diameter innehåller bara 20% av ett solitt ämne

Biologiska strukturer är oftast hierarkiska jämfört med ingenjörstrukturer som är överhängande solida strukturer med lite eller ingen hierarki. Hierarkiska strukturer har fördelen att i styvhet och frakturkontroll. Biologiska strukturer har också fler gränssnitt för att kontrollera styvhet och frakturer än vad ingenjörstrukturer har (Pawlyn, 2011).

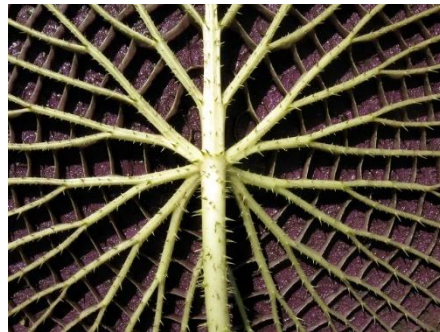
Cellväggarna i växter ger en mekanisk hållfasthet genom den strukturella sammansättningen (Asknature, 2016). En av de vanligaste utformningarna av mönster i naturen är hexagonmönstret som är ett stresståligt mönster som kan byggas i tre dimensioner, det återfinns i bland annat vaxkakor, torkad lera, insektsögon, insektsvingar, giraffer och växtceller (Baukers, Hinte 2001). I slutet av 70-

talet upptäckte Frank Mirsch att plåtburkar med hexagonmönster kan väga 10% till 15% mindre än konventionella plåtburkar (Beukers, Hinte 2001).



Figur 6: Växtceller från lök (Linda Merry 2017)

Den sydamerikanska jättenäckrosen (se figur 7) är ett exempel på en robust struktur med minimalt materialanvändande. Nätverket av ribbor sammansätter den större arean.



Figur 7 Sydamerikansk jättenäckros Bild A (Stuart001uk) Bild B (pnorman4345 2010)

Ben är ytterligare ett exempel på en struktur som behöver vara starkt och lätt. Särskilt fåglars skallben (se figur 8) som har en effektiv tjocklek med låg vikt och är utformat i en matrisform (Pawlyn, 2011)



Figur 8 Fågelskalle bild hämtad från (Pawlyn 2011)

2.5. Material driven design

Material driven design (MDD) är en metod för att lära känna ett material och ta fram materialets egenskaper och vilka användningsområden materialet kan passa till (Karana et al. 2015). Metoden kan användas för nytt material, material som är under utveckling och MDD kan även användas för att hitta nya användningsområden för redan etablerade material (Karana et al. 2015). I MDD utgår man från materialet och designar efter materialets egenskaper (Karana et al. 2015).

2.6. 3d-printning och hållbarhet

3d-printing är en lovande utveckling för hållbarhet, eftersom det är en materialeffektiv tillverkningsprocess, men för att den ska bli miljövänlig forskas det nu på hur man ska kunna använda lokalt avfall som sågspån, plastskräp, lera och koldioxid. Energiåtgången skulle också behöva förbättras (Kennedy et al. 2015).

3d-skrivning är en additiv tillverkningsprocess vilket innebär att istället för att ta bort material läggs material till lager på lager, vilket gör att materialförbrukningen kan minska. Men trots att det är additivt så produceras en del svinmaterial på grund av att det ofta behövs supportmaterial. (Park, 2017). Additiv tillverkning möjliggör komplexa former (Yang 2018). Ytterligare fördelar med 3d-printning är att fysiska delar inte behöver transporteras längre sträckor eftersom utskriftarna kan ske på plats och på begäran vilket minskar behovet av lagerhållning och genom att utskriftarna sker efter behov kan även reservdelar till utgångna produkter skrivas ut och förlänga produktens liv. (Park, 2017). Nackdelarna med 3d-skrivning är att maskinerna oftast behöver vara under uppsyn, tillverkningshastigheten är ganska låg, även om professionella maskiner är betydligt bättre och mer effektiva (Park, 2017). Funktionen att kopiera och delar medför problematik i fråga om rättigheter och vem som äger vad (Park, 2017). Säkerhet, kvalitetskontroller och miljövänlig tillverkning kan vara svåra att reglera med 3d-utskrifter (Shehabi, 2017).

PLA är 100% biobaserat och tillverkas av mjölksyra, PLA är även bionedbrytbart, men är ändå ett problematiskt material ur ett miljöperspektiv. Även om PLA är nedbrytbar så krävs vissa förhållanden för att det ska brytas ned. Olika typer av bionedbrytbara polymerer behöver olika typer av förhållande för att brytas ned och det finns risk för att det leder till mikroplaster och andra syntetiska produkter. Plaster som är nedbrytbara kan försvåra materialåtervinningen och ge en negativ påverkan av kvaliteten på återvunnen plast. Det finns de som anser att låga volymer inte alls stör avfallshanteringen. Om bionedbrytbar plast blir mer frekvent i Sverige behövs materialåtervinningen anpassas efter detta. (SOU, 2018:84)

Förnybar plast har fördelarna att det minskar behovet av fossila resurser, utsläppet av växthusgaser och dessutom kan förnybar plast generera en tillväxt för landsbygden. Det finns även nackdelar som att biobaserad plast försvårar återvinningen. I en studie där miljöpåverkan av biobaserad plast och fossilbaseradplast, visade det sig att plaster som var biobaserade hade lägre klimatpåverkan, men de bidrog till mer övergödning och försurning än fossilbaserad plast. (SOU, 2018:84)

Chalmers genomför ett projekt i samarbete med en svensk tillverkare av 3d-filament. Användare kan genom ett insamlingssystem skicka tillbaka filamentspill. Spillet kan i sin tur bli nytt filament. (SOU, 2018:84).

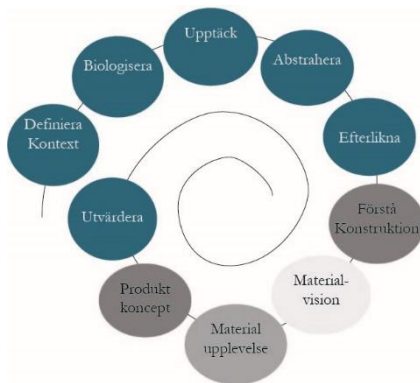
Hälsopåverkan av PLA- och ABS-material är fortfarande dåligt beforskat. Men i ett test på två PLA- och ett ABS-material fann man att PLA utsöndrar färre partiklar och lättflyktiga ämnen än vad ABS gör när de används i 3d-skrivare. Med det sagt varierar det även mellan olika PLA fabrikat (Kim *et al.* 2019).

Nästa generationens förnybara plastråvara kan komma exempelvis från koldioxid eller från alger (SOU, 2018:84). Material som det forskas på som ska kunna användas som material till 3d-printning är exempelvis mycelium vilket studeras bland annat av den Londonbaserade Blast studio. Mycelium är svampens rotsystem som studion matar med stadsavfall såsom till exempel kartong, trä och pappmuggar. Studion provar även att skriva ut lera (Blast studio, 2019). Forskning på att 3d-skriva trä pågår på bland annat Chalmers. Genom att göra nanocellulosgele av trä och använda träets genetiska kod går det att 3d-printa den formen av trä som önskas (Markstedt *et. al.* 2019).

3. Metod

I det här arbetet har biomimicryspiralen använts. Denna designspiral introducerades av Carl Hastrich och spiralformen på processen är vald för att göra det mer visuellt för designers (Gamage, Hyde, 2012). Biomimicryspiralen är framtagen som process för att gå från utmaning till biologi.

