



LISTAHÁSKÓLI ÍSLANDS
Iceland University of the Arts

Á tímum lífbyltingar

Um framtíð byggingarefna og –tækni

Arís Eva Vilhelmsdóttir

Lokaritgerð til BA-prófs

Listaháskóli Íslands

Arkitektúrdeild

Nóvember 2020

Á tímum lífbyltingar

Um framtíð byggingarefna og –tækni

Arís Eva Vilhelmsdóttir

Lokaritgerð til BA-prófs í arkitektúr

Leiðbeinandi: Katla Mariudóttir

Arkitektúr
Arkitektúrdeild
Nóvember 2020

Ritgerð þessi er 8 eininga lokaritgerð til BA-prófs í arkitektúr. Óheimilt er að afrita ritgerðina á nokkurn hátt nema með leyfi höfundar.

Úrdráttur

Mörkin eru að verða óskýrari á milli þess sem er manngert og þess sem er af náttúrunnar hendi. Í ritgerðinni er fjallað um hvaða áhrif lífbyltingin (e. *bio* revolution) er að hafa á arkitektúr með tilliti til byggingarefna og –tækni. Vangaveltur eru bornar upp um hver ábyrgð og siðferðisleg skylda mannkyns er gagnvart jarðlægum auðlindum því ljóst er að byggingarefni frá tímum iðnbyltingarinnar hefur haft slæm áhrif á lýðheilsu manna og vistkerfi jarðar. Áhersla er lögð á fjölbreytni í ritgerðinni þar sem dregin eru upp viðfangsefni sem tengjast stefnunni og gefin dæmi um verkefni, hönnuði og fyrirtæki. Einnig er farið yfir einkenni lífhönnunar og –arkitektúrs og mikilvægi þverfaglegra rannsókna. Aðal innblástur ritgerðarinnar er fenginn úr bókinni *Bio Design* eftir William Myers. Aðrar heimildir eru fengnar frá bókum, vefsíðum, rannsóknarritgerðum og einni kvikmynd.

Ljóst er að til þess að komast lífs af verðum við að taka ákvarðanir út frá þolmörkum náttúrunnar. Þegar hefur verið brugðist við þróun loftslagsbreytinga með vistvænum aðgerðum á borð við yfirlýsingum og vottunarkerfum sem stuðla að lýðheilsu og velferð vistkerfa. Þó vantar uppá hvatningu frá stjórnvöldum í formi styrkja eða kolefnisskatta til þess að fá fyrirtæki til að taka skref í átt að umhverfisvænum iðnaði. Aðferðafræði lífhönnunar og –arkitektúrs, sem gengur út á að sækja fyrirmyndir í líffræðilega ferla, virkar heilbrigð leið að því hvernig má endurhugsa framleiðsluferli byggingarefna og tækni bygginga. Þar er áhersla lögð á lífvænleg efni og skilvirka orkugjafa og –nýtingu. Með hliðsjón af heilbrigðum vistkerfum virðist lykillinn að heilbrigðri menningu byggingarefna liggja í fjölbreyttu úrvali byggingarefna sem hafa verið framleidd og hönnuð út frá sjálfærum og umhverfisvænum stöðlum.

Efnisyfirlit

<i>Inngangur</i>	7
<i>En fyrst, hvað er auðlind?</i>	8
2. <i>Lýðheilsa</i>	9
3. <i>Vistvænar aðgerðir</i>	10
4. <i>Byggingarefni samtímans</i>	12
4.1 <i>Sandur og Sement</i>	12
4.2 <i>Krossviður og CLT</i>	13
5. <i>Endurnýting</i>	14
5.1 <i>Assemble</i>	14
6. <i>Mikilvægi fjölbreytileika</i>	15
6.1 <i>BioConcrete</i>	16
6.2 <i>BioMason</i>	16
7. <i>Lífhönnun</i>	17
7.1 <i>Sveppaþræðir</i>	17
7.2 <i>HI-FY</i>	18
7.3 <i>Aectual</i>	19
7.4 <i>Seaweed Thatch Reimagined</i>	20
8. <i>Efnisleg vistfræði</i>	20
8.1 <i>Silk Pavillion</i>	21
9. <i>Lífarkitektúr</i>	21
9.1 <i>Harmonia 57</i>	22
9.2 <i>Process Zero: Retrofit Resolution</i>	22
9.3 <i>Dune</i>	23
<i>Lokaorð</i>	24
<i>Heimildaskrá</i>	25

Inngangur

„Í baráttu mannsins við náttúruna, má rekja í gegnum aldinar meðvitaða leit við að meðhöndla hvert vandamál þannig að ógn þess við mannlega tilveru minnki verulega. Ef við greinum arkitektúr frá þessu sjónarhorni, sem þáttur í baráttunni á milli manns og náttúru, finnum við að grundvallareðli okkar er kerfisbundið, þ.e. í stöðugri þróun. [...]Þessi þróun er ein af einkennum arkitektúrs og það er nauðsynlegt að við leggjum áherslu á það í eigin verkum í dag.“¹

– Alvar Aalto

Efni hafa ávallt verið mannum huglæg. Því hvernig veröldin birtist í efniskennd sinni gefur okkur skilning á flókinni uppbyggingu samverkandi þátta í umhverfinu sem við þrífumst í. Efni eru hlaðin merkingum í hinum ýmsu menningarheimum þar sem við notum þau til hagnýtingar sem og í tjáningarformi.

Við síðustu aldamót jókst framleiðsla og eftirspurn á vörum í kjölfar skilvirkari tækni og framfara á sviði vísinda. Hönnun varð drifin af gróða. Markmið hennar afmarkaðist við hagnað, árangur og einnota notkun, sem leiddi til yfirgangssamrar hegðunar gagnvart hinum jarðlægu auðlindum. Iðnbyltingin markaði umrót í sambandi manns við náttúru, rof á siðferði og ábyrgð. Nýlegar rannsóknir hafa sýnt fram á að andrúmsloftið, höfin, fjöllin og lífríki eru varnarlaustr en okkur óraði fyrir og hefur ástandið aldrei verið jafn viðkvæmt og nú.² Vegna skaðlegrar ásækni að auðlindum stendur mannkynið nú frammi fyrir öfgafullum afleiðingum loftlagsbreytinga og ber ábyrgð á fjöldadauða tegunda sem nú ögra líffræðilegri fjölbreytni. Til að mynda valda þær aðferðir sem við notum til þess að byggja, ásamt innri kerfum bygginga, 50% af losun gróðurhúsalofttegunda sem sleppt er út í andrúmsloftið á ári hverju.³ Meðferð og framleiðsla byggingarefna tekur upp 33% af allri orkunotkun Bandaríkjanna á meðan landfyllingar taka á móti rúmlega 40% af niðurrífi mannvirkja.⁴ Næg sönnunargögn liggja nú fyrir um þau gríðarlegu áhrif sem umfang mannlegra athafna hafa á loftslag og yfirborð jarðar. Þær auðlindir sem eru hvað mest nýttar, líkt og eldsneyti, halda

¹ Alvar Aalto, *Sketches*, (Massachusetts: MIT Press, 1985), bls. 61.

² Michael Braungart og William McDonough, *Cradle to Cradle*, (New York: North Point Press, 2002), bls. 26.

³ Peter Walker, „Alternatives to Concrete: Combating Climate Change with New Building Materials,“ *University Of Bath*, 1. apríl 2019, <https://blogs.bath.ac.uk/iprblog/2019/04/01/alternatives-to-concrete-combating-climate-change-with-new-building-materials/>

⁴ Stanford, „Bio-based building material.“ Myndband, 23:43, sótt 13. sept. 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=mGV8-nJwaPs>.

ekki í við hraða neyslu mannkyns. Því er ljóst að brýn nauðsyn er fyrir vistfræðilega byltingu sem setur á stofn sterkan lagaramma um framleiðslu og ábyrga neyslu. Ásamt stórtækum aðgerðum í verndun vistkerfa sem og ný gildi í samfélaginu sem varða orkunotkun og úrgangslösun.⁵

Sem svar við þessu ákalli á sér nú stað ævintýraleg þróun á sviði efnaframleiðslu innan hönnunargeirans þar sem mörkin eru að verða óskýrari á milli þess sem er manngert og þess sem er af náttúrunnar hendi. Í ljósi þess að nú þegar eru komnar á sjónarsvið vörur með líffræðilegan undirtón, á borð við litaglaða myglulist, fatnaður ofinn af bakteríum og matarstell úr þaraplasti, er áhugavert að velta fyrir sér hvaða straumum lífbyltingin er að fleyta innan arkitektúrs. Hér gefst tækifæri á vangaveltum fyrir hvernig við getum hugað betur að náttúrunni með því að endurhugsa allt frá framleiðsluaðferðum, líftíma byggingarefna að hlutverki bygginga. Sem verðandi arkitekt geri ég mér grein fyrir að með starfi mínu felst ábyrd í þeirri vinnu sem ég mun gefa frá mér og með þessari ritgerð fellst gullið tækifæri í að kynnast heimi nýrra byggingarefna og tækni. Í ritgerðinni koma fram umfjallanir um ákveðið efni og dæmi gefin um verkefni eða fyrirtæki sem er innan hvers flokks.