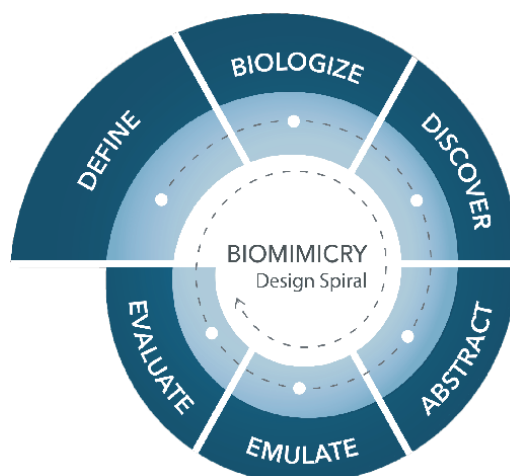
Under designfasen har materialdriven design (MDD) använts med toolkit för experimentell karakterisering av material, MA2E4 (se bilaga 3). MDD är framtagen för att förstå material inte bara genom de tekniska egenskaperna utan även materialupplevelsen. Det är en process som är uppdelad i fyra steg, där varje steg innehåller flera olika metoder. Processen under arbetet har inte varit linjär utan metoderna har gått in i varandra och pågått parallellt med varandra. Det sista steget i Biomimicryspiralen som är utvärdering har utförts som det sista steget och kommit efter de fyra stegen i MDD metoden (se figur 9). Här nedan kommer biomimicry och MDD beskrivas var för sig.



Figur 9 Den blå färgen representerar biomimicryspiralen och den grå färgen är MDD (Sjökvist, 2019)

3.1. Biomimicry Designspiralen

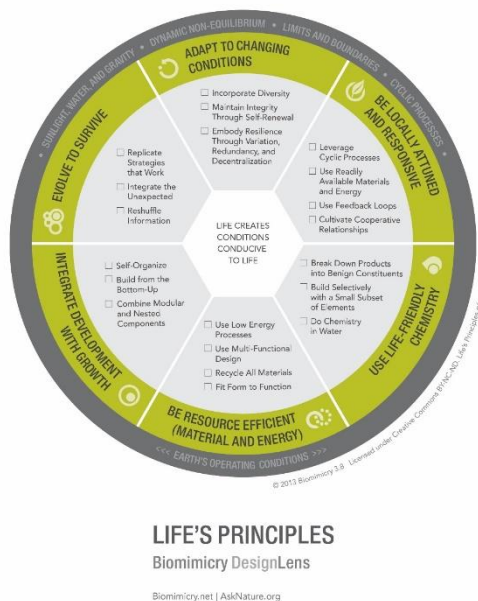
Spiralen är uppdelad i sex olika steg: definiera, biologisera funktion, upptäck naturens modell, sammanfatta naturens strategi, efterlikna och utvärdera design (se figur 10), (Biomimicry Institute).



Figur 10 Biomimicryspiralen (Biomimicry Institute)

BM steg 1 - Definiera

Det är i steg 1 som designspiralekens brief definieras, där utmaningen, dess kontext, möjligheter och begränsningar definieras, samt hur designen ska passa in i och påverka världen (Biomimicry institute). För att arbetet ska bli hållbart och för att besluta hur designen ska påverka världen kan sex livsprinciper appliceras (Baumeiser, 2014). Livsprinciperna är att utvecklas för överlevnad, anpassa efter förändrade förutsättningar, vara lokalt anpassad, integrera utveckling med växande, vara resurseffektiv och använda livsvänlig kemi.



Figur 11 Livsprinciperna (Biomimicry 3.8)

I den här studien har utmaningen och begränsningarna för arbetet definierats i ett tidigare skede av arbetet. Utmaningen är att göra en materialsnål konstruktion med hjälp av biomimicry och ett produktkoncept med hjälp av MDD. Livsprinciperna, se bilaga 1, har dessutom adderats till arbetet. Livsprinciperna har adderats för att minimera konstruktionens och produktens miljöpåverkan. Jag har läst om hur principerna fungerar och hur de kan användas.

BM steg 2-Biologisera

I steg 2 ställs frågan hur naturen gör. För att lättare säkerhetsställa att biomimicry integreras definieras utmaningen som en funktion och inte som ett objekt (Biomimicry Institute). I det här steget anpassas nyckelfunktionerna för att kunna appliceras på naturen, vilket görs för att få svar på hur naturen skulle gjort. För att hitta rätt ord att söka efter, har Biomimicry Institute tagit fram ett hjälpmedel för klassificering, som de kallar för Taxonomy (figur 12 och bilaga 2). (AskNature 2017)

Jag har i den här studien använt mig av taxanomyn för att säkerställa att jag använder rätt sökord.



Figur 12 Taxonomy (AskNature 2017)

BM Steg 3 – Upptäck naturens modell

Det här och de nästkommande två stegen har utförts parallellt under det här arbetet. Det här steget fokuserar på att undersöka naturen för att få svaret på vilka strategier organismer och ekosystem använder sig av. Svaret kan man hitta utomhus, med hjälp av en biolog, i litteratur och på exempelvis asknature.org. (Biomimicry Institute)

Den mesta inspirationen i den här studien hämtas från sökningar med ordet struktur på svenska och engelska. Jag har använt mig av asknature.org och litteratur. Jag har även försökt använda mig av naturen som inspirationskälla men eftersom mina biologiska kunskaper är bristfälliga har det inte framkommit något nytt i mina försök att hitta ny inspiration i naturen.

BM Steg 4 – Sammanfatta naturens strategi

Naturens strategi beskrivs och förklaras för att sammanfattas. Strategierna sammanställs för att hitta mönster och samband. Det här steget är den svåraste delen i biomimicry. Här behövs kunskap från biologer för att förstå hur organismernas strategier fungerar. (Biomimicry Institute).

Bristen på en biolog har gjort att kunskapen behövs hämtas från andra håll. I det här arbetet har jag förlitat mig på kunskapen som går att hitta i litteraturen och på asknature.org. När jag har hittat en strategi har jag sökt vidare i litteraturen och på asknature.org för att förstå strategin bättre.

BM Steg 5 - Utveckla

I det femte steget görs designarbetet. Designkoncept tas fram genom idégenerering. (Biomimicry Institute)

Med hjälp av sambanden från föregående steg gjordes idégenereringar i form av brainstorming. Brainstormingen skedde bland annat under promenader, då jag kunde fundera på strategierna och fundera på hur jag skulle kunna använda mig av dem. Resultatet av brainstormingen blev till skisser. För att få ett så bra underlag som möjligt, till valet av konstruktion, så 3d-printades skisser ut. En av materialkonstruktionerna valdes ut.

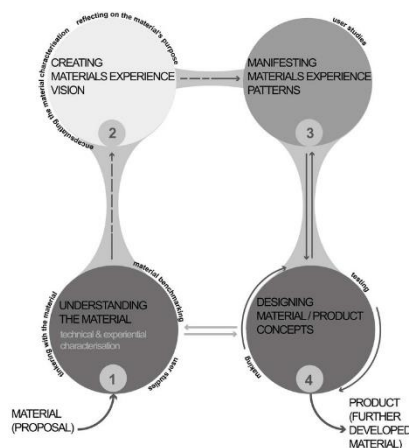
BM Steg 6 - Utvärdering

Steg 6 är det sista steget i Biomimicryspiralen där resultatet utvärderas. Det görs efter hur väl produkten använder sig av naturen som utgångspunkt och hur väl livsprinciperna är integrerade i produkten. Till hjälp finns ett formulär ”nature’s unifying patterns” (Biomimicry Institute) (se bilaga 4).

Utvärderingen har utförts sist i den här studien, för att hela produktkonceptet ska inkluderas, det vill säga efter MDD. Det beror på att hela produkten ska tas i beaktande och inte bara materialkonstruktionen. För att inte glömma någon del har jag tagit hjälp av formuläret ”nature’s unifying patterns”.

3.2. MDD

MDD används för att utvärdera materialupplevelsen och materialets tekniska egenskaper (Karana et al. 2015). Det är en metod som består av fyra steg. Varje steg innehåller en till flera metoder. Den är indelad i fyra olika steg: materialförståelse, materialvision, materialupplevelse och produktkoncept (se figur 13).



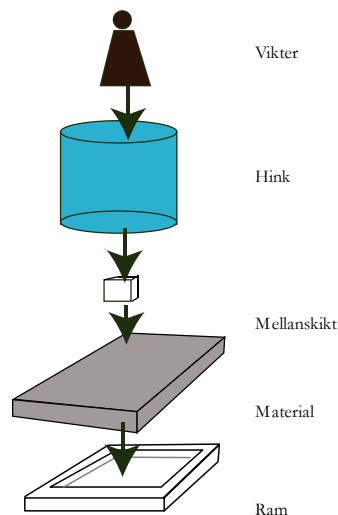
Figur 13 MDD processen (Material Experience Lab)

MDD Steg 1: Materialförståelse

Den här metoden används för att förstå materialet ur ett tekniskt och ur ett sensoriskt perspektiv. De tekniska egenskaperna testas genom tinkering. Tinkering innebär att experimentera och utforska materialet genom exempelvis dragprov, trycktest, böja och bända. Det görs även benchmarking för att förstå var materialet befinner sig bland liknande material (Karana et al. 2015)

För att få fram hur materialet upplevs av andra görs användarstudier och intervjuer. Det finns olika toolkit som kan vara till hjälp, i den här studien har MA2E4 toolkit använts (se bilaga 3). MA2E4 toolkit är ett verktyg som är uppbyggt för att få fram användarens upplevelse av materialet. Anledningen till att MA2E4 har använts är för att det är applicerbart på konstruktioner. Toolkitten är uppbyggt i fyra olika nivåer: performativt, sensoriskt, affektivt och tolkande. Resultatet av analysen är tänkt att stimulera den fortsatta designprocessen. (Karana et al. 2015).

Tinkering som utfördes i den här studien var ett trycktest, för att få fram hållfastheten i materialkonstruktionen. Trycktestet bestod i att materialet lades på en ram, med ett innermått på 150*150 mm. På materialet lades ett mellanskikt i form av en kub som var 25*25*25 mm. Mellanskiktet användes för att koncentrera vikten till mitten på materialet. Över mellanskiktet placerades en hink och i hinken lades sedan vikterna, se figur 14.



Figur 14 Trycktest av material (Sjökvist 2019)

Användarstudien gjordes för att få en förståelse i hur materialkonstruktionen upplevs av användare. Upplevelsen av konstruktionen bidrar till att förstå dess användningsområde. Deltagarna i användarstudien var åtta sammanlagt, där en av deltagarna hade designerfarenhet sedan tidigare. Sammanlagt var sexton inbjudna att göra testet, och av de sexton tackade elva ja. Tre gav senare återbud på grund av förhinder. Det bör tilläggas att alla deltagarna i studien kände mig sedan tidigare, vilket kan ha påverkat svaren. Deltagarna fick göra testen var för sig, för att inte påverka varandra. Jag satt mitt emot och förde anteckningar och guidade genom uppgifterna. Deltagarna fick var sitt formulär (se bilaga 3), där de fick svara på frågor om deras uppfattning om materialkonstruktionen. Formuläret är inriktat på material, så innan deltagarna började med testet berättade jag att det var först och främst konstruktionen och inte plasten de skulle bedöma. De som deltog i användarstudien känner mig tillräckligt väl för att inte känna sig obekväma med att ge kritiska kommentarer.

I det här arbetet har även en benchmarking gjorts för att placera materialet bland andra biomimicry materialkonstruktioner som 3d-printats. Benchmarkingen utfördes för att få veta vilken plats materialkonstruktionen har på marknaden.

MDD Steg 2 - Materialvision

I det andra steget görs en materialvision. Visionen beskriver vilka intentioner som finns med materialet. Det är en förklaring till materialets roll och vad som är unikt med materialet. Det kan även beskriva hur materialet kan påverka samhället i en positiv inriktning. (Karana et al. 2015).

Materialvisionen i den här studien är en sammanfattning av det tidigare arbetet för den här studien, både från biomimicryspiralen och från det som gjorts under första steget i MDD.

MDD Steg 3 - Materialupplevelse

Materialupplevelsen ger information om hur önskade attribut hos ett material uppfattas. Användaren får i uppgift att välja ut material och produkt till de valda attributen och motivera valet. Valet av attribut kommer från materialvisionen. (Karana et al. 2015)

Attributen som valdes för den här studien var naturligt och väcker nyfikenhet/intresse. Dessa attribut valdes på grund av att de ofta nämndes i användarstudien. I den här studien skickades en enkät ut via e-post. Användarna skulle med bild och med en kort motivering ge exempel på ett material och en produkt som de ansåg naturligt och ett material och en produkt som väckte deras nyfikenhet/intresse.

Enkäten skickades till 20 personer, responsen var extremt låg, vilket kan bero på att enkäten skickades ut under sommaren när alla hade semester. Det går därför inte att se några trender eller dra några egentliga slutsatser. Jag fick svar från 4 personer.

MDD Steg 4-Produktkoncept

I det sista steget i MDD görs ett produktkoncept genom att använda informationen som kommit ur de föregående stegen under MDD processen. (Karana et al. 2015)

I den här studien har information som framkommit under biomimicryspiralen och från MDD använts för att utforma ett produktkoncept. Konceptet har tagits fram genom brainstorming. Produktkonceptet har senare utvärderats i biomimicryspiralens sista steg.

4. Analys och Resultat

I det här kapitlet kommer utfallen att analyseras för att få fram resultatet. Först kommer hela biomimicryspiralen analyseras och sedan MDD.

4.1. Biomimicryspiralen

Biomimicryspiralen är en rättfram process där resultatet av varje steg används som utgångspunkt i det nästkommande steget.

BM Steg 1-Definition

I detta första steg i biomimicryspiralen definieras kontexten. För att inkludera hållbarheten redan från början har de sex livsprinciperna adderats. Livsprinciperna är att utvecklas för överlevnad, anpassa efter förändrade förutsättningar, vara lokalt anpassad, integrera utveckling med växande, vara resurseffektiv och använda livsvänlig kemi.

Utveckla för överlevnad appliceras genom att 3d-skriva ut konstruktionen. Varje utskrift går att förändra efter behov och önskemål. Konstruktionen kan förbättras genom att andra personer som skriver ut konstruktionen kan lägga tills in kunskap. Konstruktionen kan appliceras på olika produkter.

Anpassar sig efter förändrade förutsättningar genom att skriva ut konstruktionen en och en går det enkelt att uppgradera och förnya konstruktionen, produkten och även byta filamentet. Varje utskrift går att variera och anpassas, och genom att produktionen inte är beroende av plats går det lätt att decentralisera tillverkningen. Och varje person som skriver ut kan anpassa produkten efter behov.

Anpassar sig efter den lokala miljön. Den här livsprincipen inkluderas genom att använda närproducerat material till filamentet och förhoppningsvis också hållbar energi. Genom att CAD-filen går att skicka för att skrivas ut lokalt så går det att skapa nya samarbeten.

Integrerar utveckling med växande genom att skapa en materialkonstruktion designas produkten från grunden och liksom naturen är produkten inte bara material utan även en struktur.