En fyrst, hvað er auðlind?

Í grófu máli tákna orðið *auðlind*, nýtingu sem færir mönnum meiri „auð“ sem svarar kostnaðinum við nýtinguna.⁶ Ef við berum saman þetta hugtak við þær aðstæður sem skapast við framleiðslu efna, er þá ekki rétt að varpa fram þeirri spurningu um hvort það teljist í raun og veru sem auðlind? Þurfum að endurskilgreina orðið og finna nýtt hugtak sem nær yfir fyrirbæri sem þessi? Auðlindanotkun sem í raun og veru eru í líki stórfelldrar eyðileggingar. Orðið er villandi og afvegaleiðir okkur frá samhengi heildarmyndarinnar og mikilvægra spurninga sem snúa að siðferði og sambandi okkar við jörðina. Fyrirbærinu má líkja við orðatiltækið *Red herring*, sem notast er í við handritsgerð til þess að tæla áhorfandann að rangri niðurstöðu.⁷ Andri Snær Magnason, rithöfundur, bendir á að „Náttúran hefur nánast engin réttindi, óspillt land er skilgreint sem „vannýtt hráefni“ og það er ekki búið að setja

⁵ William Myers, *BIO DESIGN – nature, science, creativity*, (London: Thames & Hudson, 2018), bls. 12.

⁶ Þorsteinn Vilhjálmsson „Hvað er auðlind?“, *Vísindavefurinn*, 3. sept. 2013, <https://www.visindavefur.is/svar.php?id=60548>.

⁷ *Cambridge Dictionary*, sótt 4.sept 2020, <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/red-herring>.

viðurlög við *vistmorði* í lög.“ Vistmorð (e. *ecoside*) er nýtt hugtak og er eins konar hliðstæða við orðið þjóðarmorð.⁸

Dr. Skúli Skúlason, líffræðingur, telur viðleitni mannsins vera byggða á fræðilega veikum grunni þar sem menn hafa stillt sér utan náttúrunnar með sína eigin hagsmuni í algjöru fyrirrúmi. Að menn álíti náttúruna sem vél sem má nálgast með stærðfræðilegum aðferðum. Þessi afstaða lítur á dýr og náttúru sem sálarlaus fyrirbæri og þar með umgengst maðurinn þau með þeim hugsunarhætti. Siðferðisgæði eru einungis séð út frá efnahagslegum og huglægum sjónarhornum mannsins, en ekki út frá því að náttúran sjálf hafi í sjálfri sér siðferðislegt gildi. Háttsemi okkar gagnvart náttúru og öðrum tegundum hefur verið grimm en orðræðan sýnir að við höfum vilja til þess að breyta sjónarmiðum okkar og almenn gagnrýni okkar fer vaxandi í þessum málefnum. Skúli bendir á þau lamandi áhrif sem vélhyggjan og hagsmunöfl hafa á þennan hliðholla hug manna þar sem þau líta svo á að auðlindir náttúrunnar séu eign sem maðurinn á rétt á að notfæra sér til gróða. Hann segir mannkynið vilji í raun sýna samstöðu með náttúrunni, með samvinnu við náttúruna, því hvert lífform er víxlverkandi samband við umhverfið sitt. Það markast af forsendum sínum, afkomu sinni, þarfa og langana, auk þess hvað umhverfið býður upp á. Til þess að ná takti við náttúruna á ný þarf samræmi að ríkja. „Okkur ber að þroska heimsmynd okkar í anda feril- og heildarhyggju, að rækta þá heimsmynd að öll lífform séu órofa hluti af náttúrunni og að endursiðvæða sameiningu heimspeki og vísinda. Vísindin hafa raunverulega eitthvað fram að færa til samfélagsins þegar þau endursiðvæðast og gefa gagnrýnni umræðu og hugsun um þessar heimsmyndir vægi.“⁹

2. Lýðheilsa

Þar sem við á norðurhluta Evrópu verjum 90% af tíma okkar innandyra gefur það augaleið að efni sem við notum í híbýlgerð eru gríðarlega mikilvægur heilsuþáttur.¹⁰ Ásamt því að mikil orka fer í að ýmist kæla eða hita upp hús gerð úr steypu er hætta á að mygla myndist í byggingum í kaldari löndum og raki í lofti fari undir heilsusamleg mörk sem valda skaða á heilsufari. Margar vörur sem við höfum framleitt frá tímum iðnbyltingarinnar hafa slæm áhrif á andrúmsloftið innandyra því frá þeim losna efni sem setja álag á ónæmiskerfið og

⁸ Andi Snær Magnússon, *Um tímann og vatnið* (Reykjavík: Mál og menning, 2019), bls. 247.

⁹ Skúli Skúlason, „Fjölbreytni og tengsl í náttúrunni“ (Pálsvaka, Háskóli Íslands, Hannesarholt, 21. apríl 2018). <https://soundcloud.com/j-n-p-lsson/skuli-skulason-fjolfbreytni-og-tengsl-i-natturunni>.

¹⁰ „Alternatives to Concrete.“

geta veikt það.¹¹ Vandamál tengt loftgæðum innandyrna eru ein helsta umhverfistengda heilsufarsmeini sem heilsugæslur glíma við. Þessi eiturefni hafa mörg verið flokkuð skaðleg vegna þeirra slæmu áhrifa sem þau hafa á fósturþroska og geta í verstu tilfellum valdið stökkbreytingum og krabbameini.¹²

Sjúkdómar og raskanir á borð við SBS, eða Sick Building Syndrome, er í formi margbreytilegra kvilla sem rekja má til óheilbrigðra bygginga. Einkennin eru á borð við ertingu í öndunarferum, tíðum hausverkjum, óútskýranlegri þreytu og útbrotum.¹³ Ásamt SBS hafa sjúkdómar á borð við MCS (*Multiple chemical sensitivity*) og CFS (*Chronic fatigue syndrome*) farið stigvaxandi frá árinu 1970, en þá komu fyrst til sögunnar byggingar með innbyggðu loftræstikerfi. Blöndun skaðlegra efna hafa þau áhrif að sjúkdómar og raskanir byggjast hægt upp í líkamanum og leiða til sjálfseitrunar sem er erfið viðureignar. Þáttur heilsu og sjálfbærni gegna því mikilvægu grundvallar hlutverki í byggingagerð og allri hönnun. Allt sem er vottað lífrænt, svæðisbundið og sanngirnissvottað hefur því óumflýjanlega notið meiri hylli innan iðnaðarins.¹⁴

3. Vistvænar aðgerðir

Samkvæmt byggingareglugerð segir að byggingarefni megi ekki vera skaðleg eða gefa frá sér skaðleg efni eða gufur.¹⁵ Nurgül Ece, höfundur bókarinnar *Building Biology*, bendir á að þó það séu til formleg mörk sem þessi fyrir losunarmagni, sem eiga að verja menn jafnt sem umhverfi, þá gegna þau aðeins því hlutverki að draga úr áhættuþáttum. Auk þess gilda þessi mörk oftast nær einungis fyrir aðsetur iðnaðar og markaðsfyrirtækja.¹⁶ Einnig bendir hún á að leiðbeiningarit eins og vottunarkerfi eru aðeins til leiðsagnar, en viðmið ættu alltaf að grundvallast á þolmörkum náttúrunnar. Því er æskilegast að útrýma öllum áhættuþáttum sem gætu haft skaðleg áhrif á hana.¹⁷

REACH er reglugerð sem Evrópusambandið setti á fót árið 2017 og kemur hún að skráningum, áætlunum, leyfum og takmörkun efna. Framleiðendur og innflutningsfyrirtæki

¹¹ Michael Braungart og William McDonough, *Cradle to Cradle*, bls. 41.

¹² Nurgül Ece, *Building Biology, Criteria and Architectural Design*, (Basel: Birkhäuser Verlag, 2018). bls. 8.

¹³ Mark R. Cullen, Carrie A. Redlich og Judy Sparer. „Sick Building Syndrome.“ *Science Direct* 349, nr. 9057 (1997): bls. 1013, doi: 10.1016/S0140-6736(96)07220-0.

¹⁴ Nurgül Ece, *Building Biology*. bls. 8.

¹⁵ „Byggingareglugerð, 15.2.3 gr. Skrá yfir hættuleg efni,“ sótt 25. október 2020, <https://www.reglugerdir.is/reglugerdir/efir-raduneytum/umhverfisraduneyti/nr/18113>

¹⁶ Nurgül Ece, *Building Biology*, bls. 29.