Vara resurseffektiv. Konstruktionen använder sig av hålrum för att minimera materialåtgången. Dessutom är 3d-skrivning en additiv tillverkningsmetod, där material läggs till och inte tas bort vid tillverkningen. Energiförbrukningen kan minskas genom att bara skriva ut efter behov och att produkterna kan skrivas ut lokalt. Genom att bara använda ett material underlättas återvinningen. Utskrifterna kan anpassas efter önskad funktion.

Använda livsvänlig kemi Genom att 3d-printa behövs inte lim användas. I framtiden när det finns hållbarare material att tillgå så går det att byta ut PLA till än bättre material.

Genom att gå igenom alla livsprinciper så fördjupades och inkluderades hållbarheten redan i början av projektet.

BM Steg 2 - Biologisera

I det här steget biologiseras nyckelfunktionen för att göra det möjligt att söka efter hur naturen gör. Den biologiska frågan för den här studien är: Hur ser resurseffektiva strukturer ut i naturen? Frågan har formulerats efter att använt Taxonomy.

BM Steg 3-Upptäck naturens modell

I det tredje steget samlas data in genom att göra sökningar med hjälp av sökorden från det föregående steget. I den här studien användes sökorden *struktur* och/eller *materialkonstruktion*. Sökningarna har formulerats på både engelska och på svenska. Dessutom har böcker och artiklar som handlar om biomimicry använts.

Det som valdes ut ur sökningarna är växtceller, jättenäckrosen och fåglars skallben. Växtceller valdes på grund av att de ger stadga åt växterna. Jättenäckrosen som växer i Sydamerika, valdes för att den klarar av att bära mycket tyngd utan att använda extrema mängder material. Dessutom har fåglars skallben ingått i studien eftersom de behöver vara både starka och lätta.

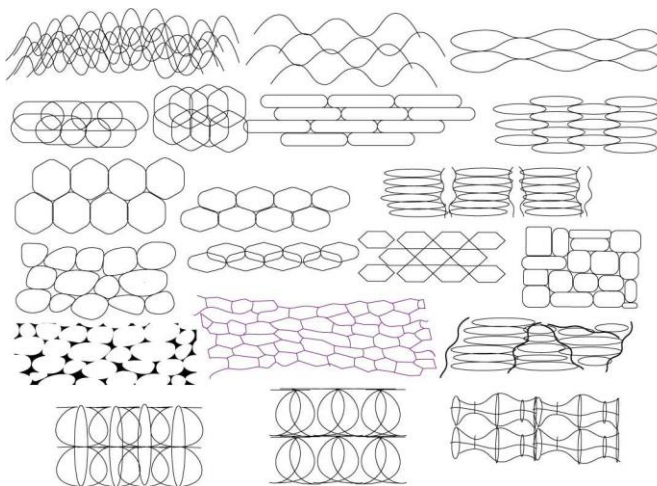
BM Steg 4 – Sammanfatta naturens strategi

I steg 4 sammanfattas strategierna för att hitta mönster och samband. Material i naturen är ofta uppbyggt i hierarkier till skillnad från människogjorda material. Materialstrukturer i naturen är uppbyggda i komplexa konstruktioner för att snåla på resurserna. Hexagonmönstret används flitigt i naturen på grund av dess stresstålighet. Oregelbundenhet i mönstret gör även material mer stresståligt.

BM Steg 5-Utveckla

I det femte steget sker idégenerering och designarbetet.

I den här studien har idégenereringen skett i form av brainstorming. Ett urval av idégenereringen syns i figur 15. Skisserna omvandlades till CAD-filer och 3d-printades, se figur 16.



Figur 15 Idégenerering (Sjökvist 2019)



Figur 16 3d-printade utskrifter från ide genereringen (Sjökvist 2019)



Figur 17 Den valda materialkonstruktionen (Sjökvist 2019)

Valet på materialkonstruktion bygger på att mönstret är organiskt vilket ger mer liv och tar bort lite av onaturligheten av plast. Därutöver har den valda konstruktionen två hierarkier. En hierarki som går längs med och en hierarki som är tvärgående. Den tvärgående hierarkin har tjockare material än den hierarkin som går längsmed (se figur 17)

BM Steg 6 - Utvärdera

I biomimicryspiralens sista steg utvärderas resultatet och hur väl det använder sig av naturen som utgångspunkt. Genom att introducera livsprinciperna redan i det första steget i biomimicryspiralen har arbetet blivit hållbart och produkten har designats för end of life. I den här studien är det produktkonceptet som utvärderas. Produktkonceptet av en stapelbar pall togs fram i MDD metoden. Nature's unifying pattern har använts som hjälp för att utvärdera konceptet.

Genom att produkten skrivs ut vid efterfrågan och på plats så går det inte åt onödig energi. Vilken energikälla som används för utskriftarna är svårt att kontrollera eftersom det kan variera beroende på var utskriften sker. På grund av att produkten kan produceras lokalt så minimeras transportbehovet. Genom att använda hålrum går det åt mindre material.

Eftersom produkten bara innehåller PLA, så är det möjligt att återvinna både spillmaterial i tillverkningen och kasserade produkter. Produkten går dock inte att laga om den går sönder. Genom att cad-filen kan skickas så skapas olika samarbeten. Genom samarbeten kan ny information användas och variera och förändra produkten. Eftersom produkten 3d-printas så behövs inget lim. Produkten tillverkas lokalt och använder bara förnyelsebara råvaror. Produkten kan anpassas efter lokala förutsättningar. Varje utskrift kan varieras och anpassas efter behov och önskemål. Produkten är multifunktionell och kan förutom som pall användas som exempelvis blombord eller avlastningsbord.

4.2. MDD

MDD är som ett pussel där varje del ger en lite klarare bild av materialet och när den sista biten är lagd så har man ett produktkoncept som passar in på materialet.

MDD Steg 1 - Materialförståelse

I det första steget i MDD lär man känna materialet och dess egenskaper.

Utgångspunkten för den här studien var det valda 3d-utskrivna materialkonstruktionen. Genom tinkering testades konstruktionens hållfasthet, det gjordes även en användarstudie och en benchmarking.

Under tinkeringen testades hållfastheten av materialkonstruktionen genom ett trycktest (se figur 18).



Figur 18 Trycktest (Karlsson 2019)





Konstruktionen klarade 11 kg på en yta av 25*25 mm det vill säga ca 8 Newton. Vid 11 kg bildades en liten spricka och vid 17 kg gick det helt sönder. 11 kg är ca 11,33 Newton. Trycktestet visade också att materialkonstruktionen sviktat när den utsetts för tryck innan det gick sönder.

Deltagarna i användarstudien började med att väga konstruktionen i handen och försökte böja den. De flesta av deltagarna började direkt associera till olika användningsområden. I den sensoriska delen av studien var deltagarna överens om att materialkonstruktionen kändes hård, sträv, varm, styv, lätt och irreguljär. I den affektiva delen framkom farhågor som tvivel, tveksamhet och melankoli. Dessa ordval

kan bero på en osäkerhet över materialkonstruktionens styrka, men även en osäkerhet var och hur konstruktionen skulle kunna tillämpas. För de flesta av deltagarna väckte materialkonstruktionen tillit, nyfikenhet, överraskning, fascination och en känsla av komfort.

I den tolkande delen valdes orden professionellt, annorlunda och industrigjort flest gånger. Dessutom valdes ord som naturligt och även onaturlig. De som såg konstruktionen som onaturligt tolkade in plast och den industrigjorda känslan, medan de som betraktade det som naturligt tolkade in det organiska mönstret. Andra ord som kom upp var maskulint, aggressivt, kyligt, avståndstagande, lugnt, elegant och futuristiskt.

Från användarstudien har jag valt att ta fasta på att materialet upplevdes som lätt, naturligt, intressant, dess genomsläpplighet och att det väckte nyfikenhet. Vilket var något alla lyfte upp som bra och unika egenskaper.

Benchmarking över materialkonstruktioner gjorda i biomimicry och med plast.				
				
	Van Daal	Vegetal chair Ronan & Erwan Bouroullec	Voronoi Chair Ali Torab	Jennie Sjökvist
3d-skrivet	Ja	Ja	Ja	Ja
Materialsnålt	Nej	Ja	Ja	Ja
Hierarkier	Osäkert	Nej	Nej	Ja
Organiskt mönster	Ja	Ja	Ja	Ja
Användningsområde	Fåtölj	Stol	Stol	

Benchmarkingen gjordes för att jämföra materialet med andra biomimicry materialkonstruktioner. De andra materialen har bara en hierarki, men använder sig också av hålrum vilket minskar på materialåtgången.

Steg 2 - Materialvision

Materialvisionen skapades genom att använda den fördefinierade frågeställningen, informationen som kom fram från första steget ur biomimicryspiralen och det som kommit fram ur det föregående steget i MDD.

Vision:

Genom att använda 3d-skrivning så behövs bara ett material vilket underlättar för återvinning. Dessutom så kan produkten bli lokalt producerat och på så vis undvika transporter. Genom att låta det irreguljära mönstret i konstruktionen förbli synligt och öppet kan produkten skapa nyfikenhet och intresse både för mönstret och konstruktionen i sig men förhoppningsvis även för biomimicry och

hållbarhet. Genom att konstruktionen är öppen så kan genomsläppligheten även användas och utnyttjas. Styrkan och lättheten i materialet ska också användas.

Steg 3 - Materialupplevelse

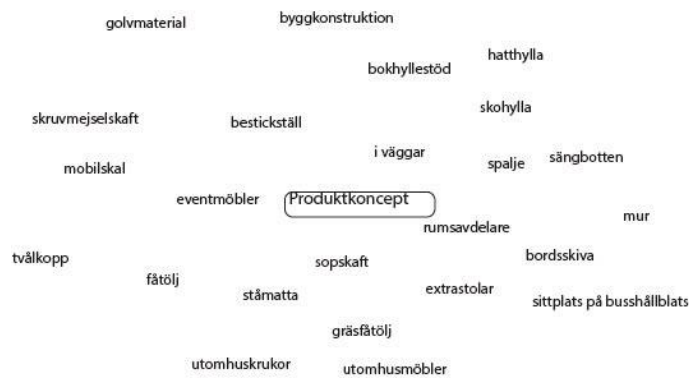
I steg 3 undersöker man hur olika attribut uppfattas i ett material. Valen av attribut är naturligt och väcka nyfikenhet/intresse. För att förstå hur användare betraktar dessa attribut skickades en enkät ut. Deltagarna fick i uppgift att med bild på material och produkt beskriva vad som väcker nyfikenhet och vad som är naturligt. Det var bara ett fåtal som svarade på enkäten, vilket gör att det kan vara svårt att se några trender. Det som går att utläsa är att alla har antytt hållbarhet som argument för ett eller flera val.



Figur 19 Inskickade bilder

Steg 4 - Produktkoncept

Produktkonceptet baseras på materialet som framkommit under biomimicryspiralen och MDD. Produkten ska vara hållbar, bara använda ett material, utnyttja genomsläppligheten i konstruktionen, väcka nyfikenhet och 3d-printas.



Figur 20 Idegenerering för koncept (Sjökvist 2019)

Genom brainstormingen kom flera förslag fram (se figur 20), både sådant som följde materialvisionen och sådant som inte följde den.

Av dessa förslag valdes först tre koncept ut: linjeavvattnare på busshållplatser utanför museum, sittplats på tillfälliga busshållplatser och extra sittplatser i hemmet. Gallret över linjeavvattnare är oftast tunga att lyfta. Genom att placera linjeavvattnarna utanför museum skulle det vara möjligt att uppmärksamma mönstret i museibutiken och väcka intresset för biomimicry och hållbarhet. Sittplatser på tillfälliga busshållplatser skulle passa på grund av att materialet är lätt och skulle kunna flyttas vid behov. Både linjeavvattnaren och sittplatser på busshållplatser kräver fler material, bland annat för förankring, vilket ledde till att de båda valdes bort.

Valet till produktkoncept föll på extra sittplatser. Extra sittplatser ska vara lätta att flytta, stapelbara och eftersom sittplatserna är gjorda i plast är de även lämpliga att använda utomhus. För att minska på användningen av resurser utslöts ryggstöd och armstöd. Resultatet blev en enkel och stapelbar pall. Sittytan gjordes kvadratisk för att göra den stapelbar. Benen är cylinderformade och avsmalnande för att minska på materialåtgång. Pallen går att använda som blombord, hålrummen gör att jord och vatten rinner igenom.

Pallen 3d-skrevs i 1:5, en storlek som valdes på grund av att 1:3 kan se ut som barnmöbler. Tyvärr blev själva materialkonstruktionen för tunn. Fig 21 illustrerar pallen med materialkonstruktionen.



Figur 21 3d-utskrift av pall (sjökvist 2019)



Figur 22 pall (Sjökvist 2020)

5. Slutsats

Huvudfrågeställningen för den här studien har varit: Hur kan produktdesign genom material driven design användas för att undersöka om biomimicry kan användas för att skapa materialsnåla konstruktioner som går att använda på produkter? Syftet är att minska på materialåtgången genom att använda de strategier som naturen använder sig av. Naturen är nämligen specialist på att bara använda material där det behövs.

I den här studien har en materialkonstruktion i två hierarkier designats. Konstruktionen är inspirerad av växtceller. De två hierarkierna gör att konstruktionen har öppningar åt alla håll, vilket reducerar på materialåtgången. Dessutom är den 3d-skriven, vilket är en additiv teknik och den kan skrivas ut efter behov.

Det har gjorts en användarstudie för att förstå hur användarna uppfattar konstruktionen och även ett trycktest för att klargöra dess hållfasthet. Produktkonceptet för materialkonstruktionen är en stapelbar pall. Benen på pallen är rörformade och avsmalnande för att minska på materialåtgången. Konstruktionen kan även användas på andra ytor som inte är krökta.

Framtida projekt skulle kunna vara att ta fram ett nytt hållbart material med hjälp av biomimicry och MDD eller att skapa hållbara produkter med hjälp av biomimicry.

6. Diskussion

Forskningsbidraget har varit en materialkonstruktion i två hierarkier, som tagits fram med hjälp av biomimicry. Det har även tagits fram ett produktkoncept för materialkonstruktionen.

I den här studien har jag kombinerat biomimicryspiralen och MDD. Biomimicryspiralen och MDD kompletterar varandra, men det har behövts några få små justeringar. Det sista steget i biomimicryspiralen, steg 6-utvärdera, har i studien utförts efter MDD. Förflyttningen av steget gjordes för att kunna utvärdera hela pallen och inte bara konstruktionen. Andra justeringar som gjorts är att togs hänsyn till det som framkom under biomimicryspiralen i metodarbetet i MDD.

Produktkonceptet är en stapelbar pall men skulle kunna användas till andra icke-krökta ytor. Vid en återkoppling har användarna från användarstudien gillat idén om en stapelbar pall. Tyvärr har jag inte haft möjlighet att skriva ut den i rätt storlek. Konstruktionen har inte gått att skriva ut i varken skala 1:5 eller 1:3 vilket gör att det är svårt att veta upplevelsen av pallen. Nästa steg skulle vara att få tag i en 3d-skrivare som har kapacitet att skriva ut pallen i full skala.