¹⁷ Nurgül Ece, *Building Biology*, bls. 30.

eru því skildug til þess að gefa upp og skrá öll efni og fjölliður, eins og plast, sem fara yfir ákveðið magn á ári sem eru framleidd eða innflutt innan landa ESB. Ómögulegt er að setja örugg mörk fyrir losun einstakra efna. Þó svo að þessi tilteknu og hættulegu efni eigi að tilgreina í forskrift og öryggisupplýsingaskjölum þá er eina leiðin til þess að útrýma áhættunni að gefa upp fulla yfirlýsingu innihaldsefna og rannsóknargreiningar.¹⁸

Arkitektar víðsvegar um heim hafa staðið fyrir undirskriftarlistum sem hvetja arkitektastofur til að nýta sér vistvænar leiðir við gerð mannvirkja. Íslenskir arkitektar hafa ekki setið auðum höndum og hafa þegar tekið skrefið með því að gera fræðslu og undirskriftarsíðu sem kallast Iceland Architects Declare Climate & Biodiversity Emergency.¹⁹ Slíkar aðgerðir eru mikilvægar til þess að auka samstöðu og þrýsta á félög innan geirans til þess að taka virkan þátt.

Vottunarkerfi hafa á síðastliðnum árum verið sett á fót sem gátlistar fyrir hagnýtar leiðbeiningar fyrir umhverfisvæna hönnun. Þeim er ætlað að auðvelda og samræma útfærslu bygginga. Þau byggja á áherslum sjálfbærrar þróunar með því að samþætta umhverfislega, félagslega og efnahagslega þætti og auka með því aðgengi að leiðsögn um heilnæmar byggingar.²⁰

BREEAM er vottunarkerfi sem vinnur að því markmiði að minnka heildarkostnað bygginga, tryggja heilsu og vellíðan íbúa. Að framkvæma áhættugreiningu eigna sem varða m.a. náttúruvá og loftlagsbreytingar og sinna mælingum á frammistöðu bygginga. Vottunarkerfið þjónar sem leiðandi afl sem stuðlar að markmiðum um jöfnun koltvísýrings í andrúmsloftinu (*Net-Zero Carbon*). BREEAM aðhyllist lokuðu endurvinnslukerfi og endurskoðar hvernig auðlindir eru metnar út frá því. Þannig má nálgast skilvirkari ferla.²¹ Lokað hringrásarkerfi er vistvænt og ýtir undir sjálfbærni sem er sérstaklega kveðið á um í

¹⁸ Nurgül Ece, *Building Biology*, bls. 30.

¹⁹ „Iceland Architects Declare Climate & Biodiversity Emergency,“ sótt 19. okt. 2020, <https://is.architectsdeclare.com/>.

²⁰ „Umhverfisvottunarkerfi,“ *Framkvæmdasýsla Ríkisins*, sótt 25. sept. 2020, <https://www.fsr.is/samstarf/vistvaenarbyggingar/vistvottunarkerfi/>.

²¹ „The value of BREEAM In-Use,“ *BREEAM*, sótt 25. sept. 2020, <https://www.breeam.com/discover/technical-standards/breeam-in-use/>.

heimsmarkmiðum Sameinuðu þjóðanna um að gera borgir og samfélög sjálfbær²² og ábyrgjast sjálfbær neyslu- og framleiðslumynstur.²³

4. Byggingarefni samtímans

Í upphafi byrjaði maðurinn á að brynja sig gegn öflum náttúrunnar með tiltækum byggingarefnum úr umhverfi sínu. Með tímanum þróaðist tækni til þess að styrkja hífýlin sem gerði þau varanlegri. Þegar við staðsetjum okkur í núliðandi stund er ljóst að margt hefur breyst í sambandi okkar við byggingarefni þar sem mun meiri fjölbreytni er nú til staðar en áður og oftast nær býr flókið framleiðsluferli að baki flestra þeirra. Ferli sem eru óheilbrigð vegna þess að þau fela í sér notkun á óendurnýjanlegum auðlindum og skaðlegum efnum ásamt losun koltvísýrings í andrúmsloftið.

4.1 Sandur og sement eiga undir þungu höggi að sækja. En sandur er mest notaða efni á heimsvísu á eftir vatni og lofti.²⁴ Við notum sand ekki aðeins í byggingarefni, heldur til þeirra fjölmörgu muna sem við notum í daglegu lífi, rétt eins og skjáinn sem þú horfir á núna. Til þess að ná í sand þarf að sækja hann á ströndum, í botni sjáva, vatna og áa. Þessi gríðarlega notkun okkar á sandi rúmar um 50 milljarða tonna sem er í umferð á ári hverju og veldur hún óafturkræfum skaða á náttúrunni. Sandur telur til 75% af heildarinntaki steypu. Til að mynda þarf meðalstórt hús um 200 tonn af sandi, í sjúkrahús um 3000 tonn og í þjóðveg um 15.000 tonn. Það sem meira er að stórveldi eins og Kína eru byrjuð að stækka við sig með því að byggja við sig heilu eyjurnar úr sandi.²⁵

Ef allur sementiðnaður á jörðinni teldist sem ríki væri það þriðji mesti losunarvaldur koltvioxíðs á eftir Bandaríkjunum og Kína.²⁶ En sementframleiðsla ber ábyrgð á 8% af heildarlosun gróðurhúsalofttegunda út í andrúmsloftið.²⁷ Steypa er mest notaða

²² „Sjálfbærar borgir og samfélög,“ *Félag Sameinuðu Þjóðanna*, sótt 11. sept. 2020, <https://www.un.is/heimsmarkmidin/sjalfbaerar-borgir-og-samfelog/>.

²³ „Ábyrg neysla og framleiðsla,“ *Félag Sameinuðu Þjóðanna*, sótt 11. sept. 2020, <https://www.un.is/heimsmarkmidin/abyrg-neysla/>.

²⁴ Vince Beiser, *The world in a grain. The story of sand and how it transformed civilization*, (New York: Riverhead Books, 2018).

²⁵ Rob Ludacer, „Why the world is running out of sand – and there’s a black market for it now,“ *Business Insider*, 11. júní 2018, <https://www.businessinsider.com/world-running-out-sand-resources-concrete-2018-6?r=US&IR=T>.

²⁶ „Alternatives to Concrete.“

²⁷ Sabbie A. Miller og Frances C. Moore, „Climate and health damages from global concrete production,“ *Nature Climate Change* 10, nr. 439-443 (2020): bls. 1, doi: 10.1038/s41558-020-0733-0.

byggingarefni á heimsvísu.²⁸ Ástæðan fyrir því er sú að hún þykir meðfærileg, sterk og hagkvæm. En notkun okkar á steypu er óvarkár og langt yfir velsæmismörkum.

Uppbygging sementverksmiðja í heiminum hefur aukist í kjölfar mikillar eftirspurnar á kalk-, sand- og leirsteini. Umfang slíks iðnaðar leiðir til jarðvegseyðingar og mengunar. Ásamt því neyðir starfsemin fólk og villt dýralíf til þess að flýja heimkynni sín. Sement inniheldur átta mismunandi innihaldsefni en aðalinnihaldsefni þess er kalksteinn.²⁹ Kalkstein er aðallega að finna í og við gróðursæl svæði. Til þess að nálgast hann þarf að grafa upp yfir- eða undirlag jarðar. Þegar steinninn er grafinn undan jarðveginum skilur það eftir sig holrúm sem er síðan styrkt með stöðum. Rúmmál slíks holrýmis er á sumum stöðum viðamikild og getur tekið upp hundruði hektara af landi. Þegar kalksteinn er tekinn úr yfirborðslagi veldur það umtalsverðri eyðileggingu á jarðvegi og skógum. Auk þess hafa aðferðir kalksteinsnámunar leitt af sér röskun á náttúrulegu vatnsrennsli, eyðingu grunnvatns, uppsöfnun námuúrgangs, ófrjósemi í jarðvegi og hefur skaðleg áhrif á lýðheilsu manna og líffræðilega fjölbreytni í vatni.³⁰

Þegar kemur að losun gróðurhúsalofttegunda er viður talinn fyrirmyndar byggingarefni til að byggja vistvænar borgir að því leyti að viður er endurnýjanlegt byggingarefni sem að heldur aftur af því kolefni sem það hefur bundið niður í gegnum lífsferil sinn.³¹

4.2 Krossviður og CLT eru byggingarefni sem hafa verið notuð um nokkurt skeið. Efnin eru hátæknileg þar sem þau eru gerð úr mörgum lögum af við sem lagður er ofan á hvorn annan í gagnstæðar áttir. Efnin taka þannig á sig burðareiginleika viðs og hafa því getu til þess að

²⁸ Tiffany Trader, „Greening the World’s Most Ubiquitous Building Material,“ *HPC Wire*, 23. Jan.2015, <https://www.hpcwire.com/2015/01/23/greening-worlds-ubiquitous-building-material/>.