Eftersom hållbar utveckling har varit en viktig aspekt i det här arbetet kommer en utförligare diskussion om det. Materialkonstruktionen har hållrum för att bli så materialsnål som möjligt. För att minska materialåtgången har två hierarkier använts. På så sätt blir det hållrum i alla riktningar. Ett av de större problemen med konstruktionen är att den är så komplex att det tar lång tid att skriva ut, särskilt med icke-professionella 3d-skrivare. Det är osäkert om det är lönsamt att producera den här typen av konstruktioner. Lättviktiga material i naturen verka hållbara och ekonomiska, men produktionstiden är lång och dyr (Lenau, 2018).

Det medför att det går åt mer energi i tillverkningen. Dessutom behöver maskinen övervakas. Fördelen med att den 3d-skrivs är att det inte behövs någon lagerhållning, då det skrivs ute efter begäran. En annan fördel är att den kan skrivas ut på plats och behöver inte någon transport. Därutöver behövs bara ett material vilket underlättar för återvinningen. I det här fallet har PLA använts. PLA går att återvinna och bli till nytt filament. Det går inte att säga varifrån energin till produktion och transport kommer ifrån vilket gör att den reella hållbarheten är svår att verifiera.

Utformningen på studien har bestått i teoretiskt arbete där hållbarhet, biomimicry, resurseffektiva material i naturen, MDD och 3d-skrivning har ingått. Kunskapen från teoridelen har använts under metodarbetet. Som designmetoder har biomimicryspiralen och MDD använts. Valet av dessa två metoder har passat sina syften.

Det teoretiska ramverket har i den här studien varit ett levande dokument, där kunskap som inte använts har tagits bort och ny kunskap har adderats. Insamlandet av teori och metodarbete har utförts parallellt och i cykler när det gäller teorin om naturens material och utvecklandet av konstruktionen i metodarbetet. Ibland har teori om icke använda resurseffektiva material förkastats eller om bearbetats för att bli tydligare och det har kommit till ny information. Det har varit viktigt att inhämta teori om material i naturen parallellt för att på så sätt kunna bearbeta kunskapen i praktiken och förstå teorin bättre och tvärtom. Resultatet skulle kunnat bli betydligt bättre och mer tillförlitligt i ett samarbete

med en biolog. En biolog hade kunnat ge fler exempel på strategier som gör naturens konstruktioner materialsnåla.

MDD används för att på ett experimentellt och ett utforskande sätt lära känna ett material. Tyvärr har det varit svårt att få tag i användare som velat delta i användarstudien och materialupplevelsen. I materialupplevelsen deltog bara fyra, trots påtryckningar. Det går därför inte se några trender och resultatet av materialupplevelsen blev intetsägande och oanvändbart. Konstruktionens hållfasthet har testats genom ett trycktest men det skulle behövas fler tester såsom dragtest.

I den här studien har jag använt mig av PLA som material. Men i framtiden skulle det kanske gå att använda andra och hållbarare material, som exempelvis plast baserat på koldioxid, mycelium eller trä. Det skulle vara intressant att se vilka egenskaper som skulle lyftas fram som positiva och negativa när andra material används för konstruktionen.

7. Källförteckning

AskNature (2017), *Biomimicry taxonomy*, https://asknature.org/resource/biomimicry-taxonomy/#.XU_O03tS9PY (hämtad 2019-08-11)

Baumeister, D. et al. (2013) *Biomimicry resource handbook : a seed bank of best practices*. Missoula, MT : Biomimicry 3.8, 2013.

Beukers, A. and Hinte, E. van (1999) *Lightness : the inevitable renaissance of minimum energy structures*. 010 publishers.

Biomimicry institute, The Biomimicry Design Process, <https://toolbox.biomimicry.org/methods/process/> (Hämtad 2019-08-11)

Blast-studio (2019), <https://www.instagram.com/blast.studio/> (Hämtad 2019-08-11)

Camere S, Karana E, (2018) *Materials Experience Lab, MA2E toolkit* <http://materialsexperiencelab.com/ma2e4-toolkit-experiential-characterization-of-materials> (Hämtad 2019-08-11).

Chapman, J. (2017) *The Routledge handbook of sustainable product design*. Routledge (Routledge handbooks).

Codex 2019, *forskning som involverar människan*. <http://www.codex.vr.se/manniska2.shtml> (hämtad: 2019-08-11)

DeLaure M (2017) 26 *Discourse Design The art of rhethoic and the science of persuasion*. Egenhoefer RB (red) Routledge Handbook of Sustainable Design. Oxon Routledge, s357

DeLuca DK (2017) 33 *Biomimicry Nature inspiring design*. Egenhoefer RB (red) Routledge Handbook of Sustainable Design. Oxon Routledge, s459

Dicks, H. (2016) *The Philosophy of Biomimicry*, *Philosophy and Technology*, 29(3), pp. 223–243. doi: 10.1007/s13347-015-0210-2.

Egenhoefer, R. B. (2017) *Routledge Handbook of Sustainable Design*. Taylor and Francis (Routledge International Handbooks)

Gamage, A. and Hyde, R. (2012) *A model based on Biomimicry to enhance ecologically sustainable design*, *Architcural science review*, 55(3), pp. 224–235. doi: 10.1080/00038628.2012.709406

Karana, E., Barati, B., Rognoli, V., Der Laan, V., & Zeeuw, A. (2015). *Material driven design (MDD): A method to design for material experiences*. *International Journal of design*. Vol 9, No 2.

- Kennedy, E, Fechey-Lippens, D, Hsiung, B, Niewiarowski, P.H och Kolodziej, M (2015). *Biomimicry: A Path to Sustainable Innovation*. Design Issues, 31(3), pp. 66-73. doi: 10.1162/DESI_a_00339
- Kim, Y. *et al.* (2019) *Emissions of Nanoparticles and Gaseous Material from 3D Printer Operation*, Environmental Science & Technology, 49(20), pp. 12044–12053. doi: 10.1021/acs.est.5b02805
- WWF (2018) Living Planet report *Mängden av vilda ryggradsdjur har minskat med 60 procent på 40 år* <https://www.wwf.se/pressmeddelande/living-planet-report-2018-mangden-vilda-ryggradsdjur-har-minskat-med-60-procent-pa-40-ar-3102199/> (hämtad 2019-03-24)
- Lenau T. A, Metze A.-L, Hesselberg T (2018) *Paradigms for biologically inspired design*, Proc. SPIE 10593, Bioinspiration, Biomimetics, and Bioreplication VIII, 1059302 (27 March 2018); doi: 10.1117/12.2296560
- Lenau, T.A., Orru, A.M. and Linkola, L., (2018). *Biomimicry in the Nordic Countries*. doi: [10.6027/NA2018-906](https://doi.org/10.6027/NA2018-906)
- Lobus, A (2017), *10 Mending Broken Promises in Sustainable Design*, Jonathan Chapman (red) Routledge Handbook of Sustainable Product Design. Oxon, Routledge, s 145.
- Markstedt, K., Håkansson, K., Toriz, G. and Gatenholm, P., (2019). *Materials from trees assembled by 3D printing—Wood tissue beyond nature limits*. Applied Materials Today, 15, pp.280-285.
- Mathews, F. (2011) *Towards a deeper philosophy of biomimicry*, Organization and Environment, 24(4), pp. 364–387. doi: 10.1177/1086026611425689.
- Othmani, N.I., Yunos, M.Y.M., Ismail, N.A. and Rahman, K.A.A.A.(2018), *Review on Biomimicry Levels*, American Journal of Humanities and Social Sciences Research, Vol-02 pp 55-58
- Prark, M (2017), *16 Print to Repair*, Jonathan Chapman (red) Routledge Handbook of Sustainable Product Design. Oxon, Routledge, s 236.
- Pawlyn M (2011). *Biomimicry in architecture*. Riba London.
- Shehabi A (2017) *13 Data Clouds and the Enviroment*. Egenhoefer RB (red) Routledge Handbook of Sustainable Design. Oxon Routledge, s170
- SOU, 2018:84, *Det går om vi vill, förslag till en hållbar plistanvändning*.
- Steves, A Silver R (2017) *5 Sustainable Design for Scale*. Egenhoefer RB (red) Routledge Handbook of Sustainable Design. Oxon Routledge, s55
- UN (1987) Report of the World Commission on Environment and Development, *Our Common Future part 1, The Global Challenge chapter 3 Sustainable Development*.
- UN, Sustainable Development Goals, *The sustainable Development Agenda* <https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/> (hämtad 2020-02-23)