²⁹ „Concrete vs. Cement: What’s The Difference?,“ *Howden*, sótt 2. okt. 2020, <https://www.howden.com/en-us/articles/cement/how-is-cement-made>.

³⁰ Hancelem Haule, Subira Kawonga, Kepha Luvunga, Gabriel Mayengo, Luhanda Morsardi og Japhet Elisante Ringo, „Effects of Limestone Mining on Deforestation and Land Degradation in Mbeya Region, Tanzania,“ *ResearchGate* 5, nr. 2169-9917 (2016): bls. 118, https://www.researchgate.net/publication/306065662_Effects_of_Limestone_Mining_on_Deforestation_and_Land_Degradation_in_Mbeya_Region_Tanzania.

³¹ „Triptyque Architecture presents a special project at the 2018 Venice Architecture Biennale,“ *Triptyque Architecture*, sótt 5. okt. 2020, <http://triptyque.com/en/triptyque-architecture-presents-a-special-project-at-the-2018-venice-architecture-biennale/>.

vera notuð í háar byggingar.³² Pólýúretan lím er yfirleitt notað í krossvið³³ sem er unnið nánast eingöngu úr kvoðu³⁴. Efnin eru vistvæn þar sem þau teljast sem endurunninn viður og framleiðsla þeirra losar ekki kolefni út í andrúmsloftið.³⁵

5. Endurnýting

Meðvitund um nytsemi endurnýtingar og endurvinnslu hefur aukist. Felast auðlindir framtíðar jafnvel í endurnýtingu? Eins má spyrja hvort skorti sterkari umgjörð um ákveðin skilyrði sem þarf að uppfylla til að framkvæma niðurrif á mannvirkjum. Skilyrði um hvernig flokka skal efni sem fellur til og skilgreina hvernig á að grípa þann efnivið inn í lokað endurvinnsluferli og hámarka nýtingu þeirra. Með því er hægt að byggja upp vistvænni menningu byggingarefna. Ýmsar leiðir eru til við að nýta það sem af fellur en oft er einfaldasta leiðin að nýta það sem fyrir er.

5.1 Assemble er teymi hönnuða sem kom af stað verkefni sem kallast OTOProject þar sem þau fengu til liðs við sig 60 sjálfbodaliða. Verkefnið snérist um að skapa vettvang fyrir tilraunakennt tónleikahald í austurhluta London. Á úthlutuðu svæði var gamall steypugrunnur og stórir iðnaðarpokar sem innihéldu mulning, jörð og mól sem þau fundu sig knúin til að nota. Steypugrunnurinn var grafinn upp og ásamt hinu efninu, safnað saman, sigtað, sett í poka og þjappað. Pokarnir sem veittu góð skilyrði fyrir hita og hljómburð voru því næst staflaðir upp sem innveggir byggingarinnar. Á útveggina báru þau leifarnar af rústunum. Þau nefndu aðferðina Rubble-Dash sem er tilvísun í steiningu (*pebble dash*). En ólíkt henni þá er hún gerð með rústum í stað innfluttra steina.³⁶ Þeirra verkefni er gott dæmi um hvernig borgir eins og London geta unnið úr þeim efnnum sem fyrir liggja og myndað einskonar staðbundna menningu byggingarefna.

³² Romullo Baratto, „Triptyque Proposes Tall Building Made of 100% Brazilian Wood,“ *ArchDaily*, 20. sept. 2017, https://www.archdaily.com/879938/triptyque-proposes-tall-building-made-of-100-percent-brazilian-wood?ad_source=search&ad_medium=search_result_all.

³³ Tiit Sild, „The Shocking Truth About CLT (interview),“ *Katus.eu*, sótt 5. okt. 2020, <https://katus.eu/learn/courses/shocking-truth-about-clt>.

³⁴ „Pólýúretan lím – hvernig á að nota það rétt og hvað það er,“ *Með höndum þínum*, sótt 5. okt. 2020, <http://kak-svoimi-rukami.com/is/2013/05/poliuretanovyj-klej-kak-pravilno-ispolzovat-i-chto-eto-takoe/>.

³⁵ „What the heck is CLT?,“ *Sustainable lumber co*, 8. des. 2017, <https://www.sustainablelumberco.com/2017/12/what-the-heck-is-clt/>.

³⁶ Seetal Solanki, *Why Materials Matter – Responsible Design for a Better World*, (New York: Prestel Publishing, 2018), bls. 58-59

6. Mikilvægi fjölbreytileika

Í ríkjum flóru og fínu veltur lífsafkoma á samneyti við aðrar tegundir. Þau þurfa hvor á annari að halda til þess að vaxa og lifa innan sama vistkerfis. Forsenda fyrir styrkleika og seiglu í slíku samfélagi byggist á dreifingu hlutverka og fjölbreytileiki er þar lykillinn að grundvelli allra valkosta og forsenda allrar þróunar.³⁷ Mætti með hliðsjón af þessum náttúrulegu ferlum starfrækja og leggja sterkan grunn að heilbrigðri menningu byggingarefna og starfsemi?

Blöndun fjölbreyttra starfsema er heilbrigð fyrir borgir og minni svæði samkvæmt Alessandra Araújo, prófessor við lífhermifræði (e. *biomimicry*). Hún talar um að svæði sem hafa blandaða starfsemi og atvinnu eru líklegri til þess að hafa meira úthald og byggja sig fljótar upp eftir áföll. „Fyrir mér fer úthald kerfis eftir því hversu fjölbreytt starfsemin er innan þess. Af því að ef eitt kerfi verður fyrir áfalli, þá er mikið framboð af öðrum kerfum til þess að styðja við það og sjá til þess að heildarkerfið haldi áfram að ganga.“³⁸

Þverfaglegar rannsóknir eru einnig mikilvægur liður af fjölbreytni vegna þeirra flóknu stöðu sem við stöndum nú frammi fyrir vegna vanda loftlagsbreytinga og samverkandi þátta á borð við fólksflutninga, fæðuöflun o.fl. Slík samvinna gerir okkur betur í stakk búin til að kljást við mál á svo háu flækjustigi. En áhersla á þverfaglegar rannsóknir og niðurstöður þeirra eru alltaf háðar samfélagslegum forgangi og hlutfalli markaðsmerkja. Í dag vantar hvatningu í reglakerfum sem stuðla að framförum á sviði hönnunar og sköpunar sem beita sér fyrir umhverfisumbótum. Að nýta skatt og niðurgreiðslur til slíkra hvatninga og þvingana er enn á byrjunarstigi á flestum stöðum í heiminum. Þýskaland og Noregur eru meðal þeirra landa sem hafa nú þegar tekið árangursrík skref með því að mynda stefnu sem forgangsraðar framgang umhverfisvænnar hönnunar. Á meðan er þorri iðnríkja eftir á og horfir upp á kostnað, sem stafar af kolefnislosun, safnast upp. Á það sérstaklega við um Bandaríkin þar sem pólitísk umræða stendur í vegi fyrir aðgerðum í umhverfisvernd. Seigla kemst á þegar þau fara að vege málin á nútímalegan hátt og horfa á heildarreikning framkvæmda og framleiðslu með tilliti til þess skaða sem loftlagsbreytingar valda.

³⁷ Skúli Skúlason. „Fjölbreytni og tengsl í náttúrunni.“ (Fyrirlestur fluttur á Pálsvöku, Háskóli Íslands, 21 apríl 2020).

³⁸ Victor Delaqua, „What can nature teach architects about resilience,“ *ArchDaily*, 22. júlí 2019, <https://www.archdaily.com/921428/what-can-nature-teach-architects-about-resilience>.

Aðeins undir nýjum formerkjum og skynsamlegum þvingunum á hönnun, eins og með kolefnisskatt á framleiðslu eða í formi hvatninga eins og niðurgreiðslum fyrir mannvirkjum sem stuðla að fjölbreyttu lífríki.³⁹ Þau verkefni, hönnuðir og teymi sem hér eru gefin upp gera ráð fyrir þessum ytri umhverfisáhrifum.

Að svo stöddu virðist óraunhæft að slíta okkur að fullu frá notkun steypu en nú er búið að þróa umhverfisvænni aðferðir til þess að vinna efni í líkingu við hana.

6.1 BioConcrete er fyrirtæki sem hefur gert stórkostlega uppgötvun á eiginleikum bakteríu sem kallast *Sporosarcina pasteurii*. Það vill svo til að bakterían þrífst í hrjóstugu umhverfi og myndar kalkstein. Þennan eiginleika hefur fyrirtækið fundið not fyrir að fylla upp í sprungur á gamalli steypu og þannig náð að styrkja á ný. Notkun á þessu sjálfgræðandi efni myndi lækka kostnað og minnka eftirspurn á steypu.⁴⁰

6.3 BioMason er fyrirtæki sem hefur tileinkað sér að finna upp nýja aðferð við gerð múrsteina úr sandi og lífefnum. Ferlið spannar yfir allt frá gerjun að verkfræði og samanstendur starfskrafturinn af fólki úr ólíkum greinum á við lífefnafræði og arkitektúr. Framleiðsla múrsteinanna krefst hvorki hita né leirs. En hefðbundin framleiðsla múrsteina hitar leir upp í 2.000 gráður yfir nokkra daga sem losar mikið magn gróðurhúsalofttegunda. BioMason hefur því farið frumlega leið að því að framleiða múrsteina með því að blanda saman sandi og bakteríum og líkja þannig eftir myndun kóralla. Bakteríum er komið fyrir í sandfyllt mót. Þær festa sig á sandkornin og binda þau saman með því að framleiða kalsíumkorbónat kristalla. Yfir 3-5 daga sér áveitukerfi um að úða næringarríku vatni yfir einingarnar til þess að auðvelda ferlið. Kristallarnir fjölfaldast með þeim afleiðingum að efnið þéttist jafnt og þétt. Þegar ferlinu lýkur er efnið orðið nógu sterkt til notkunar við gerð mannvirkja. Til þess að tryggja fulla nýtingu á vatninu er því síðan safnað saman og notað í næstu lotu.⁴¹

³⁹ William Myers, *BIO DESIGN*, bls. 10.

⁴⁰ William Myers, *BIO DESIGN*, bls. 82.

⁴¹ Kevin J. Ryan, „How this company is using bacteria to grow bricks from scratch,“ *Inc.com*, 19. jan. 2016, <https://www.inc.com/kevin-j-ryan/best-industries-2016-sustainable-building-materials.html>.

7. Lífhönnun

Mikilvægi nýrrar tækni er annað lykilatriði í því að byggja á vistvænan hátt. Á síðastliðnum árum hefur nýr grundvöllur skapast fyrir lífræna nálgun á hönnun og arkitektúr sem hefur rutt af sér svokallaðri lífbyltingu (e. *bio revolution*). Lífarkitektúr og lífhönnun býður upp á ný tækifæri og almennar lausnir fyrir mannkynið sem koma til móts við þolmörk náttúrunnar. Í lífhönnun hefur heildarferli afurðarinnar mikið vægi sem leiðir óhjákvæmilega að þverfaglegum rannsóknum. Þar gefst grundvöllur að hvatningu fyrir samvinnu ólíkra starfsaðila á borð við verkfræðinga, hönnuði, arkitekta, líffræðinga, plöntufræðinga, bænda, umhverfisverndarsinna og mannfræðinga.⁴²

Lífhönnun er ólík lífhermingu, hringrásarkerfi og grænni hönnun, að því leyti að lögð er áhersla á að drifkraftur hönnunarinnar sé fólgin í virkni sem má rekja til lífvera og vistkerfa. Greinin gengur lengra en að herma eftir náttúrunni að því leyti að hún nýtir sér samþættingu sem gerir mörkin óljós milli þess sem er hannað og þess sem er náttúrulegt. Afurðin endar sem einskonar samsuða af því tvennu. Hugtakið er einnig notað til þess að leggja sérstaka áherslu á tilraunir sem eru til þess gerðar að leysa iðnaðar ferla af hólmi með lífrænum ferlum sem eru endurnýjanlegri og sparsamari á orku og efnistöð. Lífhönnuðir nota til þess lífræn efni á við sveppi, þara, ger, bakteríur og ræktaða vefi. Þessi þverfaglega grein er nauðsynleg til þess að styðja við átakið sem keppist við um að létta af þeim neikvæðu áhrifum sem arfleidd iðnbyltingunna hefur valdið og leiða til nýrrar hugsunar á grunngildum um verðmætamyndun, þróun og sjálfbærni.⁴³ Lífræn byggingarefni kalla ekki eftir aðferðum sem losa mikið magn koltvísýrings og krefjast heldur ekki innihaldsefna sem fást úr viðkvæmum auðlindum. Einn helsti kostur lífrænna byggingarefna er að þegar þau hafa lokið hlutverki sínu er auðvelt að umbreyta þeim í moltugerð eins og næstu viðföng hér gefa dæmi um.

7.1 Sveppapræðir (e. *Mycelium*) mynda vef neðanjarðar þar sem trilljónir lítilla anga teygja sig í allar áttir. Sveppir gegna mikilvægu hlutkerfi í vistkerfum og taka inn koltvísýring sem þeir geyma að mestu neðanjarðar.⁴⁴ Sveppir eru mikilvægur hluti þeirra vistvænu auðlinda sem hægt er að nýta sem byggingarefni. Gífurleg athygli hefur beinst að þróun rotmassa sem

⁴² Seetal Solanki, *Why Materials Matter*, bls. 7.

⁴³ William Myers, *BIO DESIGN*, bls. 8-9.

⁴⁴ Louis Schwartzberg, *Fantastic Fungi – The magic beneath us*, Apple TV (Los Angeles: Moving Art, 2019.)

ný tegund af ódýru og vistvænu efni. Eiginleikar efnisins eru nú rannsakaðir til byggingarefnis bæði í Evrópu og Bandaríkjunum. Ferlið er náttúrulegt og er því hægt að nota til þess að nýta lífrænan úrgang. Við framleiðslu á efninu þarf aðeins að blanda saman lífrænu efni á við sag eða hálm við sveppagró. Blöndunni er komið fyrir í mót sem að sveppapræðirnir fylla upp í. Framleiðslan getur því verið fullkomnlega vistvæn.⁴⁵ Rotmassa er hægt að forma á marga vegu og laga að ólíkum notkunarstöðlum. Nú þegar er hægt að nota hann í stað efna sem notuð eru í innsetningar og einangrun eins og froðu, timbur og plastefni. Einnig er hægt að nota rotmassa sem fylliefni í hurðar, panela, gólf, skápagerð og önnur húsgögn. Rotmassaefni þykja sérlega góð til hita- og hljóðeinangrunar þar sem þau hafa sýnt fram á betri frammistöðu yfir hefðbundin byggingarefni á við frauð- og viðarplötur.⁴⁶ Ásamt þessum eiginleikum er efnið gætt náttúrulegri vatns-, bruna- og mygluvörn.⁴⁷

Í sumar styrkti Nýsköpunarsjóður Námsmanna stutta rannsókn sem framkvæmd var af tveimur nemendum við arkitektúr í Listaháskóla Íslands. Markmiðið var að rannsaka hvort hægt væri að nýta rotmassa í einangrun og klæðningar við íslenskar aðstæður. Rannsóknin sýndi vissulega fram á að þörf er á áframhaldandi rannsóknum á efninu hérlendis, vegna harðneskjulegs veðurfars, svo hægt sé að nýta það sem klæðningu. Þrátt fyrir það var niðurstaða nemanna að vel er hægt að nýta efniviðinn innandyra. Ef vel tækist til að hanna veðurþolið efni myndi það opna á sjálfbæran og vistvænan möguleika sem myndi auka úrval sjálfbærra byggingarefna hérlendis.⁴⁸

7.2 HY-FI er vinningstillaga stofunnar The Living, sem valin var til uppsetningar í garði listasafnsins MoMA PS1 í New York. Á hverju ári heldur listasafnið samkeppni sem kveður á um tímabundið verk sem þarf að uppfylla ákveðnar kröfur. Keppnin snýst aðallega um að koma með nýjar hugmyndir um hönnun mannvirkja og er helsta krafan gerð til þess að verkið geti endað í endurvinnslu að sýningunni lokinni. Byggingin sem um ræðir var byggð úr

⁴⁵ Ilvy Bonnefin, „Merging materials : Mycelium Bricks,“ *Certified Energy*, 1. feb. 2017, <https://www.certifiedenergy.com.au/emerging-materials/emerging-materials-mycelium-brick>.

⁴⁶ Alexander Bismarck, Sabu John, Mitchell Jones og Stefano Luenco, „Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review,“ *Science Direct* 187, nr. 0264-1275 (2020): bls. 7-8, doi: 10.1016/j.matdes.2019.108397.

⁴⁷ Ilvy Bonnefin, „Merging materials : Mycelium Bricks.“

⁴⁸ Arnar Freyr Sigurðsson og Stefán Ari Björnsson, „Byggingarefni Framtíðar,“ (Rannsóknarritgerð, Listaháskóli Íslands, 2020), bls. 19.

10.000 rotmassakubbum sem stofan ræktaði í samstarfi við fyrirtækið Ecovative. Hönnuðurnir nýttu sér úrgangsefni landbúnaðar til að næra sveppinn. Allur efniviður kom frá stöðum innan við 240 km radíus við svæðið. Slíkur starfsrammi gefur færi á að spara orku, skapa atvinnutækifæri og að sama skapi styrkja nálæg fyrirtæki. Hampsteypa var undirstaða byggingarinnar og skartaði toppurinn gljáandi einingum gerðum úr endurunnum formum sem notuð voru við gerð rotmassakubbanna. Kubbarnir voru staflaðir ofan á hvorn annan og lífrænni múrblöndu komið fyrir á milli þeirra. Endurrunnið timbur var síðan notað til þess að styrkja bygginguna. Því næst var náttúrulegu plasti úðað á bygginguna til þess að ná fram fallegra útliti. Eftir að sýningunni lauk var rotmassanum komið fyrir í moltugerð og hinu efninu í endurvinnslu.⁴⁹

Verk sem þetta er gott dæmi um hvernig við getum forgangsraðað betur og horft á ferlið sem eina heild frá upphafi til enda.