Van Daal, L (2017) Biomimicry stol <https://www.lilianvandaal.com/biomimicry-3d-printed-soft-seat> (Hämtad 2019-08-11)

Vernerey, F. J. and Barthelat, F. (2010) 'On the mechanics of fishscale structures', *International Journal of Solids and Structures*, 47, pp. 2268–2275. doi: 10.1016/j.ijsolstr.2010.04.018.

Vincent, J. F. . (2002) 'Survival of the cheapest', *Materials Today*, 5(12), pp. 28–41. doi: 10.1016/S1369-7021(02)01237-3.

WWF, (2019). Så beräknar man ekologiska fotavtryck <https://www.wwf.se/klimat/ekologiska-fotavtryck/sa-beraknar-man/> (hämtad 2019-06-17)

Yang, Y, Song, X, Li, X, Chen, Z, Zhou, C, Zhou, Q & Chen. (2018) 'Recent Progress in Biomimetic Additive Manufacturing Technology: From Materials to Functional Structures', *Advanced material* 30(36). doi: 10.1002/adma.201706539.

8. Figurförteckning

Figur 1: Lilian Van Daal (2017) Biomimicrystol <https://www.lilianvandaal.com/biomimicry-3d-printed-soft-seat> (Hämtad 2019-08-11)

Figur 2 Jennie Sjökvist, (2020) 2 hierarkier.

Figur 3: Biomimcry 3.8 (2013) Biomimicrydelar: Ethos, (Re)connect och Emulate <https://biomimicry.net/the-buzz/resources/designlens-essential-elements/> (Hämtad 2019-08-11)

Figur 4: Biomimicry 3.8 Livsprinciperna <https://biomimicry.net/the-buzz/resources/designlens-lives-principles/> (Hämtad 2019-08-11)

Figur 5 Jennie Sjökvist, (2019) Ett ihålligt material som har en diameter innehåller bara 20% av ett solit ämne

Figur 6: Linda Merry (2017) Växtceller från lök Photographer: M.S <https://flic.kr/p/Tcyw1C> (Hämtad 2019-08-11)

Figur 7 två bilder av jättenäckros

A: Stuart001uk (2017) <https://flic.kr/p/HLcyc> (Hämtad 2019-08-11)

B: pnorman4345 (2010) <https://flic.kr/p/8BhN8k> (Hämtad 2019-08-11)

Figur 8 Pawlyn (2011) Fågelskalle bild hämtad från) Biomimicry in architecture. Riba London.

Figur 9 Jennie Sjökvist (2019)

Figur 10 Biomimicry Institute, Biomimicryspiralen <https://toolbox.biomimicry.org/methods/process/> (Hämtad 2019-08-11)

Figur 11 Biomimicry 3.8, Livsprinciperna (Hämtad 2019-08-11)

Figur 12 AskNature (2017) Taxonomy https://asknature.org/resource/biomimicry-taxonomy/#.XU_O03tS9PY (Hämtad 2019-08-11)

Figur 13 Material Experience Lab, MDD processen (Hämtad 2019-08-11)

Figur 14 Sjökvist (2019), Trycktest

Figur 15 Sjökvist (2019) idégenerering

Figur 16 Sjökvist (2019) 3d-printade utskrifter

Figur 17 Sjökvist (2019) Vald materialkonstruktion

Figur 18 Karlsson (2019) Trycktest

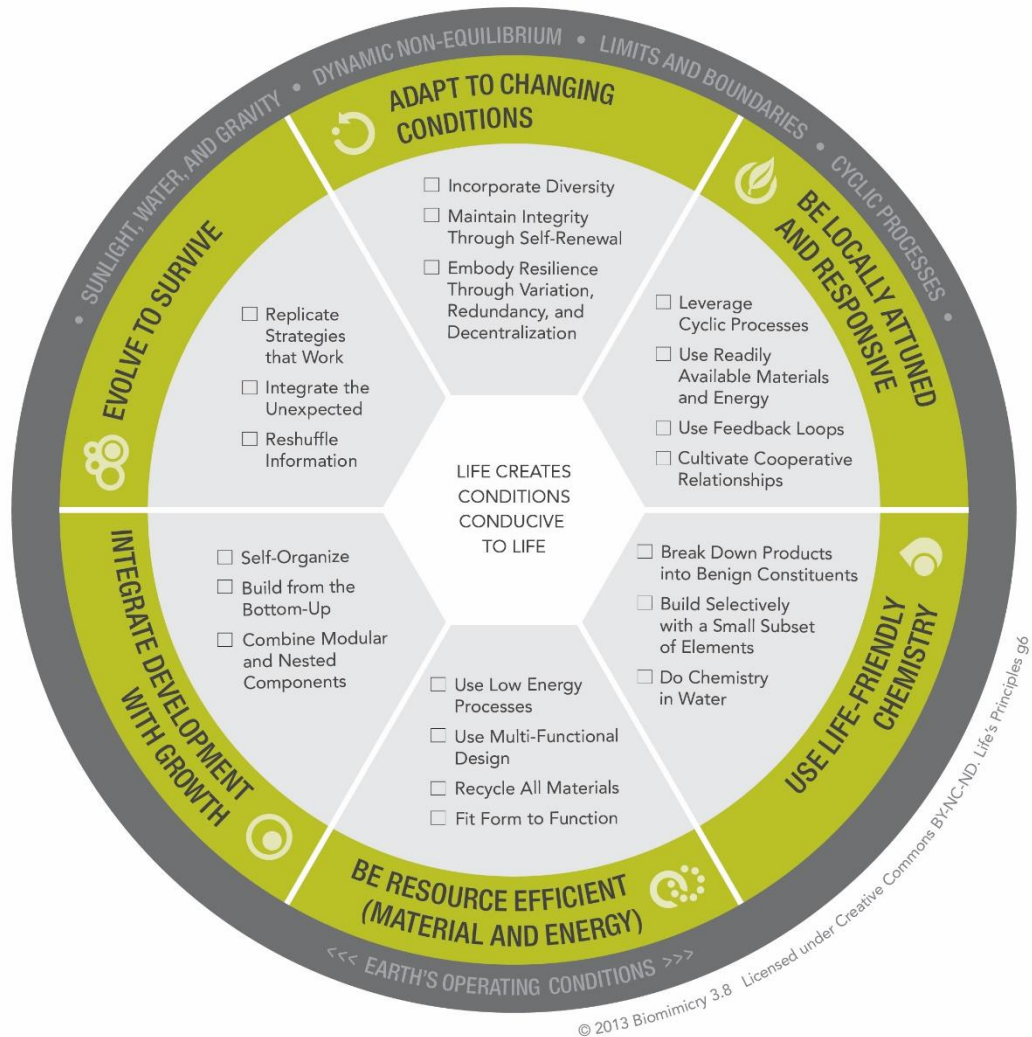
Figur 19 Inskickade bilder

Figur 20 Sjökvist (2019) Idegenerering för koncept

Figur 21 Sjökvist (2019) 3d-utskrift av pall.