7.3 Aectual er framúrstefnulegt fyrirtæki sem horfir á ferlið sem eina heild þar sem þeir útvega og sníða efnið. Fyrirtækið notar hátæknilega 3D prentara sem það sér kosti í yfir hefðbundna framleiðslu því hún leiðir til óhagkvæmra flutninga og langa vinnudaga fyrir fólk. Ásamt því fellur oft til aragrúi af byggingarefni þar sem byggingar eru byggðar. Með 3D prentun er hægt að nýta sér húsnæði til framleiðslu á efninu á tilbúnu efni og slík nýting dregur úr allt að 30% afskurði sem endar oftast nær í sorpvinnslu. Fyrirtækið notar lífvænleg efni sem losa rúmlega 60% minna af kolefni út í andrúmsloftið samanborið við hefðbundin efni.⁵⁰

7.4 Seaweed Thatch Reimagined er verkefni Kathryn Larsen sem byggir á miðaldra þakaðferð sem þróaðist á eyjunni Læsø í Danmörku. Þar þurfti að finna nýtt byggingarefni á eyjunni eftir að timbur kláraðist og tóku íbúar til þess ráðs að nýta sér marhálmm (e. *eelgrass*) til þakgerðar. Sjávargrasið rak uppá land á eyjunni og í aldaðir sáu konur um uppskeru þess. Marhálmminn létu þær liggja á túni frá vori fram á haust. Á vorin, þegar hann var orðinn þurr og hreinn, snéru þær uppá marhálmminn til þess að mynda eins konar reipi sem voru ofin á fyrstu þrjár þaksperrurnar. Greinum af grenitrjám var komið fyrir á restinni af sperrunum

⁴⁹ William Myers, *BIO DESIGN*, bls. 66.

⁵⁰ „Aectual – Sustainable – Innovative – Yours,“ *Aectual*, sótt 27. október 2020, <https://aectual.com/about/for-designers>.

og marhálmi því næst staflað ofan á. Til þess að þétta og festa þakið dönsuðu konurnar ofan á því til þess að leysa upp náttúruleg bindiefni marhálmsins. Afurðin endaði sem meters þykkt lag.

Kathryn hóf rannsóknir á efninu þegar hún var í byggingaverkfræðinámi við KEA í Kaupmannahöfn og fór að þróa þunnar forsmíðaðar marhálmsplötur bæði í þök og klæðningar. Hún segir kosti marhálms vera að hann geymi náttúrulega rot- og eldvörn. Auk þess er efnið að öllu laust við eiturefni og nýtist vel í einangrun sem jafnast á við steinull.⁵¹ Með tímanum fer annar gróður að lifa samlífi við marhálminn. Kathryn bendir á að orsökkin fyrir því að þessi aðferð hafi nánast glatast sé vegna þess að í kringum árið 1930 hafi 90% af þaranum horfið vegna hlýnunar jarðar ásamt sjúkdómi sem herjaði á hann. Einnig bendir hún á og að þó marhálmurinn er á viðkvæmu stigi er nóg magn af honum í kringum Danmörku til þess að svara eftirspurn þar í landi og að til séu öruggar ræktunaraðferðir sem valda ekki skaða á nálægum sjávarvistkerfum.⁵²

Umrædd tegund vex nánast á öllum heimsins strandsvæðum fyrir utan heimskautasvæðið.⁵³ Sú staðreynd vekur upp spurningu um hvort notkun á slíku byggingarefni gæti nýst hérlendis.

8. Efnisleg vistfræði

Efnisleg vistfræði er ný grein sem vinnur að því að auka tengsl milli náttúrulegra og manngerðra umhverfisþátta. Greinin sameinar fræði stafrænnar framleiðslu, efnisvísinda, forritunar og lífrænna efna. Hún gengur út frá því að framleiðsla, forritun og efni séu órjúfanleg heild innan hönnunarferlisins. Upphafsmáður efnislegrar vistfræði, Neri Oxman, hefur verið tilnefnd sem ein mikilvægasta fyrirmynd arkitekta og hönnuða fyrir mótun í stefnu framtíðarsköpunar. Hún er stofnandi og stjórnandi rannsóknarteymisins Mediated Matter við tæknideild háskóla Massachusetts (MIT), þar sem hún starfar sem dósent við lista- og vísindamiðlunardeild (*Mediated Matter*). Mediated Matter hefur unnið til ótal verðlauna og viðurkenninga á grundvelli nýsköpunar og hefur starfsemi þeirra verið líkt við

⁵¹ „Seaweed Thatch Reimagined,“ *Kathryn Larsen*, sótt 5. okt. 2020, <https://kathrynlarsen.com/seaweed-thatch-reimagined>.

⁵² Rima Sabina Aouf, „Viking-style seaweed thatch updated into prefab panelling,“ *Dezeen*, 17. júlí 2019, <https://www.dezeen.com/2019/07/17/eelgrass-seaweed-thatch-prefab-panelling-kathryn-larsen-denmark/>.

⁵³ „Eelgrass Habitat,“ *Sonia Botos*, sótt 5. okt. 2020, <https://www.botos.com/marine/egrass01.html>.

boðbera nýrra tíma þar sem nýjar dyr hafa verið opnaðar að líffræðilegri gullnámu.⁵⁴ Með rannsóknum sínum hafa þau uppgötvað nýja tækni sem einblínir á að nýta líffræðilega eiginleika örvera til framleiðslu efna og byggja verkfræðilega þætti á fyrirmynd náttúrulegra ferla. Þessi leið snýst um vöxt á stöku efni þar sem hægt er að notast við nánast hvaða lífmassa sem er til framleiðslu. Efnið má nýta á fjölbreytilegan hátt allt frá klæðnaði til bygginga. Aðferðin er róttæk að því leyti að hún er ólík því efnasamspili sem hefur tíðkast í gegnum aldirnar. Efnisleg vistfræði hefur skapað farveg fyrir byggingar sem hannaðar eru í samvinnu við náttúruna með hag hennar fyrir brjósti.⁵⁵

8.1 Silk Pavillion II er eitt af þekktustu verkum Mediated Matter, en þau vildu rannsaka hvernig hægt væri að nýta silki á sjálfbæran hátt án þess að eyðileggja lirfuhýðið (e. *cocoon*). Þau urðu sér úti um 17.532 silkiorma sem spunnu á lárétta snældu stýrða af tækni sem vann gegn grunneðli þeirra til að spinna beint upp á við. Þéttleiki efnisins varð misjafn þar sem utanaðkomandi þættir eins og hiti, tími, áttir og ljós höfðu áhrif á ferlið. Eftir stóð 6 metra hátt verk á sýningu í MoMA í New York. Með tækni og líffræðilegum eiginleikum ormannanna sýndu þau fram á möguleika til þess að sameina náttúrulega ferla og tækni.⁵⁶

9. Lífarkitektúr

Lífarkitektúr (*Bio architecture*) er stefna sem dregur innblástur frá náttúrunni bæði í stórum sem smáum lausnum við gerð mannvirkja. Hugmyndafræðin byggir á nálgun og áherslu á tækifærum sem liggja í náttúrulegum aðferðum með fjölþættri úrvinnslu. Í hönnunarferlinu er gætt að samræmingu á vönduðu efnisvali, varfærni í aðlögun við umhverfið og samheldni heildarinnar. Lífarkitektúr flokkast ekki undir þá lífrænu stefnu sem Frank Lloyd Wright stóð fyrir (*Organic architecture*), sú stefna er einungis formdrifin. Lífarkitektúr er hins vegar kerfisdrifin sem þýðir að innblásturinn kemur frá starfsháttum náttúrunnar. Áhrifin gæta í hönnun byggingarinnar ásamt virkni hennar og efnisvali.⁵⁷ Verk sem tilheyra stefnunni eru

⁵⁴ „Projects,“ *Neri Oxman*, sótt 8. sept. 2020, <https://oxman.com/-/projects>.

⁵⁵ „Neri Oxman, Mediated Matter,“ *MIT Media Lab*, sótt 8. sept. 2020, <https://www.media.mit.edu/people/neri/overview/>.

⁵⁶ „Silk pavillion II,“ *Neri Oxman*, sótt 8. sept. 2020, <https://oxman.com/projects/silk-pavilion-ii>.