Figur 22 Sjökvist (2020) pall

9. Bilagor



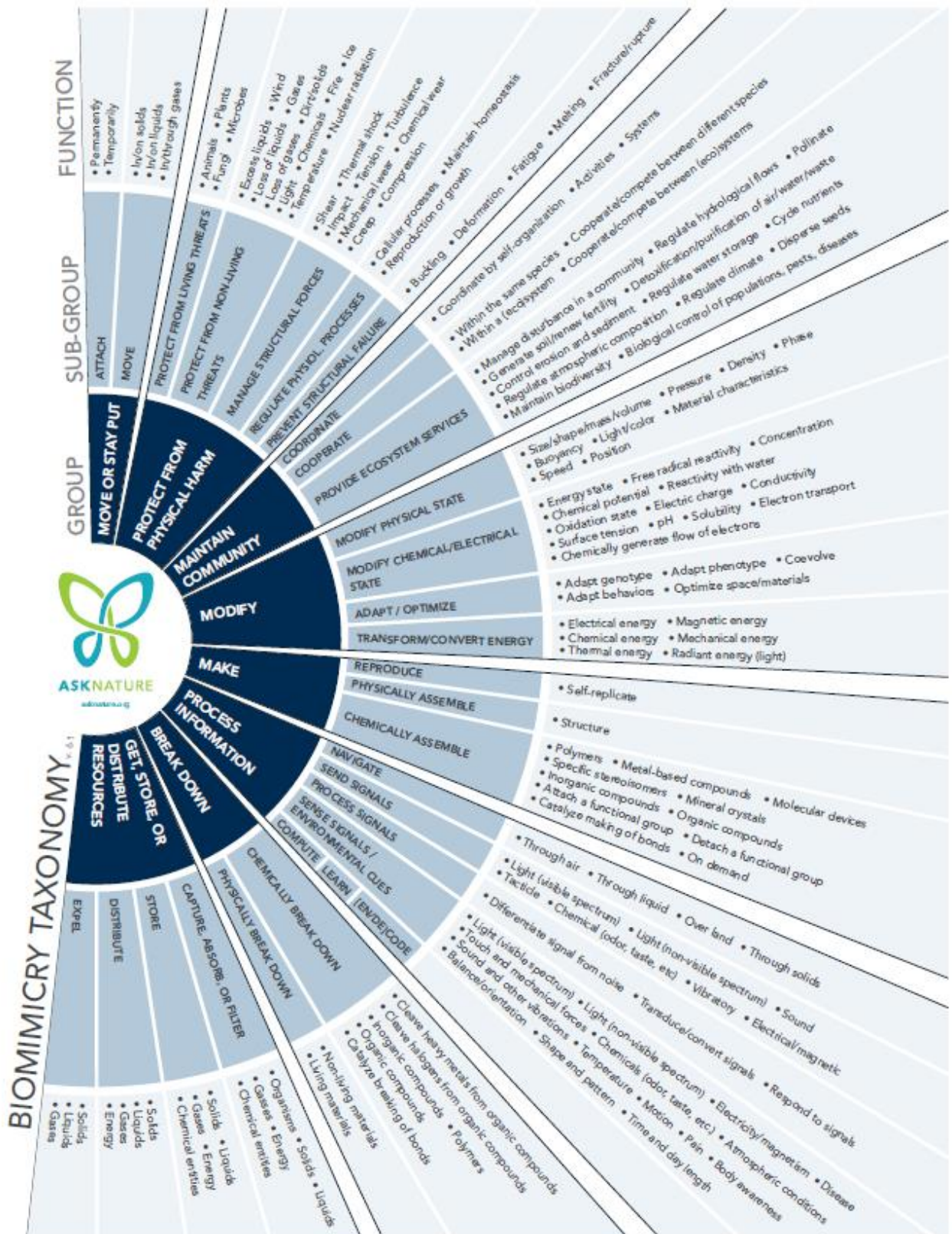
LIFE'S PRINCIPLES

Biomimicry DesignLens

Biomimicry.net | AskNature.org

Bilaga 1. Biomimicry 3.8 Livsprinciperna <https://biomimicry.net/the-buzz/resources/designlens-lifes-principles/> (Hämtad 2019-08-11)

Bilaga 2



BIOMIMICRY TOOLBOX | Toolbox.Biomimicry.org ©2017 Biomimicry Institute

Evaluate: Nature's Unifying Patterns - Design Checklist

Use this checklist to assess your design against nature's unifying patterns and consider how well-adapted to Earth's operating conditions it is (or could be).

Nature uses only the energy it needs and relies on freely available energy.

- Can you manufacture locally?
- Can you incentivize user shifts in energy usage?
- Can you build on existing code, tools, or templates?
- How can you leverage the community?
- Are you utilizing networks and experts to your advantage?

Nature recycles all materials.

- Can you design to the recycling infrastructure? Incentivize recycling?
- Can you close a technical or biological loop?
- Can you make use of a current waste stream?
- Is your product designed for disuse, disassembly, and reconfiguration?

Nature is resilient to disturbances.

- Can your company withstand disturbance while maintaining function? (E.g. Do you have the right experience/employees/trust?)
- Can your product/company heal after a disturbance?
- Does your product/company incorporate diversity and/or redundancy by design?
- Are information and resources decentralized and distributed?

Nature tends to optimize rather than maximize.

- Can you accomplish multiple functions with one design/business element?
- Can you use information rather than material and energy?
- Are you leveraging information to take the energy path of least resistance? (e.g. stakeholder/customer feedback, analytics, research, etc.)

Nature rewards cooperation.

- Can you reframe competitive advantage to one informed by nature's strategies?
- Does your company foster symbiotic, cooperative, community-based relationships?
- Will the success of your design/company create conditions conducive to all life, human and otherwise?
- Does your design/company cooperate with other parts of the system to make the most of what is available?
- Does your design/company create opportunities (niches) for more life?

BIOMIMICRY TOOLBOX | Toolbox.Biomimicry.org ©2017 Biomimicry Institute

Nature runs on information.

- Are you using feedback loops to inform marketing and branding?
- With your customers?
- Within your technology?
- Within your company? (personnel)
- Are you looking at the right data or measuring the right metrics?
- Are there simple rules you can follow to lead to complex results?
- Are you fostering emergent behavior?
- Are mistakes encouraged as a means of continual idea generation?

Nature uses chemistry and materials that are safe for living beings.

- Is your solution built to shape?
- Is chemistry done in water?
- Are processes done at ambient temperatures and pressures?
- Is manufacturing based on self-assembly?
- How are things along your supply and customer chain disposed of?
- Are your company policies life-friendly?
- Are you avoiding the most toxic/most polluting materials?

Nature builds using abundant resources, incorporating rare resources only sparingly.

- Are you using simple (common) building blocks in your design? In your business model?
- Does your design reuse materials or use readily available life-friendly materials?
- Are you leveraging common skills?
- Are you tapping an abundant market?

Nature is locally attuned and responsive.

- What materials/resources can you access within your own "backyard"?
- Are you taking into account cyclic factors?
- How can you design your business model to be responsive to changing conditions?
(Technology, markets, climate, etc.)
- How well do you understand your customer and partner needs?

Nature uses shape to determine functionality.

- Can you manufacture by building to shape?
- Does the design use shape and information rather than materials and energy?
- How can you make the most of limited resources to accomplish multiple functions?
- How can your company be somewhat self-organizing?

Bilaga 4. Biomimicry Institute, Nature's unifying pattern (Hämtad 2019-08-11)