⁵⁷ Bhushan, Bharat og Renee L. Ripley, „Bioarchitecture: bioinspired art and architecture—a perspective,“ *The Royal Society Publishing* 375, nr. 2073 (2016): bls. 12, doi: 10.1098/rsta.2016.0192.

allt frá því að vera gerðar úr trjám, þar sem vöxtur þeirra er stýrður af einföldu stoðkerfi, upp í hátæknilegar og sjálfbærar grænar eyjar.

9.1 Harmonia 57 er 500 m² bygging staðsett í götunni Harmonia Street í listrænu hverfi í São Paulo. Arkitektastofan Triptyque, sem er höfundur byggingarinnar, gefur sig út fyrir að kanna leiðir til þess að aðlaga nútímalegan arkitektúr að vistvænum aðferðum.⁵⁸ Rétt eins og mannlíkaminn er byggingin gædd þeim eiginleikum að geta andað, svitnað og aðlagast umhverfisþáttum. Byggingin gegnir hlutverki sveigjanlegs skrifstofurýmis sem einnig inniheldur lítinn verslunarkjarna og nokkur útírými.⁵⁹ Aðalþema byggingarinnar er vatn og rétt eins og í hringrás náttúrunnar þá safnast, hreinsast og endurnýtist það á staðnum. Einfalt pípulagningakerfi þjónar húsinu rétt eins og æðar líkamans. Bersýnilegt áveitukerfið sem liggur utan á húsinu samanstendur af tönkum, úðurum og rörum sem sjá um að viðhalda heilbrigði plantna sem komið var fyrir í holum á útveggjum byggingarinnar. Áveitukerfið stýrist af loftslagi og gefur reglulega frá sér úða sem myndar þoku utan um húsið.⁶⁰ Veggirnir sjálfir eru úr vistvænni og holóttri steypu sem hleypir vatni í gegnum sig.⁶¹

9.2 Process Zero: Retrofit Resolution er annað dæmi um afrakstur þeirra rannsókna sem miðast af því að leita fyrirmynda í náttúruferlum. Hér ræðir um þverfaglegt teymi sem lagði inn hugmynd í samkeppni sem snérist um að aðlaga gamalt húsnæði að nútímalegum skilmálum um orkujöfnun bygginga. Byggingin sem stendur í miðborg Los Angeles er gamalt skrifstofuhúsnæði sem var byggt árið 1960. Virkni frumna er þema verkefnisins þar sem klæðningin er gædd grænni virkni með þörungarækt og virkjun á sólarorku. Samstarfsteymið fullyrðir að með því að aðlaga þessa hönnun að byggingunni myndi það skila sér í 84% minni orkunotkun fyrir bygginguna þar sem lífviðtakar gætu framleitt 9% af orkuþörf hennar. Suðurhlið hússins myndi skarta 2.300 m² stóru pípulagningakerfi sem að innihéldi smápörunga. Smápörungarnir myndu fá næringu úr fráveituvatni byggingarinnar og myndu einnig binda kolefni úr andrúmsloftinu. Með ljóstillífun myndu þeir framleiða lípið sem gætu nýst sem sjálfbær orkugjafi fyrir bygginguna. Ásamt því myndi klæðningin varpa skugga innan í bygginguna sem myndi skýla starfsmönnum frá geislum sólar. Á sama

⁵⁸ „Agency,“ *Triptyque Architecture*, sótt 5. okt. 2020, <http://trptyque.com/en/agency/>.

⁵⁹ „Harmonia 57 / Triptyque,“ *ArchDaily*, sótt 30. sept. 2019, <https://www.archdaily.com/6700/harmonia-57-triptyque>.

⁶⁰ William Myers, *BIO DESIGN*, bls. 22.

⁶¹ „Harmonia 57 / Triptyque.“

tíma yrði næg lýsing tryggð sem brýst í gegnum miðju byggingarinnar með átta ljósopum. Stuðlað væri að heilbrigðu lofti innandyrna með innbyggðum síum ásamt því súrefni sem smápörungarnir gefa af sér. Ofan á þaki byggingarinnar yrði bæði komið fyrir sólarpanelum ásamt tönkum sem hreinsa og geyma regnvatn. Skrifstofubúnaði yrði síðan stjórnað með miðstýrðu tölvukerfi sem sæi til þess að hámarka orkunýtingu.⁶²

9.3 Dune er tillaga sem nýtir eiginleika *Sporosarcina pasteruii* og er ætlað hlutverk á þurrasta landslagi jarðar. Magnus Larsson, upphafsmaður þess, hefur unnið að verkefni sem snýst um að byggja 6.000 km langan vegg með hjálp bakteríunnar yfir eyðimörk Sahara. Aðgerðin væri til þess gerð að koma í veg fyrir frekari útbreiðslu eyðimerkurinnar og um leið skapa ný heimkynni fyrir þúsundir manna og það fyrir lágan kostnað. Hugmyndin snýst um að beisla eyðimerkuröldur og umbreyta þeim í sandstein. Með því að setja bakteríur, vatn, þvagefni og kalsíumklóríð í sandinn fer af stað ferli sem framleiðir kalsít (náttúrulegt sement) sem bindur sandinn og myndar sandstein á innan við sólarhring. Með tímanum myndi sandsteinninn draga í sig raka og gefa skjólsaman stað fyrir trjávöxt og annað líf til þess að dafna. Aðferðin sem um ræðir var þróuð af teymi Jason de Jong við Háskóla Kaliforníu. Slíkt verkefni er metnaðarfullt og mikilvægt í ljósi þeirra aðstæðna sem útbreiðsla eyðimerkurmyndunnar hefur á hóbýli þjóða eins og Súdan, Chad og Nígeríu. En samkvæmt könnun sem framkvæmd var af Sameinuðum þjóðunum er gert ráð fyrir að slík umhverfisáhrif snerti 100-200 milljónir manna og ógni margfalt fleirri lífum.⁶³

Nýjar áherslur á efninotkun og tækni gefa af sér framandi form. Afurðir lífhönnunar einkennast oft af lífrænum formum og framandi efnum. Í slíkum fyrirbærum liggur fagurfræði þeirra ekki aðeins í yfirborðinu heldur í nýtingunni, samlífinu við náttúruna og virðingunni fyrir jörðinni og öðrum tegundum. Samstöðunni á milli manna og ástríðunni fyrir breytingum.

⁶² William Myers, *BIO DESIGN*, bls. 52-55.

⁶³ William Myers, *BIO DESIGN*, bls. 62.

Lokaorð

Ljóst er að til að komast lífs af verðum við að byggja ákvarðanir á þolmörkum náttúrunnar. Einhæf notkun á byggingarefnum á borð við steypu hefur leitt af sér varanlegan skaða á náttúrufyrirbærum sem maðurinn skilgreinir sem auðlindir út frá eigin hagsmunum. Þegar hefur verið brugðist við þróun loftslagsbreytinga með vistvænum aðgerðum á borð við yfirlýsingar og vottunarkerfi sem stuðla að velferð jarðarinnar og lífríkja ásamt lýðheilsu manna. Þó vantar enn hvatningu frá stjórnvöldum í flestum löndum í formi styrkja eða kolefnisskatta til þess að fá fyrirtæki til að taka skref í átt að umhverfisvænum iðnaði. Þverfagleg samvinna er mikilvægur liður að framþróun umhverfismála og hefur færst í aukana innan hönnunar og arkitektúrs.

Hönnuðir og fyrirtæki sem hér hafa verið nefnd sýna frumkvæði í verki. Með hliðsjón af heilbrigðum vistkerfum, sem einkennast af líffræðilegri fjölbreytni, virðist lykillinn að heilbrigðri menningu byggingarefna liggja í fjölbreyttu úrvali af byggingarefnum sem hönnuð hafa verið út frá umhverfisvænum stöðlum. Aðferðafræði lífhönnunar og –arkitektúrs, sem gengur út á að sækja fyrirmyndir í líffræðilega ferla, virkar heilbrigð leið að því hvernig má endurhugsa framleiðsluferli byggingarefna og tækni bygginga þar sem áhersla er lögð á lífvænleg efni og skilvirkari orkugjafa og –nýtingu. Lífarkitektúr hefur greitt leið að vistvænni byggingagerð bæði í formi nýrrar hönnunar og aðlögun gamla bygginga að nútímalegum skilyrðum.

„Ef við gerum ekkert verðum við kynslóðin sem fékk paradís upp í hendurnar og rústaði henni. Af því að við vorum föst í viðjum hagsmuna og græðgi. Allt okkar starf mun verða grátlegt vegna þess að ekkert sem við framleiðum kemst í hálfkvisti við sjálft hafið, ekkert er eins mikilfenglegt og jökulhvel, ekkert er jafn dularfullt og frumskógur um nótt. Ekkert sem við gerðum verður talið merkilegt ef í því fólst að loka augunum fyrir vísindunum og kasta lífi og hamingju komandi kynslóða á glæ.“⁶⁴

⁶⁴ Andi Snær Magnússon, *Um tímann og vatnið*, bls. 260.

Heimildaskrá

Vefheimildir

„Aectual – Sustainable – Innovative – Yours.“ *Aectual*. Sótt 27. október 2020.

<https://aectual.com/about/for-designers>.

„Agency.“ *Triptyque Architecture*. Sótt 5. október 2020.

<http://triptyque.com/en/agency/>.

Aouf, Rima Sabina. „Viking-style seaweed thatch updated into prefab panelling.“ *Dezeen*.
7. júlí 2019.

<https://www.dezeen.com/2019/07/17/eelgrass-seaweed-thatch-prefab-panelling-kathryn-larsen-denmark/>.

„Ábyrg neysla og framleiðsla.“ *Félag Sameinuðu Þjóðanna*. 6. ágúst 2020.

<https://www.un.is/heimsmarkmidin/abyrg-neysla/>.

Baratto, Romullo. „Triptyque Proposes Tall Building Made of 100% Brazilian Wood.“
ArchDaily. 20. september 2017.

https://www.archdaily.com/879938/triptyque-proposes-tall-building-made-of-100-percent-brazilian-wood?ad_source=search&ad_medium=search_result_all.

Bhushan, Bharat og Renee L. Ripley. „Bioarchitecture: bioinspired art and architecture—a perspective.“ *The Royal Society Publishing* 375, nr. 2073 (2016): bls. 12.

DOI: 10.1098/rsta.2016.0192.

Bismarck, Alexander, Sabu John, Mitchell Jones og Stefano Luenco. „Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review.“ *Science Direct* 187, nr. 0264-1275 (2020): bls. 7-8.
DOI: 10.1016/j.matdes.2019.108397.

Bonnefin, Ilvy. „Merging materials : Mycelium Bricks.“ *Certified Energy*. 1. febrúar 2017.
<https://www.certifiedenergy.com.au/emerging-materials/emerging-materials-mycelium-brick>.

„Byggingareglugerð, 15.2.3 gr. Skrá yfir hættuleg efni“. Sótt 25. október 2020.
<https://www.reglugerd.is/reglugerdir/eftir-raduneytum/umhverfisraduneyti/nr/18113>

Cambridge Dictionary. Sótt 4. september 2020.
<https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/red-herring>.

„Concrete vs. Cement: What’s The Difference?.“ *Howden*. Sótt 2. október 2020.
<https://www.howden.com/en-us/articles/cement/how-is-cement-made>.

Cullen, Mark R., Carrie A. Redlich og Judy Sparer. „Sick Building Syndrome.“ *Science Direct* 349, nr. 9057 (1997): bls. 1013.
DOI: 10.1016/S0140-6736(96)07220-0.

Delaqua, Victor. „What can nature teach architects about resilience.“ *ArchDaily*. 22. júlí 2019.
<https://www.archdaily.com/921428/what-can-nature-teach-architects-about-resilience>.

„Eelgrass Habitat.“ *Sonia Botos*. Sótt 5. október 2020.

<https://www.botos.com/marine/egrass01.html>.

Haule, Hancelem, Subira Kawonga, Kepha Luvunga, Gabriel Mayengo, Luhanda Morsardi og Japhet Elisante Ringo. „Effects of Limestone Mining on Deforestation and Land Degradation in Mbeya Region, Tanzania.“ *ResearchGate* 5, nr. 2169-9917 (2016): bls.118.

https://www.researchgate.net/publication/306065662_Effects_of_Limestone_Mining_on_Deforestation_and_Land_Degradation_in_Mbeya_Region_Tanzania.

„Iceland Architects Declare Climate & Biodiversity Emergency.“ Sótt 19. október 2020.

<https://is.architectsdeclare.com/>.

Miller, Sabbie A. og Frances C. Moore. „Climate and health damages from global concrete production.“ *Nature Climate Change* 10, nr. 439-443 (2020): bls. 1.

DOI: 10.1038/s41558-020-0733-0.

„Neri Oxman, Mediated Matter.“ *MIT Media Lab*. Sótt 8. september 2020.

<https://www.media.mit.edu/people/neri/overview/>.

„Pólyúretan lím – hvernig á að nota það rétt og hvað það er.“ *Með höndum þínum*. Sótt 5. október 2020.

<http://kak-svoimi-rukami.com/is/2013/05/poliuretanovyj-klej-kak-pravilno-ispolzovat-i-chto-eto-takoe/>.

„Projects.“ *Neri Oxman*. Sótt 8. september 2020.

<https://oxman.com/#projects>.

Ryan, Kevin J. „How this company is using bacteria to grow bricks from scratch.“

Inc.com. 19. janúar 2016.

<https://www.inc.com/kevin-j-ryan/best-industries-2016-sustainable-building-materials.html>.

„Seaweed Thatch Reimagined.“ *Kathryn Larsen*. Sótt 5. október 2020.

<https://kathrynlarsen.com/seaweed-thatch-reimagined>.

Sild, Tiit. „The Shocking Truth About CLT (interview).“ *Katus.eu*. Sótt 5. október 2020.

<https://katus.eu/learn/courses/shocking-truth-about-clt>.

„Silk pavillion II.“ *Neri Oxman*. Sótt 8. september 2020.

<https://oxman.com/projects/silk-pavilion-ii>.

„Sjálfbærar borgir og samfélög.“ *Félag Sameinuðu Þjóðanna*. Sótt 11. september 2020.

<https://www.un.is/heimsmarkmidin/sjalfbaerar-borgir-og-samfelog/>.

Skúli Skúlason. „Fjölbreytni og tengsl í náttúrunni.“ Fyrirlestur fluttur á Pálsvöku, 21. ágúst 2018.

<https://soundcloud.com/j-n-p-lasson/skuli-skulason-fjolebreytni-og-tengsl-i-natturunni>.

Stanford. „Bio-based building material.“ *Stanford*. Myndband, 23:43. Sótt 13. september 2020.

<https://www.youtube.com/watch?v=mGV8-nJwaPs>.

„The value of BREEAM In-Use.“ *BREEAM*. Sótt 25. september 2020.

<https://www.breeam.com/discover/technical-standards/breeam-in-use/>

Trader, Tiffany. „Greening the World’s Most Ubiquitous Building Material.“ *HPC Wire*.
23. janúar 2015.

<https://www.hpcwire.com/2015/01/23/greening-worlds-ubiquitous-building-material/>.

„Triptyque Architecture presents a special project at the 2018 Venice Architecture Biennale.“ *Triptyque Architecture*. Sótt 3. október 2019.

<http://triptyque.com/en/triptyque-architecture-presents-a-special-project-at-the-2018-venice-architecture-biennale/>.

Umhverfissvottunarkerfi.“ *Framkvæmdasýsla Ríkisins*. Sótt 25. september 2020.

<https://www.fsr.is/samstarf/vistvaenarbyggingar/vistvottunarkerfi/>.

Walker, Peter. „Alternatives to Concrete: Combating Climate Change with New Building Materials.“ *University Of Bath*. 1. apríl 2019.

<https://blogs.bath.ac.uk/iprblog/2019/04/01/alternatives-to-concrete-combating-climate-change-with-new-building-materials/>.

„What the heck is CLT?.“ *Sustainable lumber co*. 8. desember 2017.

<https://www.sustainablelumberco.com/2017/12/what-the-heck-is-clt/>.

„Why the world is running out of sand – and there’s a black market for it now.“ *Business Insider*. Sótt 4. september 2020.

<https://www.businessinsider.com/world-running-out-sand-resources-concrete-2018-6?r=US&IR=T>.

Þorsteinn Vilhjálmsson. „Hvað er auðlind?.“ *Visindavefurinn*. 3. september 2013.

<https://www.visindavefur.is/svar.php?id=60548>.

Prentaðar heimildir

Aalto, Alvar. *Sketches*. Massachusetts: MIT Press, 1985.

Andi Snær Magnússon. *Um tímann og vatnið*. Reykjavík: Mál og menning, 2019.

Beiser, Vince. *The world in a grain. The story of sand and how it transformed civilization*. New York: Riverhead Books, 2018.

Braungart, Michael og William McDonough. *Cradle to Cradle*. New York: North Point Press, 2002.

Ece, Nurgül. *Building Biology. Criteria and Architectural Design*. Basel: Birkhäuser Verlag, 2018.

Myers, William. *BIO DESIGN – nature, science, creativity*. London: Thames & Hudson, 2018.

Solanki, Seetal. *Why Materials Matter – Responsible Design for a Better World*. New York: Prestel Publishing, 2018.

Annað heimildarefni

Arnar Freyr Sigurðsson og Stefán Ari Björnsson. „Byggingarefni Framtíðar.“
Rannsóknarritgerð, Listaháskóli Íslands, 2020.

Schwartzberg, Louis. *Fantastic Fungi – The magic beneath us*, Apple TV. Los Angeles: Moving Art, 2019.